کتاب دانش فنی تخصصی (الکتروتکنیک)

ایران استخدام

سرویس خصوصی خدمات عام المنفعه اخبار شغل و استخدام

Www.IranEstekhdam.Ir

خواننده گرامی؛ در جهت بهبود کیفیت این فایل؛ لطفاً هرگونه انتقاد و پیشنهاد خود در مورد مطالب آن
و یا گزارش مشکل را به آدرس ایمیل و یا با شماره تلفن زیر مطرح نمایید:

شماره تلفن تماس:آره ۹۱۳۰۰۰۱۳-۰۲۱ آدرس ایمیل: soal@iranestekhdam.ir

Www.IranEstekhdam.Ir

«لینک‌های مفید و مرتبط»

دانلود منابع آزمون استخدامی هنرآموز الکتروتکنیک (۱) و (۲)

خرید و دانلود

دانلود نمونه سوالات آزمون استخدامی هنرآموز الکتروتکنیک

خرید و دانلود

دانلود منابع آزمون استخدامی استادکار الکتروتکنیک

خرید و دانلود

دانلود نمونه سوالات عمومی و تخصصی استخدام آموزش و پرورش

خرید و دانلود

بسم الله الرحمن الرحیم

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰى مُحَمَّدٍ وَ آلِ مُحَمَّدٍ وَ عَجِّلْ فَرَجَهُمْ

دانش فنی تخصصی

رشته الکتروتکنیک

گروه برق و رایانه

شاخهٔ فنی و حرفه‌ای

پایه دوازدهم دوره دوم متوسطه

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: دانش فنی تخصصی (رشته الکتروتکنیک) ـ ۲۱۲۲۶۳
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای وکاردانش
شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: علی اکبر مطیع بیرجندی، شهرام خدادادی، امیرحسین ترکمانی، مجتبی انصاری‌پور، محمدحسن اسلامی، علیرضا حجرگشت و نقی اصغری آقاباقر (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
نقی اصغری آقاباقر، امیر حسین ترکمانی (پودمان اول)، علی عراقی و شهرام خدادادی(پودمان دوم)، علی‌اکبر مطیع بیرجندی (پودمان سوم)، فتح‌اله نظریان، نقی اصغری آقاباقر و امیرحسین ترکمانی (پودمان چهارم)، شبنم رهبر (پودمان پنجم) (اعضای گروه تألیف)
مدیریت آماده‌سازی هنری: ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی: مجید ذاکری یونسی (مدیر هنری) ـ مجید کاظمی و خدیجه محمدی(صفحه‌آرا) ـ صبا کاظمی دوانی (طراح جلد)ـ الهام محبوب، فاطمه رئیسیان فیروزآباد و فتح‌اله نظریان (رسام)
نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)
تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وب‌گاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دارو پخش) تلفن: ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵
چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ نهم ۱۴۰۵

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به‌صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز از این سازمان ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

شابک ۵- ۳۲۳۵ - ۰۵ - ۹۶۴ - ۹۷۸ **ISBN 978 – 964 – 05 – 3235–5**



ملت شریف ما اگر در این انقلاب بخواهد پیروز شود باید دست از آستین برآرد و به کار بپردازد. از متن دانشگاه‌ها تا بازارها و کارخانه‌ها و مزارع و باغستان‌ها تا آنجا که خودکفا شود و روی پای خود بایستد.

امام خمینی (قُدِّسَ سِرُّهُ)

فهرست

پودمان اول: تحلیل مدارهای الکتریکی ۹
ارزشیابی مبتنی بر شایستگی پودمان اوّل ۸۳

پودمان دوم:تحلیل ماشین‌های الکتریکی (ترانسفورماتورهای تک‌فاز) ۸۵
ارزشیابی مبتنی بر شایستگی پودمان دوم ۱۱۰

پودمان سوم: تحلیل ماشین‌های الکتریکی سه فاز (موتورهای القایی) ۱۱۳
ارزشیابی مبتنی بر شایستگی پودمان سوم ۱۵۸

پودمان چهارم: کاربرد اتوماسیون صنعتی (اینورتر) ۱۶۱
ارزشیابی مبتنی بر شایستگی پودمان چهارم ۱۹۲

پودمان پنجم: کسب اطلاعات فنی (زبان فنی) ۱۹۵
ارزشیابی مبتنی بر شایستگی پودمان پنجم ۲۳۱

منابع و مآخذ ۲۳۳

سخنی با هنرجویان عزیز

شرایط در حال تغییر دنیای کار در مشاغل گوناگون، توسعه فناوری‌ها و تحقق توسعه پایدار، ما را بر آن داشت تا برنامه‌های درسی و محتوای کتاب‌های درسی را در ادامه تغییرات پایه‌های قبلی براساس نیاز کشور و مطابق با رویکرد سند تحول بنیادین آموزش‌وپرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران در نظام جدید آموزشی بازطراحی و تألیف کنیم.
مهم‌ترین تغییر در کتاب‌های درسی تغییر رویکرد آموزشی، آموزش و ارزشیابی مبتنی بر شایستگی است. شایستگی، توانایی انجام کار در محیط واقعی بر اساس استاندارد عملکرد تعریف شده است. توانایی شامل دانش، مهارت و نگرش می‌شود. در رشته تحصیلی ـ حرفه‌ای شما، چهار دسته شایستگی در نظر گرفته شده است:
۱ـ شایستگی‌های فنی برای جذب در بازار کار مانند کاربرد اینورتر در صنعت اتوماسیون
۲ـ شایستگی‌های غیرفنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند مسئولیت‌پذیری، نوآوری و مصرف بهینه انرژی
۳ـ شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم‌افزارها و انواع شبیه‌سازها
۴ـ شایستگی‌های مربوط به یادگیری مادام‌العمر مانند کسب اطلاعات از منابع دیگر
بر این اساس دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی‌وحرفه‌ای و کاردانش مبتنی بر اسناد بالادستی و با مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی فنی‌وحرفه‌ای و خبرگان دنیای کار مجموعه اسناد برنامه درسی رشته‌های شاخه فنی‌وحرفه‌ای را تدوین نموده‌اند که مرجع اصلی و راهنمای تألیف برای هر یک از کتاب‌های درسی در هر رشته است.
درس دانش فنی تخصصی، از خوشه دروس شایستگی‌های فنی می‌باشد که ویژه رشته الکتروتکنیک برای پایه ۱۲ تألیف شده است. کسب شایستگی‌های فنی و غیرفنی این کتاب برای موفقیت آینده شغلی و توسعه آن براساس جدول توسعه حرفه‌ای بسیار ضروری است. هنرجویان عزیز سعی نمایید تمام شایستگی‌های آموزش داده شده در این کتاب را کسب و در فرایند ارزشیابی به اثبات رسانید.
این کتاب نیز شامل پنج پودمان است. هنرجویان عزیز پس از طی فرایند یاددهی ـ یادگیری هر پودمان می‌توانند شایستگی‌های مربوط به آن را کسب کنند. در پودمان «کسب اطلاعات فنی » هدف توسعه شایستگی‌های حرفه‌ای شما بعد از اتمام دوره

تحصیلی در مقطع کنونی است تا بتوانید با درک مطالب از منابع غیر فارسی در راستای یادگیری در تمام طول عمر گام بردارید و در دنیای متغیر و متحول کار و فناوری اطلاعات خود را به روزرسانی کنید. هنرآموز محترم شما مانند سایر دروس این خوشه برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات منظور می‌نماید. نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ می‌باشد. در صورت احراز نشدن شایستگی پس از ارزشیابی اول، فرصت جبران و ارزشیابی مجدد تا آخر سال تحصیلی وجود دارد. در کارنامه شما این درس شامل ۵ پودمان است که هر پودمان از دو بخش نمره مستمر و نمره شایستگی تشکیل می‌شود و چنانچه در یکی از پودمان‌ها نمره قبولی را کسب نکردید، لازم است در همان پودمان مورد ارزشیابی قرار گیرید. همچنین این درس دارای ضریب ۴ بوده و در معدل کل شما تأثیر می‌گذارد.

همچنین در کتاب **همراه هنرجو** واژگان پرکاربرد تخصصی در رشته تحصیلی ـ حرفه‌ای شما آورده شده است. **کتاب همراه هنرجوی خود را هنگام یادگیری، آزمون و ارزشیابی حتماً همراه داشته باشید.**

فعالیت‌های یادگیری در ارتباط با شایستگی‌های غیرفنی مانند مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای، حفاظت از محیط‌زیست و شایستگی‌های یادگیری مادام‌العمر و فناوری اطلاعات و ارتباطات همراه با شایستگی‌های فنی، طراحی و در کتاب درسی و بسته آموزشی ارائه شده است. شما هنرجویان عزیز کوشش نمایید این شایستگی‌ها را در کنار شایستگی‌های فنی آموزش ببینید، تجربه کنید و آنها را در انجام فعالیت‌های یادگیری به‌کار گیرید.

امیدواریم با تلاش و کوشش شما هنرجویان عزیز و هدایت هنرآموزان گرامی، گام‌های مؤثری در جهت سربلندی و استقلال کشور و پیشرفت اجتماعی و اقتصادی و تربیت شایسته جوانان برومند میهن اسلامی برداشته شود.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

سخنی با هنرآموزان گرامی

در راستای تحقق اهداف سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی‌ایران و تغییرات سریع عصر فناوری و نیازهای متغیر جامعه بشری و دنیای کار و مشاغل، برنامه‌درسی رشته الکتروتکنیک باز طراحی و بر اساس آن محتوای آموزشی نیز تألیف گردید. این کتاب و درس از خوشه دروس شایستگی‌های فنی می‌باشد که در سبد درسی هنرجویان برای سال دوازدهم تدوین و تألیف شده است و مانند سایر دروس شایستگی و کارگاهی دارای ۵ پودمان می‌باشد. کتاب دانش فنی تخصصی مباحث نظری و تفکیک شده دروس کارگاهی و سایر شایستگی‌های رشته را تشکیل نمی‌دهد بلکه پیش‌نیازی برای شایستگی‌های لازم در سطوح بالاتر صلاحیت حرفه‌ای ـ تحصیلی می‌باشد. هدف کلی کتاب دانش‌فنی تخصصی آماده‌سازی هنرجویان برای ورود به مقاطع تحصیلی بالاتر و تأمین نیازهای آنان در راستای محتوای دانش نظری است. یکی از پودمان‌های این کتاب با عنوان «کسب اطلاعات فنی » با هدف یادگیری مادام‌العمر و توسعه شایستگی‌های هنرجویان بعد از دنیای آموزش و ورود به بازار کار، سازماندهی محتوایی شده است. این امر با آموزش چگونگی استخراج اطلاعات فنی موردنیاز از متون فنی غیرفارسی و جداول، راهنمای ماشین‌آلات و تجهیزات صنعتی، دستگاه‌های اداری، خانگی و تجاری و درک مطلب آنها در راستای توسعه شایستگی‌های حرفه‌ای محقق خواهد شد. تدریس کتاب در کلاس درس به‌صورت تعاملی و با محوریت هنرآموز و هنرجوی فعال صورت می‌گیرد.

به مانند سایر دروس، هنرآموزان گرامی برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات برای هر هنرجو ثبت کنند. نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ می‌باشد و نمره هر پودمان از دو بخش ارزشیابی پایانی و مستمر تشکیل می‌شود. این کتاب مانند سایر کتاب‌ها جزئی از بسته آموزشی تدارک دیده شده برای هنرجویان است. شما می‌توانید برای آشنایی بیشتر با اجزای بسته، روش‌های تدریس کتاب، شیوه ارزشیابی مبتنی بر شایستگی، مشکلات رایج در یادگیری محتوای کتاب، بودجه‌بندی زمانی، نکات آموزشی شایستگی‌های غیرفنی، آموزش ایمنی و بهداشت و دریافت راهنما و پاسخ برخی از فعالیت‌های یادگیری و تمرین‌ها به کتاب راهنمای هنرآموز این درس مراجعه کنید. در هنگام ارزشیابی استاندارد عملکرد از ملزومات کسب شایستگی می‌باشند.

کتاب دانش فنی تخصصی شامل پودمان‌هایی به شرح زیر است:

پودمان اول: تحلیل مدارهای الکتریکی

پودمان دوم: تحلیل ماشین‌های الکتریکی (ترانسفورماتور تک‌فاز)

پودمان سوم: تحلیل ماشین‌های الکتریکی سه فاز (موتورهای القایی)

پودمان چهارم: کاربرد اتوماسیون صنعتی (اینورتر)

پودمان پنجم: کسب اطلاعات فنی (زبان فنی)

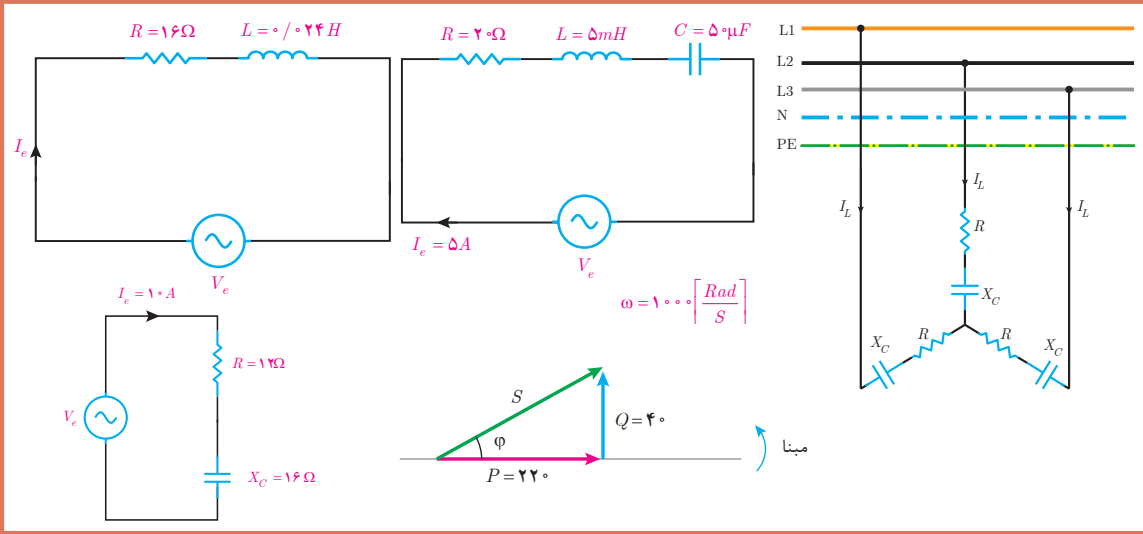
هنرآموزان گرامی در هنگام یادگیری و ارزشیابی، هنرجویان باید کتاب همراه هنرجو را با خود داشته باشند.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش



پودمان اول

تحلیل مدارهای الکتریکی



واحد یادگیری ۱

آیا می‌دانید

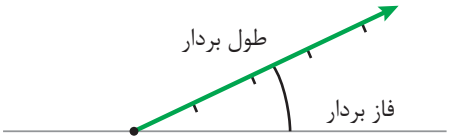
۱ـ برایند و تفاضل بردارها چگونه به‌دست می‌آید؟
۲ـ مدارهای الکتریکی R_L سری برای معادل‌سازی کدام یک از تجهیزات الکتریکی به‌کار می‌رود؟
۳ـ وضعیت پس‌فاز یا پیش‌فاز بدون جریان نسبت به ولتاژ در چه مدارهایی رخ می‌دهد؟
۴ـ در مدارات RLC سری درچه وضعیتی رفتار مدار اهمی است؟
۵ـ تفاوت‌های اساسی مدارات الکتریکی سه‌فاز ستاره و مثلث چیست؟

استاندارد عملکرد

پس از پایان این پودمان هنرجویان قادر خواهند بود تحلیل برداری مدارهای الکتریکی متناوب تک‌فاز و سه‌فاز را انجام داده و مسائل مربوط به مدارات R_L، R_C و R_L_C سری را تجزیه و تحلیل کنند.

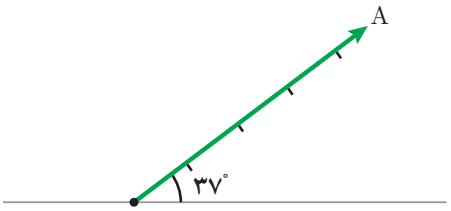
۱ـ۱ بردار

بردار[۱] در تحلیل مدارهای الکتریکی برای نمایش کمیت‌هایی استفاده می‌شود که علاوه بر مقدار[۲] دارای موقعیت یا فاز [۳] نیز باشد. طول بردار نشان‌دهنده مقدار کمیت الکتریکی و زاویه بین بردار با مبنا بیانگر موقعیت یا فاز آن می‌باشد (شکل ۱).



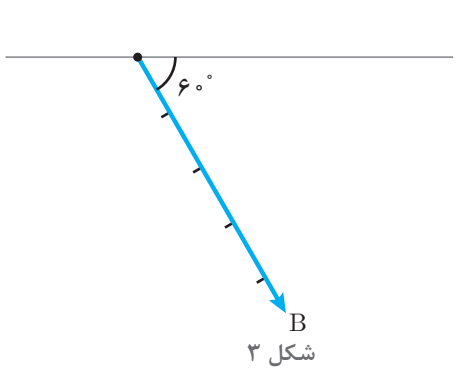
شکل ۱

مبنا به‌طور معمول در تحلیل مدارهای الکتریکی خط افق اختیار می‌شود که در این صورت فاز آن صفر خواهد شد.
علامت زاویه فاز در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت مثبت و در جهت حرکت عقربه‌های ساعت منفی می‌باشد. خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت را «جهت مثلثاتی» گویند.



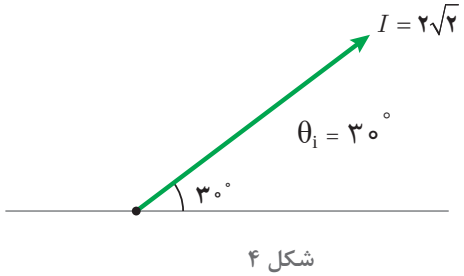
شکل ۲

نشان $\vec{A}$ برای معرفی برداری به‌نام A استفاده می‌شود و $\vec{A}$ به‌صورت «بردار A» خوانده می‌شود.
در شکل۲، $\vec{A}$ به مقدار ۵ واحد با زاویه $+37^\circ$ نشان داده شده است.



شکل ۳

می‌توان $\vec{A}$ را به‌صورت $A = 5\angle 37^\circ$ نشان داد که‌این شیوه نوشتن را «فرم قطبی[۴]» گویند. در فرم قطبی علاوه بر اندازه بردار، زاویه‌بردار با مبنا نیز بیان می‌شود.
در شکل۳، $\vec{B}$ نشان داده شده است.



شکل ۴

می‌توان $\vec{B}$ را به فرم قطبی $B = 5\angle -60^\circ$ نیز نوشت.
کمیت‌های الکتریکی متناوب نظیر ولتاژ، جریان و توان را نیز می‌توان با بردار نشان داد.
جریان متناوب سینوسی به معادله زمانی $i(t) = 2\sqrt{2}\sin(500t + 30^\circ)$ در شکل ۴ نشان داده شده است. در این شکل طول بردار بیانگر مقدار

۱ـVector
۲ـ Value
۳ـ phase
۴ـ Polar form

ماکزیمم جریان و زاویه‌بردار تا مبنا، فاز جریان را نشان می‌دهد.

مقدار مؤثر جریان برابر است با:

$$I_e = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 2\ [A]$$

فاز جریان برابر است با: $\theta_i = +30^\circ$

جریان متناوب $i(t)$ به فرم قطبی به‌صورت $I = 2\sqrt{2}\angle 30^\circ$ نوشته می‌شود.

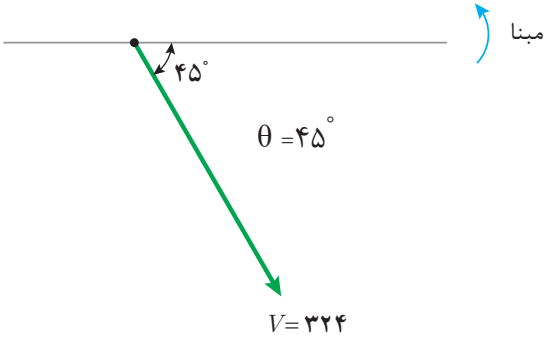
مثال

بردار ولتاژ متناوب سینوسی به معادله $v(t) = 324 \sin (1000t - 45^\circ)$ را رسم کنید و فرم قطبی آن را بنویسید.

حل:

فاز ولتاژ برابر است با: $\theta_V = -45^\circ$

مبنا را ترسیم می‌کنیم و جهت مثلثاتی را نشان می‌دهیم. با توجه به مقدار ماکزیمم و فاز بردار V ترسیم می‌شود (شکل ۵).



شکل ۵

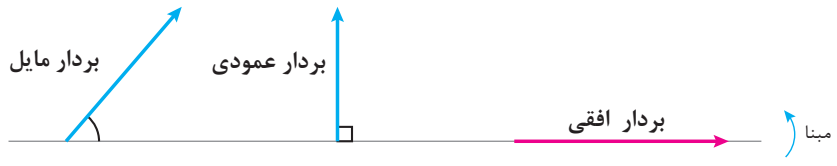
ولتاژ متناوب سینوسی $v(t)$ به فرم قطبی به‌صورت $V = 324\angle -45^\circ$ نوشته می‌شود.

مقدار مؤثر ولتاژ برابر است با: $\theta_V = -45^\circ$

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{324}{\sqrt{2}} = 231\ [V]$$

۲ـ۱ تجزیه‌بردار

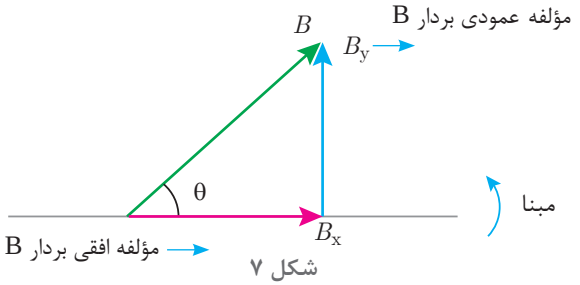
تجزیه‌بردار برای به‌دست آوردن مؤلفه‌های افقی و عمودی‌بردار مایل استفاده می‌شود. هر بردار با توجه به فاز آن به سه صورت افقی، عمودی و مایل رسم می‌شود (شکل ۶).



شکل ۶

برای به‌دست آوردن مؤلفه‌های افقی و عمودی بردار مایل لازم است از ابتدای بردار به‌صورت افقی و عمودی به انتهای بردار حرکت کنیم تا به شکل مثلث قائم‌الزاویه ایجاد شود.

مؤلفه‌های افقی و عمودی بردار مایل B در شکل ۷ ترسیم شده است.



شکل ۷

مقادیر مؤلفه‌های افقی و عمودی از نسبت‌های مثلثاتی به‌صورت زیر محاسبه خواهد شد.

$$\cos\theta = \frac{\text{ضلع مجاور زاویه}\theta}{\text{وتر}} \rightarrow \cos\theta = \frac{B_x}{B} \Rightarrow B_x = B\cos\theta$$

$$\sin\theta = \frac{\text{ضلع مقابل زاویه}\theta}{\text{وتر}} \rightarrow \sin\theta = \frac{B_y}{B} \Rightarrow B_y = B\sin\theta$$

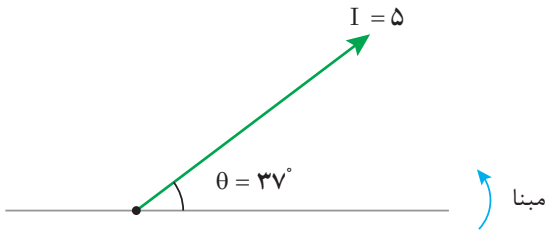
در مثلث قائم‌الزاویه‌بردارها، وتر مثلث قائم‌الزاویه برآیند مؤلفه‌های افقی و عمودی نامیده می‌شود.

مثال

بردار جریان $I = ۵\angle ۳۷^\circ$ را ترسیم کنید و مؤلفه‌های افقی و عمودی آن را محاسبه نمایید.

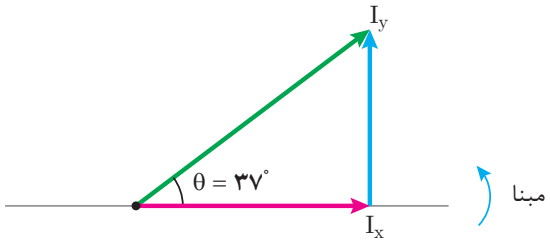
حل:

ابتدا مبنا و جهت مثلثاتی مشخص می‌شود و بردار I به مقدار ۵ آمپر و زاویه $+۳۷^\circ$ ترسیم خواهد شد (شکل۸).



شکل ۸

مؤلفه‌های افقی و عمودی بردار مایل I را ترسیم می‌نماییم تا مثلث قائم‌الزاویه شکل بگیرد مؤلفه افقی Ix و مؤلفه عمودی I_y نامیده می‌شود(شکل۹).



شکل ۹

با توجه به نسبت‌های مثلثاتی مقادیر I_x و I_y محاسبه خواهد شد.

$$\text{Cos}\theta = \frac{\text{ضلع مجاور زاویه } \theta}{\text{وتر}} \rightarrow \text{Cos}۳۷^\circ = \frac{I_x}{۵} \Rightarrow I_x = ۵\text{Cos}۳۷^\circ$$

$$I_x = ۵ \times ۰/۸ = ۴[A]$$

$$\text{Sin}\theta = \frac{\text{ضلع مقابل زاویه } \theta}{\text{وتر}} \rightarrow \text{Sin}۳۷^\circ = \frac{I_y}{۵} \Rightarrow I_y = ۵\text{Sin}۳۷^\circ$$

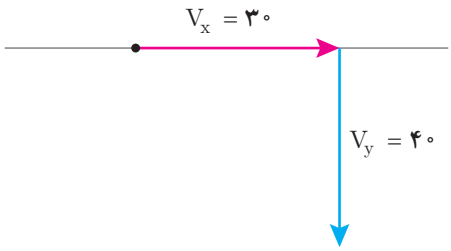
$$I_y = ۵ \times ۰/۶ = ۳[A]$$

مثال

مؤلفه‌های افقی و عمودی ولتاژ به ترتیب $+۳۰V$, $-۴۰V$ می‌باشد. مقدار و فاز بردار ولتاژ را به‌دست آورید و به فرم قطبی بنویسید.

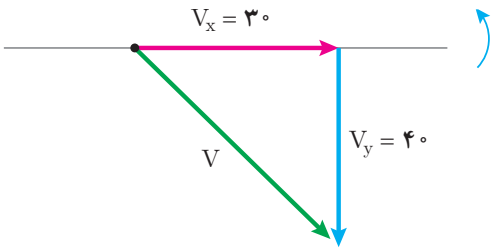
حل:

مؤلفه‌های افقی و عمودی ترسیم می‌شود (شکل ۱۰).



شکل ۱۰

با وصل ابتدای بردار مؤلفه افقی به انتهای مؤلفه عمودی وتر مثلث قائم‌الزاویه به‌دست می‌آید(شکل ۱۱).



شکل ۱۱

مقدار ولتاژ برابر اندازه وتر است و از رابطه فیثاغورث به‌دست می‌آید.

$$V = \sqrt{V_x^۲ + V_y^۲} = \sqrt{۳۰^۲ + ۴۰^۲} = ۵۰[v]$$

فاز ولتاژ برابر زاویه وتر تا مبنا می‌باشد و از نسبت‌های مثلثاتی قابل محاسبه است.

$$\text{Cos}\theta = \frac{\text{ضلع مجاور زاویه}\theta}{\text{وتر}} \rightarrow \text{Cos}\theta = \frac{V_x}{V}$$

$$\text{Cos}\theta = \frac{۳۰}{۵۰} = ۰/۶$$

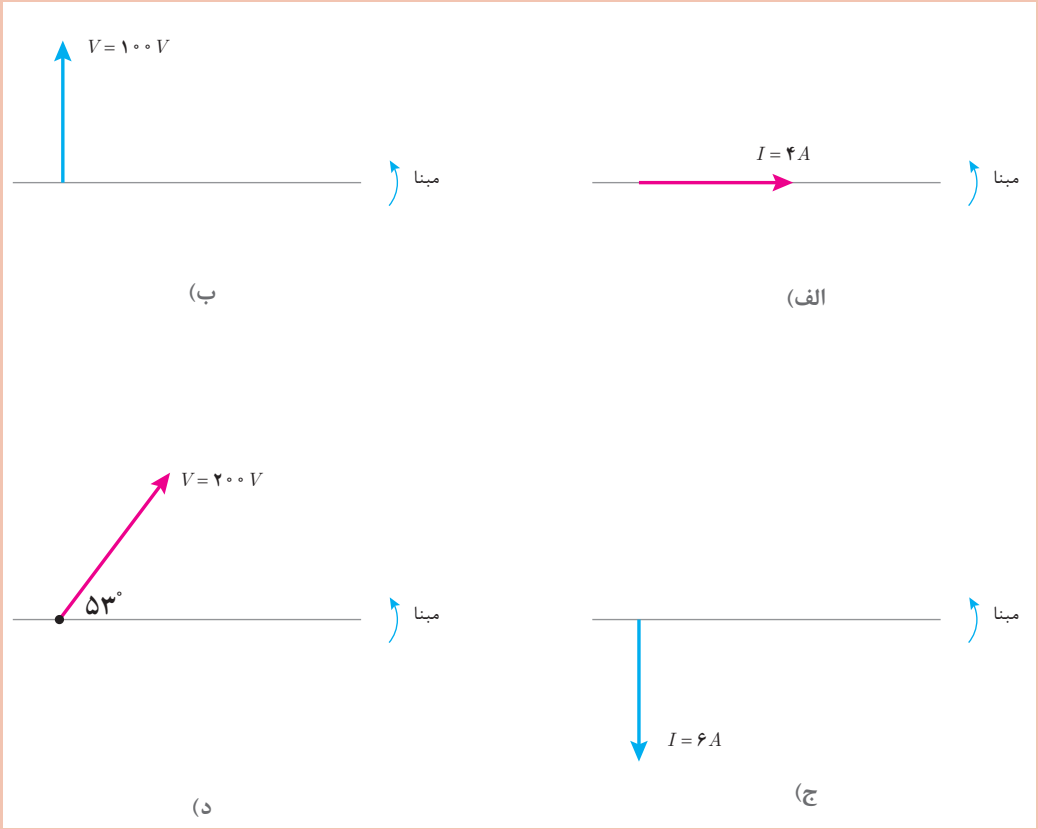
$$\text{Cos}^{-۱}(۰/۶) = ۵۳^\circ$$

چون فاز بردار V در خلاف جهت مثلثاتی است لذا با علامت منفی به‌صورت $\theta_V = -۵۳$ نوشته می‌شود و فرم قطبی ولتاژ خواهد شد.

$$V = ۵۰ \angle -۵۳^\circ$$

تمرین

۱ـ فرم قطبی بردارهای نمایش داده شده زیر را بنویسید.



۲ـ بردارهای ولتاژ و جریان زیر را رسم کنید.

الف) $I = ۵ \angle +۳۰^\circ$

ب) $V = ۱۵۰ \angle -۶۰^\circ$

ج) $V = ۱۰۰ \angle +۱۳۵^\circ$

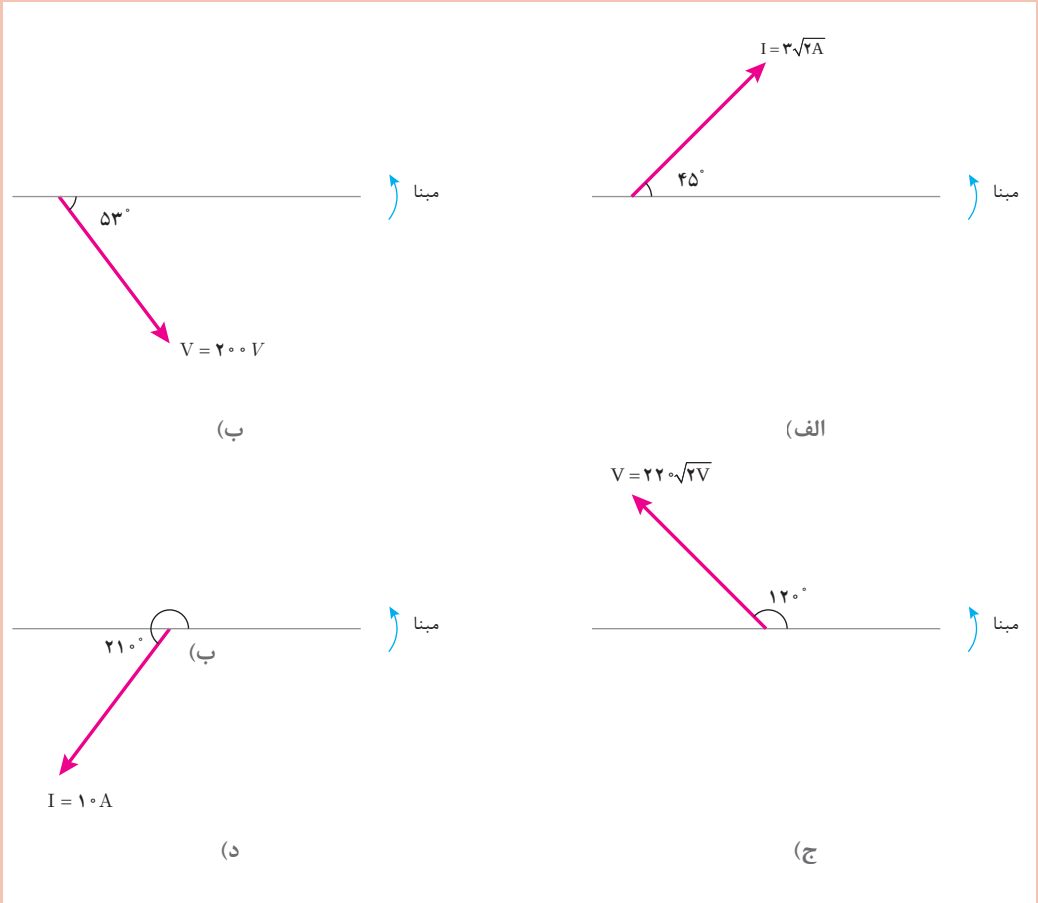
د) $I = ۲ \angle +۱۸۰^\circ$

۳ـ معادله‌های زمانی جریان و ولتاژ متناوب سینوسی زیر را به‌صورت بردار نمایش دهید و فرم قطبی آنها را بنویسید.

الف) $i(t) = ۳\sin(۵۰۰t - \frac{\pi}{۶})$ ب) $v(t) = ۲۲۰\sin(۳۱۴t + ۳۰^\circ)$

ج) $i(t) = \sin(۲۵۰t)$ د) $v(t) = ۱۰۰\sin(۱۰۰۰t - \frac{\pi}{۲})$

۴ـ مؤلفه افقی و عمودی بردارهای زیر را به‌دست آورید.



۵ـ مؤلفه‌های افقی و عمودی جریان متناوبی به ترتیب $-۸A$ و $۶A$ می‌باشد مقدار و فاز جریان را به‌دست آورید و به فرم قطبی بنویسید.

۶ـ برای یک ولتاژ متناوب $۲۰۰V$ مقدار $V_x = ۱۰۰\sqrt{۳}$ ولت می‌باشد. مؤلفه V_y را به‌دست آورید و فرم قطبی بردار ولتاژ را بنویسید.

۳ـ۱ـ برآیند بردارها

برآیند بردارها در تحلیل مدارهای الکتریکی متناوب برای جمع کمیت‌های الکتریکی هم‌واحد مانند جریان ولتاژ و توان و... به‌کار می‌رود. عملیات جمع بردارها با توجه به مقدار و فاز بردار صورت می‌گیرد.
برای این عملیات دو روش تحلیلی و هندسی ارائه شده است.

الف)روش تحلیلی:

روش تحلیلی برای جمع چندین بردار به‌کار می‌رود. در این روش هر یک از بردارهای مایل به مؤلفه‌های افقی و عمودی تجزیه می‌شود. از جمع جبری یکایک مؤلفه‌های افقی«مجموع مؤلفه‌های افقی » به‌دست می‌آید. با توجه به علامت به‌صورت افقی ترسیم خواهد شد. همچنین «مجموع مؤلفه‌های عمودی » که از جمع جبری تک‌تک مؤلفه‌های عمودی به‌دست می‌آید با توجه به علامت به‌صورت عمودی از انتهای «مجموع مؤلفه‌های افقی» ترسیم می‌شود.
اکنون با وصل ابتدای «مجموع مؤلفه‌های افقی » به انتهای «مجموع مؤلفه‌های عمودی » وتر مثلث قائم‌الزاویه به‌دست می‌آید. وتر مثلث قائم‌الزاویه برآیند بردارها می‌باشد.
برآیند بردارها جایگزین چندین بردار خواهد شد و از رابطه فیثاغورث به‌دست می‌آید.

مثال

برآیند بردارهای شکل ۱۲ را به روش تحلیلی به‌دست آورید.



شکل ۱۲

حل:

مؤلفه‌های افقی و عمودی بردارهای $I_۲$, $I_۱$ مطابق شکل ۱۳ ترسیم می‌شود.



شکل ۱۳

مقادیر مؤلفه‌های افقی و عمودی محاسبه می‌شود.

$I_{۱x} = I_۱ \cos\theta_۱ = ۳\cos ۳۷° = +۲/۴$
$I_{۱y} = I_۱ \sin\theta_۱ = ۳\sin ۳۷° = +۱/۸$
$I_{۲x} = I_۲ \cos\theta_۲ = ۳\cos ۵۳° = -۱/۸$
$I_{۲y} = I_۲ \sin\theta_۲ = ۳\sin ۵۳° = +۲/۴$

علامت (+) بیانگر این است که مؤلفه‌ها در جهت محورهای دستگاه مختصات قرار دارند و علامت (−) بیانگر این است که مؤلفه‌ها در خلاف جهت محورهای دستگاه مختصات قرار دارند.

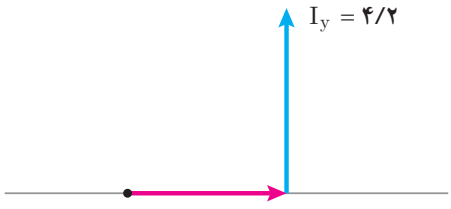
«مجموع مؤلفه‌های عمودی » با I_x نشان داده شده است که از جمع جبری یکایک مؤلفه‌های افقی به‌دست می‌آید.

$$I_x=I_{1x}+I_{2x}=+2/4+(-1/8)=+0/6$$

«مجموع مؤلفه‌های عمودی » با I_y نشان داده شده است که از جمع جبری یکایک مؤلفه‌های عمودی به‌دست می‌آید.

$$I_y=I_{1y}+I_{2y}=+1/8+2/4=+4/2$$

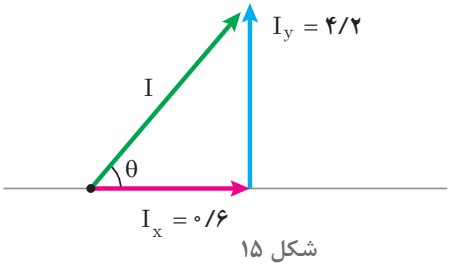
I_x با توجه به علامت (+) به‌صورت افقی در جهت محور x دستگاه مختصات و I_y با توجه به علامت (+) نیز به‌صورت عمودی در جهت محور y دستگاه مختصات از انتهای I_x ترسیم می‌شود (شکل۱۴).



مبنا

شکل ۱۴

اکنون با وصل ابتدای I_x به انتهای I_y وتر مثلث قائم‌الزاویه یا برآیند رسم می‌شود (شکل۱۵).



مبنا

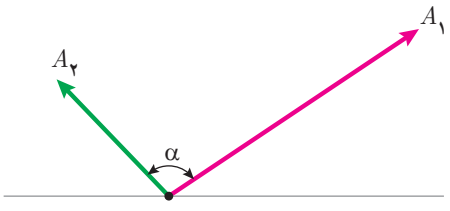
شکل ۱۵

I برآیند بردارهای I_1, I_2 از رابطه فیثاغورث به‌دست می‌آید.

$$I=\sqrt{I_x^2+I_y^2}=\sqrt{0/6^2+4/2^2}=4/24[A]$$

ب) روش هندسی:

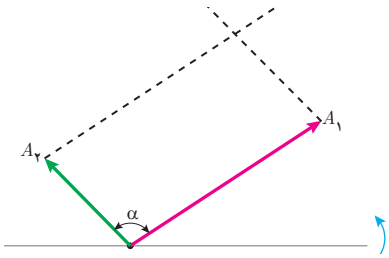
روش هندسی برای جمع دو بردار به‌کار می‌رود. دو بردار A_1 , A_2 که با یکدیگر زاویه α می‌سازند در نظر است (شکل ۱۶).



مبنا

شکل ۱۶

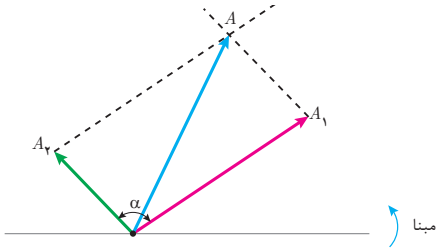
برای ترسیم برآیند بردارهای A_1 , A_2 از انتهای بردار A_1 به موازات بردار A_2 خطچین ترسیم می‌شود. همچنین از انتهای بردار A_2 به موازات بردار A_1 خطچین ترسیم می‌شود (شکل۱۷).



مبنا

شکل ۱۷

بردار برآیند A از ابتدای بردارهای $A_۲$, $A_۱$ به محل تقاطع دو خط چین ترسیم می‌شود (شکل ۱۸).
مقدار برآیند از رابطه زیر به‌دست می‌آید.



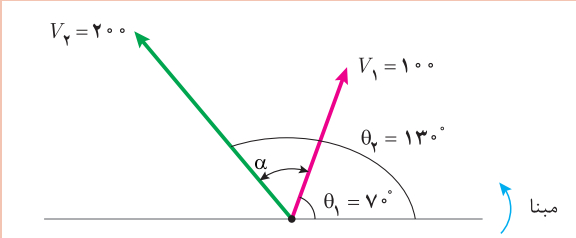
شکل ۱۸

$$A=\sqrt{A_۱^۲+A_۲^۲+۲A_۱A_۲\cos\alpha}$$

که در این رابطه
A مقدار بردار برآیند دو بردار
$A_۱$ مقدار بردار اول
$A_۲$ مقدار بردار دوم
α زاویه بین بردار $A_۱$ با $A_۲$ است.

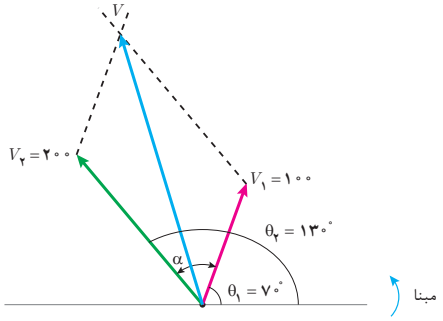
مثال

برآیند دو بردار ولتاژ $V_۱=۱۰۰\angle+۷۰^\circ$ و $V_۲=۲۰۰\angle+۱۳۰^\circ$ را به روش هندسی به‌دست آورید (شکل ۱۹).



شکل ۱۹

حل:
بردارهای $V_۱$ و $V_۲$ ترسیم می‌شود.
V برآیند بردارهای $V_۱$ و $V_۲$ ترسیم می‌شود (شکل ۲۰).



شکل ۲۰

α زاویه بین دو بردار $V_۱$ و $V_۲$ محاسبه می‌شود.

$$\alpha=\theta_۲-\theta_۱=۱۳۰-۷۰=۶۰^\circ$$

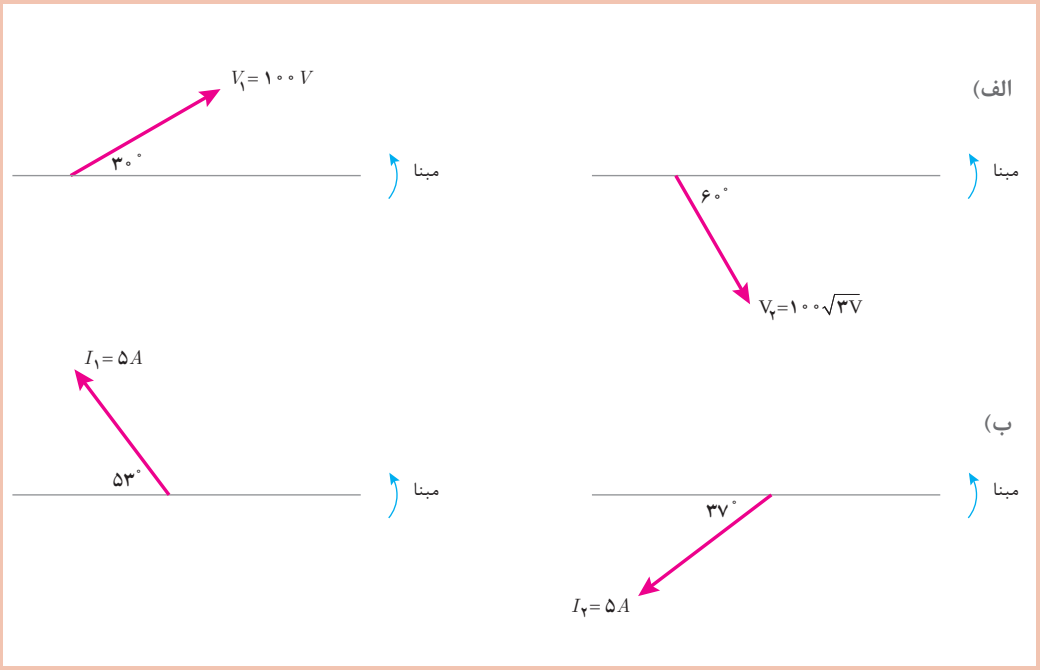
V برآیند بین دو بردار $V_۱$ و $V_۲$ محاسبه می‌شود.

$$V=\sqrt{V_۱^۲+V_۲^۲+۲V_۱V_۲\cos\alpha}$$

$$V=\sqrt{۱۰۰^۲+۲۰۰^۲+۲(۱۰۰)(۲۰۰)\cos۶۰^\circ}=۲۶۴/۵۷[V]$$

تمرین

۱ـ برآیند بردارها را در هر قسمت به روش تحلیلی محاسبه کنید و آن را به فرم قطبی بنویسید.

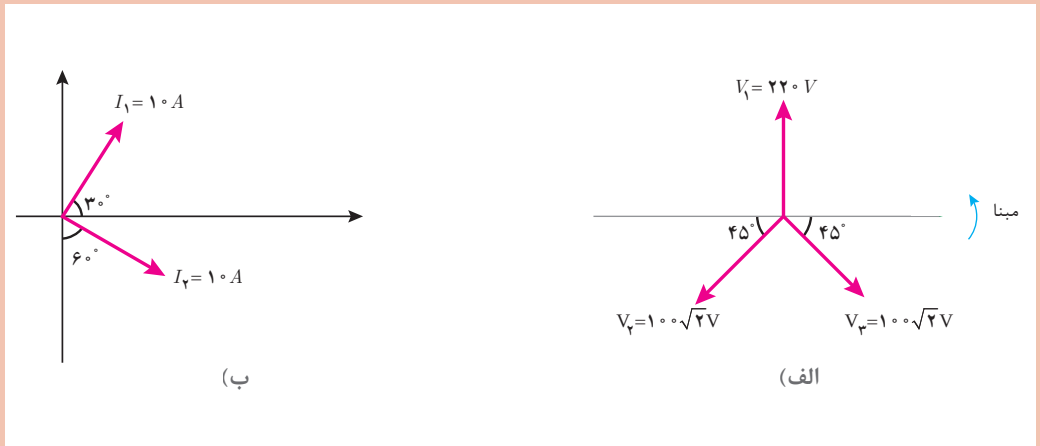


۲ـ بردارهای ولتاژ و جریان داده شده زیر را رسم کنید سپس برآیند آنها را به روش تحلیلی بیابید.

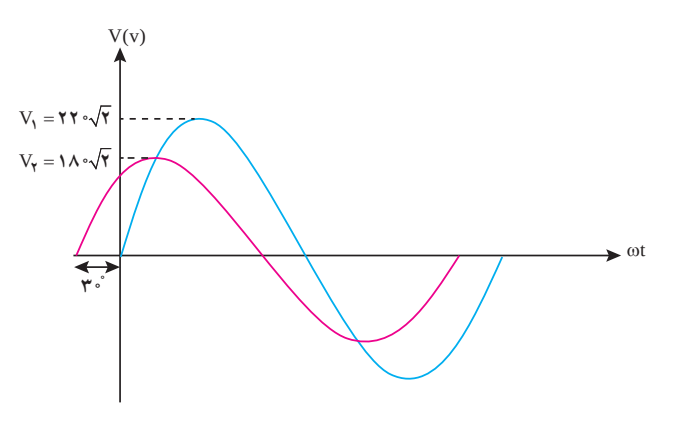
الف) $V_۱=۱۰۰\angle ۰$ و $V_۲=۱۰۰\angle +۱۲۰$ و $V_۳=۱۰۰\angle -۱۲۰$

ب) $I_۱=۵\angle +۴۵$ و $I_۲=۵\angle +۱۳۵$ و $I_۳=۵\angle -۹۰$

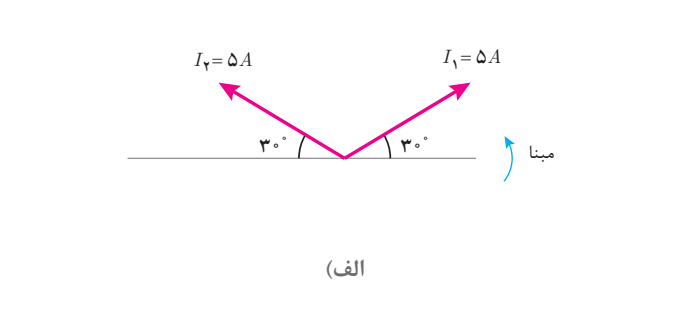
۳ـ در هر یک از شکل‌های زیر برآیند بردارها را به روش تحلیلی محاسبه کنید.



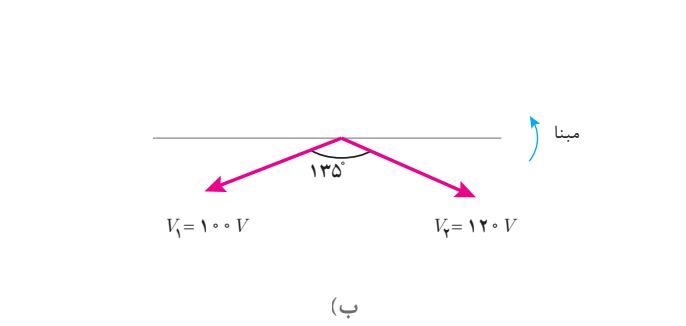
۴ـ شکل موج سینوسی دو ولتاژ متناوب به‌صورت زیر است، فرم قطبی هر کدام را بنویسید سپس برآیند آنها را محاسبه کنید.



۵ـ برآیند بردارهای زیر را به روش هندسی محاسبه نمایید.



الف)



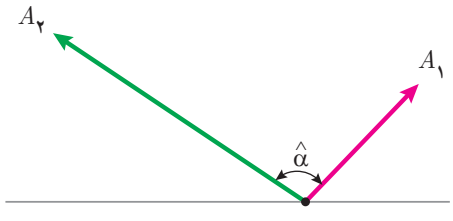
ب)

۶ـ برآیند دو بردار $I_۱ = ۴A$ و $I_۲ = ۳A$ برابر $I = ۵A$ می‌باشد. زاویه بین دو بردار $I_۱$ و $I_۲$ چند درجه است؟

۷ـ برآیند دو بردار $V_۱ = ۲۰۰\angle ۳۰^\circ$ و $V_۲ = ۲۰۰\sqrt{۳}V$ برابر $V = ۴۰۰V$ می‌باشد. زاویه بین دو بردار $V_۱$ و $V_۲$ را به‌دست آورید. $V_۲$ را به فرم قطبی بنویسید. بردار $V_۲$ چند حالت خواهد داشت؟

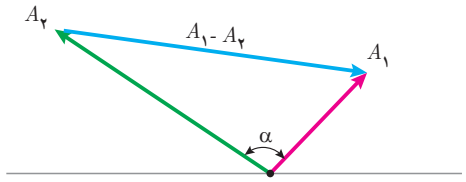
۴ـ۱ـ تفاضل دو بردار

تفاضل دو بردار در تحلیل مدارهای الکتریکی برای تفریق کمیت‌های الکتریکی هم واحد مانند جریان، ولتاژ و توان ... به‌کار می‌رود. عملیات تفریق بین دو بردار از روش هندسی انجام می‌گیرد. دو بردار $A_۱, A_۲$ که با یکدیگر زاویه α می‌سازند در نظر است (شکل ۲۱)



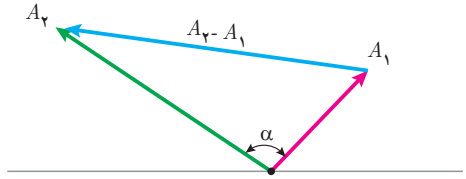
شکل ۲۱

تفاضل بردارهای $\overrightarrow{A_۱} - \overrightarrow{A_۲}$ از انتهای بردار $A_۲$ به انتهای بردار $A_۱$ ترسیم می‌شوند. (شکل ۲۲)



شکل ۲۲

و تفاضل بردارهای $\overrightarrow{A_۲} - \overrightarrow{A_۱}$ از انتهای بردار $A_۱$ به انتهای بردار $A_۲$ ترسیم می‌شود (شکل ۲۳).



شکل ۲۳

تفاضل بردارهای $\overrightarrow{A_۱} - \overrightarrow{A_۲}$ و یا $\overrightarrow{A_۲} - \overrightarrow{A_۱}$ را با A' نشان می‌دهند و مقدار A' از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$A' = \sqrt{A_۱^۲ + A_۲^۲ - ۲A_۱A_۲ \cos\alpha}$$

که در این رابطه:

A' مقدار تفاضل دو بردار

$A_۱$ مقدار بردار اول

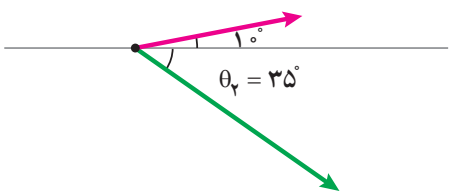
$A_۲$ مقدار بردار دوم

α زاویه بین بردار $A_۱$, $A_۲$ می‌باشد.

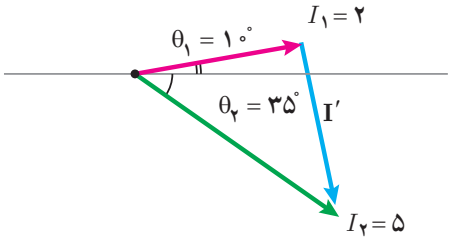
مثال

تفاضل دو بردار جریان $I_۱ = ۲\angle ۱۰^\circ$ و $I_۲ = ۵\angle -۳۵^\circ$ به روش هندسی را به‌دست آورید و $\overrightarrow{I_۱} - \overrightarrow{I_۲}$ را رسم کنید.

حل: بردارهای $I_۱$, $I_۲$ ترسیم می‌شود (شکل ۲۴).



شکل ۲۴



شکل ۲۵

I' تفاضل بردارهای $\vec{I_1} - \vec{I_2}$ ترسیم می‌شود (شکل ۲۵).

زاویه بین دو بردار I_1 , I_2 محاسبه می‌شود.

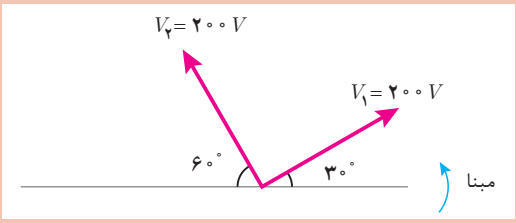
$$\alpha = \theta_1 - \theta_2 = ۱۰ + ۳۵ = ۴۵^\circ$$

I' تفاضل بین دو بردار I_1 , I_2 محاسبه می‌شود.

$$I' = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 - ۲I_1 I_2 \cos\alpha}$$

$$I' = \sqrt{۳^2 + ۵^2 - ۲(۲)(۵)\cos ۴۵^\circ} = ۳/۸۶ [A]$$

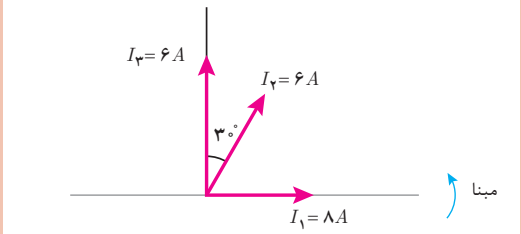
تمرین



۱ـ در شکل روبه‌رو اندازه بردار $\vec{V_1} - \vec{V_2}$ را محاسبه کنید و بردار آن را رسم کنید.

۲ـ درستی یا نادرستی هر قسمت را مشخص کنید (I_1 و I_2 بردارهای جریان هستند).

	صحیح	غلط
الف) اندازهٔ $\vec{I_2} - \vec{I_1}$ و $\vec{I_1} - \vec{I_2}$ با هم برابر است.	☐	☐
ب) بردار $\vec{I_2} - \vec{I_1}$ و $\vec{I_1} - \vec{I_2}$ هم جهت هستند.	☐	☐
ج) اندازه بردار $\vec{I_1} - \vec{I_2}$ حتماً از I_1 و I_2 کمتر است.	☐	☐
د) با افزایش زاویه بین دو بردار I_1 و I_2 اندازه $I_2 - I_1$ کاهش می‌یابد.	☐	☐



۳ـ با توجه به شکل روبه‌رو مطلوب است:

الف) $\vec{I_2} - \vec{I_3}$

ب) $\vec{I_3} - \vec{I_1}$

ج) $\vec{I_1} - \vec{I_2}$

۴ـ ولتاژهای متناوب $v_1(t) = ۲۰۰\sqrt{۲}\sin(۱۰۰۰t)$ و $v_2(t) = ۱۵۰\sqrt{۲}\sin(۱۰۰۰t - \frac{\pi}{۶})$ مفروض است مطلوب است:

الف) بردارهای ولتاژ را رسم کنید.

ب) اندازه تفاضل آنها را بیابید.

ج) تفاضل $\vec{V_2} - \vec{V_1}$ را رسم کنید.

۵ـ برآیند دو بردار جریان $I_1=3A$ و $I_2=4A$ برابر $5A$ می‌باشد. تفاضل آنها را به‌دست آورید.

۶ـ در هر حالت مورد خواسته شده را به‌دست آورید.

الف) $I'=?$, $I_2=4\angle 120^\circ$ و $I_1=4\angle 0$

ب) $\alpha=60$, $I'=6$, $I_2=?$ و $I_1=6A$ (زاویه بین دو بردار I_1 و I_2)

ج) $\alpha=?$, $I'=5\sqrt{3}$, $I_2=5A$ و $I_1=5A$

د) $\frac{I'}{I}=?$, $\alpha=60^\circ$ و $I_1=I_2$

۷ـ برآیند دو بردار $I_1=8\angle 0$ و I_2 برابر $I=6\angle 90$ می‌باشد. مطلوب است محاسبه مقدار I_2 و زاویه بین دو بردار I_2 و I_1.

۵ـ۱ـ توان الکتریکی در جریان متناوب

توان الکتریکی در جریان متناوب از حاصل ضرب بردار ولتاژ $V\angle\theta_v$ در بردار جریان $I\angle\theta_i$ به دست می‌آید و به سه شکل توان مؤثر و غیرمؤثر و ظاهری قابل اندازه‌گیری و محاسبه می‌باشند.

مقداری از انرژی الکتریکی که در واحد زمان به کار الکتریکی تبدیل می‌شود را «توان مؤثر » گویند و واحد آن وات است و از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$P = V_e I_e \cos\varphi$$

در این رابطه:

P توان مؤثر [W]

V_e توان مؤثر [V]

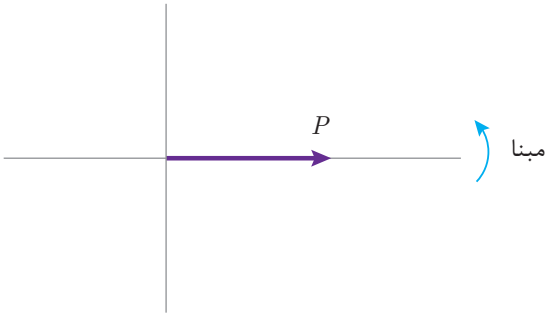
I_e توان مؤثر [A]

φ زاویه بین فاز ولتاژ با فاز جریان است.

φ از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\varphi = \theta_v - \theta_i$$

توان مؤثر با یک بردار افقی در جهت مثبت محور xها نشان داده می‌شود (شکل ۲۶).



شکل ۲۶

مقداری از انرژی الکتریکی که در واحد زمان ذخیره می‌شود وکارالکتریکی انجام نمی‌دهد را «توان غیر مؤثر» گویند و واحد آن ولت آمپر راکتیو است و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Q = V_e I_e \sin\varphi$$

در این رابطه

Q توان غیر مؤثر [VAR]

V_e ولتاژ مؤثر [V]

I_e جریان مؤثر [A]

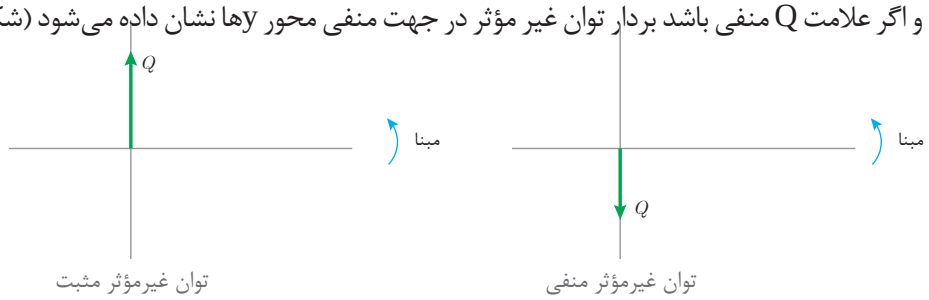
φ زاویه بین فاز ولتاژ با فاز جریان است.

φ از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\varphi = \theta_v - \theta_i$$

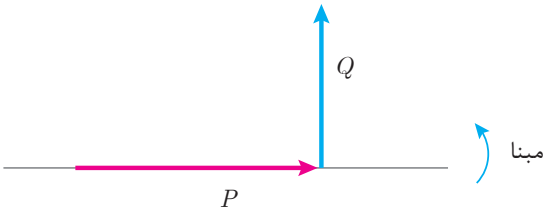
در مدارهای پس فاز، زاویه اختلاف فاز φ مقداری مثبت است لذا علامت Q مثبت خواهد شد اما در مدارهای پیش فاز، زاویه اختلاف فاز φ مقداری منفی است لذا علامت Q منفی خواهد شد.

توان غیرمؤثر با یک بردار عمودی نشان داده می‌شود. اگر علامت Q مثبت باشد بردار توان غیرمؤثر در جهت مثبت محور yها و اگر علامت Q منفی باشد بردار توان غیر مؤثر در جهت منفی محور yها نشان داده می‌شود (شکل ۲۷).



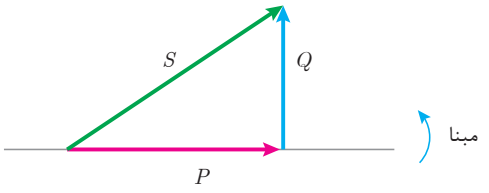
شکل ۲۷

در مدارهای پس‌فاز بردار توان مؤثر p به صورت افقی در جهت مثبت محور xها و بردار توان غیرمؤثر Q عمودی در جهت مثبت محور yها ترسیم می‌شود (شکل ۲۸).



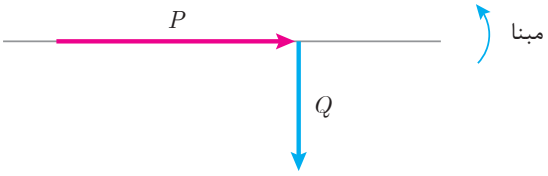
شکل ۲۸

توان ظاهری برآیند بردار P و Q می‌باشد. برای ترسیم برآیند بردارهای P و Q کافی است از ابتدای بردار P به انتهای بردار Q وصل شود تا مثلث قائم‌الزاویه شکل گیرد. این مثلث، مثلث توان پس فاز نامیده می‌شود که وتر آن بردار توان ظاهری است (شکل ۲۹).



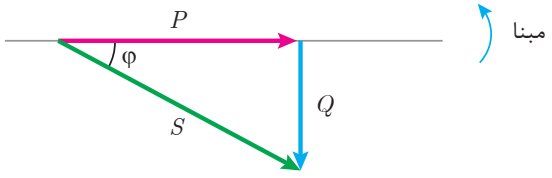
شکل ۲۹

در مدارهای پیش فاز بردار توان P به صورت افقی در جهت مثبت محور xها و بردار توان غیرمؤثر Q عمودی در جهت منفی محور yها ترسیم می‌شود. (شکل ۳۰)



شکل ۳۰

توان ظاهری برآیند بردار P و Q می‌باشد. با ترسیم برآیند بردارهای P و Q مثلث توان پیش فاز شکل می‌گیرد. (شکل ۳۱)



شکل ۳۱

در مثلث توان زاویه بردار توان ظاهری همان φ می‌باشد. فرم قطبی بردار توان ظاهری به‌صورت $S\angle\varphi$ است.

در مثلث توان نسبت‌های مثلثاتی زیر را می‌توان نوشت:

$$\cos\varphi = \frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}} = \frac{P}{S}$$

$$\sin\varphi = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{وتر}} = \frac{Q}{S}$$

$$\tan\varphi = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{ضلع مجاور}} = \frac{Q}{P}$$

که در این روابط:

$\cos\varphi$ ضریب توان مؤثر

$\sin\varphi$ ضریب توان غیرمؤثر

$\tan\varphi$ ضریب کیفیت می‌باشد.

در مثلث توان مقدار بردار توان ظاهری از رابطه فیثاغورث قابل محاسبه است.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

اگر در رابطه توان ظاهری $V_e I_e \cos\varphi$ به‌جای P و $V_e I_e \sin\varphi$ به‌جای Q جای‌گذاری شود می‌توان نوشت:

$$S = \sqrt{(V_e I_e \cos\varphi)^2 + (V_e I_e \sin\varphi)^2}$$

با به توان رساندن می‌توان نوشت:

$$S = \sqrt{V_e^2 I_e^2 \cos^2\varphi + V_e^2 I_e^2 \sin^2\varphi}$$

فاکتورگیری از $V_e^2 I_e^2$:

$$S = \sqrt{V_e^2 I_e^2 (\cos^2\varphi + \sin^2\varphi)}$$

از اتحاد مثلثاتی $\cos^2\varphi + \sin^2\varphi = 1$ استفاده می‌شود:

$$S = \sqrt{V_e^2 I_e^2}$$

$$S = V_e I_e$$

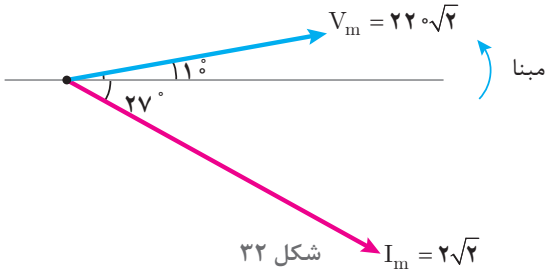
این رابطه نشان می‌دهد مقدار توان ظاهری از حاصل ضرب ولتاژ مؤثر در جریان مؤثر قابل محاسبه است.

مثال

معادلات زمانی ولتاژ و جریان یک مدار الکتریکی به‌صورت $v(t) = 220\sqrt{2}\sin(1000t + 10)$ و $i(t) = 2\sqrt{2}\sin(1000t - 27)$ می‌باشد.

توان‌های مدار را محاسبه کنید و مثلث توان آن را رسم نمایید.

حل: بردارهای ولتاژ و جریان ترسیم می‌شود (شکل ۳۲):



شکل ۳۲

مقادیر مؤثر ولتاژ و جریان محاسبه می‌شود:

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{220\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 220[V]$$

$$I_e = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 2\,[A]$$

زاویه اختلاف فاز محاسبه می‌شود:

$$\varphi = \theta_v - \theta_i = 10 - (-27) = +37^\circ$$

زاویه φ مثبت شده است و نشان می‌دهد مدار پس فاز می‌باشد که این موضوع در شکل نیز مشخص می‌باشد.

توان مؤثر محاسبه می‌شود:

$$P = V_e I_e \cos\varphi = 220 \times 2 \times \cos 37^\circ = 352[w]$$

توان غیر مؤثر محاسبه می‌شود:

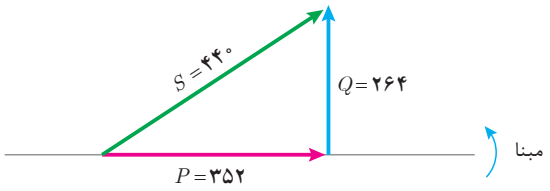
$$Q = V_e I_e \sin\varphi = 220 \times 2 \times \sin 37^\circ = +264[VAR]$$

چون φ مثبت است مدار پس‌فاز است لذا Q مثبت در نظر گرفته می‌شود.

توان ظاهری محاسبه می‌شود.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{352^2 + 264^2} = 440[VA]$$

مثلث توان ترسیم می‌شود (شکل ۳۳).



شکل ۳۳

مثال

یک مصرف‌کننده الکتریکی پیش فاز با توان مؤثر ۶۰w و توان ظاهری ۱۰۰VA با ولتاژ $V = 220\sqrt{2}\angle 0$ در نظر است

مطلوب است:

الف) توان غیرمؤثر

ب) جریان مصرف‌کننده

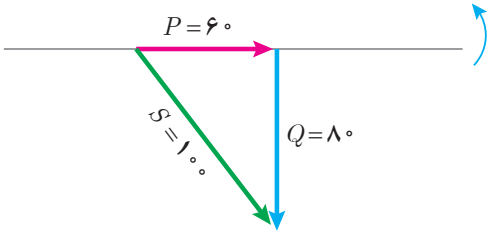
ج) رسم بردارهای جریان و ولتاژ

حل:

الف) از رابطه توان ظاهری، توان غیرمؤثر محاسبه می‌شود:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{۱۰۰^2 - ۶۰^2} = ۸۰[VAR]$$



شکل ۳۴

مبنا چون مصرف‌کننده از نوع پیش فاز است توان غیرمؤثر منفی در نظر گرفته می‌شود یعنی $Q = -۸۰$ و مثلث توان ترسیم خواهد شد (شکل ۳۴).

از رابطه توان ظاهری مقدار جریان مؤثر محاسبه می‌شود:

$$S = V_e I_e$$

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{۲}} = ۲۲۰[V]$$

$$I_e = \frac{S}{V_e} = \frac{۱۰۰}{۲۲۰} = ۰/۴۵[A]$$

$$I_m = I_e\sqrt{۲} = ۰/۶۳\ [A]$$

از مثلث توان $\cos\varphi$ محاسبه می‌شود.

$$\cos\varphi = \frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}}$$

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{۶۰}{۱۰۰} = ۰/۶$$

$$\cos^{-۱}(۰/۶) = ۵۳^\circ$$

مصرف‌کننده پیش فاز است و علامت φ منفی خواهد شد:

$$\varphi = -۵۳^\circ$$

از رابطه زاویه اختلاف فاز φ مقدار θ_i محاسبه می‌شود:

$$\varphi = \theta_v - \theta_i$$

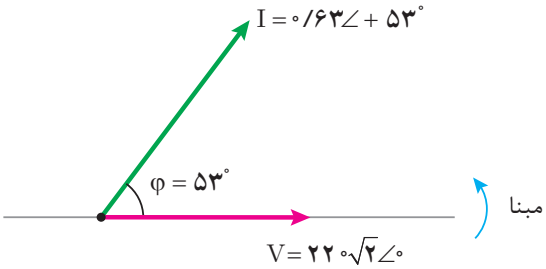
$$-۵۳ = ۰ - \theta_i$$

$$\theta_i = +۵۳^\circ$$

فرم قطبی بردار جریان و ولتاژ مطابق شکل ۳۵ خواهد شد:

$$V = ۲۲۰\sqrt{۲}\angle ۰$$

$$I = ۰/۶۳ \angle ۵۳$$



شکل ۳۵

۶ـ۱ـ توان ظاهری بار شبکه الکتریکی

توان ظاهری بار شبکه الکتریکی شامل چندین مصرف‌کننده، از برآیند مجموع توان‌های مؤثر و غیرمؤثر هر مصرف‌کننده به‌دست می‌آید. برای این منظور با تحلیل هر مصرف‌کننده توان مؤثر و غیرمؤثر محاسبه می‌شود سپس توان‌های مؤثر مصرف‌کننده با یکدیگر جمع می‌شوند تا «توان مؤثر شبکه P» به‌دست آید:

$$P = P_1 + P_2 + \cdots P_n \ [w]$$

P توان مؤثربار شبکه

P_1 توان مؤثر مصرف‌کننده اول

P_2 توان مؤثر مصرف‌کننده دوم

P_n توان مؤثر مصرف‌کننده nام

همچنین توان‌های غیرمؤثر مصرف‌کننده با توجه به پس‌فاز یا پیش‌فاز بودن و با رعایت علامت جبری با یکدیگر جمع می‌شوند تا «توان غیرمؤثر بار شبکه Q» به‌دست آید:

$$Q = Q_1 + Q_2 + \cdots Q_n \ [VAR]$$

Q توان غیرمؤثر شبکه

Q_1 توان غیرمؤثر مصرف‌کننده اول

Q_2 توان غیرمؤثر مصرف‌کننده دوم

Q_n توان غیرمؤثر مصرف‌کننده nام

با توجه به مقادیر P و Q و رعایت علامت جبری Q که ناشی از پس فاز یا پیش فاز بودن شبکه است بردارهای P و Q و برآیند آنها S ترسیم می‌شود تا مثلث توان به‌دست آید و از رابطه فیثاغورث مقدار توان ظاهری بار شبکه S و از نسبت‌های مثلثاتی ضریب توان مؤثر بار شبکه محاسبه می‌شود.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}$$

مثال

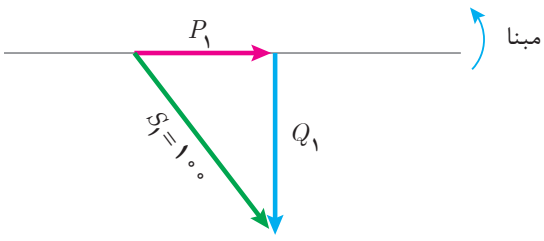
شبکه الکتریکی شامل دو مصرف‌کننده با مشخصات زیر در نظر است:

پیش‌فاز، $\cos\varphi_1 = ۰/۶$ ، ۱۰۰ [VA] مصرف‌کننده اول

پس‌فاز، $\cos\varphi_2 = ۰/۸$ ، ۲۰۰ [VA] مصرف‌کننده دوم

توان ظاهری کل و ضریب توان مؤثر بار شبکه را به‌دست آورید.

حل: مصرف‌کننده اول پیش‌فاز است. توان غیرمؤثر منفی در نظر گرفته می‌شود و مثلث توان مطابق شکل ۳۶ ترسیم خواهد شد:



شکل ۳۶

$$\cos\varphi_۱ = \frac{P_۱}{S_۱} \rightarrow P_۱ = S_۱ \cos\varphi_۱$$

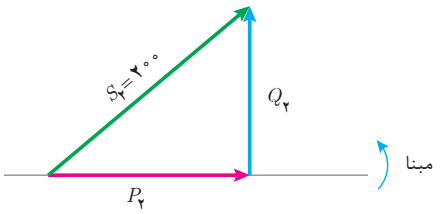
$$P_۱ = ۱۰۰ \times ۰/۶ = ۶۰ \ [w]$$

$$\sin\varphi_۱ = \frac{Q_۱}{S_۱} \rightarrow Q_۱ = S_۱ \sin\varphi_۱$$

$$Q_۱ = ۱۰۰ \times ۰/۸ = ۸۰ \ [VAR]$$

چون مصرف‌کننده اول از نوع پیش‌فاز است لذا $Q = -۸۰$ خواهد شد.

مصرف‌کننده دوم پس‌فاز است توان غیرمؤثر مثبت در نظر گرفته می‌شود و مثلث توان ترسیم خواهد شد (شکل ۳۷).



شکل ۳۷

$$\cos\varphi_۲ = \frac{P_۲}{S_۲} \rightarrow P_۲ = S_۲ \cos\varphi_۲$$

$$P_۲ = ۲۰۰ \times ۰/۸ = ۱۶۰ \ [w]$$

$$\sin\varphi_۲ = \frac{Q_۲}{S_۲} \rightarrow Q_۲ = S_۲ \sin\varphi_۲$$

$$Q_۲ = ۲۰۰ \times ۰/۶ = +۱۲۰ \ [VAR]$$

توان مؤثر بار شبکه از مجموع توان مؤثر مصرف‌کننده‌های اول و دوم به‌دست می‌آید.

$$P = P_۱ + P_۲$$

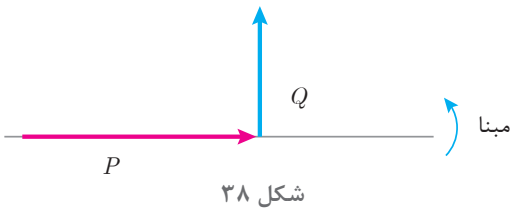
$$P = ۶۰ + ۱۶۰ = ۲۲۰ \ [w]$$

توان غیرمؤثر بار شبکه از مجموع توان غیرمؤثر مصرف‌کننده‌های اول و دوم با رعایت علامت جبری به‌دست می‌آید.

$$Q = Q_۱ + Q_۲$$

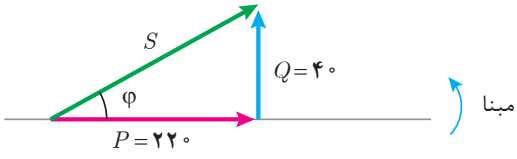
$$Q = (-۸۰) + (+۱۲۰) = +۴۰ \ [VAR]$$

بردارهای P و Q ترسیم می‌شود (شکل ۳۸).



شکل ۳۸

بردار توان ظاهری برآیند بردارهای P و Q ترسیم می‌شود (شکل ۳۹).



شکل ۳۹

از رابطه فیثاغورث مقدار توان ظاهری S به‌دست می‌آید:

$$S=\sqrt{P^{۲}+Q^{۲}}$$

$$S=\sqrt{(۲۲۰)^{۲}+(۴۰)^{۲}}=۲۲۳/۶[VA]$$

ضریب توان مؤثر شبکه از نسبت مثلثاتی کسینوس به‌دست می‌آید.

$$\cos\varphi=\frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}}$$

$$\cos\varphi=\frac{P}{S}=\frac{۲۲۰}{۲۲۳/۶}=۰/۹۸$$

$$\cos^{-۱}(۰/۹۸)=۱۱/۴۸^{\circ}$$

توان غیرمؤثر بار شبکه مثبت شده است. لذا بار شبکه پس‌فاز می‌باشد و علامت φ مثبت خواهد شد:

$$\varphi=۱۱/۴۸^{\circ}$$

فرم قطبی بردارهای توان بار شبکه خواهد شد.

$$S=۲۲۳/۶\angle ۱۱/۴۸^{\circ}$$

$$P=۲۲۰\angle ۰$$

$$Q=۴۰\angle ۹۰^{\circ}$$

تمرین

۱ـ در جای خالی عبارت مناسب بنویسید.

الف) توان ظاهری را می‌توان از حاصل‌ضرب ولتاژ مؤثر در ..... به‌دست آورد.

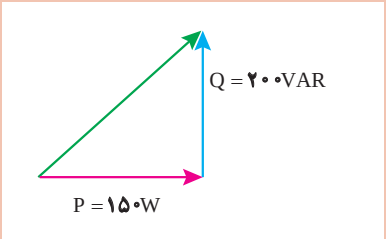
ب) در مثلث توان ضلع مقابل به ضلع مجاور ضریب ..... نام دارد.

ج) در مدارهای پیش‌فاز بردار توان غیرمؤثر در راستای محور ..... و در جهت.....ترسیم می‌شود.

د) توانی که انرژی الکتریکی را تبدیل می‌کند ..... نام دارد و واحد آن ..... است.

۲ـ در یک مصرف‌کننده الکتریکی P = ۸۰۰ [w] و Q = +۸۰۰ [VAR] می‌باشد، توان ظاهری را به‌صورت قطبی به‌دست آورید.

۳ـ مثلث توان یک مصرف‌کننده الکتریکی به‌صورت زیر است، مطلوب است:



الف) نوع مصرف‌کننده

ب) توان ظاهری

ج) ضریب توان مؤثر

۴ـ معادلات زمانی جریان و ولتاژ یک مدار الکتریکی به‌صورت $v(t)=۱۱۰\sqrt{۲}\sin(۵۰۰t-۲۷^{\circ})$ و $i(t)=۲\sqrt{۲}\sin(۵۰۰t+۱۰^{\circ})$ می‌باشد.

توان‌های مدار را به دست آورید و مثلث توان آن را رسم کنید.

۵ـ یک مصرف‌کننده الکتریکی پس‌فاز با توان غیرمؤثر ۸۰۰[VAR] و توان ظاهری ۱۰۰۰[VA] با

جریان $\vec{I} = ۱۰۰\angle ۰$ را در نظر بگیرید، مطلوب است:

الف) ولتاژ مصرف‌کننده به فرم قطبی

ب) رسم مثلث توان

ج) توان مؤثر

د) ضریب توان مؤثر

۶ـ یک شبکه الکتریکی دو مصرف‌کننده با مشخصات زیر را تغذیه می‌کند.

پس فاز $P_۱ = ۴۰۰\ [w]\ ,\ Q_۱ = ۳۰۰\ [VAR]$: مصرف‌کننده ۱

پیش فاز $P_۲ = ۴۰۰\ [w]\ ,\ Q_۲ = ۹۰۰\ [VAR]$: مصرف‌کننده ۲

الف) مثلث توان هر مصرف‌کننده

ب) مثلث توان شبکه

ج) توان ظاهری شبکه

د) ضریب توان مؤثر شبکه

۷ـ توان مؤثر و ضریب توان مؤثر شبکهٔ $P = ۳\ [kw]$ و $\cos\varphi = ۰/۶$ پس‌فاز می‌باشد با ورود مصرف‌کننده‌ای با توان مؤثر $P = ۲\ [kw]$ ضریب توان شبکه $\cos\varphi = ۰/۸$ پس‌فاز می‌شود. نوع مصرف‌کننده و توان‌های آن را به‌دست آورید.

۷ـ۱ـ مدار الکتریکی RL سری

مدارهای الکتریکی جریان متناوب تک‌فاز برای معادل‌سازی سیم‌پیچی موتورهای الکتریکی، ترانسفورماتورها و سایر تجهیزات الکتریکی به‌کار می‌رود. معادل‌سازی سیم‌پیچ با عناصر الکتریکی نظیر مقاومت الکتریکی اهمی R، ضریب خودالقایی سلف L و ظرفیت C انجام می‌شود.

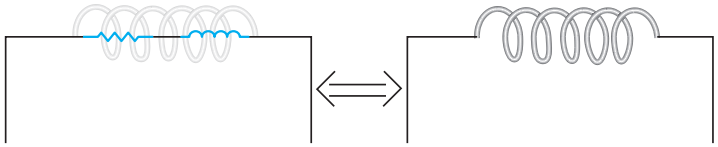
کمیت‌های الکتریکی نظیر شدت جریان، ولتاژ و توان الکتریکی در موتور الکتریکی، ترانسفورماتور و سایر تجهیزات الکتریکی با نصب آمپرمتر، ولت‌متر و وات‌متر قابل اندازه‌گیری می‌باشند. حال آنکه به کمک روابط ریاضی و قوانین فیزیک الکتریسیته و مغناطیس و با تحلیل مدار الکتریکی معادل آنها می‌توان کمیت‌های الکتریکی را محاسبه نمود.

مدارالکتریکی RL سری برای معادل‌سازی سیم‌پیچ به‌کار می‌رود. سیم‌پیچ‌ها جزء اصلی وسایل الکتریکی مانند موتورها یا ترانسفورماتورها می‌باشند.

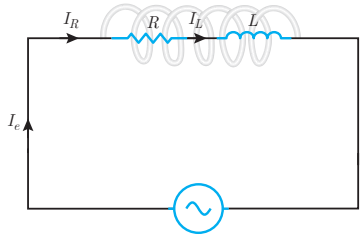
سیم‌پیچ علاوه بر ضریب خودالقایی L، مقاومت الکتریکی اهمی R نیز دارد. مقاومت الکتریکی اهمی‌ناشی از جنس، طول و سطح مقطع‌هادی سیم‌پیچ است و ضریب خودالقایی ناشی از نیروی محرکه القایی می‌باشد که در اثر تغییرات جریان به‌وجود می‌آید.

مدار الکتریکی که از معادل‌سازی سیم‌پیچ به‌دست می‌آید شامل اتصال سری یک مقاومت الکتریکی اهمی R

و سلف با ضریب خودالقایی L می‌باشد و آن را مدار الکتریکی RL سری می‌نامند (شکل ۴۰).



شکل ۴۰



شکل ۴۱

مدار الکتریکی RL سری متصل به منبع ولتاژ متناوب به منظور محاسبه کمیت‌های الکتریکی در شکل ۴۱ نشان داده شده است.

با اتصال مدار الکتریکی RL سری به منبع متناوب در مدار جریان I_e جاری می‌شود. با توجه به شکل ۴۱ جریان I_e از مقاومت الکتریکی اهمی R و سلف با ضریب خودالقایی L عبور می‌کند. لذا جریان منبع I_e با جریان مقاومت اهمی I_R و جریان سلف I_L برابر می‌باشد که از ویژگی‌های مدارهای سری است و می‌توان نوشت:

$$I_e = I_R = I_L$$

جریان الکتریکی متناوب I_e از مقاومت الکتریکی اهمی R عبور می‌کند و در آن افت ولتاژ ایجاد می‌نماید و با عبور از سلف با ضریب خودالقایی L نیروی محرکه خودالقایی به‌وجود می‌آورد. نیروی محرکه خودالقایی سلف با جاری شدن جریان I_e مخالفت می‌کند. مخالفت سلف در مقابل عبور جریان الکتریکی متناوب I_e ناشی از اثر خودالقایی را «مقاومت القایی[۱]» گویند. مقاومت القایی را با X_L نشان می‌دهند و واحد آن اهم است. مقدار مقاومت القایی از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$X_L = \omega . L$$

در این رابطه:

X_L مقاومت القایی $[\Omega]$

$\omega = 2\pi f$ سرعت زاویه‌ای $\left[\frac{Rad}{s}\right]$

L ضریب خودالقایی سلف $[H]$ است.

مثال

جریان الکتریکی متناوب با معادله زمانی $i(t) = 5\sqrt{2}\sin(1000t)$ از یک سلف با ضریب خودالقایی ۰/۰۵ هانری عبور می‌کند، مقاومت القایی سلف چند اهم است؟

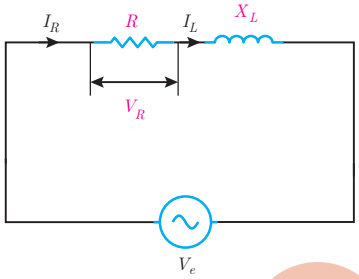
۱ـ Induction Reactance

حل: از رابطه مقاومت القایی می‌توان نوشت:

$$X_L = \omega . L$$

$$X_L = ۱۰۰۰ \times ۰/۰۵ = ۵۰ \ [\Omega]$$

در مدارهای RL سری با عبور جریان I_R از مقاومت الکتریکی R در آن افت ولتاژ V_R ایجاد می‌شود که بنا بر قانون اهم با توجه به شکل ۴۲ به‌دست می‌آید:



شکل ۴۲



جریان× مقاومت = ولتاژ

$$V_R = R . I_R$$

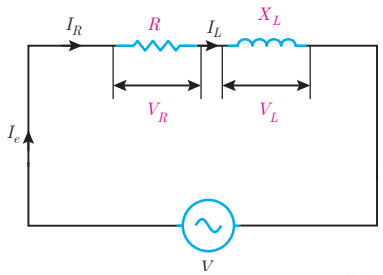
چون در مدار RL سری $I_R = I_e$ است. پس در این رابطه:

$$V_R = R . I_e$$

V_R ولتاژ مقاومت الکتریکی اهمی [V]

I_e جریان منبع [A] است.

همچنین در مدار RL سری با عبور جریان I_L از سلف با ضریب خودالقایی L و پدید آمدن مقاومت القایی X_L در آن نیروی محرکه خودالقایی V_L ایجاد می‌شود که بنابر قانون اهم با توجه به شکل ۴۳ به‌دست می‌آید:



شکل ۴۳



جریان× مقاومت = ولتاژ

$$V_L = X_L . I_L$$

چون در مدار RL سری $I_L = I_e$ است. پس در این رابطه:

$$V_L = X_L . I_e$$

در این رابطه:

V_L ولتاژ دو سر سلف [V]

I_e جریان منبع [A]

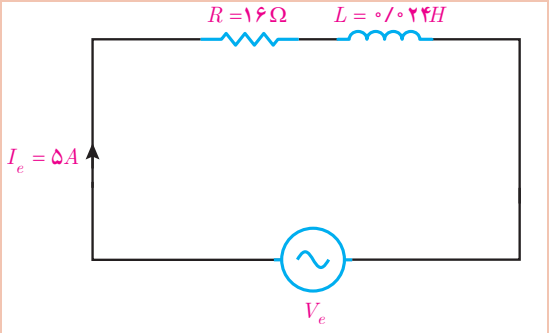
X_L مقاومت القایی سلف [Ω] است.

مثال

ولتاژ متناوب $v(t) = ۱۰۰\sqrt{۲}\sin(۵۰۰t + ۳۷^\circ)$ به یک سیم‌پیچ با مدار معادل شکل ۴۴ وصل شده است. مطلوب است:

الف) ولتاژ دو سر مقاومت الکتریکی اهمی

ب) ولتاژ دو سر سلف



شکل ۴۴

حل: با توجه به ویژگی مدار سری می‌توان نوشت:

$I_e = I_R = I_L = ۵\ [A]$

الف) ولتاژ دو سر مقاومت، V_R بنابر قانون اهم به صورت زیر خواهد بود:

جریان× مقاومت = ولتاژ

$V_R = R.I_R$

$V_R = ۱۶ \times ۵ = ۸۰\ [V]$

ب) مقاومت القایی سلف برابر است با:

$X_L = \omega.L$

$X_L = ۵۰۰ \times ۰/۰۲۴ = ۱۲\ [\Omega]$

ولتاژ دو سر سلف، V_L بنابر قانون اهم خواهد بود:

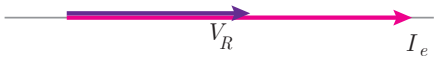


جریان× مقاومت = ولتاژ

$V_L = X_L.I_L$

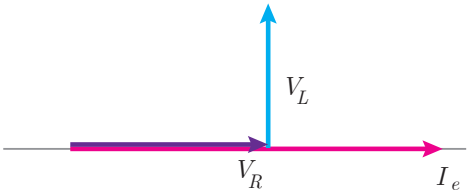
$V_L = ۱۲ \times ۵ = ۶۰\ [V]$

افت ولتاژ دو سر مقاومت V_R با جریان عبوری از مقاومت I_e هم‌فاز است. با فرض اینکه $\theta_i = ۰$ در نظر گرفته شود. بردارهای V_R و I_e مطابق شکل ۴۵ می‌باشد:



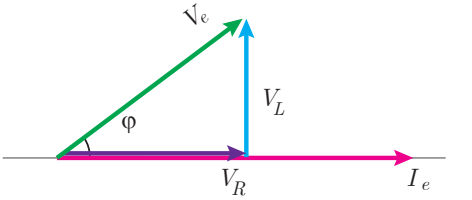
شکل ۴۵

نیروی محرکه خودالقایی سلف V_L از جریان عبوری سلف I_e به اندازه ۹۰° جلوتر است. با فرض اینکه $\theta_i = ۰$ در نظر گرفته شود بردارهای $V_R, I_e,$ V_L مطابق شکل ۴۶ می‌باشد.



شکل ۴۶

ولتاژ منبع V_e از برآیند V_R و V_L به‌دست می‌آید (شکل ۴۷) .



شکل ۴۷

شکل ۴۷ دیاگرام برداری جریان و ولتاژهای مدار الکتریکی RL سری را نشان می‌دهد.

نمایش بردارهای جریان و ولتاژ مدارهای الکتریکی را «دیاگرام برداری » گویند.

شکل ۴۷ نشان می‌دهد در مدار الکتریکی RL سری جریان منبع I_e از ولتاژ منبع به اندازه φ عقب‌تر است.

لذا مدار الکتریکی RL سری «مدار پس‌فاز » است.

در مدارهای پس فاز جریان منبع I_e از ولتاژ منبع V_e به اندازه φ درجه عقب‌تر است. بر حسب مقدار R و

X_L مقدار $0^\circ<\varphi<90^\circ$ می‌باشد.

بردارهای V_R و V_L و V_e شکل ۴۷ تشکیل مثلث قائم‌الزاویه داده‌اند و با توجه به رابطه فیثاغورث به‌دست می‌آید:

$$V_e = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$

و نسبت‌های مثلثاتی برابر است با:

$$\cos\varphi = \frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}} = \frac{V_R}{V_e}$$ ضریب توان مؤثر

$$\sin\varphi = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{وتر}} = \frac{V_L}{V_e}$$ ضریب توان غیرمؤثر

$$\tan\varphi = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{ضلع مجاور}} = \frac{V_L}{V_R}$$ ضریب کیفیت

مثال

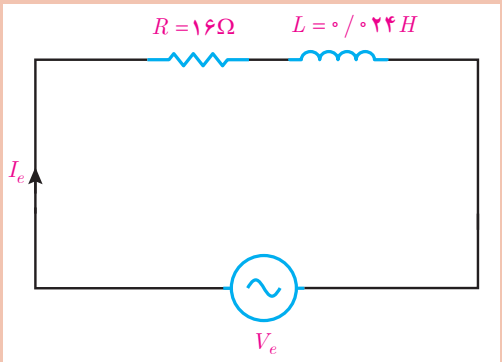
مدار معادل الکتریکی سیم‌پیچ یک وسیله الکتریکی مطابق شکل ۴۸ در اتصال به ولتاژ متناوب به‌صورت $i(t) = 5\sqrt{2}\sin(500t)$ می‌باشد؛ مطلوب است:

الف) محاسبه V_R و V_L

ب) محاسبه V_e

ج) فرم قطبی V_e

د) رسم دیاگرام برداری جریان و ولتاژهای مدار



شکل ۴۸

حل: از معادله جریان مقدار مؤثر به‌دست می‌آید:

$$I_e = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \rightarrow I_e = \frac{5\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 5[A]$$

از ویژگی‌های مدار سری می‌توان نوشت:

$$I_e = I_R = I_L = 5\ [A]$$

الف) بنابر قانون اهم می‌توان نوشت:



ولتاژ = جریان × مقاومت

$$V_R = R.I_R$$

$$V_R = 16 \times 5 = 80\ [V]$$

مقاومت القایی سلف برابر است با:

$$X_L = \omega.L$$

$$X_L = 500 \times 0/024 = 12\ [\Omega]$$

ولتاژ سلف از قانون اهم حساب می‌شود:

$$V_L = X_L . I_L$$
$$V_L = ۱۲ \times ۵ = ۶۰ \ [V]$$

ب) بنابر رابطه فیثاغورث بین $V_L، V_e$ و V_R می‌توان نوشت:

$$V_e = \sqrt{V_R^۲ + V_L^۲}$$

$$V_e = \sqrt{۸۰^۲ + ۶۰^۲} = ۱۰۰[v]$$

ج) برای نمایش بردار V_e به فرم قطبی نیاز به φ است. لذا با استفاده از نسبت‌های مثلثاتی می‌توان نوشت:

$$\cos\varphi = \frac{V_R}{V_e} = \frac{۸۰}{۱۰۰} = ۰/۸$$

$$\cos^{-۱}(۰/۸) = ۳۷^\circ$$

مدار RL پس‌فاز است؛ مقدار φ مثبت می‌باشد.

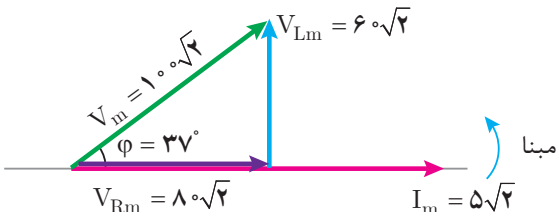
با توجه به معادله زمانی جریان $\theta_i = ۰$ است و از رابطه $\varphi = \theta_v - \theta_i$ مقدار θ_v محاسبه می‌شود:

$$\varphi = \theta_v - \theta_i$$
$$+۳۷ = \theta_v - ۰$$
$$\theta_v = +۳۷^\circ$$

فرم قطبی V_e به‌صورت زیر خواهد بود:

$$V_m = V_e \times \sqrt{۲} = ۱۰۰ \times \sqrt{۲} = ۱۰۰\sqrt{۲}$$
$$V = V_m \angle \theta_m$$
$$V = ۱۰۰\sqrt{۲} \angle +۳۷^\circ$$

د) با توجه به $\theta_i = ۰$ بردار I_e منطبق بر مبنا است و بردارهای $V_L، V_R$ و V_e به‌صورت شکل ۴۹ ترسیم می‌شوند:



شکل ۴۹

مخالفت مدار الکتریکی در مقابل عبور جریان متناوب را «مقاومت ظاهری» گویند و آن را با Z نشان می‌دهند. مقاومت ظاهری بنابر قانون اهم از نسبت ولتاژ مؤثر منبع به جریان مؤثر به‌دست می‌آید.

ولتاژ، جریان، مقاومت



$$\text{مقاومت} = \frac{\text{ولتاژ}}{\text{جریان}}$$

$$Z = \frac{V_e}{I_e}$$

که در این رابطه:

Z مقاومت ظاهری مدار $[\Omega]$

V_e ولتاژ مؤثر منبع $[V]$

I_e جریان مؤثر منبع $[A]$ می‌باشد.

مقاومت ظاهری در مدارهای RL سری از رابطه زیر نیز به‌دست می‌آید:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

فعالیت

رابطه $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ را اثبات نمایید.

مثال

مقاومت ظاهری سیم‌پیچ یک وسیله الکتریکی با مقاومت اهمی $R = 6\Omega$ و ضریب خودالقایی $L = 8mH$ در اتصال به منبع ولتاژ متناوب با سرعت زاویه‌ای $\omega = 1000 \frac{R}{S}$ چند اهم است؟

حل: مقاومت القایی سلف برابر است با:

$$X_L = \omega L$$

$$X_L = 1000 \times 8 \times 10^{-3} = 8\ [\Omega]$$

مقاومت ظاهری به‌دست می‌آید:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$Z = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10[\Omega]$$

فعالیت

ثابت کنید در مدار RL سری $\cos\varphi = \frac{R}{Z}$ می‌باشد.

مثال

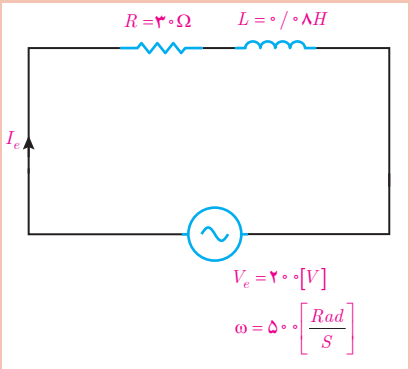
مدار الکتریکی معادل سیم‌پیچ در شکل ۵۰ نشان داده شده است.

مطلوب است محاسبه:

الف) مقاومت ظاهری مدار

ب) ضریب توان مؤثر مدار

ج) جریان مدار



شکل ۵۰

حل:

الف)

ـ مقاومت القایی سلف به‌دست می‌آید:

$$X_L = \omega L$$

$$X_L = ۵۰۰ \times ۰/۰۸ = ۴۰\ [\Omega]$$

ـ مقاومت ظاهری برابر است با:

$$Z = \sqrt{R^۲ + X_L^۲}$$

$$Z = \sqrt{۳۰^۲ + ۴۰^۲} = ۵۰[\Omega]$$

ب) ضریب توان به‌دست می‌آید:

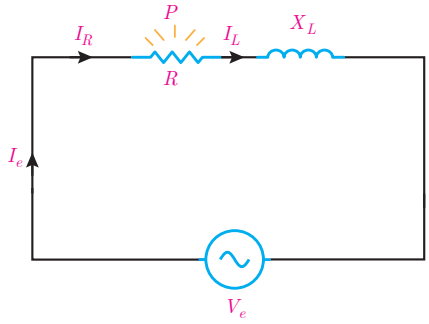
$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{۳۰}{۵۰} = ۰/۶$$

ج) از قانون اهم جریان مدار به‌دست می‌آید:



$$\text{جریان} = \frac{\text{ولتاژ}}{\text{مقاومت}}$$

$$I_e = \frac{V_e}{Z} = \frac{۲۰۰}{۵۰} = ۴[A]$$



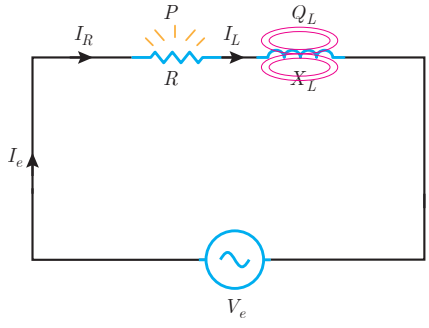
شکل ۵۱

در مدار الکتریکی RL سری با عبور جریان I_R از مقاومت الکتریکی R انرژی الکتریکی به حرارت تبدیل می‌شود. (شکل ۵۱)

مقداری از انرژی الکتریکی که در واحد زمان در مقاومت الکتریکی R به حرارت تبدیل می‌شود را توان مؤثر می‌نامند. توان مؤثر مقداری مثبت است و بردار آن در جهت مثبت محور Xها می‌باشد و به روش زیر به‌دست می‌آید:



$$\text{توان} = \text{مقاومت} \times \text{مجذور جریان}$$



شکل ۵۲

چون در مدار RL سری $I_R = I_e$ است پس:

$$P = RI_e^۲$$

همچنین با عبور جریان I_L از سلف با ضریب خودالقایی L انرژی الکتریکی در سلف ذخیره می‌شود. (شکل ۵۲)

مقداری از انرژی الکتریکی که در واحد زمان در سلف ذخیره می‌شود را توان «غیرمؤثر سلف» می‌نامند. توان غیرمؤثر سلف مقداری مثبت است و بردار آن در جهت مثبت محور yها می‌باشد و با توجه به مقدار مقاومت القایی سلف X_L به روش زیر به‌دست می‌آید:



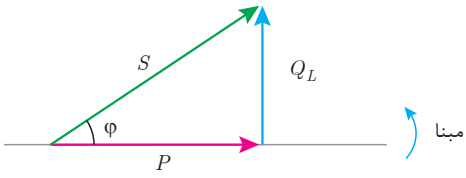
مجذور جریان × مقاومت = توان

$$Q_L = X_L I_e^2$$

چون در مدار RL سری $I_L = I_e$ است پس:

$$Q_L = X_L I_e^2$$

مثلث توان RL که پس‌فاز است در شکل ۵۳ نشان داده شده است.



شکل ۵۳

توان ظاهری در مثلث توان از رابطه فیثاغورث قابل محاسبه است.

$$S = \sqrt{P^2 + Q_L^2} \quad [VA]$$

از طرفی توان ظاهری از مقاومت ظاهری نیز قابل محاسبه است.



مجذور جریان × مقاومت = توان

$$S = ZI_e^2 \quad [VA]$$

همچنان روابط زیر در محاسبه توان‌ها برقرار است:

$$P = V_e I_e \cos\varphi \quad [w]$$
$$Q_L = V_e I_e \sin\varphi \quad [VAR]$$
$$S = V_e I_e \quad [V.A]$$

مثال

یک سیم‌پیچ در اتصال به منبع ولتاژ متناوب به معادله $v(t) = ۱۰۰\sqrt{۲}\sin(۱۰۰۰t + ۵۳^\circ)$ دارای جریان $i(t) = ۵\sqrt{۲}\sin(۱۰۰۰t)$ می‌شود مطلوب است محاسبه:

الف) توان‌های مدار ب) مقادیر L,R

حل: الف) مقدار مؤثر ولتاژ و جریان حساب می‌شود:

از ویژگی مدار سری می‌توان نوشت:

$$I_e = I_R = I_L = ۵ \ [A]$$

φ از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\varphi = \theta_v - \theta_i$$
$$\varphi = ۵۳ - ۰$$

توان مؤثر از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\varphi = ۵۳$$

$$P = V_e I_e \cos\varphi$$

$$P = ۱۰۰ \times ۵ \times \cos ۵۳$$

$$P = ۵۰۰ \times ۰/۶ = ۳۰۰ \quad [w]$$

توان غیرمؤثر از رابطه زیر حساب می‌شود:

$$Q = V_e I_e \sin\varphi$$

$$Q = ۱۰۰ \times ۵ \times \sin ۵۳$$

$$Q = ۵۰۰ \times ۰/۸ = ۴۰۰ \quad [VAR]$$

توان ظاهری از رابطه فیثاغورث S,Q,P به‌دست می‌آید:

$$S = \sqrt{P^۲ + Q^۲}$$

$$S = \sqrt{۳۰۰^۲ + ۴۰۰^۲} = ۵۰۰[VA]$$

ب) مقدار R را می‌توان از رابطه زیر به‌دست آورد:



$$\text{مقاومت} = \frac{\text{توان}}{\text{مجذور جریان}}$$

$$R = \frac{P}{I_R^۲}$$

$$R = \frac{۳۰۰}{۲۵} = ۱۲[\Omega]$$

مقاومت القایی به‌صورت زیر حساب می‌شود:

$$\text{مقاومت} = \frac{\text{توان}}{\text{مجذور جریان}}$$

$$X_L = \frac{Q}{I_L^۲}$$

$$X_L = \frac{۴۰۰}{۲۵} = ۱۶[\Omega]$$

ضریب خودالقایی، L به صورت زیر حساب می‌شود:

$$X_L = \omega . L$$

$$۱۶ = ۱۰۰۰ \times L$$

$$L = \frac{۱۶}{۱۰۰۰} H = ۱۶[mH]$$

تمرین

تمرین‌های RL سری:

۱ـ در جاهای خالی عبارت مناسب بنویسید:

ـ سیم‌پیچ علاوه بر مقاومت الکتریکی اهمی، ..... نیز دارد.

ـ مقاومت الکتریکی اهمی سیم‌پیچ ناشی از طول و سطح مقطع و ..... است.

ـ نیروی محرکه خود القایی سلف با ..... مخالفت می‌کند.

ـ در RL سری نسبت $\frac{V_R}{V_e}$ را ضریب ..... مدار می‌نامند.

ـ مخالفت مدار الکتریکی در مقابل عبور جریان متناوب را ..... می‌گویند.
ـ مقداری از انرژی الکتریکی که در واحد زمان در سلف ذخیره می‌شود ..... نام دارد.
ـ توان ظاهری مدار RL سری از حاصل‌ضرب ولتاژ مؤثر در ..... به‌دست می‌آید.

۲ـ درستی یا نادرستی عبارت‌های زیر را تعیین کنید:

ـ سیم‌پیچ موتورهای الکتریکی را می‌توان با عناصر الکتریکی نظیر مقاومت الکتریکی اهمی R، ضریب خود القایی سلف L معادل کرد.
صحیح ☐ غلط ☐

ـ در مدار الکتریکی RL سری جریان‌های I_R و I_L و I_e با هم برابر هستند.
صحیح ☐ غلط ☐

ـ در مدار الکتریکی RL سری ولتاژهای V_R و V_L و V_e با هم برابر هستند.
صحیح ☐ غلط ☐

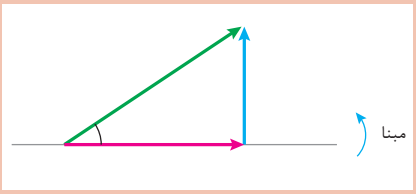
ـ با افزایش فرکانس ولتاژ متناوب منبع مدار RL، مقدار مقاومت القایی تغییر نخواهد کرد.
صحیح ☐ غلط ☐

ـ در مدار RL سری بردار V_R نسبت به جریان مدار، I_e مقدار ۹۰ درجه اختلاف فاز دارد.
صحیح ☐ غلط ☐

ـ در مدار RL سری نسبت $\frac{V_L}{V_R}$ ضریب توان غیر مؤثر نام دارد.
صحیح ☐ غلط ☐

۳ـ توان مؤثر در مدار RL سری را تعریف کنید و رابطه آن را بنویسید.

۴ـ مثلث توان روبه‌رو را برای یک مدار RL سری کامل کنید.

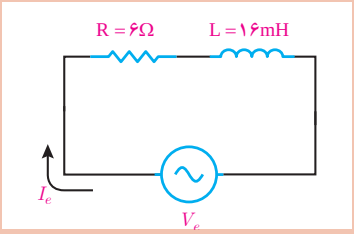


۵ـ رابطه $\sin\varphi = \frac{X_L}{Z}$ را در مدار RL سری به دست آورید.

۶ـ معادل الکتریکی یک سیم‌پیچ به صورت RL سری با مقادیر $R = ۳[\Omega]$ و $L = ۲mH$ می‌باشد. با اتصال سیم‌پیچ به ولتاژ متناوب $v(t) = ۱۰۰ \sin(۲۰۰۰t + ۵۳^\circ)$ مطلوب است:

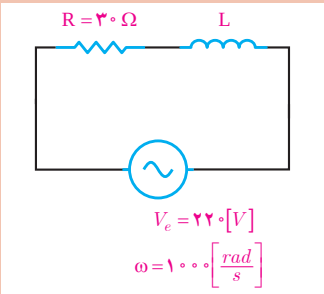
الف) مقاومت ظاهری مدار
ب) V_R و V_L
ج) جریان مدار
د) فرم قطبی جریان مدار

۷ـ در مدار شکل روبه‌رو ولتاژ سیم‌پیچ $v(t) = ۲۵۰\sqrt{۲}(۵۰۰t + ۳۷)$ می‌باشد.

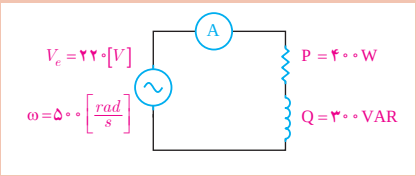


مطلوب است:
الف) مقاومت ظاهری
ب) جریان مدار
ج) V_R و V_L
د) فرم قطبی ولتاژ و جریان منبع
هـ) رسم دیاگرام برداری جریان و ولتاژها

۸ـ ضریب توان مؤثر شکل روبه‌رو ۰٫۶ است. مطلوب است محاسبه:
الف) مقاومت ظاهری
ب) ولتاژهای V_R و V_L
ج) L و X_L
د) توان‌های مدار



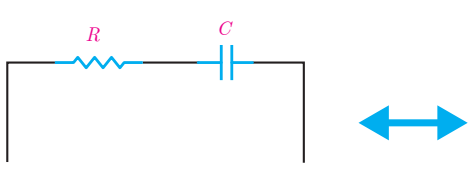
۹ـ در شکل روبه‌رو جریان عبوری ازآمپرمتر را بیابید.



۱۰ـ بااتصال ولتاژ $v(t) = ۲۰۰\sqrt{۲}\sin(۵۰۰t)$ به یک سیم پیچ جریان الکتریکی $i(t) = ۴\sqrt{۲}\sin(۵۰۰t + ۵۳)$ از آن عبور می‌کند مقدار R و X_L را به‌دست آورید.

۸ـ۱ مدار الکتریکی RC سری

معادل‌سازی خازن با مدار الکتریکی RC سری انجام می‌شود. خازن‌ها در وسایل الکتریکی و مدار الکترونیکی استفاده می‌شوند.

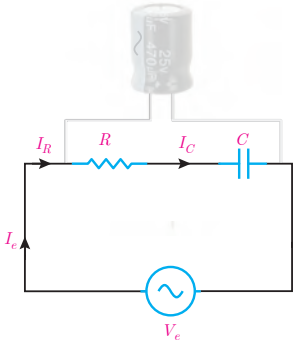




شکل ۵۴ـ مدار الکتریکی معادل خازن

خازن علاوه بر ظرفیت C، مقاومت الکتریکی اهمی R نیز دارد. مقاومت الکتریکی اهمی R ناشی از جنس، ضخامت و مساحت صفحات خازن است. مقدار ظرفیت C به مشخصات فیزیکی خازن شامل مساحت صفحات خازن و فاصله بین آنها و همچنین جنس دی‌الکتریک بستگی دارد.
مدار الکتریکی که از معادل‌سازی خازن به‌دست می‌آید شامل اتصال سری یک مقاومت الکتریکی اهمی R و ظرفیت C می‌باشد و آن را مدار الکتریکی RC سری می‌نامند(شکل ۵۴).

مدار الکتریکی RC سری متصل به منبع ولتاژ متناوب به منظور محاسبه کمیت‌های الکتریکی در شکل ۵۵ نشان داده شده است.



شکل ۵۵ـ مدار الکتریکی RC

با اتصال مدار الکتریکی RC سری به منبع متناوب در مدار جریان متناوب I_e جاری می‌شود. با توجه به شکل ۵۵ جریان I_e از مقاومت الکتریکی اهمی R و ظرفیت خازن C عبور می‌کند. جریان منبع I_e با جریان مقاومت

اهمی I_R و جریان ظرفیت خازن I_C برابر می‌باشد که از ویژگی‌های مدارهای سری است و می‌توان نوشت :

$$I_e = I_R = I_C$$

جریان الکتریکی متناوب I_e از مقاومت الکتریکی اهمی R عبور می‌کند و در آن افت ولتاژ V_R ایجاد می‌نماید. این جریان با عبور از ظرفیت خازن C در آن افت ولتاژ V_C به‌وجود می‌آورد. افت ولتاژ V_C با جاری شدن جریان در ظرفیت خازن مخالفت می‌کند. مخالفت ظرفیت خازن به خاطر تغییرات ولتاژ متناوب آن در مقابل عبور جریان را «مقاومت خازنی[1] » گویند. مقاومت خازنی را با X_C نشان می‌دهند و واحد آن اهم است. مقدار مقاومت خازنی از رابطه زیر به‌دست می‌آید :

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

در این رابطه :

X_C مقاومت خازنی $[\Omega]$

$\omega = 2\pi f$ سرعت زاویه‌ای $\left[\frac{Rad}{s}\right]$

C ظرفیت خازن $[F]$

می‌باشد.

مثال

مقاومت خازنی را برای یک خازن با ظرفیت $500\mu F$ در فرکانس $50Hz$ به‌دست آورید.

حل :

مقدار سرعت زاویه‌ای به‌صورت زیر حساب می‌شود :

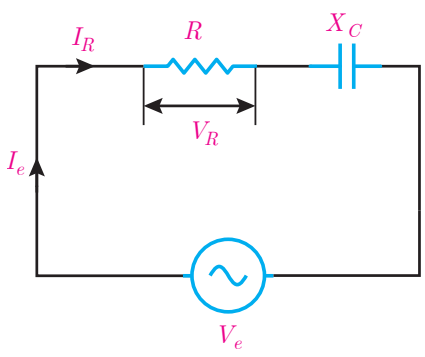
$$\omega = 2\pi f$$

$$\omega = 2 \times 3/14 \times 50 = 314\ [\Omega]$$

از رابطه $X_C = \frac{1}{\omega C}$ مقدار مقاومت خازنی به‌دست می‌آید :

$$X_C = \frac{1}{314 \times 500 \times 10^{-6}} = 6/37[\Omega]$$

در مدارهای RC سری با عبور جریان I_R از مقاومت الکتریکی R در آن افت ولتاژ V_R ایجاد می‌شود که بنابر قانون اهم اندازه آن با توجه به شکل ۵۶ به‌دست می‌آید:



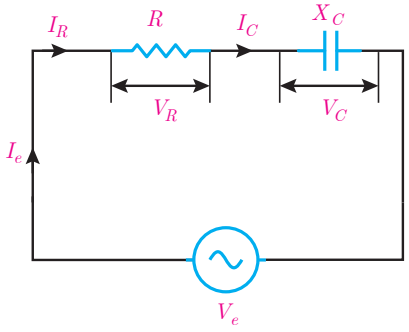
شکل ۵۶



جریان× مقاومت = ولتاژ

$$V_R = RI_R$$

۱ـ Capactior Reactance



شکل ۵۷

چون در مدار RC سری $I_R = I_e$ است پس :

$$V_R = RI_e$$

در این رابطه :

V_R اندازه ولتاژ دو سر مقاومت الکتریکی اهمی [V]

I_e جریان مؤثر منبع [A] می‌باشد. همچنین در مدار RC سری با عبور جریان I_C از ظرفیت خازن C و پدید آمدن مقاومت خازنی X_C در آن افت ولتاژ V_C ایجاد می‌شود که بنا بر قانون اهم اندازه آن با توجه به شکل ۵۷ به‌دست می‌آید:



ولتاژ = مقاومت × جریان

$$V_C = X_C I_C$$

چون در مدار RC سری $I_C = I_e$ است پس :

$$V_C = X_C I_e$$

در این رابطه :

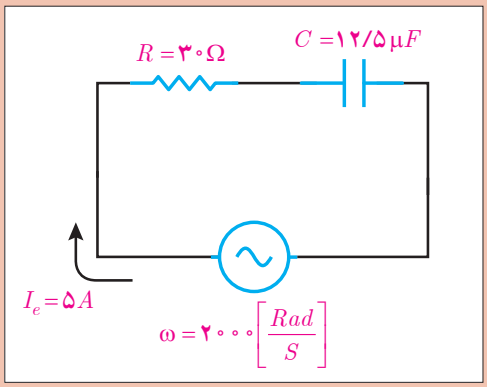
V_C ولتاژ دو سر ظرفیت خازن [V]

I_e جریان مؤثر منبع [A]

X_C مقاومت خازنی [Ω] می‌باشد.

مثال

ولتاژ دو سر مقاومت الکتریکی اهمی و ظرفیت خازن را در شکل ۵۸ به‌دست آورید.



شکل ۵۸ـ مدار الکتریکی

حل : مقاومت خازنی X_C به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$X_C = \frac{۱}{\omega C}$$

$$X_C = \frac{۱}{۲۰۰۰ \times ۱۲/۵ \times ۱۰^{-۶}} = ۴۰[\Omega]$$

با توجه به ویژگی مدارهای سری $I_e = I_R = I_C$ است. پس :

$$I_R = I_C = ۵[A]$$

ولتاژ دو سر مقاومت خازنی، V_C از قانون اهم محاسبه می‌شود :



جریان× مقاومت = ولتاژ

$V_C = X_C \cdot I_C$

$V_C = ۴۰ \times ۵ = ۲۰۰ \ [V]$

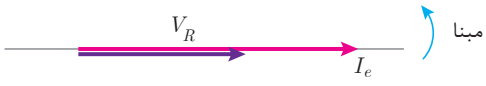
ولتاژ دو سر مقاومت اهمی به صورت زیر محاسبه می‌شود :



جریان× مقاومت = ولتاژ

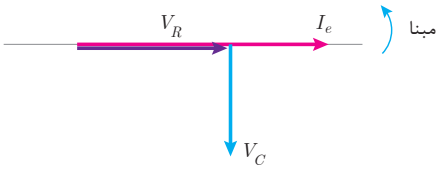
$V_R = R.I_R$

$V_R = ۳۰ \times ۵ = ۱۵۰ [V]$



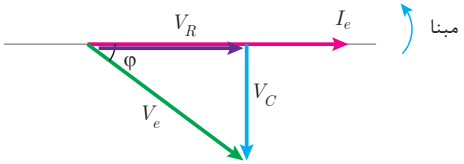
شکل ۵۹ ـ بردار V_r، I_e

افت ولتاژ دو سر مقاومت اهمی V_R با جریان عبوری از آن I_e هم‌فاز است. با فرض اینکه $\theta_i = ۰$ در نظر گرفته شود، بردارهای V_R و I_e مطابق شکل ۵۹ می‌باشد:



شکل ۶۰ـ بردارهای V_C، V_R و I_e

افت ولتاژ دو سر ظرفیت خازن V_C از جریان عبوری I_e به اندازه ۹۰° عقب تر است. با فرض اینکه $\theta_i = ۰^\circ$ درنظر گرفته شود، بردارهای V_C، V_R و I_e مطابق شکل ۶۰ می‌باشد.



شکل ۶۱ـ دیاگرام برداری

ولتاژ منبع V_e از برایند بردارهای V_R و V_C به‌دست می‌آید (شکل ۶۱) .

نمایش بردارهای جریان و ولتاژ مدارهای الکتریکی را «دیاگرام برداری[۱] » گویند.

شکل ۶۱ دیاگرام برداری جریان و ولتاژهای مدار الکتریکی RC سری را نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌شود جریان منبع I_e از ولتاژ منبع V_e به اندازه φ جلوتر است لذا مدار الکتریکی RC سری «مدار پیش‌فاز» است. در مدارهای پیش فاز جریان منبع I_e از ولتاژ منبع V_e به اندازه φ درجه جلوتر است. برحسب مقدار R و X_C مقدار $-۹۰^\circ < \varphi < ۰$ می‌باشد. بردارهای V_R، V_C و V_e شکل ۶۱ تشکیل مثلث قائم‌الزاویه داده‌اند و با توجه به رابطه فیثاغورث به‌دست می‌آید.

$$V_e = \sqrt{V_R^۲ + V_C^۲}$$

۱ـ Vector Diagram

و نسبت‌های مثلثاتی برابر است با :

$$\cos\varphi = \frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}} = \frac{V_R}{V_e}$$

$$\sin\varphi = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{وتر}} = \frac{V_C}{V_e}$$

$$\tan\varphi = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{ضلع مجاور}} = \frac{V_C}{V_R}$$

در این رابطه $\cos\varphi$ «ضریب توان مؤثر»، $\sin\varphi$ «ضریب توان غیرمؤثر» و $\tan\varphi$ «ضریب کیفیت» نامیده می‌شوند.

مثال

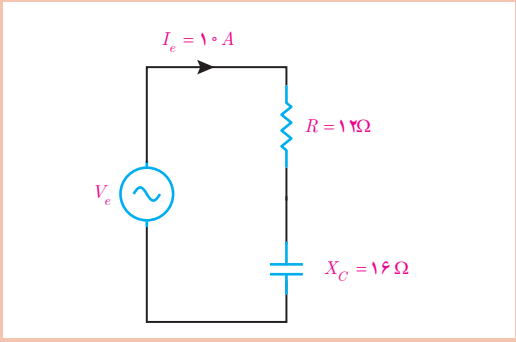
در شکل ۶۲ مطلوب است محاسبه:

الف) V_R و V_C

ب) رسم دیاگرام برداری جریان و ولتاژها

ج) V_e

د) $\cos\varphi$ و $\sin\varphi$



شکل ۶۲ـ مدار الکتریکی

حل :

الف) با توجه به ویژگی مدارهای سری می‌توان نوشت :

$$I_e = I_R = I_C = ۱۰[A]$$

ولتاژ دو سر مقاومت، V_R از قانون اهم حساب می‌شود :



جریان× مقاومت = ولتاژ

$$V_R = R.I_R$$

$$V_R = ۱۲ \times ۱۰ = ۱۲۰[V]$$

ولتاژ دو سر ظرفیت خازن، V_C از قانون اهم به دست می‌آید :

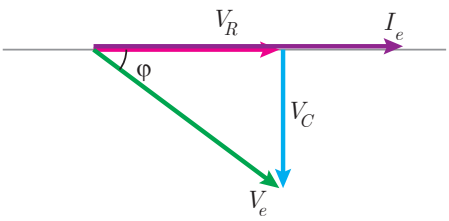


جریان× مقاومت = ولتاژ

$$V_C = X_C.I_C$$

$$V_R = ۱۶ \times ۱۰ = ۱۶۰[V]$$

ب) دیاگرام برداری جریان ولتاژهای مدار RC سری مبنا به‌صورت روبه‌رو است:



شکل ۶۳ـ دیاگرام برداری

ج) V_e به کمک رابطه فیثاغورث به‌دست می‌آید :

$$V_e = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$$

$$V_e = \sqrt{۱۲۰^2 + ۱۶۰^2} = ۲۰۰[V]$$

د) از نسبت‌های مثلثاتی می‌توان ضریب توان مؤثر و غیرمؤثر را محاسبه کرد :

$$\cos\varphi = \frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}} = \frac{V_R}{V_e}$$

$$\cos\varphi = \frac{۱۲۰}{۲۰۰} = ۰/۶$$

$$\sin\varphi = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{وتر}} = \frac{V_C}{V_e}$$

$$\sin\varphi = \frac{۱۶۰}{۲۰۰} = ۰/۸$$

مخالفت مدار الکتریکی در مقابل عبور جریان متناوب را «مقاومت ظاهری» گویند و آن را با Z نشان می‌دهند. مقاومت ظاهری بنابر قانون اهم از نسبت ولتاژ مؤثر منبع به جریان مؤثر منبع به‌دست می‌آید.



$$\text{مقاومت} = \frac{\text{ولتاژ}}{\text{جریان}}$$

$$Z = \frac{V_e}{I_e}$$

که در این رابطه :
Z مقاومت ظاهری مدار [Ω]
V_e ولتاژ مؤثر منبع خازن [V]
I_e جریان مؤثر منبع [A] می‌باشد.

مقاومت ظاهری در مدار R ـ C سری از رابطه $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$ نیز به‌دست می‌آید.

فعالیت

رابطه $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$ را اثبات نمایید.

فعالیت

ثابت کنید در مدار RC سری $\cos\varphi = \frac{R}{Z}$ می‌باشد.

مثال

معادل الکتریکی خازن به صورت مدار RC سری با مقادیر $R = ۱۰\Omega$ و $C = ۱۰۰\mu f$ می‌باشد. مقاومت ظاهری را در $\omega = ۵۰۰\frac{Rad}{s}$ به‌دست آورید.

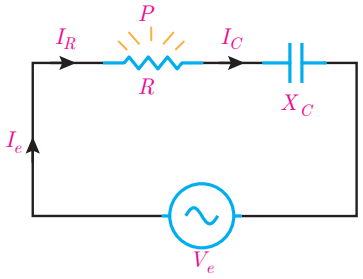
حل : مقاومت خازنی از رابطه $X_C = \frac{۱}{\omega.C}$ به‌دست می‌آید:

$$X_C = \frac{۱}{\omega.C}$$

$$X_C = \frac{۱}{۵۰۰\times۱۰۰\times۱۰^{-۶}} = ۲۰\,[\Omega]$$

مقاومت ظاهری از رابطه $Z = \sqrt{R^۲ + x_C^۲}$ به دست می‌آید :

$$Z = \sqrt{۱۰^۲ + ۲۰^۲} = ۲۲/۳۶[\Omega]$$



شکل ۶۴

در مدار الکتریکی RC سری با عبور جریان I_R از مقاومت الکتریکی R انرژی الکتریکی به حرارت تبدیل می‌شود (شکل ۶۴) .

مقداری از انرژی الکتریکی که در واحد زمان در مقاومت الکتریکی R به حرارت تبدیل می‌شود «توان مؤثر» می‌نامند. توان مؤثر مقداری مثبت است و بردار آن در جهت مثبت محور X ها می‌باشد و از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

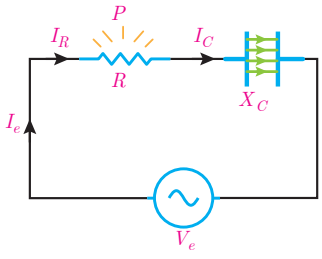


توان = مقاومت × مجذور جریان

$$P = RI_R^۲$$

چون در مدار RC سری $I_R = I_e$ است پس :

$$P = RI_e^۲$$



شکل ۶۵

که در این رابطه:
P توان مؤثر [W]
R مقاومت الکتریکی اهمی [Ω]
I_e جریان مؤثر [A] می‌باشد.
همچنین با عبور جریان I_C از ظرفیت خازن C، انرژی الکتریکی در ظرفیت خازن ذخیره می‌شود (شکل ۶۵).

مقداری از انرژی الکتریکی که در واحد زمان در ظرفیت خازن ذخیره می‌شود را «توان غیرمؤثر خازن» می‌نامند. توان غیرمؤثر خازن مقداری منفی است و بردار آن در جهت منفی محور Y ها می‌باشد و با توجه به

مقاومت خازنی X_C از رابطه زیر به‌دست می‌آید :



مجذور جریان × مقاومت = توان

$$Q_C = -X_C I_e^2$$

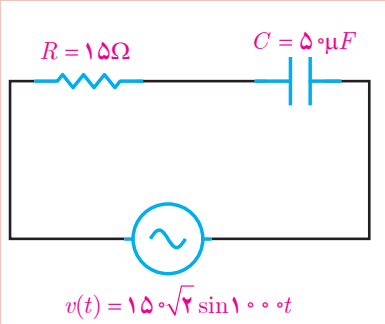
چون در مدار RC سری $I_C = I_e$ است پس :

$$Q_C = -X_C I_e^2$$

در این رابطه :
Q_C توان غیرمؤثر خازن [VAR]
X_C مقاومت خازنی [Ω]
I_e جریان مؤثر [A] می‌باشد.

مثال

در مدار شکل ۶۶ توان‌های مدار را محاسبه کنید.



شکل ۶۶ـ مدار الکتریکی

حل: مقاومت خازنی محاسبه می‌شود:

$$X_C = \frac{۱}{\omega . C}$$

$$X_C = \frac{۱}{۱۰۰۰ \times ۵۰ \times ۱۰^{-۶}} = ۲۰ [\Omega]$$

مقاومت ظاهری به‌دست می‌آید:

$$Z = \sqrt{R^۲ + X_C^۲}$$

$$Z = \sqrt{۱۵^۲ + ۲۰^۲} = ۲۵ [\Omega]$$

مقدار مؤثر ولتاژ از معادله زمانی به‌دست می‌آید:

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۱۵۰\sqrt{۲}}{\sqrt{۲}} = ۱۵۰ [V]$$

از قانون اهم مقدار مؤثر جریان به‌دست می‌آید:

$$\text{جریان} = \frac{\text{ولتاژ}}{\text{مقاومت}}$$

$$I_e = \frac{V_e}{Z} = \frac{۱۵۰}{۲۵} = ۶ [A]$$



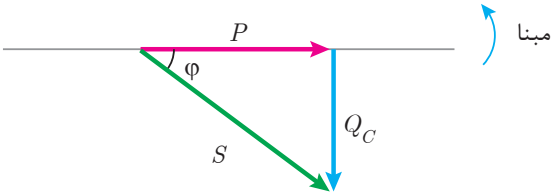
مجذور جریان × مقاومت = توان

توان مؤثر محاسبه می‌شود :

$$P = RI_R^2 = ۱۵(۶)^2 = ۵۴۰[W]$$

$$Q = X_C I_C^2 = -۲۰(۶)^2 = -۷۲۰[VAR]$$

$$Q = X_C\, I_C^2 = -۲۰(۶)^2 = -۷۲۰[VAR]$$



شکل ۶۷ـ مثلث توان مدار RC

مثلث توان مدار RC که پیش فاز است در شکل ۶۷ نشان داده شده است:

توان ظاهری در مثلث توان از رابطه فیثاغورث قابل محاسبه است :

$$S = \sqrt{P^2 + Q_C^2}\ [VA]$$

در این رابطه :

S توان ظاهری [VA]

P توان مؤثر [W]

Q_C توان غیرمؤثر خازنی [VAR]

می‌باشد. از طرفی توان ظاهری از مقاومت ظاهری نیز قابل محاسبه است.



مجذور جریان × مقاومت = توان

$$S = ZI_e^2\ [VA]$$

که در این رابطه :

S توان ظاهری [VA]

Z امپدانس [Ω]

I_e جریان مؤثر [A]

می‌باشد.

همچنان روابط زیر در محاسبه توان‌ها برقرار است :

$$P = V_e I_e \cos\varphi\ [W]$$

$$Q_C = V_e I_e \sin\varphi\ [VAR]$$

$$S = V_e I_e\ [VA]$$

مثال

معادله زمانی ولتاژ و جریان یک مدار RC سری به‌صورت $v(t) = ۲۰۰\sin(۱۰۰۰t - ۳۷^\circ)$ و $i(t) = ۱۰\sin(۱۰۰۰t)$ می‌باشد. مطلوب است:

الف) توان‌های مدار

ب) رسم مثلث توان

حل :

مقادیر مؤثر ولتاژ و جریان به‌دست می‌آید :

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۲۰۰}{\sqrt{۲}} = ۱۰۰\sqrt{۲}\ [V]$$

$$I_e = \frac{I_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۱۰}{\sqrt{۲}} = ۵\sqrt{۲}\ [A]$$

زاویه اختلاف فاز ولتاژ و جریان به‌دست می‌آید:

$$\varphi = \theta v - \theta i = (-۳۷) - (۰)$$

$$\varphi = -۳۷^\circ$$

مقدار φ منفی است زیرا مدار پیش‌فاز است.

توان مؤثر به‌دست می‌آید :

$$P = V_e I_e \cos\varphi$$

$$P = ۱۰۰\sqrt{۲} \times ۵\sqrt{۲} \times \cos ۳۷^\circ = ۸۰۰\ [W]$$

توان غیرمؤثر به‌دست می‌آید:

$$Q_C = V_e I_e \sin\varphi$$

$$Q_C = ۱۰۰\sqrt{۲} \times ۵\sqrt{۲} \times \sin ۳۷^\circ = ۶۰۰$$

چون مدار RC پیش‌فاز است. لذا:

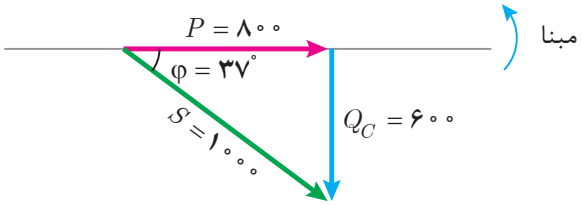
$$Q_C = -۶۰۰\ [VAR]$$

توان ظاهری محاسبه می‌شود:

$$S = V_e I_e$$

$$S = ۱۰۰\sqrt{۲} \times ۵\sqrt{۲} = ۱۰۰۰\ [VA]$$

مثلث توان RC پیش‌فاز است و رسم می‌شود:



شکل ۶۸ـ مثلث توان RC

تمرین

تمرین‌های RC سری :

۱ـ در جاهای خالی عبارت مناسب بنویسید.

الف) مقاومت الکتریکی R در خازن ناشی از ..... ، ..... و مساحت صفحات خازن است.

ب) مقاومت خازنی با سرعت زاویه‌ای و ..... رابطه عکس دارد.

ج) افت ولتاژ دو سر خازن از جریان عبوری آن به اندازه ۹۰° ..... است.

د) مقدار انرژی الکتریکی که در واحد زمان در خازن ذخیره می‌شود ..... نام دارد.

۲ـ درستی یا نادرستی هر عبارت را مشخص کنید.

الف) مدار الکتریکی که از معادل‌سازی خازن به‌دست می‌آید شامل اتصال سری یک مقاومت الکتریکی و ظرفیت خازن است.

☐ صحیح ☐ غلط

ب) توان ظاهری در مدار RC را می‌توان از رابطه $V_e I_e \sin\varphi$ محاسبه کرد.

☐ صحیح ☐ غلط

ج) در مدار RC سری جریان منبع از ولتاژ منبع به اندازه φ جلوتر است.

☐ صحیح ☐ غلط

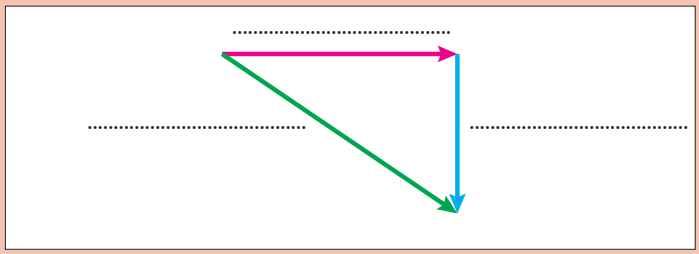
د) در مدار RC سری نسبت $\frac{V_R}{V_L}$ ضریب توان مؤثر است.

☐ صحیح ☐ غلط

۳ـ مقاومت خازنی را تعریف کنید و عوامل مؤثر بر آن را نام ببرید.

۴ـ دیاگرام برداری جریان و ولتاژهای مدار RC سری را رسم کنید.

۵ـ مثلث توان زیر را برای مدار RC سری کامل کنید.



شکل ۶۹ـ مثلث توان

۶ـ رابطه $\sin\varphi = \frac{X_C}{Z}$ را در مدار RC سری به دست آورید.

۷ـ معادل الکتریکی یک خازن به صورت RC سری با مقادیر $R = ۳\Omega$ و $C = ۲۵۰\mu F$ می‌باشد. با اتصال خازن به ولتاژ متناوب جریان $i(t) = ۵\sqrt{۲}\sin(۱۰۰۰t + ۵۳^\circ)$ از آن می‌گذرد. مطلوب است محاسبه :

الف) Z ب) V_R و V_C

ج) V_e د) فرم قطبی جریان و ولتاژ منبع

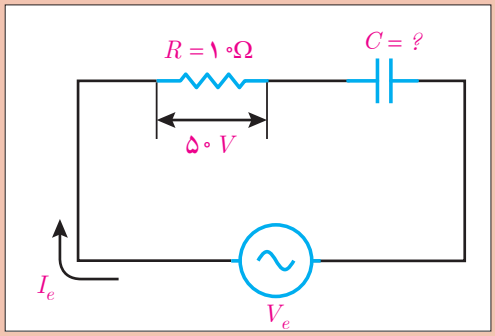
۸ـ در مدار شکل روبه‌رو $v(t) = ۱۰۰\sin(۵۰۰t-۳۷)$ می‌باشد. مطلوب است:

الف) ظرفیت خازن

ب) فرم قطبی جریان منبع

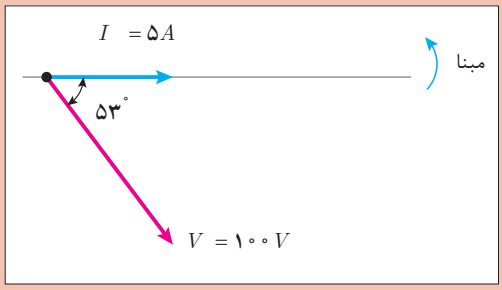
ج) توان‌های مدار

د) رسم مثلث توان



شکل ۷۰

۹ـ دیاگرام برداری یک RC سری مطابق شکل روبه‌رو است. توان‌های مدار را به‌دست آورید و فرم قطبی توان ظاهری را بنویسید.



شکل ۷۱ـ دیاگرام برداری

۱۰ـ جریان و ولتاژ یک مدار RC به صورت $I = ۵\angle ۰$ و $V = ۲۰۰\angle -۳۷^\circ$ می‌باشد. در صورتی‌که $\omega = ۲۰۰۰$ Rad/s باشد، مطلوب است:

الف) R و C

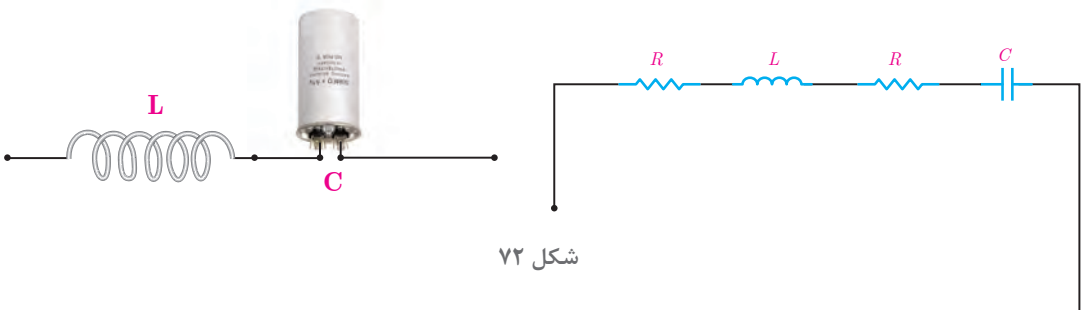
ب) دیاگرام برداری ولتاژها و جریان مدار

۹ـ۱ـ مدارهای RLC سری

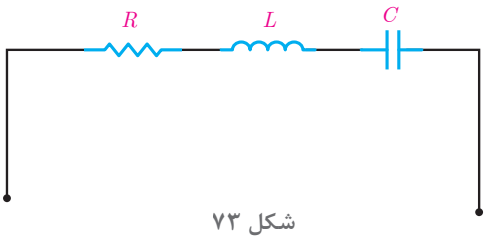
مدار RLC سری برای معادل‌سازی اتصال سری یک سیم‌پیچ با خازن به‌کار می‌رود. اتصال سری سیم‌پیچ با خازن در موتورهای الکتریکی تک‌فاز استفاده می‌شود.

سیم‌پیچ علاوه بر ضریب خودالقایی L مقاومت الکتریکی اهمی و همچنین خازن علاوه بر ظرفیت C مقاومت الکتریکی اهمی نیز دارد.

مدار الکتریکی که از معادل‌سازی اتصال سری سیم‌پیچ با خازن به دست می‌آید در شکل ۷۲ نشان داده شده است.

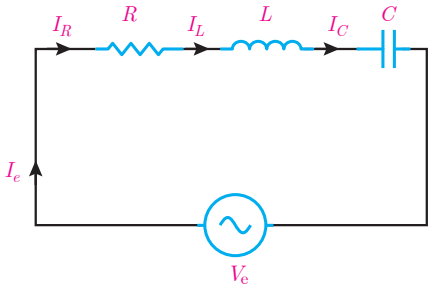


شکل ۷۲



شکل ۷۳

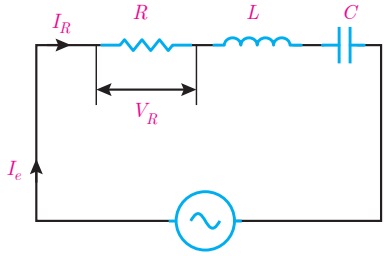
در شکل ۷۲ مقاومت اهمی‌سیم‌پیچ و مقاومت اهمی‌خازن سری هستند . با جایگزینی معادل آنها شکل ۷۳ به‌دست می‌آید.
شکل ۷۳ اتصال سری مقاومت اهمی R و ضریب خود القایی L و ظرفیت خازن C را نشان می‌دهد که آن را مدار RLC سری می‌نامند.



شکل ۷۴

مدار الکتریکی RLC سری متصل به‌منبع ولتاژ متناوب به‌منظور محاسبه کمیت‌های الکتریکی در شکل ۷۴ نشان داده شده است.

با اتصال مدار الکتریکی RLC سری به منبع متناوب در مدار جریان متناوب I_e جاری می‌شود. با توجه به شکل ۷۴ جریان I_e از مقاومت الکتریکی اهمی R و سلف با ضریب خودالقایی L و ظرفیت خازن C عبور می‌کند. لذا جریان منبع I_e با جریان مقاومت اهمی I_R و جریان سلف I_L و جریان خازن I_C برابر می‌باشد که از ویژگی‌های مدارهای سری است و می‌توان نوشت :



شکل ۷۵

$$I_e = I_R = I_L = I_C$$

جریان الکتریکی متناوب I_e از مقاومت اهمی R عبور می‌کند و در آن افت ولتاژ V_R ایجاد می‌نماید که بنابر قانون اهم با توجه به شکل ۷۵ به‌دست می‌آید:

چون در مدار RLC سری $I_R = I_e$ است پس :

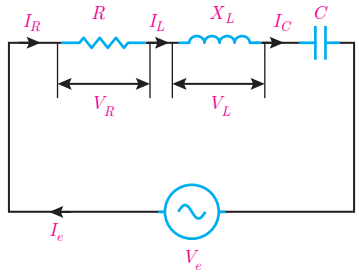


جریان× مقاومت = ولتاژ

$$V_R = R\, I_R$$

$$V_R = R\, I_e$$

در این رابطه:
V_R افت ولتاژ دو سر مقاومت اهمی [V]
R مقاومت اهمی [Ω]
I_e جریان مؤثر منبع [A] می‌باشد.
همچنین در مدار RLC سری با عبور جریان I_L از سلف با ضریب خودالقایی L و پدید آمدن مقاومت القایی X_L در آن نیروی محرکه خودالقایی ایجاد می‌شود که برابر افت ولتاژ دو سر سلف V_L می‌باشد و بنابر قانون اهم با توجه به شکل ۷۶ به‌دست می‌آید:



شکل ۷۶

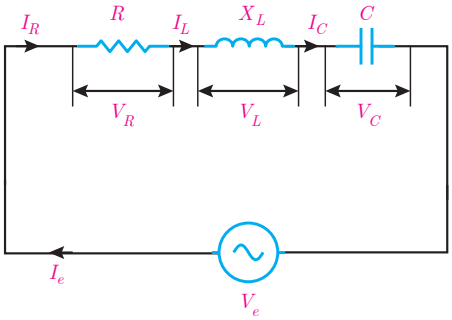
چون در مدار RLC سری $I_L=I_e$ است پس :



جریان× مقاومت = ولتاژ
$V_L=X_L \cdot I_L$

$V_L=X_L \cdot I_e$

در این رابطه
V_L ولتاژ دو سر سلف [V]
I_e جریان منبع [A]
$X_L = \omega L$ مقاومت القایی سلف [Ω] است.
همچنین با عبور جریان I_C از ظرفیت خازن C در آن افت ولتاژ V_C ایجاد می‌شود که بنابر قانون اهم با توجه به شکل ۷۷ به‌دست می‌آید.



شکل ۷۷

چون در مدار RLC سری $I_C = I_e$ است پس :

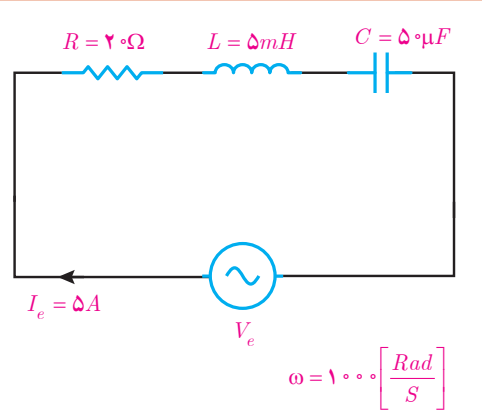


جریان× مقاومت = ولتاژ
$V_L = X_C \cdot I_C$
$V_C = X_C \ I_e$

در این رابطه :
V_C ولتاژ دو سر ظرفیت خازن [V]
I_e جریان مؤثر خازن [A]
X_C مقاومت خازنی [Ω] می‌باشد.

مثال

در مدار الکتریکی شکل ۷۸ ولتاژهای V_C, V_L, V_R را بیابید.



شکل ۷۸

حل : از ویژگی‌های مدار RLC می‌توان نوشت :

$$I_R = I_L = I_C = I_e = ۵\ A$$

از قانون اهم ولتاژ V_R حساب می‌شود :



مجذور جریان × مقاومت = توان

$$V_R = R \cdot I_R$$
$$V_R = ۲۰ \times ۵ = ۱۰۰\ [V]$$

از رابطه مقاومت القایی $X_L = \omega \cdot L$ حساب می‌شود:

$$X_L = \omega \cdot L = ۱۰۰۰ \times ۵ \times ۱۰^{-۳} = ۵[\Omega]$$

از قانون اهم ولتاژ V_L به‌دست می‌آید:



جریان × مقاومت = ولتاژ

$$V_L = X_L \times I_L$$
$$V_L = ۵ \times ۵ = ۲۵\ [V]$$

مقاومت خازنی از رابطه $X_C = \frac{۱}{\omega C}$ به‌دست می‌آید:

$$X_C = \frac{۱}{\omega C} \Rightarrow X_C = \frac{۱}{۱۰۰۰ \times ۵۰ \times ۱۰^{-۶}}$$
$$X_C = \frac{۱۰^{۶}}{۵۰۰۰۰} = \frac{۱۰۰}{۵} = ۲۰\ [\Omega]$$

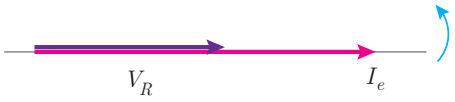
از قانون اهم ولتاژ V_C به‌دست می‌آید :



جریان× مقاومت = ولتاژ

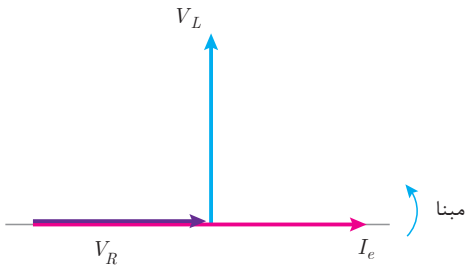
$$V_C = X_C \cdot I_C$$
$$V_C = ۲۰ \times ۵ = ۱۰۰\ [V]$$

افت ولتاژ دو سر مقاومت اهمی V_R با جریان عبوری از آن I_e هم‌فاز است. با فرض اینکه $\theta_i = 0^\circ$ بردارهای V_R و I_e مطابق شکل ۷۹ می‌باشد.



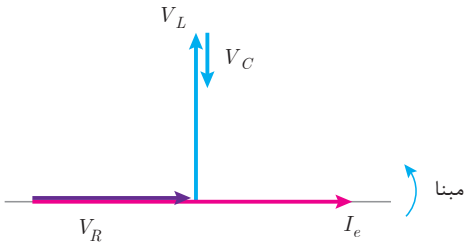
شکل ۷۹

افت ولتاژ دو سر سلف V_L از جریان عبوری I_e به اندازه 90° جلوتر است. بر فرض اینکه $\theta_i = 0^\circ$ درنظر گرفته شود بردارهای V_L, V_R و I_e مطابق شکل ۸۰ می‌باشد.



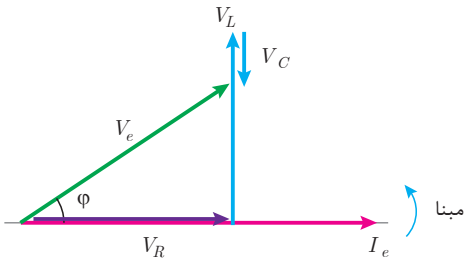
شکل ۸۰

افت ولتاژ دو سر ظرفیت خازن V_C از جریان عبوری I_e به اندازه 90° عقب‌تر است. بر فرض اینکه $\theta_i = 0^\circ$ در نظر گرفته شود بردارهای V_R, V_L, V_C و I_e با فرض $V_L > V_C$ مطابق شکل ۸۱ است.



شکل ۸۱

ولتاژ منبع V_e از برایند بردارهای V_R, V_L, V_C به‌دست می‌آید. (شکل ۸۲) .



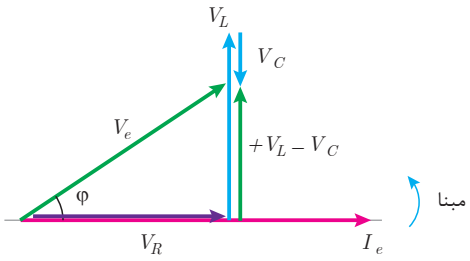
شکل ۸۲

نمایش بردارهای جریان و ولتاژ مدارهای الکتریکی را «**دیاگرام برداری**» گویند. شکل ۸۲ دیاگرام برداری جریان و ولتاژهای مدار الکتریکی RLC سری را نمایش می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌شود جریان منبع I_e از ولتاژ منبع V_e به اندازه φ عقب‌تر است. لذا مدار الکتریکی RLC سری که در آن $V_L > V_C$ است «مدار پس فاز» می‌باشد. درصورتی که $V_C > V_L$ باشد جریان منبع I_e از ولتاژ منبع V_e به اندازه φ جلوتر خواهد شد. در این صورت «**مدار پیش‌فاز**» می‌باشد.

فعالیت

دیاگرام برداری جریان و ولتاژهای مدار RLC سری که $V_C > V_L$ است را رسم نمایید و نتیجه بگیرید مدار پیش‌فاز است.

برایند بردارهای V_L یا V_C به صورت $(+V_L - V_C)$ در شکل ۸۲ قابل محاسبه است. علامت (+) بیانگر این است که V_L در جهت محور y دستگاه مختصات باشد و علامت (-) بیانگر این است که V_C درخلاف جهت محور y دستگاه مختصات باشد (شکل ۸۳).



شکل ۸۳

بردارهای V_R،V_e و $+V_L - V_C$ شکل ۸۳ تشکیل مثلث قائم‌الزاویه داده‌اند و با توجه به رابطه فیثاغورث به‌دست می‌آید:

$$V_e = \sqrt{V_R^2 + (+V_L - V_C)^2}$$

که در این رابطه:

V_e ولتاژ مؤثر منبع [V]

V_R افت ولتاژ دو سر مقاومت اهمی [v]

V_L افت ولتاژ دو سر مقاومت سلفی [V]

V_C افت ولتاژ دوسر مقاومت خازنی [V]

و نسبت‌های مثلثاتی برابر است با :

$$\cos\varphi = \frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}} = \frac{V_R}{V_e}$$

$$\sin\varphi = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{وتر}} = \frac{V_L - V_C}{V_e}$$

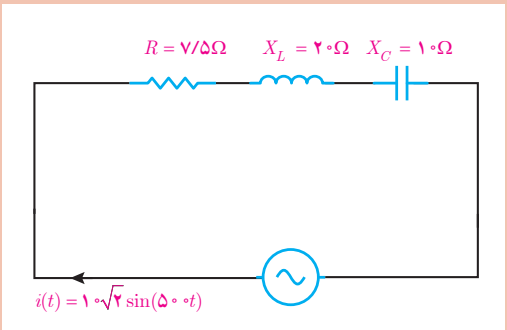
$$\tan\varphi = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{ضلع مجاور}} = \frac{+V_L - V_C}{V_R}$$

مثال

در مدار شکل ۸۴ مطلوب است محاسبه:

الف) V_R،V_L،V_C،V_e

ب) رسم دیاگرام برداری جریان و ولتاژهای مدار



شکل ۸۴

حل : جریان مؤثر I_e به صورت زیر به‌دست می‌آید :

$$I_e = \frac{I_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۱۰\sqrt{۲}}{\sqrt{۲}} = ۱۰\,[A]$$

از ویژگی مدار RLC سری می‌توان نوشت :

$$I_R = I_L = I_C = I_e = ۱۰\ A$$

ولتاژ V_R از قانون اهم به‌دست می‌آید :



جریان × مقاومت = ولتاژ

$$V_R = R \times I_R$$

$$V_R = ۷/۵ \times ۱۰ = ۷۵\ [V]$$

ولتاژ V_L از قانون اهم به‌دست می‌آید :

$$V_L = X_L \times i_L$$

$$V_L = ۲۰ \times ۱۰ = ۲۰۰\,[V]$$

ولتاژ V_C از قانون اهم به‌دست می‌آید :

$$V_C = X_C \times I_C$$

$$V_C = ۱۰ \times ۱۰ = ۱۰۰\,[V]$$

ولتاژ V_e به صورت زیر محاسبه می‌شود :

$$V_e = \sqrt{V_R^۲ + (V_L - V_C)^۲} = \sqrt{۷۵^۲ + (۲۰۰ - ۱۰۰)^۲} = \sqrt{۷۵^۲ + ۱۰۰^۲} = ۱۲۵\,[v]$$

با توجه به $\theta_i = ۰^\circ$ بردار I_e به‌صورت روبه‌رو رسم می‌شود :



مبنا

شکل ۸۵

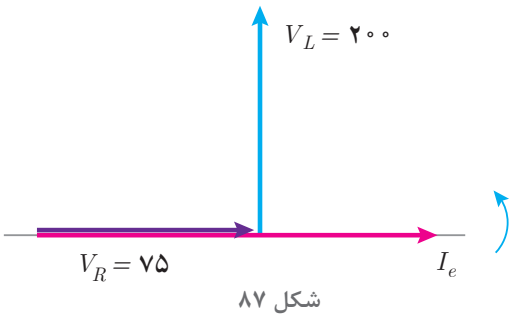
بردار V_R هم فاز با I_e می‌باشد و به‌صورت افقی رسم می‌شود.



مبنا

شکل ۸۶

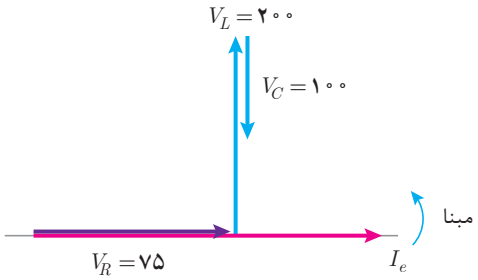
بردار V_L از I_e به اندازه ۹۰° جلوتر است، به‌صورت روبه‌رو رسم می‌شود :



مبنا

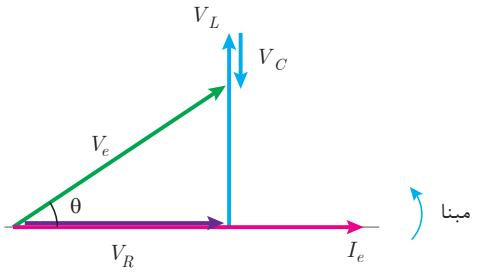
شکل ۸۷

بردار V_e از I_e به‌اندازه 90° عقب‌تر است، به‌صورت روبه‌رو رسم می‌شود :



شکل ۸۸

بردار V_e از ابتدای V_R به انتهای V_C وصل می‌شود:



شکل ۸۹

مخالفت مدار الکتریکی در مقابل عبور جریان متناوب را «مقاومت ظاهری» گویند و آن را با Z نشان می‌دهند. مقاومت ظاهری بنابر قانون اهم از نسبت ولتاژ مؤثر منبع به‌جریان مؤثر منبع به‌دست می‌آید.



$$\text{مقاومت} = \frac{\text{ولتاژ}}{\text{جریان}}$$

$$Z = \frac{V_e}{I_e}$$

که در این رابطه :
Z مقاومت ظاهری مدار $[\Omega]$
V_e ولتاژ مؤثر منبع $[V]$
i_e جریان مؤثر منبع $[A]$ می‌باشد.

مقاومت ظاهری در مدار R-L-C از رابطه $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ به‌دست می‌آید.

فعالیت

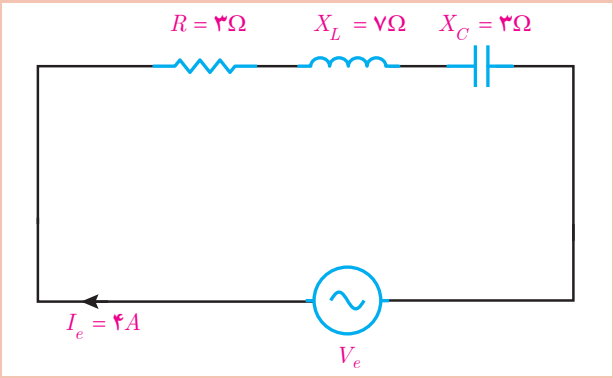
رابطه $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ را اثبات نمایید.

فعالیت

ثابت کنید در مدار RLC سری $\cos\varphi = \frac{R}{Z}$ می‌باشد.

مثال

در مدار الکتریکی شکل ۹۰ مطلوب است :
الف) امپدانس مدار
ب) ولتاژ منبع
ج) ضریب توان مؤثر مدار



شکل ۹۰

حل :

الف) از رابطه $Z = \sqrt{R^{۲} + (X_L - X_C)^{۲}}$ استفاده می‌شود :

$$Z = \sqrt{۳^{۲} + (۷-۳)^{۲}} = \sqrt{۹+۱۶} = \sqrt{۲۵} = ۵\ [\Omega]$$

ب) ولتاژ منبع از قانون اهم به‌دست می‌آید:



جریان × مقاومت = ولتاژ

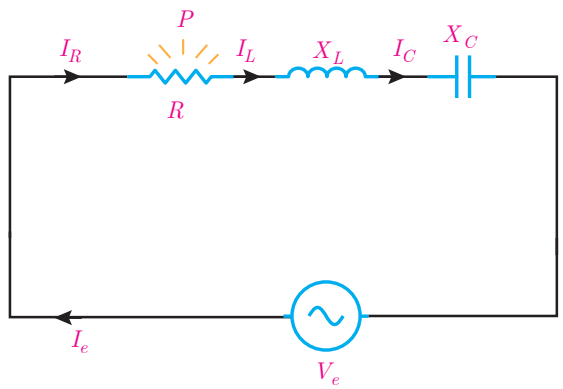
$$V_e = I_e \times Z$$

$$V_e = ۵ \times ۴ = ۲۰\ [V]$$

ج) ضریب توان مؤثر مدار از رابطه $\cos\varphi = \frac{R}{Z}$ به‌دست می‌آید:

$$\cos\varphi = \frac{۳}{۵} = ۰/۶$$

در مدار الکتریکی RLC سری با عبور جریان I_R از مقاومت الکتریکی R انرژی الکتریکی به حرارت تبدیل می‌شود (شکل ۹۱).



شکل ۹۱

مقداری از انرژی الکتریکی که در واحد زمان در مقاومت الکتریکی R به حرارت تبدیل می‌شود را«توان مؤثر» می‌نامند.

توان مؤثر مقداری مثبت است و بردار آن در جهت مثبت Xها می‌باشد و از رابطه زیر به‌دست می‌آید.



مجذور جریان× مقاومت = توان

$P = R\, I_R^{2}$

چون در مدار RLC سری $I_R = I_e$ پس:

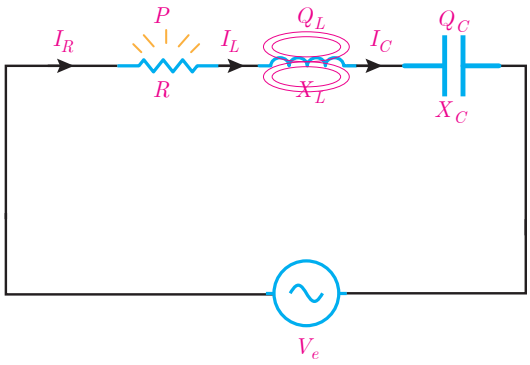
$P = R\, I_e^{2}$

که در این رابطه :

P توان مؤثر [W]

R مقاومت الکتریکی اهمی [Ω]

I_e جریان مؤثر [A] می‌باشد.



شکل ۹۲

همچنین با عبور جریان I_L از سلف با ضریب خودالقایی L انرژی الکتریکی در سلف ذخیره می‌شود (شکل ۹۲).

مقداری از انرژی الکتریکی که در واحد زمان در سلف ذخیره می‌شود را توان غیرمؤثر سلف می‌نامند. توان غیرمؤثر سلف مقداری مثبت است و بردار آن در جهت مثبت محور yها می‌باشد و با توجه به مقدار مقاومت القایی سلف X_L از رابطه زیر به‌دست می‌آید.



مجذور جریان× مقاومت = توان

$Q_L = X_L \cdot I_L^{2}$

چون در مدار RLC سری $I_L = I_e$ پس :

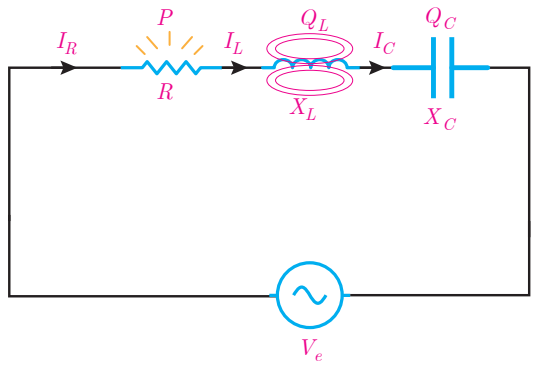
$Q_L = X_L \cdot I_e^{2}$

که در این رابطه :

Q_L توان غیرمؤثر سلف [VAR]

X_L مقاومت القایی سلف [Ω]

I_e جریان مؤثر [A] می‌باشد.



شکل ۹۳

همچنین با عبور جریان I_c از ظرفیت خازن C، انرژی الکتریکی در خازن ذخیره می‌شود (شکل ۹۳)

مقداری از انرژی الکتریکی که در واحد زمان در ظرفیت خازن ذخیره می‌شود را توان غیرمؤثر خازن می‌نامند. توان غیرمؤثر خازن مقداری منفی است و بردار آن در جهت منفی محور yها می‌باشد و با توجه به مقاومت خازنی X_C از رابطه زیر به‌دست می‌آید:



مجذور جریان × مقاومت = توان

$$Q_C = X_C \cdot I_C^2$$

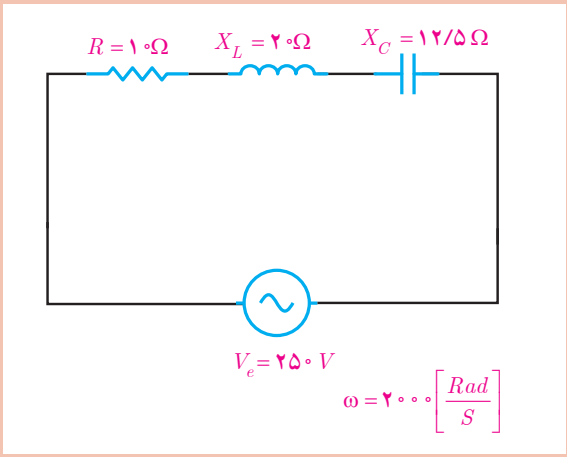
چون در مدار RLC سری $I_e = I_C$ است پس:

$$Q_C = -X_C \cdot I_e^2$$

در این رابطه:
Q_C توان غیرمؤثر خازن [VAR]
X_C مقاومت خازن [Ω]
I_e جریان مؤثر [A] می‌باشد.

مثال

در مدار الکتریکی شکل ۹۴ مطلوب است:
الف) محاسبه جریان
ب) محاسبه توان‌های مؤثر و غیرمؤثر



شکل ۹۴

حل :

الف) مقاومت ظاهری مدار به دست می‌آید :

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{10^2 + (20 - 12/5)^2} = \sqrt{100 + 56/25} = 12/5[\Omega]$$

به کمک قانون اهم جریان به‌دست می‌آید :



$$\text{جریان} = \frac{\text{ولتاژ}}{\text{مقاومت}}$$

$$I_e = \frac{V_e}{Z} = \frac{250}{12/5} = 20[A]$$

از ویژگی مدار RLC سری می‌توان نوشت :

$$I_R = I_L = I_C = I_e = 20\,A$$

ب) توان مؤثر به صورت زیر محاسبه می‌شود :

$$P = R\, I_R^{۲} \quad \rightarrow \quad P=۱۰(۲۰)^{۲} = ۴۰۰۰ [W]$$

توان غیرمؤثر سلف به‌صورت زیر محاسبه می‌شود :

$$Q_L = +X_L\, I_L^{۲} \quad \rightarrow \quad Q_L = ۲۰(۲۰)^{۲} = ۸۰۰۰ \ [VAR]$$

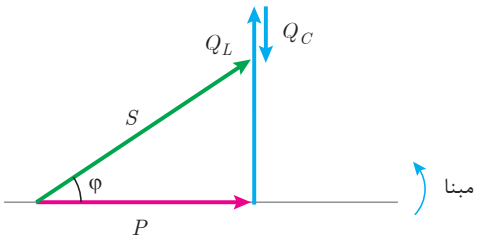
توان غیرمؤثر خازن از رابطه زیر تعیین می‌شود :

$$Q_C = -X_C\, I_C^{۲} = -۱۲/۵(۲۰)^{۲} = -۵۰۰۰ [VAR]$$

توان غیرمؤثر مدار به‌صورت زیر است :

$$Q = Q_L + Q_C \quad \rightarrow \quad Q = ۸۰۰۰+(-۵۰۰۰) = ۳۰۰۰ \ [VAR]$$

مثلث توان در مدار RLC سری با توجه به اینکه $Q_L > Q_C$ است «**پس فاز**» می‌باشد در شکل ۹۵ نشان داده شده است.



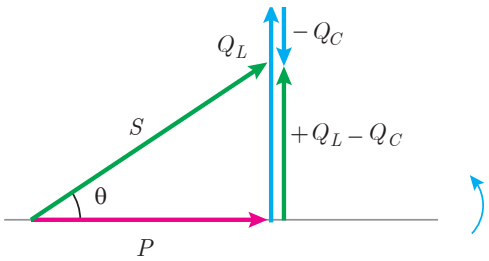
شکل ۹۵

در صورتی که $Q_C > Q_L$ باشد در این صورت مدار «**پیش‌فاز**» می‌باشد.

فعالیت

مثلث توان مدار RLC سری که $Q_L < Q_C$ است را رسم نمایید.

برآیند بردارهای Q_L با Q_C به‌صورت $(+Q_L-Q_C)$ شکل ۹۵ قابل محاسبه است. علامت (+) بیانگر این است که Q_L در جهت محور y دستگاه مختصات می‌باشد و علامت (-) بیانگر این است که Q_C در خلاف جهت محور y دستگاه مختصات می‌باشد. (شکل ۹۶)



شکل ۹۶

بردارهای $+Q_L-Q_C$, S , P شکل ۹۶ تشکیل مثلث قائم‌الزاویه داده‌اند و با توجه به رابطه فیثاغورث به‌دست می‌آید :

$$S = \sqrt{P^{۲} + (+Q_L - Q_C)^{۲}}$$

که در این رابطه:

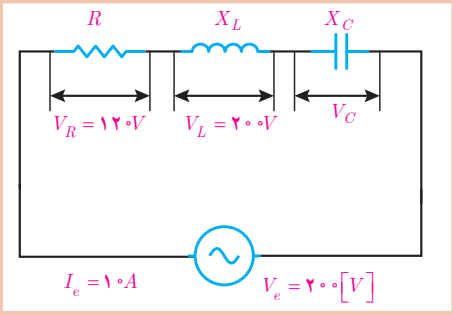
S توان ظاهری منبع [VA]

P توان مؤثر مقاومت اهمی [W]
Q_L توان غیرمؤثر سلف [VAR]
Q_C توان غیرمؤثر خازن [VAR] می‌باشد.
همچنان روابط زیر محاسبه توان‌ها برقرار است :

$$P = V_e I_e \cos\varphi \quad [W]$$
$$Q = V_e I_e \sin\varphi \quad [VAR]$$
$$S = V_e I_e \quad [VA]$$

مثال

در مدار الکتریکی شکل ۹۷ مطلوب است :
الف) محاسبه توان مؤثر و غیرمؤثر درصورتی که $X_L > X_C$ باشد.
ب) رسم مثلث توان



شکل ۹۷

حل : الف) برای مقاومت الکتریکی R می‌توان نوشت :

ولتاژ / مقاومت | جریان

$$\text{مقاومت} = \frac{\text{ولتاژ}}{\text{جریان}}$$
$$R = \frac{V_R}{I_R}$$

از طرفی طبق ویژگی مدار RLC می‌توان نوشت :

$$I_R = I_L = I_C = I_e = ۱۰\,A$$
$$R = \frac{۱۲۰}{۱۰} = ۱۲\,[\Omega]$$

در نتیجه توان مؤثر در مقاومت الکتریکی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P = R\,I_R^{۲} = ۱۲(۱۰)^{۲} = ۱۲۰۰\ [W]$$

برای X_L می‌توان از قانون اهم به صورت زیر استفاده کرد:

ولتاژ / مقاومت | جریان

$$\text{مقاومت} = \frac{\text{ولتاژ}}{\text{جریان}}$$
$$X_L = \frac{V_L}{I_L}$$
$$X_L = \frac{۲۰۰}{۱۰} = ۲۰\,[\Omega]$$

توان غیرمؤثر سلف به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$Q_L = +X_L\,I_L^{۲} = ۲۰(۱۰)^{۲} = ۲۰۰۰\ [VAR]$$

توان ظاهری از رابطه $S=V_e I_e$ به‌دست می‌آید:

$$S=۲۰۰\times۱۰=۲۰۰۰\ [VA]$$

از رابطه مثلث توان می‌توان نوشت:

$$S=\sqrt{P^۲+(Q_L-Q_C)^۲}$$

$$۲۰۰۰=\sqrt{۱۲۰۰^۲+(Q_L-Q_C)^۲}$$

مقدار X_L بیشتر از X_C می‌باشد. در نتیجه خاصیت مدار پس‌فاز است پس :

$$(Q_L-Q_C)^۲=۲۰۰۰^۲-۱۲۰۰^۲=۲۵۶۰۰۰۰$$

$$Q_L-Q_C=\sqrt{۲۵۶۰۰۰۰}=۱۶۰۰$$

$$۲۰۰۰-Q_C=۱۶۰۰\rightarrow Q_C=۴۰۰$$

با توجه به خاصیت پیش‌فاز بودن خازن و رابطه Q_C می‌توان نوشت :

$$Q_C=-۴۰۰\ [VAR]$$

پرسش

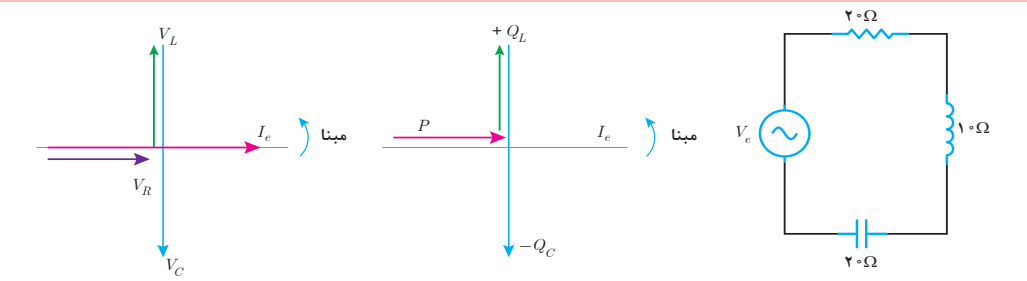
تمرین‌های RLC سری

۱ـ کاربرد مدار RLC سری را بنویسید.

۲ـ چگونگی معادل‌سازی مدار RLC را شرح دهید.

۳ـ مدار RLC سری را تعریف کنید.

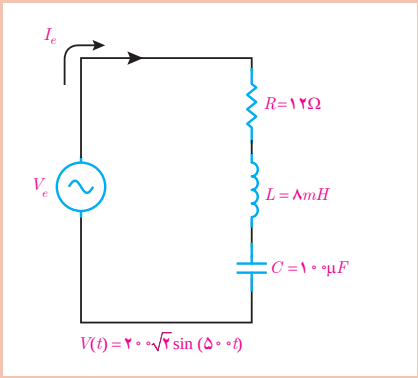
۴ـ در هر یک از شکل‌های زیر پس‌فاز یا پیش‌فاز بودن مدار را تعیین کنید.



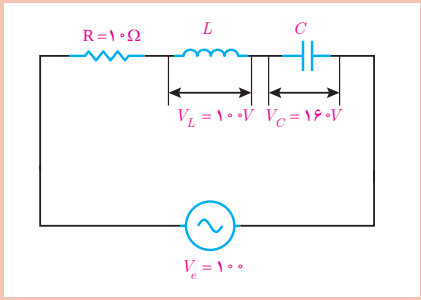
۵ـ ویژگی‌های مدار RLC سری را بنویسید.

۶ـ مثلث توان یک مدار RLC سری را در حالت $Q_L < Q_C$ رسم نمایید.

۷ـ در مدار الکتریکی شکل روبه‌رو مطلوب است:
الف) ولتاژ هر کدام از عناصر مدار
ب) ضریب توان مؤثر و ضریب توان غیرمؤثر
ج) توان‌های مدار و مثلث توان

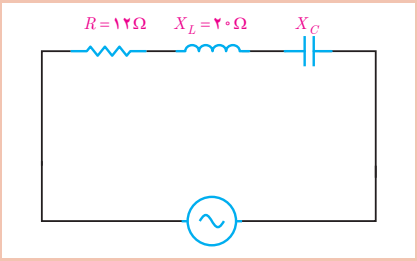


۸ـ در مدار الکتریکی RLC سری روبه‌رو مطلوب است :
الف) V_R و I_R
ب) Z
ج) X_L و X_C

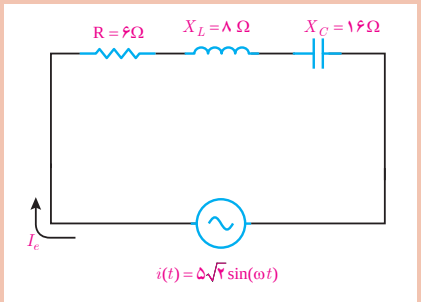


۹ـ در یک مدار RLC سری معادله زمانی ولتاژ منبع $v(t)=۲۰۰\sqrt{۲}\sin(۱۰۰۰t)$ و $i(t)=۴\sqrt{۲}\sin(۱۰۰۰t-۳۷^\circ)$ و $C=۱۰۰\mu F$ می‌باشد. مطلوب است محاسبه L و R.

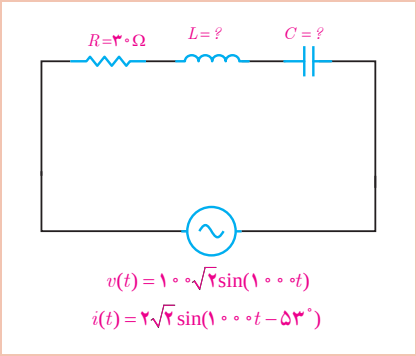
۱۰ـ در مدار الکتریکی RLC سری شکل روبه‌رو در صورتی که ضریب توان مؤثر ۰/۶ باشد مطلوب است محاسبه مقدار X_C دردوحالت زیر:
الف) مدار پیش‌فاز باشد.
ب) مدار پس‌فاز باشد.



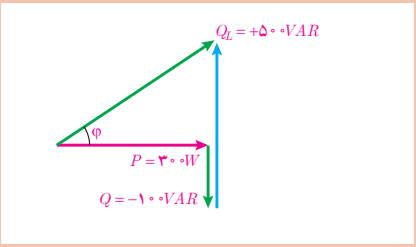
۱۱ـ در مدار الکتریکی RLC سری روبه‌رو مطلوب است :
الف) مقاومت ظاهری مدار
ب) ولتاژ منبع و رسم دیاگرام برداری ولتاژها و جریان
ج) توان‌های مدار و رسم مثلث توان



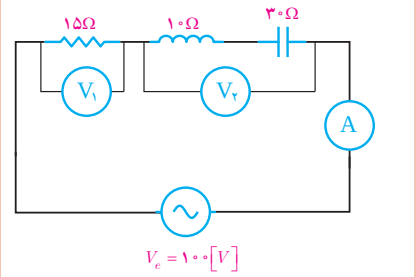
۱۲ـ در مدار RLC سری شکل روبه‌رو $V_L = 5V_C$ می‌باشد.
مطلوب است محاسبه:
الف) L و C



۱۳- مثلث توان یک مدار RLC سری به صورت مقابل است.
مطلوب است:
الف) توان‌های مؤثر و غیرمؤثر مدار
ب) توان ظاهری و ضریب قدرت مؤثر
ج) در صورتی‌که $I_e = 5[A]$ باشد ولتاژ منبع را بیابید.

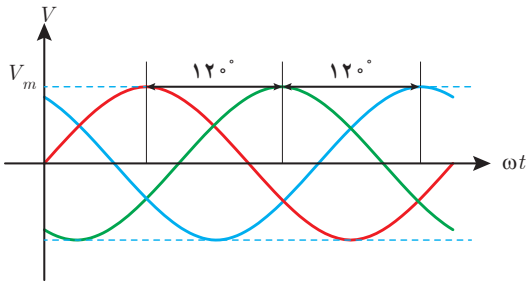


۱۴- در مدار الکتریکی شکل روبه‌رو ولت‌متر V_1 مقدار ۶۰ را نشان می‌دهد. مقداری که ولت‌متر V_2 و آمپرمتر نشان می‌دهد را به‌دست آورید.



۱۰ـ۱ مدارهای الکتریکی سه فاز

مدارهای الکتریکی سه فاز برای معادل‌سازی اتصال مصرف‌کننده‌های سه فاز به شبکه سه فاز به‌کار می‌روند. شبکه الکتریکی که شامل سه‌ولتاژ با اختلاف فاز ۱۲۰ درجه نسبت به یکدیگر و دامنه ولتاژ برابر باشد را «شبکه الکتریکی سه فاز» گویند (شکل ۹۸).



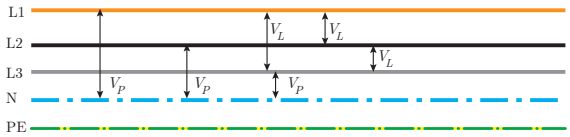
شکل ۹۸

در شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی برای تغذیه مصرف‌کننده‌های الکتریکی از شبکه الکتریکی سه‌فاز به‌صورت پنج سیمه استفاده می‌شود که شامل سه‌فاز، سیم نول و سیم حفاظتی زمین می‌باشد. سه فاز را با حروف L_1، L_2، L_3 نشان می‌دهند و از حرف N برای نشان دادن سیم نول و از حرف PE برای نشان دادن سیم حفاظتی زمین استفاده می‌شود (شکل ۹۹).



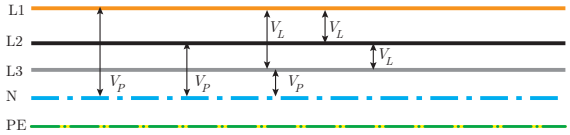
شکل ۹۹

ولتاژ در شبکه‌های سه فاز به‌صورت ولتاژ فازی و ولتاژ خطی قابل محاسبه و اندازه‌گیری می‌باشد. اختلاف پتانسیل الکتریکی هر فاز با سیم نول را «ولتاژ فازی » گویند و آن را با V_P نمایش می‌دهند (شکل ۱۰۰).



شکل ۱۰۰

اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو فاز را «ولتاژ خط » گویند و آن را با V_L نمایش می‌دهند (شکل ۱۰۱).



شکل ۱۰۱

رابطه بین ولتاژ خطی با ولتاژهای فازی به‌صورت زیر است:

$$V_L = \sqrt{3}V_P$$

در این رابطه:
V_L ولتاژ خطی [v]
V_p ولتاژ فازی [v] می‌باشد.

مثال

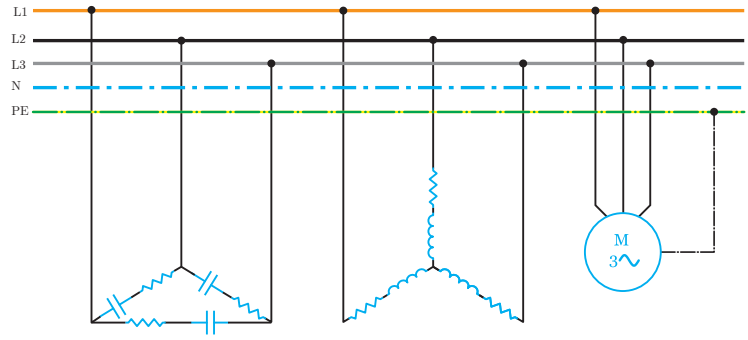
در شبکه توزیع انرژی الکتریکی ایران اختلاف پتانسیل بین دو فاز غیرهم‌نام ۴۰۰v است. ولتاژفازی این شبکه چند ولت می‌باشد؟

ازرابطه $V_L = \sqrt{3}\,V_P$ می‌توان ولتاژ فازی را به‌دست آورد.

$$۴۰۰ = \sqrt{۳}V_P \rightarrow V_P = \frac{۴۰۰}{\sqrt{۳}} = ۲۳۰\ [v]$$

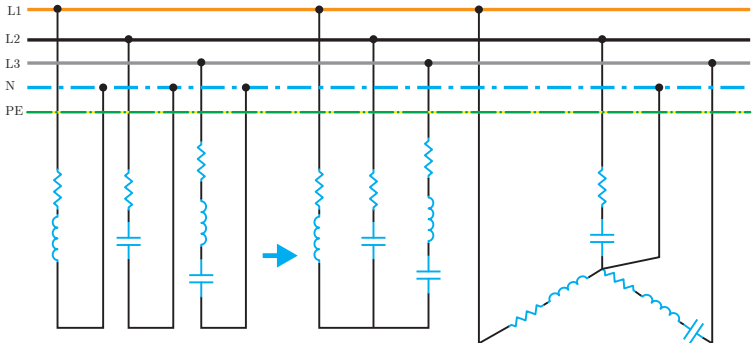
شبکه‌های سه فاز برای تغذیه مصرف‌کننده‌های سه فاز و تک‌فاز به‌کار می‌روند.

مصرف‌کننده‌های سه فاز با اتصال ستاره یا مثلث از شبکه سه فاز تغذیه می‌شوند (شکل ۱۰۲).



شکل ۱۰۲

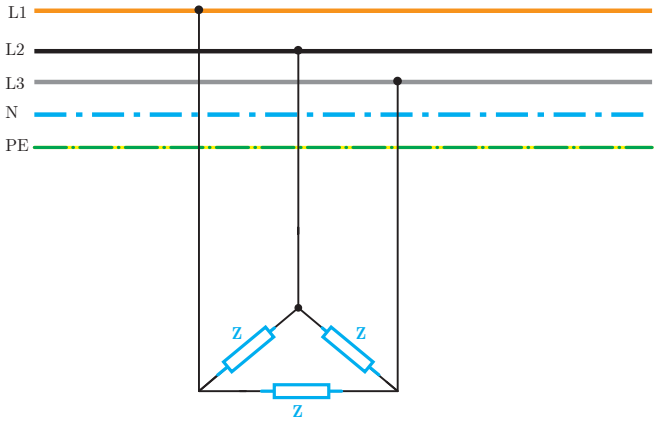
مصرف‌کننده‌های تک‌فاز نیز با اتصال به شبکه سه فاز تغذیه می‌شوند. اتصال مصرف‌کننده‌های تک‌فاز به شبکه سه فاز باعث شکل‌گیری اتصال ستاره نامتعادل خواهد شد (شکل ۱۰۳).



شکل ۱۰۳

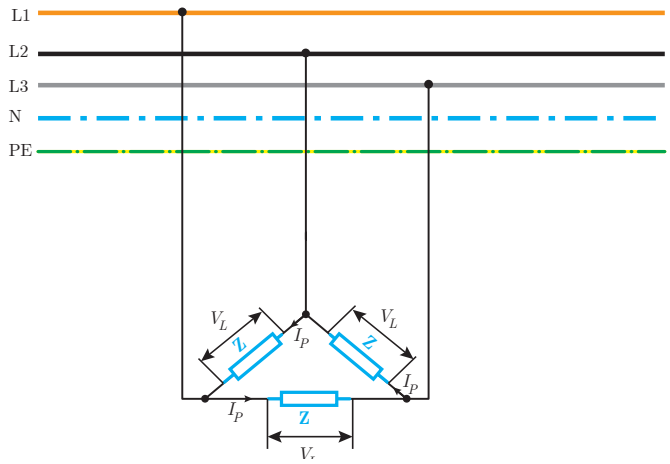
مدار الکتریکی سه فاز با اتصال مثلث

مدار الکتریکی سه فاز با اتصال مثلث در شکل ۱۰۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۰۴

در اتصال مثلث هر یک از مقاومت‌های ظاهری z باید ولتاژ خطی را تحمل کنند. اعمال ولتاژ خطی V_L به مقاومت ظاهری Z در آن جریان جاری می‌نماید. جریانی که در هریک از مقاومت‌های ظاهری مصرف‌کننده سه فاز جاری می‌شود را «جریان فازی» گویند و آن را با I_P نشان می‌دهند (شکل ۱۰۵).



شکل ۱۰۵

جریان فازی I_P با توجه به قانون اهم به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.



$$\text{جریان} = \frac{\text{ولتاژ}}{\text{مقاومت}}$$

$$I_P = \frac{V_L}{Z}$$

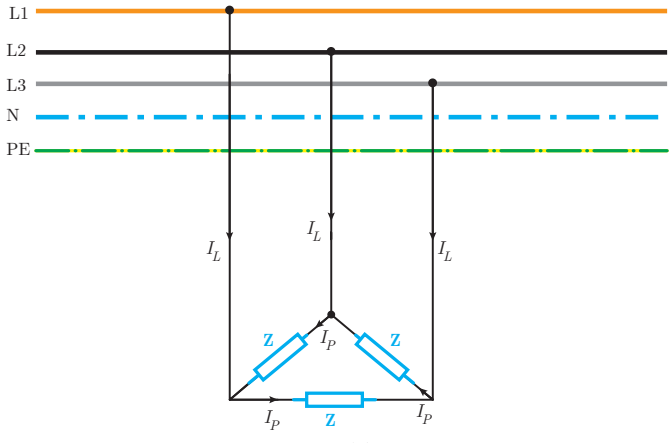
در این رابطه:

I_P جریان فازی [A]

V_L ولتاژ خطی [V]

Z مقاومت ظاهری [Ω] است.

در اثر جاری شدن جریان فازی I_P در مقاومت‌های ظاهری z، جریانی بین بار مثلث و شبکه سه فاز برقرار می‌شود. جریانی که مصرف‌کننده سه فاز از شبکه دریافت می‌نماید را «جریان خطی» می‌گویند و آن را با I_L نشان می‌دهند (شکل ۱۰۶).



شکل ۱۰۶

در اتصال مثلث رابطه زیر بین جریان خطی I_L و جریان فازی I_P برقرار است:

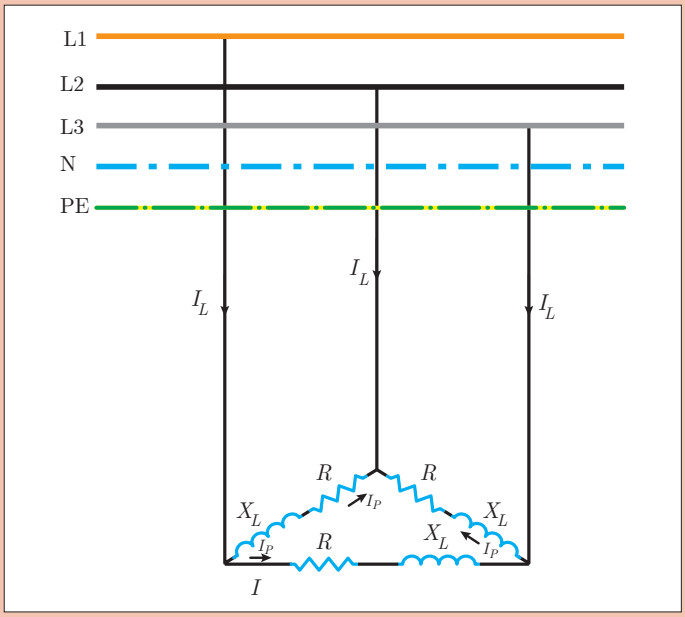
$$I_L = \sqrt{۳}\, I_P$$

در این رابطه:
I_L جریان خطی [A]
I_P جریان فازی [A] است.

مثال

یک مصرف‌کننده الکتریکی سه‌فاز با اتصال مثلث مطابق شکل ۱۰۷ به شبکه سه‌فاز با $V_L = ۴۰۰[v]$ متصل شده است. اگر $R = ۱۲[\Omega]$ و $X_L = ۱۶[\Omega]$ باشد. مطلوب است محاسبه:

الف) مقاومت ظاهری Z
ب) جریان فاز
ج) جریان خط



شکل ۱۰۷

حل: الف) هر Z به‌صورت مدار RL سری است پس مقاومت ظاهری به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Z = \sqrt{R^۲ + X_L^۲} = \sqrt{۱۲^۲ + ۱۶^۲} = ۲۰\ [\Omega]$$

ب) جریان فاز از رابطه قانون اهم به‌دست می‌آید:



$$\text{جریان} = \frac{\text{ولتاژ}}{\text{مقاومت}}$$

$$I_P = \frac{V_L}{Z}$$

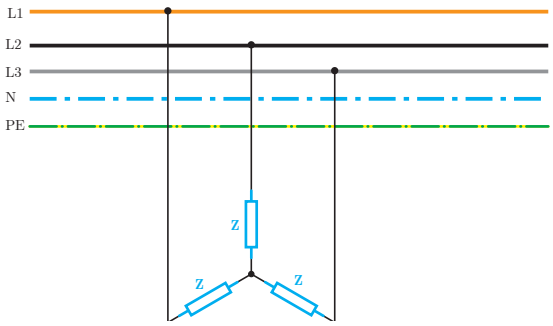
$$I_P = \frac{۴۰۰}{۲۰} = ۲۰[A]$$

ج) جریان خطی از رابطه $I_L = \sqrt{۳}\, I_P$ به‌دست می‌آید:

$$I_L = \sqrt{۳} \times ۲۰ = ۳۴/۶۴[A]$$

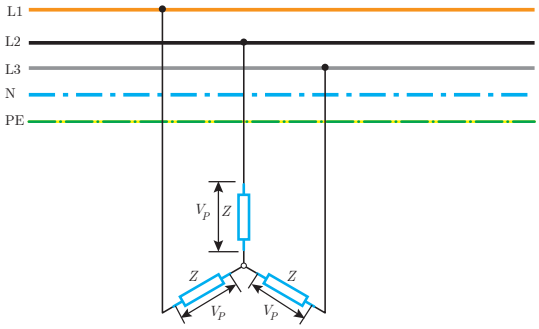
مدار الکتریکی سه فاز با اتصال ستاره

مدار الکتریکی سه فاز با اتصال ستاره در شکل ۱۰۸ نشان داده شده است.



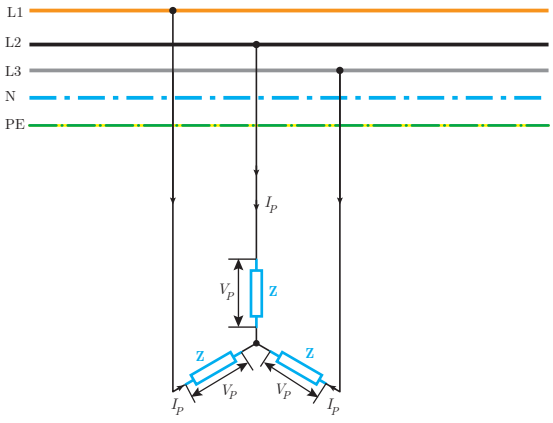
شکل ۱۰۸

پتانسیل محل اتصال مقاومت ظاهری Z به یکدیگر در اتصال ستاره مصرف‌کننده‌های سه فاز «صفر» است. محل اتصال مقاومت‌ها به یکدیگر در مصرف‌کننده‌های سه فاز با اتصال ستاره را «نقطه صفر» گویند. اختلاف پتانسیل بین هر فاز با نقطه صفر برابر ولتاژ فازی V_P می‌باشد (شکل ۱۰۹).



شکل ۱۰۹

در اتصال مصرف‌کننده سه فاز با اتصال ستاره هر یک از مقاومت‌های ظاهری Z ولتاژ فازی V_P را باید تحمل کند. با اعمال ولتاژ فازی V_P به مقاومت ظاهری Z در آن جریان جاری می‌شود. جریانی که در هر یک از مقاومت‌های ظاهری جاری می‌شود را «جریان فازی» می‌گویند و آن را با I_P نشان می‌دهند (شکل ۱۱۰).



شکل ۱۱۰

جریان فازی I_P با توجه به قانون اهم به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:



$$\text{جریان} = \frac{\text{ولتاژ}}{\text{مقاومت}}$$

$$I_P = \frac{V_L}{Z}$$

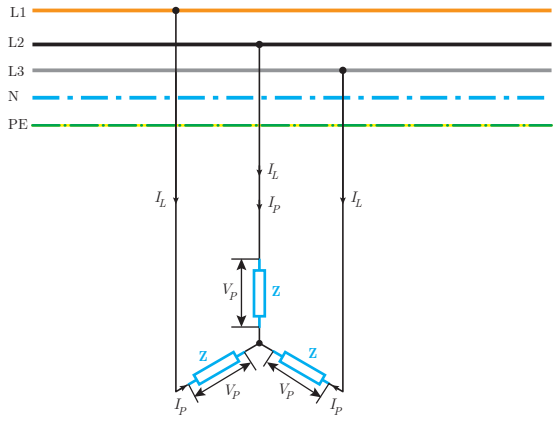
که در این رابطه:

I_P جریان فازی [A]

V_P ولتاژفازی [V]

Z مقاومت ظاهری [Ω]می‌باشد.

در اثر جاری شدن جریان فازی I_P در مقاومت‌های ظاهری Z جریان بین بار ستاره و شبکه سه فاز برقرار می‌شود. جریانی که مصرف‌کننده سه فاز از شبکه سه فاز دریافت می‌نماید را «جریان خطی» می‌گویند و آن را با I_L نشان می‌دهند (شکل ۱۱۱).



شکل ۱۱۱

جریان خطی I_L در اتصال ستاره با جریان فازی I_P برابر است یعنی:

$$I_L = I_P$$

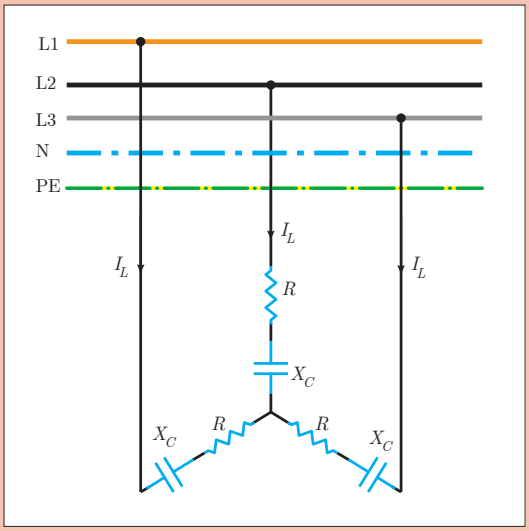
مثال

یک مصرف‌کننده الکتریکی سه فاز با اتصال ستاره مطابق شکل ۱۱۲ از شبکه سه‌فاز با ولتاژ $V_L = ۳۸۰[v]$ تغذیه می‌کند. اگر $R = ۸[\Omega]$ و $X_C = ۶[\Omega]$ مطلوب است:

الف) محاسبه مقاومت ظاهری

ب) جریان فازی

ج) جریان خطی



شکل ۱۱۲

حل: الف) هر فاز مصرف‌کننده الکتریکی سه فاز به‌صورت مدار RC سری می‌باشد و مقاومت ظاهری آن به صورت زیر حساب می‌شود:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10[\Omega]$$

ب) ولتاژ فازی به‌صورت زیر حساب می‌شود:

$$V_L = V_P\sqrt{3} \rightarrow V_P = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220V$$

$$I_L = I_P = 22\ [A]$$

جریان فازی از قانون اهم قابل محاسبه است:



$$\text{جریان} = \frac{\text{ولتاژ}}{\text{مقاومت}}$$

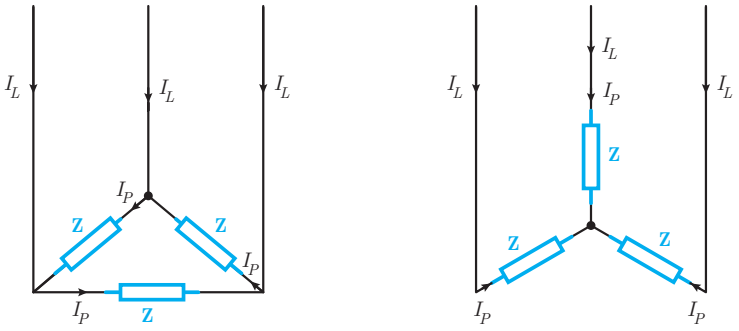
$$I_P = \frac{V_P}{Z} = \frac{220}{10} = 22[A]$$

ج) در اتصال ستاره جریان خطی (I_L) با جریان فازی I_P برابر است پس:

$$I_L = I_P = 22\ [A]$$

توان مدارهای الکتریکی سه فاز

توان مدارهای الکتریکی سه فاز با اتصال ستاره یا مثلث از توان هر یک از مقاومت‌های ظاهری Z به‌دست می‌آید. در اتصال مصرف‌کننده سه فاز با حالت ستاره یا مثلث به شبکه الکتریکی سه فاز، جریان فازی I_P در هر یک از مقاومت‌های ظاهری جاری می‌شود و هر یک از آنها توان الکتریکی خواهند داشت (شکل ۱۱۳).



شکل ۱۱۳

توان مؤثر هر یک از مقاومت‌های ظاهری P_Z در اتصال ستاره از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$P_Z = V_P I_P \cos\varphi$$

توان مؤثر مصرف‌کننده سه فاز $P_{3\varphi}$ از جمع توان مؤثر در سه مقاومت ظاهری به‌دست خواهد آمد:

$$P_{3\varphi} = P_Z + P_Z + P_Z$$

توان ظاهری هر یک از مقاومت‌های ظاهری با یکدیگر برابر است و می‌توان نوشت:

$P_{۳\varphi}=۳P_Z$

با جایگزینی رابطه P_Z خواهیم داشت:

$P_{۳\varphi}=۳V_PI_P\cos\varphi$

در این رابطه:

$P_{۳\varphi}$ توان مؤثر مصرف‌کننده سه‌فاز [W]

V_P ولتاژفازی [V]

I_P جریان فازی [A]

$\cos\varphi$ ضریب توان مؤثر است.

توان مؤثردر اتصال ستاره یا مثلث رامی‌توان از رابطه زیر نیز به‌دست آورد.

$$P_{۳\varphi}=\sqrt{۳}\,V_LI_L\cos\varphi$$

در این رابطه:

$P_{۳\varphi}$ توان مؤثر مصرف‌کننده سه‌فاز [W]

V_L ولتاژخطی [v]

I_Lجریان خطی [A] می‌باشد.

توان غیرمؤثر هر یک از مقاومت‌های ظاهری Q_Z در اتصال ستاره از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$Q_Z = V_PI_P\sin\varphi$

توان غیرمؤثر مصرف‌کننده سه فاز $Q_{۳\varphi}$ از جمع توان غیرمؤثر در سه مقاومت ظاهری به‌دست خواهد آمد:

$Q_{۳\varphi}= Q_Z + Q_Z + Q_Z$

توان غیرمؤثر هر یک از مقاومت‌های ظاهری با یکدیگر برابر است و می‌توان نوشت:

$Q_{۳\varphi}= ۳Q_Z$

با جایگزینی رابطه Q_Z خواهیم داشت:

$Q_{۳\varphi}= ۳V_PI_P\sin\varphi$

در این رابطه:

$Q_{۳\varphi}$ توان غیرمؤثر مصرف‌کننده سه فاز [VAR]

V_P ولتاژفازی [V]

I_P جریان فازی [A]

$\sin\varphi$ ضریب توان غیرمؤثر است.

توان راکتیو در اتصال ستاره یا مثلث از رابطه زیر نیز به‌دست می‌آید:

$$Q_{۳\varphi}=\sqrt{۳}\,V_LI_L\sin\varphi$$

در این رابطه:

$Q_{۳\varphi}$ توان غیرمؤثر مصرف‌کننده سه فاز [VAR]

V_L ولتاژخطی [V]

I_L جریان خطی [A]

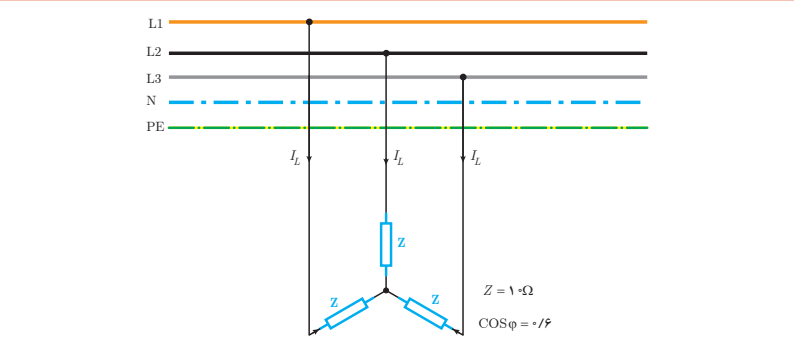
$\sin\varphi$ ضریب توان غیرمؤثر است.

مثال

یک مصرف‌کننده الکتریکی سه‌فاز در حالت ستاره به شبکه الکتریکی سه فاز با $V_L = ۲۰۰\sqrt{۳}$ متصل است. مطلوب است محاسبه:

الف) جریان فازی و خطی

ب) توان غیرمؤثر مصرف‌کننده سه فاز



شکل ۱۱۴

حل: در اتصال ستاره ولتاژ مقاومت‌های ظاهری برابر ولتاژ فازی است.

الف) در اتصال ستاره ولتاژ فازی به صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$V_P = \frac{V_L}{\sqrt{۳}}$$

$$V_P = \frac{۲۰۰\sqrt{۳}}{\sqrt{۳}} = ۲۰۰[v]$$

جریان فازی از قانون اهم به‌دست می‌آید:



$$\text{جریان} = \frac{\text{ولتاژ}}{\text{مقاومت}}$$

$$I_P = \frac{V_P}{Z}$$

$$I_P = \frac{۲۰۰}{۱۰} = ۲۰[A]$$

در اتصال ستاره $I_P = I_L$ می‌باشد:

$$[A]۲۰ = I_P = I_L$$

ب) از رابطه زیر $\sin\varphi$ به‌دست می‌آید:

$$\sin\varphi = \sqrt{۱-\cos\varphi^۲} = \sqrt{۱-(۰/۶)^۲} = ۰/۸$$

توان غیرمؤثر سه فاز از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$Q_{۳\varphi} = ۳V_P I_P \sin\varphi$$

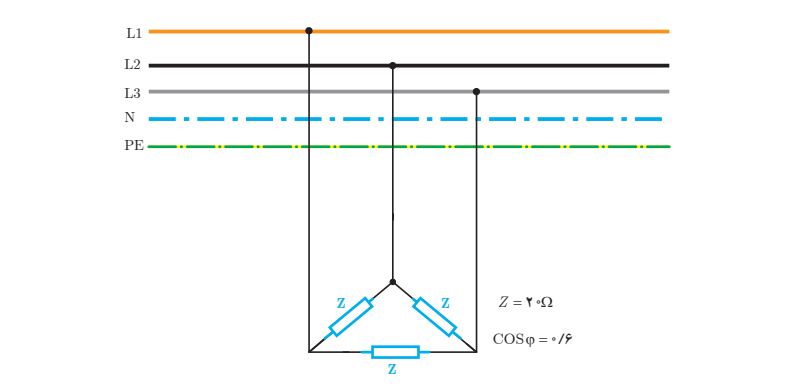
$$Q_{۳\varphi} = ۳\times۲۰۰\times۲۰\times۰/۸ = ۹۶۰۰\ [VAR]$$

مثال

یک مصرف‌کننده الکتریکی سه فاز مطابق شکل ۱۱۵ از شبکه الکتریکی سه‌فاز $V_L = ۴۰۰[V]$ تغذیه می‌شود. مطلوب است محاسبه:

الف) جریان‌های فازی و خطی

ب) توان مؤثر مصرف‌کننده



شکل ۱۱۵

حل: در اتصال مثلث ولتاژ مقاومت‌های ظاهری Z برابر ولتاژ خطی است.

الف) جریان فازی در اتصال مثلث از رابطه زیر به‌دست می‌آید:



$$\text{جریان} = \frac{\text{ولتاژ}}{\text{مقاومت}}$$

$$I_P = \frac{V_L}{Z}$$

$$I_P = \frac{۴۰۰}{۲۰} = ۲۰[A]$$

در اتصال مثلث جریان خط به صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$I_L = I_P\sqrt{۳} \rightarrow I_L = ۲\sqrt{۳}[A]$$

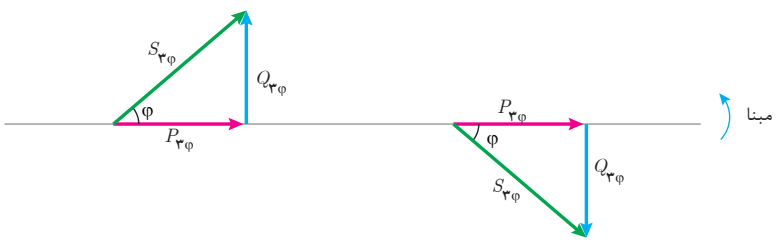
ب) توان مؤثر سه فاز به صورت زیر حساب می‌شود:

$$P_{۳\varphi}=۳V_L I_P \cos\varphi$$

$$P_{۳\varphi}=۳\times۴۰۰\times۲۰\times۰/۶$$

$$P_{۳\varphi}=۱۴۴۰۰[W]$$

مثلث توان مصرف‌کننده‌های سه فاز در دو حالت پس‌فاز و پیش‌فاز در شکل ۱۱۶ نشان داده شده است.



شکل ۱۱۶

توان ظاهری سه فاز در مثلث توان از رابطه فیثاغورث قابل محاسبه است.

$$S_{3\varphi} = \sqrt{P_{3\varphi}^{2} + Q_{3\varphi}^{2}}$$

که در این رابطه:

$S_{3\varphi}$ توان ظاهری مصرف‌کننده سه فاز [VA]

$P_{3\varphi}$ توان مؤثر مصرف‌کننده سه فاز [W]

$Q_{3\varphi}$ توان غیرمؤثر مصرف‌کننده سه فاز [VAR] است.

با جایگزینی رابطه $P_{3\varphi}$ و $Q_{3\varphi}$ در رابطه $S_{3\varphi}$ رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$S_{3\varphi} = 3V_P I_P$$

که در این رابطه:

$S_{3\varphi}$ توان ظاهری مصرف‌کننده سه فاز [VA]

V_P ولتاژفازی [V]

I_P جریان فازی [A] است.

توان ظاهری از رابطه زیر نیز به‌دست می‌آید:

$$S_{3\varphi} = \sqrt{3}\, V_L I_L$$

که در این رابطه:

$S_{3\varphi}$ توان ظاهری مصرف‌کننده سه فاز [VA]

V_L ولتاژخطی [v]

I_L جریان خطی [A] است.

مثال

یک مصرف‌کننده سه فاز در حالت مثلث از شبکه الکتریکی با ولتاژ خط $V_L = 380$ [v] تغذیه می‌شود. در صورتی‌که مقاومت ظاهری $Z = 20$ [Ω] و ضریب توان مؤثر ۰/۶ باشد توان‌های مصرف‌کننده را به‌دست آورید.

حل:

در اتصال مثلث ولتاژ مقاومت‌های ظاهری برابر ولتاژ خطی V_L است.

جریان فازی از قانون اهم به‌دست می‌آید:

$$I_P = \frac{V_L}{Z}$$

$$I_P = \frac{380}{20} = 19[A]$$

توان مؤثر سه فاز از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$P_{3\varphi} = 3V_L I_P \cos\varphi$$

$$P_{3\varphi} = 3 \times 380 \times 19 \times 0/6 = 12996[W]$$

از رابطه مثلثاتی می‌توان $\sin\varphi$ را محاسبه کرد:

$$\sin\varphi = \sqrt{1 - \cos\varphi^{2}} = \sqrt{1 - (0/6)^{2}} = 0/8$$

توان غیرمؤثر سه فاز از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$Q_{3\varphi}=3V_L I_P \sin\varphi$$
$$Q_{3\varphi}=3\times380\times19\times0/8=17328[VAR]$$

توان ظاهری سه فاز به صورت زیر حساب می‌شود:

$$S_{3\varphi}=3V_P I_P$$
$$S_{3\varphi}=3\times380\times19=21660[V.A]$$

فعالیت

ثابت کنید توان ظاهری مصرف‌کننده سه‌فاز در اتصال مثلث و ستاره از رابطه $S_{3\varphi}=\sqrt{3}\,V_L I_L$ به‌دست می‌آید.

مثال

یک مصرف‌کننده سه‌فاز از شبکه الکتریکی سه‌فاز با ولتاژ خط $V_L = 200[v]$ تغذیه می‌شود. اگر جریان دریافتی مصرف‌کننده از شبکه الکتریکی $15[A]$ باشد توان ظاهری سه فاز را به‌دست آورید.

حل: از رابطه توان ظاهری سه فاز می‌توان نوشت:

$$S_{3\varphi}=\sqrt{3}\,V_L I_L$$
$$S_{3\varphi}=\sqrt{3}\times200\times15=3000\sqrt{3}[VA]$$
$$S_{3\varphi}=3000\sqrt{3}\times10^{-3}=3\sqrt{3}[KVA]$$

تمرین

۱ـ مفاهیم زیر را تعریف کنید

الف) شبکه الکتریکی سه فاز

ب) ولتاژ فازی

ج) جریان خطی

۲ـ در جای خالی کلمات مناسب بنویسید.

الف) مدارهای الکتریکی سه فاز برای ..... اتصال مصرف‌کننده‌های سه فاز استفاده می‌شود.

ب) ولتاژ در شبکه‌های سه فاز به‌صورت ..... و ..... قابل اندازه‌گیری است.

ج) اتصال مصرف‌کننده‌های تک‌فاز به شبکه سه‌فاز ..... ایجاد می‌کند.

۳ـ درستی و نادرستی جملات زیر را تعیین کنید.

الف) اختلاف پتانسیل بین دوفاز را ولتاژ خطی گویند.

☐ صحیح ☐ غلط

ب) جریانی که مصرف‌کننده سه فاز از شبکه دریافت می‌کند را جریان فازی گویند.

☐ صحیح ☐ غلط

ج) برای محاسبه جریان خطی از رابطه $I_L=\frac{V_P}{Z}$ استفاده می‌شود.

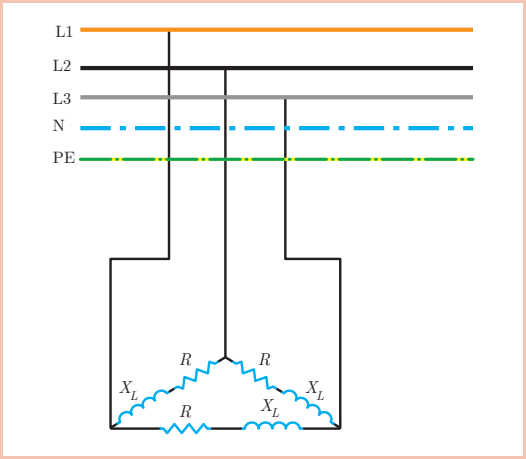
☐ صحیح ☐ غلط

۴ـ یک مصرف‌کننده الکتریکی مطابق شکل روبه‌رو به شبکه سه‌فاز ۴۰۰ ولت متصل شده است. اگر $R=۲۰\Omega$ و $X_L=۲۰\Omega$ باشد، مطلوب است:

الف)جریان فازی و خطی

ب) توان‌های مدار

ج) رسم مثلث توان

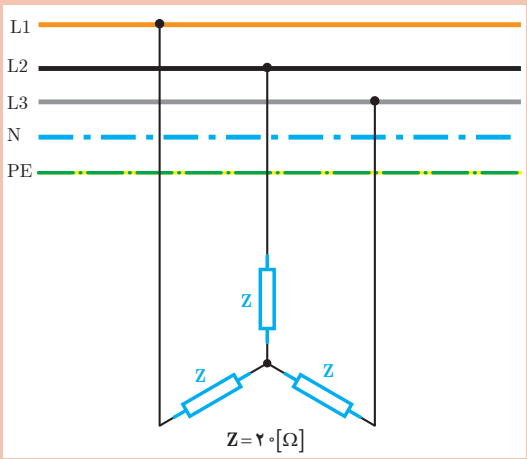


۵ـ یک مصرف‌کننده سه فاز مطابق شکل روبه‌رو به شبکه سه فاز [V] ۴۰۰ متصل شده است مطلوب است.

الف) توان ظاهری

ب) اگر اتصال مصرف‌کننده به حالت مثلث درآید توان ظاهری را محاسبه کنید.

ج) از مقایسه توان ظاهری دو حالت ستاره و مثلث چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

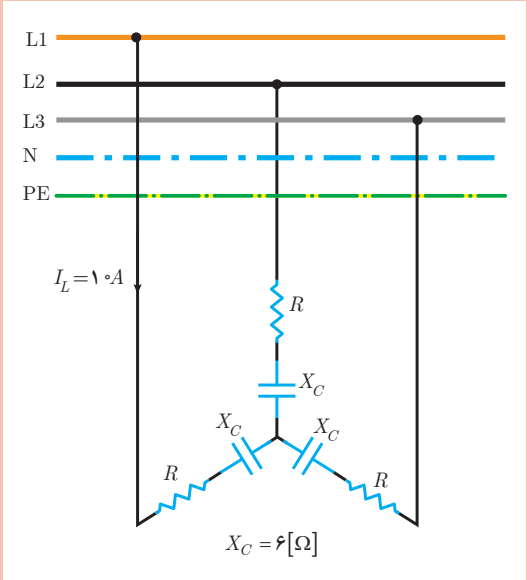


۶ـ توان مؤثر مصرف‌کننده الکتریکی شکل مقابل [kW] ۲/۴ است. مطلوب است محاسبه:

الف) مقدار R

ب) ضریب توان

ج) رسم مثلث توان



* برای حل تمرین‌ها از کتاب همراه هنرجو استفاده کنید.

ارزشیابی مبتنی بر شایستگی پودمان تحلیل مدارهای الکتریکی

استاندارد ارزشیابی پیشرفت تحصیلی مبتنی بر شایستگی درس دانش فنی تخصصی الکتروتکنیک

عنوان پودمان	تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج مورد انتظار	شاخص تحقیق	نمره
پودمان ۱	تحلیل مدارهای الکتریکی	تجزیه‌بردار با استفاده از نسبت‌های مثلثاتی ـ تفاضل و برآیند دو بردار به کمک فیثاغورث ـ برآیند بردارها با استفاده از مؤلفه‌های آن ـ محاسبه توان در مدار الکتریکی با استفاده از روابط آن ـ محاسبه توان شبکه الکتریکی با روش تجزیه ـ محاسبه کمیت‌های الکتریکی مدار RC و RL و RLC سری به کمک قانون اهم و روابط توان ـ محاسبه کمیت‌های الکتریکی مدار سه‌فاز با اتصال مثلث و ستاره به کمک قانون اهم و روابط توان	بالاتر از حد انتظار	از کل سؤالات به هفت تا ده سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد.	۳
			در حد انتظار	از کل سؤالات به شش سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد.	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	از کل سؤالات به یک تا پنج سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد.	۱
	نمره مستمر از ۵				
	نمره شایستگی پودمان				
	نمره پودمان از ۲۰				

هدف‌گذاری و سنجش:

برای کسب شایستگی در این پودمان اگر هنرجو:

از کل سؤالات به یک تا پنج سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد شایستگی پایین‌تر از حد انتظار خواهد بود.

از کل سؤالات به شش سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد شایستگی در حد انتظار خواهد بود.

از کل سؤالات به هفت تا ده سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد شایستگی بالاتر از حد انتظار خواهد بود.

توجه: سؤالات ارائه شده همگی هم‌ارزش بوده و در سطح یادگیری در حد انتظار است. معیار ارزشیابی نتیجه‌محور است.

سؤال ۱ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۲ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۳ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۴ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۵ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۶ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۷ـ ..... (۲ نمره)

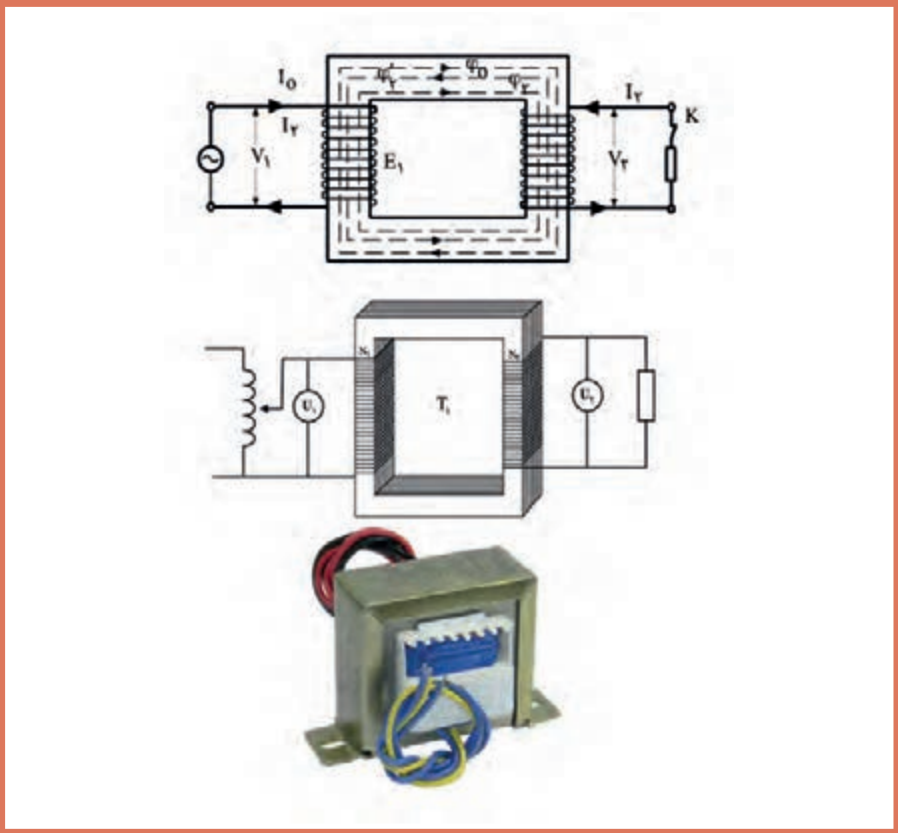
سؤال ۸ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۹ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۱۰ـ ..... (۲ نمره)

پودمان دوم

تحلیل ماشین‌های الکتریکی (ترانسفورماتورهای تک فاز)



واحد یادگیری ۱

آیا می‌دانید

۱ـ چرا ولتاژ تولیدی نیروگاه توسط ترانسفورماتور افزاینده، افزایش می‌یابد؟
۲ـ آزمایش بی‌باری و اتصال کوتاه ترانسفورماتور معرف چه متغیرهایی است؟
۳ـ تفاوت ترانسفورماتور و اتوترانسفورماتور چیست؟

استاندارد عملکرد

پس از پایان این پودمان هنرجویان قادر خواهند بود تحلیل رفتار ترانسفورماتورهای تک‌فاز را در حالت بی‌باری و اتصال به بار بررسی و با روابط اساسی آن کمیت‌های ترانسفورماتور را تحلیل نمایند.

۱ـ۲ـ مقدمه

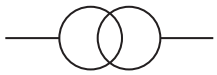
زندگی روزمرهٔ انسان به استفاده از انرژی الکتریکی وابسته است. لوازم خانگی و صنعتی با انرژی الکتریکی کار می‌کنند. انرژی الکتریکی در نیروگاه‌های برق تولید می‌شود. معمولاً نیروگاه‌های تولید انرژی الکتریکی در فواصل دورتری از مصرف‌کننده‌های انرژی الکتریکی قرار دارند. ولتاژ مصرف‌کننده‌های انرژی الکتریکی به مراتب کمتر از ولتاژ تولیدکننده‌های انرژی الکتریکی می‌باشند. برای تبدیل ولتاژ انرژی الکتریکی به مقدار مطلوب از ترانسفورماتور استفاده می‌شود (شکل ۱).

شبکه‌های انتقال، انرژی الکتریکی را از نیروگاه به پست‌های برق می‌رسانند. برای کاهش تلفات انرژی در شبکه‌های انتقال، ولتاژ شبکه انتقال در محل نیروگاه توسط ترانسفورماتور افزایش می‌یابد سپس در پست برق مجدداً ولتاژ را توسط ترانسفورماتور کاهش می‌دهند.



شکل ۱ـ تصویر ترانسفورماتور قدرت

علامت اختصاری ترانسفورماتور در نقشه‌های الکتریکی در (شکل ۲) نشان داده شده است.



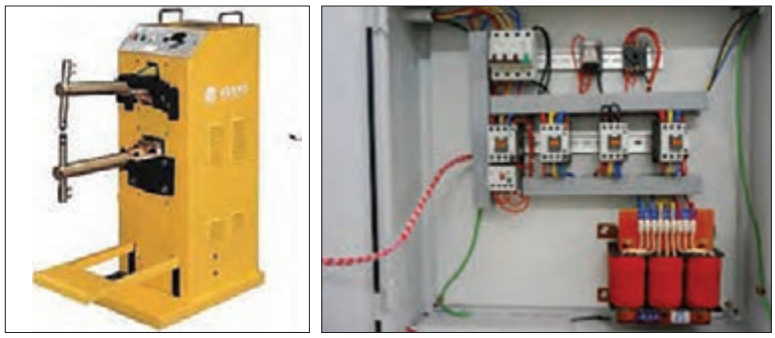
شکل ۲ ـ شمای فنی ترانسفورماتور

در خطوط انتقال انرژی الکتریکی، ترانسفورماتور، ولتاژ را افزایش می‌دهد در نتیجه جریان کاهش می‌یابد با کاهش جریان تلفات خطوط انتقال کم می‌شود (شکل ۳).



شکل ۳ـ پست تقویت ولتاژ

همچنین در صنعت از ترانسفورماتور برای افزایش یا کاهش ولتاژ در مواردی همچون تابلوهای برق صنعتی، راه‌اندازی موتورهای القایی، کوره‌های القایی، جوشکاری و دستگاه نقطهٔ جوش استفاده می‌شود (شکل ۴).



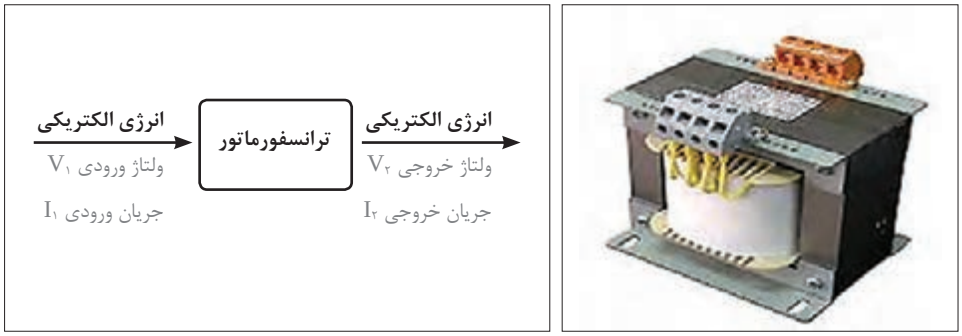
شکل ۴ــ کاربرد ترانسفورماتور در صنعت

۲ــ۲ــ ترانسفورماتور

ترانسفورماتور ماشین الکتریکی است که بدون تغییر در نوع انرژی ولتاژ را تبدیل می‌کند.این ماشین در فرایند تبدیل ولتاژ، انرژی الکتریکی دریافتی را به انرژی مغناطیسی و سپس انرژی مغناطیسی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌نماید.

ترانسفورماتور با جریان متناوب کار می‌کند و اساس کار آن قانون القای الکترومغناطیس فاراده می‌باشد.

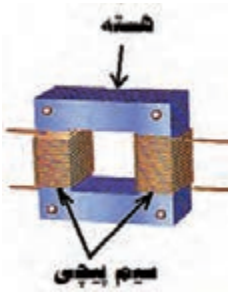
ترانسفورماتور ولتاژ و جریان ورودی (V_1 و I_1) را در خروجی به ولتاژ جریان V_2 و I_2 تبدیل می‌کند. در این تبدیل ترانسفورماتور فرکانس را تغییر نمی‌دهد (شکل ۵).



شکل ۵ــ ترانسفورماتور و ورودی و خروجی آن

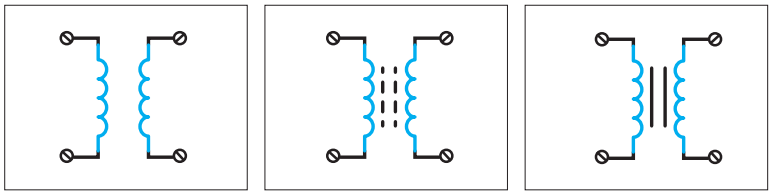
۳ــ۲ــ ساختمان ترانسفورماتور

ترانسفورماتور از دو سیم‌پیچ که بر روی یک هسته قرار دارند تشکیل شده است (شکل ۶).



شکل ۶ــ ساختمان ترانسفورماتور

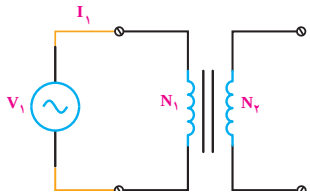
سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور از جنس مس یا آلومینیم می‌باشند در ولتاژهای زیاد از سیم با مقطع گرد استفاده می‌شود و در جریان‌های زیاد سیم با مقطع چهارگوش به‌کار می‌رود.
هستهٔ ترانسفورماتور ازجنس آهن، فریت و هوا می‌باشد. از هسته‌های آهنی در فرکانس‌های ۵۰ و ۶۰ هرتز استفاده می‌شود و در محدودهٔ فرکانس‌های کیلوهرتز و مگاهرتز جنس هسته از فریت یا هوا انتخاب می‌شود.
علامت اختصاری ترانسفورماتورها باتوجه به نوع هسته به‌کار رفته در (شکل ۷) نشان داده شده است.



شکل ۷ـ شمای فنی ترانسفورماتور با هسته‌های متفاوت

۱ـ سیم‌پیچی‌های ترانسفورماتور

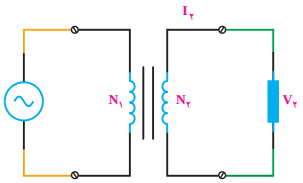
سیم‌پیچی از ترانسفورماتور که به ولتاژ ورودی متصل می‌شود را «سیم‌پیچی اولیه[۱]» گویند و کمیت‌های آن را به‌صورت (شکل ۸) نشان می‌دهند.



شکل ۸ـ کمیت‌های ترانسفورماتور

در این شکل:
V_1 ولتاژ اولیه
I_1 جریان اولیه
N_1 تعداد دور سیم‌پیچ اولیه است.

سیم‌پیچی از ترانسفورماتور که به مصرف‌کننده متصل می‌شود را «سیم‌پیچی ثانویه[۲]» گویند و کمیت‌های آن را به‌صورت (شکل ۹) نشان می‌دهند:



شکل ۹ـ ترانسفورماتور متصل به بار

در این شکل:
V_2 ولتاژ ثانویه
I_2 جریان ثانویه
N_2 تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه است.

۱ـ Primary ۲ـSecondary

سطح مقطع‌هادی سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه متناسب با جریان آنها انتخاب می‌شود لذا با افزایش جریان الکتریکی ترانسفورماتور سطح مقطع‌هادی سیم‌پیچ‌ها بزرگ‌تر درنظر گرفته خواهد شد. تعداد دور سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه متناسب با ولتاژ آنها تعیین می‌شود لذا با افزایش ولتاژ تعداد دور سیم‌پیچ‌ها بیشتر درنظر گرفته خواهد شد.

سیم‌های مسی یا آلومینیومی‌سیم‌پیچی ترانسفورماتور دارای عایق شارلاک با ضخامت ۰/۰۵و یا نوار کاغذی می‌باشند بدین ترتیب حلقه‌های سیم‌پیچی نسبت به یکدیگر عایق خواهند بود.

حلقه‌های سیم‌پیچی اولیه و ثانویه در کنار یکدیگر و در چند لایه بر روی قرقره‌هایی از جنس ترموپلاست به‌طور مرتب پیچیده می‌شوند (شکل ۱۰).



شکل ۱۰ـ انواع قرقره ترانسفورماتور

۲ـ هسته ترانسفورماتور: هستهٔ ترانسفورماتور مسیری برای عبور فوران مغناطیسی سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه می‌باشد و ارتباط مغناطیسی بین سیم‌پیچ‌ها را برقرار می‌سازد.



شکل ۱۱ـ هسته ترانسفورماتور

هستهٔ ترانسفورماتور از جنس مواد فرومغناطیس می‌باشد. مواد فرومغناطیس دارای ضریب نفوذ مغناطیسی زیاد می‌باشد و به‌راحتی فوران مغناطیسی را از خود عبور می‌دهد. آهن بدون آلیاژ، فولاد الکتریکی، آهن با آلیاژ نیکل و فریت‌ها جزء مواد فرومغناطیس می‌باشند.

هستهٔ فریت به‌صورت یکپارچه و هسته‌های آهنی به‌صورت ورقه ورقه می‌باشد.

۴ـ۲ انواع ترانسفورماتور

ترانسفورماتور یک مبدل ولتاژ است و با مقایسه ولتاژ ثانویه و اولیه ترانسفورماتور، آن را به سه دسته تقسیم‌بندی می‌کنند:

۱ـ ترانسفورماتور افزاینده

۲ـ ترانسفورماتور کاهنده

۳ـ ترانسفورماتور یک به یک

ترانسفورماتوری که ولتاژ ثانویه از ولتاژ اولیه بزرگتر باشد را ترانسفورماتور افزاینده گویند.یعنی :

$$(V_۲ > V_۱)$$

در ترانسفورماتور افزاینده تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ ثانویه بیشتر از تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ اولیه می‌باشد.

ترانسفورماتوری که ولتاژ ثانویه از ولتاژ اولیه کوچک‌تر باشد را ترانسفورماتورکاهنده گویند. یعنی:

$$(V_۲ < V_۱)$$

در ترانسفورماتور کاهنده تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ ثانویه کمتر از تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ اولیه می‌باشد.

ترانسفورماتوری که ولتاژ ثانویه با ولتاژ اولیه برابر باشد را ترانسفورماتور یک به یک گویند. یعنی:

$$(V_۲ = V_۱)$$

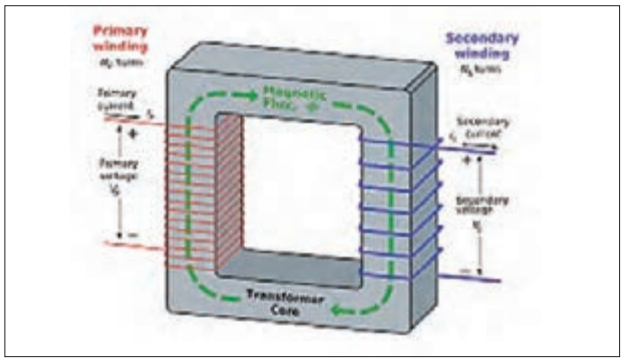
در ترانسفورماتور یک به یک تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ ثانویه برابر با تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ اولیه می‌باشد.

سمتی از ترانسفورماتور که ولتاژ بیشتر دارد را «سمت فشار قوی» و سمتی از ترانسفورماتور که ولتاژ کمتر دارد را «سمت فشار ضعیف» می‌گویند.

سمت فشار قوی ترانسفورماتور را با H.V و سمت فشار ضعیف آن را با L.V نشان می‌دهند.

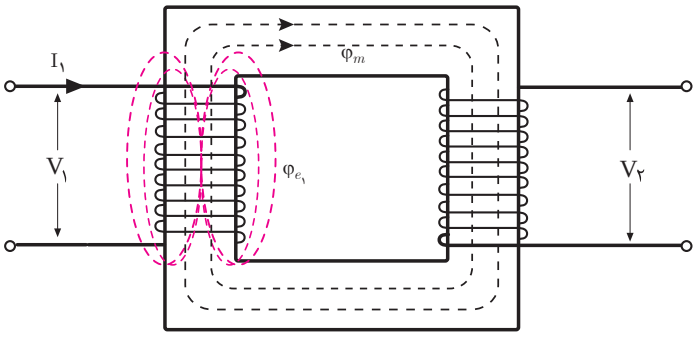
۵ـ۲ طرز کار ترانسفورماتور

با اتصال سیم‌پیچ اولیه به منبع ولتاژ متناوب سینوسی با مقدار مؤثر $V_۱$، جریان $I_۱$ در آن جاری می‌شود. با جاری‌شدن جریان $I_۱$، سیم‌پیچ اولیه فوران متناوب $\varphi_۱$ را تولید می‌کند. بخشی از فوران سیم‌پیچ اولیه که مسیر خود را از هسته برقرار می‌کند «فوران مغناطیس‌کننده» گویند و آن را با φ_m نشان می‌دهند (شکل ۱۲).



شکل ۱۲ـ فوران مغناطیسی در هسته ترانسفورماتور

همهٔ فوران سیم‌پیچ اولیه $\varphi_۱$ از هسته عبور نمی‌کند. بخشی از فوران سیم‌پیچ اولیه که مسیر خود را خارج از هسته برقرار می‌کند، «فوران نشتی[۱]» و یا «فوران پراکندگی» اولیه گویند و آن را با $\varphi_{l_۱}$ نشان می‌دهند. (شکل ۱۳).

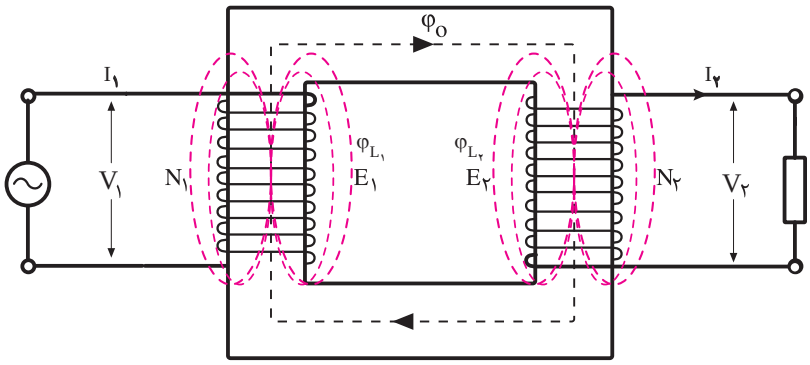


شکل ۱۳ـ فوران مغناطیسی سیم‌پیچ اوّلیه

۱ـ Leakage Flux

فوران مغناطیس‌کننده φ_m با طی مسیر هسته سیم‌پیچ‌های ثانویه و اولیه را قطع می‌کند و طبق قانون القای فاراده در سیم‌پیچی اولیه نیروی محرکه القایی E_1 و در سیم‌پیچی ثانویه نیروی محرکه الکتریکی E_2 را القا می‌کند.
در ترانسفورماتور هیچ ارتباط الکتریکی بین سیم‌پیچ اولیه وثانویه وجود ندارد و ارتباط آنها مغناطیسی است.
ارتباط مغناطیسی سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه با جاری‌شدن فوران از طریق هسته برقرار می‌شود.
با اتصال مصرف‌کننده الکتریکی به ثانویه ترانسفورماتور نیروی محرکه الکتریکی E_2 جریان متناوب I_2 را در سیم‌پیچ ثانویه جاری می‌کند. با جاری‌شدن جریان I_2 و عبور از مصرف‌کننده در دو سر آن ولتاژ V_2 را ایجاد می‌کند.

با جاری‌شدن جریان I_2 سیم‌پیچ ثانویه فوران متناوب φ_2 را تولید می‌کند. بخشی از فوران سیم‌پیچ ثانویه φ_2 که مسیر خود را خارج از هسته برقرار می‌کند «فوران نشتی » و یا «فوران پراکندگی» ثانویه گویند و آن را با φ_{l_2} نشان می‌دهند (شکل ۱۴).



شکل ۱۴ـ فوران مغناطیسی سیم‌پیچ اوّلیه و ثانویه و پراکندگی

بخشی از فوران سیم‌پیچ ثانویه φ_2 مسیر خود را از هسته برقرار می‌کند که جهت آن طبق قانون لنز مخالف جهت فوران مغناطیس‌کننده φ_m است و باعث کاهش آن می‌شود. با کاهش فوران مغناطیس‌کننده مقدار نیروی محرکه القایی سیم‌پیچ اولیه کاهش می‌یابد و جریان سیم‌پیچ اولیه افزایش می‌یابد وکاهش فوران مغناطیسی هسته جبران می‌شود و بدین ترتیب ترانسفورماتور به‌صورت پایدار به کار خود ادامه می‌دهد.
تأثیر جریان ثانویه بر جریان اولیه که منجر به تثبیت فوران مغناطیسی هسته به مقدار φ_0 خواهد شد را «خود تنظیمی » ترانسفورماتور گویند.

مقادیر نیروی محرکه القایی

مقادیر نیروی محرکه القایی E_1 و E_2 باتوجه به قانون القای الکترومغناطیسی فاراده $E = N\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ از روابط زیر به دست می‌آید:

$$E_1 = ۴/۴۴ N_1 . B_m . A . f$$
$$E_2 = ۴/۴۴ N_2 . B_m . A . f$$

در این روابط :
E_1 نیروی محرکه القایی سیم‌پیچ اولیه [v]
E_2 نیروی محرکه القایی سیم‌پیچ ثانویه [v]
N_1 تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ اولیه

$N_۲$ تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ ثانویه
B_m ماکزیمم چگالی فوران مغناطیسی هسته [T]
A سطح مقطع هسته [$m^۲$] است.

مثال

ترانسفورماتوری دارای یک هسته با سطح مقطع ۴۰۰ میلی‌مترمربع است. اگر تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه آن برابر ۱۶۰۰ دور باشد و حداکثر چگالی میدان مغناطیسی در هسته ۱/۸ تسلا باشد نیروی محرکه القایی سیم‌پیچی در فرکانس ۵۰ هرتز چند ولت است؟

$E_۲ = ۴/۴۴ N_۲ .B_m . A . f$
$E_۲ = ۴/۴۴\times ۱۶۰۰ \times ۱/۸ \times ۴۰۰ \times ۱۰^{-۶}\times ۵۰ = ۲۵۵ / ۷۴۴ V$

نسبت تبدیل ترانسفورماتور

نسبت تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ اولیه به تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ ثانویه ترانسفورماتور را «نسبت تبدیل» گویند و با a نشان می‌دهند و از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$a = \frac{N_۱}{N_۲}$$

نسبت تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ ثانویه به تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور را «ضریب تبدیل» گویند و با K نشان می‌دهند و از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$K = \frac{N_۲}{N_۱}$$

رابطه بین a و K به‌صورت زیر است:

$$a = \frac{۱}{K}$$

برای محاسبه نسبت تبدیل از رابطهٔ زیر نیز استفاده می‌شود:

$$\frac{E_۱}{E_۲} = \frac{N_۱}{N_۲} = a$$

فعالیت

رابطه $\frac{E_۱}{E_۲} = \frac{N_۱}{N_۲} = a$ را به دست آورید.

مثال

یک ترانسفورماتور با تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ اولیه ۱۲۵۰ و ثانویه ۱۲۵ دور مفروض است. اگر نیروی محرکه القایی اولیه ۲۵۰ ولت باشد مطلوب است:

الف) ضریب تبدیل

ب) نسبت تبدیل

ج) نیروی محرکه القایی ثانویه

$$k = \frac{N_۲}{N_۱} = \frac{۱۲۵}{۱۲۵۰} = \frac{۱}{۱۰}$$

$$a = \frac{۱}{k} = \frac{۱}{\frac{۱}{۱۰}} = ۱۰$$

$$\frac{E_۱}{E_۲} = \frac{N_۱}{N_۲} \rightarrow \frac{۲۵۰}{E_۲} = \frac{۱۲۵۰}{۱۲۵}$$

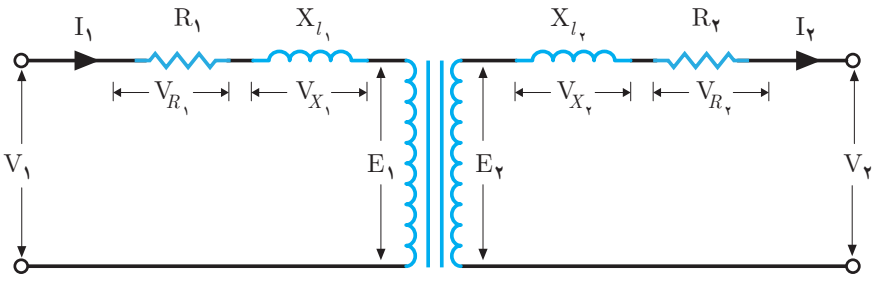
$$E_۲ = ۲۵[v]$$

افت ولتاژ ترانسفورماتور

افت ولتاژ ترانسفورماتور ناشی از مقاومت اهمی و فوران پراکندگی سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه می‌باشد.

افت ولتاژ ناشی از مقاومت اهمی سیم‌پیچ‌ها را « افت ولتاژ اهمی » گویند و با V_R نشان می‌دهند.و افت ولتاژ ناشی از فوران پراکندگی سیم‌پیچ‌ها را « افت ولتاژ پراکندگی » گویند با V_x نشان می‌دهند.

برای نشان‌دادن افت ولتاژ ناشی از فوران پراکندگی از یک سلف و برای نشان‌دادن افت ولتاژ اهمی از یک مقاومت استفاده می‌شود. مقدار افت ولتاژ فوران پراکندگی و افت ولتاژ اهمی به مقدار جریان سیم‌پیچ‌ها بستگی دارد لذا برای مدل‌کردن آنها از یک مدار RL که با سیم‌پیچ سری است استفاده می‌شود. (شکل ۱۵).



شکل ۱۵ـ افت ولتاژ در ترانسفورماتور

افت ولتاژ اهمی و پراکندگی سیم‌پیچ اولیه باعث می‌شود که نیروی محرکه القایی اولیه $E_۱$ مقداری کمتر از

ولتاژ سیم‌پیچ اولیه V_1 داشته باشد همچنین افت ولتاژ اهمی و پراکندگی سیم‌پیچ ثانویه باعث ایجاد اختلاف بین نیروی محرکه القایی ثانویه E_2 و ولتاژ سیم‌پیچ ثانویه V_2 خواهد شد.

اگر ثانویه ترانسفورماتور بدون مصرف‌کننده الکتریکی باشدترانسفورماتور بی‌بار می‌باشد و جریانی در سیم‌پیچ ثانویه برقرار نمی‌شود و $I_2=0$ خواهد بود در این صورت افت ولتاژ ناشی از پراکندگی و اهمی در ثانویه ایجاد نخواهد شد در نتیجه ولتاژ بدون بار[1] ثانویه V_{NL} با نیروی محرکه القایی سیم‌پیچ ثانویه E_2 برابر خواهد شد یعنی:

$$E_2 = V_{NL}$$

برای محاسبهٔ افت ولتاژ ترانسفورماتور در اتصال به مصرف‌کننده‌های پس فاز و یا پیش فاز از ترسیم دیاگرام‌برداری ولتاژها و جریان‌ها استفاده می‌شود. از ترسیم دیاگرام‌برداری برای محاسبه افت ولتاژ ترانسفورماتور رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$\Delta V = V_R \cdot \cos\varphi_2 \pm V_X \cdot \sin\varphi_2$$

در این رابطه:

ΔV افت ولتاژ ترانسفورماتور

V_R معادل افت ولتاژ اهمی اولیه و ثانویه

V_X معادل افت ولتاژ فوران پراکندگی اول و ثانویه

$\cos\varphi_2$ ضریب توان مؤثر مصرف‌کننده

علامت + برای مصرف‌کننده پس فاز و علامت - برای مصرف‌کننده پیش‌فاز است.

پس از محاسبهٔ افت ولتاژ ترانسفورماتور برای به‌دست‌آوردن ولتاژ خروجی آن از رابطهٔ زیر استفاده خواهد شد:

$$V_2 = V_{NL} - \Delta V$$

مثال

یک ترانسفورماتورکه ولتاژ بدون مصرف‌کنندهٔ آن ۴۰۰ولت است دارای افت ولتاژ اهمی ۱۰ولت و پراکندگی ۲۰ ولت می‌باشد ولتاژ خروجی ترانسفورماتور در حالت‌های زیر چند ولت است؟

الف) مصرف‌کننده با ضریب توان مؤثر ۰/۸ پس فاز

$$\Delta V = V_R \cdot \cos\varphi_2 \pm V_X \cdot \sin\varphi_2$$
$$\Delta V = 10\times 0/8 + 20\times 0/6 = 20\,[V]$$
$$V_2 = 400 - 20 = 380\,[V]$$

ب) مصرف‌کننده با ضریب توان مؤثر ۰/۸ پیش فاز

$$\Delta V = V_R \cdot \cos\varphi_2 \pm V_X \cdot \sin\varphi_2$$
$$\Delta V = 10\times 0/8 - 20\times 0/6 = -4\,[V]$$

۱ـ No Load

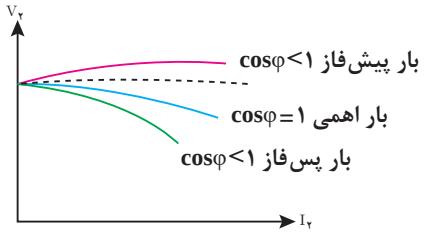
$$V_2 = 400 - (-4) = 404\ [V]$$

ج) مصرف‌کننده با ضریب توان مؤثر ۱

$$\Delta V = V_R \cdot \cos\varphi_2 \pm V_X \cdot \sin\varphi_2$$
$$\Delta V = 10 \times 1 \pm 20 \times 0 = 10\ [V]$$
$$V_2 = 400 - 10 = 390\ [V]$$

از مقایسهٔ جواب‌ها مشاهده می‌شود در ترانسفورماتور بارهای پس‌فاز افت ولتاژ بیشتری نسبت به بارهای اهمی و بارهای پیش‌فاز ایجاد می‌کنند.

ضریب توان مؤثر مصرف‌کننده $\cos\varphi$ در مقدار افت ولتاژ Δv تأثیر دارد مصرف‌کننده‌های اهمی‌افت ولتاژ اهمی ترانسفورماتور را افزایش می‌دهد و مصرف‌کننده‌های پس‌فاز افت ولتاژ پراکندگی ترانسفورماتور را به‌شدت افزایش می‌دهد در صورتی‌که مصرف‌کننده‌های پیش‌فاز افت ولتاژ پراکندگی ترانسفورماتور را کاهش می‌دهند. جریان و ضریب توان مؤثر مصرف‌کننده بر ولتاژ خروجی ترانسفورماتور اثر می‌گذارد. تأثیر جریان مصرف‌کننده بر ولتاژ خروجی در نمودار (شکل ۱۶) زیر نشان داده شده است:



شکل ۱۶ــ نمودار افت ولتاژ بارهای مختلف

۶ــ۲ تلفات ترانسفورماتور

در فرایند تبدیل ولتاژ توسط ترانسفورماتور بخشی از انرژی ورودی به حرارت تبدیل می‌شود و قابل استفاده نیست.مقداری از انرژی الکتریکی که در واحد زمان در ترانسفورماتور به حرارت تبدیل می‌شود « تلفات ترانسفورماتور » گویند. تلفات ترانسفورماتور را با ΔP نشان می‌دهند و واحد آن وات است.

تلفات ترانسفورماتور شامل تلفات هسته P_{core} وتلفات سیم‌پیچی‌ها P_{cu} می‌باشد و می‌توان نوشت:

$$\Delta P = P_{core} + P_{cu}$$

مثال

در یک ترانسفورماتور تلفات سیم‌پیچی و آهنی به ترتیب ۱۲۰۰ وات و ۸۰۰ وات می‌باشد، تلفات ترانسفورماتور را به دست آورید.

حل: تلفات ترانسفورماتور از جمع تلفات هسته و سیم‌پیچ‌ها به دست می‌آید.

$$\Delta P = P_{core} + P_{cu}$$
$$\Delta P = 800 + 1200 = 2000\ [W]$$

الف) تلفات هسته

هسته وظیفهٔ انتقال انرژی از اولیه به ثانویه ترانسفورماتور را دارد. در این فرایند بخشی از انرژی در هسته به حرارت تبدیل می‌شود. مقداری از انرژی که در واحد زمان در هسته به حرارت تبدیل می‌شود را تلفات هسته گویند. اگر جنس هسته ترانسفورماتور آهنی باشد تلفات هسته را اصطلاحاً تلفات آهنی گویند. تلفات هسته را با P_{core} نشان می‌دهند و واحد آن وات است.

تلفات هسته در فرکانس ثابت تابع مجذور ولتاژ اولیه ترانسفورماتور می‌باشد از آنجایی که ولتاژ اولیه ترانسفورماتور ثابت است مقدار تلفات هسته نیز ثابت خواهد بود از این رو تلفات هسته را « تلفات ثابت » نیز می‌گویند.

تلفات هسته شامل تلفات فوکو P_f و تلفات هیسترزیس P_h می‌باشد و می‌توان نوشت:

$$P_{core}= P_f +P_n$$

۱ـ تلفات هیسترزیس

با اتصال ترانسفورماتور به ولتاژ متناوب، فوران مغناطیسی در هسته جاری می‌شود. جهت فوران مغناطیسی متناوب در هر نیم سیکل تغییر خواهد کرد.مقداری از انرژی که در واحد زمان صرف تغییر جهت فوران مغناطیسی می‌شود را «تلفات هیسترزیس » گویند .تلفات هیسترزیس را با P_h نشان می‌دهند و واحد آن وات است.

تلفات هیسترزیس تابع ماکزیمم چگالی میدان مغناطیسی B_m وفرکانس ولتاژ f و حجم هسته می‌باشد و برای کاهش تلفات هیسترزیس جنس هسته را از مواد فرو مغناطیسی با ضریب نفوذ مغناطیسی زیاد انتخاب می‌کنند.

۲ـ تلفات فوکو

فوران مغناطیسی متناوب در ترانسفورماتور ضمن اینکه در سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه طبق قانون القای فاراده نیروی محرکه الکتریکی القاء می‌کند در هسته ترانسفورماتور نیز باعث القای نیروی محرکه الکتریکی خواهد شد. هسته ترانسفورماتور علاوه بر نفوذپذیری مغناطیسی دارای هدایت الکتریکی نیز می‌باشد لذا نیروی محرکه القایی در هسته جریان القایی جاری می‌کند که به آن « جریان فوکو » گویند. نیروی محرکه القایی هسته در آن جریان فوکو را جاری می‌کند. مقداری از انرژی که در واحد زمان ناشی از جریان‌های فوکو در هسته به حرارت تبدیل می‌شود را « تلفات فوکو » گویند و آن را با P_f نشان می‌دهند و واحد آن وات است.

تلفات فوکو تابع ماکزیمم چگالی میدان مغناطیسی B_m و فرکانس ولتاژ f می‌باشد. برای کاهش تلفات فوکو باید مقاومت الکتریکی هسته را افزایش داد تا مقدار جریان فوکو کاهش یابد.

در ترانسفورماتور با هستهٔ آهنی برای کاهش تلفات فوکو هسته را از ورقه‌هایی که نسبت به یکدیگر عایق شده‌اند انتخاب می‌کنند.

فعالیت

برای کنار هم قراردادن ورقه‌های هسته و محکم‌کردن آنها به چه نکاتی باید توجه کرد؟

مثال

تلفات هسته ترانسفورماتوری ۴۰ وات است اگر تلفات فوکو ۲۵ وات باشد مقدار تلفات هیسترزیس را به دست آورید.

حل:

$P_{core} = P_f + P_h$

$۴۰ = ۲۵ + P_h$

$P_h = ۴۰ - ۲۵ = ۱۵ \ [W]$

ب) تلفات سیم‌پیچی

هادی سیم‌پیچی‌های ترانسفورماتور دارای مقاومت اهمی‌می‌باشد. با جاری‌شدن جریان، سیم‌پیچی‌های ترانسفورماتور گرم می‌شوند. مقداری از انرژی که در واحد زمان در سیم‌پیچی به حرارت تبدیل می‌شود را «تلفات سیم‌پیچی» گویند. از آنجایی‌که جنس هادی سیم‌پیچی ترانسفورماتورها غالباً از مس می‌باشد، تلفات سیم‌پیچی را « تلفات مسی » نیز می‌گویند. تلفات سیم‌پیچی را با P_{cu} نشان می‌دهند و واحد آن وات است. تلفات سیم‌پیچی اولیه و سیم‌پیچی ثانویه از روابط زیر به دست می‌آید:

$$P_{cu_۱} = R_۱ I_۱^۲$$

$$P_{cu_۲} = R_۲ I_۲^۲$$

در این روابط:

$P_{cu_۱}$ تلفات سیم‌پیچی اولیه

$R_۱$ مقاومت اهمی سیم‌پیچ اولیه

$I_۱$ جریان اولیه

$P_{cu_۲}$ تلفات سیم‌پیچی ثانویه

$R_۲$ مقاومت اهمی سیم‌پیچ اولیه

$I_۲$ جریان ثانویه می‌باشد.

تلفات سیم‌پیچی ترانسفورماتور از مجموع تلفات سیم‌پیچی‌های اولیه و ثانویه به دست می‌آید:

$$P_{cu} = P_{cu_۱} + P_{cu_۲}$$

و یا :

$$P_{cu} = R_۱ I_۱^۲ + R_۲ I_۲^۲$$

تلفات سیم‌پیچی ترانسفورماتور تابع مجذور جریان می‌باشد جریان‌های اولیه و ثانویه ترانسفورماتور تابع جریان بار است لذا با تغییر بار تلفات سیم‌پیچی تغییر خواهد کرد از این رو تلفات سیم‌پیچی را « تلفات متغیر» می‌گویند.

مثال

مقاومت اهمی سیم‌پیچی‌های اولیه و ثانویه یک ترانسفورماتور به ترتیب ۰/۰۱ و ۰/۲ اهم می‌باشد اگر جریان سیم‌پیچ اولیه ۲ آمپر و جریان سیم‌پیچ ثانویه ۱۰ آمپر باشد تلفات مسی چند وات است؟

حل:

$$P_{cu_1} = R_1 I_1^2 = ۰/۰۱ \times ۲^2 = ۰/۰۴ [W]$$
$$P_{cu_2} = R_2 I_2^2 = ۰/۲ \times ۱۰^2 = ۲۰ [W]$$
$$P_{cu} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 = ۰/۰۴ + ۲۰ = ۲۰/۰۴ [W]$$

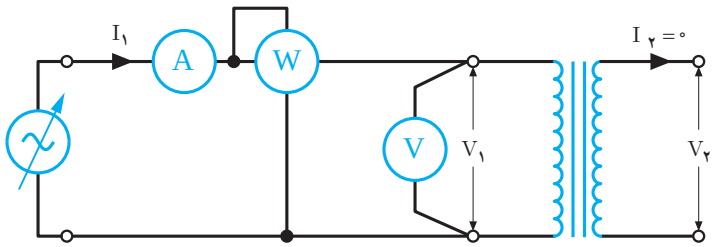
برای کاهش تلفات سیم‌پیچی ترانسفورماتور، باید مقاومت هادی سیم‌پیچی را کاهش داد. باتوجه به رابطه $R = \frac{l}{\kappa A}$ مقاومت اهمی تابع جنس، سطح مقطع و طول‌هادی می‌باشد. طول هادی متناسب با تعداد دور سیم‌پیچی است که به ازای ولتاژ مشخص محاسبه شده است و تغییر آن امکان‌پذیر نیست. اما با انتخاب مناسب جنس و سطح مقطع هادی می‌توان مقاومت اهمی راکاهش داد. به همین دلیل از هادی با ضریب هدایت الکتریکی زیاد مانند مس استفاده می‌شود همچنین سطح مقطع هادی را حتی‌الامکان افزایش می‌دهند تا مقاومت اهمی هادی سیم‌پیچ کاهش بیابد تا تلفات سیم‌پیچی ترانسفورماتور به حداقل برسد.

۷ـ۲ـ آزمایش ترانسفورماتور

آزمایش ترانسفورماتور با هدف اندازه‌گیری تلفات آن انجام می‌شود. برای اندازه‌گیری تلفات ترانسفورماتور از آزمایش بی‌باری و اتصال کوتاه استفاده می‌شود.

الف) آزمایش بی‌باری

آزمایش بی‌باری[1] با هدف اندازه‌گیری تلفات هسته انجام می‌شود. برای انجام آزمایش بی‌باری ثانویه ترانسفورماتور را بی‌بار می‌کنند و اولیه آن با وسایل اندازه‌گیری ولت‌متر، آمپرمتر و وات‌متر به منبع ولتاژ متناوب متغیر متصل می‌شود. (شکل۱۷).



شکل ۱۷ـ آزمایش بی‌باری ترانسفورماتور

ولتاژ منبع به تدریج افزایش داده می‌شود تا ولت‌متر ولتاژ نامی سیم‌پیچ اولیه را نشان دهد در این حالت آمپرمتر جریان بی‌باری I_0 و وات‌متر مجموع تلفات هسته و تلفات سیم‌پیچ اولیه را اندازه‌گیری می‌کنند. در آزمایش بی‌باری مقدار اندازه‌گیری شده توسط وات‌متر را با P_{oc} نشان می‌دهند.

$$P_{oc}=P_{cu_1}+P_{core}$$

با محاسبه تلفات سیم‌پیچ اولیه از رابطه $P_{cu_1} = R_1 I_1^2$ تلفات هسته به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{core}=P_{oc}-P_{cu_1}$$

۱ـ Open Circuit

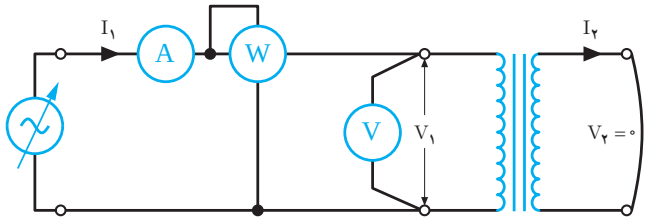
مثال

در آزمایش بی‌باری یک ترانسفورماتور وات‌متر ۱۵۰ وات را اندازه‌گیری می‌کند اگر تلفات مسی اولیه در این آزمایش ۱۰ وات باشد، تلفات هسته چند وات است؟

$$P_{core}=P_{oc}-P_{cu_1}$$
$$P_{core}=۱۵۰-۱۰=۱۴۰\,[W]$$

ب) آزمایش اتصال کوتاه

آزمایش اتصال کوتاه[۱] با هدف اندازه‌گیری تلفات سیم‌پیچی انجام می‌شود. برای انجام آزمایش اتصال کوتاه ثانویه ترانسفورماتور را اتصال کوتاه می‌کنند و اولیه آن با وسایل اندازه‌گیری ولت‌متر، آمپرمتر و وات‌متر به منبع ولتاژ متناوب متغیر متصل می‌شود.(شکل ۱۸).



شکل ۱۸ـ آزمایش اتصال کوتاه ترانسفورماتور

ولتاژ منبع به تدریج افزایش داده می‌شود تا آمپرمتر جریان نامی سیم‌پیچ اولیه را نشان دهد در این حالت ولت‌متر ولتاژ اتصال کوتاه و وات‌متر مجموع تلفات سیم‌پیچ‌ها و تلفات هسته را اندازه‌گیری می‌کنند. در آزمایش اتصال کوتاه مقدار اندازه‌گیری شده توسط وات‌متر را با P_{sc} نشان می‌دهند.

$$P_{sc}=P_{cu_1}+P_{cu_2}+P_{core}$$

تلفات هسته ترانسفورماتور متناسب با مجذور ولتاژ اولیه آن است. ولتاژ اولیه در آزمایش اتصال کوتاه خیلی کمتر از ولتاژ نامی‌آن می‌باشد لذا از تلفات هسته در این آزمایش صرف‌نظر می‌شود بنابراین:

$$P_{core}\approx 0$$
$$P_{sc}=P_{cu_1}+P_{cu_2}$$

تلفات مسی که در آزمایش اتصال کوتاه اندازه‌گیری می‌شود P_{sc}، تلفات مسی ترانسفورماتور به ازای بار نامی می‌باشد و آن را « تلفات مسی نامی » گویند و با P_{cu_n} نشان می‌دهند.

درصورت تغییر بار ترانسفورماتور تلفات مسی تغییر می‌کند و مقدار آن از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\frac{P_{cu_n}}{P_{cu}}=\left(\frac{S_n}{S_2}\right)^2$$

در این رابطه:

P_{cu_n}تلفات مسی نامی‌به ازای بار نامی S_n

P_{cu}تلفات مسی به ازای بار S_2 است.

۱ـ Short Circuit

مثال

در آزمایش اتصال کوتاه یک ترانسفورماتور ۵ کیلوولت آمپری وات‌متر ۲۰۰ وات اندازه‌گیری کرده است. تلفات مسی به ازای بار ۲ کیلو ولت آمپری چند وات می‌شود؟

$$\frac{P_{cu_n}}{P_{cu}} = \left(\frac{S_n}{S_2}\right)^2$$

$$\frac{200}{P_{cu}} = \left(\frac{5}{2}\right)^2$$

$$P_{cu} = \frac{200}{6/25} = 32[W]$$

با محاسبهٔ تلفات سیم‌پیچ اولیه از رابطه $P_{cu_1} = R_1 I_1^2$ می‌توان تلفات سیم‌پیچ ثانویه را به‌صورت زیر محاسبه کرد:

$$P_{cu_2} = P_{sc} - P_{cu_1}$$

مثال

در آزمایش اتصال کوتاه یک ترانسفورماتور ۱ کیلوولت آمپری وات‌متر ۵۰ وات، ولت‌متر ۲۰ ولت و آمپرمتر ۱۰ آمپر را اندازه‌گیری کرده‌اند اگر مقاومت سیم‌پیچی اولیه ترانسفورماتور ۰/۲ اهم باشد مطلوب است:

الف) تلفات مسی نامی

ب) تلفات مسی سیم‌پیچ اولیه

حل:

الف) در آزمایش اتصال کوتاه مقدار اندازه‌گیری شده توسط وات‌متر همان تلفات مسی نامی است.

$$P_{cu_n} = 50[W]$$

ب)

$$P_{cu_1} = R_1 I_1^2 = 0/2 \times 10^2 = 20[W]$$

تلفات مسی سیم‌پیچ ثانویه

$$P_{cu_2} = P_{sc} - P_{cu_1}$$

$$P_{cu_2} = 50 - 20 = 30\ [W]$$

۸ـ۲ـ راندمان ترانسفورماتور

راندمان ترانسفورماتور نسبت توان مؤثر خروجی P_{out} به توان مؤثر ورودی P_{in} می‌باشد و آن را با حرف η نشان می‌دهند. راندمان را به درصد بیان می‌کنند و از رابطه صفحهٔ بعد به دست می‌آید:

$$\%\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times ۱۰۰$$

تلفات ترانسفورماتور ΔP از اختلاف توان مؤثر ورودی و توان مؤثر خروجی به دست می‌آید.

$$\Delta P = P_{in} - P_{out}$$

تلفات ترانسفورماتور شامل تلفات هسته وتلفات سیم‌پیچی می‌باشد و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\Delta P = P_{core} + P_{cu}$$

مثال

یک ترانسفورماتور ۵ کیلوولت آمپری در آزمایش بی‌باری و اتصال کوتاه به ترتیب ۲۰۰ وات و ۴۰۰ وات مصرف کرده است. راندمان ترانسفورماتور در بار نامی و ضریب توان مؤثر ۰/۸ را به دست آورید.

حل:

در بار نامی $S_۲ = S_n$ می‌باشد.

$$P_{out} = S_۲ . Cos\varphi = ۵۰۰۰ \times ۰/۸ = ۴۰۰۰ [W]$$

از آزمایش بی‌باری تلفات هسته و از آزمایش اتصال کوتاه تلفات مسی به دست می‌آید.

$$\Delta P = P_{core} + P_{cu} = ۲۰۰ + ۴۰۰ = ۶۰۰ [W]$$

$$\Delta P = P_{in} - P_{out}$$

$$۶۰۰ = P_{in} - ۴۰۰۰$$

$$P_{in} = ۴۰۰۰ + ۶۰۰ = ۴۶۰۰ \ [W]$$

$$\%\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times ۱۰۰$$

$$\%\eta = \frac{۴۰۰۰}{۴۶۰۰} \times ۱۰۰ = ۸۷\%$$

بیشترین راندمان ترانسفورماتور در ضریب توان مؤثر ثابت را «راندمان ماکزیمم» گویند و آن را با η_{max} نشان می‌دهند. راندمان ماکزیمم به ازای باری که در آن تلفات مسی با تلفات هسته برابر شود به دست می‌آید.

تلفات هسته مقدار ثابتی دارد لذا برای ایجاد راندمان ماکزیمم با تغییر بار ترانسفورماتور تلفات مسی را به تلفات هسته می‌رسانند.

مثال

یک ترانسفورماتور ۵ کیلوولت آمپری در آزمایش بی‌باری و اتصال کوتاه به ترتیب ۲۰۰ وات و ۴۰۰ وات مصرف کرده است. راندمان ماکزیمم ترانسفورماتور به ازای چه باری به دست می‌آید؟

حل: شرط ایجاد راندمان ماکزیمم $P_{core}=P_{cu}$ می‌باشد.

$$P_{core}=P_{cu}=۲۰۰$$

$$\frac{P_{cu_n}}{P_{cu}}=\left(\frac{S_n}{S_۲}\right)^۲$$

$$\frac{۴۰۰}{۲۰۰}=\left(\frac{۵}{S_۲}\right)^۲$$

$$S_۲=۳/۵۴KVA$$

۹ـ۲ـ ترانسفورماتور ایده آل

ترانسفورماتور ماشین الکتریکی ساکن است که قسمت گردان ندارد. از این رو ترانسفورماتور در مقایسه با سایر ماشین‌های الکتریکی راندمان بیشتری دارد. با پیشرفت تکنولوژی، راندمان ترانسفورماتور به بیش از ٪۹۵ رسیده است لذا برای سادگی محاسبات، ترانسفورماتورهای قدرت را ایده‌آل در نظر می‌گیرند.« ترانسفورماتور ایده‌آل » ترانسفورماتوری است که:

۱ـ راندمان ٪۱۰۰ است. در نتیجه تلفات ترانسفورماتور صفر می‌باشد و توان ورودی و خروجی برابر خواهد شد و $V_۱I_۱ = V_۲I_۲$ می‌باشد.

۲ـ فوران پراکندگی اولیه وثانویه ایجاد نمی‌شود در نتیجه افت ولتاژ پراکندگی صفر خواهد شد.

۳ـ نیروی محرکه القایی سیم‌پیچ‌ها برابر ولتاژ آنها است

$$V_۲ = E_۲ \text{ و } V_۱ = E_۱$$

بین کمیت‌های الکتریکی ترانسفورماتور ایده‌آل رابطهٔ زیر برقرار است:

$$a=\frac{V_۱}{V_۲}=\frac{N_۱}{N_۲}=\frac{I_۲}{I_۱}$$

از این رابطه فقط در تحلیل ترانسفورماتور ایده‌آل استفاده می‌شود و آن را «رابطهٔ اساسی ترانسفورماتور ایده‌آل» می‌نامند.

فعالیت

رابطه اساسی ترانسفورماتور را به دست آورید.

مثال

یک ترانسفورماتور ایده‌آل ۲۲۰/۱۱۰ ولت ۱۰ آمپری با تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ ثانویه ۵۵۰ دور مفروض است. جریان سیم‌پیچ اولیه و تعداد حلقه‌های آن را به دست آورید.

حل:

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1}{N_2}=\frac{I_2}{I_1}$$

$$\frac{220}{110}=\frac{N_1}{550} \Rightarrow N_1=\frac{550\times220}{110}=1100$$

$$N_1=1100$$

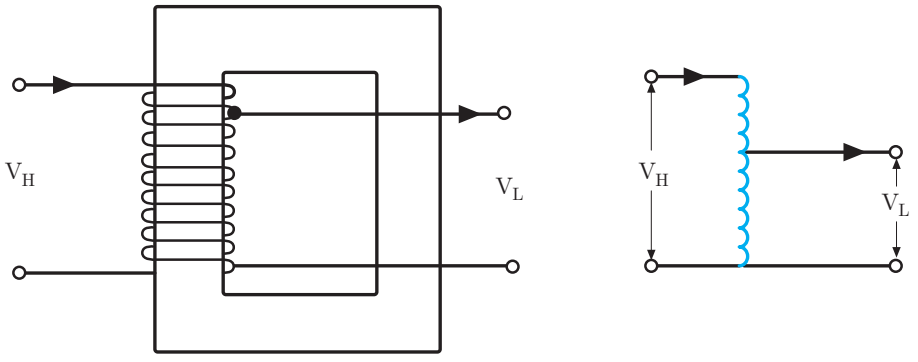
$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{I_2}{I_1}$$

$$\frac{220}{110}=\frac{10}{I_1} \Rightarrow I_1=\frac{110\times10}{220}=5[A]$$

$$I_1=5[A]$$

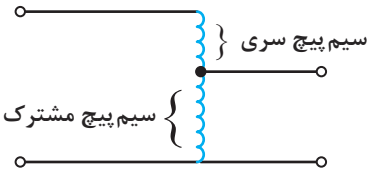
۱۰ـ۲ـ اتو ترانسفورماتور

اتو ترانسفورماتور انرژی الکتریکی را توسط ارتباط مغناطیسی و الکتریکی سیم‌پیچ‌ها از اولیه به ثانویه منتقل می‌کند. ارتباط مغناطیسی توسط هسته و ارتباط الکتریکی با اتصال بین سیم‌پیچی‌های اولیه و ثانویه برقرار می‌شود. ترانسفورماتوری که دارای یک سیم‌پیچی است و علاوه بر ارتباط مغناطیسی، ارتباط الکتریکی نیز بین اولیه و ثانویه برقرار باشد را «اتوترانسفورماتور» گویند. اتوترانسفورماتور دارای یک سیم‌پیچی با هسته مغناطیسی است. (شکل ۱۹).



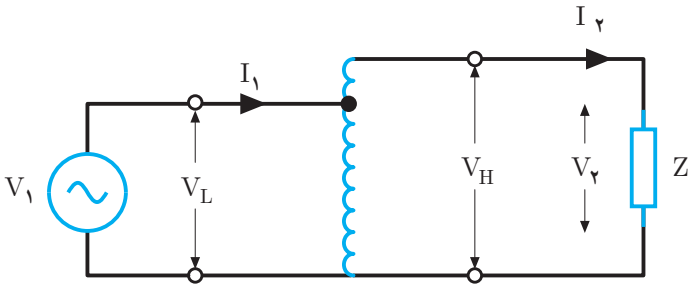
شکل ۱۹- اتو ترانسفورماتور

اتو ترانسفورماتور برای کاهش یا افزایش ولتاژ استفاده می‌شود سمتی از اتو ترانسفورماتور که ولتاژ بیشتر دارد را «سمت فشار قوی» و سمتی از اتو ترانسفورماتور که ولتاژ کمتر دارد را «سمت فشارضعیف» می‌گویند.
ولتاژ سمت فشار قوی اتو ترانسفورماتور را با V_H و ولتاژسمت فشار ضعیف آن را با V_L نشان می‌دهند. در اتو ترانسفورماتور بخشی از سیم‌پیچی که در ورودی و خروجی مشترک است را «سیم‌پیچ مشترک» و بخشی از سیم‌پیچی که فقط در ورودی یا خروجی قرار دارد را «سیم‌پیچ سری» گویند. (شکل ۲۰)



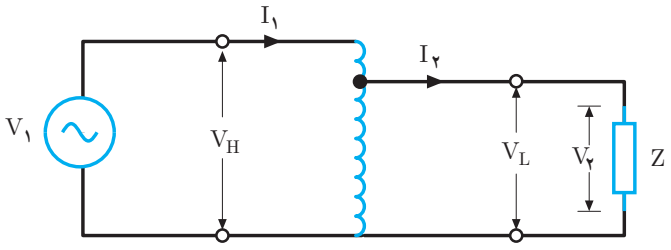
شکل ۲۰ـ سیم‌پیچ سری و مشترک اتوترانسفورماتور

اتو ترانسفورماتور به‌صورت افزاینده و یا کاهنده ولتاژ استفاده می‌شود. در اتو ترانسفورماتور افزاینده مصرف‌کننده به سمت فشار قوی و منبع ولتاژ به سیم‌پیچ مشترک وصل می‌شود ولتاژ مصرف‌کننده $V_۲=V_H$ می‌باشد و از جمع ولتاژ القایی سیم‌پیچ سری و ولتاژ سیم‌پیچ مشترک به دست می‌آید. شکل (۲۱).



شکل ۲۱ـ اتوترانسفورماتور افزاینده

در اتو ترانسفورماتورکاهنده، مصرف‌کننده به سمت فشارضعیف و منبع ولتاژ به سمت فشارقوی وصل می‌شود ولتاژ مصرف‌کننده $V_۲=V_L$ می‌باشد و بخشی از ولتاژ القایی سیم‌پیچی است (شکل۲۲).



شکل ۲۲ـ اتوترانسفورماتور کاهنده

حداکثر توان ظاهری که اتوترانسفورماتور در اختیار مصرف‌کننده قرار می‌دهد را «توان عبوری» گویند و واحد آن ولت ـ آمپر است و با S نشان می‌دهند و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$S_۲=V_۲I_۲$$

توان ظاهری ورودی $S_۱$ از دو طریق ارتباط مغناطیسی و الکتریکی سیم‌پیچی‌ها به مصرف‌کننده می‌رسد. توانی که از طریق ارتباط مغناطیسی توسط هسته به مصرف‌کننده منتقل می‌شود را «توان ساختمانی» گویند. و واحد آن ولت ـ آمپر است و با S_B نشان می‌دهند و از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$S_B=\frac{V_H-V_L}{V_H}S_۲$$

مثال

یک اتوترانسفورماتور افزاینده ۲۲۰/۲۰۰ ولت ۱۰ آمپری با تعداد حلقه‌های ۴۴۰ دور مفروض است.
مطلوب است:
الف) توان عبوری
ب) توان تیپ

الف)

$$S_۲ = V_۲ I_۲$$

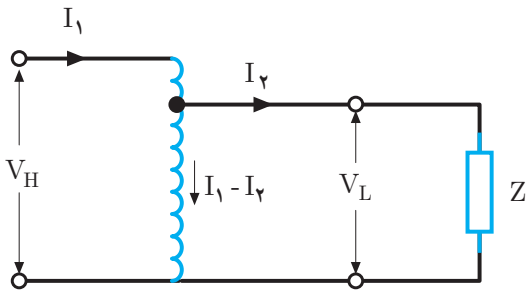
$$S_۱ = ۲۲۰ \times ۱۰ = ۲۲۰۰ [VA]$$

ب)

$$S_B = \frac{V_H - V_L}{V_H} S_۲$$

$$S_B = \frac{۲۲۰ - ۲۰۰}{۲۰۰} \times ۲۲۰۰ = ۲۰۰ [VA]$$

توان ساختمانی توسط هسته از اولیه به ثانویه منتقل می‌شود. هر چه مقدار ولتاژ فشار قوی V_H به مقدار ولتاژ فشار ضعیف V_L نزدیک‌تر باشد توان ساختمانی کمتر می‌شود در این صورت به هسته کوچک‌تری نیاز می‌باشد. با انتخاب هسته کوچک‌تر تلفات هسته کاهش می‌یابد.
از سیم‌پیچی مشترک اتوترانسفورماتور تفاضل جریان‌های اولیه و ثانویه می‌گذرد. (شکل ۲۳)



شکل ۲۳ـ جریان ورودی و خروجی اتوترانسفورماتور

سطح مقطع‌هادی سیم‌پیچی مشترک متناسب با جریان آن انتخاب می‌شود هرچه مقدار جریان اولیه $I_۱$ به مقدار جریان ثانویه $I_۲$ نزدیک‌تر باشد جریان سیم‌پیچ مشترک کمتر خواهد شد در این صورت‌هادی سیم‌پیچی مشترک با سطح مقطع کمتری انتخاب می‌شود. بدین ترتیب در اتوترانسفورماتور با استفاده از یک سیم‌پیچی و سطح مقطع کم سیم‌پیچ مشترک آن به مس کمتری نیاز است. با مصرف مس کمتر تلفات مسی کاهش می‌یابد.
در اتوترانسفورماتور با کاهش تلفات هسته و تلفات مسی راندمان افزایش می‌یابد. در محاسبات اتوترانسفورماتور را ایده‌آل فرض می‌کنند و راندمان آن را ۱۰۰٪ در نظر می‌گیرند.

مثال

در اتوترانسفورماتور افزاینده ۲۰۰/۲۲۰ ولت ۱۰ آمپری با تعداد حلقه‌های ۴۴۰ دور مفروض است.
الف) تعداد حلقه‌های سیم‌پیچی سمت فشار ضعیف
ب) جریان سیم‌پیچ مشترک

الف)

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{۲۰۰}{۲۲۰}=\frac{N_1}{۴۴۰}$$

$$N_1=۴۰۰$$

ب)

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{I_2}{I_1}$$

$$\frac{۲۰۰}{۲۲۰}=\frac{۱۰}{I_1}$$

$$I_1=۱۱[A]$$

جریان سیم‌پیچ مشترک از تفاضل جریان‌های اولیه و ثانویه به دست می‌آید:

جریان سیم مشترک $=|I_1-I_2|=|۱۰-۱۱|=۱[A]$

کاربرد اتوترانسفورماتور

از اتو ترانسفورماتور به‌عنوان یک منبع ولتاژ متغیر در راه‌اندازی موتورهای القایی و تثبیت‌کننده ولتاژ متناوب برق شهر و همچنین برای تبدیل ولتاژ ۲۳۰کیلوولت به ۱۳۲کیلوولت خطوط انتقال انرژی استفاده می‌شود (شکل ۲۴).



شکل ۲۴ــ کاربرد اتوترانسفورماتور

پرسش‌های پایانی پودمان ۲

۱ـ شمای فنی ترانسفورماتور را رسم کنید.
۲ـ ترانسفورماتور را تعریف کنید.
۳ـ اجزای ساختمانی ترانسفورماتور را نام ببرید و وظیفهٔ هر یک را توضیح دهید؟
۴ـ انواع ترانسفورماتور را نام ببرید و هر یک را تعریف کنید.
۵ـ طرز کار ترانسفورماتور را توضیح دهید؟
۶ـ نسبت تبدیل و ضریب تبدیل ترانسفورماتور را تعریف کنید و رابطهٔ آنها را بنویسید.
۷ـ نیروی محرکهٔ القایی سیم‌پیچ اولیه و ثانویه یک ترانسفورماتور تک‌فاز به‌ترتیب ۲۰۰ و ۱۴ ولت می‌باشد. اگر سطح مقطع هسته ۵۰۰ میلی‌متر مربع و چگالی شار آن ۲ تسلا باشد در فرکانس ۵۰ هرتز تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه را به‌دست آورید.
۸ـ تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه یک ترانسفورماتور تک‌فاز به‌ترتیب ۴۰۰۰ و ۲۰۰ دور می‌باشد اگر نیروی محرکهٔ القایی سیم‌پیچ ثانویه ۱۵ ولت باشد مطلوب است:
الف) ضریب تبدیل
ب) نسبت تبدیل
ج) نیروی محرکهٔ القایی سیم‌پیچ اولیه
۹ـ یک ترانسفورماتور ۱۲ ولتی دارای افت ولتاژ اهمی ۰/۳ ولت و پراکندگی ۰/۵ در نظر است ولتاژ خروجی ترانسفورماتور به‌ازای بار پیش‌فاز با ضریب توان مؤثر ۰/۹ چند ولت است؟
۱۰ـ تلفات ترانسفورماتور را تعریف کنید.
۱۱ـ انواع تلفات در ترانسفورماتور را نام ببرید و هر یک را تعریف کنید؟
۱۲ـ نحوهٔ انجام آزمایش بی‌باری ترانسفورماتور را بنویسید. مدار آن را رسم کنید و هدف آن را بیان کنید.
۱۳ـ نحوهٔ انجام آزمایش اتصال کوتاه را به‌همراه رسم مدار آزمایش توضیح دهید.
۱۴ـ راندمان ترانسفورماتور را تعریف کنید.
۱۵ـ ترانسفورماتور ایده‌آل را تعریف کنید.
۱۶ـ یک ترانسفورماتور تک‌فاز ایده‌آل ۲ کیلوولت آمپری ۲۳۰/۱۱۰ ولت مطلوب است
الف) جریان ثانویه و اولیه
ب) اگر تعداد حلقه‌های ثانویه ۵۵۰ دور باشد تعداد حلقهٔ اولیه چند دور است.
۱۷ـ یک ترانسفورماتور ۲ کیلوواتی در بار نامی دارای ۱۰۰ وات تلفات مسی و ۱۰۰ وات تلفات آهنی است. مجموع تلفات ترانسفورماتور در نصف بار نامی کدام است؟
الف) ۲۰۰ ب) ۱۵۰ ج) ۱۲۵ د) ۱۰۰
۱۸ـ تلفات بی باری ترانسفورماتوری ۱۵۰ وات است. تلفات این ترانسفورماتور در بار نامی چند وات است؟
الف) ۱۵۰ ب) ۳۰۰ ج) ۷۵ د) اطلاعات داده شده کم است

۱۹ـ بیشترین راندمان یک ترانسفورماتور در چه حالتی اتفاق می‌افتد؟
الف) بار اهمی و مجموع تلفات مسی و آهنی حداقل باشند
ب) بار اهمی و تلفاتی مسی و آهنی برابر باشند
ج) بار اهمی ـ سلفی و تلفات مسی کمتر از آهنی باشد
د) ضریب قدرت یک و مجموع تلفات مسی و آهنی حداقل باشد
۲۰ـ راندمان را تعریف کنید و رابطه آن را بنویسید؟
۲۱ـ اتوترانسفورماتورها را تعریف کنید؟
۲۲ـ ماکزیمم راندمان ترانسفورماتور VA ۱۰۰۰ با ضریب قدرت ۰/۹ پس فاز برابر ۸۰٪ است. مطلوب است تلفات مسی و آهنی را در بار نامی به‌دست آورید؟
۲۳ـ در شرایط نصف بار نامی کل تلفات ترانسفورماتور نصف می‌شود.
☐ صحیح ☐ غلط
۲۴ـ در اتوترانسفورماتور توان تیپ حدود $\frac{۱}{۳}$ توان ظاهری است.
☐ صحیح ☐ غلط
۲۵ـ از اتوترانسفورماتورها برای افزایش قدرت موتورها و منبع ولتاژ متغیر استفاده می‌شود.
☐ صحیح ☐ غلط
۲۶ـ عامل تعیین‌کننده مقدار افت ولتاژ ترانسفورماتور نوع بار است.
☐ صحیح ☐ غلط

ارزشیابی مبتنی بر شایستگی پودمان تحلیل ماشین‌های الکتریکی (ترانسفورماتورهای تک‌فاز)

استاندارد ارزشیابی پیشرفت تحصیلی مبتنی بر شایستگی درس دانش فنی تخصصی الکتروتکنیک					
عنوان پودمان	تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج مورد انتظار	شاخص تحقیق	نمره
پودمان ۲	تحلیل ماشین‌های الکتریکی (ترانسفورماتورهای تک‌فاز)	محاسبه مقدار نیروی محرکهٔ القایی سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور تک‌فاز با اطلاعات الکتریکی و فیزیکی ـ محاسبهٔ افت ولتاژ ترانسفورماتور با به‌کارگیری رابطه مربوطه ـ محاسبه تلفات ترانسفورماتور با استفاده از نتایج آزمایش ـ محاسبهٔ راندمان ترانسفورماتور با استفاده از مقدار تلفات ـ محاسبهٔ کمیت‌های الکتریکی اتوترانسفورماتور	بالاتر از حد انتظار	از کل سؤالات به هفت تا ده سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد.	۳
			در حد انتظار	از کل سؤالات به شش سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد.	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	از کل سؤالات به یک تا پنج سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد.	۱
	نمره مستمر از ۵				
	نمره شایستگی پودمان				
	نمره پودمان از ۲۰				

هدف‌گذاری و سنجش:

برای کسب شایستگی در این پودمان اگر هنرجو:

از کل سؤالات به یک تا پنج سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد شایستگی پایین‌تر از حد انتظار خواهد بود.

از کل سؤالات به شش سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد شایستگی در حد انتظار خواهد بود.

از کل سؤالات به هفت تا ده سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد شایستگی بالاتر از حد انتظار خواهد بود.

توجه: سؤالات ارائه شده همگی هم‌ارزش بوده و در سطح یادگیری در حد انتظار است. معیار ارزشیابی نتیجه‌محور است.

سؤال ۱ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۲ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۳ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۴ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۵ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۶ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۷ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۸ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۹ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۱۰ـ ..... (۲ نمره)

پودمان سوم

تحلیل ماشین‌های الکتریکی سه فاز (موتورهای القایی)



واحد یادگیری ۱

آیا می‌دانید

۱ـ ساختمان موتورهای آسنکرون رتور قفسی از چه اجزایی تشکیل شده است؟
۲ـ میدان دّوار در موتورهای الکتریکی سه فاز چگونه تشکیل می‌شود؟
۳ـ تغییرات بار مکانیکی چه تأثیری بر لغزش موتور الکتریکی دارد؟
۴ـ مشخصه‌های موتورهای الکتریکی کدام‌اند؟
۵ـ روش‌های راه‌اندازی موتورهای الکتریکی سه فاز کدام است؟

استاندارد عملکرد

پس از پایان این پودمان هنرجویان قادر خواهند بود مراحل تشکیل میدان دوار در موتور الکتریکی سه فاز را شرح داده و تغییرات رفتار ماشین الکتریکی دوار را با تغییرات لغزش تشریح کنند. همچنین راه‌اندازی‌های متفاوت موتورهای الکتریکی و دیاگرام توان و تلفات موتور الکتریکی را توضیح دهند.

۱ـ۳ـ مقدمه

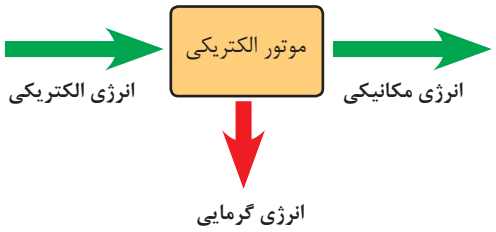
ماشین‌های الکتریکی می‌توانند انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی یا انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل نمایند.

در واقع ماشین الکتریکی یک رابط بین سیستم الکتریکی و سیستم مکانیکی می‌باشد. این ارتباط در ماشین‌های الکتریکی برمبنای میدان الکترومغناطیسی صورت می‌گیرد.

سیستم الکتریکی شامل کمیت‌هایی مانند ولتاژ، جریان، ضریب قدرت و توان‌های الکتریکی می‌باشد. اما سیستم مکانیکی شامل کمیت‌هایی از قبیل سرعت، گشتاور و توان مکانیکی است.

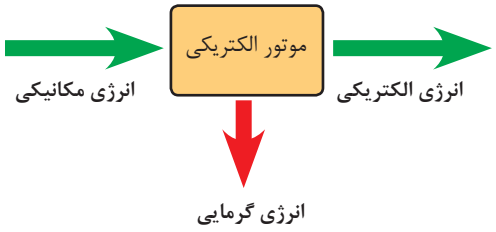
ماشین‌های الکتریکی به دو صورت موتورها و ژنراتورهای الکتریکی استفاده می‌شوند.

ماشین‌های الکتریکی که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند **موتورهای الکتریکی** گویند. شکل (۱)



شکل ۱ـ بلوک دیاگرام تبدیل انرژی در موتورهای الکتریکی

ماشین‌هایی که انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند **ژنراتورهای الکتریکی** گویند. شکل (۲)



شکل ۲ـ بلوک دیاگرام تبدیل انرژی در ژنراتورهای الکتریکی

تقسیم‌بندی کلی از ماشین‌های الکتریکی در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳ـ تقسیم‌بندی کلی از ماشین‌های الکتریکی

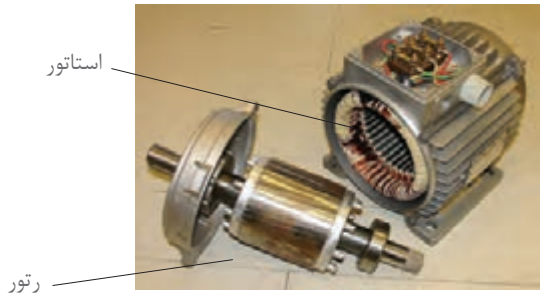
موتورهای الکتریکی آسنکرون از پرکاربردترین موتورهای AC هستند. این موتورها در به‌حرکت در آوردن چرخ‌های صنعت نقش بسزایی دارند. توان موتورهای الکتریکی آسنکرون از چند وات تا چند ده مگا وات ساخته و بهره‌برداری می‌شوند.

فعالیت

دسته‌بندی توان موتورهای الکتریکی برحسب اسب بخار وکیلووات را در جدولی بنویسید؟

۲ـ۳ـ ساختمان موتورهای آسنکرون

ساختمان موتورهای آسنکرون از دو بخش اصلی استاتور و رتور تشکیل شده است. استاتور بخش ثابت و رتور بخش متحرک موتور می‌باشد. در شکل (۴) ساختمان موتور الکتریکی آسنکرون نشان داده شده است.

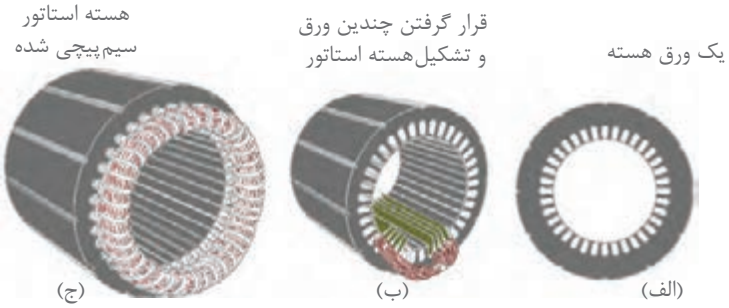


شکل ۴ـ اجزای کلی ساختمان موتورهای آسنکرون

الف) استاتور

استاتور یا قسمت ساکن موتورهای الکتریکی آسنکرون شامل بدنه، هسته مغناطیسی، سیم‌پیچ‌ها و یاتاقان‌ها می‌باشد.

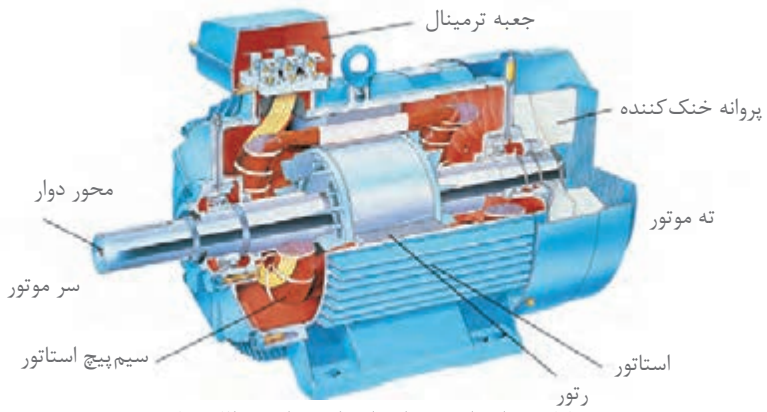
هسته استاتور، مجموعه‌ای از ورق‌های فولادی است که در سطح داخلی آن برش‌هایی مطابق شکل (۵ـ الف) ایجاد شده است. پس از قرار گرفتن این ورق‌ها در کنار هم، حجم استوانه‌ای با شیارهایی در سطح داخلی آن ایجاد خواهد شد. شکل(۵ـ ب) سیم‌پیچ‌های سه فاز موتور الکتریکی آسنکرون مطابق شکل (۵ـ ج) در داخل شیارها قرار می‌گیرند.



شکل ۵ـ اجزای استاتور موتورهای آسنکرون

در موتورهای آسنکرون نیز مشابه ترانسفورماتورها برای کاهش تلفات هیسترزیس، جنس هسته از فولاد

مغناطیسی با پسماند کم انتخاب می‌شود تا تلفات هیسترزیس کم شود. همچنین برای کاهش تلفات فوکو، هسته استاتور از ورق‌های فولادی با روکش عایق ساخته می‌شود. بدنهٔ موتورهای الکتریکی از جنس چدنی یا آلومینیوم ساخته می‌شوند. سطح خارجی بدنه موتورها به‌صورت پره پره ساخته می‌شود تا سطح تماس بیشتری با هوای محیط داشته باشد و عمل تهویه و خنک‌سازی سیم‌پیچی بهتر انجام شود. وظیفهٔ بدنه موتور محافظت از هسته و سیم‌پیچ‌ها در برابر ورود اجسام خارجی است. برای اتصال سیم پیچ‌های استاتور به شبکه الکتریکی بر روی بدنه موتور جعبه ترمینالی تعبیه شده است. به این جعبه ترمینال «تخته کلم» نیز می گویند. درپوش‌ها و یاتاقان‌های موتور به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که قسمت متحرک موتور (رتور) به‌راحتی در داخل استاتور بچرخد و تکیه‌گاه مکانیکی مناسبی برای رتور فراهم شود. درپوش‌ها، یاتاقان‌ها و پروانه خنک‌کننده جزو تجهیزات مکانیکی ماشین محسوب می‌شوند. (شکل ۶)



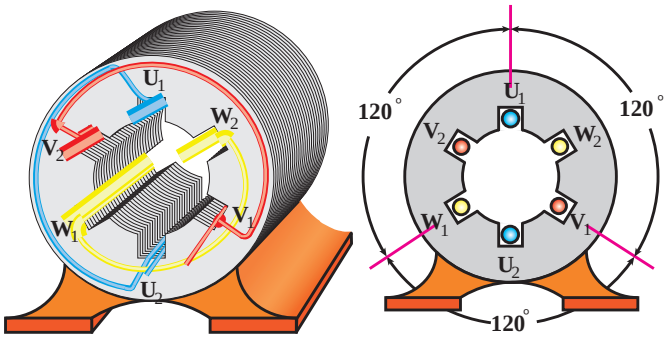
شکل ۶ـ اجزای مختلف استاتور ماشین الکتریکی

در موتورهای سنگین که جابه‌جایی آن برای افراد میسر نیست، یک قلاب در بالای بدنه ماشین پیش‌بینی می‌شود که بتوان با جرثقیل آن را جا به‌جا نمود. (شکل ۷) اجزای مختلف استاتور را نمایش می‌دهد.



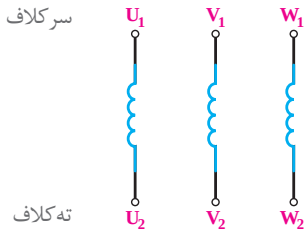
شکل ۷ـ موتورالقایی آسنکرون با توان بالا دارای حلقه جابه‌جایی

استاتور موتورهای آسنکرون سه فاز از سه گروه کلاف سیم‌پیچی تشکیل شده است. با توجه به فضای ۳۶۰° دایره‌ای شکل استاتور، سیم‌پیچ‌ها به گونه‌ای جاسازی می‌شوند که سیم‌پیچی هر فاز با سیم‌پیچی فاز دیگر ۱۲۰ درجه اختلاف فاز مکانی داشته باشند. در مباحث تئوری برای تحلیل آسان‌تر معمولاً استاتوری با ۶ شیار جهت جازدن این سه گروه کلاف سیم‌پیچی در نظرگرفته می‌شود (شکل ۸). اما در واقعیت تعداد شیارهای استاتور موتورهای آسنکرون می‌تواند بیشتر از این تعداد باشد.



شکل ۸ــ سه گروه سیم‌پیچ

سر سه گروه کلاف سیم پیچ موتور با حروف (U_1 , V_1 , W_1) وته گروه کلاف را با حروف (U_2 , V_2 , W_2) نشان داده می‌شوند. شکل (۹)



شکل ۹ــ نام‌گذاری سیم‌پیچی موتورهای الکتریکی سه فاز

ب) رتور

به قسمت گردان موتورهای الکتریکی «رتور » گویند. روتورموتورهای آسنکرون بر دو نوع است:

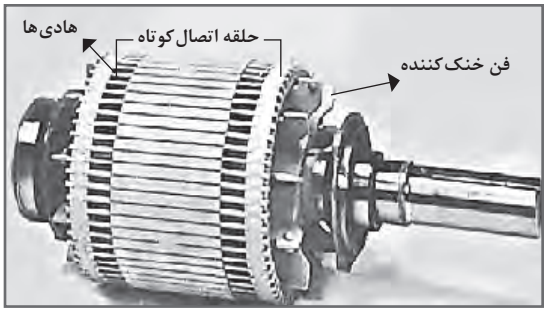
۱ـ رتور قفسی

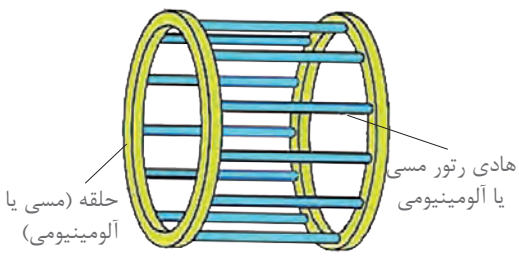
۲ـ رتور سیم پیچی شده

هر دو نوع رتور دارای هسته مغناطیسی استوانه شکلی هستند که محور فولادی از مرکز هسته مغناطیسی عبورکرده است.

۱ــ رتور قفسی: رتورقفسی از تعدادی مفتول، دو حلقه‌هادی و هسته آهنی تشکیل شده است. ابتدا و انتهای مفتول‌ها توسط دو حلقه‌هادی به‌یکدیگر متصل شده‌اند. چون شکل ایجاد شده شبیه قفس است به همین دلیل به این رتورها «رتور قفسی » می‌گویند.

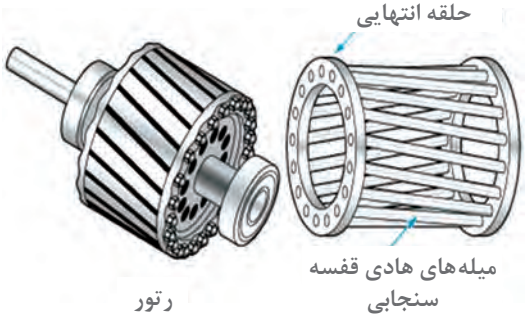
برای ایجاد این مفتول‌ها در رتور چنین عمل می‌شود که پس از چیدمان ورقه‌های هسته، آلومینیوم مذاب را در داخل شیارهای هسته رتور تزریق می‌کنند. آلومینیوم مذاب پس از سرد شدن در داخل شیارهای هسته مانند شمش یا مفتول درمی‌آید (شکل ۱۰).





شکل ۱۰ــ ساختمان رتور قفسی

در برخی رتورهای قفسی از مفتول‌های مسی استفاده می‌شود. در اغلب موتورهای آسنکرون شیارهای رتور با محور رتور موازی نیستند یعنی شیارها نسبت به محور رتور مورب قرار می‌گیرند. علت این کار این است تا به هنگام راه‌اندازی، موتور سر و صدای کمتری داشته باشد. معمولاً انحراف شیارهای رتور به اندازهٔ پهنای یک شیار استاتور در نظر گرفته می‌شود (شکل ۱۱)



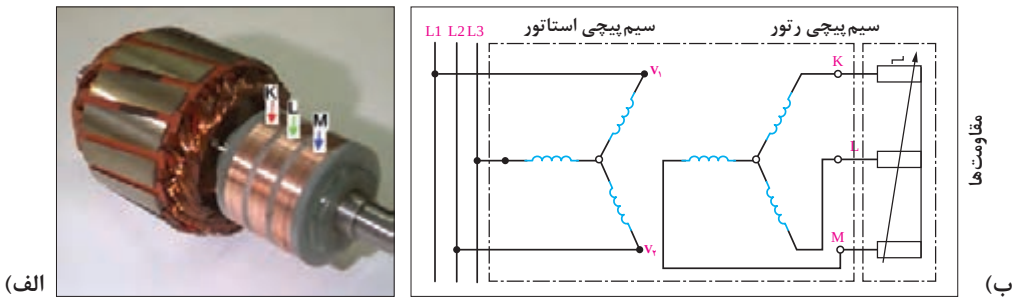
شکل ۱۱

۲ـ رتور سیم‌پیچی شده: رتور سیم‌پیچی از سه گروه کلاف تشکیل شده است. این سه گروه کلاف با یکدیگر ۱۲۰ درجه اختلاف فاز مکانی دارند.

سه گروه سیم‌پیچی رتور به‌صورت ستاره به یکدیگر اتصال دارند. سر کلاف‌ها به سه حلقه که بر روی محور رتور سوار شده‌اند متصل هستند. به این سه حلقه «رینگ» نیز گفته می‌شود. شکل (۱۲ـ الف) تصویر یک نمونه رتور سیم‌پیچی را نشان می‌دهد.

برای برقراری ارتباط الکتریکی با سیم‌پیچی رتور از جاروبک‌هایی استفاده می‌شود که بر روی رینگ‌ها می‌لغزند.

در موتورهای رتور سیم‌پیچی با قرار دادن مقاومت در مسیر سیم‌پیچی رتور می‌توان جریان جاری در سیم‌پیچی رتور را کنترل کرد. (شکل ۱۲ـ ب)



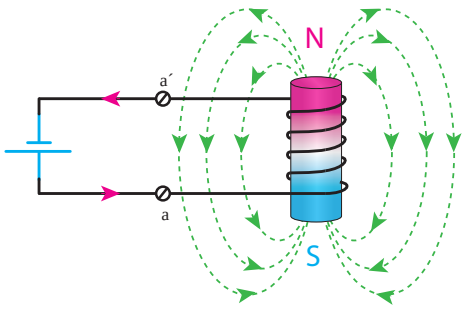
شکل ۱۲ـ رتور سیم‌پیچی

پرسش

۱ـ ماشین‌هایی که انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند چه نام دارد؟
الف) ژنراتور ب) موتور ج) ترانسفورماتور د) رتورسیم‌پیچی
۲ـ بدنه استاتور موتورهای سه فاز آسنکرون از کدام جنس ساخته می‌شود؟
الف) مس ب) سرب ج) آلومینیوم د) چدن
۳ـ علت انحراف شیارهای رتور در موتورهای القایی چیست؟
الف) کاهش سرو صدا در زمان گردش موتور ب) افزایش راندمان موتور
ج) کاهش اصطکاک قطعات مکانیکی د) افزایش دامنه تغییرات سرعت موتور
۴ـ با رسم شکل ساختمان داخلی رتورهای قفسی را شرح دهید.
۵ـ با رسم کلاف‌های موتور و نام‌گذاری سر وته آنها اتصال‌های ستاره و مثلث را رسم کنید.
۶ـ مدار الکتریکی رتور سیم‌پیچی را رسم کنید.
۷ـ حلقه‌های طرفین رتور قفسی باعث اتصال کوتاه شدن مفتول‌ها می‌شود.
☐ صحیح ☐ غلط
۸ـ به منظور کاهش تلفات هیسترزیس، هسته‌های استاتور را ورق ورق می‌سازند.
☐ صحیح ☐ غلط
۹ـ وظیفه درپوش موتور حفاظت سیم‌پیچی استاتور در برابر ورود اجسام خارجی است.
☐ صحیح ☐ غلط
۱۰ـ سیم‌پیچی‌های موتور با یکدیگر ۱۲۰ درجه اختلاف فاز مکانی دارد.
☐ صحیح ☐ غلط

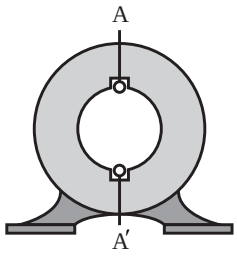
۳ـ۳ـ پدیده میدان دوار مغناطیسی در موتورهای الکتریکی

اگر یک سیم پیچ به جریان DC متصل شود میدان مغناطیسی درون آن ایجاد می‌شود که مقدار و جهت آن تغییر نمی‌کند. این میدان مغناطیسی را «**میدان ثابت**» گویند. جهت این میدان را با قانون دست راست می‌توان تعیین کرد. در شکل ۱۳ این مطلب قابل مشاهده است.



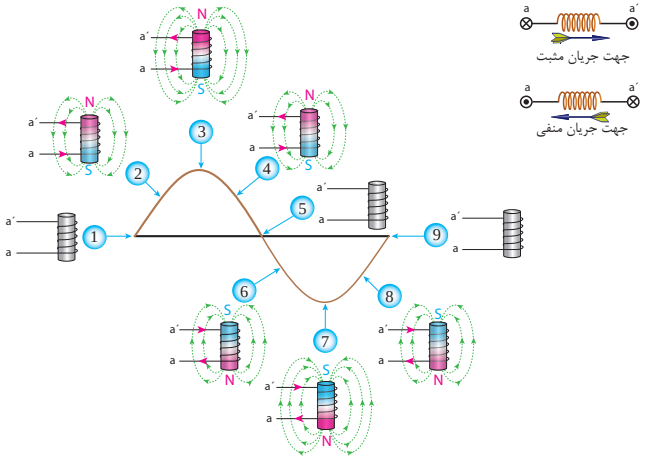
شکل ۱۳ـ میدان مغناطیسی ثابت

اگر همین سیم پیچ را مانند شکل ۱۴ در داخل استاتور یک موتور آسنکرون قرار گیرد و به آن منبع AC تکفاز وصل شود.



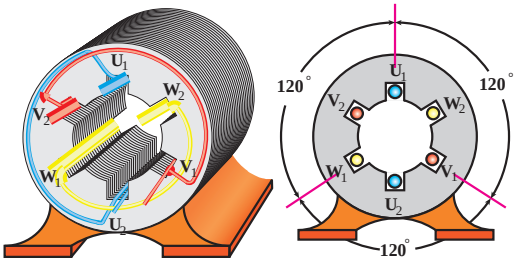
شکل ۱۴ــ قرارگرفتن سیم‌پیچی در داخل استاتور

با عبور جریان متناوب تک فاز، میدانی ایجاد می‌شود که مقدار آن متناسب با جریان تغییر می‌کند و جهت آن در هر نیم سیکل عوض می‌شود. این میدان را «**میدان نوسانی** » گویند. (شکل۱۵)



شکل ۱۵ــ چگونگی تولید میدان نوسانی

اکنون استاتوری با شش شیار را مطابق (شکل ۱۶) در نظر بگیرید به‌طوری که سه گروه کلاف با اختلاف فاز مکانی ۱۲۰° درون شیارها قرار داده شده است.

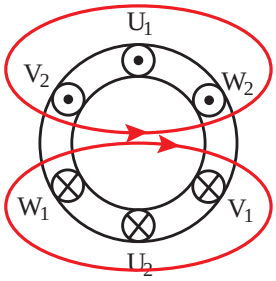


شکل ۱۶ــ نحوه قرار گرفتن سیم‌پیچی‌های موتور سه فاز

با اتصال جریان‌های سه فاز متناوب به سیم‌پیچی‌های استاتور، سیم‌پیچی‌های هر کلاف میدان مغناطیسی تولید می‌کنند.

اندازه برآیند میدان مغناطیسی سه سیم‌پیچی در فضای درون استاتور در هر لحظه مقداری ثابت است.

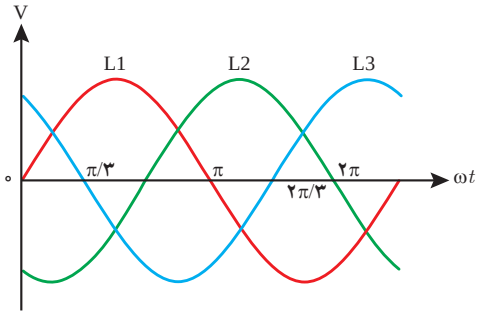
با توجه به مقدار جریان سینوسی متناوب سه فاز و ترسیم برایند میدان مغناطیسی سیم پیچ‌ها در لحظات مختلف موقعیت میدان مغناطیسی درون استاتور مشخص خواهد شد (شکل۱۷).

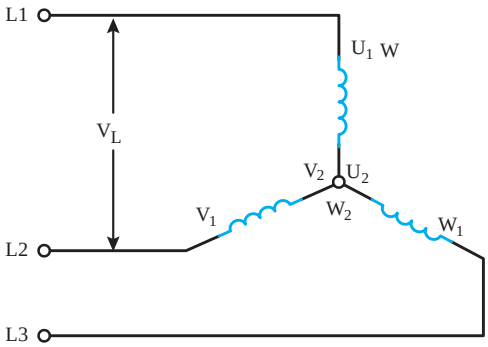


شکل ۱۷ـ چگونگی میدان مغناطیسی اطراف سیم‌پیچی‌های سه فاز

میدان مغناطیسی که با دامنه ثابت درون استاتور با سرعت ثابت می‌گردد را «**میدان دوار** » گویند.
برای به‌دست آوردن وضعیت میدان مغناطیسی حاصل از عبور جریان الکتریکی سه فازه از سیم‌پیچ‌های استاتور چنین بایدعمل کرد.

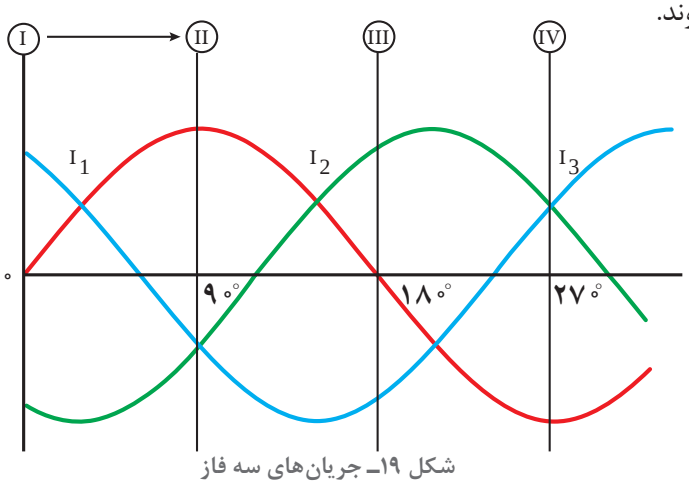
۱ـ سیم‌پیچی‌های استاتور به‌صورت ستاره اتصال داده شوند.
۲ـ ولتاژهای سه فاز L_1، L_2 وL_3 به سر کلاف‌های W_1 ، V_1 و U_1 اعمال شود. (شکل ۱۸)
۳ـ شکل موج‌های سه فاز بر اساس زوایا و با رعایت دقیق اختلاف ۱۲۰ درجه‌ای بین فازها رسم شوند.





شکل ۱۸ـ نحوه اتصال سیم‌پیچی‌های استاتور موتور به شبکه سه فاز

۴ـ درچند موقعیت از جریان متناوب سه‌فاز، جهت جریان سیم‌پیچ‌ها بررسی شوند تا مکان قطب‌ها درسطح استاتور مشخص شوند.



شکل ۱۹ـ جریان‌های سه فاز

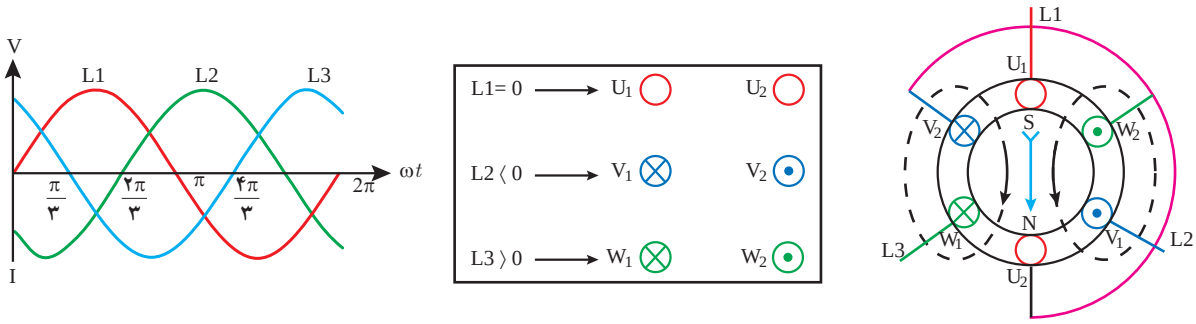
برای بررسی و ترسیم وضعیت میدان مغناطیسی دوار ایجاد شده در استاتور از قواعد زیر باید استفاده کرد:
الف) برای تعیین جهت میدان مغناطیسی در سر و ته سیم‌پیچی‌ها از قاعده دست راست استفاده شود.
ب) لحظاتی که جریان جاری در سیم‌پیچی هر فاز استاتور در نیم سیکل مثبت باشد باید جریان از سر سیم پیچ وارد و از ته سیم پیچ خارج شود و طبق قاعده دست راست باید جهت جریان آن‌را با علامت ⊗ نشان داد شکل (۲۰ـ الف).
ج) لحظاتی که جریان جاری در سیم‌پیچی هر فاز استاتور در نیم سیکل منفی باشد باید جریان از سر سیم‌پیچ خارج و از ته سیم‌پیچ وارد شود و طبق قاعده دست راست باید جهت آن را با علامت (⊙) نشان داد. شکل (۲۰ ـ ب)



الف) جهت ورود جریان از سر سیم‌پیچ　　ب) جهت ورود جریان از ته سیم‌پیچ

شکل ۲۰ـ جهت جریان جاری در سیم‌پیچ‌ها

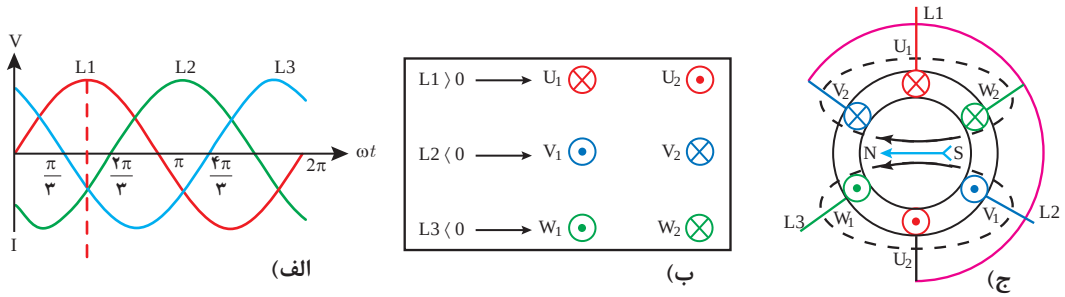
موقعیت ۱ ($\omega t = 0^\circ$): در این موقعیت مقدار جریان فاز L_1 برابر صفر و در نتیجه از سیم پیچ $U_1 U_2$ جریانی عبور نمی‌کند. فاز L_3 در نیم سیکل مثبت بوده و جریان از سر سیم پیچ سوم یعنی W_1 وارد و از انتهای سیم‌پیچ W_2 خارج می‌شود. پس ورودی W_1 علامت ⊗ و خروجی W_2 علامت (⊙) خواهد داشت. در همین موقعیت فاز L_2 در نیم سیکل منفی است، در نتیجه جریان الکتریکی ازسر سیم پیچ دوم (B) خارج شده و از ا نتهای سیم پیچ V_2 وارد می‌شود، پس ورودی V_1 علامت (⊙) و خروجی V_2 علامت ⊗ خواهد داشت. در انتها باید با توجه به قاعده دست راست جهت میدان مغناطیسی در اطراف سیم‌هایی که دارای یک جهت جریان هستند را مشخص کرده و مطابق شکل (۲۱) میدان مغناطیسی پدید آمده در فضای داخلی استاتور را تعیین کرد جهت‌گیری عقربه مغناطیسی درون استاتور بیانگر این موضوع است.
برای تحلیل خلاصه‌تری از وضعیت جریان‌های جاری در سیم پیچ‌ها و جهت میدان مغناطیسی ایجاد شده از روش اختصار شده شکل (۲۱ـ ب) می‌توان استفاده کرد.



الف)　　ب)　　ج)

شکل ۲۱ـ وضعیت میدان مغناطیسی و تشکیل قطب در موقعیت ۱ ($\omega t = 0^\circ$)

موقعیت ۲ ($\omega t = ۹۰^\circ$): همان‌گونه که در شکل (۲۲ـ الف) مشاهده می‌شود فاز L_1 در مقدار حداکثری نیم سیکل مثبت و فاز L_2 و L_3 در نیم سیکل منفی هستند. پس جریان از سر سیم پیچ اول یعنی وارد U_1 و از سر کلاف‌های V_1 و W_1 خارج می‌شوند. در (شکل ۲۲ـ ب) وضعیت سیم پیچ‌ها به‌صورت خلاصه نشان داده شده است. همان‌گونه که در (شکل ۲۲ـ ج) عقربه مغناطیسی نشان می‌دهد با توجه به قطب‌سازی صورت گرفته میدان مغناطیسی به اندازه ۹۰ درجه چرخیده است.

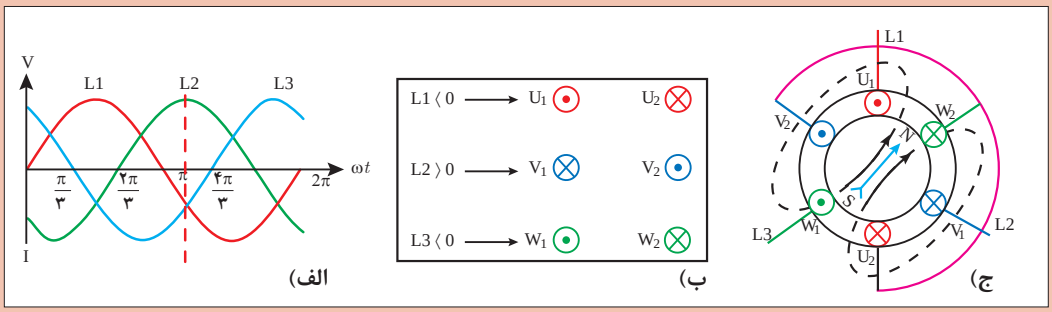


شکل ۲۲ـ وضعیت میدان مغناطیسی و تشکیل قطب در موقعیت ۲ ($\omega t = ۹۰^\circ$)

موقعیت ۳ ($\omega t = ۲۱۰^\circ$): در این موقعیت فاز L_2 در مقدار حداکثری مثبت خود بوده و فازهای L_1 و L_3 در موقعیت نیم سیکل منفی هستند. پس مشابه موقعیت ۲، دو فاز در وضعیت نیم سیکل منفی قرار دارند. در (شکل ۲۳ـ ب) وضعیت ورود و خروج جریان در سیم پیچ‌ها به‌طور خلاصه نشان داده شده است. با کمی‌دقت و مقایسه دو شکل (۲۲ـ ج) و (۲۳ـ ج) می‌توان مشاهده کرد که میدان مغناطیسی به‌وجود آمده در این وضعیت به‌اندازه ۱۲۰ درجه تغییر مکان داشته است.

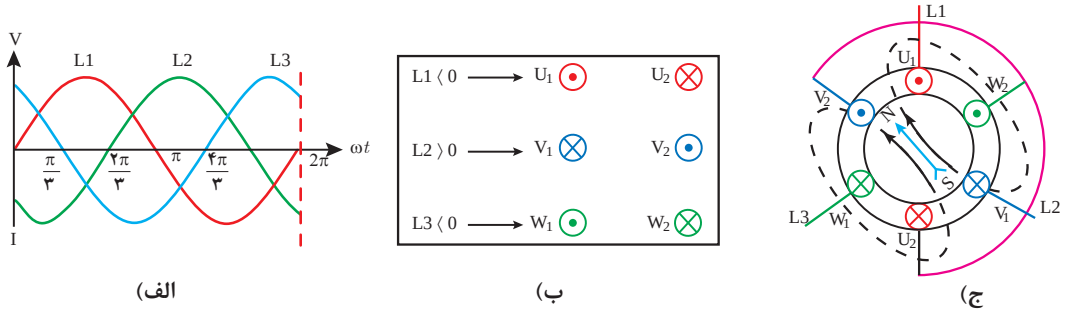
سؤال

چرا در موقعیت ۳ میدان به اندازهٔ ۱۲۰ درجه نسبت به موقعیت ۲ تغییر مکان داشته است؟



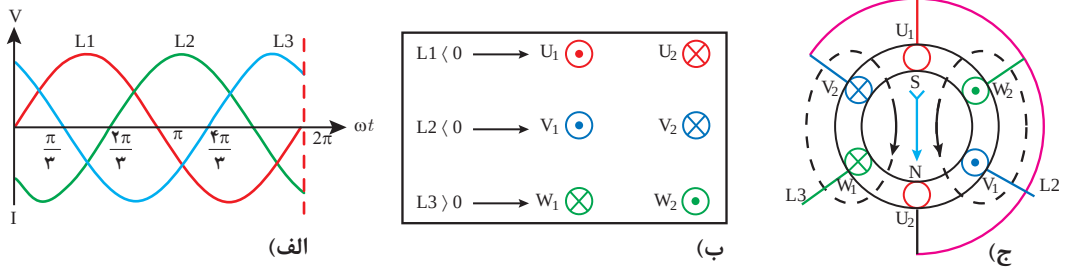
شکل ۲۳ـ وضعیت میدان مغناطیسی و تشکیل قطب در موقعیت ۳ ($\omega t = ۲۱۰^\circ$)

موقعیت ۴ ($\omega t = ۲۷۰^\circ$): در این موقعیت فاز L_2 جای خود را به فاز L_3 داده است. به‌طوری که در شکل (۲۴) مشخص است فاز L_3 در مقدار حداکثری نیم سیکل مثبت خود اما دو فاز دیگر یعنی فازهای L_1 و L_2 در نیم سیکل منفی هستند. در (شکل ۲۴ـ ب) وضعیت ورود و خروج جریان در سیم پیچ‌ها و در شکل (۲۴ـ ج) وضعیت میدان مغناطیسی دوار نشان داده شده است.



شکل ۲۴ـ وضعیت میدان مغناطیسی و تشکیل قطب در موقعیت ۴ ($\omega t = ۲۷۰^\circ$)

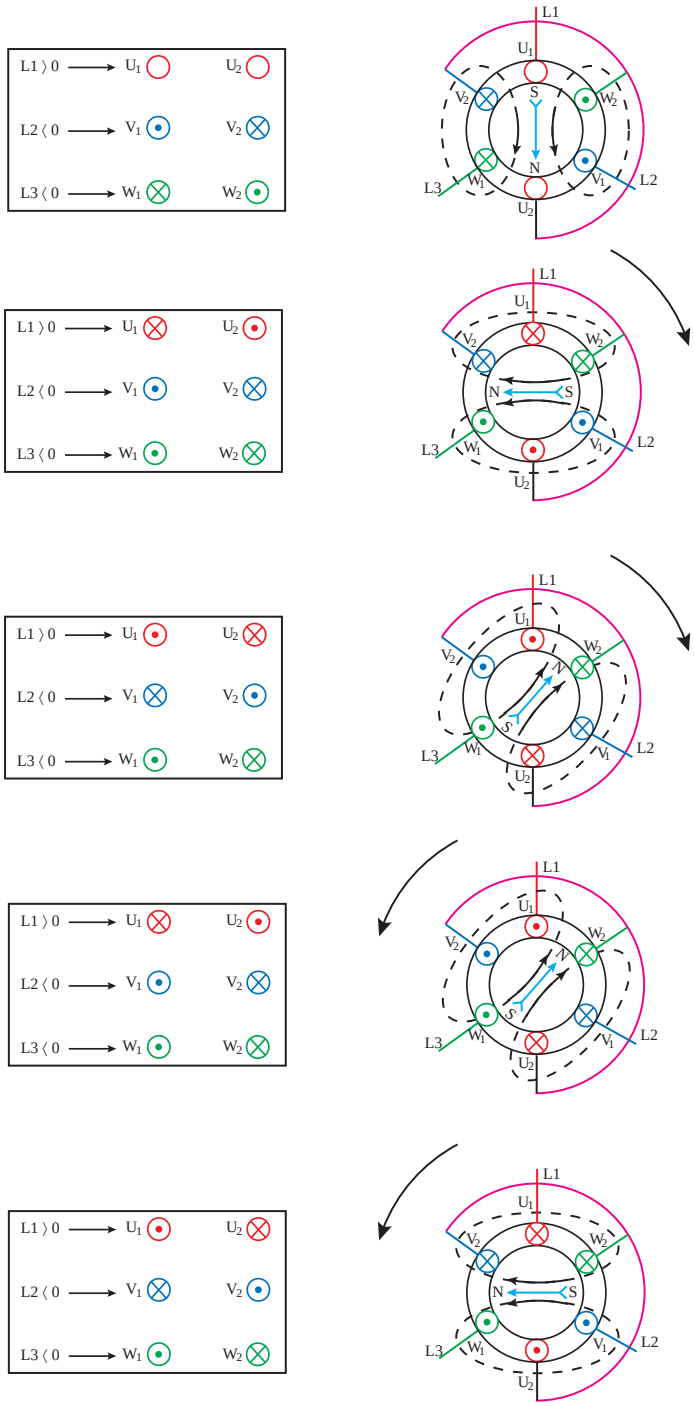
موقعیت ۵ ($\omega t = ۳۶۰^\circ$): این موقعیت مشابه موقعیت ۱ است چرا که در انتهای سیکل موقعیت فازها به همان موقعیت اول برگشته است. (شکل ۲۵ـ الف) لذا قطب‌های حاصل از میدان مغناطیسی در همان موقعیت ۱ قرار گرفته است. همان‌طوری که در شکل (۲۵ـ ب) مشاهده می‌کنید فاز L_1 برابر صفر، فاز L_2 در نیم سیکل منفی و فاز L_3 درنیم سیکل مثبت قرار دارند. بنابراین در طی یک سیکل جریان متناوب، قطب سازی‌های مختلف صورت گرفته و میدان مغناطیسی در فضای داخلی استاتور به گردش در آمده و با طی کردن یک دور کامل در نهایت به همان وضعیت اول بازگشته است. شکل (۲۵ـ ج)



شکل ۲۵ـ وضعیت میدان مغناطیسی و تشکیل قطب در موقعیت ۵ ($\omega t = ۳۶۰^\circ$)

۴ـ۳ـ تغییر جهت چرخشی میدان دوار

در صورتی که جای دو فاز از سه فاز متصل شده به موتورالکتریکی به اختیار عوض شود،جهت چرخش میدان مغناطیسی دوار استاتور عوض می‌شود. برای تغییرجهت گردش موتورها ازکلید چپگرد ـ راستگرد یامدارهای کنتاکتوری استفاده می‌شود. برای نشان دادن تغییر جهت چرخش میدان مغناطیسی دوار می‌توان از روش ترسیمی‌استفاده کرد. در اینجا برای مقایسه وضعیت میدان‌های مغناطیسی در دو حالت راستگرد و چپگرد، وضعیت میدان دوار در سه موقعیت $\omega t = ۰^\circ$، $\omega t = ۹۰^\circ$ و $\omega t = ۲۱۰^\circ$ نشان داده شده است. شکل ۲۵ـ الف وضعیت میدان دوار درشرایط راستگرد و شکل ۲۵ـ ب وضعیت میدان در شرایط چپگرد را نشان می‌دهد.



شکل ۲۶ـ وضعیت میدان مغناطیسی در شرایط جابه‌جایی دو فاز

همان‌گونه که در تصاویر شکل (۲۶) مشاهده می‌کنید با جابه‌جایی دو فاز، قطب‌سازی داخل استاتور و جهت گردش میدان مغناطیسی تغییر کرده است.

تمرین

وضعیت جریان‌های سه فاز متصل به سیم پیچ‌های استاتور یک موتور سه فاز و نحوه ایجاد میدان مغناطیسی ایجاد شده در دو حالت راست‌گرد و چپ‌گرد را در موقعیت‌های ($\omega t = 60^\circ$، $\omega t = 150^\circ$ و $\omega t = 240^\circ$) را ترسیم کنید.

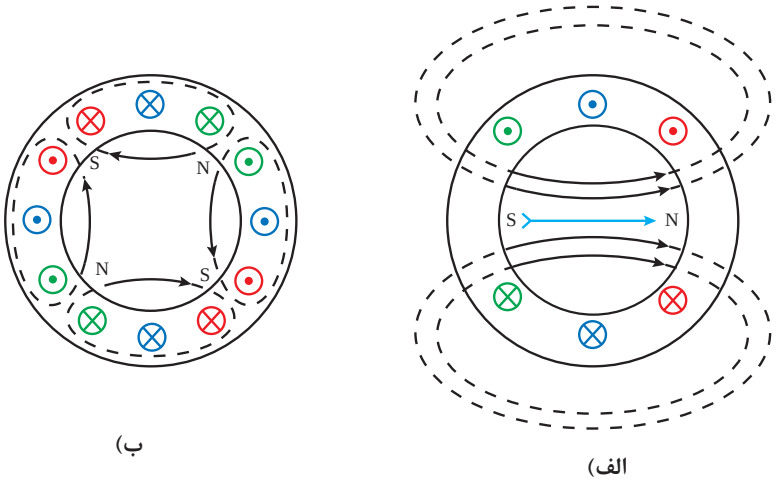
۵ـ۳ـ عوامل مؤثر در سرعت میدان دوار

برای ترسیم میدان دوار از شکل موج جریان‌های سه فاز در فواصل منظم و در یک دوره تناوب استفاده می‌شود. حالا تصور کنید هر چه دوره تناوب موج جریان سریع‌تر باشد، و در زمان تناوب کوتاه‌تری تکرار شود سرعت گردش میدان دوار بیشتر خواهد شد. با افزایش زمان دوره تناوب موج جریان، سرعت گردش میدان دوار کندتر می شود.

سرعت میدان دوار با زمان تناوب رابطه عکس دارد. بین زمان تناوب و فرکانس رابطه ($f = \frac{1}{T}$) برقرار است. با تغییر فرکانس، زمان تناوب موج جریان و سرعت گردش میدان دوار تغییر می‌کند.

$$n_s \propto f$$

سرعت میدان دوار موتورآسنکرون را «سرعت سنکرون » می‌نامند و با n_s نمایش می‌دهند.
با افزایش تعداد کلاف‌های سیم‌پیچی استاتور موتورهای سه فاز، فاصله بین قطب‌ها کم می شود و در نتیجه سرعت میدان دوار کاهش می‌یابد. (شکل ۲۷ـ ب)
در میدان دوار چهار قطبی فاصله بین قطب‌ها نصف فاصله بین قطب‌های میدان دوار دو قطبی است.



ب) الف)

شکل ۲۷ـ افزایش تعداد قطب

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت عامل دیگر تعیین کننده سرعت میدان دوار، تعداد قطب‌های سیم‌بندی موتورآسنکرون می‌باشد.

جریان عبوری از سیم پیچ‌ها در یک دوره تناوب موج جریان فقط یکبار تغییر جهت می دهد، لذا قطب N و S میدان دوار در یک دوره تناوب جابه‌جا می‌شود. بنابراین در یک ماشین دو قطبی، قطب‌ها ۳۶۰ درجه محیط استاتور را اشغال می‌کند. در یک دوره تناوب، میدان دوار کل محیط استاتور را طی می‌کند در حالی که در یک ماشین چهار قطبی که هر دو قطب آن ۱۸۰ درجه محیط استاتور را اشغال می‌کند در یک دوره تناوب، میدان دوار تنها ۱۸۰ درجه محیط استاتور را طی می‌کند. پس ۲ دوره تناوب طول می کشد تا میدان دوار تمام محیط استاتور را طی نماید. به همین ترتیب افزایش تعداد قطب سبب می‌شود تا زمان بیشتری صرف شود تا میدان دوار بتواند تمام محیط استاتور را بپیماید. بنابراین افزایش تعداد قطب‌های استاتور باعث کند شدن سرعت میدان دوار می‌شود. هر دو قطب N و S تشکیل یک میدان مغناطیسی را می‌دهند و به آنها زوج قطب (P) می گویند (جدول ۱)

جدول ۱ــ محیط اشغال شده توسط قطب

چرخش میدان در محیط استاتور برای یک دوره تناوب	محیط اشغال شده توسط زوج قطب	تعداد زوج قطب $\frac{P}{2}$	تعداد قطب P
طی محیط کامل	$\frac{۳۶۰}{۱} = ۳۶۰$	۱	۲
طی نصف محیط = $\frac{۱}{۲}$	$\frac{۳۶۰}{۲} = ۱۸۰$	۲	۴
طی ثلث محیط = $\frac{۱}{۳}$	$\frac{۳۶۰}{۳} = ۱۲۰$	۳	۶
طی ربع محیط = $\frac{۱}{۴}$	$\frac{۳۶۰}{۴} = ۹۰$	۴	۸
...	...	...	...
عبور از مقابل P در محیط = $\frac{۱}{\frac{P}{۲}}$	$\frac{۷۲۰}{P}$	$\frac{P}{۲}$	P

سرعت میدان دوار ازاین رابطه به‌دست می‌آید.
در این رابطه:

$$n_s = \frac{۱۲۰f}{P}$$

n_s ـ سرعت میدان دوار برحسب RPM
f ـ فرکانس شبکه برق بر حسب Hz
P ـ تعداد قطب‌های میدان دوار می‌باشد.
سرعت میدان دوار با فرکانس جریان برق نسبت مستقیم و با تعداد قطب‌های میدان دوار رابطه عکس دارد.

مثال

سرعت میدان دوار یک ماشین ۲ قطبی در شبکه برق ایران با فرکانس ۵۰Hz چند RPM است؟

$$n_s = \frac{۱۲۰f}{P} \rightarrow ns = \frac{۱۲۰\times ۵۰}{۲} = ۳۰۰۰RPM$$

تمرین

با توجه به رابطه سرعت سنکرون و براساس تعداد قطب یا سرعت داده شده جدول (۲) را تکمیل کنید.

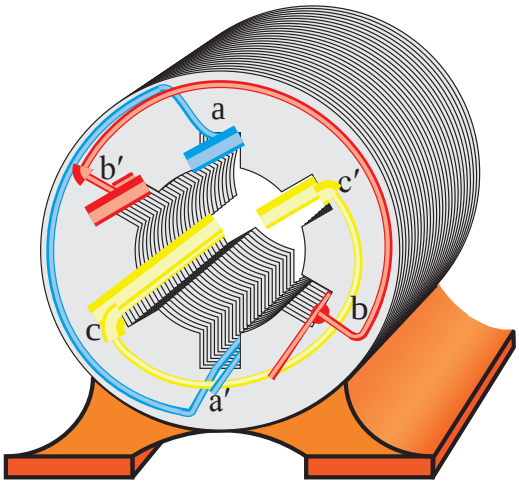
جدول ۲ـ محاسبه سرعت میدان دوار در ماشین القایی

سرعت میدان دوار (RPM)	تعداد زوج قطب $\frac{P}{۲}$	تعداد قطب‌ها P	فرکانس برق شهر Hz
؟	۱	۲	۵۰
؟	۲	۴	
؟	۳	۶	
۷۵۰	؟	۸	
۶۰۰	؟	۱۰	
۵۰۰	؟	۱۲	

۶ـ۳ـ طرز کارموتورهای آسنکرون

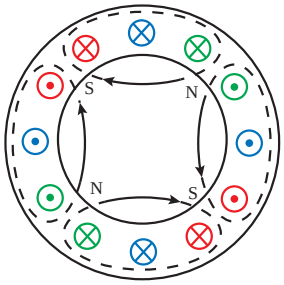
با اتصال جریان متناوب سه فاز به سیم‌پیچی استاتور موتور آسنکرون میدان مغناطیسی دوار درون استاتور تولید می‌شود (شکل ۲۸).

با قرار گرفتن رتورقفسی درون استاتور، میدان دوار هادی‌های رتور را قطع می‌کند وطبق قانون القای فارادی در آنها نیروی محرکه‌ای القا می‌کند. ($E = N\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$)



شکل ۲۸ـ موتور آسنکرون

به‌دلیل القای نیروی محرکه القایی، درهادی‌های رتور که توسط حلقه‌های انتهایی به یکدیگر وصل شده‌اند جریان جاری می‌شود که این جریان را «**جریان القایی** » گویند. طبق قانون لورنس به هرهادی حامل جریان رتور توسط میدان مغناطیسی دوار نیرو وارد می‌شود. این نیرو حول محور رتورگشتاور تولید می‌کند. این گشتاور باعث گردش رتور حول محورش خواهد شد. ($T = F.r$)



شکل ۲۹ـ تصویر رتور داخل استاتور با نشان دادن نیروی میدان و شعاع رتور

عامل گردش رتور در موتورهای الکتریکی آسنکرون، جریان القایی‌هادی‌های رتور است. از این رو موتورالکتریکی آسنکرون را «**موتورهای القایی** » نیز گویند. در موتورالکتریکی آسنکرون هیچگاه سرعت چرخش رتور به سرعت میدان نمی‌رسد زیرا در این شرایط نیروی محرکه‌ای در هادی‌ها القا نخواهد شد.

پرسش

۱ـ اندازه نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچی با ۵۰۰ حلقه و تغییرات فوران ۲۰۰ میلی و در محدوده زمان ۴۰۰ میلی ثانیه چندولت است ؟
الف) ۲۰۰ ب) ۲۵۰ ج) ۴۰۰ د) ۵۵۰
۲ـ درموقعیت ۲۷۰ درجه میدان دوار به‌ترتیب فاز L_3 و فاز L_3 در چه شرایطی از سیکل جریان متناوب قرار دارد؟
الف) منفی، مثبت ب) مثبت، منفی ج) مثبت، مثبت د) منفی، منفی
۳ـ درنیم سیکل منفی جریان از ..... سیم پیچ وارد شده و جهت جریان در سر سیم پیچ به‌صورت ..... درنظرگرفته می‌شود.
الف) انتها، ⊙ ب) انتها، ⊗ ج) سر، ⊙ د) سر، ⊗
۴ـ وضعیت میدان مغناطیسی در موقعیت‌های 120° و 135° و 300° را رسم کنید.
۵ـ چگونه می‌توان جهت گردش موتورهای الکتریکی را عوض کرد؟ با رسم شکل در یک موقعیت آن را توضیح دهید.
۶ـ چگونگی چرخش رتور موتورهای القایی را شرح دهید.
۷ـ جنس میله‌های رتور موتورهای القایی از چه ماده‌ای است و چرا مورب ساخته می‌شوند؟
۸ـ با سه برابر شدن فرکانس و نصف شدن تعداد قطب یک موتور سه فاز القایی سرعت آن $\frac{1}{6}$ می‌شود.
☐ صحیح ☐ غلط
۹ـ درماشین‌های رتور قفسی‌هادی‌های رتور نسبت به هسته عایق هستند.
☐ صحیح ☐ غلط
۱۰ـ برای تغییر جهت گردش موتور باید جای دو فاز فرد را با فازهای زوج عوض کرد.
☐ صحیح ☐ غلط

۷ـ۳ـ لغزش در موتورهای القایی

با اتصال سیم‌پیچ‌های سه فاز استاتور موتور القایی به جریان متناوب سه فاز میدان دوار با سرعت سنکرون می‌گردد. اما رتور نمی‌تواند با سرعت میدان دوار بچرخد و همیشه با آن اختلاف سرعت دارد.
اختلاف سرعت میدان دوار (n_S) با سرعت رتور (n_r) را «**سرعت لغزش** Δn » می‌گویند.

$$\Delta n = n_S - n_r$$

در یک ماشین القایی نسبت سرعت لغزش به سرعت میدان دوار را «لغزش » می‌گویند و آن را با S نمایش می دهند.

$$S=\frac{\Delta n}{n_s}$$

$$S=\frac{n_s-n_r}{n_s}$$

مقدار لغزش را به‌صورت درصد نشان می‌دهند.

$$\%S=\frac{n_s-n_r}{n_s}\times ۱۰۰$$

در موتورهای القایی شرط ایجاد گشتاور جاری شدن جریان درهادی‌های رتور است و شرط جاری شدن جریان، وجود نیروی محرکه القایی در دو سرهادی‌های رتور می‌باشد. ازطرفی شرط القای نیروی محرکه نیز وجود اختلاف سرعت بین میدان دوار و سرعت رتور است. لذا اختلاف سرعت درموتورهای القایی رتور قفسی از اهمیت بسزایی برخوردار است.به‌طور کلی در موتورهای القایی هرگاه سرعت چرخش میدان دوار با سرعت چرخش رتور اختلاف داشته باشد آن گروه از موتورها را «**آسنکرون**» یا غیرهم‌زمان می‌گویند و به موتورهای القایی جریان متناوب که سرعت چرخش میدان دوار با سرعت چرخش رتور در آنها یکی باشد آن گروه از موتورها را «**سنکرون**» یا هم‌زمان گویند.

مثال

رتور یک موتور القایی چهار قطب در فرکانس ۵۰ HZ با سرعت ۱۴۵۰ RPM می‌چرخد مطلوب است: سرعت لغزش و لغزش این موتور القایی را به‌دست آورید.

$$n_s=\frac{f\times ۱۲۰}{P}=\frac{۵۰\times ۱۲۰}{۴}=۱۵۰۰RPM$$

$$\Delta n=n_s-n_r=۱۵۰۰-۱۴۵۰=۵۰RPM$$

$$s=\frac{\Delta n}{n_s}=\frac{۵۰}{۱۵۰۰}=۰/۰۳$$

و یا

$$S=\frac{n_s-n_r}{n_s}=\frac{۱۵۰۰-۱۴۵۰}{۱۵۰۰}=۰/۰۳$$

با توجه به رابطه لغزش S برای محاسبه سرعت رتور رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$S=\frac{n_s-n_r}{n_s}\rightarrow s\times n_s=n_s-n_r\rightarrow n_r=n_s-S\times n_s\rightarrow \boxed{n_r=n_s(۱-S)}$$

مثال

موتوری ۴ قطب با لغزش ۲۰ درصد مفروض است اگر فرکانس کار موتور ۵۰ هرتز باشد سرعت چرخش رتور چند دور بر دقیقه است؟

$$n_s = \frac{۱۲۰f}{P} \longrightarrow n_s = \frac{۱۲۰\times ۵۰}{۲} = ۱۵۰۰ RPM$$

$$n_r = n_s(۱-S) = ۱۵۰۰(۱-۰/۲) = ۱۴۷۰ RPM$$

مثال

بر روی پلاک موتور سه فازی سرعت چرخش و فرکانس به ترتیب ۸۵۰ RPM و ۵۰ Hz ذکر شده است سیم‌پیچی این موتور چند قطب است ؟

$n_r = ۸۵۰ \text{ RPM} \rightarrow n_s = ۱۰۰۰ \text{ RPM}$

$$n_s = \frac{۱۲۰\times f}{P} \rightarrow P = \frac{۱۲۰\times f}{n_s} \rightarrow P = \frac{۱۲۰\times ۵۰}{۱۰۰۰} = ۶$$

۸ـ۳ـ رفتار ماشین القایی

رفتار ماشین القایی در حالت‌های راه‌اندازی، بی‌باری، بارداری و ترمزی با توجه به سرعت رتور و مقدار لغزش تعیین می‌شود.

الف) راه‌اندازی: در حالت راه‌اندازی موتور القایی، سرعت رتور صفر است ولی میدان دوار با سرعت سنکرون می‌چرخد. بنابراین خواهیم داشت:

در زمان راه‌اندازی لغزش موتور S=۱ یا S=۱۰۰٪ است.

$$n_r = ۰ \Rightarrow S = \frac{n_s - ۰}{n_s} = ۱ \text{ یا } ۱۰۰٪$$

ب) بی‌باری: اگر رتور با سرعت سنکرون یا همان سرعت میدان دوار گردش کند لغزش موتور صفر می شود. در حالت بی‌باری موتورهای القایی سرعت رتور تقریبا نزدیک به سرعت میدان دوار است به‌همین دلیل سرعت رتور را برابر درنظر می‌گیرند.

درشرایط بی باری لغزش موتور S=۰ یا S = ۰٪ است.

$$n_r = n_s \Rightarrow S = \frac{n_s - n_s}{n_s} = ۰ \text{ یا } ۰٪$$

ج) بارداری: رتور موتور القایی پس از راه‌اندازی دور می‌گیرد و سرعت آن پی‌درپی افزایش می‌یابد. با زیاد شدن سرعت رتور، اختلاف سرعت رتور و میدان دوار کمتر می‌شود. این افزایش سرعت تا جایی که نزدیک به سرعت سنکرون است ادامه دارد.

با وجود وزن خود رتور و نیروی اصطکاک یاتاقان‌ها و هوا، سرعت رتور هرگز به سرعت سنکرون نمی‌رسد بلکه در نزدیک آن پایدار می‌شود. برهمین اساس لغزش این حالت دارای مقداری بین صفر و یک است.

$$n_r < n_s \Rightarrow S = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{\Delta n}{n_s} \Rightarrow ۰ < \Delta n < ۱ \Rightarrow ۰ < S < ۱$$

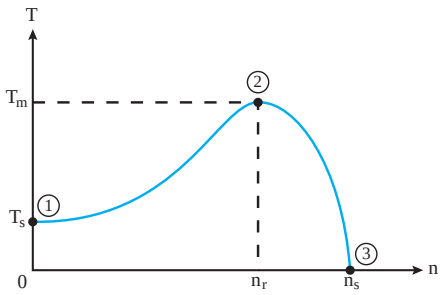
لغزش ماشین القایی در حین کار کمتر از لغزش زمان راه‌اندازی و بیش از لغزش در حالت بی‌باری (سرعت سنکرون) است. به این حالت کاری ماشین «موتوری » نیز گفته می‌شود.

د) ترمزی: در صورتی که بتوانیم با وارد کردن نیرویی، رتور درخلاف جهت چرخش میدان دوار حرکت کند در اینصورت توانسته‌ایم از ادامه حرکت رتور در شرایط قبلی جلوگیری کنیم. به این حالت کاری ماشین «ترمزی » گفته می‌شود و مقدار لغزش آن چنین به‌دست می‌آید.

$$n_r < ۰ \Rightarrow S = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{n_s - (-n_r)}{n_s} \Rightarrow \Delta n > ۱ \Rightarrow S > ۱$$

۹ـ۳ـ مشخصه گشتاور ـ دور موتور القایی

مشخصه گشتاور ـ دور موتورهای القایی در شکل ۳۰ نشان داده شده است.



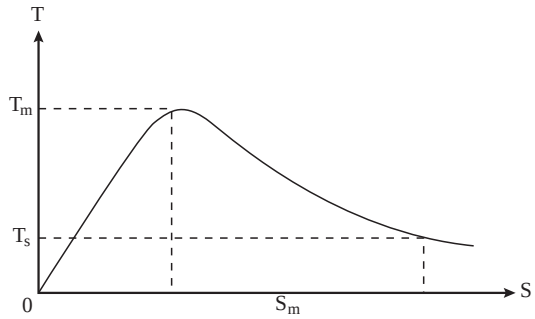
شکل ۳۰ـ مشخصه گشتاور ـ دور موتورالقایی

در مشخصه گشتاور ـ دور نقاط مهمی وجود دارد که به‌ترتیب عبارت‌اند از:

نقطه (۱) لحظه راه‌اندازی موتور است و سرعت رتور برابر صفر و گشتاور موتور دارای مقدار T_s است. مقدارگشتاور موتور در لحظه شروع به کار را «**گشتاور راه‌اندازی** » گویند و با T_s نشان می‌دهند. مقدار گشتاور راه‌اندازی (T_s) نشان می‌دهد که موتور چه مقدار گشتاور بار را می‌تواند به راه بیندازد.

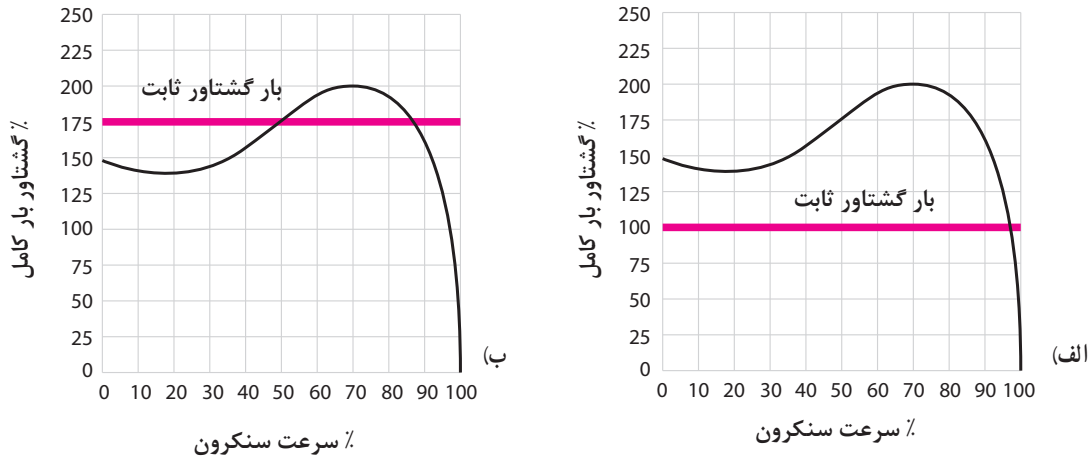
با افزایش سرعت رتور، گشتاور موتور افزایش می یابد تا در نقطه ۲ به بیشترین مقدار خود می‌رسد. بیشترین مقدار گشتاور تولیدی موتور را که به ازای سرعت n_{rm} تولید می شود گشتاور «ماکزیمم » گویند و با «T_m »

نشان می‌دهند. با افزایش سرعت رتور به بیش از n_{rm}، گشتاور تولیدی موتور کاهش می یابد و با رسیدن سرعت رتور به سرعت سنکرون گشتاور تولیدی موتور صفر خواهد شد. چون لغزش در موتورهای القایی با سرعت ارتباط دارد و رفتار ماشین براساس تغییرات لغزش بیان می‌شود به همین دلیل مشخصه گشتاور ـ لغزش نیز ارائه شده است (شکل ۳۱) تصویر مشخصه گشتاور ـ لغزش موتورهای القایی را نشان می‌دهد.



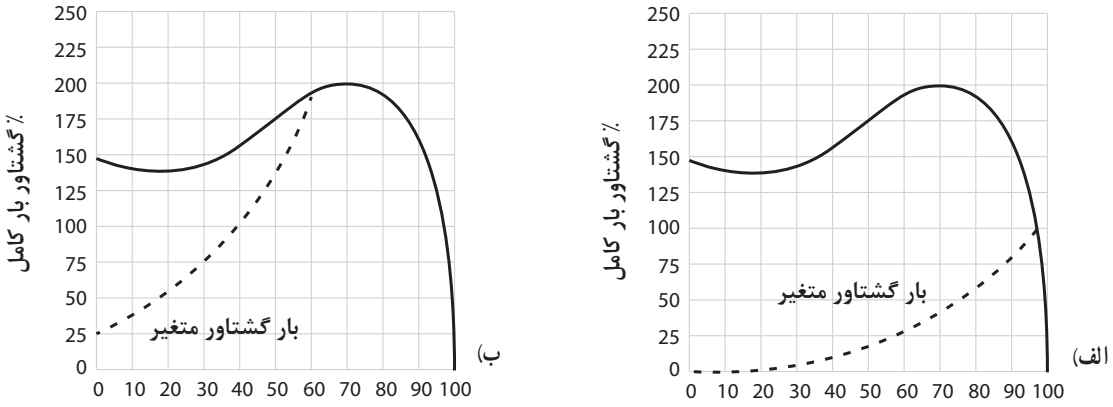
شکل ۳۱ـ مشخصه گشتاور ـ لغزش موتورهای القایی

هر بارمکانیکی که روی محور موتور قرار می‌گیرد مشخصه گشتاور ـ دور خاص خود را دارد که به آن «**مشخصه بار** » گویند. مشخصه گشتاور بار نشان دهنده چگونگی تغییرات بار نسبت به تغییرات سرعت موتور است. برخی بارها دارای مشخصه گشتاور بار ثابت هستند یعنی به‌ازای تغییرات سرعت موتور گشتاور آنها تغییر نمی‌کند. شکل‌های (۳۲ـ الف) و (۳۲ ـ ب) دو نمونه مشخصه گشتاور بار ثابت را نشان می‌دهند.



شکل ۳۲ـ دو نمونه مشخصه گشتاور ـ بار ثابت

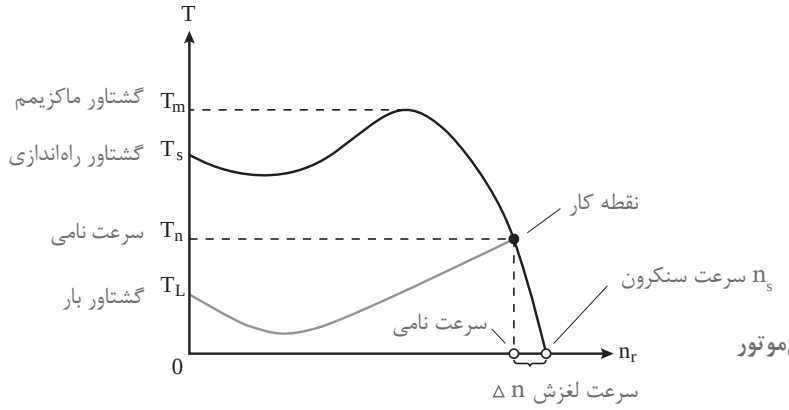
اما بارهای دیگری وجود دارند که دارای مشخصه گشتاور بار ثابت نبوده و به‌ازای تغییرات سرعت موتور مقدار گشتاور آنها تغییر می‌کند. در شکل (۳۳ـ الف) و (۳۳ـ ب) چند نمونه مشخصه گشتاور بار را مشاهده می‌کنید.



شکل ۳۳ـ دونمونه مشخصه گشتاور ـ بار متغیر

هر موتور القایی دارای مقدار مشخصی گشتاور راه‌اندازی (T_s) است که به طراحی رتور آن بستگی دارد. برای به گردش درآوردن بار مکانیکی، گشتاور راه‌اندازی موتور القایی باید بیش از گشتاور راه اندازی بار مکانیکی باشد (شرط راه‌اندازی موتورها $T_S > T_L$)

هرگاه مقدارگشتاور موتور (گشتاور محرک) با مقدار گشتاور بار (گشتاور مقاوم) در سرعت بیش از n_{rm} برابر شود در این صورت سرعت موتور تثبیت می‌شود و موتورالقایی، بار موردنظر را با سرعتی ثابت به‌حرکت در می‌آورد. برای تعیین این سرعت باید مشخصه گشتاور ـ دور موتور ومشخصه گشتاور بار را روی یک صفحه دکارتی رسم کرد. سپس محل تلاقی این دو منحنی را مشخص نمود. نقطه‌ای که مشخصه گشتاور ـ دور موتور القایی با مشخصه گشتاور ـ دور بار مکانیکی تلاقی می نماید، را «**نقطه کار موتور** » می‌گویند. از نقطه کار می‌توان سرعت و گشتاور موتور در حالت پایدار را به‌دست آورد. گشتاور موتور در نقطه کار را «**گشتاور نامی موتور** » گویند و با T_n نشان می‌دهند. در (شکل ۳۴) نحوه به‌دست آوردن نقطه کار موتور نشان داده شده است.



شکل ۳۴ـ نحوه تعیین نقطه کار نامی‌موتور القایی سه فاز

سازندگان موتورهای الکتریکی مقادیر گشتاور راه‌اندازی T_s، ماکزیمم T_m و نامی T_n و نسبت‌های آنها را در برگه مشخصات فنی موتور القایی ارائه می کنند.

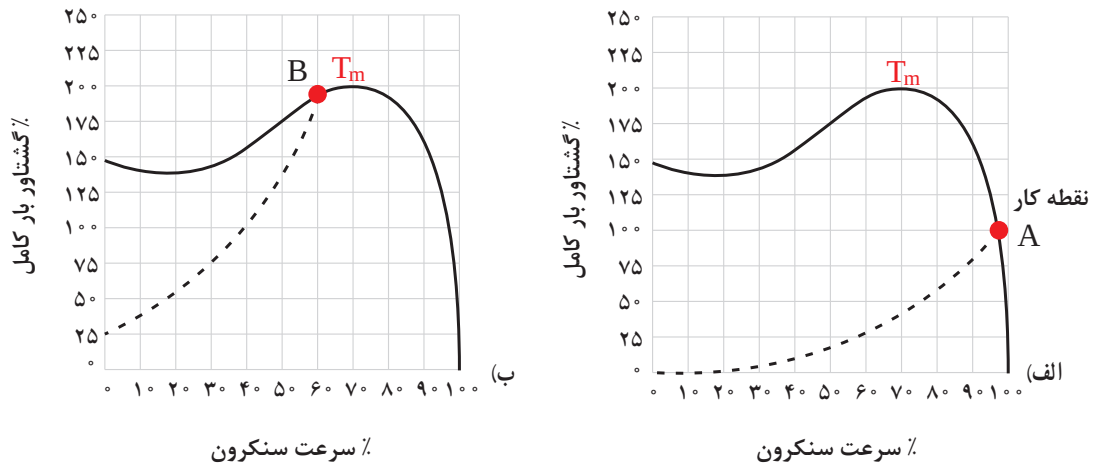
نکته ۱

در فاصله نقطه T_s تا T_m مشخصه گشتاور ـ دور، افزایش گشتاور و سرعت در موتور با هم رخ می‌دهد. در این فاصله امکان تثبیت سرعت موتور وجود ندارد به همین دلیل هیچ‌گاه نقطه کار موتور را نباید در محدوده **Ts** تا **Tm** انتخاب کرد.

نکته ۲

بعد از T_m مشخصه گشتاور دور، افزایش سرعت رتور باعث کاهش گشتاور می‌شود. در این ناحیه امکان تثبیت سرعت موتور وجود دارد و نقطه کار در این ناحیه می‌باشد.

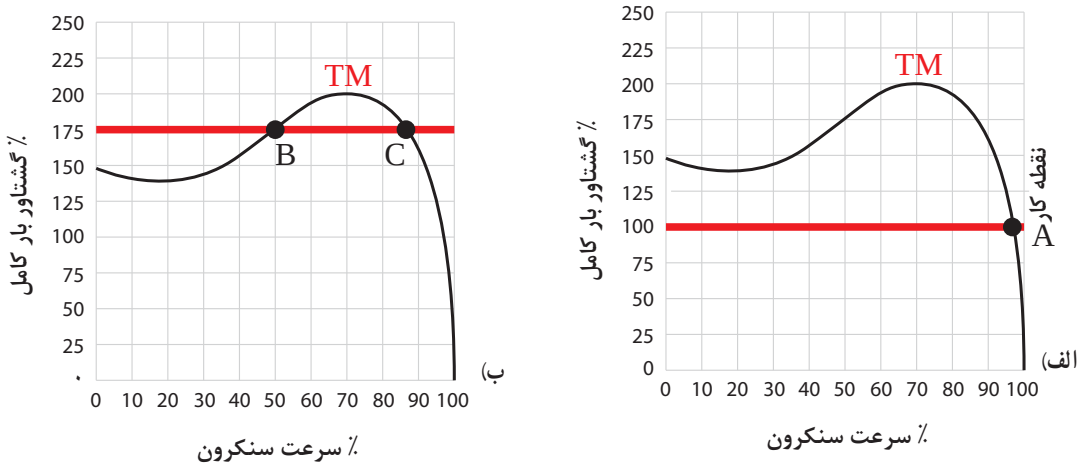
دو مشخصه بار در (شکل ۳۵) نشان داده شده است.
در شکل‌های (الف) و (ب) گشتاور بار از گشتاور راه‌اندازی موتور کمتر است. اما نقطه کار (A) در ناحیه‌ای از منحنی قرار گرفته که از نقطه (T_m) عبور کرده است و این نقطه را به‌عنوان نقطه کار می‌توان انتخاب کرد. اما نقطه کار (B) در ناحیه T_s تا T_m منحنی قرار گرفته در نتیجه این نقطه نمی‌تواند نقطه کار موتور باشد چرا که موتور گشتاور لازم برای ثابت نگهداشتن سرعت موتور را ندارد و در واقع موتور زیر بار می‌ماند و به سرعت پایدار نمی‌رسد.



شکل ۳۵ـ تعیین نقطه کار روی دو نمونه مشخصه گشتاور ـ سرعت بار متغیر

نقطه کار بارها با سرعت ثابت که در (شکل ۳۶) نشان داده شده است.در شکل (الف) یک نقطه A بین مشخصه گشتاور ـ دور موتور و مشخصه گشتاور بار ولی در شکل (ب) دو نقطه تلاقی B و C وجود دارد که می‌توان به‌عنوان نقطه کار انتخاب کرد.

با کمی‌دقت در شکل‌ها می‌توان نتیجه گرفت چون درمشخصه شکل (ب) مقدار گشتاور راه‌اندازی موتور از گشتاور بار کمتر است پس موتور راه‌اندازی نمی‌شود. اما در شکل (الف) چون مقدار گشتاور راه‌اندازی بیشتر از گشتاور بار است و نقطه کار پس از نقطه گشتاور ماکزیمم است و امکان تثبیت سرعت وجود دارد و بعد از راه‌اندازی موتور پایدار می‌شود.



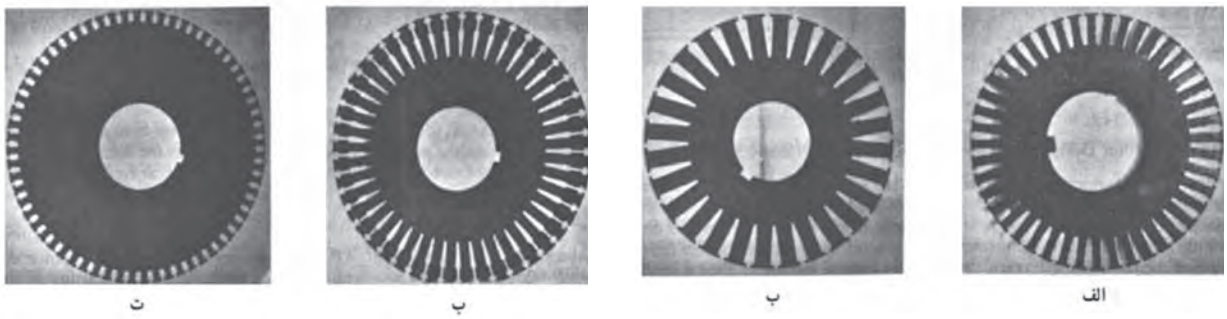
شکل ۳۶ـ تعیین نقطه کار روی دو نمونه مشخصه گشتاور ـ سرعت بار ثابت

۱۰ـ۳ـ رتورقفسی موتورهای القایی

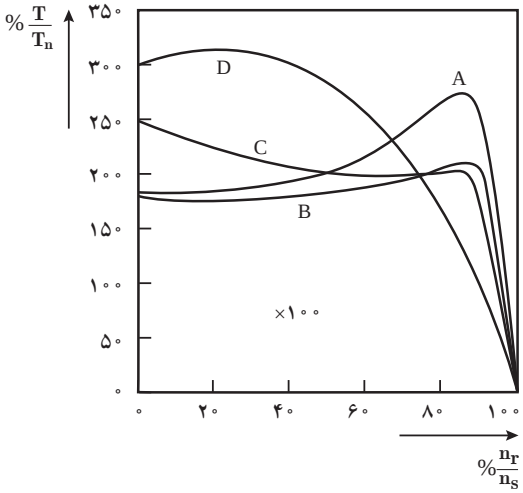
رتور موتورهای القایی رتورقفسی در ۴ نوع (۴ کلاس) A، B، C و D ساخته می‌شوند و تصویر شیارهای آنها در شکل ۳۷ نشان داده شده است.

تفاوت شکل شیار هسته رتور موتورهای القایی باعث می‌شود تا این رتورها از نظر عملکرد و تولید گشتاورهای راه‌اندازی T_s و گشتاور ماکزیمم T_m با یکدیگر تفاوت‌هایی داشته باشند. در شکل (۳۸) مشخصه گشتاور ـ دور هر یک از رتورها نشان داده شده است.

در اینجا و به‌اختصار وجوه تفاوت این چهار نوع رتورآمده تا با مقایسه بتوان به‌دلایل اختلاف مشخصه آنها پی برد.



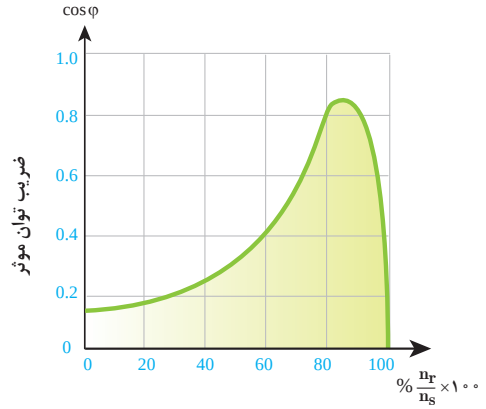
شکل ۳۷ـ شکل نمونه ورق‌های مغناطیسی رتور موتورهای قفس سنجابی



شکل ۳۸ـ مشخصه گشتاورـ دور چهارنمونه مشابه رتورقفسی استاندارد

۱۱ـ۳ـ ضریب توان مؤثر

ضریب توان مؤثر موتور القایی تابع سرعت رتور است. در زمان راه‌اندازی ضریب توان مؤثر موتور بسیار کم است ولی با افزایش سرعت، مقدار آن افزایش می‌یابد و پس از عبور از سرعت n_{rm} موتور مقدار آن رو به کاهش می‌گذارد و در سرعت سنکرون صفر می‌شود. (شکل۳۹)



شکل ۳۹ـ مشخصه ضریب قدرت ـ سرعت رتور موتور القایی

هر چند سرعت رتور در موتورهای القایی هیچ‌گاه به سرعت سنکرون نمی‌رسد ولی این موضوع بیانگر این است که موتور القایی در بی‌باری (سرعت نزدیک به سرعت سنکرون) ضریب توان مؤثر کوچکی خواهد داشت. در انتخاب موتور القایی نباید توان موتور را خیلی بالاتر از توان بار در نظر گرفت. زیرا باعث هرزگردی (بی‌باری) وکاهش ضریب توان مؤثر می‌شود و با دریافت توان غیرمفید (راکتیو) بیشتر موتور از شبکه برق می شود.

پرسش

۱ـ سرعت چرخش رتور موتور ۶ قطب با لغزش ۳۰ درصد در فرکانس ۵۰ هرتز، چند RPM است؟
الف) ۵۰۰ ب) ۹۷۰ ج) ۱۰۰۰ د) ۱۳۰۰
۲ـ در شرایط راه‌اندازی لغزش موتور کدام است؟
الف) $s = 1$ ب) $s = 0$ ج) $0 < s < 1$ د) $s > 1$
۳ـ در کدام‌یک ازحالات زیر مقدار لغزش بزرگ‌تر از واحد است؟
الف) بی‌باری ب) موتوری ج) ترمزی د) راه‌اندازی
۴ـ لغزش را با ذکررابطه تعریف کنید.
۵ـ موتورهای آسنکرون و سنکرون را تعریف کنید.
۶ـ در مورد نحوه به‌دست آوردن نقطه کار از روی مشخصه گشتاور ـ دور توضیح دهید.
۷ـ مفاهیم T , T_m , T_s را تعریف کنید.
۸ـ موتورهای رتورقفسی نوع C دارای بیشترین گشتاور راه‌اندازی هستند.
☐ صحیح ☐ غلط
۹ـ با افزایش سرعت رتورمقدارضریب توان مؤثر موتور به‌صورت خطی افزایش می‌یابد.
☐ صحیح ☐ غلط
۱۰ـ روی مشخصه گشتاورـ دور موتورالقایی نقطه کارموتور را بین T_s و T_m باید انتخاب کرد.
☐ صحیح ☐ غلط

۱۲ـ۳ـ راه‌اندازی موتورهای القایی

با اتصال موتورهای القایی به شبکه الکتریکی، رتور شروع به گردش می‌کند.
فرایند اتصال موتور القایی به شبکه الکتریکی به‌منظور به گردش درآوردن بار مکانیکی در سرعت نامی را «راه‌اندازی[1] » گویند.
در راه‌اندازی موتورهای القایی، سرعت رتور از صفر به سرعت نامی می‌رسد. مدت زمانی که طول می‌کشد که سرعت رتور از صفر به سرعت نامی برسد را «زمان راه‌اندازی[2] » گویند و آن را با ACC Time نشان می‌دهند.

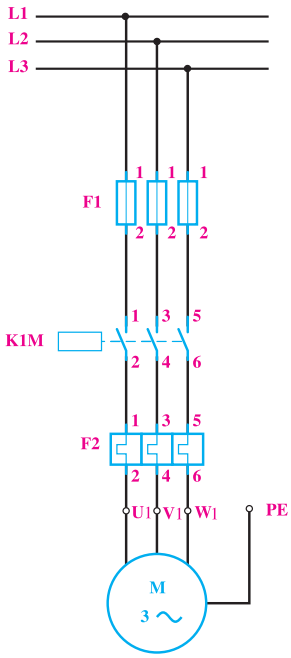
۱ـ Start
۲ـ Acceleration Time

در زمان راه‌اندازی موتور القایی جریانی بیش از جریان نامی از شبکه دریافت می‌کند. جریانی که موتور در زمان راه‌اندازی از شبکه دریافت می‌کند را «جریان راه‌اندازی » گویند و آن را با Is نشان می‌دهند. جریان راه‌اندازی متناسب با توان موتور می‌باشد. هر چه توان موتور بیشتر باشد مقدار جریان راه‌اندازی بیشتر خواهد شد.
جریان راه‌اندازی زیاد مشکلات جدی را برای موتور القایی ایجاد می‌کند از جمله :

- آسیب رساندن به سیم پیچ‌های موتوری
- آسیب رساندن به یاتاقان‌های موتور
- عمل کرد تجهیزات حفاظتی و قطع مدار الکتریکی و عدم راه‌اندازی موتور
- آسیب رسیدن به کابل و کلید موتور
- ایجاد افت ولتاژ شدید در منبع تغذیه

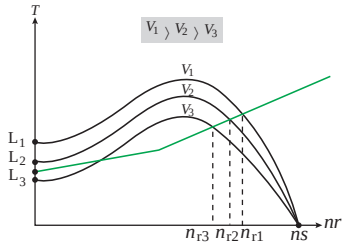
برای راه‌اندازی موتورهای القایی روش‌های متداول زیر استفاده می‌شود :
۱ـ راه‌اندازی مستقیم
۲ـ راه‌اندازی با کنترل ولتاژ
۳ـ راه‌اندازی با کنترل هم‌زمان ولتاژ و فرکانس

۱ـ راه‌اندازی مستقیم :در راه‌اندازی مستقیم، موتور الکتریکی القایی با استفاده از کلید قطع و وصل به شبکه الکتریکی با ولتاژ نامی اتصال می‌یابد. در این روش با وصل کلید موتور راه‌اندازی می‌شود اما جریان راه‌اندازی آن محدود نمی‌شود. روش راه‌اندازی مستقیم برای موتورهایی با توان نامی کمتر از یک کیلووات استفاده می‌شود.
در راه‌اندازی مستقیم موتورهای الکتریکی با توان بیش از یک کیلووات برای محدود کردن جریان راه‌اندازی، گشتاور بار توسط کلاچ مکانیکی به‌تدریج به رتور اعمال می‌شود. یک نمونه از مدارهای راه‌اندازی مستقیم در شکل ۴۰ نشان داده شده است.



شکل ۴۰- راه اندازی مستقیم موتور القایی با کنتاکتور

۲ـ راه‌اندازی با کنترل ولتاژ : مقدار جریان راه‌اندازی به توان الکتریکی موتور القایی بستگی دارد. برای کاهش جریان راه‌اندازی لازم است ولتاژ کلاف‌های سیم‌پیچی موتور را کاهش داد تا توان الکتریکی موتور کاهش یابد. گشتاور موتور القایی متناسب با مجذور ولتاژ موتور است. از این رو کاهش ولتاژ در زمان راه‌اندازی ضمن کاهش جریان راه‌اندازی باعث کاهش گشتاور راه‌اندازی موتور نیز خواهد شد. شکل (۴۱)



شکل ۴۱

فعالیت

با توجه به (شکل ۴۱) به ازای کدام ولتاژ، موتور راه‌اندازی نمی‌شود؟ چرا ؟

کاهش گشتاور و راه‌اندازی از معایب روش راه‌اندازی با کنترل ولتاژ است. لذا این روش برای راه‌اندازی موتورهایی که بدون بار راه‌اندازی می‌شوند به‌کار می‌رود.

کنترل ولتاژ موتورهای القایی در زمان راه‌اندازی با روش‌های زیر انجام می‌شود :

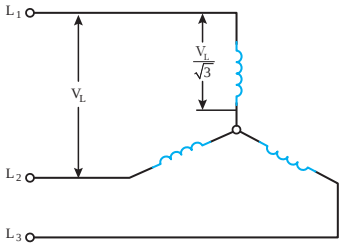
الف) راه‌اندازی ستاره مثلث

ب) راه‌اندازی ترانسفورماتوری

پ) راه‌اندازی نرم

الف) راه‌اندازی ستاره مثلث

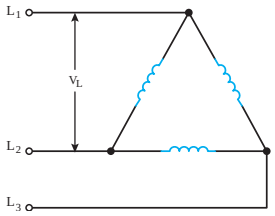
در راه‌اندازی ستاره مثلث با کاهش ولتاژ کلاف‌های سیم‌پیچی استاتور، جریان و گشتاور راه‌اندازی موتور کاهش می‌یابد. در راه‌اندازی ستاره مثلث مدار الکتریکی کلاف‌های سیم‌پیچی استاتور در زمان راه‌اندازی به اتصال ستاره در می‌آید. در حالت ستاره ولتاژ کلاف‌های سیم‌پیچی استاتور $\frac{V_L}{\sqrt{3}}$ برابر است. (شکل ۴۲)



شکل ۴۲ـ مدار حالت راه‌اندازی ستاره

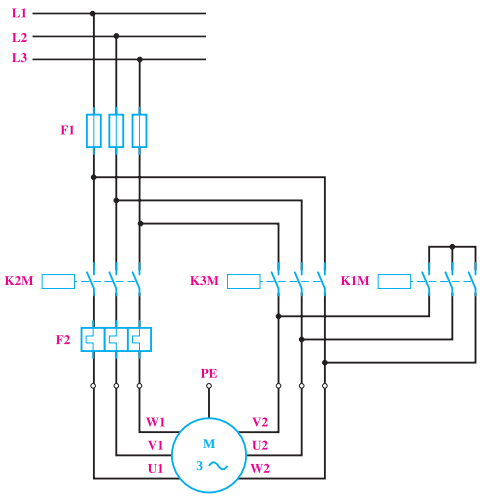
با کاهش ولتاژ کلاف‌های سیم‌پیچی استاتور به $\frac{V_L}{\sqrt{3}}$، گشتاور جریان راه‌اندازی حالت ستاره به $\frac{1}{3}$ گشتاور و جریان راه‌اندازی موتور در حالت مثلث می‌رسد. پس از راه‌اندازی موتور و رسیدن سرعت به ٪ ۷۵ سرعت

سنکرون، مدار الکتریکی کلاف‌های سیم‌پیچی استاتور به حالت اتصال مثلث در می‌آید. در اتصال مثلث ولتاژ کلاف‌های سیم‌پیچی استاتور به V_L می‌رسد. (شکل ۴۳)



شکل ۴۳ـ حالت مثلث

راه‌اندازی ستاره مثلث برای موتورهای القایی که بدون بار راه‌اندازی می‌شوند به‌کار می‌رود.
مدار الکتریکی راه‌اندازی ستاره مثلث شامل سه کنتاکتور می‌باشد. (شکل ۴۴)

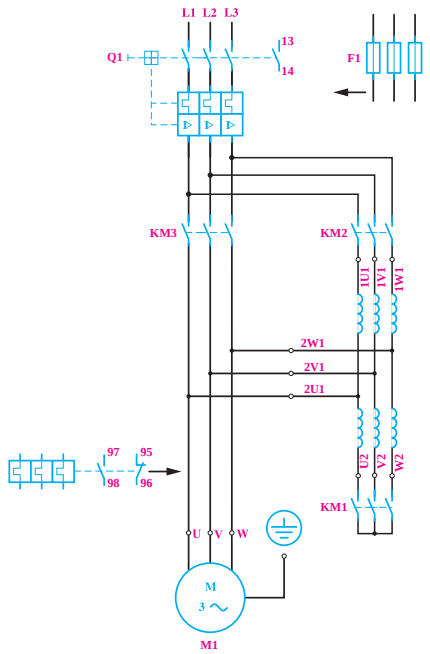


شکل ۴۴ـ مدار کنتاکتوری ستاره مثلث

برای تغییر حالت اتصال به اتصال مثلث حتماً از تایمر استفاده می‌شود. از معایب روش راه‌اندازی ستاره مثلث علاوه بر کاهش گشتاور راه‌اندازی استفاده از سه کنتاکتور است.

ب) راه‌اندازی ترانسفورماتوری

در راه‌اندازی ترانسفورماتوری ولتاژ مؤثر موتور الکتریکی القایی را با استفاده از اتوترانسفورماتور متغیر در زمان راه‌اندازی به تدریج افزایش می‌دهند تا به مقدار نامی برسد سپس اتوترانسفورماتور از مدار خارج شده و موتور به‌طور مستقیم به شبکه الکتریکی وصل خواهد شد.
ولتاژ زمان راه‌اندازی در روش ترانسفورماتوری طوری انتخاب می‌شود که ضمن کاهش جریان راه‌اندازی، گشتاور راه‌اندازی موتور بیشتر از گشتاور بار باشد.
مدار راه‌اندازی موتور القایی با اتوترانسفورماتور در (شکل ۴۵) نشان داده شده است.



شکل ۴۵ـ مدار راه‌اندازی ترانسفورماتوری

در مدار الکتریکی (شکل ۴۵) در زمان راه‌اندازی کنتاکتورهای KM۱ و KM۲ وصل و KM۳ قطع می‌باشد تا ولتاژ موتور از طریق اتوترانسفورماتور تأمین شود. پس از راه‌اندازی کنتاکتور KM۳ وصل و کنتاکتورهای KM۱ و KM۲ قطع می‌شوند تا موتور مستقیماً به شبکه الکتریکی متصل شود.

پ ـ راه‌اندازی نرم

در راه‌اندازی نرم ولتاژ مؤثر موتور الکتریکی القایی با استفاده از تجهیزات الکترونیک قدرت در زمان راه‌اندازی به تدریج افزایش می‌یابد تا به مقدار نامی برسد. وسیله الکترونیکی که با تغییر ولتاژ، جریان راه‌اندازی موتورهای القایی را کنترل می‌کند «راه‌انداز نرم » و یا «Soft starter» گویند.

Soft starter پس با تغییر ولتاژ، جریان راه‌اندازی و گشتاور موتور الکتریکی القایی را کنترل می‌کند از این‌رو آن را RVSS [۱] نیز می‌نامند.

RVSS می‌تواند مقدار مؤثر ولتاژ را از حوالی صفر تا مقدار نامی افزایش دهد و جریان راه‌اندازی را کنترل نماید (شکل ۴۶)



شکل ۴۶

Soft starter با استفاده از قطعات الکترونیک قدرت نظیر تریستور SCR ساخته می‌شود. نقش Soft starter از راه‌اندازی نظارت بر ولتاژ و جریان موتور الکتریکی القایی می‌باشد.

۳ـ راه‌اندازی با کنترل هم‌زمان ولتاژ و فرکانس

در راه‌اندازی با کنترل هم‌زمان ولتاژ و فرکانس برای کنترل جریان راه‌اندازی، ولتاژ و فرکانس موتور الکتریکی القایی به تدریج افزایش می‌یابد به‌طوری که نسبت ولتاژ به فرکانس ثابت بماند.

وسیله الکترونیکی که با تغییر هم‌زمان ولتاژ و فرکانس نسبت ولتاژ به فرکانس را ثابت نگه می‌دارد «Inverter » گویند.

Inverter با تغییر ولتاژ و فرکانس، جریان راه‌اندازی و گشتاور موتور الکتریکی القایی را کنترل می‌کند از این‌رو آن را VVVF [۲] نیز می‌نامند.

۱ـ Reduce Voltage Soft Starter

۲ـ Variable Voltage Variable Frequency

VVVF می‌تواند به‌طور هم‌زمان ولتاژ و فرکانس را از حوالی صفر تا مقدار نامی افزایش دهد و جریان راه‌اندازی را کنترل نماید. (شکل ۴۷)



شکل ۴۷

چگالی میدان دوار مغناطیسی موتورهای الکتریکی القایی تابع ولتاژ و فرکانس است. چگالی میدان دوار با ولتاژ نسبت مستقیم و با فرکانس نسبت عکس دارد. $B \propto \frac{V}{F}$ با کنترل هم‌زمان ولتاژ و فرکانس توسط اینورتر در زمان راه‌اندازی، نسبت $\frac{V}{F}$ تغییر نمی‌کند و چگالی میدان دوار B ثابت خواهد ماند در نتیجه جریان کنترل خواهد شد. با کنترل جریان موتور، گشتاور نیز کنترل می‌شود.

۱۳ـ۳ـ کنترل سرعت موتورهای القایی

کنترل سرعت موتورهای القایی از نیازهای مهم صنایع می‌باشد. در صنایعی نظیر قطارهای مترو، خودروهای برقی، آسانسور و... کنترل سرعت مورد نیاز می‌باشد. سرعت رتور موتورهای القایی تابع سرعت میدان دوار و ولتاژ است.

روش‌های کنترل سرعت عبارت‌اند از :

ـ تغییر هم‌زمان ولتاژ و فرکانس

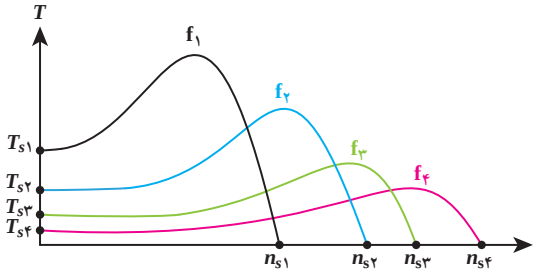
ـ تغییر قطب

۱ـ کنترل سرعت به روش تغییر هم‌زمان ولتاژ و فرکانس :

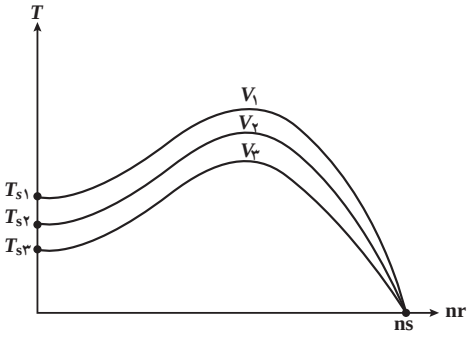
سرعت رتور موتورهای القایی تابع سرعت میدان دوار است. سرعت میدان دوار با توجه به رابطه $n_s = \frac{۱۲۰f}{P}$ با فرکانس نسبت مستقیم دارد. با تغییر فرکانس سرعت میدان دوار تغییر می‌کند علاوه بر این با توجه به رابطه $B \propto \frac{V}{f}$ چگالی میدان دوار نیز دچار تغییر می‌شود. تغییر چگالی میدان دوار بر روی گشتاور موتور تأثیر نامطلوب خواهد داشت. (شکل ۴۸)

تغییر فرکانس به منظور کنترل سرعت در موتورهای القایی به دلیل تأثیر نامطلوب بر چگالی میدان دوار و گشتاور موتور کاربرد ندارد.

سرعت رتور موتورهای القایی به ولتاژ وابسته است. با تغییر ولتاژ با توجه به رابطه $B \propto \frac{V}{f}$ چگالی میدان دوار تغییر می‌کند و علاوه برآن گشتاور موتور نیز دچار تغییر می‌شود. با تغییر گشتاور نقطه کار موتور جابه‌جا می‌شود و سرعت تغییر می‌یابد. (شکل ۴۹)



شکل ۴۸



شکل ۴۹

تغییر ولتاژ به‌منظور کنترل سرعت در موتورهای القایی به دلیل تأثیر نامطلوب برچگالی میدان دوار و گشتاور کاربرد ندارد.

تغییر ولتاژ و تغییر فرکانس به‌منظور کنترل سرعت موتورهای القایی به دلیل تأثیر بر گشتاور موتور نامطلوب می‌باشد اما می‌توان با تغییر همزمان ولتاژ و فرکانس، نسبت ولتاژ به فرکانس $\frac{V}{f}$ را ثابت نگه داشت در این صورت ضمن ثابت ماندن چگالی میدان دوار، سرعت میدان دوار ناشی از تغییر فرکانس کنترل خواهد شد (شکل ۵۰).



شکل ۵۰

۲ـ کنترل سرعت به روش تغییر قطب:

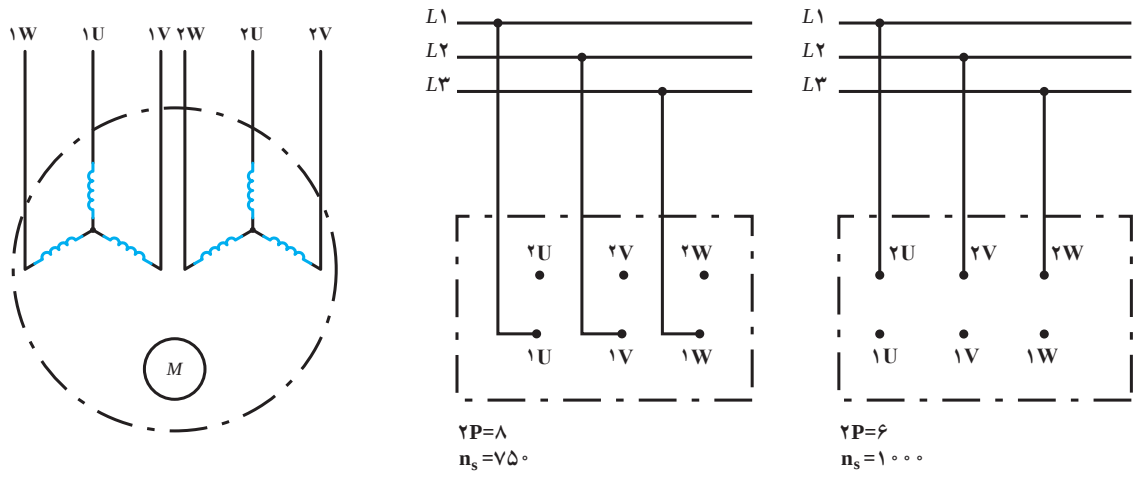
یکی دیگر از راه‌های تغییر سرعت موتور، تغییر تعداد قطب‌های سیم‌پیچی موتور القایی است. با توجه به رابطه $n_s = \frac{۱۲۰f}{P}$ در صورت افزایش تعداد قطب P سرعت موتور کاهش می‌یابد. برای تغییر تعداد قطب موتور القایی از دو روش استفاده می‌شود:

الف) سیم‌پیچی جداگانه (مجزا)

ب) سیم‌پیچی دالاندر

الف) سیم‌پیچی جداگانه: اگر در استاتور به جای یک گروه سیم‌پیچی از دو یا چند گروه سیم‌پیچی مستقل از هم با تعداد قطب‌های مختلف استفاده شود، به‌طوری که هیچ ارتباطی الکتریکی بین آنها نباشد سیم‌پیچی این موتور القایی را سیم‌پیچ جداگانه یا مجزا گویند. با اتصال هریک از سیم‌پیچی‌ها به شبکه برق می‌توان سرعت‌های متفاوتی را به‌دست آورد. (شکل ۵۱).

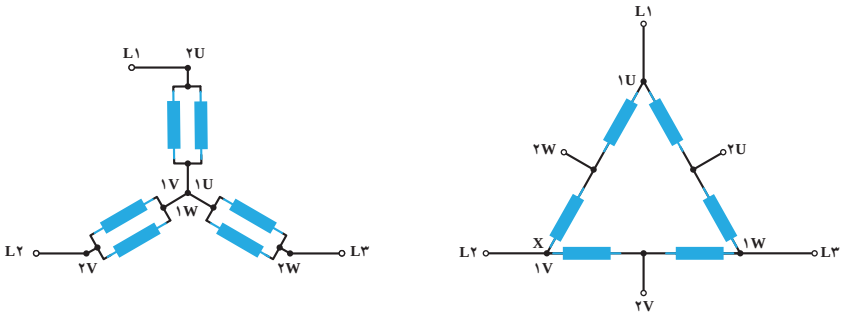
از معایب سیم‌پیچی جداگانه مصرف زیاد سیم و راندمان کم می‌باشد.



شکل ۵۱

ب) سیم‌پیچی دالاندر: در سیم‌پیچی دالاندر، سیم‌پیچ هر فاز استاتور به دو قسمت مساوی تقسیم شده و با تغییر اتصالات سیم‌پیچی موتور دارای دو سرعت خواهد شد. نسبت سرعت کند به سرعت تند در موتورهای دالاندر $\frac{۱}{۲}$ است.

همان‌گونه که در شکل ۵۲ مشاهده می‌کنید هرگاه دو دسته سیم‌پیچی هر فاز موتور به‌صورت مثلث سری اتصال داده شوند موتور با سرعت کند و در صورتی که سیم‌پیچی‌ها به‌صورت ستاره موازی (ستاره دوبل) اتصال یابند موتور با سرعت تند کار می‌کند.



ب) اتصال ستارهٔ دوبل (دور تند)

الف) اتصال مثلث سری (دور کند)

شکل ۵۲ـ سیم‌پیچی دالاندر

۱۴ـ۳ـ ترمز موتورهای القایی

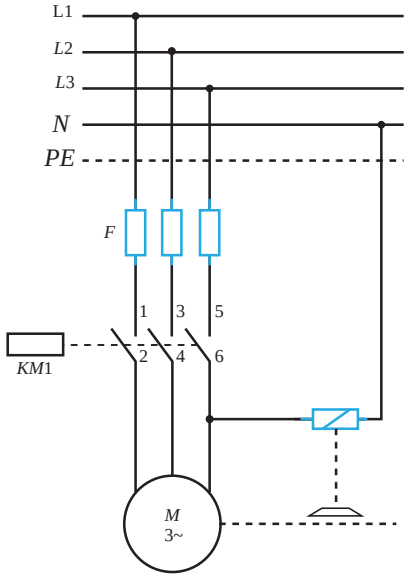
عمل توقف سریع رتور را در موتورهای الکتریکی«**ترمز** » گویند.

هرگاه رتور موتور الکتریکی در حال گردش باشد، به‌دلیل وجود وزن و ابعاد، رتور دارای انرژی جنبشی (اینرسی حرکتی) است. انرژی جنبشی رتور باعث می‌شود پس از قطع برق، رتور متوقف نشود و به گردش همچنان ادامه دهد تا انرژی جنبشی آن در اثر اصطکاک مستهلک شود.

در بعضی از بارهای مکانیکی همچون پمپ‌ها و فن‌ها، اصراری برای توقف سریع رتور وجود ندارد. چرا که بار متصل به آن و نیز نیاز به‌ایست فوری ندارد. اما در نمونه بارهایی نظیر بالابرها، ماشین‌های نساجی، آسانسورها،

زمان و محل ایستادن ماشین اهمیت دارد. در نتیجه لازم است به محض خاموش شدن موتور، رتور کاملاً متوقف شود.

برای انجام ترمز سریع موتور، باید انرژی جنبشی رتور سریعاً مستهلک شود. برای این منظور لازم است انرژی جنبشی رتور به انرژی حرارتی یا به انرژی الکتریکی تبدیل شود.



شکل ۵۳ــ اتصالات سیم‌پیچی موتوردالاندر

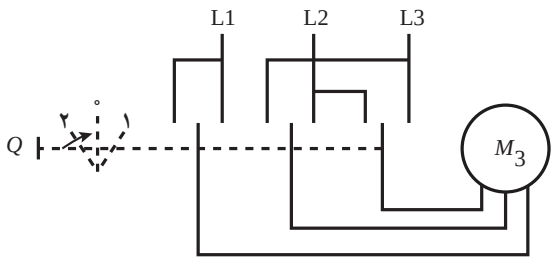
اکثر روش‌های ترمزی انرژی جنبشی رتور را به حرارت تبدیل می‌کنند اما اگر انرژی جنبشی به انرژی الکتریکی تبدیل شود در این صورت از حرارت داخل موتور کاسته می‌شود و در نتیجه عمرکاری موتور افزایش می‌یابد. برای ترمز موتورهای القایی از روش‌های زیر استفاده می‌شود :

۱ــ ترمزالکترومکانیکی: تصویر ساده‌ای از تجهیزات و نحوه عملکرد این نوع ترمز در شکل ۵۳ نشان داده شده است. در این روش زمانی که کلید موتور وصل می‌شود جریان الکتریکی به سیم‌پیچی استاتور موتور و رله مربوط به سیستم ترمز می‌رسد. در این حالت سیم‌پیچ رله مغناطیس شده و در نتیجه محور صفحه دیسکی ترمز را به طرف خود کشیده و فشار را از روی محور موتور برداشته و موتور از حالت ترمز خارج می‌شود.

هرگاه کلید Q در حالت خاموش قرار گیرد برق موتور و سیم‌پیچ رله ترمز قطع می‌شود. در این حالت خاصیت مغناطیسی سیم‌پیچ از بین رفته و در نتیجه نیروی مقاوم فنری که در پشت محور صفحه دیسکی قرار دارد باعث بازگشت دیسک، بر روی محور موتور می‌شود. تلفات مکانیکی (اصطکاک) در این روش نسبت به سایر روش‌ها بیشتراست.

۲ــ ترمز جریان مخالف: در این روش با استفاده از کلیدی که در شکل (۵۴) مشاهده می‌کنید عمل ترمز انجام می‌شود. وقتی کلید Q درحالت (۱) قرار می‌گیرد سه فاز L_1 وL_2 وL_3 به سرهای سیم‌پیچی استاتور موتور وصل می‌شود و موتور در شرایط کار قرار می‌گیرد. در صورتی که کلید در حالت (۲) قرار گیرد جای دو فاز عوض می‌شود و موتور در وضعیت چرخش مخالف قرار می‌گیرد. اما از آنجایی که Q کلیدی خاص است لذا با رها کردن اهرم کلید درحالت (۲)، کلید به‌صورت خودکار عمل‌کرده و به حالت (۰)کلید باز می‌گردد و برق موتور قطع می‌شود.

در واقع با تغییرحالت کلید از حالت (۱) به حالت (۲) فقط برای یک لحظه کوتاه جای دو فاز در موتور عوض شده و از استمرار وارد شدن گشتاور محرک حالت (۱) به موتور جلوگیری می‌شود.



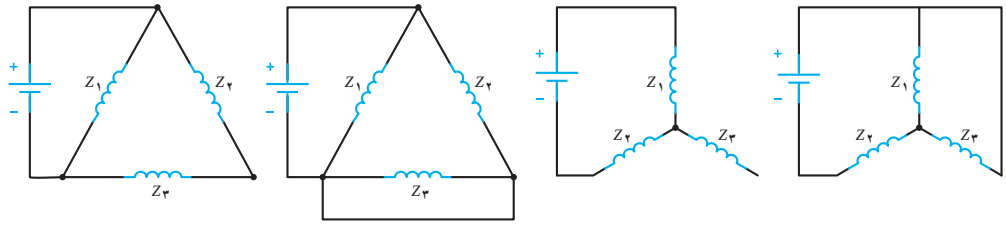
شکل ۵۴ ــ مدار ترمز الکترومکانیکی

توضیح

وضعیت برگشت‌پذیری کلید با علامت فلش کوچک روی حالت (۲) کلید مشخص شده است.

۳ـ ترمز با جریان مستقیم (ترمزدینامیکی): اساس چرخش موتورهای سه فازآسنکرون پدیده القا و میدان دوار است. بر همین اساس در این روش با قطع جریان متناوب سه فاز و وصل سیم‌پیچی‌های استاتور موتور به جریان مستقیم (DC) میدان دوار تبدیل به میدان مغناطیسی ثابت می‌شود. در این شرایط پدیده القا، جاری‌شدن جریان در مفتول‌های رتور و وارد شدن نیرو به رتور صورت نمی‌گیرد. با اتصال جریان مستقیم به سیم‌پیچی‌های موتور آنها به‌صورت آهنربای ثابتی عمل کرده و باعث توقف رتور خواهند شد.

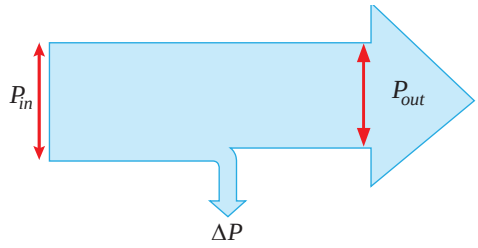
چون سیم‌پیچی‌های موتور معمولاً در قالب یکی از حالات ستاره یا مثلث اتصال داده می‌شوند به همین خاطر در (شکل ۵۵) نحوه اتصال جریان مستقیم به سیم‌پیچی‌های موتور در دو حالت ستاره و مثلث نشان داده شده است.



شکل ۵۵ـ مدار ترمز جریان مخالف

۱۵ـ۳ـ تلفات و راندمان موتورهای الکتریکی

موتورهای الکتریکی توان الکتریکی را به توان مکانیکی تبدیل می‌کنند (شکل ۵۶)



شکل ۵۶ـ ترمز جریان مستقیم

در موتورهای الکتریکی، مقداری از انرژی الکتریکی که در واحد زمان به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود را تلفات موتور می‌گویند وآن را با ΔP نشان می‌دهند. این تلفات از رابطه ۱ به‌دست می‌آید.

$$\Delta P = P_{in} - P_{out} \quad (۱)$$

مقدار توان ورودی که توان الکتریکی است در موتورهای سه فاز از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

V_L ولتاژ خط برحسب V

I_L جریان خط برحسب A

$\cos\varphi$ ضریب توان موتور

$$P_{in} = \sqrt{۳} V_L I_L \cos\varphi \quad (۲)$$

توان مکانیکی که موتور به بار مکانیکی متصل به رتور تحویل می‌دهد را توان خروجی گویند و با P_{out} نشان می‌دهند.حداکثر توانی که موتور به بار مکانیکی تحویل می‌دهد و آسیب نمی‌بیند را توان«نامی » گویند و با P_{in} نشان می‌دهند. توانی که روی پلاک موتور حک می‌شود بیانگر توان نامی است. موتور به ازای توان نامی، جریان نامی را تحت ولتاژ و فرکانس نامی از شبکه دریافت می‌کند. توان خروجی موتور القایی سه فاز از رابطه(۳) قابل محاسبه است.

$$P_{out} = T_{out}\omega_r \quad (۳)$$

T_{out} گشتاور نامی یا مفید برحسب $N.m$

ω_r سرعت زاویه‌ای رتور برحسب $\frac{rad}{s}$

P_{out} توان نامی رتور برحسب W

روی پلاک موتورها، سرعت برحسب دور در دقیقه RPM نوشته می‌شود لذا برای تبدیل واحد سرعت از RPM به رادیان بر ثانیه (rad/s) از رابطه (۴) استفاده می‌شود.

$$\omega = \frac{۲\pi n_r}{۶۰} \quad (۴)$$

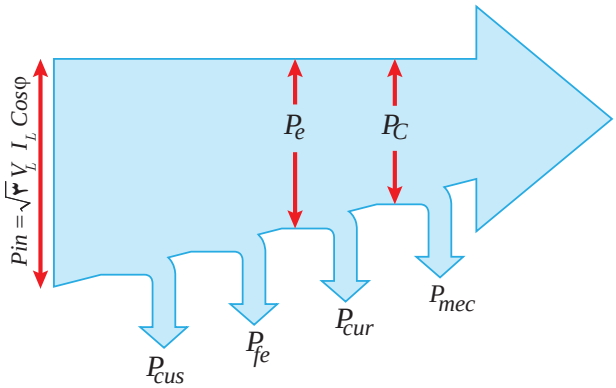
با جای‌گذاری رابطه (۴) در رابطه (۳) خواهیم داشت.

$$P_{out} = T_{out} \times \frac{۲\pi n_r}{۶۰} \quad (۵)$$

نسبت توان خروجی P_{out} به توان ورودی P_{in} راندمان گفته می‌شود. راندمان بر حسب درصد بیان می‌شود و مقدار آن را مطابق رابطه (۶) می توان محاسبه نمود.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times ۱۰۰ \quad (۶)$$

نمودار توازن توان در موتورهای القایی سه فاز در شکل (۵۷) نشان داده شده است.



شکل ۵۷ــ نمودار توازن توان موتورهای القایی سه فاز

تلفات در موتورهای القایی شامل تلفات استاتور و تلفات رتور می‌باشد و از (رابطه ۷) به‌دست می‌آید.

$$\Delta P = \Delta P_s + \Delta P_r \quad (۷)$$

تلفات استاتور ΔP_S شامل دو قسمت تلفات اهمی و سیم‌پیچی استاتور (تلفات مسی P_{cus}) و تلفات آهنی استاتور (P_{Fes}) است و از رابطه (۸) به‌دست می‌آید.

$$\Delta P_S = P_{Cus} + P_{Fes} \quad (۸)$$

تلفات آهنی استاتور به دلیل حضور جریان‌های گردابی در هسته و تلفات هیسترزیس ایجاد می‌شود.
تلفات رتور(ΔP_r) از دو قسمت تلفات اهمی سیم‌پیچی رتور (تلفات مسی P_{cur}) و تلفات آهنی رتور (P_{Fer}) تشکیل شده است و آن را به‌صورت رابطه (۹) می‌توان نوشت.

$$\Delta P_r = P_{Cur} + P_{Fer} \quad (۹)$$

تلفات مسی رتور عبارت است از مقدار توان تلف شده در سیم‌پیچی موتورهای رتور سیم‌پیچی یا میله‌های به‌کار رفته در رتور موتورهای رتور قفسی است. رتور موتورهای القایی مشابه استاتور دارای تلفات آهنی است اما چون مقدار آن بسیار کم و ناچیز است معمولاً از آن صرف‌نظر می‌شود.
بخش دیگری از تلفات موتورهای القایی تلفات مکانیکی است که به علت وجود اصطکاک یاتاقان‌ها و هوا ایجاد می‌شود.چون سرعت موتورهای القایی ثابت در نظر گرفته می‌شود لذا تلفات مکانیکی نیز جزو تلفات ثابت ماشین شده و با (P_{mec}) نشان می‌دهند.
با جایگزینی تلفات رتور ΔP_r و تلفات استاتور ΔP_s و تلفات مکانیکی P_{mec}، تلفات کل ماشین را به‌صورت رابطهٔ (۱۰) می‌توان نوشت.

$$\Delta P = P_{Cus} + P_{Fes} + P_{Cur} + P_{mec} \quad (۱۰)$$

به توانی که از طریق میدان دوار استاتور در فاصله هوایی به رتور منتقل می شود توان الکترومغناطیسی P_e گویند.
مقدار توان الکترومغناطیسی P_e را می‌توان به‌طور مستقیم از رابطه (۱۱) یا (۱۲) محاسبه کرد.
T_e گشتاور الکترومغناطیس برحسب N.m

$P_e = T_e \omega_s \quad (۱۱)$ ω_r سرعت زاویه‌ای سنکرون موتور القایی برحسب $\frac{rad}{s}$

$P_e = T_e \times \frac{۲\pi n_S}{۶۰} \quad (۱۲)$ P_e توان الکترومغناطیس برحسب W

همچنین با توجه به نمودار توازن توان برای توان الکترومغناطیسی رابطه‌های (۱۳) و (۱۴) را می‌توان نوشت.

$$P_e = P_{in} - (P_{Cus} + P_{Fes}) \quad (۱۳)$$
$$P_e = P_{out} + (P_{Cur} + P_{mec}) \quad (۱۴)$$

برای محاسبه تلفات مسی رتور از حاصل‌ضرب لغزش در توان الکترومغناطیسی مطابق رابطه (۱۵) می‌توان

استفاده کرد.

$$P_{Cur} = S \cdot P_e \quad (۱۵)$$

رابطه (۱۵) نشان می‌دهد که با افزایش لغزش، تلفات مسی در مدار رتور افزایش یافته و در نتیجه توان خروجی و به دنبال آن راندمان موتور کاهش می‌یابد.
با توجه به اینکه تلفات مسی در استاتور و تلفات مسی رتور هر یک به جریان عبوری از آنها وابسته هستند و این تغییرات جریان نیز با تغییرات بار، متناسب است. لذا به مجموع تلفات مسی استاتور و تلفات مسی رتور «**تلفات متغیر** » موتور القایی گویند.

$$\text{تلفات متغیر} = P_{Cus} + P_{Cur} \quad (۱۶)$$

تلفات مکانیکی رتور و تلفات آهنی استاتور تقریباً ثابت هستند لذا به مجموع این دو تلفات «تلفات ثابت » موتور القایی می‌گویند و رابطه (۱۷) را برای آن می‌توان نوشت.

$$\text{تلفات ثابت} = P_{Fes} + P_{mec} \quad (۱۷)$$

پس کل تلفات (ΔP) در موتورهای القایی را می‌توان مجموع تلفات ثابت و متغیر دانست و به‌صورت رابطه (۱۸) نوشت.

$$\Delta P = \text{تلفات ثابت} + \text{تلفات متغیر}$$
$$\Delta P = (P_{Fes} + P_{mec}) + (P_{Cus} + P_{Cur}) \quad (۱۸)$$

مثال

یک موتور القایی ۴ قطب به شبکه ۳۸۰ ولت ۵۰ Hz متصل و یک بار مکانیکی را با سرعت ۱۴۲۵ R.P.M به حرکت در می‌آورد. اگر جریان دریافتی از شبکه ۱۶ آمپر و ضریب قدرت ۰/۸۵ باشد، مطلوب است:
الف) مقدار لغزش ب) قدرت دریافتی از شبکه
ج) قدرت و گشتاور مفید اگر ضریب بهره موتور ٪۸۰ باشد.

حل:

الف)
$$n_s = \frac{۱۲۰f}{p} = \frac{۱۲۰\times۵۰}{۴} = ۱۵۰۰ \text{R.P.M}$$

ب)
$$S = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{۱۵۰۰ - ۱۴۲۵}{۱۵۰۰} = ۰/۰۵$$

$$P_{in} = \sqrt{۳} V_L I_L \cos\varphi$$

$$P_{in} = \sqrt{۳} \times ۳۸۰ \times ۱۶ \times ۰/۸۵ = ۸۹۵۰ \text{ w}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad \Rightarrow \quad P_{out} = \eta . Pin$$

ج)

$$P_{out}=۸۰٪\times ۸۹۵۰=۷۱۶۰$$

$$T_{out}=\frac{۶۰P_{out}}{۲\pi nr}=\frac{۶۰\times ۷۱۶۰}{۲\pi\times ۱۴۲۵}=۴۸\ N.m$$

مثال

یک موتور القایی سه فاز رتور رینگی به شبکه ۶۶۰ ولت متصل و جریان ۵۲ آمپر را با ضریب قدرت ۰/۸۴ از شبکه دریافت می‌کند. اگر مشخصات موتور به‌صورت زیر باشد مطلوب است:

الف) قدرت خروجی و قدرت مکانیکی ناخالص $P_{Fe}=۱۷۵۰\ W$ $P_{mcc}=۶۲۰\ W$

ب) ضریب بهره $P_{cus}=۱۹۰۰\ W$ $P_{cur}=۸۱۰\ W$

حل: به کمک نمودار توازن توان داریم

الف)

$$P_{out}=P_{۱}-\Delta P$$

$$P_{in}=\sqrt{۳}V_L I_L\cos\varphi=\sqrt{۳}\times ۶۶۰\times ۵۲\times ۰/۸۴=۴۹۹۳۳W$$

$$\Delta p=P_{Fc}+P_{mcc}+P_{cus}+P_{cur}=۱۷۵۰+۶۲۰+۱۹۰۰+۸۱۰$$

$$\Delta p=۵۰۸۰\ W$$

$$P_{out}=P_{in}-\Delta p=۴۹۹۳۳-۵۰۸۰=۴۴۸۵۳W$$

از روی نمودار توازن می‌توان نوشت:

$$P_c=P_{out}+P_{mcc}$$

$$P_c=۴۴۸۵۳+۶۲۰=۴۵۴۷۳W$$

$$٪\eta=\frac{P_{out}}{P_{in}}\times ۱۰۰$$

$$٪\eta=\frac{۴۴۸۵۳}{۴۹۹۳۳}\times ۱۰۰=\ ۸۹/۸٪$$

مثال

یک موتور القایی سه فاز رتور قفسی ۴ قطب، ۲۵ اسب بخار به شبکه ۴۶۰ ولت و ۶۰Hz متصل و سیم‌پیچی استاتور آن به صورت ستاره است. تلفات ثابت ماشین ۱۸۰۰ وات و ماشین در بار نامی‌دارای ضریب قدرت ۰/۸۶، ضریب بهره ٪۸۳/۵ و لغزش ٪۲/۲ بوده، هر فاز استاتور آن ۴۴۰ میلی اهم مقاومت اهمی‌دارد. مطلوب است:

الف) سرعت رتور ب) جریان استاتور ج) تلفات مسی استاتور و رتور

حل:

الف)

$$n_s=\frac{۱۲۰f}{P}=\frac{۱۲۰\times ۱۲۰}{۴}=۱۸۰۰R.P.M$$

$$S=\frac{n_s-n_r}{n_s} \quad \Rightarrow n_r=n_s(1-S) \quad \Rightarrow \quad n_r=۱۸۰۰(۱-۰/۰۲۲)=۱۷۶۰R.P.M$$

ب) هر اسب بخار معادل ۷۳۶ وات فرض می‌شود:

$P_{out}=۲۵\times۷۳۶=۱۸۴۰۰W$

$$P_{in}=\frac{Pout}{\eta}=\frac{۱۸۴۰۰}{۰/۸۳۵}=۲۲۰۳۶w$$

$$I_L=\frac{P_{in}}{\sqrt{۳}V_L\cos\varphi}=\frac{۲۲۰۳۶}{\sqrt{۳}\times۴۶۰\times۰/۸۶}=۳۲/۱۶A$$

ج) ابتدا کل تلفات موتور در نقطه کار نامی را به‌دست می‌آوریم:

$\Delta p=P_{in}-P_{out}=۲۲۰۳۶-۱۸۴۰۰=۳۶۳۶w$

$\Delta p_{متغیر}=\Delta p-\Delta p_{ثابت}=۳۶۳۶-۱۸۰۰=۱۸۳۶w$

چون اتصال موتور ستاره است، جریان فازی برابر جریان خط است:

$I_۱=I_L=۳۲/۱۶A$

$$P_{cus}=۳R_۱I_۱^۲=۳\times۰/۴۴\times۳۲/۱۶^۲=۱۳۶۵W$$

$Pcur=\Delta p_{متغیر}-P_{cus}$

$P_{cur}=۱۸۳۶-۱۳۶۵=۴۷۱w$

پرسش

۱ـ رابطه بین جریان راه‌اندازی و جریان نامی موتورهای القایی کدام است؟

الف) $I_s=۲In$ ب) $I_s=\sqrt{۳}\ In$ ج) $I_s=In/\sqrt{۳}$ د) $I_s=۶In$

۲ـ کدام یک از روابط زیر صحیح است ؟

الف) $\sqrt{I_{pY}}=I_L\sqrt{۳}$ ب) $I_{p\Delta}=I_L$

ج) $V_{pY}=\frac{V_L}{\sqrt{۳}}$ د) $V_{p\Delta}=\sqrt{۳}\ V_L$

۳ـ کدام مورد از جمله خصوصیات روش راه‌اندازی نرم نیست ؟

الف) دارای قابلیت تنظیم دقیق گشتاور ب) کم بودن هزینه تعمیر و نگهداری

ج) افزایش طول عمر مکانیکی موتور د) پایین بودن قیمت تجهیزات

۴ـ با رسم نقشه کلید مدارترمز جریان مخالف، طرز کار آن را به اختصار توضیح دهید.

۵ـ شکل‌های مختلف اتصال جریان DC به سیم‌پیچ‌های استاتور موتور آسنکرون در روش ترمز جریان مستقیم را رسم کنید.

۶ـ نمودار توازن توان در موتورهای القایی را رسم کرده و برای محاسبه توان الکترومغناطیسی و توان مکانیکی ناخالص دو رابطه بنویسید.

۷ـ در روش کنترل سرعت موتور با تغییر فرکانس، به ازای افزایش فرکانس، گشتاور موتور افزایش می‌یابد

☐ صحیح ☐ غلط

۸ـ نسبت سرعت تند به سرعت کند در موتورهای دو سرعته دالاندر برابر ۲ است.

☐ صحیح ☐ غلط

۹ـ تلفات مکانیکی در روش ترمز جریان مستقیم از سایر روش‌ها بیشتر است.

☐ صحیح ☐ غلط

۱۰ـ در روش کنترل سرعت (V) با افزایش ولتاژ مقدار T_s کاهش می‌یابد.

☐ صحیح ☐ غلط

پرسش‌های پایانی پودمان ۳

۱ـ با توجه به روابط سرعت سنکرون و لغزش جدول زیر را کامل کنید.

$f=۵۰Hz$

P	n_s	n_r	S
۲		۲۸۸۰	
	۱۵۰۰	۱۴۴۰	
۸			٪۵
	۵۰۰		٪۱۰

۲ـ موتور آسنکرون سه فازی به قدرت۴kw و ضریب قدرت ۰/۷۵ را به شبکه ۸۳۰ ولتی متصل کرده‌ایم. در بار نامی‌جریانی برابر ۱۲A از شبکه دریافت می‌کند تعیین کنید.

الف) تلفات کلی

ب) راندمان موتور برحسب درصد

۳ـ روی پلاک موتور سه فازی مشخصات زیر نوشته شده است مطلوب است ضریب قدرت موتور را به‌دست آورید.

$V=۴۰۰[V] \quad I=۲۵[A] \quad P=۸ \quad \eta=۸۵٪$

۴ـ یک موتور آسنکرون که با ٪۹۵سرعت سنکرون می‌گردد قدرتی برابر ۶۰ kw از شبکه دریافت می‌کند. هرگاه ضریب بهره موتور ٪۸۰ باشد حساب کنید.

تلفات مسی رتور در صورتی که تلفات مکانیکی ۲kw باشد.

۵ـ موتور القایی سه فازه آسنکرون که قدرت مصرفی آن ۵۵۶۷۲w و ضریب بهره آن ٪۸۰ است دارای سرعت سنکرون ۵۰۰RPM و لغزش در بار کامل ٪۸ می‌باشد. هرگاه افت مسی استاتور ۲۵۰۰w و تلفات آهن ۱/۷kw باشد حساب کنید.

الف) تلفات مکانیکی

ب) افت مسی رتور

ج) ضریب قدرت (اگر موتور با ولتاژ ۶۶۰v کار کند و جریان ۵۰A از شبکه دریافت نماید)

۶ـ یک موتور آسنکرون سه فاز به قدرت ۴hp که با ولتاژ ۳۸۰ ولت در ضریب قدرت ۰/۸ کار می‌کند را در نظر بگیرید. اگر ضریب بهره موتور ٪۸۰ باشد مطلوب است:

الف) جریان که از شبکه دریافت می‌کند

ب) جریان هر فاز موتور (در صورتی که کلاف‌های موتور مثلث باشد)

۷ـ یک موتور القایی سه فاز ۳۸۰ ولت ۸ قطب دارای قدرت مفیدی برابر ۳۲ اسب بخار در ضریب قدرت ۰/۸ است. هرگاه موتور با سرعت ۷۱۰RPM در فرکانس ۵۰ هرتز بچرخد مطلوب است:
الف) راندمان در صورتی که موتور از شبکه ۵۰A دریافت کند.
ب) تلفات کل
ج) لغزش موتور
د) قدرت الکترومغناطیسی (در صورتی که تلفات مکانیکی ۴۴۸ وات باشد)

۸ـ یک موتور آسنکرون سه فاز به قدرت مکانیکی ۳۰hp و ولتاژ ۴۰۰ ولت در فرکانس ۵۰Hz با سرعت ۱۴۴۰RPM می‌چرخد. اگر ضریب قدرت موتور ۰/۸۵ باشد مطلوب است:
الف) لغزش در صورتی که موتور چهار قطب باشد.
ب) قدرت الکترومغناطیسی
ج) تلفات مسی رتور
د) قدرت مصرفی (دریافتی) موتور اگر تلفات آهنی و مسی استاتور به ترتیب ۱۲۰۰ و ۱۸۰۰ باشد
هـ) گشتاورهای T_e ، T_2 دربار نامی(تلفات مکانیکی ۵۰۰w در نظر گرفته شود)
و) جریان خط هر فاز موتور در صورتی که اتصال کلاف‌ها مثلث باشد.

۹ـ یک موتور آسنکرون به قدرت مفید ۳ کیلو وات به شبکه ۳۸۰ ولتی متصل و جریان ۷ آمپر را با ضریب قدرت ۰/۷۸ از شبکه دریافت می‌کند. مطلوب است:
الف) مجموع تلفات ماشین ب) درصد ضریب بهره

۱۰ـ روی پلاک یک الکتروموتور سه فاز این اطلاعات درج شده است.
$\eta=85\%$ $I=16\,A$ $P=10\,hp$ $V=380\,V$
مجموع تلفات و ضریب قدرت موتور را در نقطه کار نامی تعیین کنید.

۱۱ـ یک موتور القایی با قدرت خروجی ۱۲ کیلووات و ضریب بهره ۸۴٪ مفروض است. اگر تلفات ثابت ۹۰۰ وات باشد، مقدار تلفات متغیر آن را به‌دست آورید.

۱۲ـ توان الکترومغناطیسی موتوری ۱۰۰۰ وات و تلفات مسی رتور آن ۳۰ وات است. اگر سرعت سنکرون موتور ۱۲۰۰ دور بر دقیقه و فرکانس شبکه ۶۰ هرتس باشد، مطلوب است:
الف) تعداد قطب‌های سیم‌بندی استاتور ب) سرعت گردش رتور

۱۳ـ یک الکتروموتور القایی سه فاز با اتصال مثلث استاتور به شبکه سه فاز ۲۰۸ ولت و ۶۰ هرتز متصل است و در بار نامی با سرعت ۱۷۱۰ دور بر دقیقه و لغزش ۰/۰۵ قدرت ۲۰ کیلووات را با ضریب قدرت ۰/۸۸ از شبکه دریافت می‌کند. تلفات آهنی استاتور ۷۵۰ وات و تلفات مکانیکی ۶۰۰ وات و مقاومت اهمی هر فاز استاتور ۰/۴ اهم است. اگر تلفات مسی استاتور و رتور برابر باشند مطلوب است:
الف) جریان دریافتی از شبکه
ب) قدرت الکترومغناطیسی
ج) قدرت مفید
د) گشتاور الکترومغناطیسی
هـ) گشتاور مفید

ارزشیابی مبتنی بر شایستگی پودمان تحلیل ماشین‌های الکتریکی سه فاز (موتورهای القایی)

استاندارد ارزشیابی پیشرفت تحصیلی مبتنی بر شایستگی درس دانش فنی تخصصی الکتروتکنیک					
عنوان پودمان	تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج مورد انتظار	شاخص تحقیق	نمره
پودمان ۳	تحلیل ماشین‌های الکتریکی سه‌فاز (موتور القایی)	محاسبه لغزش موتور القایی با استفاده از رابطه مربوطه ـ محاسبه تلفات موتور القایی ـ محاسبه راندمان موتور القایی	بالاتر از حد انتظار	از کل سؤالات به هفت تا ده سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد.	۳
			در حد انتظار	از کل سؤالات به شش سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد.	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	از کل سؤالات به یک تا پنج سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد.	۱
	نمره مستمر از ۵				
	نمره شایستگی پودمان				
	نمره پودمان از ۲۰				

هدف‌گذاری و سنجش:

برای کسب شایستگی در این پودمان اگر هنرجو:

ـ از کل سؤالات به یک تا پنج سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد شایستگی پایین‌تر از حد انتظار خواهد بود.

ـ از کل سؤالات به شش سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد شایستگی در حد انتظار خواهد بود.

ـ از کل سؤالات به هفت تا ده سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد شایستگی بالاتر از حد انتظار خواهد بود.

توجه: سؤالات ارائه شده همگی هم‌ارزش بوده و در سطح یادگیری در حد انتظار است. معیار ارزشیابی نتیجه محور است.

سؤال ۱ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۲ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۳ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۴ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۵ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۶ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۷ـ ..... (۲ نمره)

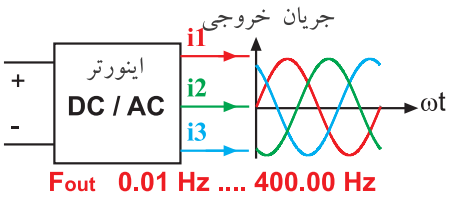
سؤال ۸ـ ..... (۲ نمره)

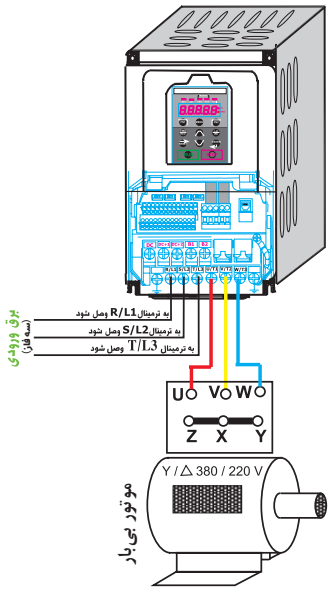
سؤال ۹ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۱۰ـ ..... (۲ نمره)

پودمان چهارم

کاربرد اتوماسیون صنعتی (اینورتر)





واحد یادگیری ۱

آیا می‌دانید

۱ـ نیمه‌هادی چیست و یکسوسازی در مدارهای الکتریکی چگونه انجام می‌شود؟
۲ـ بایاس کردن دیود چیست؟
۳ـ ترانزیستور و تریستور چه تفاوت‌ها و شباهت‌هایی دارند؟
۴ـ اینورتر چیست و چه کاربردهایی در صنعت دارد؟

استاندارد عملکرد

پس از اتمام این پودمان هنرجویان قادر خواهند بود مفاهیم بایاس، یکسوسازی، سوئیچینگ را فراگرفته و با عملکرد قطعات نیمه‌هادی الکترونیکی و الکترونیک صنعتی آشنا شوند. آنها همچنین با اینورتر و مزایا و کاربرد آن در صنعت برق آشنا می‌شوند.

۱ـ۴ـ مقدمه

امروزه قطعات الکترونیکی در اکثر وسایل الکتریکی به‌کار برده می‌شوند. در بسیاری از وسایل الکتریکی صنعتی و خانگی از قطعات الکترونیکی جهت فرایند کنترل استفاده می‌شود. قطعات الکترونیکی باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی الکتریکی می‌شوند و راحتی، دقت و ایمنی بیشتر به هنگام کار با وسیله برقی را نیز فراهم می‌نمایند.

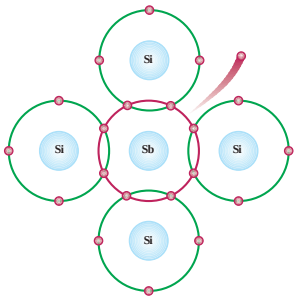
قطعات الکترونیکی بسیار زیادی با کاربردهای منحصر به‌فرد تولید شده‌اند. نمونه‌های قطعات الکترونیکی مانند دیود، ترانزیستور و تریستور و....است. قطعات الکترونیکی با نیمه‌هادی‌ها ساخته می‌شوند.

۲ـ۴ـ نیمه‌هادی‌ها

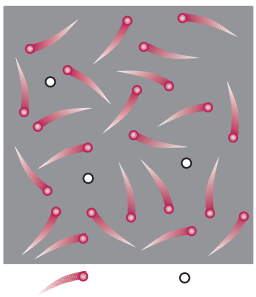
نیمه‌هادی‌ها عناصری هستند که در لایه والانس خود چهار الکترون دارند و هدایت الکتریکی آنها کمتر از هادی‌ها و بیشتر از عایق‌ها می‌باشد. نیمه‌هادی‌های سیلیسیوم وژرمانیوم در ساخت قطعات الکترونیکی استفاده می‌شوند. از نیمه‌هادی ژرمانیوم در ساخت قطعات الکترونیکی که در مدارات مخابراتی به کارمی‌روند استفاده می‌شود.

به‌منظور افزایش هدایت الکتریکی، نیمه‌هادی‌ها را ناخالص می‌کنند. برای ناخالص کردن نیمه‌هادی‌های سیلیسیوم وژرمانیوم از عناصر پنج ظرفیتی مانند آنتیموان (Sb) وآرسنیک (As) و فسفر (P) و عناصر سه ظرفیتی مانند بور (B) و آلومینیوم (Al) و ایندیم (In) استفاده می‌شود.

با ناخالص کردن نیمه‌هادی باعنصر پنج ظرفیتی پیوند کووالانسی بین الکترون‌های آنها ایجاد می‌شود. در این پیوند اتم‌های نیمه‌هادی و عنصر پنج ظرفیتی الکترون‌های لایه والانس خود را به‌اشتراک می‌گذارند و تعداد الکترون‌های لایه والانس اتم‌ها به هشت می‌رسد و پایدار می‌شوند و یک الکترون آزاد ایجاد می‌شود. الکترون آزاد به‌هیچ اتمی وابسته نمی‌باشد. با ناخالص کردن نیمه‌هادی توسط عنصر پنج ظرفیتی تعداد الکترون‌های آزاد افزایش می‌یابد در نتیجه هدایت الکتریکی زیاد می‌شود (شکل ۱).



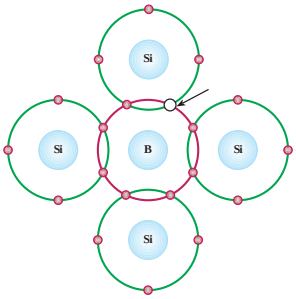
شکل ۱


شکل ۲

ترکیب اتم نیمه‌هادی با چهار عنصر پنج ظرفیتی از نظر الکتریکی خنثی است زیرا تعداد پروتون‌ها و الکترون‌های این ترکیب برابر است. با آزاد شدن الکترون، این ترکیب به یون مثبت تبدیل می‌شود. در ناخالص کردن اتم نیمه‌هادی با عنصر پنج ظرفیتی، اتمی‌که یک الکترون آزاد می‌دهد و خود به یون مثبت در می‌آید را «اتم اهداکننده » گویند.

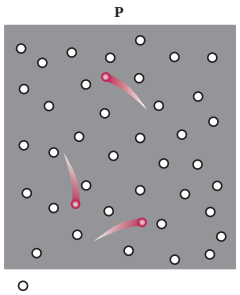
قطعه‌ای که با ناخالص کردن نیمه‌هادی با عنصر پنج ظرفیتی تولید می‌شود و دارای الکترون‌های آزاد می‌باشد را قطعه N گویند (شکل ۲).

قطعه N از نظر الکتریکی خنثی می‌باشد زیرا تعداد الکترون‌ها وپروتون‌های آن با هم برابر است.
با ناخالص کردن نیمه‌هادی باعنصر سه ظرفیتی پیوند کووالانسی بین الکترون‌های آنها ایجاد می‌شود. در این پیوند اتم‌های نیمه‌هادی وعنصر سه ظرفیتی الکترون‌های لایه والانس خود را به اشتراک می‌گذارند و تعداد الکترون‌های لایه والانس اتم‌ها به هفت می‌رسد و پایدار نمی‌شوند و جای یک الکترون در لایه والانس آنها خالی می‌باشد. به‌جای خالی الکترون در لایه والانس حفره گویند. با ناخالص کردن نیمه‌هادی توسط عنصر سه ظرفیتی تعداد حفره‌ها افزایش می‌یابد در نتیجه هدایت الکتریکی زیاد می‌شود (شکل۳).



شکل ۳

ترکیب اتم نیمه‌هادی با چهار عنصر سه ظرفیتی از نظر الکتریکی خنثی است زیرا تعداد پروتون‌ها و الکترون‌های این ترکیب برابر است. با ایجاد حفره و درصورت دریافت الکترون، این ترکیب به یون منفی تبدیل می‌شود.
در ناخالص کردن اتم نیمه‌هادی با عنصر سه ظرفیتی، اتمی‌که قادر است یک الکترون آزاد را جذب کند و خود به یون منفی درآید را «اتم پذیرنده » گویند.
قطعه‌ای که با ناخالص کردن نیمه‌هادی با عنصر سه ظرفیتی تولید می‌شود و دارای حفره می‌باشد را قطعهٔ P گویند (شکل ۴).



شکل ۴

قطعه P از نظر الکتریکی خنثی می‌باشد زیرا تعداد الکترون‌ها و پروتون‌های آن با هم برابر است.

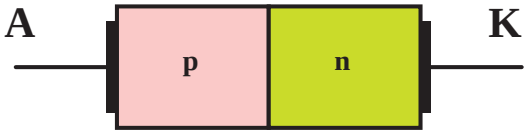
۳ـ۴ـ دیود (Diode)

دیود یک قطعه الکترونیکی است که از اتصال دولایه P و N ایجاد می‌شود و آن را اتصال PN نیز می‌گویند (شکل ۵).



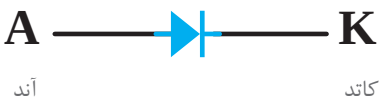
شکل۵ـ چند دیود

دیود دارای دو پایه می‌باشد. پایه‌ای که به لایه P دیود متصل می‌شود را آند و پایه‌ای که به لایه N دیود متصل می‌شود را کاتد می‌نامند.



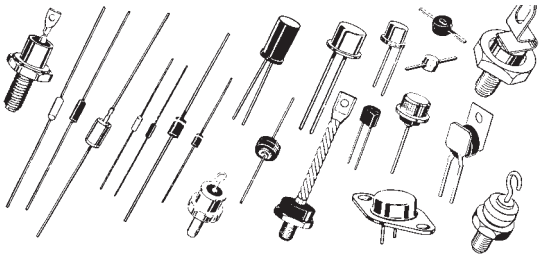
شکل ۶

نماد دیود درمدارهای الکتریکی و الکترونیکی در شکل۷ نشان داده شده است.



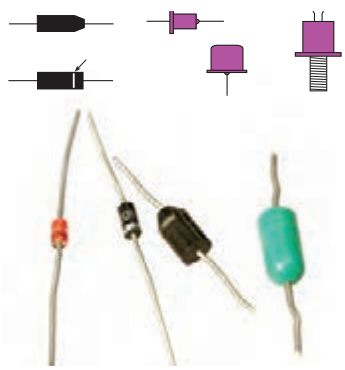
شکل۷ـ نماد دیود

دیود می‌تواند جریان الکتریکی را از سوی آند به‌سمت کاتد هدایت کند. نماد دیود بیانگر این واقعیت است. چند نمونه دیود در شکل۸ نشان داده شده است.



شکل ۸

به‌منظور تشخیص پایه‌های دیود معمولاً پایه کاتد برروی دیود علامت‌گذاری می‌شود. ویا روی بدنه دیود با حرف و یا حلقه رنگی کاتد را مشخص می‌کنند (شکل ۹).

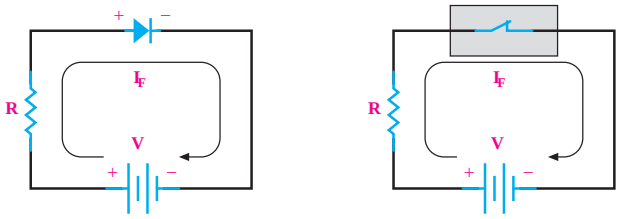


شکل ۹

۴ـ۴ـ بایاس دیود

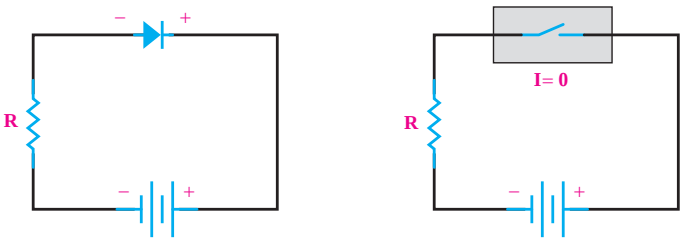
تغذیه پایه‌های دیود در مدارهای الکتریکی توسط منبع ولتاژ را بایاس دیود گویند. بایاس دیود به دوصورت بایاس موافق و بایاس مخالف در مدارهای الکتریکی انجام می‌شود.

هرگاه پتانسیل پایه آند دیود دریک مدار الکتریکی مثبت‌تر از پتانسیل پایه کاتد باشد، دیود در بایاس موافق است. در بایاس موافق به‌شرط اینکه پتانسیل الکتریکی آند در مدار به اندازه حدود ۰/۷ ولت از پتانسیل الکتریکی کاتد بیشتر شود، دیودهادی خواهد شد و مانند یک کلید بسته جریان الکتریکی را هدایت می‌نماید. (شکل ۱۰).



شکل ۱۰

هرگاه پتانسیل پایه کاتد دیود در یک مدار الکتریکی مثبت‌تر از پتانسیل پایه آند باشد دیود در بایاس مخالف است. در بایاس مخالف دیود قطع می‌باشد و مانند یک کلید باز عمل می‌کند و جریان الکتریکی از آن عبور نمی‌کند. (شکل ۱۱).



شکل ۱۱

مقدار جریان دیود در بایاس موافق و مخالف در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



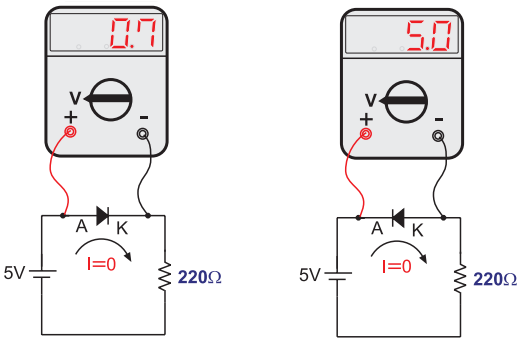
در این مدار جریان الکتریکی برقرار نمی‌شود. به این حالت قرار گرفتن دیود در مدار بایاس مخالف گفته می‌شود.

در این مدار جریان الکتریکی برقرار می‌شود. به این حالت قرار گرفتن دیود در مدار بایاس موافق گفته می‌شود.

شکل ۱۲ـ دیود در بایاس موافق ومخالف

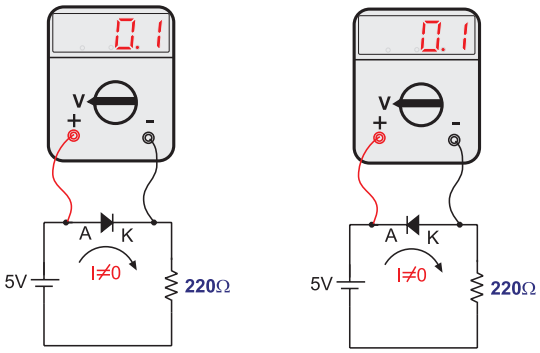
۵ـ۴ـ آزمایش دیود

آزمایش دیود به‌منظور اطمینان از سالم بودن دیود انجام می‌شود. افت ولتاژ دو سر دیود سالم در بایاس موافق حدود ۰/۷ ولت می‌باشد و افت ولتاژ دو سر دیود در بایاس مخالف حدود ولتاژ منبع تغذیه مدار است.بدین منظور توسط ولت‌متر با اندازه‌گیری افت ولتاژ دوسر دیود از صحت سلامت آن مطمئن می‌شوند (شکل ۱۳).



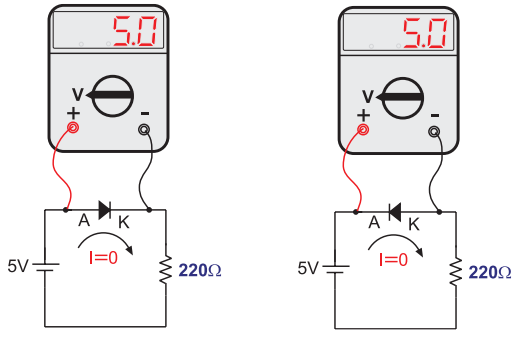
شکل ۱۳ـ دیود سالم

اگر در آزمایش افت ولتاژ دو سر دیود در بایاس موافق و مخالف برابر باشد، دیود معیوب است. درصورتی‌که افت ولتاژ دو سر دیود معیوب در بایاس موافق و مخالف حدود صفر ولت باشد، دیود اتصال کوتاه و خراب است (شکل ۱۴).



شکل ۱۴ـ دیود معیوب که اتصال کوتاه شده است

در صورتی که افت ولتاژ دوسر دیود معیوب در بایاس موافق و مخالف حدود ولتاژ منبع باشد دیود قطع و خراب است (شکل ۱۵).



شکل۱۵ـ دیود معیوب که قطع شده است

۶ـ۴ـپارامترهای دیود

پارامترهای دیود شامل ولتاژ، جریان، فرکانس، دمای کار و مقاومت حرارتی و... می‌باشد. در انتخاب دیود توجه به پارامترهای آن بسیار مهم است. با رعایت مقدار مجاز پارامترهای دیود از آسیب رسیدن به دیود و معیوب شدن آن در مدارالکتریکی جلوگیری می‌شود. از مهم‌ترین پارامترهای دیود ولتاژ، جریان و فرکانس کار آن می‌باشد. بیشترین مقدار مجاز ولتاژ، جریان، فرکانس و دمای کار دیود را مقادیر حد دیود گویند.

الف) فرکانس کار

حداکثرتعداد دفعاتی که دیود در هرثانیه قطع و وصل می‌کند و معیوب نمی‌شود را فرکانس کار گویند.
دیودهایی که فرکانس کار آنها ۵۰ و یا۶۰ هرتز می‌باشد را دیود معمولی گویند. از دیودهای معمولی در فرکانس‌های بالاتر نمی‌توان استفاده کرد.

ب) حداکثر ولتاژمعکوس دیود

بیشترین ولتاژی که دیود در بایاس مخالف می‌تواند تحمل کند و معیوب نشود را حداکثر ولتاژ معکوس دیود می‌گویند و آن را با PIV (Peak Inverse Voltage) ویا با V_{RM} نشان می‌دهند.
حداکثر ولتاژ معکوس دیود به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم در دیود است. حداکثر ولتاژ معکوس PIV دیود معمولی ۵۰ الی ۱۰۰۰ ولت است. برای تحمل ولتاژ بالاتر دو یا چند عدد دیود را با یکدیگر با شرایطی سری می‌کنند.

ج) حداکثر جریان دیود

بیشترین جریانی که دیود در بایاس موافق می‌تواند تحمل کند و معیوب نشود را حداکثر جریان دیود می‌گویند و آن را با I_{AVG} نشان می‌دهند.
مقدار جریان قابل تحمل دیود توسط کارخانه سازنده تعیین می‌شود. دیود معمولی از ۱A الی ۱۰۰۰۰A ساخته شده و به بازار عرضه شده‌اند.

د)دمای مجاز

حداکثر دمایی که دیود هنگام کار می‌تواند تحمل کند را دمای مجاز دیود می‌گویند. به‌طورمثال دیودی با دمای مجاز ۴۰ درجه‌سانتی‌گراد می‌تواند عبور ۱۰۰A جریان را تحمل کند به شرط اینکه دمای بدنه آن از ۴۰ درجه‌سانتی‌گراد تجاوز نکند و اگر به جای ۱۰۰A فقط ۳A جریان از دیود عبورکند و دمای بدنه آن از ۴۰ درجه‌سانتی‌گراد بیشتر شود، احتمال معیوب شدن آن وجود دارد.
در صورتی که احتمال افزایش دمای دیود بیش از دمای مجاز وجود داشته باشد بایدبرای دیود گرماگیر (Heatsink) نصب شود تا دمای بدنه را از خود دفع کند به‌طوری که دمای بدنه آن همواره از ۴۰ درجه سانتی‌گراد تجاوز نکند.

پرسش

۱ـ درستی یا نادرستی هر عبارت را تعیین کنید:

الف)هدایت الکتریکی نیمه‌هادی‌ها کمتر از هادی‌ها و بیشتر از عایق‌ها می‌باشد.

☐ صحیح ☐ غلط

ب) با ناخالص کردن نیمه‌هادی با عنصر پنج ظرفیتی تعداد الکترون‌های آزاد کاهش می‌یابد.

☐ صحیح ☐ غلط

ج) هرگاه پتانسیل پایه آند دیود در یک مدار الکتریکی مثبت‌تر از پتانسیل پایه کاتد باشد دیود دربایاس مخالف است.

☐ صحیح ☐ غلط

د)دیود در بایاس موافق مانند یک کلید بسته عمل می‌کند.

☐ صحیح ☐ غلط

۲ـ در جای خالی عبارت مناسب بنویسید.

الف) درصورتی‌که افت ولتاژ دو سر دیود در بایاس موافق حدود ۰/۷ ولت باشد دیود.....است.

ب) دیودهایی که فرکانس کار آنها ۵۰ یا ۶۰ هرتز باشد دیود..... گویند.

ج) قطعه ای که با ناخالص کردن نیمه‌هادی با عنصر پنج ظرفیتی تولید می‌شود نوع..... گویند.

د) جای خالی الکترون در لایه والانس..... نام دارد.

۳ـ نیمه‌هادی را تعریف کنید.

۴ـ علت ناخالص کردن نیمه‌هادی‌ها را توضیح دهید.

۵ـ طریقه تشکیل قطعه N و P را توضیح دهید.

۶ـ موارد زیر را تعریف کنید.

الف)قطعه N ب)قطعه P ج) اتم اهداکننده د) اتم پذیرنده

۷ـ دیود را تعریف کنید و نماد آن را رسم کنید.

۸ـ بایاس دیود راتعریف کنید و انواع بایاس دیود را نام ببرید.

۹ـ نحوه آزمایش دیود را بنویسید.

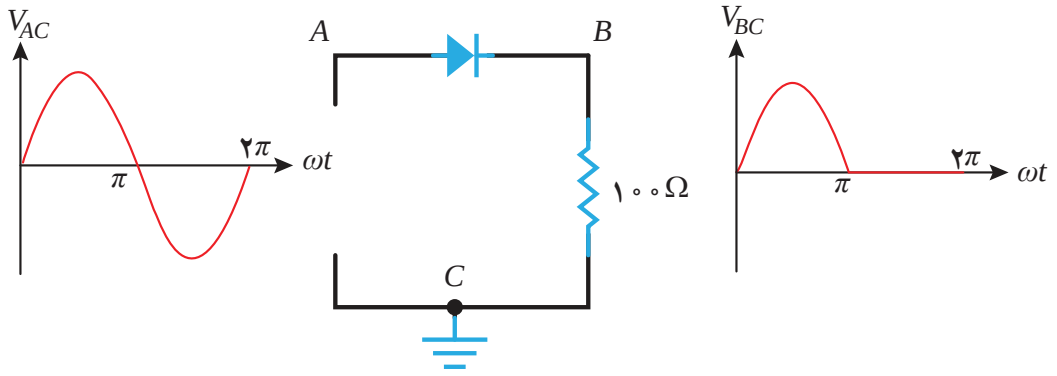
۱۰ـ مقادیر حد دیود را تعریف کنید و پارامترهای آن را نام ببرید.

۷ـ۴ـیکسوسازی

تبدیل ولتاژ متناوب AC به ولتاژ مستقیم DC را یکسوسازی می‌گویند. از دیودهای معمولی برای یکسوسازی استفاده می‌شود. به مدارهای دیودی که برای یکسوسازی استفاده می‌شود مدار یکسوکننده گویند. انواع مدارهای یکسوکننده تک‌فاز وسه فاز به‌صورت نیم موج و تمام موج طراحی می‌شود.

الف) یکسوکننده نیم موج تک‌فاز

یکسوکننده‌ای که نیم سیکل از هر سیکل موج متناوب ورودی را به‌مصرف‌کننده می‌رساند، یکسوکننده نیم موج تک‌فاز می‌گویند. در مدار یکسوکننده نیم موج تک‌فاز از یک دیود استفاده می‌شود (شکل ۱۶).



یکسوکننده نیم‌موج یک‌فازه

ولتاژ خروجی یکسوکننده نیم‌موج یک‌فازه (دوسر مقاومت اهمی)

شکل ۱۶ـ یکسوکننده نیم موج

در شکل۱۶ در نیم سیکل مثبت (۰ تا π) دیود شرط هدایت را دارد. پس دیود در بایاس موافق می‌باشد و حالت اتصال کوتاه دارد (مقاومت اهمی فوق‌العاده کم) و ولتاژ ورودی تقریباً دو سربار (مقاومت ۱۰۰Ω) افت می‌کند و در نیم سیکل منفی، دیود در بایاس مخالف می‌باشد لذا شرط هدایت را ندارد و قطع است بنابراین ولتاژ ورودی به بار نمی‌رسد و ولتاژ دوسر بار برابر صفر ولت است.

مقدار ولتاژ یکسو شده توسط یکسوکننده نیم موج تک‌فاز از رابطه زیر به‌دست می‌آید

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi}$$

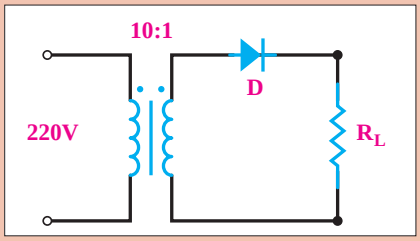
در این رابطه:

V_{dc} ولتاژیکسوشده

V_m ولتاژ ماکزیمم است.

مثال

در مدار شکل زیر ترانسفورماتور ایده‌آل می‌باشد. مقدار ولتاژ دو سر بار چند ولت است؟



شکل ۱۷

حل: ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور محاسبه می‌شود:

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1}{N_2}$$

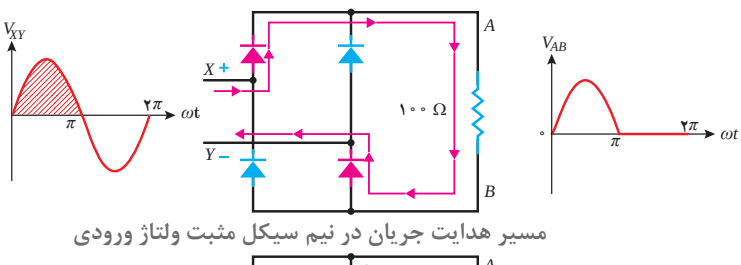
$$\frac{۲۲۰}{V_2}=\frac{۱۰}{۱}\rightarrow V_2=\frac{۱\times ۲۲۰}{۱۰}=۲۲\ [V]$$

$$V_m=V_2\sqrt{۲}=۲۲\sqrt{۲}\ [V]$$

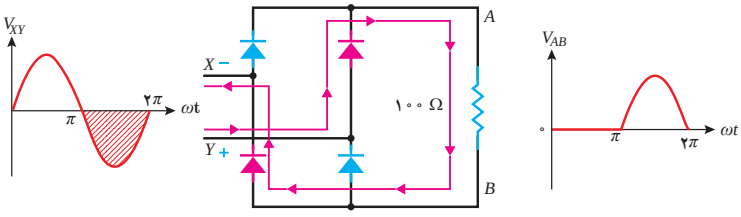
$$V_{dc}=\frac{V_m}{\pi}=\frac{۲۲\sqrt{۲}}{۳/۱۴}=۹/۸۷\ [V]$$

ب) یکسوکننده تمام موج تک‌فاز

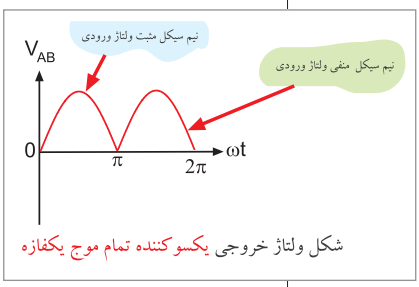
یکسوکننده‌ای که نیم سیکل‌های مثبت و منفی موج متناوب ورودی را به‌صورت نیم سیکل‌های یکسوشده به بار می‌رساند را یکسوکننده تمام موج تک‌فاز می‌گویند. به یکسوکننده تمام موج تک‌فاز پل دیودی نیز می‌گویند. مدار پل دیودی با چهار دیود ساخته می‌شود (شکل ۱۸).



مسیر هدایت جریان در نیم سیکل مثبت ولتاژ ورودی



مسیر هدایت جریان در نیم سیکل منفی ولتاژ ورودی



شکل ولتاژ خروجی یکسوکننده تمام موج یکفازه

شکل ۱۸ــ عملکرد یکسوکننده تمام موج یک‌فازه

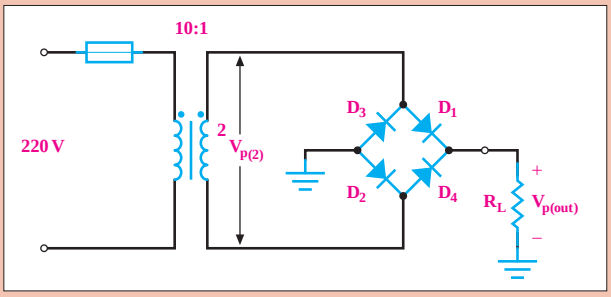
مقدار ولتاژ یکسو شده توسط یکسوکننده تمام موج تک‌فاز از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi}$$

در این رابطه:
V_{dc} ولتاژ یکسوشده
V_m ولتاژ ماکزیمم است.

مثال

در مدار شکل زیرترانسفورماتور ایده‌آل می‌باشد. مقدار ولتاژ دو سربار، چند ولت است؟



شکل ۱۹

حل: ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور محاسبه می‌شود:

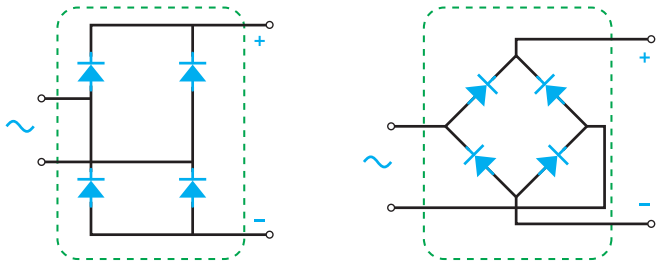
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{220}{V_2} = \frac{10}{1} \rightarrow V_2 = \frac{1 \times 220}{10} = 22[V]$$

$$V_m = V_2\sqrt{2} = 22\sqrt{2}\ [V]$$

$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} = \frac{2 \times 22\sqrt{2}}{3/14} = 19/75\ [V]$$

مدار الکتریکی پل دیودی در شکل ۲۰ نشان داده شده است.



شکل ۲۰ـ پل دیود یک‌فازه

پل دیودی با استفاده از چهار عدد دیود مطابق شکل ۲۱ ساخته می‌شود.



شکل ۲۱

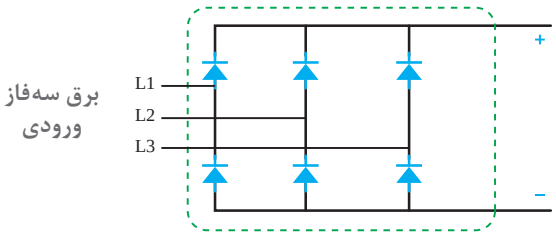
پل دیودی به‌صورت یکپارچه نیز ساخته شده است (شکل ۲۲).

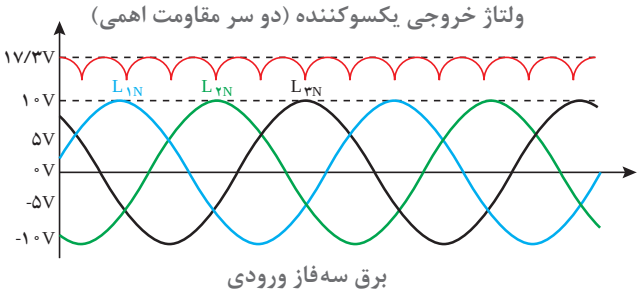


شکل ۲۲

ج) یکسوکننده تمام موج سه فاز

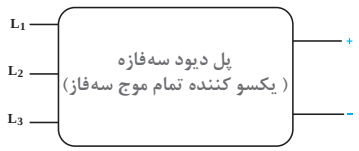
یکسوکننده‌ای که نیم سیکل‌های مثبت و منفی موج متناوب سه فاز ورودی را به‌صورت یکسوشده به بار می‌رساند، یکسوکننده تمام موج سه‌فاز می‌گویند. به یکسوکننده تمام موج سه فاز پل سه فاز دیودی نیز می‌گویند. مدار پل سه فاز دیودی با شش دیود ساخته می‌شود (شکل ۲۳).





شکل ۲۳ـ یکسوکننده تمام موج سه فازه به همراه شکل ولتاژ خروجی آن

شش عدد دیود (پل دیود سه فازه) به‌صورت یکپارچه نیز ساخته شده و در بازار موجود است (شکل ۲۴).

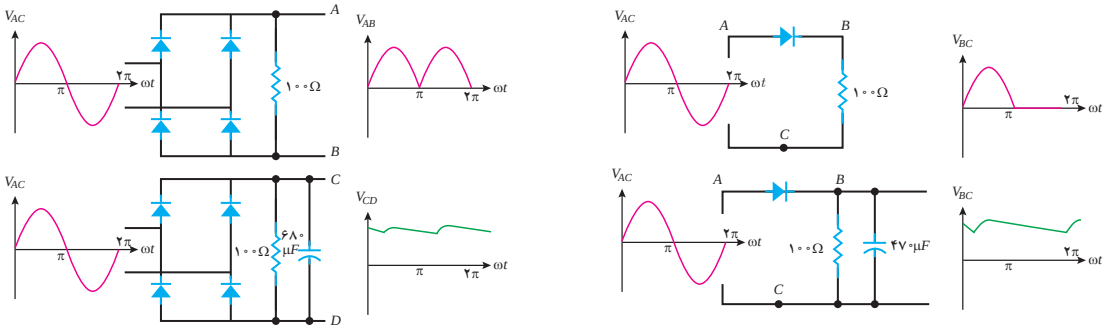


شکل ۲۴ـ پل دیود سه فازه

۸ـ۴ـ صافی یکسوساز

عناصر الکتریکی که برای کاهش تغییرات دامنه ولتاژ یا جریان یکسو شده به‌کار می‌رود را صافی (filter) می‌گویند. صافی‌ها دارای دو نوع صافی خازنی و صافی سلفی می‌باشند.

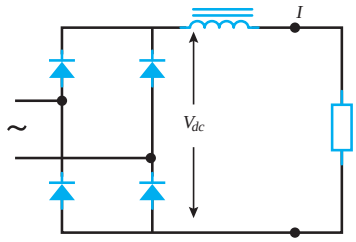
صافی خازنی دامنه تغییرات ولتاژ یکسو شده را کاهش می‌دهد. صافی خازنی با خروجی یکسوکننده به‌صورت موازی نصب می‌شود. با نصب صافی خازنی شکل ولتاژ موج یکسو شده به شکل موج ولتاژ ثابت (مانند ولتاژ دوسر باطری) نزدیک‌تر خواهد شد (شکل ۲۵).



شکل ۲۵ـ با اضافه کردن یک خازن به خروجی یکسوکننده، ولتاژ دو سر بار به ولتاژ ثابت نزدیک‌تر می‌شود

در صافی، خازنی از خازن‌های الکترولیتی استفاده می‌شود. ظرفیت خازن الکترولیتی متناسب با توان یکسوساز انتخاب خواهد شد.

صافی سلفی دامنه تغییرات جریان یکسو شده را کاهش می‌دهد. صافی یکسوساز سلفی با خروجی یکسوکننده به‌صورت سری نصب می‌شود (شکل ۲۶).



شکل ۲۶

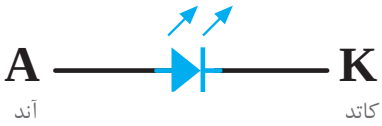
با نصب صافی سلفی، جریان بار تقریباً به‌صورت یک خط مستقیم (ثابت) درمی‌آید.

نکته

توجه داشته باشید که در عمل از صافی خازنی برای ولتاژ و از صافی‌های سلفی برای جریان استفاده می‌کنند.

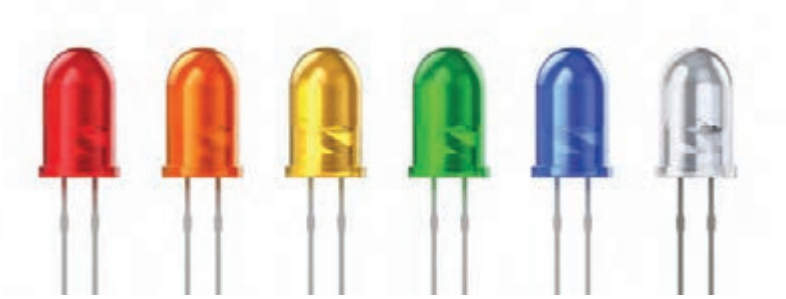
۹ـ۴ـ دیود نوردهنده

دیود نور دهنده انرژی الکتریکی را به انرژی نورانی تبدیل می‌کند. به دیود نوردهنده[۱]، LED می‌گویند. نماد دیود LED در شکل۲۷ نشان داده شده است.



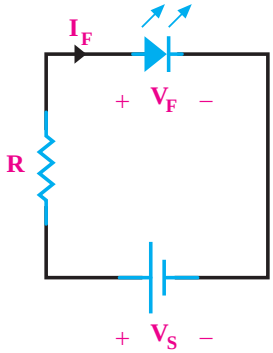
شکل۲۷ـ نماد LED در نقشه‌های الکتریکی و الکترونیکی

شدت نور LED به مقدار جریان عبوری از آن بستگی دارد. جریان عبوری از LED از چند میلی‌آمپر شروع و گاهی در LEDهای بزرگ‌تر به چند ده میلی‌آمپر نیز می‌رسد.
دیودهای نوردهنده LED با نور تولیدی به رنگ‌های آبی، سفید، قرمز، زرد و سبز با شکل‌های فیزیکی متنوع ساخته شده و به بازار عرضه می‌شوند (شکل ۲۸).



شکل ۲۸ـ دیودهای نوردهنده در انواع مختلف

لامپ‌های سیگنال در تمامی‌دستگاه‌ها تقریباً همگی از LED هستند چون می‌توان آنها را در ابعاد بسیار کوچک ساخت و ضمناً طول عمر آنها هم نسبتاً زیاد است. افت ولتاژ دو سر دیود نوردهنده LED حدود ۲/۷ ولت است و با سری کردن یک مقاومت در مدار الکتریکی LED جریان جاری می‌شود و با ایجاد افت ولتاژ دو سر مقاومت سری و با تأمین ولتاژ مورد نیاز، LED راه‌اندازی می‌شود (شکل ۲۹).



شکل۲۹ـ نحوه قرار گرفتن دیود نوردهنده در یک مدار الکتریکی

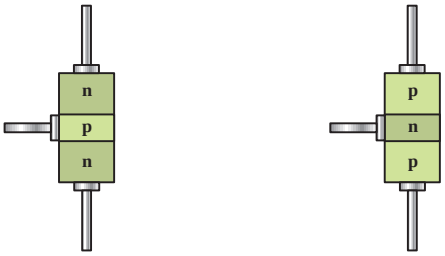
۱ـ Light Emitting Diode

پرسش

۱ـ یکسوسازی را تعریف کنید و انواع آن را نام ببرید.
۲ـ مدار یکسوساز تمام موج تک‌فاز را به همراه شکل موج ورودی و خروجی رسم کنید.
۳ـ صافی یکسوساز را تعریف کنید و انواع آن را نام ببرید.
۴ـ شکل موج خروجی یکسو ساز نیم‌موج به همراه صافی خازنی را رسم کنید.
۵ـ دیود نور دهنده را تعریف کنید و نماد آن را رسم کنید.
۶ـ وظیفه مقاومت سری در راه‌اندازی دیود نوردهنده را بنویسید.

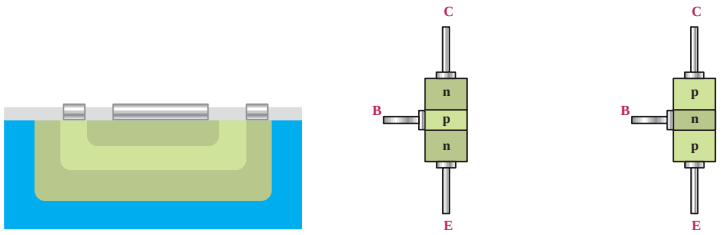
۱۰ـ۴ـ ترانزیستور

ترانزیستور[۱] یک قطعه الکترونیکی سه لایه می‌باشد.که از قطعات P و N تشکیل شده است. ترانزیستور در دو نوع PNP و NPN ساخته می‌شود (شکل ۳۰).



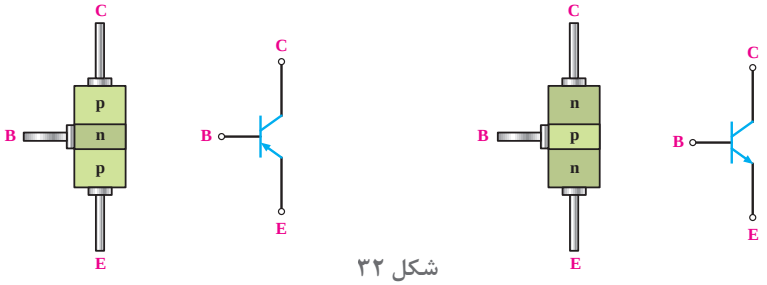
شکل ۳۰

ترانزیستور دارای سه پایه کلکتور، بیس و امیتر می‌باشد که به لایه‌های ترانزیستور وصل می‌شوند (شکل ۳۱).



شکل ۳۱

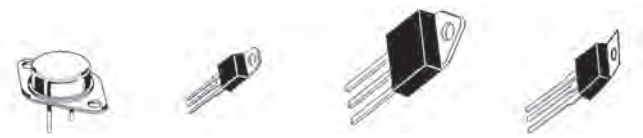
نماد ترانزیستورهای PNP و NPN در شکل۳۲ نشان داده شده است.



شکل ۳۲

۱ـ Transistor

ترانزیستورهای سه لایه دارای دو محل اتصال بین قطعات P و N می‌باشند و آنها را ترانزیستور BJT می‌نامند. چند نمونه ترانزیستور در شکل۳۳ نشان داده شده است.

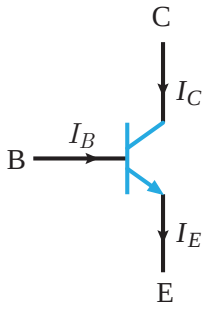


شکل ۳۳

ترانزیستورهای NPN و یا PNP در مدارهای الکترونیکی برای تقویت ویا قطع و وصل سیگنال ورودی استفاده می‌شوند. هنگامی که ترانزیستور در یک مدار الکترونیکی به‌عنوان تقویت‌کننده استفاده می‌شود آن مدار را آمپلی‌فایر گویند و هنگامی‌که ترانزیستور دریک مدار الکتریکی یا الکترونیکی به‌عنوان قطع و وصل‌کننده به‌کار می‌رود آن مدار را مدار سوئیچینگ می‌گویند.

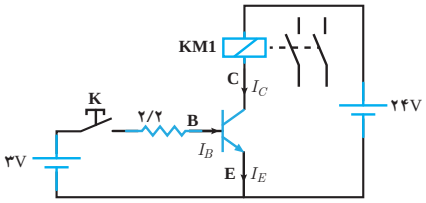
تغذیه پایه‌های ترانزیستور با منبع ولتاژ جریان مستقیم DC را بایاس ترانزیستور گویند. ترانزیستورهای PNP و NPN هر دو در عمل تقویت و سوئیچینگ سیگنال قابل استفاده هستند و تفاوت آنها در بایاس و جهت جریان پایه‌ها می‌باشد. کاربرد ترانزیستور NPN به مراتب بیشتر از PNP است.

عملکرد ترانزیستوری که به‌عنوان سوئیچ به‌کار می‌رود به این ترتیب است که پس از بایاس ترانزیستور و تزریق جریان به‌پایه بیس ترانزیستور، مقاومت اهمی بین کلکتور و امیتر کاهش می‌یابد. به این ترتیب جریان الکتریکی بین پایه‌های کلکتور و امیتر برقرار خواهد شد (شکل ۳۴).



شکل ۳۴

برای اینکه از ترانزیستور بتوان استفاده کرد باید آن را بایاس کرد. بایاس ترانزیستور به‌عنوان سوئیچ الکترونیکی در شکل ۳۵ نشان داده شده است.

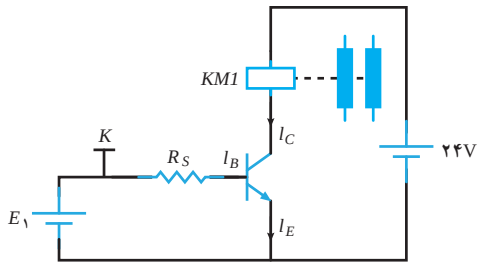


شکل۳۵ـ بایاس ترانزیستور

در شکل ۳۵ جریان بیس ترانزیستور صفر است و در نتیجه مقاومت اهمی بین کلکتور و امیتر بسیار زیاد

است به‌طوری که جریان کلکتور (I_C) فوق‌العاده کم و در حد میکروآمپر می‌باشد. از این رو از بوبین رله KM۱ که با کلکتور سری شده است جریانی عبور نمی‌کند (یا در حد میکروآمپر عبور می‌کند) بنابراین بوبین رله KM۱ تحریک نمی‌شود.

حال اگر کلید K بسته شود (شکل ۳۶) جریان در بیس تزریق می‌شود. مدار الکتریکی از طریق منبع ۳ ولتی، کلید K، مقاومت $۲/۲K\Omega$ و مدار اتصال بیس امیتر بسته می‌شود و در این مدار جریان جاری می‌شود (اتصال بیس امیتر مانند یک دیود معمولی است)، با تزریق جریان به بیس، مقاومت اهمی بین کلکتور و امیتر ترانزیستور کم می‌شود و از مدار رله و کلکتور و امیتر و منبع ۲۴ ولتی جریان عبور می‌کند و باعث تحریک رله می‌شود و رله عمل می‌کند.

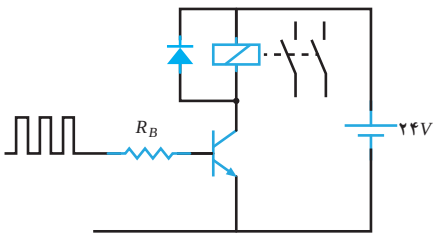


شکل ۳۶ـ بایاسینگ ترانزیستور

فرق ترانزیستور با یک کلید (سوئیچ معمولی) این است که به‌کمک ترانزیستور می‌توان در ثانیه میلیون‌ها بار عمل قطع و وصل را انجام داد، درصورتی‌که با یک کلید معمولی چنین چیزی امکان‌پذیر نیست و در ضمن ترانزیستور ابعاد کوچک‌تری نسبت به کلید مکانیکی مشابه خود دارد، جرقه نمی‌زند، نویز پخش نمی‌کند..

لازم به یادآوری است که از ترانزیستور(ها) در زمینه‌های مختلف مانند تقویت سیگنال، عمل سوئیچینگ استفاده فراوانی می‌شود. از این رو انواع مختلفی از ترانزیستور تاکنون ساخته شده‌اند که تفاوت اصلی و عمده آنها در تحمل جریان کلکتور و ولتاژ بین کلکتور و امیتر و فرکانس کار است.

اگر بخواهیم به کمک ترانزیستور، یک رله را قطع و وصل کنیم بهتر است یک دیود موازی و معکوس با رله ببندیم تا هنگام سوئیچ زنی، ترانزیستور آسیب نبیند (شکل ۳۷).



شکل ۳۷ـ دیود از سوختن ترانزیستور جلوگیری می‌کند

الف) پارامترهای ترانزیستور

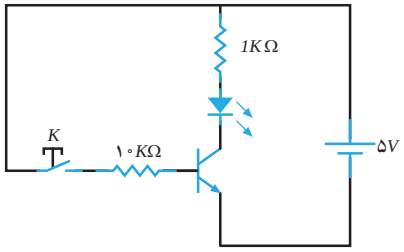
در کاربردهای صنعتی، سه پارامتر ترانزیستور اهمیت زیادی دارند:

۱ـ ماکزیمم جریان کلکتور قابل تحمل ترانزیستور (I_{Cmax})

۲ـ ماکزیمم ولتاژ کلکتور ـ امیتر (V_{CEmax})
۳ـ ماکزیمم توان قابل تحمل ترانزیستور (P_{max})

ب) آزمایش ترانزیستور

آزمایش ترانزیستور با روش‌های مختلفی انجام می‌شود. هدف از انجام آزمایش ترانزیستور تشخیص سالم بودن ترانزیستور است. مدار یکی از روش‌های آزمایش ترانزیستوردر شکل ۳۸ نشان داده شده است.

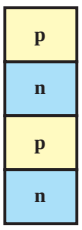


شکل۳۸ـ مدار آزمایش سالم بودن ترانزیستور

در شکل ۳۸ اگر با بسته شدن کلید k دیود نوردهنده روشن شود و با قطع آن کلید k دیود نوردهنده خاموش شود، ترانزیستور سالم است در غیر این صورت ترانزیستور معیوب می‌باشد.

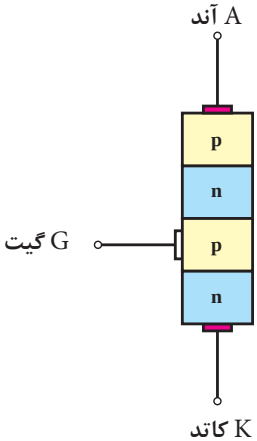
۱۱ـ۴ـ تریستور

تریستور یک قطعه الکترونیکی چهارلایه می‌باشد که از قطعات P و N تشکیل شده است (شکل ۳۹).



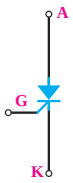
شکل ۳۹

تریستور دارای سه پایه آند، کاتد و گیت می‌باشد (شکل ۴۰).



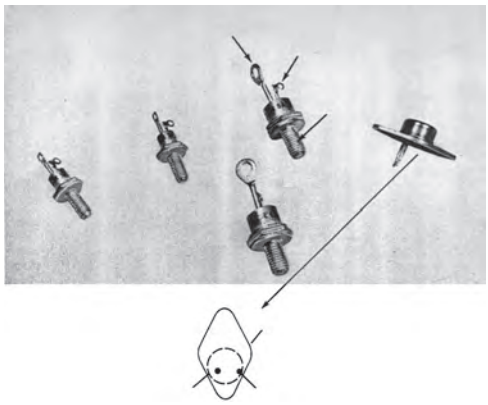
شکل ۴۰

نماد تریستور در شکل۴۱ نشان داده شده است.



شکل ۴۱

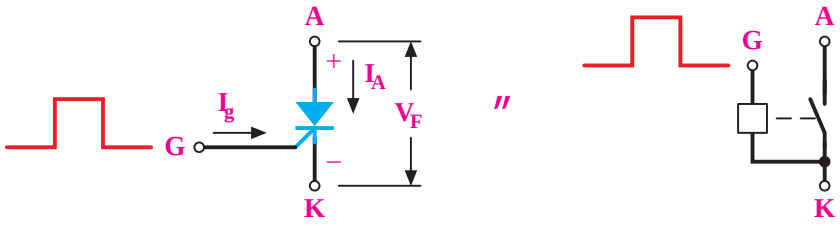
تریستور را SCR نیز می‌گویند. یک نمونه تریستور در شکل۴۲ نشان داده شده است.



شکل ۴۲

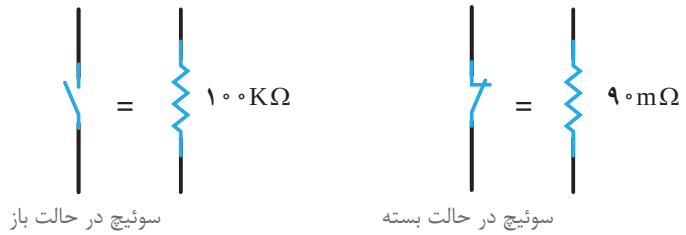
هرگاه پتانسیل پایه آند تریستور در یک مدار الکتریکی مثبت‌تر از پتانسیل پایه کاتد باشد تریستور در بایاس موافق است. در بایاس موافق با اعمال لحظه‌ای جریان به پایه گیت تریستور، مقاومت اهمی‌بین پایه‌های آند و کاتد به‌شدت کاهش می‌یابد و ارتباط الکتریکی بین آنها برقرار می‌شود و مانند یک سوئیچ بسته،هادی می‌باشند و اصطلاحاً تریستور سوئیچ می‌کند. هنگامی که تریستورسوئیچ می‌کند آند و کاتد باید تحمل جریانی را که از آنها عبور می‌کند داشته باشند.

اعمال لحظه‌ای جریان به پایه گیت تریستور را «تحریک گیت » گویند. در واقع تریستور مشابه کلیدی است که کنترل آن از طریق گیت امکان‌پذیر است (شکل ۴۳).



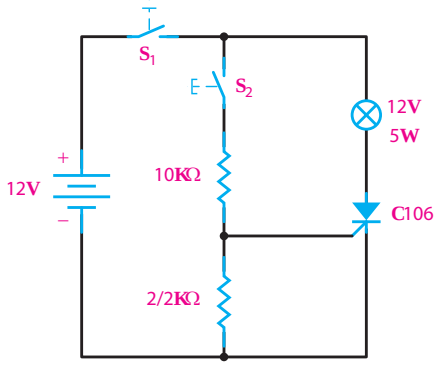
شکل ۴۳

در بایاس موافق با تحریک گیت، تریستورهادی خواهد شد پس ازهادی شدن تریستور دیگر نیازی به باقی ماندن تحریک گیت نیست و مادامی که تریستور در بایاس موافق باشد هادی خواهد ماند.
هرگاه پتانسیل پایه کاتد تریستور در یک مدار الکتریکی مثبت‌تر از پتانسیل پایه آند باشد تریستور در بایاس مخالف است. در بایاس مخالف مقاومت اهمی‌بین پایه‌های آند و کاتد بسیار زیاد است و ارتباط الکتریکی بین آند و کاتد قطع می‌باشد (مانند یک سوئیچ باز، قطع می‌باشند) و اصطلاحاً تریستور قطع می‌شود. هنگامی که تریستور قطع است آند و کاتد باید تحمل ولتاژی را که بر روی آنها قرار می‌گیرد داشته باشند.
در بایاس مخالف، حتی با تحریک گیت، تریستور سوئیچ نخواهد شد و همانند یک سوئیچ باز، قطع خواهد بود و از آند و کاتد جریان عبور نمی‌کند.
از تریستور SCR به عنوان سوئیچ‌های الکترونیکی در مدارهای تبدیل AC به DC استفاده می‌شود.
در واقع سوئیچ الکترونیکی یک مقاومت اهمی‌است که هنگامی که مقاومت آن زیاد است مانند یک سوئیچ باز می‌باشد و مدار را قطع می‌کند. و هنگامی که مقاومت اهمی‌آن بسیار کم است مانند یک سوئیچ بسته می‌باشد و مدار را وصل می‌کند (شکل ۴۴).



شکل ۴۴

آزمایش تریستور: آزمایش تریستور به‌منظور اطمینان از سالم بودن تریستور انجام می‌شود. آزمایش تریستور با مدار شکل ۴۵ انجام می‌شود.

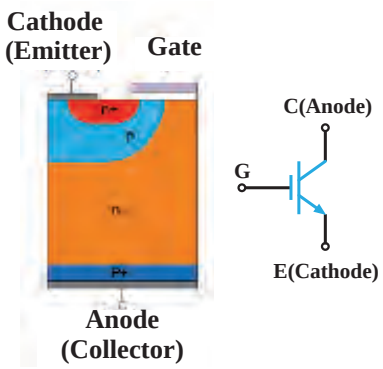


شکل ۴۵

در این مدار با وصل کلید S_1 تریستور در بایاس موافق قرار می‌گیرد چون گیت آن تحریک نشده است. هادی نمی‌شود و جریانی از تریستور عبور نمی‌کند لذا لامپ روشن نمی‌شود. در این لحظه با وصل کلید S_2 گیت تریستور تحریک می‌شود و با تحریک گیت تریستور هادی می‌شود و با عبور جریان از تریستور، لامپ روشن می‌شود. اکنون باقطع کلید S_2، تریستور همچنان‌هادی خواهد ماند. درستی نتایج این آزمایش نشان می‌دهد تریستور سالم است.

۱۲ـ۴ـ ترانزیستور دوقطبی با گیت عایق شده

ترانزیستور دوقطبی با گیت عایق شده جزو نیمه‌هادی‌های قدرت می‌باشد. ترانزیستور دوقطبی با گیت عایق شده را IGBT نیز گویند. ترانزیستور دوقطبی با گیت عایق شده IGBT یک قطعه الکترونیکی چهار لایه با شرایط ویژه از قطعات P و N است و دارای سه پایه گیت، امیتر و کلکتور است (شکل ۴۶).

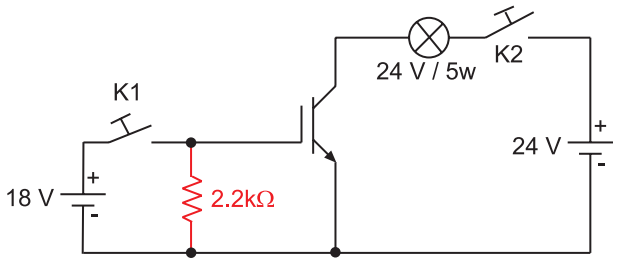


شکل ۴۶ـ نمایش لایه‌های نیمه‌هادی مرتبط با IGBT و نماد الکتریکی IGBT

طرز کار IGBT

IGBT یک سوئیچ الکترونیکی است. پس از بایاس IGBT مادامی که ولتاژ گیت نسبت به امیتر، صفر باشد، مقاومت اهمی‌بین پایه‌های کلکتور و امیتر زیاد است و ارتباط الکتریکی بین آنها قطع می‌باشد. در این حالت کلکتور و امیتر مانند یک سوئیچ باز می‌باشند و IGBT قطع است .

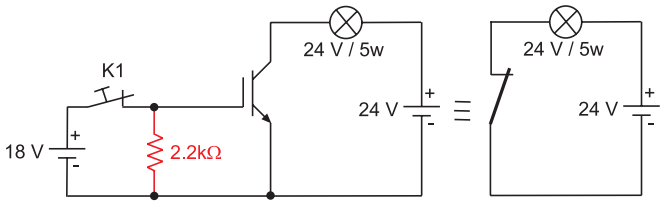
هنگامی که IGBT قطع است کلکتور و امیتر باید تحمل ولتاژی که برروی آنها قرار می‌گیرد را داشته باشند (شکل ۴۷).



شکل ۴۷

با اعمال ولتاژ مثبت به پایه گیت نسبت به پایه امیتر، مقاومت اهمی بین پایه‌های کلکتور و امیتر به شدت کاهش می‌یابد و ارتباط الکتریکی بین آنها برقرار می‌شود. در این حالت کلکتور و امیتر مانند یک سوئیچ بسته، هادی می‌باشند و IGBT سوئیچ می‌کند.

هنگامی که IGBT سوئیچ می‌کند کلکتور و امیتر باید تحمل جریانی را که از آنها عبور می‌کند را داشته باشند (شکل ۴۸).



شکل ۴۸

مادامی که ولتاژ به گیت اعمال می‌شود، IGBT سوئیچ می‌ماند اما با صفر شدن ولتاژ گیت، IGBT قطع خواهد شد. از ترانزیستور IGBT به عنوان سوییچ الکترونیکی در مدارهای تبدیل DC به AC استفاده می‌شود.

مزایای IGBT عبارت است از :

۱ـ مقاومت ورودی زیاد

۲ـ جریان و توان راه‌اندازی کم

۳ـ افت ولتاژ در حالت وصل کم

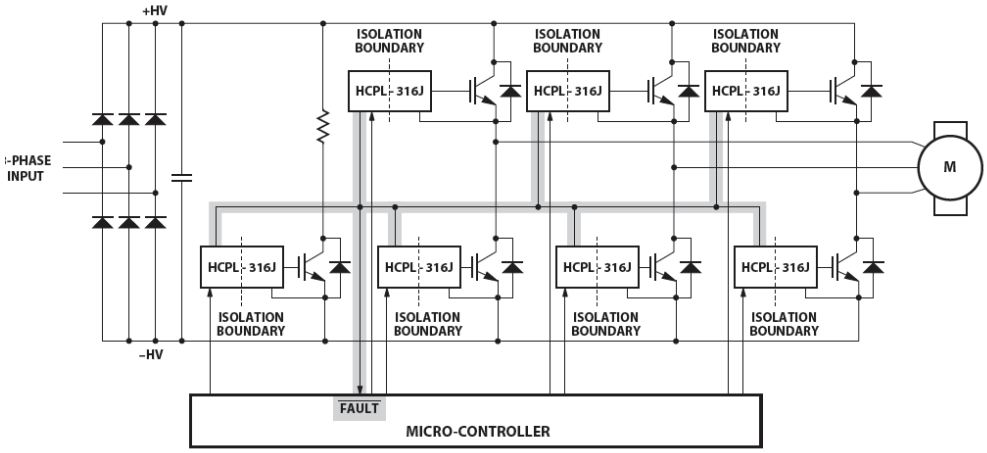
۴ـ تلفات کم

سرعت سوئیچ IGBT تا ۵۰KHz است یعنی در هر ثانیه می‌تواند مدار الکتریکی را تا ۵۰۰۰۰ بار قطع و وصل نمایید که در مقایسه با سرعت قطع و وصل کلیدهای دستی و یا کنتاکتورها بسیار زیاد است. IGBT ها با جریان قابل تحمل حالت سوئیچ تا ۱۲۰۰ آمپر و ولتاژ قابل تحمل حالت قطع ۱۷۰۰ ولت ساخته شده‌اند. از IGBT به‌عنوان سوئیچ الکترونیکی در مدارهای تبدیل DC به AC مانند مدارهای الکتریکی یخچال‌ها، دستگاه‌های تهویه مطبوع، خودروهای برقی، منابع تغذیه سوئیچینگ UPS به‌عنوان سوئیچ الکترونیکی استفاده می‌شود.

مدار راه‌اندازی گیت IGBT

IGBT نیازمند ولتاژ گیت ـ امیتر برای کنترل میزان هدایت میان کلکتور و امیتر است. ولتاژ گیت‌ـ امیتر توسط مدارهای راه‌اندازی گیت تأمین می‌شود. مدارهای راه‌اندازی گیت تأثیر زیادی بر عملکرد IGBT از نظر تلفات سوئیچ، توانایی حفاظت اتصال کوتاه و زمان سوئیچینگ دارد. در مدار راه‌انداز از مدارات مجتمع آماده برای راه‌اندازی استفاده می‌شود که از آن جمله می‌توان IC راه‌انداز HCP1316j را نام برد.

نحوه اتصال IC راه‌انداز HCP1316j به IGBT در مدار کنترل دور موتور القایی به کمک اینورتر در شکل۴۹ نشان داده شده است.

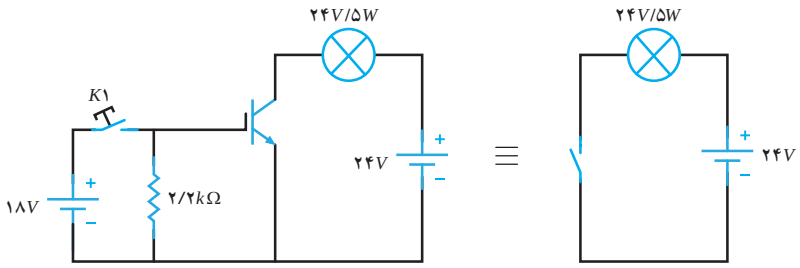


شکل۴۹ـ مدار اتصال آی سی راه‌انداز IGBT به آن در مدار کنترل دور موتور القایی به کمک اینورتر

آزمایش IGBT

برای آزمایش IGBT ، به مدار آزمایش نیاز می‌باشد. با قرار دادن IGBT در مدار آزمایش به سالم بودن آن پی می‌برند.

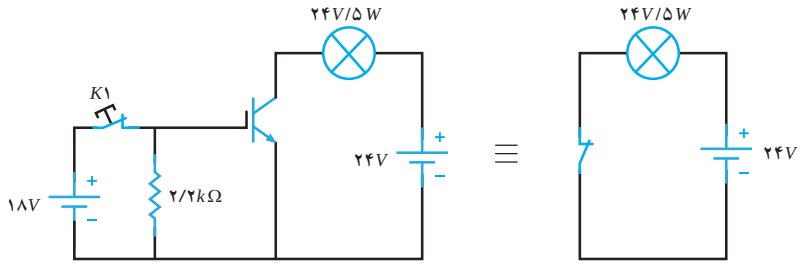
ولتاژ گیت امیتر IGBTها معمولاً بین ۱۵ تا ۲۰ ولت می‌باشد و جریان مجاز کلکتور به امیتر از کاتالوگ IGBT به‌دست می‌آید. با توجه به مقدار ولتاژ گیت امیتر و جریان مجاز امیتر به کلکتور مدار آزمایش مطابق (شکل ۵۰) آماده می‌شود.



شکل ۵۰

در شکل ۵۰ کلید K۱ باز است و ولتاژی به گیت امیتر IGBT اعمال نمی‌شود IGBT خاموش است (مقاومت اهمی بین کلکتور و امیتر بسیار زیاد و در حد مگا اهم است) ارتباط الکتریکی کلکتور و امیتر مانند یک کلید باز می‌باشد و جریان در مدار آنها جاری نخواهد شد لذا لامپ خاموش می‌باشد.

با بستن کلید K۱ ولتاژ ۱۸ ولت بین گیت و امیتر IGBT اعمال می‌شود. IGBT سوئیچ می‌کند (مقاومت اهمی بین کلکتور و امیتر به شدت کاهش می‌یابد ـ در حد میلی اهم) ارتباط الکتریکی کلکتور مانند یک کلید بسته می‌باشد و جریان در مدار آنها جای خواهد شد لذا لامپ روشن می‌شود (شکل ۵۱).



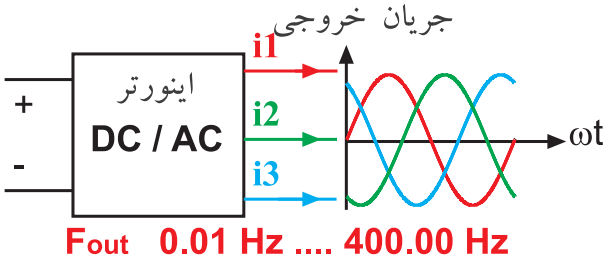
شکل ۵۱

پرسش

۱ـ انواع ترانزیستور را نام ببرید و نماد آنها را رسم کنید.
۲ـ بایاس ترانزیستور را تعریف کنید و عملکرد آن به‌عنوان سوئیچ را شرح دهید.
۳ـ کاربردهای ترانزیستور را بنویسید.
۴ـ آزمایش تشخیص سالم بودن ترانزیستور را با رسم مدار توضیح دهید.
۵ـ بایاس موافق تریستور را تعریف کنید و نحوه سوئیچ کردن آن را شرح دهید.
۶ـ رفتار تریستور در بایاس مخالف پس از تحریک گیت را شرح دهید.
۷ـ آزمایش تشخیص سالم بودن تریستور را بارسم مدار توضیح دهید.
۸ـ IGBT را تعریف کنید و نماد آن را رسم کنید.
۹ـ طرز کار IGBT را توضیح دهید.
۱۰ـ مزایای IGBT را بنویسید.
۱۱ـ وظیفه مدار راه اندازی گیت و تأثیر آن بر عملکرد IGBT را بنویسید.

۱۳ـ۴ـ درایو فرکانس متغیر

درایو فرکانس متغیر VFD[1] دستگاهی است که ولتاژ مستقیم DC را به ولتاژ متناوب AC با فرکانس متغیر تبدیل می‌کند. درایو فرکانس متغیر را اینورترفرکانس متغیر نیز می‌نامند. در واقع اینورتر فرکانس متغیر یک مبدل DC به AC است که فرکانس ولتاژ متناوب خروجی آن قابل کنترل می‌باشد. خروجی اینورترها می‌تواند به‌صورت تک‌فاز و یا سه فاز باشد. فرکانس ولتاژ متناوب خروجی اینورترهای تک‌فاز و سه فاز معمولاً بین ۰/۰۱ هرتز تا ۴۰۰ هرتز قابل کنترل است. اما ولتاژ متناوب خروجی در اینورتر تک‌فاز تا ۲۳۰ ولت و در اینورتر سه فاز تا ۴۰۰ ولت قابل کنترل می‌باشد (شکل ۵۲).



شکل ۵۲

ولتاژ مستقیم DC ورودی اینورتر از یکسو کردن ولتاژ متناوب AC برق شهر تأمین می‌شود. برای یکسو کردن ولتاژ متناوب AC برق شهر از یکسوکننده‌های دیودی تمام موج استفاده می‌شود. در اینورترهای تک‌فاز یکسوکننده تمام موج تک‌فاز و در اینورترهای سه فاز یکسو کننده‌های تمام موج سه فاز استفاده می‌شود (شکل ۵۳).



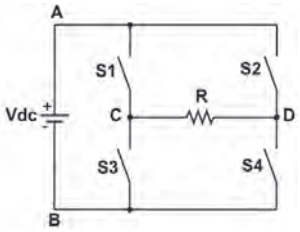
شکل ۵۳ـ اینورتر تکفاز و سه فاز

اینورترهای تک‌فاز با ولتاژ متناوب ورودی ۲۳۰ ولت در توان‌های تا حدود ۳/۷ Kw ساخته شده‌اند. اما اینورترهای سه فاز با ولتاژ متناوب ورودی ۴۰۰ ولت از توان ۱۰۰ وات الی ۱۰ MW (ده مگاوات) ساخته می‌شوند. البته ولتاژ ورودی اینورترهای سه فاز در توان‌های بالا می‌تواند بیش از ۴۰۰ ولت باشد.
اینورتر معمولاً ولتاژ ورودی را افزایش نمی‌دهد یعنی در خروجی اینورتر حداکثر دامنه ولتاژ خروجی، برابر دامنه ولتاژ ورودی است. اگر ولتاژ ورودی اینورتر ۲۲۰ ولت باشد در خروجی آن برق سه فاز با فرکانس متغیر و با دامنه صفر ولت الی حداکثر ۲۲۰ ولت برق خواهیم داشت. اگر ولتاژ ورودی اینورتر سه فاز ۳۸۰ ولت باشد در خروجی آن برق سه فاز با فرکانس متغیر با دامنه صفر ولت الی حداکثر ۳۸۰ ولت خواهیم داشت.

۱ـ Varibale Frequency Drive

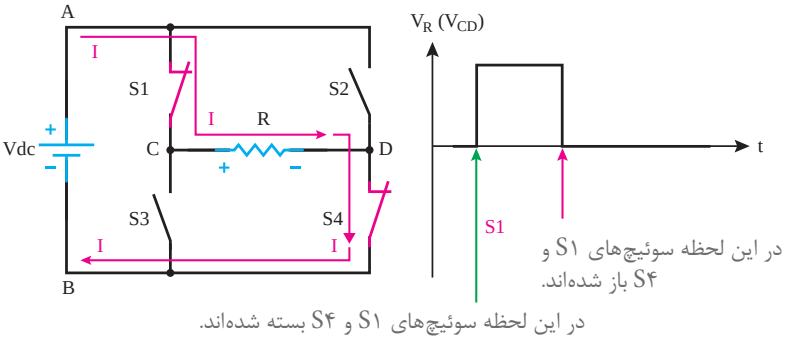
۱۴ـ۴ـ اصول کار اینورتر

اصول کار اینورتر بر مبنای تبدیل ولتاژ DC به ولتاژ AC استوار است. نحوه تبدیل ولتاژ DC به ولتاژ AC در مدار شکل ۵۴ نشان داده شده است.



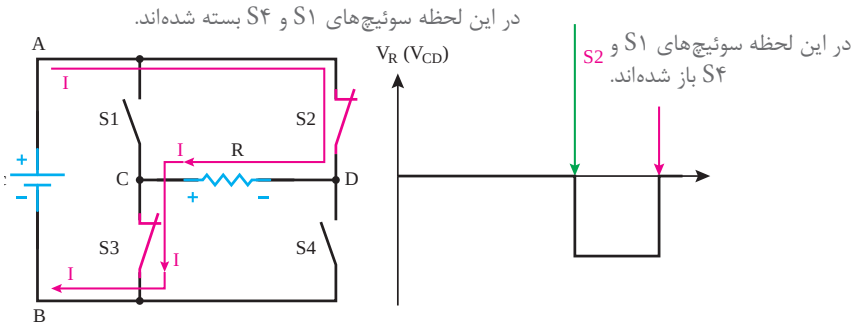
شکل ۵۴ـ نحوه تبدیل ولتاژ DC به AC

اگر سوئیچ‌های S۱ و S۴ شکل ۵۴ بسته شوند، ولتاژ DC بین نقاط B و A، در دو سر مقاومت قرار می‌گیرد در حقیقت مقاومت با منبع موازی می‌شود (شکل ۵۵).



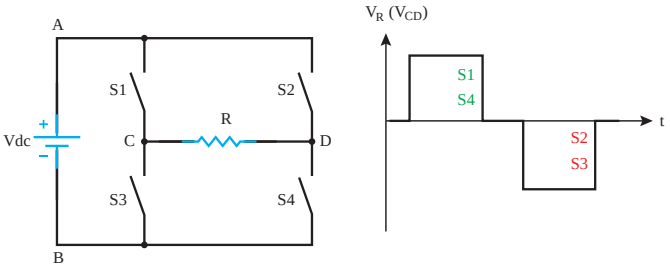
شکل ۵۵ـ ولتاژ دو سربار

حال اگر در حالی‌که کلیدهای S۱ و S۴ باز هستند کلیدهای S۲ و S۳ را ببندیم شکل ولتاژ دو سر مقاومت اهمی‌به صورت شکل ۵۶ خواهد شد.



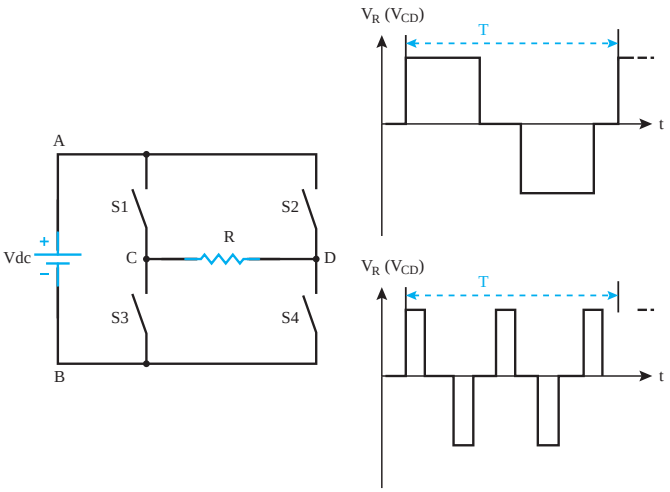
شکل ۵۶ـ ولتاژ دو سربار

حال اگر به تناوب کلیدهای S۱ و S۴ و همچنین کلیدهای S۲ و S۳ را باز و بسته کنیم، شکل ولتاژ دو سر مقاومت اهمی‌به‌صورت شکل ۵۷ خواهد شد.



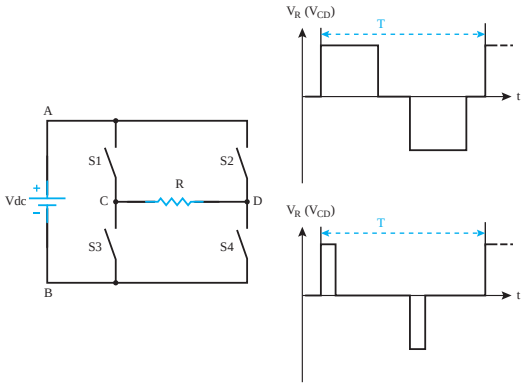
شکل ۵۷ـ نحوه تولید ولتاژ AC

با تغییر تعداد وصل و قطع کلیدهای S۱ تا S۴ در مدت یک ثانیه، فرکانس شکل موج خروجی تنظیم می‌شود (شکل ۵۸).



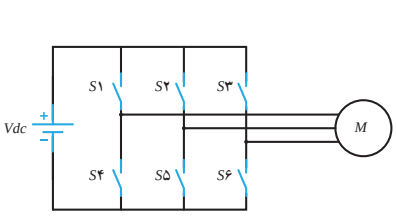
شکل ۵۸ـ تغییرفرکانس

همچنین با تغییر مدت زمان وصل و قطع کلیدهای S۱ الی S۴ در مدت زمان تناوب مقدار ولتاژ مؤثر خروجی تنظیم خواهد شد (شکل ۵۹).

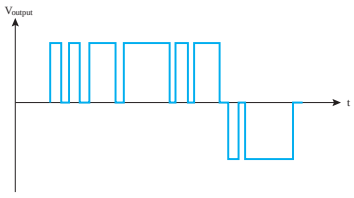


شکل ۵۹ـ نحوه تغییر ولتاژ مؤثرخروجی اینورتر

شکل موج ولتاژ خروجی اینورتر (VFD) مربعی است. فقط یک تفاوت خیلی کوچک با شکل‌های نشان داده شده دارد و آن اینکه عرض مربع‌ها با یکدیگر ممکن است متفاوت باشد (شکل ۶۰).



شکل ۶۱ـ تولید ولتاژ سه فاز در اینورتر



شکل ۶۰ ـ ولتاژ خروجی اینورتر

دلیل این امر این است که اگر ولتاژ شکل فوق را به‌یک بار اهمی‌القایی اعمال کنیم، شکل جریان گذرنده از بار اهمی ـ القایی (مثلاً موتور) تقریباً سینوسی خواهد بود.

برای تولید ولتاژ سه فاز در خروجی اینورتر، از ۶ کلید به صورت شکل ۶۱ استفاده می‌کنند

در خروجی اینورتر علی‌رغم داشتن ولتاژ سه فاز شکل ولتاژ همچنان به‌صورت پالس‌های مربعی است. با ولت متر معمولی نمی‌توان ولتاژ خروجی اینورتر را اندازه گرفت، زیرا ولت مترهای معمولی برای شکل ولتاژ سینوسی ساخته شده‌اند.

فرکانس سوئیچ‌زنی در اینورترها معمولاً بین ۱/۵ کیلوهرتز الی ۱۶ کیلوهرتز است و در اکثر اینورترهای ساخته شده کاربر می‌تواند آن را تغییر دهد.

مزایای اینورتر

مزایای اینورتر در فرایندهای صنعتی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در فرایندهای صنعتی با استفاده از تکنولوژی اینورتر سرعت تولید افزایش خواهد یافت و از سوی دیگر تکنولوژی اینورتر باحفاظت دقیق از موتورهایی که چرخ صنعت را به‌گردش در می‌آورند مانع از آسیب دیدن آنها به‌هنگام کار خواهد شد. بدین ترتیب چرخ صنعت از حرکت نمی‌ایستد و بهره‌وری افزایش خواهد یافت. لذا متخصصان حوزه استفاده از تکنولوژی اینورتر صاحبان صنایع را به استفاده از اینورتر جهت کنترل موتورهای الکتریکی تشویق می‌کنند.

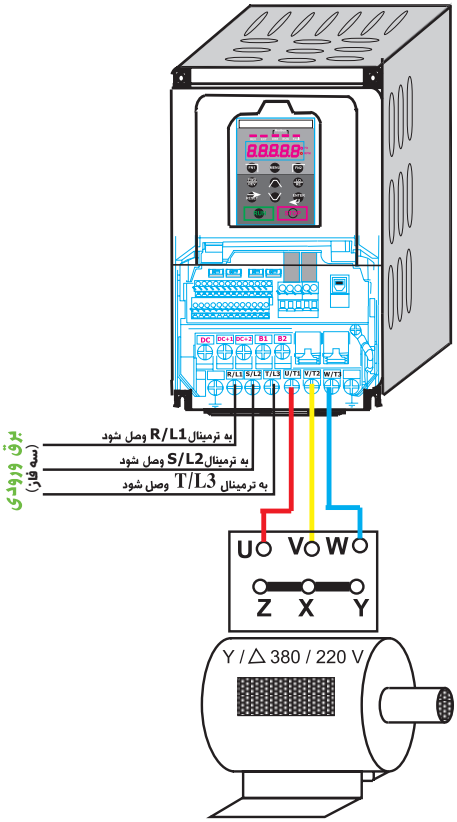
برای اینورتر مزایای بسیار زیادی قائل شده‌اند که مهم‌ترین آنها به شرح زیر است :
۱ـ صرفه‌جویی در مصرف انرژی به‌طوری که ظرف مدت یک الی یک و نیم سال، هزینه خود اینورتر از بابت صرفه‌جویی در مصرف انرژی جبران می‌شود.
۲ـ کاهش توان راکتیو (به‌دلیل داشتن بانک خازنی در اینورتر)
۳ـ کاهش جریان راه‌اندازی
۴ـ کاهش تنش‌های مکانیکی موتور رفع ناهنجاری‌های مکانیکی (عدم ایجاد ضربه و به تبع آن عدم خرابی فونداسیون و...)
۵ـ عدم خرابی تکیه‌گاه‌ها (مانند یاتاقان‌ها، بیرینگ‌ها، بلبرینگ‌ها و...)
۶ـ عدم خرابی سیستم انتقال نیرو از موتور به بار مکانیکی (مانند تسمه‌ها، چرخ زنجیرها و...)
۷ـ عدم خرابی گیربکس‌های تبدیل دور
۸ـ محدود کردن جریان راه‌اندازی
۹ـ عدم نیاز به خازن‌های اصلاح ضریب توان مؤثر
۱۰ـ عدم نیاز به راه‌اندازی ستاره مثلث موتور
۱۱ـ امکان قطع و وصل اضطراری از راه دور
۱۲ـ عدم نیاز به کلیدهای قطع و وصل قدرت
۱۳ـ امکان افزایش تعداد دفعات قطع و وصل در زمان کوتاه
۱۴ـ امکان داشتن دور ثابت و مستقل از بار (مانند موتور سنکرون)
۱۵ـ امکان تغییر جهت گردش موتور الکتریکی بدون نیاز به تجهیزات دیگر
۱۶ـ امکان غیر فعال یک جهت گردش موتور توسط اینورتر
۱۷ـ سرعت قطع و وصل بالا در آمپرهای زیاد
۱۸ـ هنگام قطع و وصل ایجاد جرقه نمی‌کنند.
۱۹ـ طول عمر بسیار بالا به‌دلیل نداشتن قطعه مکانیکی متحرک
اینورتر هنگام کار موتور، به طور مستمر تمامی پارامترهای موتور را کنترل می‌کند و آنها را با نامی و واقعی آنها مقایسه می‌کند. فرض کنید در اینورتر جریان نامی موتور را ۲۰A تعریف می‌کنیم و همچنین در اینورتر مشخص می‌شود که اگر جریان موتور از مقدار تعریف شده ۳۰٪ بیشتر شد و این اضافه جریان بیش از ۶۰ ثانیه طول کشید اینورتر موتور را خاموش کند. و یا اگر به هردلیلی یکی از فازهای موتور قطع شود موتور را خاموش کند و یا اگر اختلاف جریان‌های سه فاز موتور از مقدار مشخصی بیشتر شد موتور را خاموش کند.

نکته

به‌طورکلی می‌توان گفت:
وقتی یک موتور از طریق اینورتر راه‌اندازی می‌شود اگر پارامترهای اینورتر درست تنظیم شده باشند، سیم‌پیچ‌های موتور هرگز نمی‌سوزد.
یعنی اینورتر ضمن داشتن مزایای زیاد در راه‌اندازی و توقف موتور و سایر موارد ذکر شده، محافظ بسیار خوب و مطمئن موتور الکتریکی است. ضمن اینکه اینورتر تا حدود زیادی خودش نیز مواظب خودش

است مثلاً اگر از خروجی اینورتر جریانی بیش ازحد تحمل اینورتر عبور کند بلافاصله اینورتر انتقال توان به موتور را قطع می‌کند و پیغام جریان اضافی اینورتر را صادر می‌کند.

برای استفاده بهتر از برتری‌های اینورتر در راه‌اندازی موتورهای الکتریکی لازم است شناخت دقیقی از پارامترهای اینورتر داشت. تعداد پارامترهای یک اینورتر، در بعضی از آنها بیش از ۲۰۰ مورد است.
نحوه اتصال یک موتور الکتریکی به یک اینورتر و شبکه برق در شکل ۶۲ نشان داده شده است.



شکل ۶۲ــ نحوه اتصال اینورتر به یک موتور الکتریکی و شبکه برق سه فاز

پرسش‌های پایانی پودمان ۴

۱ـ درایور فرکانس متغیر را تعریف کنید و محدوده ولتاژ و فرکانس خروجی آن را بنویسید.
۲ـ اصول کار اینورتر را با رسم شکل توضیح دهید.
۳ـ مزایای اینورتر را بنویسید. (چهار مورد)

ارزشیابی مبتنی بر شایستگی پودمان کاربرد اتوماسیون صنعتی

استاندارد ارزشیابی پیشرفت تحصیلی مبتنی بر شایستگی درس دانش فنی تخصصی الکتروتکنیک					
عنوان پودمان	تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج مورد انتظار	شاخص تحقیق	نمره
پودمان ۴	کاربرد اتوماسیون صنعتی (اینورتر)	محاسبه کمیت‌های الکتریکی یکسوکننده نیم موج ـ محاسبه کمیت‌های یکسوکننده تمام موج ـ تشریح عملکرد اینورتر و مزایای آن	بالاتر از حد انتظار	از کل سؤالات به هفت تا ده سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد.	۳
			در حد انتظار	از کل سؤالات به شش سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد.	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	از کل سؤالات به یک تا پنج سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد.	۱
	نمره مستمر از ۵				
	نمره شایستگی پودمان				
	نمره پودمان از ۲۰				

هدف‌گذاری و سنجش:

برای کسب شایستگی در این پودمان اگر هنرجو:

از کل سؤالات به یک تا پنج سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد شایستگی پایین‌تر از حد انتظار خواهد بود.

از کل سؤالات به شش سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد شایستگی در حد انتظار خواهد بود.

از کل سؤالات به هفت تا ده سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد شایستگی بالاتر از حد انتظار خواهد بود.

توجه: سؤالات ارائه شده همگی هم‌ارزش بوده و در سطح یادگیری در حد انتظار است. معیار ارزشیابی نتیجه‌محور است.

سؤال ۱ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۲ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۳ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۴ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۵ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۶ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۷ـ ..... (۲ نمره)

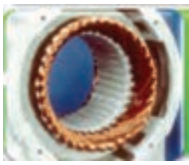
سؤال ۸ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۹ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۱۰ـ ..... (۲ نمره)

پودمان پنجم

کسب اطلاعات فنی (زبان فنی)



Winding

- One or more turns of wire forming a continuous coil through which an electric current can pass, as used in transformers, generators, etc

What Does an Electrician Need to Do the Job?

Manuel uses many tools on his job. A few of these are screwdrivers, knives, pliers, and wire cutters. Electricians' tools have special insulation on them. This means they have a coating that prevents Manuel from getting hurt by the electricity.

Think of all the things in a home that use electricity. It takes a lot of electrical power to make all of those things work. Homes with electricity depend on **circuit breakers**.

Reading: DC Circuit Theory

The fundamental relationship between voltage, current and resistance in an electrical or electronic circuit is called Ohm's Law.

All materials are made up from atoms, and all atoms consist of protons, neutrons and electrons. Protons have a positive electrical charge. Neutrons have no electrical charge while Electrons, have a negative electrical charge. Atoms are bound together by powerful forces of attraction existing between the atoms nucleus and the electrons in its outer shell.

واحد یادگیری ۱

آیا می‌دانید

۱ـ چگونه می‌توان المان‌های الکتریکی را در یک جمله ساده به زبان انگلیسی تعریف کرد؟
۲ـ کاربرد کاتالوگ‌های فنی تجهیزات برقی چه فوایدی دارد؟
۳ـ دانستن زبان فنی در توسعه و رشد شایستگی در حوزه شغلی یک برقکار چه تأثیری دارد؟

استاندارد عملکرد



پس از اتمام این پودمان هنرجویان قادر خواهند بود متون ساده فنی رشته برق را به زبان فارسی برگردانند و علاوه‌بر آشنایی با واژگان و اصطلاحات پرکاربرد تخصصی حوزه شغلی خود، کاتالوگ‌ها و بروشورهای تجهیزاتی برقی را برای استفاده بهینه آنها تغییر دهند.

مقدمه

توانایی کافی استفاده از متون و منابع فنی و فهم واژه‌ها و اصطلاحات انگلیسی در بسیاری از مشاغل ضروری است. برقکاران نیز باید برای ارتقای سطح دانش حرفه و شغلی خود، تسلط لازم در بهره‌گیری از راهنماها ودستورالعمل‌های بهره‌برداری و نگهداری تجهیزات (کاتالوگ‌ها) مرتبط با رشته خود را به زبان انگلیسی داشته باشند.

توسعه مهارت آموزی زبان فنی انگلیسی بین سطوح مختلف شغلی کارگر ماهر، تکنسین‌ها و مهندسان، آنها را قادر به ارتقا وهم‌افزایی دانش فنی درمحل کار می‌کند.

هدف اصلی این پودمان، آموزش زبان فنی به هنرجویان رشته الکتروتکنیک است. به‌طوری‌که قادر به درک مفاهیم برقی از متون فنی،کاتالوگ‌خوانی و راهنمای استفاده از تجهیزات مختلف برقی باشند.

استفاده از منوی HELP نرم افزارهای تخصصی، آشنایی با اصطلاحات پر تکرار در زمینه تخصصی رشته برق، الگوهای مصرف انرژی، نکات مربوط به ایمنی و بهداشت از دیگر اهداف این پودمان است. این پودمان از سه بخش اصلی تشکیل شده است:

- اندازه‌گیری الکتریکی
- ولتاژ مستقیم ومتناوب (نیمه تجویزی)
- انواع کاتالوگ

درشروع هربخش اصلی، ابتدا لغات پرکاربرد تخصصی آن بخش با مفهوم آنها بیان شده است. در ادامه مکالمه مختصری در زمینه موضوع مورد نظر آورده شده و در نهایت برای آن یک درک مطلب بیان شده است. برای عمق‌دهی به یادگیری بیشتر در خلال هر موضوع، فعالیت‌هایی نیز ارائه شده است.

توجه

هنرجویان عزیز، برای دریافت معانی کلمات و لغات تخصصی در این پودمان از واژگان تخصصی آورده شده در کتاب همراه هنرجو استفاده نمایید. در کتاب همراه، معانی کلمات تخصصی به زبان فارسی آورده شده است.

۱ـ۵ـ اندازه‌گیری الکتریکی (Electrical Measurment)

مقدمه

Multi_meter is a handy tool that you use to measure electricity. Almost all multimeters can measure voltage, current, and resistance. Most multi-meters also use metric prefixes. Metric prefixes work the same way with units of electricity as they do with other units you might be more familiar with, like distance and mass. For example, you probably know that a meter is a unit of distance, a kilometer is one thousand meters, and a millimeter is one thousandth of a meter. The same applies to milligrams, grams, and kilograms for mass. Here are the common metric prefixes you will find on most multimeters:

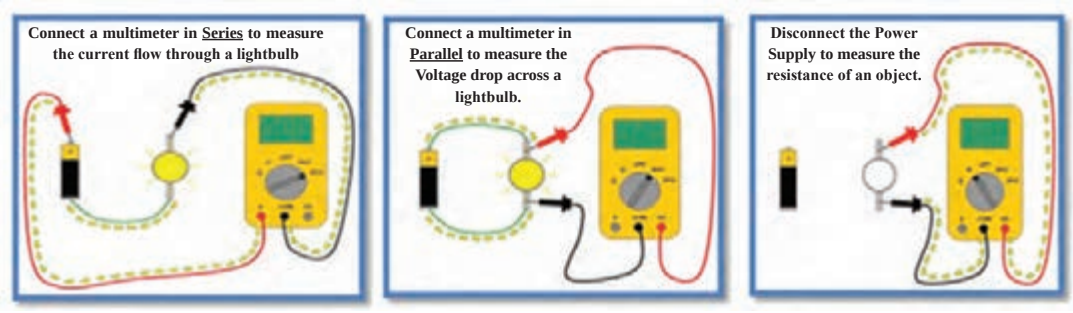
μ (micro): one millionth

m (milli): one thousandth

k (kilo): one thousand

M: (mega): one million

These metric prefixes are used in the same way for volts, amps, and ohms. For example, 200kΩ is pronounced "two hundred kilo-ohms," and means two hundred thousand (200,000) ohms. The voltage, current and resistance with multimeter are measured as follows:





Resistance

- Opposition to the flow of current.



Capacitor

- Device which stores electricity when an operation is in progress.



Diode

- In electronics, a diode is a two-terminal electronic component that conducts electric current in only direction.



Transistor

- Small electrical component used to amplify voltage, output or current.



Indutor

- An inductor is a passive two-terminal electrical component that stores electrical energy in a magnetic field when electric current flows through it.



Transformer

- alternating (A/C) current of a certain voltage to an alternating current of different voltage, without change of frequency, by electromagnetic induction.



Electric motor

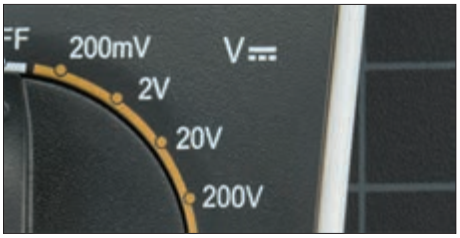
- An electric motor is an electrical machine that converts electrical energy into mechanical energy. The reverse of this is the conversion of mechanical energy into electrical energy and is done by an electric generator, which has much in common with a motor.

Conversation مکالمه

A: Welcome, can I help you with anything?
B: Hi, I need a device to measure the voltage and current , do you have any suggestions?
A: Yes, I suggest you a Multi-meter. Multi-meter is performance device for measuring voltage, current and resistance and etc.
As u can see, different part of the device is specified.
- Display: Where measurement readouts can be viewed.
- Buttons: For selecting various functions;
- Dial (or rotary switch): For selecting primary measurement values (volts, amps, ohms).
- Input jacks: Where test leads are inserted.



B: Can the ac voltage be measured with it?
A: Yes, please see the device,



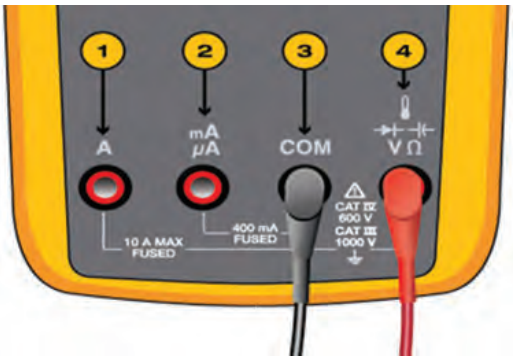
Use the V with a straight line to measure DC Voltage



Use the V with a wavy line to measure AC Voltage

B: Great! Can you explain me more about input port the device?

A: Yes,



1 **A (amps)**

Red test lead input for:
- Current measurements of up to 10.00 amps.
- Current measurements of frequency and duty cycle.

2 **mA, μA (milliamps, micro amps)**

Red test lead input for:
- Current measurements of 0 microamps (μA) to 400 milliamps (mA; up to 600 mA for 18 hours).
- Current measurements of frequency and duty cycle.
- Optional mA output current clamp for measurements of up to 600 amps ac.

3 **COM**

Black test lead input for:
- All measurements.
- Low/negative connection for circuit measurements or accessories.
- Alternately known as “return terminal.” COM is short for common.

4 **Voltage (V), resistance (Ω), diode test (→|), capacitance (⊣⊧), temperature.**

Red test lead input for:
- Measurements for voltage, resistance, diode, capacitance, frequency, duty cycle.

B: Thanks a lot. How can I measure voltage and current or resistance with this device?

A: Connect the multi-meter in series to measure the current flow,

Connect the multi-meter in parallel to measure the voltage drop,
Disconnect the power supply to measure the resistance.

B: I'll I would like to buy the device.
A: Will this be cash or charge?
B: Here, take my credit card.
A: Just sign here, please.
B: Sure. Here you go.
A: Here's your receipt. Please read the catalogue for optimal use.
Have a nice day.

Activity

فعالیت

Determine the Persian equivalents of the following technical terms and write them.



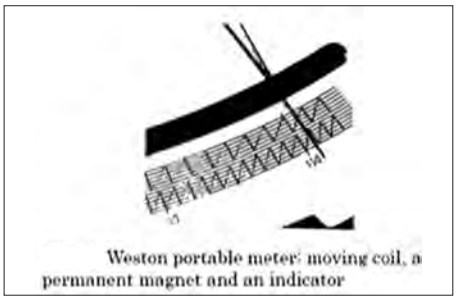
Please study a Multi_meter catalogue and translate important section.

History تاریخچه

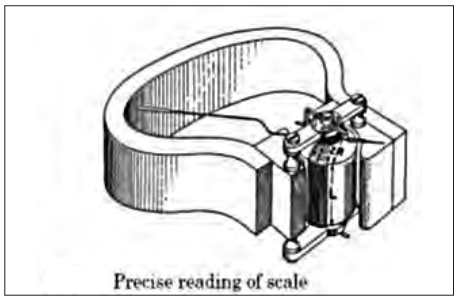
After Volta's battery was invented in 1600, the first utilization of electricity was in telegraphic communication. What kind of measuring instrument was required for telegraphic communication? Probably, neither voltage nor current needed to be measured regularly. Measurement was necessary only at times of failure or in preparation. Even when trans-Atlantic telegraphic communication was successfully completed in 1866, the Kelvin Mirror Galvanometer was used as a telegraphic receiving instrument. In other words, a measuring instrument as an electric component was not independently used.

When the electric power industry began to develop in the second half of the 19th century, current and voltage needed to be measured regularly. One of the engineers who put the precision DC ammeter into practical use was Edward Weston (1850_1936). He named the meter the Portable Instrument, as the electric meters until then could be used only in the laboratory, and could not be transported anywhere to make measurements.

In 1886 Weston completed a portable DC ammeter with an accuracy of 0.5٪, and subsequently aimed at creating an ammeter for large currents and an AC meter. For that purpose, he invented stable resistance Manganin. In fact, the key component of the meter was a stable permanent magnet and the supporting mechanism of the pivot.



Weston portable meter: moving coil, a permanent magnet and an indicator



Precise reading of scale

Reading درک مطلب

DC Circuit Theory

The fundamental relationship between voltage, current and resistance in an electrical or electronic circuit is called Ohm's Law.

All materials are made up from atoms, and all atoms consist of protons, neutrons and

electrons. Protons have a positive electrical charge. Neutrons have no electrical charge while Electrons, have a negative electrical charge. Atoms are bound together by powerful forces of attraction existing between the atoms nucleus and the electrons in its outer shell. When these protons, neutrons and electrons are together within the atom they are happy and stable. But if we separate them from each other they want to reform and start to exert a potential of attraction called a *potential difference.*

Now if we create a closed circuit these loose electrons will start to move and drift back to the protons due to their attraction creating a flow of electrons. This flow of electrons is called an **electrical current**. The electrons do not flow freely through the circuit as the material they move through creates a restriction to the electron flow. This restriction is called resistance.

Then all basic electrical or electronic circuits consist of three separate but very much related electrical quantities called: Voltage, (v), Current, (i) and Resistance, (Ω).

Electrical Voltage

Voltage, (V) is the potential energy of an electrical supply stored in the form of an electrical charge. Voltage can be thought of as the force that pushes electrons through a conductor and the greater the voltage the greater is its ability to "push" the electrons through a given circuit. As energy has the ability to do work this potential energy can be described as the work required in joules to move electrons in the form of an electrical current around a circuit from one point or node to another.

Then the difference in voltage between any two points, connections or junctions (called nodes) in a circuit is known as the Potential Difference, commonly called the Voltage Drop.

A constant voltage source is called a DC Voltage with a voltage that varies periodically with time is called an AC voltage.

Batteries or power supplies are mostly used to produce a steady D.C. (direct current) voltage source such as 5v, 12v, 24v etc in electronic circuits and systems. While A.C. (alternating current) voltage sources are available for domestic house and industrial power and lighting as well as power transmission.

Voltage Symbols

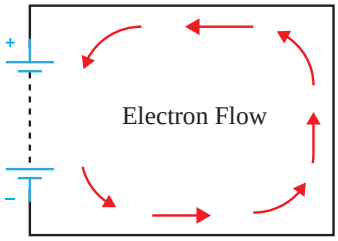
A simple relationship can be made between a tank of water and a voltage supply. The higher the water tank above the outlet the greater the pressure of the water as more energy is released, the higher the voltage the greater the potential energy as more electrons are released.



Single Cell | Multiple Cells (Battery) | DC Voltage Source | AC Voltage Source

Electrical Current, (I) is the movement or flow of electrical charge and is measured in Amperes, (symbol i, for *intensity*). It is the continuous and uniform flow (called a drift) of electrons (the negative particles of an atom) around a circuit that are being "pushed" by the voltage source

Generally in circuit diagrams the flow of current through the circuit usually has an arrow associated with the symbol, I, or lowercase i to indicate the actual direction of the current flow. However, this arrow usually indicates the direction of conventional current flow and not necessarily the direction of the actual flow.



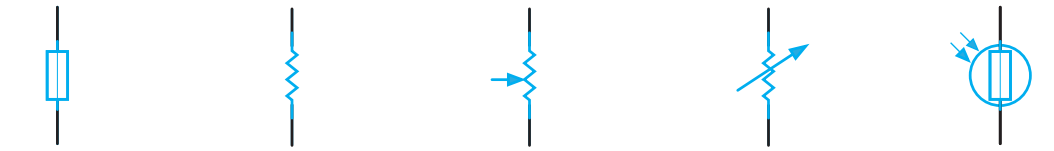
The flow of electrons around the circuit is opposite to the direction of the conventional current flow being negative to positive. The actual current flowing in an electrical circuit is composed of electrons that flow from the negative pole of the battery (the cathode) and return back to the positive pole (the anode) of the battery.

This is because the charge on an electron is negative by definition and so is attracted to the positive terminal. This flow of electrons is called **Electron Current Flow**. Therefore, electrons actually flow around a circuit from the negative terminal to the positive.

Current is measured in Amps and an amp or ampere is defined as the number of electrons or charge passing a certain point in the circuit in one second.

Resistance, (R) is the capacity of a material to resist or prevent the flow of current or, more specifically, the flow of electric charge within a circuit. The circuit element which does this perfectly is called the "Resistor".

Resistance is a circuit element measured in Ohms, Greek symbol (Ω, Omega) with prefixes used to denote Kilo-ohms ($k\Omega = 10^3\Omega$) and Mega-ohms ($M\Omega = 10^6\Omega$). Note that resistance cannot be negative in value only positive.

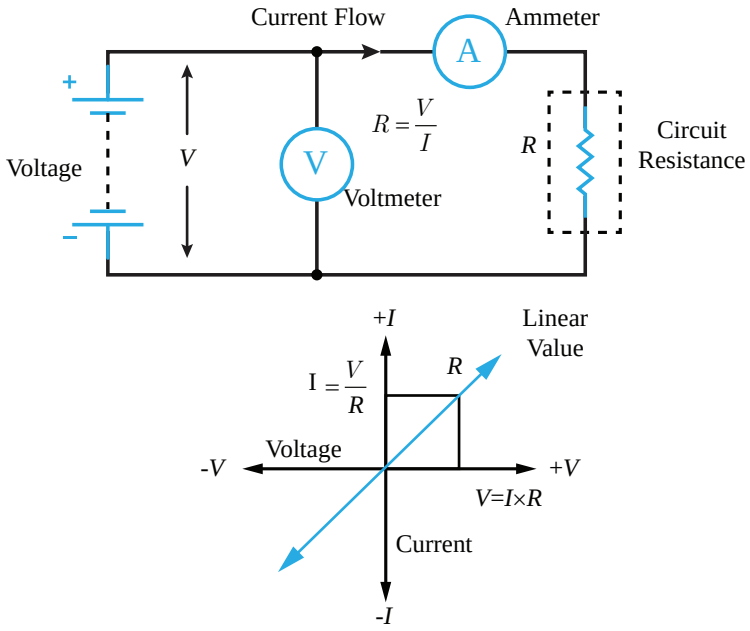


Fixed Value Resistor (IEC Symbol) | Fixed Value Resistor (IEEE Symbol) | Variable Resistor (Potentiometer) | Variable Resistor (Rheostat) | (LDR) Light Dependant Resistor

Resistor Symbols

The amount of resistance a resistor has is determined by the relationship of the current through it to the voltage across it which determines whether the circuit element is a "good conductor" ـ low resistance, or a "bad conductor" ـ high resistance. Low resistance, for example 1Ω or less implies that the circuit is a good conductor made from materials such as copper, aluminium or carbon while a high resistance, 1MΩ or more implies the circuit is a bad conductor made from insulating materials such as glass, porcelain or plastic.

The relationship between Voltage, (v) and Current, (i) in a circuit of constant Resistance, (R) would produce a straight line i-v relationship with slope equal to the value of the resistance as shown.



Voltage, Current and Resistance Summary

Hopefully by now you should have some idea of how electrical Voltage, Current and

Resistance are closely related together. The relationship between **Voltage, Current** and **Resistance** forms the basis of Ohm's law. In a linear circuit of fixed resistance, if we increase the voltage, the current goes up, and similarly, if we decrease the voltage, the current goes down. This means that if the voltage is high the current is high, and if the voltage is low the current is low.
Likewise, if we increase the resistance, the current goes down for a given voltage and if we decrease the resistance the current goes up.

A. read each statement and decide whether it is true or false.
Write T befor true statement and F before false statements.
……. 1_ Neutrons have positive and negative electrical charges.
……. 2 _ Voltage that varies periodically with time is called an DC voltage.
……. 3_ Electrons flow from the negative (-ve) terminal to the positive (+ve) terminal of the supply.
……. 4_ We decrease the resistance the current goes up.
……..5_ For ease of circuit understanding conventional current flow assumes that the current flows
from the negative to the positive terminal.
……..6_ Current is measured in Amps and an amp or ampere is defined as the number of protons.





B. Answer the following questions orally.

1_ when atom is stable?
2 _ what is a voltage drop?
3_ How does the current and resistance change, when voltage rises?
4_ what is the resistance?
5_ how does the electrical flow change with the change resistance?

C. Please define the words according to the text.
Voltage ……

Electrical Current: .....

Electron Flow: .....

Resistance: .....

Potential Difference: .....

Read and practice and translate to Persian — ترجمه کنید

What Does an Electrician Need to Do the Job?

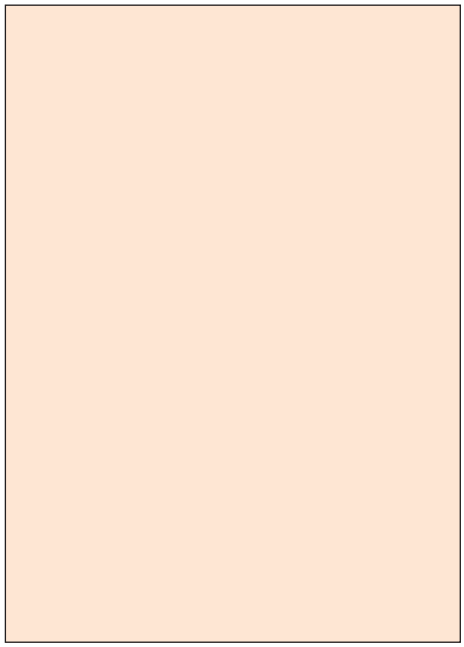
Manual uses many tools on his job. A few of these are screwdrivers, knives, pliers, and wire cutters. Electricians' tools have special insulation on them. This means they have a coating that prevents Manuel from getting hurt by the electricity.

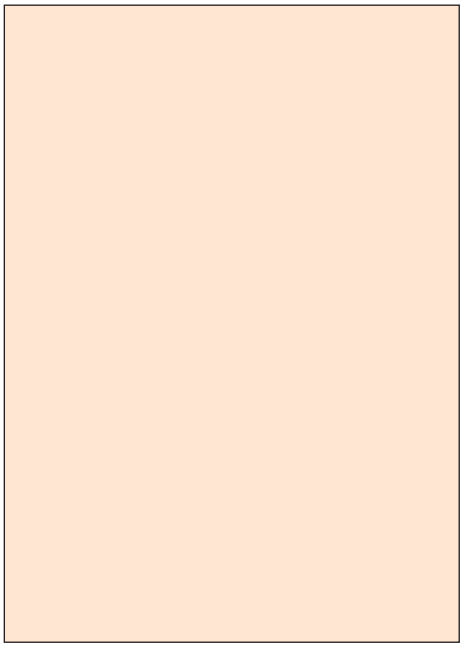
Think of all the things in a home that use electricity. It takes a lot of electrical power to make all of those things work. Homes with electricity depend on **circuit breakers.**

Where Does an Electrician Work?

Electricians work in many different places. Manuel works with electricity where people are building new businesses. These are called commercial buildings. He also works in new homes that are being built.

Other electricians work in maintenance. Has a big storm ever stopped the electricity in your neighborhood? A maintenance electrician probably fixed the power lines to bring back the electricity.



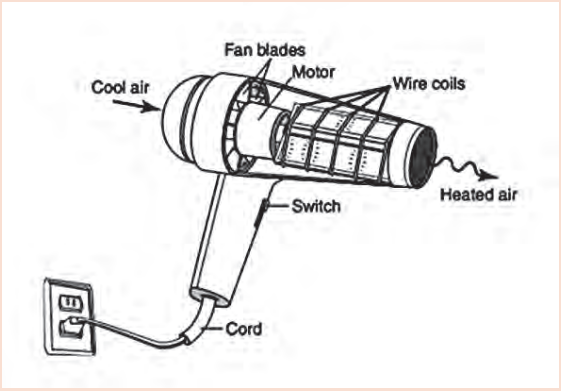


Activity

فعالیت

a. Determine the Persian equivalents of the following technical terms and write them.

Hair dryer



b. Write the words that mean the same under the picture where they belong.

Screw driver	Pliers	Toolbox
Wire cutter	Nose pliers	Mains tester













۲ـ۵ـ ولتاژ متناوب و مستقیم (نیمه‌تجویزی)

مقدمه

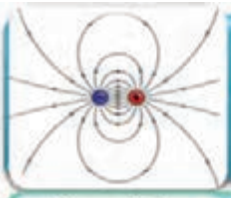
the magnetic field

As you can see by the attraction and repulsion of the magnetic poles. there are forces coming out of the magnetic poles to cause those actions. But the actions do not only take Place at the poles. The magnetic force actually surrounds the magnet in a field. This can be seen when a compass is moved around the bar magnet. In each position around the barmagnet, one end of the compass needle will point to the opposite pole on the bar.



The compass shows how the magnetic force surrounds a magnet

The compass can also be used to see how far the magnetic field extends away from the magnet. By withedrawing the compass slowly, you will reach a point where the compass needle is no longer affected by the magnetic field of the magnet, but will again be attracted by the earth's north magnetic pole.



Magnetic field

- a region of space near a magnet, electric current, or moving charged particle in which a magnetic force acts on any other magnet, electric current, or moving charged particle.



Magnetic flux

- A measure of the quantity of magnetism, being the total nu mber of magnetic lines of force passing through a specified area in a magnetic field.



Magnetic Core

- A **magnetic core** is a piece of magnetic material with a high magnetic permeability used to confine and guide magnetic guide magnetic fields in electrical, electromechanical and magnetic devices .



Winding

- One or more turns of wire forming a continuous coil through which an electric current can pass, as used in transformers, generators, etc



Isolator

- A mechanical switching device used to isolate an electrical system or part of an electrical system



Fuse

- Electrical safety device that operates to provide over current protection of an electrical circuit.



Switch

- A mechanical device which is capable of making and breaking current under normal load conditions.

Conversation مکالمه

A: Hello Friends. Welcome in Iran Transfo Company.
Today we are visiting transformer production line and talking about transformer. Ask any question.
B: What is a transformer?
A: The transformer is an electromagnetic static device, which is used to transfer the electrical energy from one level to another level without changing the frequency. It can increase or decrease the voltage with the corresponding decrease and increase in current keeping the power of transformation as same. A transformer can change high voltage to low voltage and low voltage to high voltage but in both cases the frequency remains unchanged.
C: Excuse me, Transformer consists of what parts?



A: As you see, the transformer consists of an iron core, with two windings on it. These two windings are insulated to each other and to the iron core and there is no electrical connection between them. Thank you for good questions, Next question.



B: What kinds of basic Types of Transformers?
A: step up transformer, if a transformer changes low voltage to high voltage, it is known as the step up transformer.



Step down transformer, the transformer which changes the high voltage into low voltage is known as the step down transformer.
D: What types of connection are the transformer?
A: Three forms of connection are possible: Star, Delta and zig zag.
Well, now I'm asking a question. What is the function of the oil in a transformer?
Does anyone know why? No one has an opinion?
Ok, I tell you,
There are two function of oil in transformer,
Cooler and insulator.

Activity

فعالیت

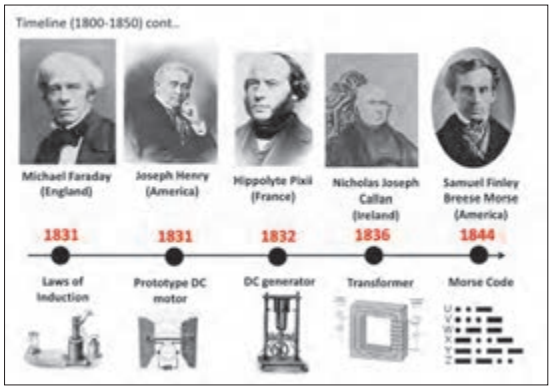
1_ Please research about Iran Transfo Company

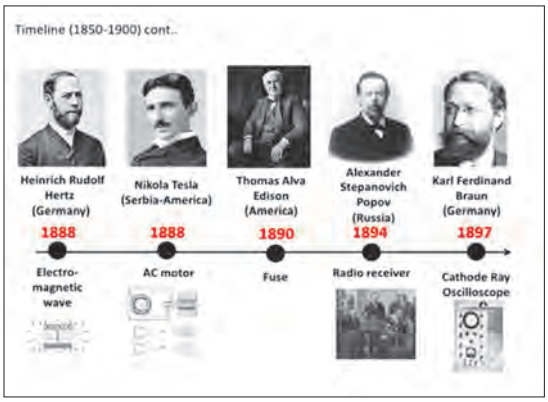


2 _ Please study what frequency transformer remains unchanged.

History تاریخچه

Magnetism was first discovered over 2000 years ago by the ancient Greeks when they noticed that a certain kind of stone was attracted to iron. Since this stone was first found in Magnesia in Asia Minor, the stone was called *Magnetite*. Later, when it was discovered that this stone would align itself north and south when suspended on a string, it was referred to as the leading stone or Lodestone. Lodestone, therefore, is a natural magnet that attract magnetic materials.





Reading درک مطلب



The most famous of the three visionary men, Edison, developed the world's first practical light bulb in the late 1870s, then began building a system for producing and distributing electricity so businesses and homes could use his new invention. He opened his first power plant, in New York City, in 1882. Two years later, Tesla, a young Serbian engineer, immigrated to America and went to work for Edison. Tesla helped improve Edison's DC

generators while also attempting to interest his boss in an AC motor he'd been developing; however, the Wizard of Menlo Park, a firm supporter of DC, claimed AC had no future. Tesla quit his job in 1885 and a few years later received a number of patents for his AC technology. In 1888, he sold his patents to industrialist George Westinghouse, whose Westinghouse Electric Company had quickly become an Edison competitor.

Read and practice and translate the Persian — ترجمه کنید و پاسخ دهید

DC vs. AC

Direct current (DC) electricity comes from sources such as batteries, photovoltaic (PV) modules, and DC generators. DC voltage doesn't change polarity—the positive pole always has a positive voltage with respect to the negative pole. Since charges flow from a higher potential (voltage) to a lower potential, DC provides a constant, unidirectional flow.

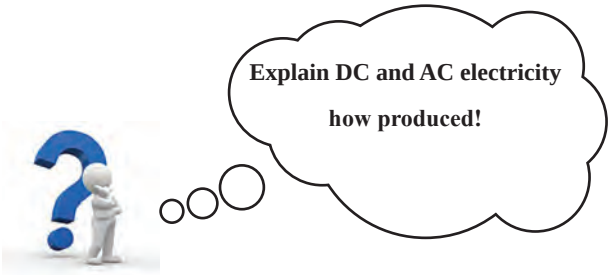
Alternating current (AC) electricity is produced from rotating generators and can now be synthesized by inverters and variable-speed motor drives. The familiar AC voltage takes the form of a sine wave, with the voltage's magnitude constantly changing and reversing polarity. The current also changes constantly and reverses direction each cycle. (For more information about AC and DC electricity, see the two-part article in *HP52* and *HP53*, "Basics of Alternating Current Electricity," and *Word Power* in *HP85* and *HP86*.)

How DC & AC Generators Work

Both DC and AC generators use Faraday's principle of induction, which says that when a conductor moves through a magnetic field, a voltage is induced. A rotating loop of wire (armature) cuts and stretches the magnetic lines of force, as the conductors pass the field face, generating voltage.

At other times during the rotation, when the loop is traveling parallel to the magnetic lines of force, no voltage is generated. The polarity of the voltage induced in the left and right segments depends on whether they are traveling down through the field, and then traveling up a half-turn later. With each rotation, the voltage reverses, generating one cycle of AC.

When scientists first sought to generate electricity from machines, they wanted the same steady flow that batteries provided. American blacksmith Thomas Davenport invented the commutator, a mechanical device to make an alternator's current unidirectional. The commutator acts like a high-speed switch, switching the load just as the generator's voltage drops to zero, ensuring that the load's current and voltage do not reverse. Practical DC generators use many armature windings and commutator segments to minimize ripple in the output voltage.


Explain DC and AC electricity how produced!



- -
- -
- -
- -
- -

How is generating one cycle of AC?

……

What is a commutator?

……

How to minimize ripple in the DC generator output voltage?

……

How flow charges in DC voltage?



A. read each statement and decided whether it is true or false. Write T before true statement and F before false statements.

……. 1_ Just DC generators use Faraday's principle of induction.

……. 2_ AC electricity can now be synthesized by invertors and fix-speed motor drive.

……. 3_ In DC voltage, the positive pole always has a positive voltage with respect to the negative pole.

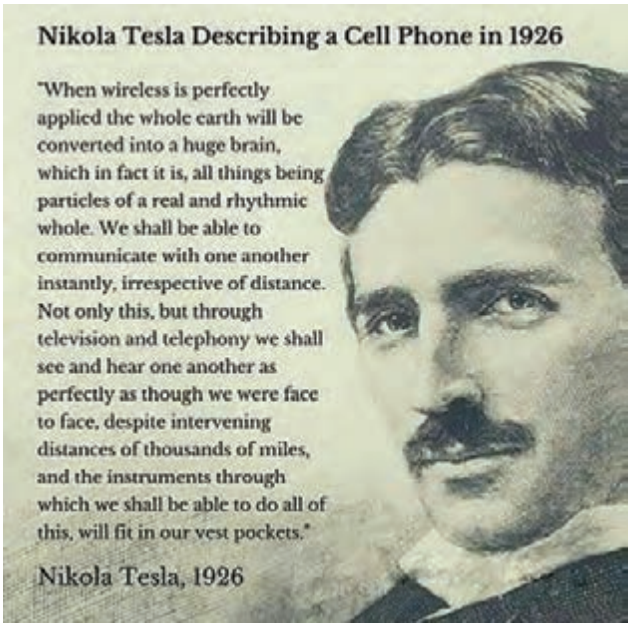
……. 4_ AC voltage takes the form of sine wave.

……..5_ when the conductor moves through a magnetic field, voltage is induced.

B. See the movie.



C. What was the invention of Tesla?



D. Read and practice and write summary of the text.

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

Transformer nameplates — پلاک ترانسفورماتور

Transformer nameplates contain several standard items of information and other optional information. Transformer nameplate must specify the following parameters:

- Volt_Ampere (VA) or kilovolt_amperes (kVA) rating
- The voltage rating of both the primary and secondary circuits

- The impedance rating of the transformer (normally restricted to 25 kVA or larger)
- The required clearances for transformers with ventilated openings
- The amount and kind of insulating liquid where used.
- On dry_type transformers (no liquid coolant or insulation), the nameplate listing must also include the class temperature rating of the winding insulation.

Other items that may be on the nameplate include the number of phases, a Wiring diagram, and tap_changing information.

Transformer Nameplate Information

Following are the key information which are provided on the transformer nameplate from the manufacturer.

Serial number	Number of phases
Frequency	Voltage rating
kVA Rating	Temperature Rise
Polarity	Percentage Impedance
Connection Diagram	Name of Manufacturer
Type of insulating liquid	Conductor Material for each Winding
Basic Insulation Level (BIL)	Total Weight (kg)

Transformer kVA Rating

The nameplate always indicates the size of the transformer in terms of how much apparent power (rated kVA) it is designed to deliver to the load on a continuous basis. By its very nature, the transformer will have more than one rated voltage, depending on which side we are looking at and how many windings there are on that side.

Transformer Voltage Ratings

The following is a list of some conventions for specifying transformer voltage ratings:

U_W

The dash between the voltages U and W indicates they are on different sides of the transformer. For example 480_120 tells us the primary winding is rated 480 V and the secondary is rated 120 V.

U/W

The slash indicates the two voltages are from the same winding and that both voltages are available;

1_ g., 120/240 can indicate a 240 volt winding with a center tap.

U×W

The cross indicates a two-part winding that can be connected in series or parallel to give higher voltage or current, respectively. Only one voltage is available at a time; e.g., 120×40 indicates the transformer can operate at 120 V or 240 V, but not both simultaneously.

U Y/W

The Y indicates a three-phase winding connected in a wye configuration. The first letter (U) is the line voltage and the second letter (W) is the phase voltage (line to neutral). Clearly, U=$\sqrt{3}$ W. Examples include 208Y/ 120 and 480Y/277.

Transformer Rated Frequency

The rated frequency will also be indicated on the nameplate (usually 60 Hz for the United States). Operating the transformer at a lower frequency will increase the core flux unless the voltage is reduced, this could cause magnetic saturation of the core and overheating due to increased hysteresis and eddy current losses.

Maximum Temperature Rise

The maximum allowable temperature rise for the transformer is also shown on the nameplate and is based on an assumed ambient temperature of 30°C.

Insulation Class

The insulation class indicates the type of transformer insulation.

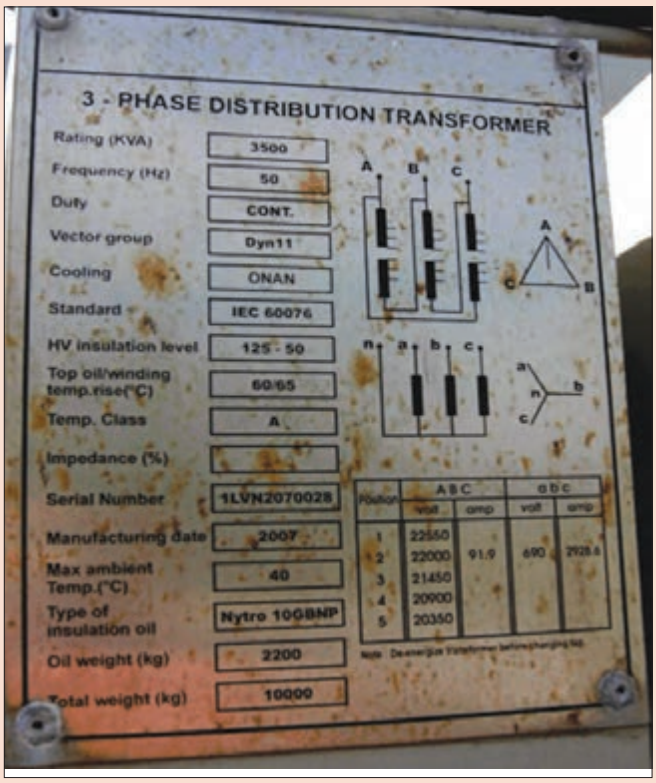
Transformer Percentage Impedance

Percent impedance is a representation of the impedance of the windings referred to one side of the transformer. This number is the percentage of rated voltage that must be applied to the high side to cause rated current on the low side when the low side is shorted.

Activity

فعالیت

3_ Write the parameters from the Transformer nameplate.



Serial number …….	Number of phases……..
Frequency…….	Voltage rating……..
kVA Rating……	Temperature Rise…….
Polarity…….	Percentage Impedance…….
Connection Diagram……	Name of Manufacturer……..
Type of insulating liquid……..	Conductor Material for each Winding
Basic Insulation Level (BIL)	Total Weight (kg)

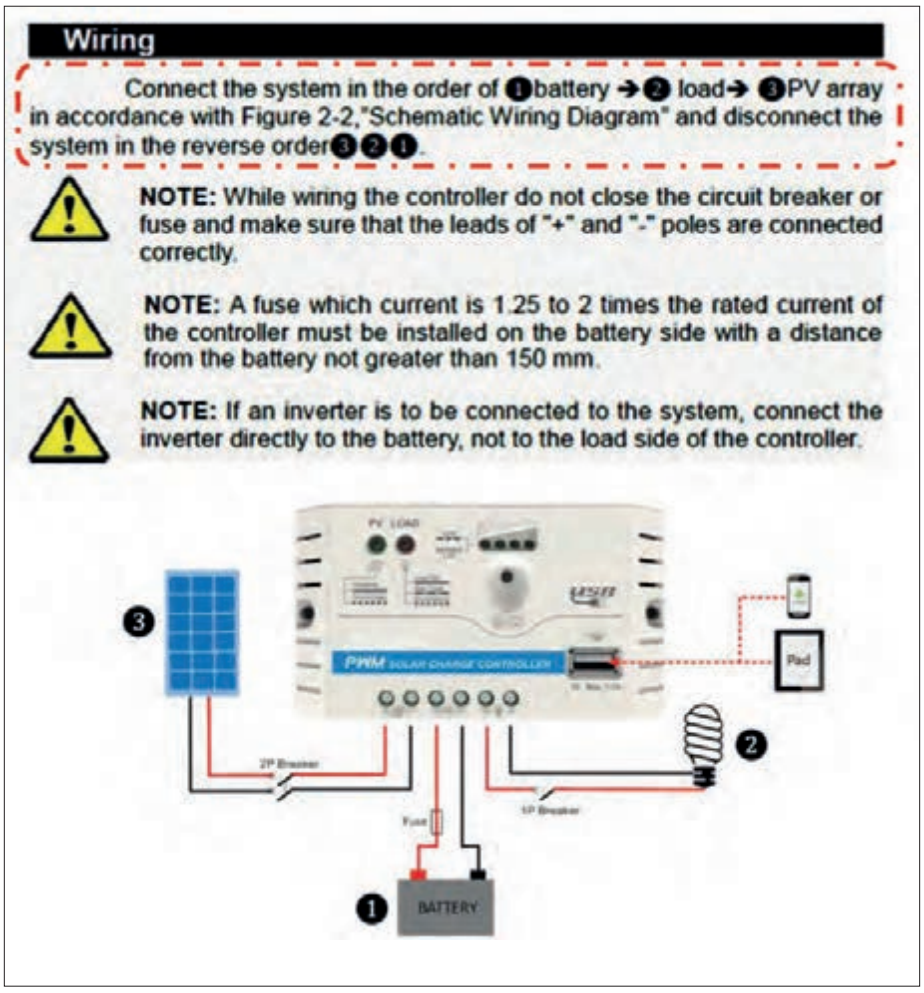
۳ـ۵ـ انواع کاتالوگ (kinds of Catalogue)

مقدمه

For the optimal use of a device, the first step is to study the catalogue of that device. In the catalogues, information and technical specifications, safety and maintenance as well as how to install and operate the device is well described.

By studying the catalogue, the electrician gets to knowdifferent parts of the device, functions and suitable use. Also, depending on the type of device, the risks and warnings are also expressed in catalogue.

In electrical device, catalogues have a several types, typically such as Labels, nameplates, User manual or User guides, Data sheets and folded catalogues. For example, the part of solar charge controller Data sheet is shown. In this part wiring is shown, Step by step explain wiring and components connecting the system.



تعاریف واژگان تخصصی (word Study)

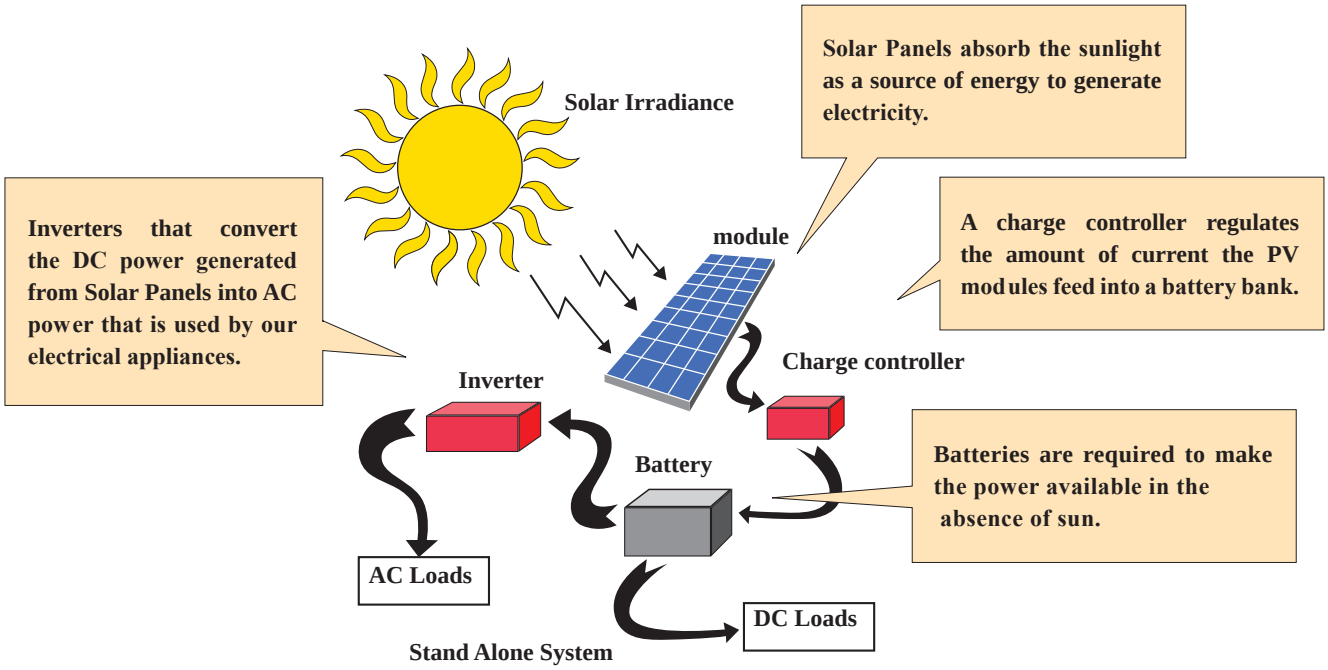


Conversation مکالمه

We go to Bandar Abbas.We go to Ms. Mohamadi's house.She is one of the successful entrepreneurs in Iran.



Reporter: How are you? Please explain about your work.
Ms. Mohamadi: I have set up a photovoltaic system. The system generates electricity from solar energy.
Reporter: Great!How much do you earn from this system every month?
Ms. Mohamadi: About 750/000 to 800/000 Toman.The company distributes electric ity, per kilowatt hour of electricity generated 832Toman buys.
Reporter: What is the power generation capacity of the system?
Ms. Mohamadi: The installed photovoltaic system capacity is 5 kilowattes. Annually produces 9000kwh of electricty.
Reporter: What is the cost of purchasing and installing this system?
Ms. Mohamadi: The cost of this system about 25 milion to 27 milion.
Reporter: Well, then, the first few years of this system is not profitable. It is true?
Ms. Mohamadi:Yes, the life of solar systems is 20 years. The first four years are the return of capital and the next 16 years of profitability.
Reporter: What is a solar system components?
Ms. Mohamadi: For installation a solar system, we need the following components: Solar Panel, Controller charge, Battery, Inverter.
Reporter: Please give us a brief description of each component.
Ms.Mohamadi: ok,



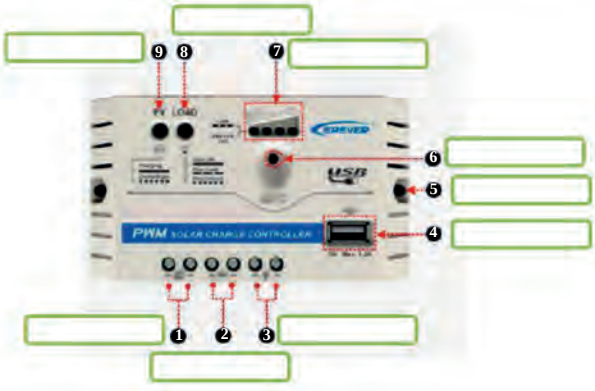
Reporter:Thank you, we wish you more success and progress in your work.

Activity

فعالیت

The parts of charge controller catalogue are shown. Determine the Persian equivalents of the following technical termsand write them.

❶	PV Terminals	❻	Load Switch Button
❷	Battery Terminals	❼	Battery status LED indicator
❸	Load Terminals	❽	Load status LED indicator
❹	USB output interface (LS E series only)	❾	Charging status LED indicator
❺	Mounting Hole Φ4.5		



Activity

فعالیت

Please study a Inverter catalogue and translate important section.

History



The term ‘horse power’ is largely credited to James Watt, in the late 1700s. Watt was a Scottish engineer who invented a number of improvements to steam engines, which he then (in partnership) began to manufacture and sell (the first units going into service in 1776).

Most of Watt’s potential clients were using horses, so he soon found that in order to market his engines, he needed to express the power of his engines in terms of how many horses a given engine would replace. For this purpose, he first calculated the average power of a horse, which he termed ‘horsepower’. He then specified for each of his engines how much ‘horsepower’ it had (i.e. of how many horses it had the equivalent power of). Due to the success of his steam engine business, the term ‘horsepower’ came to be recognized. His competitors and other machine manufacturers copied his approach, also expressing the power of their engines in ‘horsepower’, which resulted in it becoming a standard measure of power.

Activity

فعالیت

Convert horsepower to kilowatts in the table.

Electrical horsepower to kilowatts

This is the type of horsepower used for electrical engines. Each unit of

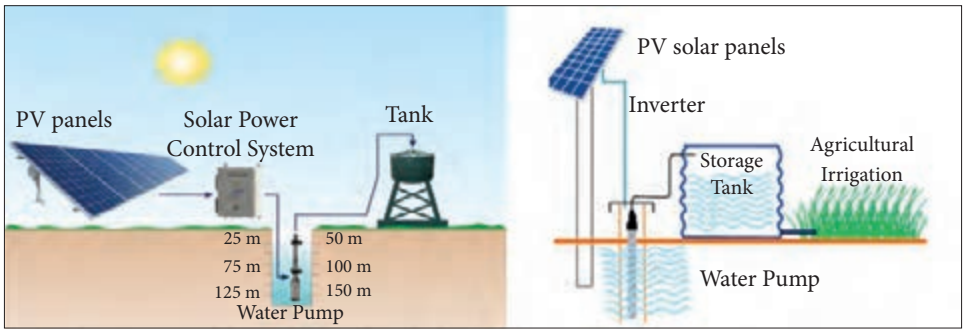
electrical horsepower is equal to exactly 746 watts or 0.746kw.
1 hp(E) = 746 W = 0.746 kW
So the power conversion of horsepower to kilowatts is given by:
P(kw) = 0.746 . P(hp)

hp (horse power)	kw (kilo watt)
5	
10	
15	
20	
30	

Reading

Solar Water Pumping System for Agriculture

One of the major problems common agricultural pumps to extract water from agricultural fields, far from the global grid electricity.
On the other hand, the high cost of power transmission and maintenance of power distribution lines, and the cost of purchasing diesel generators and their fuel and maintenance has led to the use of solar pumps is an appropriate solution to replace the stated cases.
Lower maintenance costs, longer life and, most importantly, the cost of free source solar system water pumps increase its cost_effectiveness.
Solar pumps essentially are a collection of solar PV panels, AC or DC pumps and the associated electronics that have been optimized for high efficiency operations.
These pumps when maintained well last for more than 15 years on the field.
Anillustrative diagram and an operational pump_set are shown below.
Solar pumps are divided into two groups of direct and alternating current. Because the output voltage of the solar module is Direct, direct current pumps are more common. Certainly, the ability of pumps is less than that of alternating current pumps.
Generally, solar electropumps can be used for permanent magnetic electromotors up to 13

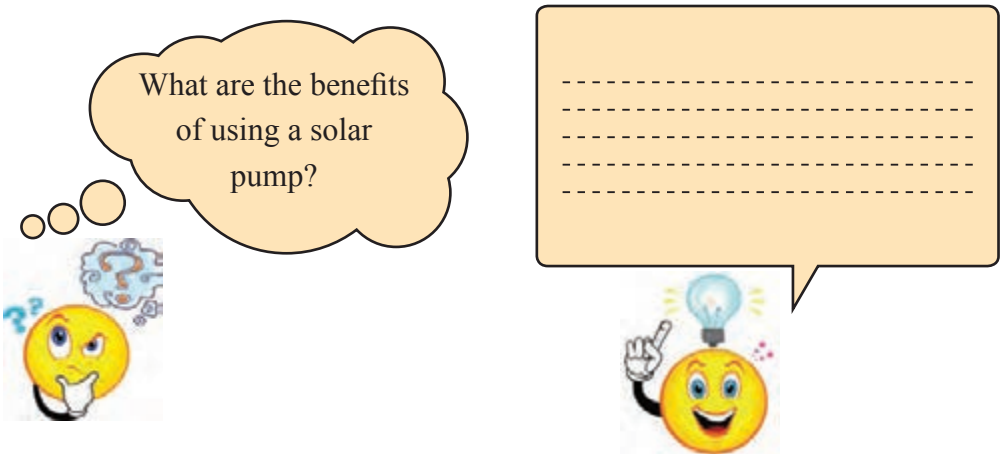


horsepower, and for conventional 3 to 10 horsepower electric motors.
If used with alternating electropumps, this power will be higher than 10 horsepower. But, in this last model, you should use a direct voltage converter to the alternating voltage (inverter). Although the price of an alternating electromotor is cheaper than direct, the price of the converter will also be expensive.

A. read each statement and decided whether it is true or false. Write T before true statement and F before false statements.

……. 1_ Solar system water pumps have a short life and expensive maintenance cost.
……. 2 _ These pumps when maintained well last for more than 25 years on the field.
……. 3_ The ability of direct current pumps is less than that of alternating current pumps.
……. 4_ In this AC electropump, you should use a direct voltage converter to the alternating voltage.
……..5_ The price of adirectelectromotor is cheaper than alternating electropump.
……..6_ In the ACelectromotor, the price ofinverter will be so expensive.

B. Please answer the questions.



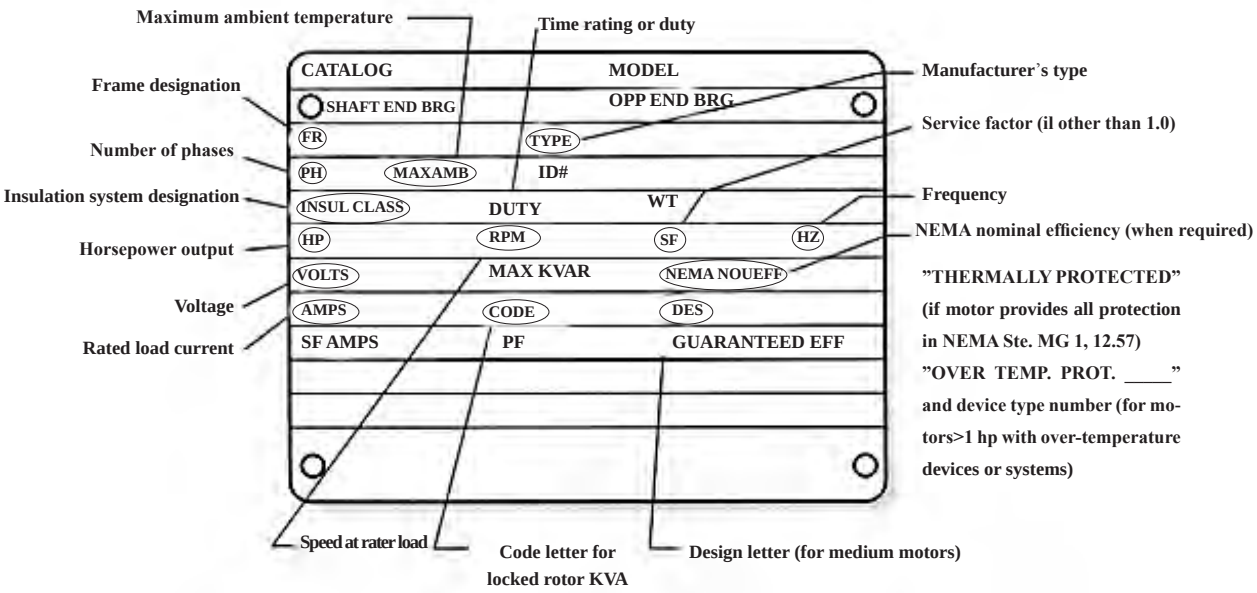
What types of solar pumps are there?	----------
Which type of solar pumps is more common?	----------
What type of solar pump is economically better? Why?	----------
Which pump is used with inverter?	----------



C. See the movie.

پلاک موتورالکتریکی (Electromotor nameplate)

Motor nameplate is normally located on all produced electric motors.
Understanding nameplate information can be hard sometimes, but is essential. In most countries it is a requirement for manufacturers to display all information on the motor's nameplate, but often this is not the case.
many Essential Information Found On Motor's Nameplate:



For example, explained important items input in Nameplate.

Voltage

This data tells you **at which voltage the motor is made to operate**. Nameplate-defined parameters for the motor such as power factor, efficiency, torque and current are at rated voltage and frequency. When the motor is used at other voltages than the voltage indicated on the nameplate, its performance will be affected.

Frequency

Usually for motors, **the input frequency is 50 or 60 Hz**. If more than one frequency is marked on the nameplate, then other parameters that will differ at different input frequencies have to be indicated on the nameplate as well.

Type

Some manufacturers use type to define the motor as single_phase or poly_phase, single_phase or multi _speed or by type of construction. **Nevertheless, there are no industry standards for type**.

Power factor

Power factor is indicated on the nameplate as either **"PF" or "P .F" or cos φ** . Power factor is an expression of the ratio of active power (W) to apparent power (VA) expressed as a percentage.

Numerically expressed, power factor is equal to cosine of the angle of lag of the input current with respect to its voltage.

The motor's nameplate provides you with the **power factor for the motor at fullload.**

Enclosure

Enclosure classifies a motor as to its degree of protection from its environment and its method of cooling. Enclosure is shown as **IP or ENCL** on the nameplate.

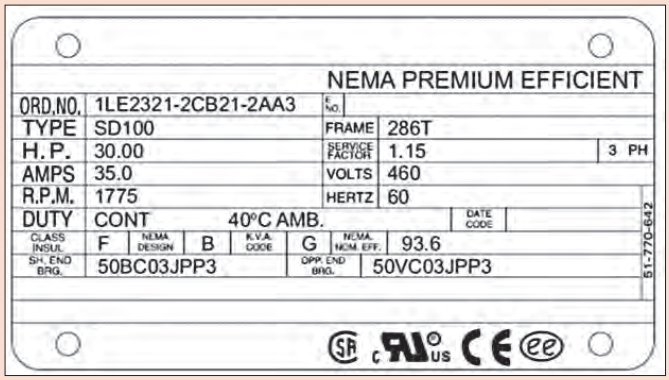
kW or horsepower

kW or horsepower (HP) is an expression of the motor's mechanical output rating ـ that is it's ability to deliver the torque needed for the load at rated speed.

Activity

فعالیت

Write the parameters from the motor's nameplate



Voltage :……

Frequency: ……..

Type: ……

Power factor: ……

Enclosure : ……

kW or horsepower : ……

منحنی مشخصه کلید خودکار مینیاتوری (MCB)

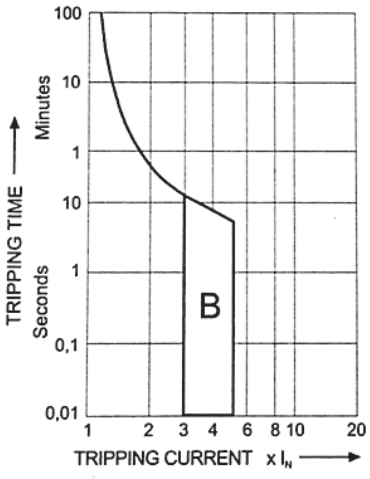
MCB or miniature circuit breakers are electromechanical devices which protect an electric circuit from an overcurrent.

Miniature Circuit Breakers (MCBs) — Tripping Characteristics

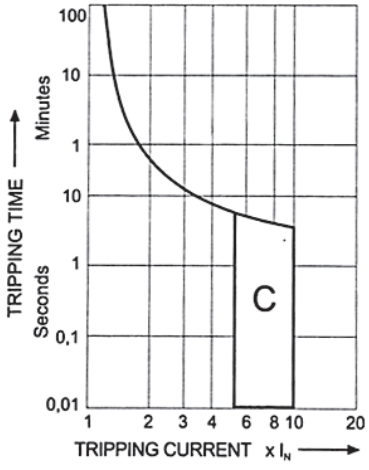
Characteristics according to IEC/EN 60898.

- B . . . . . Quick-acting, for household applications
- C . . . . . Slow-acting, for applications with high starting currents (e.g. motors)
- D . . . . . Very slow-acting, for industrial applications like motors for compressors and pumps

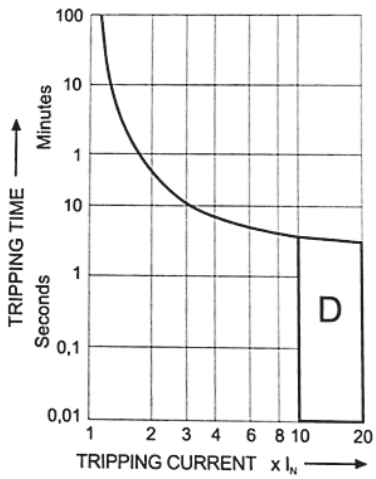
Tripping Characteristic B



Tripping Characteristic C



Tripping Characteristic D



Now, fill the blank according to the curves.

Type C MCB trips between …….. times full load current.

Type B MCB trips between …….. times full load current.

Activity

فعالیت

Please search and study about application of each kinds of MCBs.

ارزشیابی مبتنی بر شایستگی پودمان کسب اطلاعات فنی (زبان فنی)

استاندارد ارزشیابی پیشرفت تحصیلی مبتنی بر شایستگی درس دانش فنی تخصصی الکتروتکنیک					
عنوان پودمان	تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج مورد انتظار	شاخص تحقیق	نمره
پودمان ۵	کسب اطلاعات فنی (زبان فنی)	درک متون فنی انگلیسی پودمان زبان فنی ـ برگردان متون فنی انگلیسی پودمان به فارسی ـ درک و تفسیر کاتالوگ فنی انگلیسی پودمان ـ برگردان کاتالوگ فنی انگلیسی پودمان به فارسی	بالاتر از حد انتظار	از کل سؤالات به هفت تا ده سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد.	۳
			در حد انتظار	از کل سؤالات به شش سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد.	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	از کل سؤالات به یک تا پنج سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد.	۱
	نمره مستمر از ۵				
	نمره شایستگی پودمان				
	نمره پودمان از ۲۰				

هدف‌گذاری و سنجش:

برای کسب شایستگی در این پودمان اگر هنرجو:

از کل سؤالات به یک تا پنج سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد شایستگی پایین‌تر از حد انتظار خواهد بود.

از کل سؤالات به شش سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد شایستگی در حد انتظار خواهد بود.

از کل سؤالات به هفت تا ده سؤال به‌طور کامل پاسخ دهد شایستگی بالاتر از حد انتظار خواهد بود.

توجه: سؤالات ارائه شده همگی هم‌ارزش بوده و در سطح یادگیری در حد انتظار است. معیار ارزشیابی نتیجه‌محور است.

سؤال ۱ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۲ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۳ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۴ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۵ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۶ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۷ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۸ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۹ـ ..... (۲ نمره)

سؤال ۱۰ـ ..... (۲ نمره)

منابع و مآخذ

۱ـ برنامه درسی درس دانش فنی تخصصی رشته الکتروتکنیک، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، ۱۳۹۴
۲ـ مبانی ماشین‌های الکتریکی، پ.س.سن، مهرداد عابدی و محمد تقی نبوی، نشر بصیر
۳ـ مدارهای الکتریکی، سری سوم
۴ـ قطعات و مدارات الکترونیک، نشلسکی اشتاد، قدرت سپید نام و...، نشر خراسان، ۱۳۷۸
۵ـ کاتالوگ‌ها ودستورالعمل بهره‌برداری اینورتر، ولت‌متر و تجهیزات فتوولتاییک
۶ـ الکترونیک صنعتی، لندر سریل، معتمدی‌نژاد و...، نشر خراسان، ۱۳۷۵
۷ـ متون وکتاب‌های فنی برق به زبان انگلیسی
۸ـ محصولات شرکت‌های داخلی سازنده ترانسفورماتور

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی جهت ایفای نقش خطیر خود در اجرای سند تحول بنیادین در آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران، مشارکت معلمان را به‌عنوان یک سیاست اجرایی مهم دنبال می‌کند. برای تحقق این امر در اقدامی نوآورانه سامانه تعاملی بر خط اعتبارسنجی کتاب‌های درسی راه‌اندازی شد تا با دریافت نظرات معلمان دربارهٔ کتاب‌های درسی نونگاشت، کتاب‌های درسی را در اولین سال چاپ، با کمترین اشکال به دانش‌آموزان و معلمان ارجمند تقدیم نماید. در انجام مطلوب این فرایند، همکاران گروه تحلیل محتوای آموزشی و پرورشی استان‌ها، گروه‌های آموزشی و دبیرخانهٔ راهبری دروس و مدیریت محترم پروژه آقای محسن باهو نقش سازنده‌ای را بر عهده داشتند. ضمن ارج نهادن به تلاش تمامی این همکاران، اسامی دبیران و هنرآموزانی که تلاش مضاعفی را در این زمینه داشته و با ارائهٔ نظرات خود سازمان را در بهبود محتوای این کتاب یاری کرده‌اند به شرح زیر اعلام می‌شود.

اسامی دبیران و هنرآموزان شرکت کننده در اعتبارسنجی کتاب دانش فنی تخصصی رشته الکتروتکنیک کد ۲۱۲۲۶۳

ردیف	نام و نام خانوادگی	استان محل خدمت	ردیف	نام و نام خانوادگی	استان محل خدمت
۱	سید محمد هاشم آبادی	خراسان رضوی	۱۴	رحیم اسعدی	آذربایجان غربی
۲	فتح اله مرادپور	مرکزی	۱۵	مهدی حامد یوسفیان	خراسان رضوی
۳	محمدصادق صدیقی	شهر تهران	۱۶	سینا جوادی مهریزی	یزد
۴	هادی بیدختی	خراسان جنوبی	۱۷	مصطفی حقمرادی نیا	همدان
۵	مصطفی پروین	سیستان وبلوچستان	۱۸	رفیع نبوی	اردبیل
۶	ابوالفضل طالبیان	اصفهان	۱۹	وحید زمانی	کرمان
۷	ولی الله عباسی	سمنان	۲۰	امین احراری	خراسان جنوبی
۸	حسین علی قاسمی دشتی	قم	۲۱	علی نوذری	خوزستان
۹	احمد مرادقلی	سیستان وبلوچستان	۲۲	محمد خیجی	گلستان
۱۰	خیراله رحمانی	قزوین	۲۳	مسعود فلاح	گیلان
۱۱	وحید ذاکری بنوبندی	هرمزگان	۲۴	رضا پورمراد	آذربایجان شرقی
۱۲	محمد کاظمی	مازندران	۲۵	حمید چراغیان	ایلام
۱۳	بهمن علیقلی زاده	اردبیل			

هنرآموزان محترم، هنرجویان عزیز و اولیای آنان می‌توانند نظر اصلاحی خود را درباره مطالب کتاب‌های درسی از طریق سامانه «نظرسنجی از محتوای کتاب درسی» به نشانی «nazar.roshd.ir» یا نامه به نشانی تهران ـ صندوق پستی ۴۸۷۴ ـ ۱۵۸۷۵ ارسال کنند.

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

Www.IranEstekhdam.Ir

«لینک‌های مفید و مرتبط»

دانلود منابع آزمون استخدامی هنرآموز الکتروتکنیک (۱) و (۲)

خرید و دانلود

دانلود نمونه سوالات آزمون استخدامی هنرآموز الکتروتکنیک

خرید و دانلود

دانلود منابع آزمون استخدامی استادکار الکتروتکنیک

خرید و دانلود

دانلود نمونه سوالات عمومی و تخصصی استخدام آموزش و پرورش

خرید و دانلود

سرویس خصوصی خدمات عام المنفعه اخبار شغل و استخدام

Www.IranEstekhdam.Ir

خواننده گرامی؛ در جهت بهبود کیفیت این فایل؛ لطفاً هرگونه انتقاد و پیشنهاد خود در مورد مطالب آن

و یا گزارش مشکل را به آدرس ایمیل و یا با شماره تلفن زیر مطرح نمایید:

شماره تلفن تماس: ۰۲۱-۹۱۳۰۰۱۱۳ آدرس ایمیل: soal@iranestekhdam.ir