ایران عرضه
فروشگاه کالاهای دانلودی
IRANARZE.IR

جزوه خلاصه کتاب

دانش فنی – تخصصی الکتروتکنیک

پایه دوازدهم متوسطه (۲۱۲۲۶۳)

تالیف مهر ۱۴۰۲

توضیحات:

- هنرآموز برق (الکترونیک الکتروتکنیک مکاترونیک)
- ویژه آزمون آموزش و پرورش
- خلاصه شده در ۴۲ صفحه
- حیطه تخصصی

برای دانلود رایگان جدیدترین سوالات استخدامی هنرآموز برق، اینجا بزنید

برای دانلود رایگان مرجع این جزوه، کتاب دانش فنی - تخصصی دوازدهم اینجا بزنید

« انتشار یا استفاده غیر تجاری از این فایل، بدون حذف لوگوی ایران عرضه، مجاز می باشد »

@iranarze @iranarze

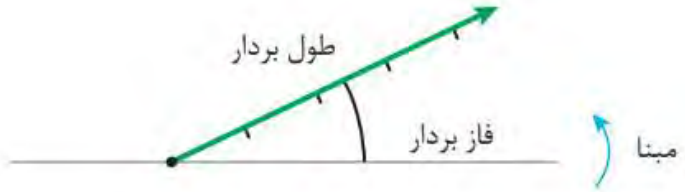
پودمان اول

تحلیل مدارهای الکتریکی

پس از پایان این پودمان هنرجویان قادر خواهند بود تحلیل برداری مدارهای الکتریکی متناوب تک فاز و سه فاز را انجام داده و مسائل مربوط به مدارات R_R، C_L و R_L_C سری را تجزیه و تحلیل کنند.

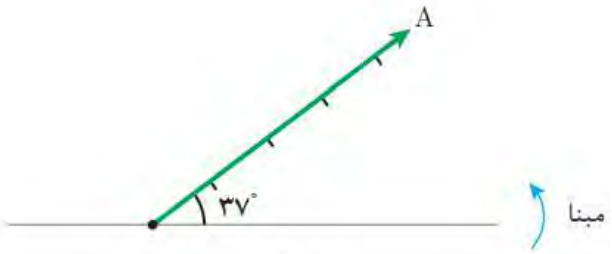
۱ -۱ بردار

بردار در تحلیل مدارهای الکتریکی برای نمایش کمیتهایی استفاده می شود که علاوه بر مقدار دارای موقعیت یا فاز نیز باشد. طول بردار نشان دهنده مقدار کمیت الکتریکی و زاویه بین بردار با مبنا بیانگر موقعیت یا فاز آن می باشد (شکل ۱).



شکل ۱

مبنا به طور معمول در تحلیل مدارهای الکتریکی خط افق اختیار می شود که در این صورت فاز آن صفر خواهد شد. علامت زاویه فاز در خلاف جهت حرکت عقربه های ساعت مثبت و در جهت حرکت عقربه های ساعت منفی می باشد. خلاف جهت حرکت عقربه های ساعت را «جهت مثلثاتی» گویند.



شکل ۲

نشان $\vec{A}$ برای معرفی برداری به نام A استفاده می شود و $\vec{A}$ به صورت "بردار A » خوانده می شود.

می توان $\vec{A}$ را به صورت $A = 5\angle 37^\circ$ نشان داد که این شیوه نوشتن را فرم قطبی گویند. در فرم قطبی علاوه بر اندازه بردار، زاویه بردار با مبنا نیز بیان می شود.

کمیت های الکتریکی متناوب نظیر ولتاژ، جریان و توان را نیز می توان با بردار نشان داد. ماکزیمم جریان و زاویه بردار تا مبنا، فاز جریان را نشان میدهد.

مثال:

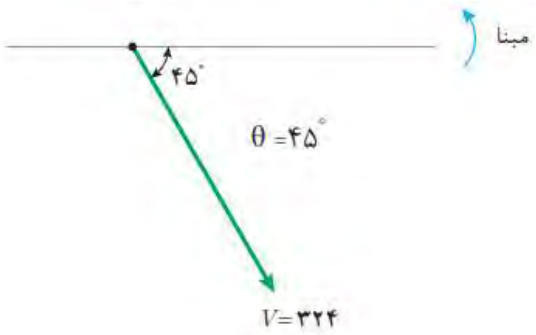
بردار ولتاژ متناوب سینوسی به معادله $v(t)= 324 \sin(1000t-45°)$ را رسم کنید و فرم قطبی آن را بنویسید.

حل:

فاز ولتاژ برابر است با $\theta_V = -۴۵^\circ$

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

ولتاژ متناوب سینوسی $v(t)$ به فرم قطبی به صورت $V=۳۲۴\angle -۴۵^\circ$ نوشته میشود. مقدار موثر ولتاژ برابر است با: $V=۳۲۴\angle -۴۵^\circ$



شکل ۵

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۳۲۴}{\sqrt{۲}} = ۲۳۱\,[V]$$

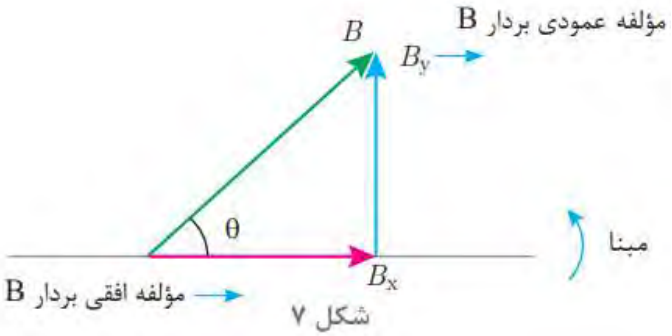
۲ـ۱ تجزیه بردار

تجزیه بردار برای به دست آوردن مؤلفه های افقی و عمودی بردار مایل استفاده می شود. هر بردار با توجه به فاز آن به سه صورت افقی، عمودی و مایل رسم می شود (شکل ۶).

شکل ۶

برای به دست آوردن مؤلفه های افقی و عمودیبردار مایل الزم است از ابتدای بردار به صورت افقی و عمودی به انتهای بردار حرکت کنیم تا به شکل مثلث قائم الزاویه ایجاد شود.

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



شکل ۷

مقادیر مؤلفه های افقی و عمودی از نسبت های مثلثاتی به صورت 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 قائم الزاویه بردارها، وتر مثلث قائم الزاویه برآیند مؤلفه های افقی و عمودی نامیده میشود.

مقدار ولتاژ برابر اندازه وتر است و از رابطه فیثاغورث به دست می آید . فاز ولتاژ برابر زاویه وتر تا مبنا می باشد و از نسبت های مثلثاتی قابل محاسبه است.

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

۳ـ۱ـ برآیند بردارها

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

الف) روش تحلیلی: روش تحلیلی برای جمع چندین بردار به کار میرود. در این روش هر یک از بردارهای مایل به مؤلفه های افقی و عمودی تجزیه می شود. از جمع جبری یکایک مؤلفه های افقی"مجموع مؤلفه های افقی " به دست می آید . با توجه به علامت به صورت افقی ترسیم خواهد شد. همچنین "مجموع مؤلفه های عمودی " که از جمع جبری تکتک مؤلفه های عمودی به دست می آید با توجه به علامت به صورت عمودی از انتهای "مجموع مؤلفه های افقی" ترسیم میشود.

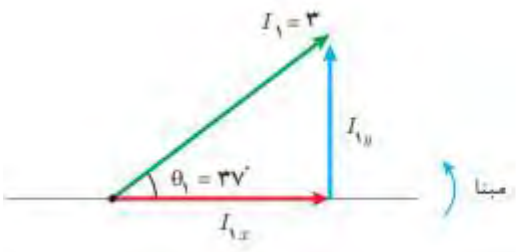
اکنون با وصل ابتدای «مجموع مؤلفه های افقی» به انتهای «مجموع مؤلفه های عمودی» وتر مثلث قائم الزاویه به دست می آید. وتر مثلث قائم الزاویه برآیند بردارها می باشد. برآیند بردارها جایگزین چندین بردار خواهد شد و از رابطه فیثاغورث به دست می آید .

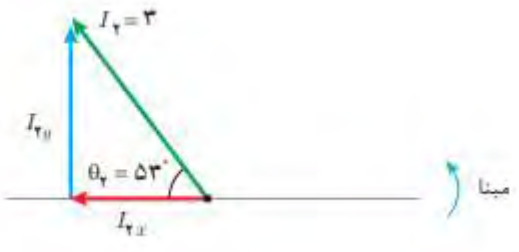
مثال:

برآیند بردارهای شکل زیر را به روش تحلیلی به دست آورید.

حل:

مؤلفه های افقی و عمودی بردارهای I_1 , I_2 مطابق شکل زیر ترسیم میشود.





مقادیر مؤلفه های افقی و عمودی محاسبه میشود.

$$I_{1x} = I_1 \cos\theta_1 = ۳\cos ۳۷^\circ = +۲/۴$$
$$I_{1y} = I_1 \sin\theta_1 = ۳\sin ۳۷^\circ = +۱/۸$$
$$I_{2x} = I_2 \cos\theta_2 = ۳\cos ۵۳^\circ = -۱/۸$$
$$I_{2y} = I_2 \sin\theta_2 = ۳\sin ۵۳^\circ = +۲/۴$$

علامت (+) بیانگر این است که مؤلفه ها در جهت محورهای دستگاه مختصات قرار دارند و علامت (-) بیانگر این است که مؤلفه ها در خالف جهت محورهای دستگاه مختصات قرار دارند.

"مجموع مؤلفه های عمودی " با I_x نشان داده شده است که از جمع جبری یکایک مؤلفه های افقی به دست می آید .

$$I_x = I_{1x} + I_{2x} = +۲/۴ + (-۱/۸) = +۰/۶$$

"مجموع مؤلفه های عمودی " با I_y نشان داده شده است که از جمع جبری یکایک مؤلفه های عمودی به دست می آید .

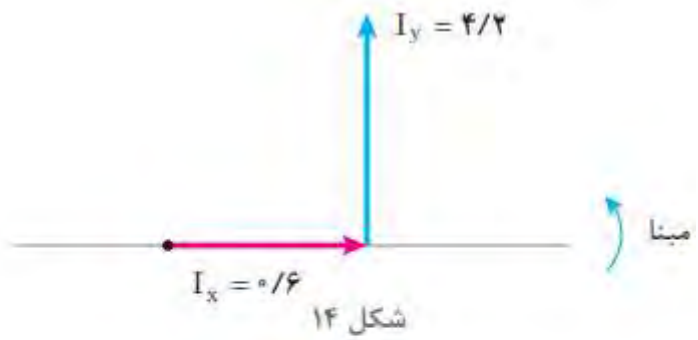
$$I_y = I_{1y} + I_{2y} = +۱/۸ + ۲/۴ = +۴/۲$$

I_x با توجه به علامت (+) به صورت افقی در جهت محور x دستگاه مختصات وI_y با با توجه به علامت (+) نیز به صورت عمودی در جهت محور y دستگاه مختصات از انتهای I_x ترسیم میشود. (شکل ۱۴)

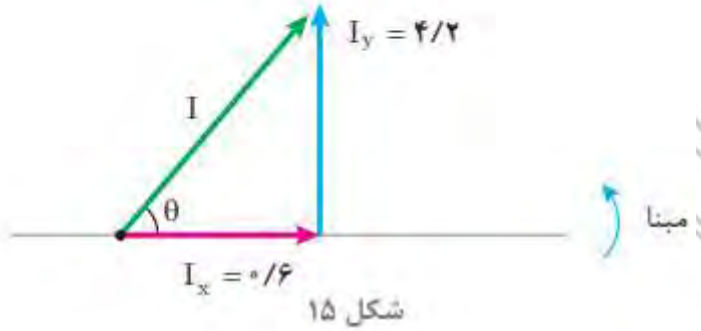
اکنون با وصل ابتدای I_x به انتهای I_y وتر مثلث قائم الزاویه یا برآیند رسم میشود (شکل۱۵)

I برآیند بردارهای I_2 , I_1 از رابطه فیثاغورث به دست می آید.

$$I = \sqrt{I_x^2 + I_y^2} = \sqrt{۰/۶^2 + ۴/۲^2} = ۴/۲۴[A]$$



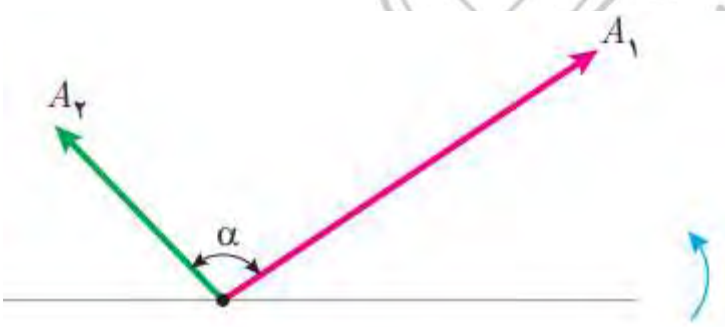
شکل ۱۴



شکل ۱۵

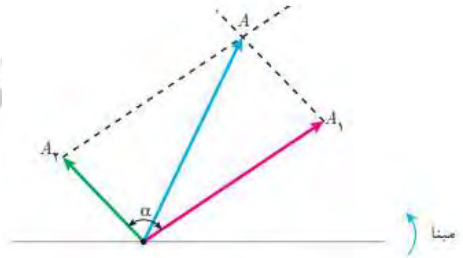
ب) روش هندسی:

روش هندسی برای جمع دو بردار به کار میرود. دو بردار $A_۱ , A_۲$ که با یکدیگر زاویه α می سازند در نظر است (شکل ۱۶). .



شکل ۱۶

بردار برآیند A از ابتدای بردارهای $A_۱ , A_۲$ به محل تقاطع دو خط چین ترسیم می شود (شکل۱۸).



شکل ۱۸

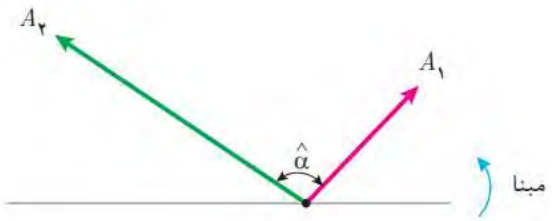
مقدار برآیند از رابطه زیر به دست می آید .

$$A=\sqrt{A_1^2+A_2^2+2A_1A_2\cos\alpha}$$

که در این رابطه A مقدار بردار برآیند دو بردار A_1 مقدار بردار اول A_2 مقدار بردار دوم α زاویه بین بردار A_1 با A_2 است.

۴ـ۱ـ تفاضل دو بردار

تفاضل دو بردار در تحلیل مدارهای الکتریکی برای تفریق کمیتهای الکتریکی هم واحد مانند جریان، ولتاژ و توان . . . به کار میرود. عملیات تفریق بین دو بردار از روش هندسی انجام میگیرد. دو بردار A_2, A_1 که با یکدیگر زاویه α میسازند در نظر است (شکل ۲۱).



شکل ۲۱

تفاضل بردارهای $\overrightarrow{A_2}-\overrightarrow{A_1}$ و یا $\overrightarrow{A_1}-\overrightarrow{A_2}$ را با A' نشان می دهند و مقدار A' از رابطه زیر به دست می آید.

$$A'=\sqrt{A_1^2+A_2^2-2A_1A_2\cos\alpha}$$

که در این رابطه:

A' مقدار تفاضل دو بردار
A_1 مقدار بردار اول
A_2 مقدار بردار دوم
α زاویه بین بردار A_1 , A_2 می‌باشد.

۵ ـ۱ـ 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 می آید.

و به سه شکل توان مؤثر و غیرمؤثر و ظاهری قابل اندازه گیری و محاسبه می باشند. مقداری از انرژی الکتریکی که در واحد زمان به کار الکتریکی تبدیل می شود را توان مؤثر گویند و واحد آن وات است و از رابطه زیر به دست می آید:

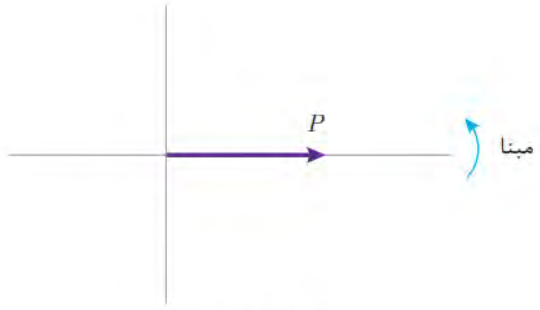
$$P=V_e I_e\cos\varphi$$

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 می شود (شکل ۲۶).



شکل ۲۶

مقداری از انرژی الکتریکی که در واحد زمان ذخیره می شود وکار الکتریکی انجام نمی دهد را » توان غیر مؤثر« گویند و واحد آن ولت آمپر راکتیو است و از رابطه زیر به دست می آید :

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

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 می آید :

$$\varphi = \theta v - \theta i$$

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 می شود (شکل ۲۷).

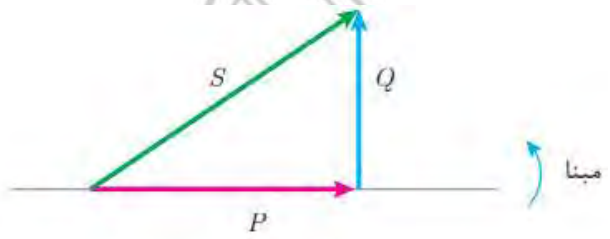
توان غیرمؤثر مثبت

توان غیرمؤثر منفی

شکل ۲۷

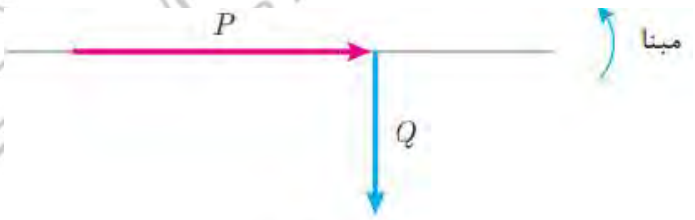
در مدارهای پس فاز بردار توان مؤثر p به صورت افقی در جهت مثبت محور xها و بردار توان غیرمؤثر Q عمودی در جهت مثبت محور yها ترسیم می شود.

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



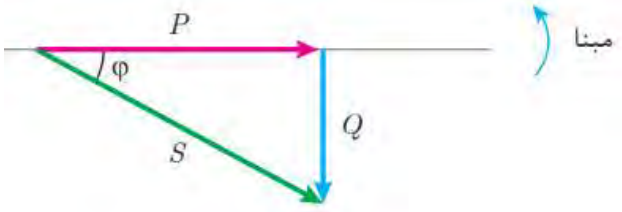
شکل ۲۹

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 می شود)شکل۳۰(.



شکل ۳۰

توان ظاهری برآیند بردار P و Q می باشد. با ترسیم برآیند بردارهای P و Q مثلث توان پیش فاز شکل می گیرد. (شکل ۳۱).



شکل ۳۱

در مثلث توان زاویه بردار توان ظاهری همان φ می باشد. فرم قطبی بردار توان ظاهری به صورت $S\angle\varphi$ است. در مثلث توان نسبت های مثلثاتی زیر را می توان 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 می باشد.

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

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

۶ـ۱ـ توان ظاهری بار شبکه الکتریکی

توان ظاهری بار شبکه الکتریکی شامل چندین مصرف کننده، از برآیند مجموع توانهای مؤثر و غیرمؤثر هر مصرف کننده به دست می آید . برای این منظور با تحلیل هر مصرف کننده توان مؤثر و غیرمؤثر محاسبه می شود سپس توانهای مؤثر مصرف کننده با یکدیگر جمع می شوند تا توان مؤثر شبکه P به دست آید:

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

P توان مؤثر بار شبکه

P_1 توان مؤثر مصرف کننده اول

P_2 توان مؤثر مصرف کننده دوم

P_n توان مؤثر مصرف کننده nام

همچنین توانهای غیرمؤثر مصرف کننده با توجه به پس فاز یا پیش فاز بودن و با رعایت علامت جبری با یکدیگر جمع میشوند تا "توان غیرمؤثر بار شبکه Q " به دست آید:

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

Q توان مؤثر بار شبکه

Q_1 توان مؤثر مصرف کننده اول

Q_2 توان مؤثر مصرف کننده دوم

Q_n توان مؤثر مصرف کننده 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 می شود تا مثلث توان به دست آید و از رابطه فیثاغورث مقدار توان ظاهری بار شبکه S و از نسبت های مثلثاتی ضریب توان مؤثر بار شبکه محاسبه میشود.

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

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

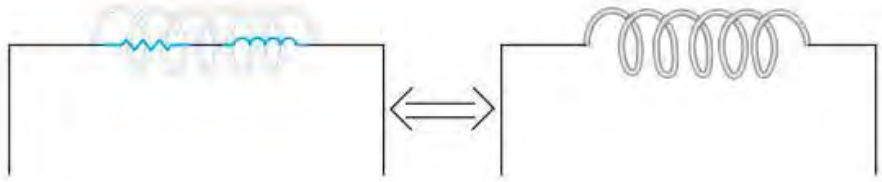
۷ـ۱ـ مدار الکتریکی RL سری

مدارهای الکتریکی جریان متناوب تک فاز برای معادل سازی سیم پیچی موتورهای الکتریکی، ترانسفورماتورها و سایر تجهیزات الکتریکی به کار میرود. معادل سازی سیم پیچ با عناصر الکتریکی نظیر مقاومت الکتریکی اهمیR، 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، ولت متر و وات متر قابل اندازه گیری می باشند. حال آنکه به کمک روابط ریاضی و قوانین فیزیک الکتریسیته و مغناطیس و با تحلیل مدار الکتریکی معادل آنها می توان کمیتهای الکتریکی را محاسبه نمود.

مدارالکتریکی RL سری برای معادل سازی سیم پیچ به کار میرود. سیم پیچها جزء اصلی وسایل الکتریکی مانند موتورها یا ترانسفورماتورها می باشند.

سیم پیچ علاوه بر ضریب خودالقایی L، مقاومت الکتریکی اهمیR نیز دارد. مقاومت الکتریکی اهمی ناشی از جنس، طول و سطح مقطع هادی سیم پیچ است و ضریب خود القایی ناشی از نیروی محرکه القایی می باشد که در اثر تغییرات جریان به وجود می آید. مدار الکتریکی که از معادل سازی سیم پیچ به دست می آید شامل اتصال سری یک مقاومت الکتریکی اهمی R و سلف با ضریب خودالقایی L می باشد و آن را مدار الکتریکی RL سری مینامند (شکل ۴۰). .



شکل ۴۰

با اتصال مدار الکتریکی RL سری به منبع متناوب در مدار جریان I_e جاری میشود.

جریان I_e از مقاومت الکتریکی اهمیR و سلف با ضریب خودالقایی L عبور میکند. لذا جریان منبع I_e با جریان مقاومت اهمی I_R و جریان سلف I_R برابر می باشد که از ویژگی های مدارهای سری است و می توان 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 به وجود می آورد. 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" گویند. مقاومت القایی را با X_L نشان می دهند و واحد آن اهم است. مقدار مقاومت القایی از رابطه زیر به دست می آید:

$X_L = \omega . L$

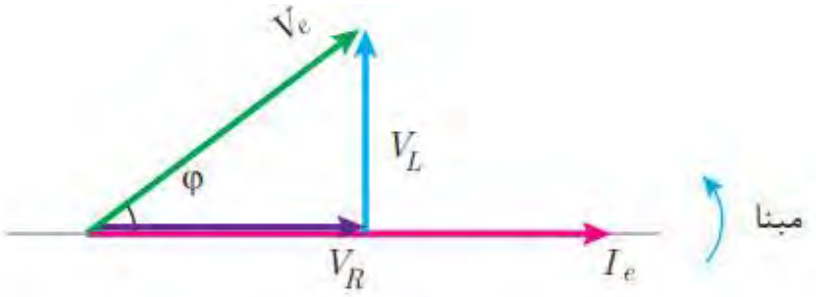
در این رابطه: X_L

مقاومت القایی Ω

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

L ضریب خودالقایی سلف H است.

نمایش بردارهای جریان و ولتاژ مدارهای الکتریکی را «دیاگرام برداری» گویند. شکل ۴۷ نشان می دهد در مدار الکتریکی RL سری جریان منبع I_e از ولتاژ منبع به اندازه φ عقب تر است. لذا مدار الکتریکی RL سری «مدار پس فاز» است.



شکل ۴۷

بردارهای VR و VL و Ve شکل ۴۷ تشکیل مثلث قائم الزاویه دادهاند و با توجه به رابطه فیثاغورث به دست می آید :

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

و نسبتهای مثلثاتی برابر است با:

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

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

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

مقداری از انرژی الکتریکی که در واحد زمان در سلف ذخیره می شود را توان» غیرمؤثر سلف» می نامند. توان غیرمؤثر سلف مقداری مثبت است و بردار آن در جهت مثبت محور yها می باشد و با توجه به مقدار مقاومت القایی سلف XL به روش زیر به دست می آید :

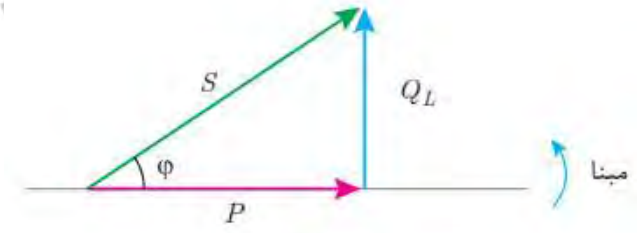
مجذور جریان × مقاومت = توان

$$Q_L = X_L I_e^2$$

چون در مدار RL سری IL = Ie است پس:

$$Q_L = X_L I_e^2$$

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



شکل ۵۳

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

$$Q_L = X_L I_e^2$$

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

مجذور جریان × مقاومت = توان

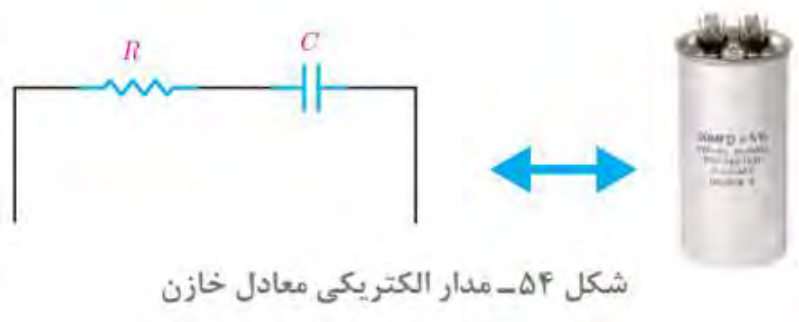
$$S = ZI_e^2 \quad [VA]$$

همچنان روابط زیر در محاسبه توانها برقرار است:

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

۸ـ۱مدار الکتریکی RC سری

معادل سازی خازن با مدار الکتریکی RC سری انجام میشود. خازنها در وسایل الکتریکی و مدار الکترونیکی استفاده میشوند. 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 معادل سازی خازن به دست می آید شامل اتصال سری یک مقاومت الکتریکی اهمی R و ظرفیت C می باشد و آن را مدار الکتریکی RC سری می نامند (شکل ۵۴).



شکل ۵۴ـ مدار الکتریکی معادل خازن

جریان الکتریکی متناوب I_e از مقاومت الکتریکی اهمی R عبور میکند و در آن افت ولتاژ VR ایجاد مینماید. این جریان با عبور از ظرفیت خازن C در آن افت ولتاژ VC به وجود می آورد. افت ولتاژ VC 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 گویند. مقاومت خازنی را با X_C نشان می دهند و واحد آن اهم است. مقدار مقاومت خازنی از رابطه زیر به دست می آید :

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

در این رابطه :

X_C مقاومت خازنی $[\Omega]$

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

C ظرفیت خازن [F]

می باشد.

نمایش بردارهای جریان و ولتاژ مدارهای الکتریکی را «دیاگرام برداری» گویند. در مدارهای پیش فاز جریان منبع I_e از ولتاژ منبع Ve به اندازه ϕ درجه جلوتر است.

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

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

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

که در این رابطه :

Z مقاومت ظاهری مدار Ω

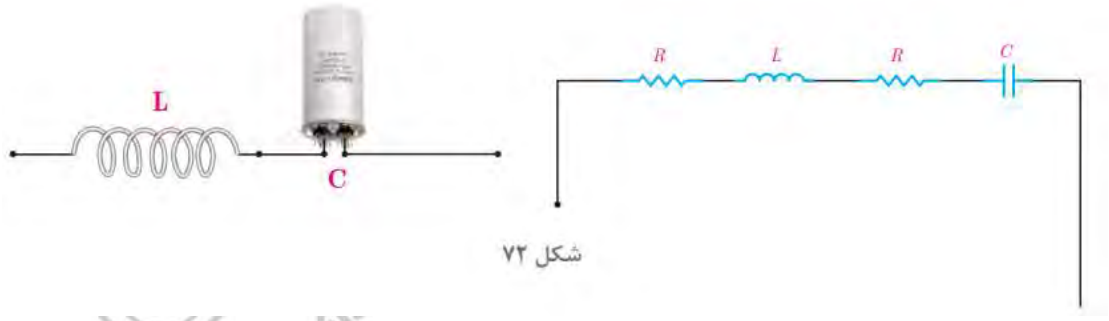
V_e ولتاژ مؤثر منبع خازن

I_e جریان مؤثر منبع A می باشد.

مقاومت ظاهری در مدار RـC سری از رابطه $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$ نیز به دست می آید.

۹ـ ۱ـ مدارها ی RLC سری

مدار RLC سری برای معادل سازی اتصال سری یک سیم پیچ با خازن به کار میرود. اتصال سری سیم پیچ با خازن در موتورهای الکتریکی تک فاز استفاده میشود. سیم پیچ علاوه بر ضریب خودالقایی L مقاومت الکتریکی اهمی و همچنین خازن علاوه بر ظرفیت C مقاومت الکتریکی اهمی نیز دارد. مدار الکتریکی که از معادل سازی اتصال سری سیم پیچ با خازن به دست می آید در شکل ۷۲ نشان داده شده است.



شکل ۷۲

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

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

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

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

که در این رابطه : Z

مقاومت ظاهری مدار [Ω]

V_e ولتاژ مؤثر منبع [V]

I_e جریان مؤثر منبع [A] می باشد.

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

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

توان مؤثر مقداری مثبت است و بردار آن در جهت مثبت Xها می باشد و از رابطه زیر به دست می آید .

توان = مقاومت × مجذور جریان

$P=R\,I_R^2$

$P=R\,I_e^2$

چون در مدار RLC سری $I_e=I_R$ پس:

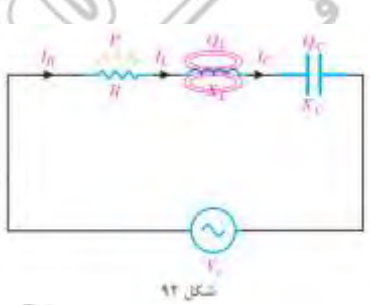
که در این رابطه :

P توان مؤثر W

R مقاومت الکتریکی اهمی Ω

I_e جریان مؤثر A می باشد.

همچنین با عبور جریان I_L از سلف با ضریب خودالقایی L انرژی الکتریکی در سلف ذخیره می شود شکل ۹۲.



شکل ۹۲

مقداری از انرژی الکتریکی که در واحد زمان در سلف ذخیره می شود را توان غیر مؤثر سلف می نامند. توان غیرمؤثر سلف مقداری مثبت است و بردار آن در جهت مثبت محور yها می باشد و با توجه به مقدار مقاومت القایی سلف XL از رابطه زیر به دست می آید .

توان = مقاومت × مجذور جریان

$Q_L=X_L\cdot I_L^2$

چون در مدار RLC سری $I_L=I_e$ پس:

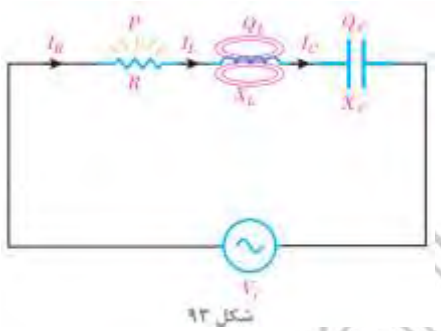
$$Q_L = X_L \cdot I_e^2$$

که در این رابطه : QL توان غیرمؤثر سلف VAR

XL مقاومت القایی سلف Ω

Ie جریان مؤثر A می باشد.

همچنین با عبور جریان cI از ظرفیت خازن C، انرژی الکتریکی در خازن ذخیره می شود (شکل ۹۳).



شکل ۹۳

مقداری از انرژی الکتریکی که در واحد زمان در ظرفیت خازن ذخیره می شود را توان غیرمؤثر خازن می نامند. توان غیرمؤثر خازن مقداری منفی است و بردار آن در جهت منفی محور yها می باشد و با توجه به مقاومت خازنی XC از رابطه زیر به دست می آید:

توان = مقاومت × مجذور جریان

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

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

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

در این رابطه:

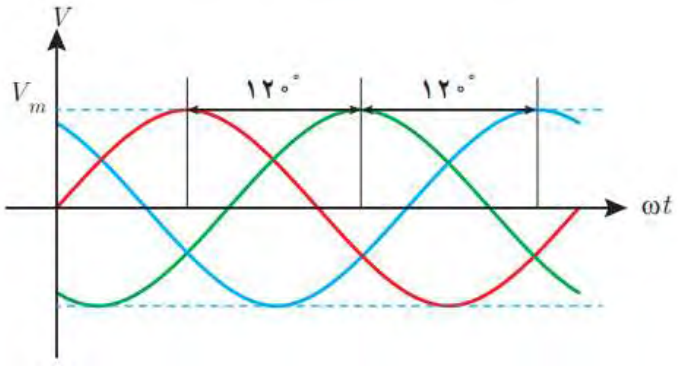
Q_C توان غیرمؤثر خازن VAR

X_C مقاومت خازن Ω

I_e جریان مؤثر A می باشد.

۱۰ـ۱ مدارهای الکتریکی سه فاز

مدارهای الکتریکی سه فاز برای معادل سازی اتصال مصرف کننده های سه فاز به شبکه سه فاز به کار می روند. شبکه الکتریکی که شامل سه ولتاژ با اختلاف فاز ۱۲۰ درجه نسبت به یکدیگر و دامنه ولتاژ برابر باشد را "شبکه الکتریکی سه فاز" گویند (شکل ۹۸).

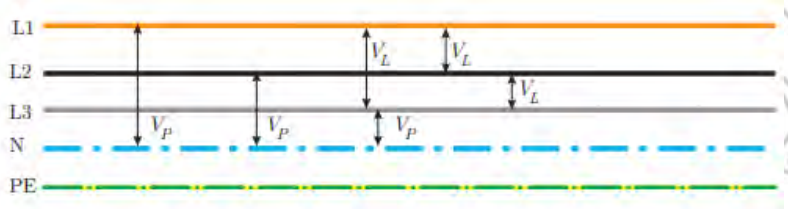


شکل ۹۸

در شبکه های توزیع انرژی الکتریکی برای تغذیه مصرف کننده های الکتریکی از شبکه الکتریکی سهفاز به صورت پنج سیمه استفاده می شود که شامل سهفاز، سیم نول و سیم حفاظتی(تنظیم توسط سایت ایران عرضه) زمین می باشد. سه فاز را با حروف L_1، L_2، L_3 نشان می دهند و از حرف N برای نشان دادن سیم نول و از حرف P_E برای نشان دادن سیم حفاظتی زمین استفاده می شود (شکل ۹۹).

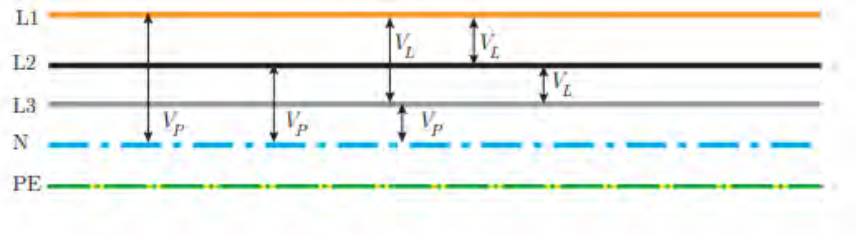
شکل ۹۹

ولتاژ در شبکه های سه فاز به صورت ولتاژ فازی و ولتاژ خطی قابل محاسبه و اندازه گیری می باشد. اختلاف پتانسیل الکتریکی هر فاز با سیم نول را "ولتاژ فازی " گویند و آن را با V_P نمایش می دهند (شکل ۱۰۰).



شکل ۱۰۰

اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو فاز را " ولتاژ خط " گویند و آن را با V_L نمایش می دهند (شکل ۱۰۱).



شکل ۱۰۱

رابطه بین ولتاژ خطی با ولتاژهای فازی به صورت زیر است:

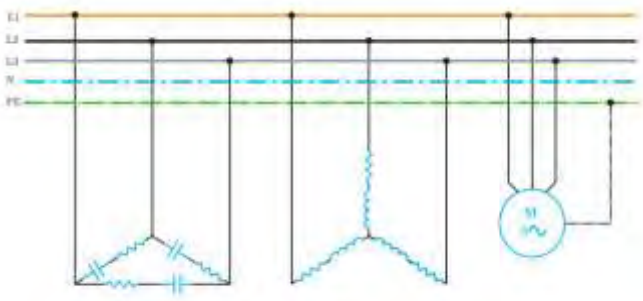
$$V_L = \sqrt{3} V_P$$

در این رابطه:

V_L: ولتاژ خطی V

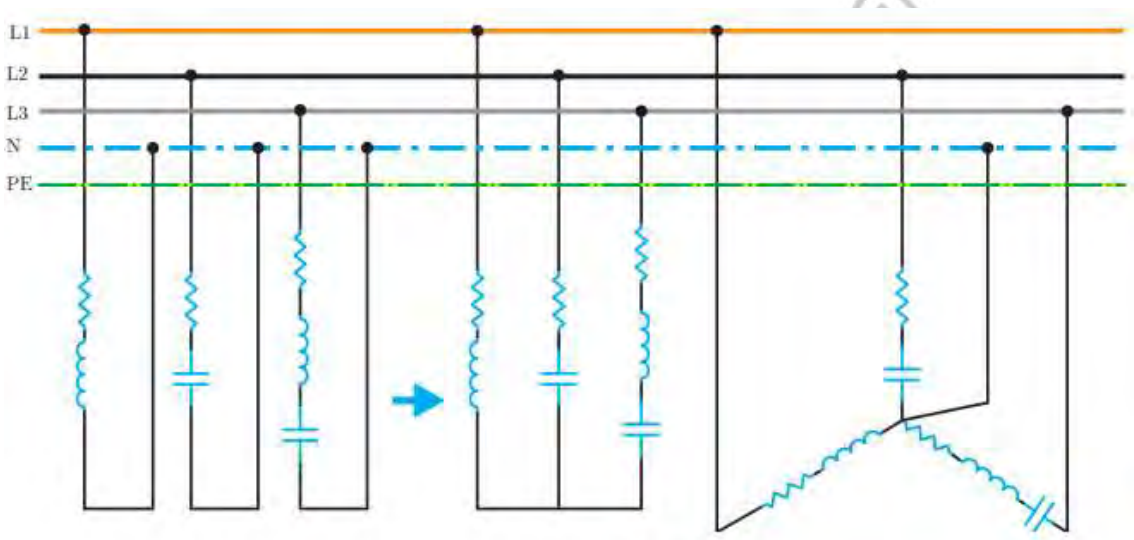
V_P: ولتاژ فازی V می باشد.

مصرف کننده های سه فاز با اتصال ستاره یا مثلث از شبکه سه فاز تغذیه می شوند (شکل ۱۰۲).



شکل ۱۰۲

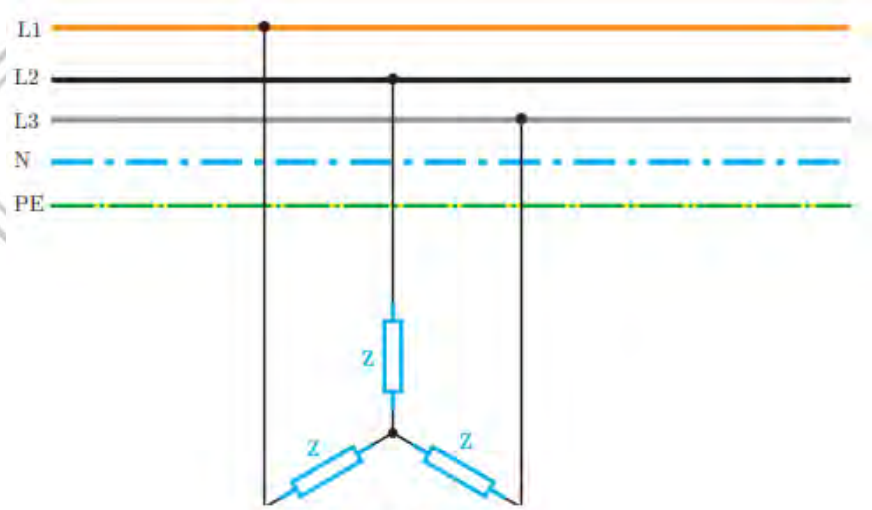
مصرف کننده های تک فاز نیز با اتصال به شبکه سه فاز تغذیه میشوند. اتصال مصرف کننده های تک فاز به شبکه سه فاز باعث شکل گیری اتصال ستاره نامتعادل خواهد شد (شکل ۱۰۳).



شکل ۱۰۳

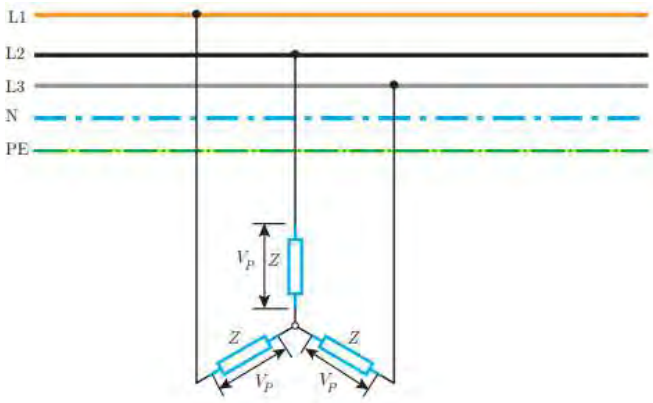
مدار الکتریکی سه فاز با اتصال ستاره

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



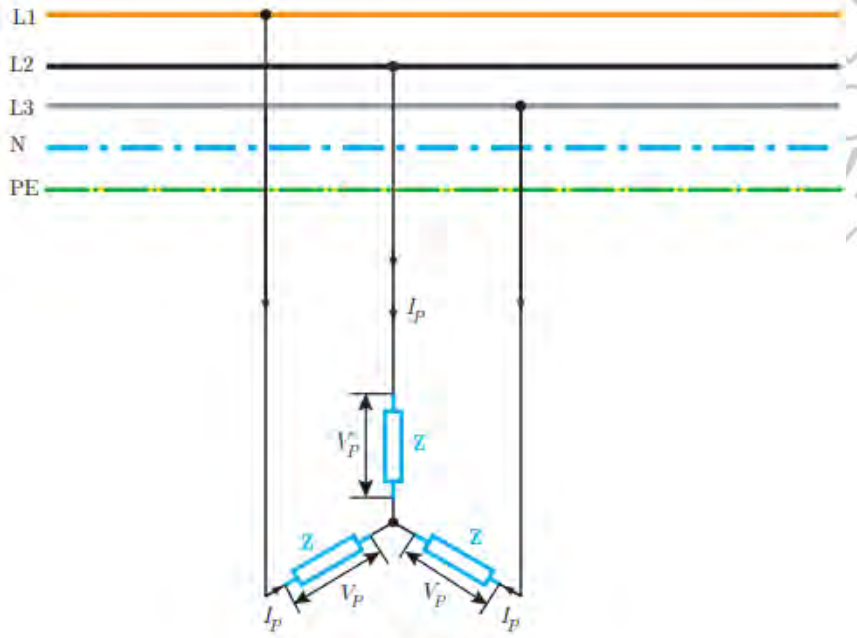
شکل ۱۰۸

پتانسیل محل اتصال مقاومت ظاهری Z به یکدیگر در اتصال ستاره مصرف کننده های سه فاز " صفر " است. محل اتصال مقاومتها به یکدیگر در مصرف کننده های سه فاز با اتصال ستاره را "نقطه صفر " گویند. اختلاف پتانسیل بین هر فاز با نقطه صفر برابر ولتاژ فازی V_P می باشد (شکل ۱۰۹).



شکل ۱۰۹

در اتصال مصرف کننده 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 می شود. جریانی که در هر یک از مقاومت های ظاهری جاری می شود را "جریان فازی" میگویند و آن را با I_P نشان می دهند (شکل ۱۱۰).



شکل ۱۱۰

جریان فازی I_P با توجه به قانون اهم به صورت زیر محاسبه می شود:

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

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

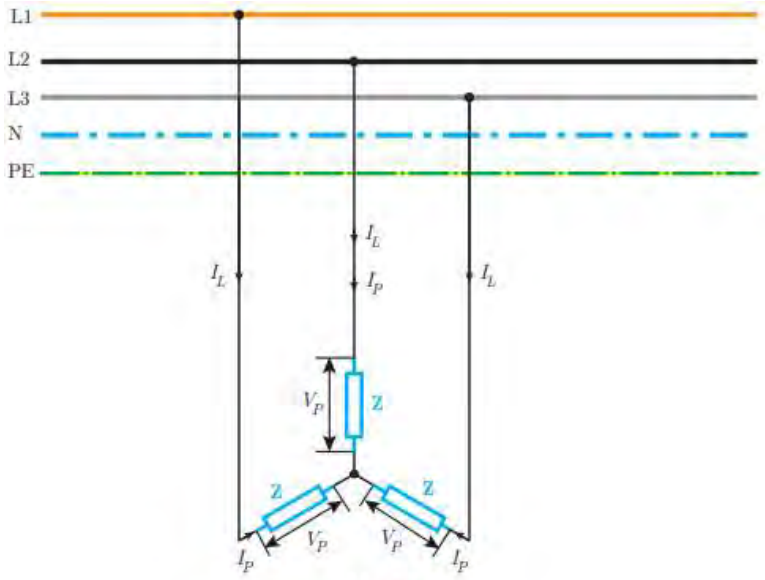
که در این رابطه:

I_P جریان فازی A

V_P ولتاژ فازی V

Z مقاومت ظاهری Ω می باشد.

در اثر جاری شدن جریان فازی I_P مقاومتهای ظاهری Z جریان بین بار ستاره و شبکه سه فاز برقرار میشود. جریانی که مصرف کننده سه فاز از شبکه سه فاز دریافت مینماید را " جریان خطی " می گویند و آن را با I_L نشان می دهند شکل ۱۱۱.



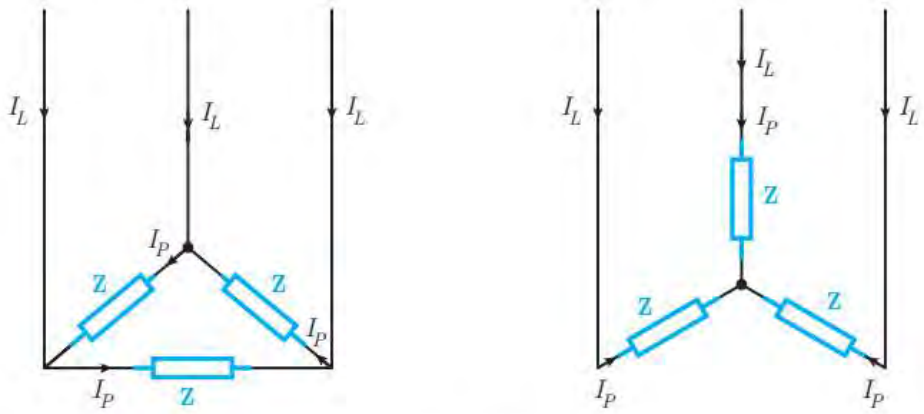
شکل ۱۱۱

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

$$I_P = I_L$$

توان مدارهای الکتریکی سه فاز

توان مدارهای الکتریکی سه فاز با اتصال ستاره یا مثلث از توان هر یک از مقاومتهای ظاهری Z به دست می آید . در اتصال مصرف کننده سه فاز با حالت ستاره یا مثلث به شبکه الکتریکی سه فاز، جریان فازی IPدر هر یک از مقاومتهای ظاهری جاری می شود 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 به دست می آید :

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

توان مؤثر مصرف کننده سه فاز $P_{3\varphi}$ از جمع توان مؤثر در سه مقاومت ظاهری به دست خواهد آمد:

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

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

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

با جایگزینی رابطه P_Z خواهیم داشت:

$$P_{3\varphi}=3V_PI_P\cos\varphi$$

در این رابطه:

$P_{3\varphi}$ توان مؤثر مصرف‌کننده سه‌فاز [W]
V_P ولتاژفازی [V]
I_P جریان فازی [A]

$\cos\varphi$ ضریب توان مؤثر است.

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 مصرف کننده سه فاز VA

$P_{3\varphi}$ توان مؤثر مصرف کننده سه فاز W

$Q_{3\varphi}$ توان غیرمؤثر مصرف کننده سه فاز VAR است.

با جایگزینی رابطه $P_{3\varphi}$ و $Q_{3\varphi}$ در رابطه $S_{3\varphi}$ رابطه زیر به دست می آید :

$$S_{3\varphi}=3V_PI_P$$

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 به دست می آید :

$$S_{3\varphi}=\sqrt{3}\,V_LI_L$$

که در این رابطه:

$S_{3\varphi}$ توان ظاهری مصرف کننده سه فاز VA

V_L ولتاژخطی v

I_L جریان خطی A است.

پودمان دوم

۱ـ ۲ـ تحلیل ماشین های الکتریکی(ترانسفورماتورهای تک فاز)

مقدمه

زندگی روزمرهٔ انسان به استفاده از انرژی الکتریکی وابسته است. لوازم خانگی و صنعتی با انرژی الکتریکی ٌ نیروگاه های تولید انرژی الکتریکی کار می کنند. انرژی الکتریکی در نیروگاه های برق تولید می شود. معمولا در فواصل دورتری از مصرف کننده های انرژی الکتریکی قرار دارند. ولتاژ مصرف کننده های انرژی الکتریکی به مراتب کمتر از ولتاژ تولیدکننده های انرژی الکتریکی می باشند. برای تبدیل ولتاژ انرژی الکتریکی به مقدار مطلوب از ترانسفورماتور استفاده می شود

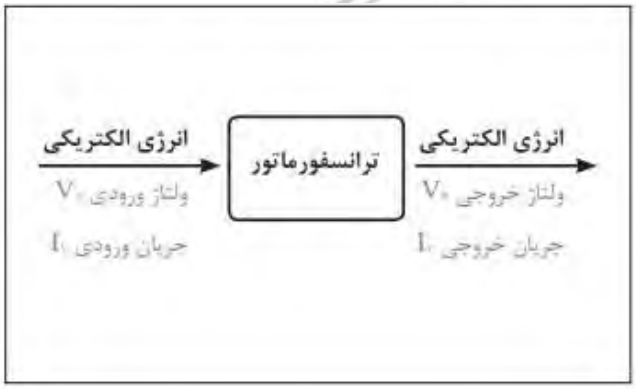
شبکه های انتقال، انرژی الکتریکی را از نیروگاه به پست های برق می رسانند. برای کاهش تلفات انرژی در شبکه های انتقال، ولتاژ شبکه انتقال در محل نیروگاه توسط ترانسفورماتور افزایش می یابد سپس در پست برق مجددا ولتاژ را توسط ترانسفورماتور کاهش می دهند.

در خطوط انتقال انرژی الکتریکی، ترانسفورماتور، ولتاژ را افزایش می دهد در نتیجه جریان کاهش می یابد با کاهش جریان تلفات خطوط انتقال کم می شود.

همچنین در صنعت از ترانسفورماتور برای افزایش یا کاهش ولتاژ در مواردی همچون تابلوهای برق صنعتی، راه اندازی موتورهای القایی، کوره های القایی، جوشکاری و دستگاه نقطهٔ جوش استفاده می شود.

۲ـ۲ ـ ترانسفورماتور

ترانسفورماتور ماشین الکتریکی است که بدون تغییر در نوع انرژی ولتاژ را تبدیل می کند . این ماشین در فرایند تبدیل ولتاژ، انرژی الکتریکی دریافتی را به انرژی مغناطیسی و سپس انرژی مغناطیسی را به انرژی الکتریکی تبدیل می نماید. ترانسفورماتور با جریان متناوب کار می کند و اساس کار آن قانون القای الکترومغناطیس فاراده می باشد. ترانسفورماتور ولتاژ و جریان ورودی (V_1 و I_1) را در خروجی به ولتاژ جریان V_2 و I_2 تبدیل می کند. در این تبدیل ترانسفورماتور فرکانس را تغییر نمی دهد.

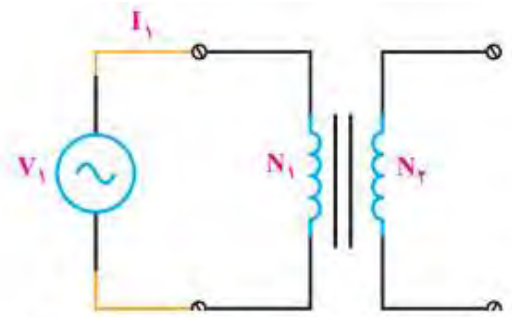


۳ـ۲ـ ساختمان ترانسفورماتور

ترانسفورماتور از دو سیم پیچ که بر روی یک هسته قرار دارند تشکیل شده است. سیم پیچ های ترانسفورماتور از جنس مس یا آلومینیم می باشند در ولتاژهای زیاد از سیم با مقطع گرد استفاده می شود و در جریان های زیاد سیم با مقطع چهارگوش به کار می رود. هستهٔ ترانسفورماتور ازجنس آهن، فریت و هوا می باشد. از هسته های آهنی در فرکانس های ۵۰ و ۶۰ هرتز استفاده می شود و در محدودهٔ فرکانس های کیلو هرتز و مگا هرتز جنس هسته از فریت یا هوا انتخاب می شود.

۱ـ سیم پیچی های ترانسفورماتور

سیم پیچی از ترانسفورماتور که به ولتاژ ورودی متصل می شود را " سیم پیچی اولیه" گویند و کمیت های آن را به صورت (شکل ۸) نشان می دهند.



شکل ۸ـ کمیت‌های ترانسفورماتور

در این شکل:

V_1 ولتاژ اولیه

I_1 جریان اولیه

N_1 تعداد دور سیم پیچ اولیه است.

سیم پیچی از ترانسفورماتور که به مصرف کننده متصل می شود را سیم پیچی ثانویه گویند.

سطح مقطع هادی سیم پیچ های اولیه و ثانویه متناسب با جریان آنها انتخاب می شود لذا با افزایش جریان الکتریکی ترانسفورماتور سطح مقطع هادی سیم پیچ ها بزرگ تردرنظرگرفته خواهد شد. تعداد دور سیم پیچ های اولیه و ثانویه متناسب با ولتاژ آنها تعیین می شود لذا با افزایش ولتاژ تعداد دور سیم پیچ ها بیشتر درنظر گرفته خواهد شد.

۲ـ هسته ترانسفورماتور: هستهٔ ترانسفورماتور مسیری برای عبور فوران مغناطیسی سیم پیچ های اولیه و ثانویه می باشد و ارتباط مغناطیسی بین سیم پیچ ها را برقرار می سازد. هستهٔ ترانسفورماتور از جنس مواد فرومغناطیس می باشد. مواد فرومغناطیس دارای ضریب نفوذ مغناطیسی زیاد می باشد و به راحتی فوران مغناطیسی را از خود عبور می دهد. آهن بدون آلیاژ، فوالد الکتریکی، آهن با آلیاژ نیکل و فریت ها جزء مواد فرو مغناطیسمی باشند. هستهٔ فریت به صورت یکپارچه و هسته های آهنی به صورت ورقه ورقه می باشد.

۲ـ۴ انواع ترانسفورماتور

ترانسفورماتور یک مبدل ولتاژ است و با مقایسه ولتاژ ثانویه و اولیه ترانسفورماتور، آن را به سه دسته تقسیم بندی می کنند:

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:

$$(V_2 < V_1)$$

در ترانسفورماتور افزاینده تعداد حلقه های سیم پیچ ثانویه بیشتر از تعداد حلقه های سیم پیچ اولیه می باشد. ترانسفورماتوری که ولتاژ ثانویه از ولتاژ اولیه کوچک تر باشد را ترانسفورماتورکاهنده گویند. یعنی:

$$(V_2 > V_1)$$

در ترانسفورماتور کاهنده تعداد حلقه های سیم پیچ ثانویه کمتر از تعداد حلقه های سیم پیچ اولیه می باشد. ترانسفورماتوری که ولتاژ ثانویه با ولتاژ اولیه برابر باشد را ترانسفورماتور یک به یک گویند. یعنی:

$$(V_2 = V_1)$$

در ترانسفورماتور یک به یک تعداد حلقه های سیم پیچ ثانویه برابر با تعداد حلقه های سیم پیچ اولیه می باشد. سمتی از ترانسفورماتور که ولتاژ بیشتر دارد را «سمت فشار قوی » و سمتی از ترانسفورماتور که ولتاژ کمتر دارد را «سمت فشار ضعیف» می گویند. سمت فشار قوی ترانسفورماتور را با H.V و سمت فشار ضعیف آن را با L.V نشان می دهند.

۵ ـ۲ طرز کار ترانسفورماتور

با اتصال سیم پیچ اولیه به منبع ولتاژ متناوب سینوسی با مقدار مؤثر V_1، جریان I_1 در آن جاریمی شود. با جاری شدن جریانI_1 ، سیم پیچ اولیه فوران متناوب ϕ_1 را تولید می کند. بخشی از فوران سیم پیچ اولیه که مسیر خودرا ازهسته برقرارمی کند" فوران مغناطیس کننده "گویندو آن را با ϕm نشان می دهند.

همهٔ فوران سیم پیچ اولیهϕ۱ از هسته عبور نمی کند. بخشی از فوران سیم پیچ اولیه که مسیر خود را خارج از هسته برقرار می کند، «فوران نشتی» و یا "فوران پراکندگی" اولیه گویند و آن را با φ_{l1} نشان می دهند.

نسبت تبدیل ترانسفورماتور

نسبت تعداد حلقه های سیم پیچ اولیه به تعداد حلقه های سیم پیچ ثانویه ترانسفورماتور را « نسبت تبدیل « گویند و با a نشان می دهند و از رابطهٔ زیر به دست می آید:

$$a = \frac{N_۱}{N_۲}$$

نسبت تعداد حلقه های سیم پیچ ثانویه به تعداد حلقه های سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور را « ضریب تبدیل « گویند و با K نشان می دهند و از رابطهٔ زیر به دست می آید:

$$K = \frac{N_۲}{N_۱}$$

رابطه بین a و K به صورت زیر است:

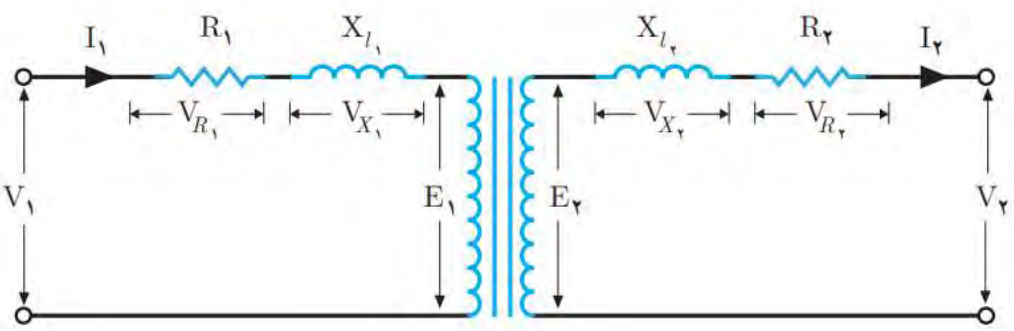
$$a = \frac{۱}{K}$$

برای محاسبه نسبت تبدیل از رابطهٔ زیر نیز استفاده می شود:

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

افت ولتاژ ترانسفورماتور

افت ولتاژ ترانسفورماتور ناشی از مقاومت اهمی و فوران پراکندگی سیم پیچ های اولیه و ثانویه می باشد. افت ولتاژ ناشی از مقاومت اهمی سیم پیچ ها را » افت ولتاژ اهمی » گویند و با VRنشان می دهند. و افت ولتاژ ناشی از فوران پراکندگی سیم پیچ ها را » افت ولتاژ پراکندگی »گویند با Vxنشان می دهند. برای نشان دادن افت ولتاژ ناشی از فوران پراکندگی از یک سلف و برای نشان دادن افت ولتاژ اهمی از یک مقاومت استفاده می شود. مقدار افت ولتاژ فوران پراکندگی و افت ولتاژ اهمی به مقدار جریان سیم پیچ ها بستگی دارد لذا برای مدل کردن آنها از یک مدار RL که با سیم پیچ سری است استفاده می شود.



شکل ۱۵ـ افت ولتاژ در ترانسفورماتور

افت ولتاژ اهمی و پراکندگی سیم پیچ اولیه باعث می شود که نیروی محرکه القایی اولیه E_1 مقداری کمتر از ولتاژ سیم پیچ اولیه V_1داشته باشد همچنین افت ولتاژ اهمی و پراکندگی سیم پیچ ثانویه باعث ایجاد اختلاف بین نیروی محرکه القایی ثانویه E_2 و ولتاژ سیم پیچ ثانویه V_2خواهد شد.

برای محاسبهٔ افت ولتاژترانسفورماتور دراتصال به مصرف کننده های پس فاز و یا پیش فاز از ترسیم دیاگرام برداری ولتاژها و جریان ها استفاده می شود. از ترسیم دیاگرام برداری برای محاسبه افت ولتاژ ترانسفورماتور رابطهٔ زیر به دست می آید:

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

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 مصرف کننده

علامت + برای مصرف کننده پس فاز و علامت - برای مصرف کننده پیش فاز است. پس از محاسبهٔ افت ولتاژ ترانسفورماتور برای به دست آوردن ولتاژ خروجی آن از رابطهٔ زیر استفاده خواهد شد:

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

از مقایسهٔ جواب ها مشاهده می شود در ترانسفورماتور بارهای پس فاز افت ولتاژ بیشتری نسبت به بارهای اهمی و بارهای پیش فاز ایجاد می کنند.

ضریب توان مؤثر مصرف کننده $\cos\phi$ در مقدار افت ولتاژ Δv تأثیر دارد مصرف کننده های اهمی افت ولتاژ اهمی ترانسفورماتور را افزایش می دهد و مصرف کننده های پس فاز افت ولتاژ پراکندگی ترانسفورماتور را به شدت افزایش می دهد در صورتی که مصرف کننده های پیش فاز افت ولتاژ پراکندگی ترانسفورماتور را کاهش می دهند. جریان و ضریب توان مؤثر مصرف کننده بر ولتاژ خروجی ترانسفورماتور اثر می گذارد.

۶ ـ ۲ تلفات ترانسفورماتور

در فرایند تبدیل ولتاژ توسط ترانسفورماتور بخشی از انرژی ورودی به حرارت تبدیل می شود و قابل استفاده نیست. مقداری از انرژی الکتریکی که در واحد زمان در ترانسفورماتور به حرارت تبدیل می شود " تلفات ترانسفورماتور " گویند. تلفات ترانسفورماتور را با ΔP نشان می دهند و واحد آن وات است. تلفات ترانسفورماتور شامل تلفات هسته P_{core} وتلفات سیم پیچی ها P_{cu} می باشد و می توان نوشت:

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

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 می شود. مقداری از انرژی که در واحد زمان در هسته به حرارت تبدیل می شود را تلفات هسته گویند. اگر جنس هسته ترانسفورماتور آهنی باشد تلفات هسته را اصطلاحا تلفات آهنی گویند. تلفات هسته را با P_{core} نشان می دهند و واحد آن وات است.

۱ـ تلفات هیسترزیس

با اتصال ترانسفورماتور به ولتاژ متناوب، فوران مغناطیسی در هسته جاری می شود. جهت فوران مغناطیسی متناوبدرهرنیم سیکل تغییر خواهد کرد. مقداریاز انرژیکه درواحد زمان صرفتغییر جهت فوران مغناطیسی می شود را «تلفات هیسترزیس» گویند . تلفات هیسترزیس را با P_f نشان می دهند و واحد آن وات است. تلفات هیسترزیس تابع ماکزیمم چگالی میدان مغناطیسی B_m وفرکانس ولتاژ f و حجم هسته می باشد و برای کاهش تلفاتهیسترزیس جنس هسته را از مواد فرو مغناطیسی با ضریب نفوذمغناطیسی زیاد انتخاب می کنند.

۲ـ تلفات فوکو

فوران مغناطیسی متناوب در ترانسفورماتور ضمن اینکه در سیم پیچ های اولیه و ثانویه طبق قانون القای فاراده نیروی محرکه الکتریکی القاء می کند در هسته ترانسفورماتور نیز باعث القای نیروی محرکه الکتریکی خواهد شد. هسته ترانسفورماتور علاوه بر نفوذپذیری مغناطیسی دارای هدایت الکتریکی نیز می باشد لذا نیروی محرکه القایی در هسته جریان القایی جاری می کند که به آن "جریان فوکو " گویند. نیروی محرکه القایی هسته در آن جریان فوکو را جاری می کند. مقداری از انرژی که در واحد زمان ناشی از جریان های فوکو در هسته به حرارت تبدیل می شود را » تلفات فوکو « گویند و آن را با P_f نشان می دهند و واحد آن وات است.

تلفات فوکو تابع ماکزیمم چگالی میدان مغناطیسی B_m و فرکانس ولتاژ f می باشد. 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 ورقه هایی که نسبت به یکدیگر عایق شده اند انتخاب می کنند.

ب) تلفات سیم پیچی

هادی سیم پیچی های ترانسفورماتور دارای مقاومت اهمی می باشد. با جاری شدن جریان، سیم پیچی های ترانسفورماتور گرم می شوند. مقداری از انرژی که در واحد زمان در سیم پیچی به حرارت تبدیل می شود را تلفات سیم پیچی« گویند. از آنجایی که جنس هادی سیم پیچی ترانسفورماتورها غالبا از مس می باشد، تلفات سیم پیچی را » تلفات مسی « نیز می گویند. تلفات سیم پیچی را با Pcu نشان می دهند و واحد آن وات است. تلفات سیم پیچی اولیه و سیم پیچی ثانویه از روابط زیر به دست می آید:

$$P_{cu_1} = R_1 I_1^2$$

$$P_{cu_2} = R_2 I_2^2$$

تلفات سیم پیچی ترانسفورماتور از مجموع تلفات سیم پیچی های اولیه و ثانویه به دست می آید:

$$P_{cu} = P_{cu_1} + P_{cu_2}$$

و یا

$$P_{cu} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2$$

تلفات سیم پیچی ترانسفورماتور تابع مجذور جریان می باشد جریان های اولیه و ثانویه ترانسفورماتور تابع جریان بار است لذا با تغییر بار تلفات سیم پیچی تغییر خواهد کرد از این رو تلفات سیم پیچی را «تلفات متغیر» می گویند.

۷ـ۲ـ آزمایش ترانسفورماتور

آزمایش ترانسفورماتور با هدف اندازه گیری تلفات آن انجام می شود. برای اندازه گیری تلفات ترانسفورماتور از آزمایش بی باری و اتصال کوتاه استفاده می شود.

الف) آزمایش بی باری

آزمایش بی باری با هدف اندازه گیری تلفات هسته انجام می شود. برای انجام آزمایش بی باری ثانویه ترانسفورماتور را بی بار می کنند و اولیه آن با وسایل اندازه گیری ولت متر، آمپرمتر و وات متر به منبع ولتاژ متناوب متغیر متصل می شود.

ولتاژ منبع به تدریج افزایش داده می شود تا ولت متر ولتاژ نامی سیم پیچ اولیه را نشان دهد در این حالت آمپر متر جریان بی باری ۰I و وات متر مجموع تلفات هسته و تلفات سیم پیچ اولیه را اندازه گیری می کنند. در آزمایش بی باری مقدار اندازه گیری شده توسط وات متر را با Poc نشان می دهند.

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

ب) آزمایش اتصال کوتاه

زمایش اتصال کوتاه با هدف اندازه گیری تلفات سیم پیچی انجام می شود. برای انجام آزمایش اتصال کوتاه ثانویه ترانسفورماتور را اتصال کوتاه می کنند و اولیه آن با وسایل اندازه گیری ولت متر، آمپرمتر و وات متر به منبع ولتاژ متناوب متغیر متصل می شود.

۸ ـ ۲ـ راندمان ترانسفورماتور

راندمان ترانسفورماتور نسبت توان مؤثر خروجی Pout به توان مؤثر ورودی Pin می باشد و آن را با حرف η نشان می دهند. راندمان را به درصد بیان می کنند و از رابطه صفحه بعد به دست می آید:

$$\%\eta=\frac{P_{out}}{P_{in}}\times 100$$

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

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

تلفات ترانسفورماتور شامل تلفات هسته و تلفات سیم پیچی می باشد و از رابطه زیر به دست می آید:

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

بیشترین راندمان ترانسفورماتور در ضریب توان مؤثر ثابت را « راندمان ماکزیمم » گویند و آن را با ηmax نشان می دهند. راندمان ماکزیمم به ازای باری که در آن تلفات مسی با تلفات هسته برابر شود به دست می آید. تلفات هسته مقدار ثابتی دارد لذا برای ایجاد راندمان ماکزیمم با تغییر بار ترانسفورماتور تلفات مسی را به تلفات هسته می رسانند.

۹ـ۲ـ ترانسفورماتور ایده آل

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

۱ـ راندمان ۱۰۰٪ است. در نتیجه تلفات ترانسفورماتور صفر می باشد و توان ورودی و خروجی برابر خواهد شد و $V_1I_1 = V_2I_2$ می باشد.

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

۳ـ نیروی محرکه القایی سیم پیچ ها برابر ولتاژ آنها است.

$$V_۲ = E_۲ \text{ و } V_۱ = E_۱$$

بین کمیت های الکتریکی ترانسفورماتور ایده آل 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 ایده آل استفاده می شود و آن را " رابطهٔ اساسی ترانسفورماتور ایده آل" می نامند.

۱ـ۲ـ اتو ترانسفورماتور

تو ترانسفورماتور انرژی الکتریکی را توسط ارتباط مغناطیسی و الکتریکی سیم پیچ ها از اولیه به ثانویه منتقل می کند. ارتباط مغناطیسی توسط هسته و ارتباط الکتریکی با اتصال بین سیم پیچی های اولیه و ثانویه برقرار می شود. ترانسفورماتوری که دارای یک سیم پیچی است و علاوه بر ارتباط مغناطیسی، ارتباط الکتریکی نیز بین اولیه و ثانویه برقرار باشد را «اتوترانسفورماتور» گویند. اتوترانسفورماتور دارای یک سیم پیچی با هسته مغناطیسی است.

کاربرد اتوترانسفورماتور

از اتو ترانسفورماتور به عنوان یک منبع ولتاژ متغیر در راه اندازی موتورهای القایی و تثبیت کننده ولتاژ متناوب برق شهر و همچنین برای تبدیل ولتاژ ۲۳۰کیلو ولت به ۱۳۲کیلو ولت خطوط انتقال انرژی استفاده می شود.

پودمان سوم

تحلیل ماشینهای الکتریکی سه فاز (موتورهای القایی)

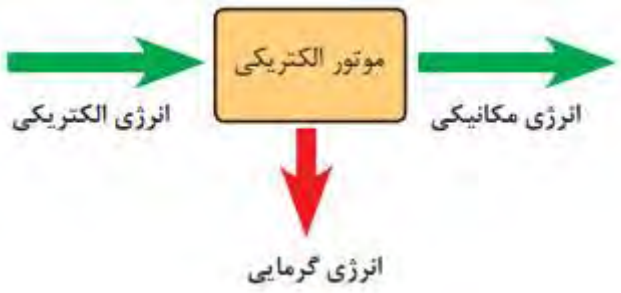
۱ـ ۳ـ مقدمه

ماشینهای الکتریکی می توانند انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی یا انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل نمایند.

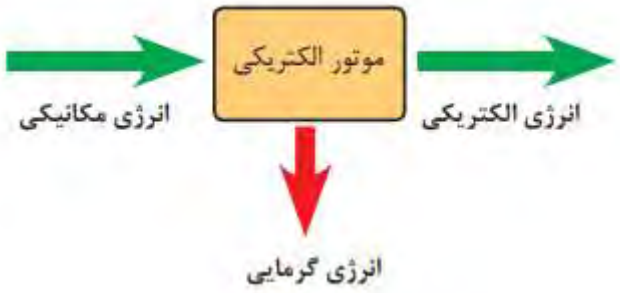
در واقع ماشین الکتریکی یک رابط بین سیستم الکتریکی و سیستم مکانیکی میباشد. این ارتباط در ماشینهای الکتریکی برمبنای میدان الکترومغناطیسی صورت میگیرد.

سیستم الکتریکی شامل کمیتهایی مانند ولتاژ، جریان، ضریب قدرت و توانهای الکتریکی می باشد. 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 می کنند **موتورهای الکتریکی** گویند.



ماشینهایی که انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند **ژنراتورهای الکتریکی** گویند.



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 می باشد.

الف) استاتور

استاتور یا قسمت ساکن موتورهای الکتریکی آسنکرون شامل بدنه، هسته مغناطیسی، سیم پیچها و یاتاقان ها می باشد. هسته استاتور، مجموعه ای از ورقهای فولادی است که در سطح داخلی آن برشهایی ایجاد شده است. پس از قرار گرفتن این ورقها در کنار هم، حجم استوانه ای با شیارهایی در سطح داخلی آن ایجاد خواهد شد.

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. بدنه موتورهای الکتریکی از جنس چدنی یا آلومینیوم ساخته می شوند. سطح خارجی بدنه موتورها به صورت پره پره ساخته می شود تا سطح تماس بیشتری با هوای محیط داشته باشد و عمل تهویه و خنکسازی سیم پیچی بهتر انجام شود.

استاتور موتورهای آسنکرون سه فاز از سه گروه کلاف سیم پیچی تشکیل شده است. با توجه به فضای 360° دایرهای شکل استاتور، سیم پیچ ها به گونه ای جاسازی می شوند که سیم پیچی هر فاز با سیم پیچی فاز دیگر ۱۲۰ درجه اختلاف فاز مکانی داشته باشند. در مباحث تئوری برای تحلیل آسانتر معمولا استاتوری با ۶ شیار جهت جازدن این سه گروه کلاف سیم پیچی در نظرگرفته میشود. اما در واقعیت تعداد شیارهای استاتور موتورهای آسنکرون می تواند بیشتر از این تعداد باشد.

ب) رتور

به قسمت گردان موتورهای الکتریکی »رتور « گویند. روتورموتورهای آسنکرون بر دو نوع است:

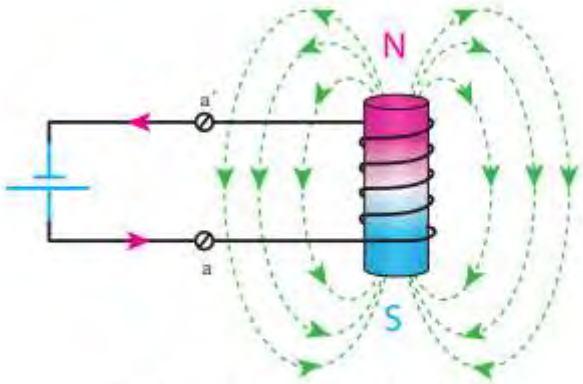
۱ـ رتور قفسی

۲ـ رتور سیم پیچی شده

هر دو نوع رتور دارای هسته مغناطیسی استوانه شکلی هستند که محور فولادی از مرکز هسته مغناطیسی عبورکرده است.

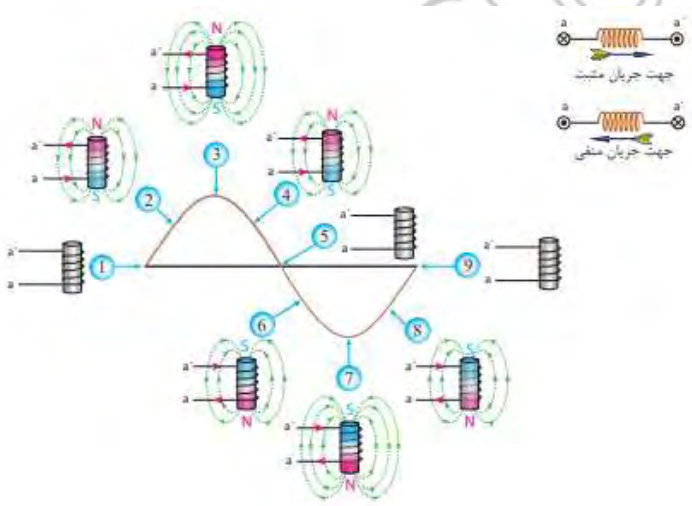
۳ـ۳ـ پدیده میدان دوار مغناطیسی در موتورهای الکتریکی

اگر یک سیم پیچ به جریان DC متصل شود میدان مغناطیسی درون آن ایجاد می شود که مقدار و جهت آن تغییر نمیکند. این میدان مغناطیسی را "میدان ثابت" گویند. جهت این میدان را با قانون دست راست می توان تعیین کرد.



شکل ۱۳ـ میدان مغناطیسی ثابت

با عبور جریان متناوب تک فاز، میدانی ایجاد می شود که مقدار آن متناسب با جریان تغییر می کند و جهت آن در هر نیم سیکل عوض میشود. این میدان را "میدان نوسانی " گویند.



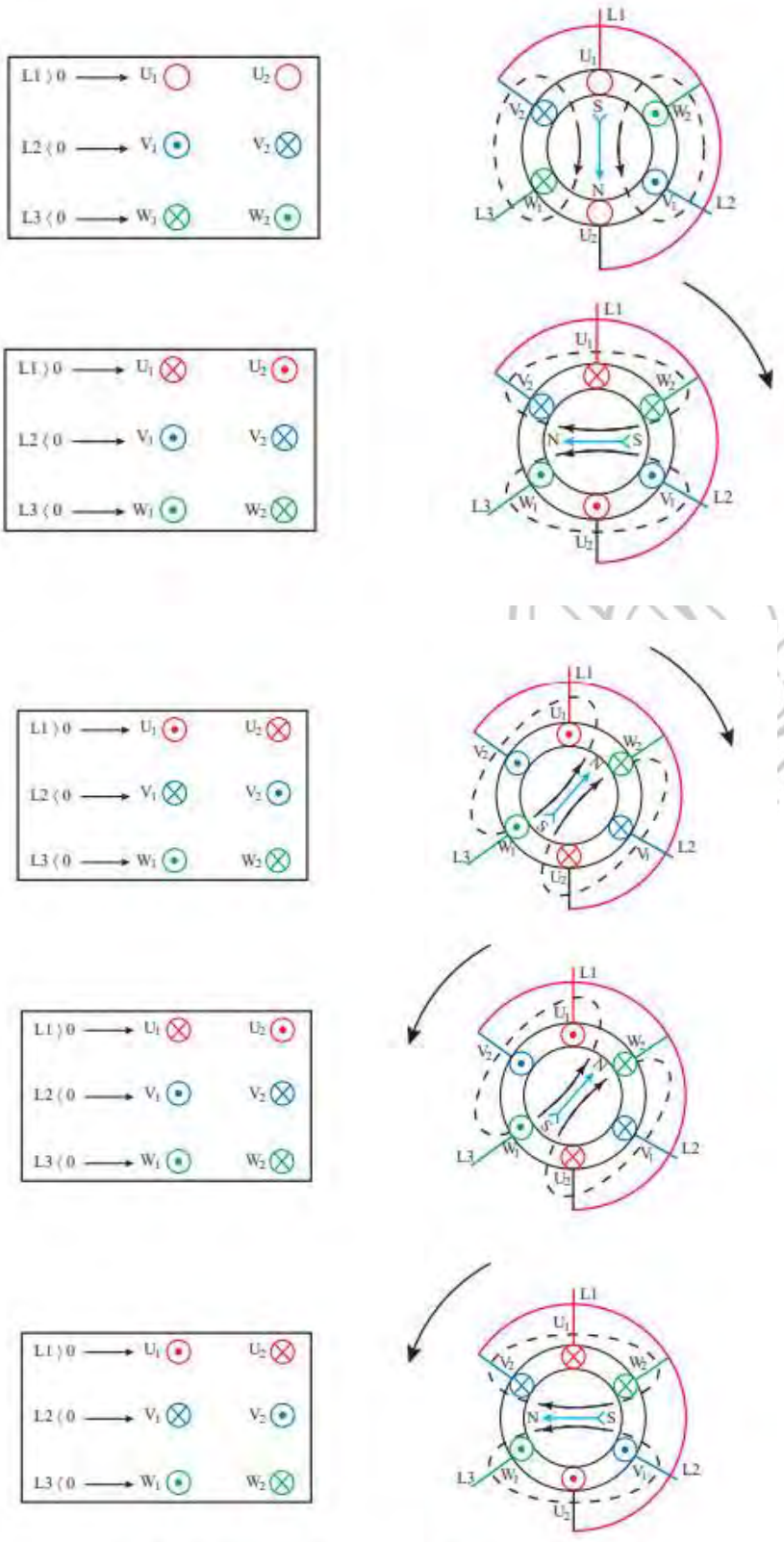
میدان مغناطیسی که با دامنه ثابت درون استاتور با سرعت ثابت میگردد را "میدان دوار " گویند. برای به دست آوردن وضعیت میدان مغناطیسی حاصل از عبور جریان الکتریکی سه فازه از سیم پیچهای استاتور چنین بایدعمل کرد.

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 می توان از روش ترسیمی استفاده کرد. در اینجا برای مقایسه وضعیت میدانهای مغناطیسی در دو حالت راستگرد و چپگرد، وضعیت میدان دوار در سه موقعیت :

$$\omega t = ۰^\circ \text{ ،} \omega t = ۹۰^\circ \text{ و } \omega t = ۲۱۰^\circ$$

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

۵ـ۳ـ عوامل مؤثر در سرعت میدان دوار

برای ترسیم میدان دوار از شکل موج جریانهای سه فازدر فواصل منظم ودر یک دوره تناوب استفاده می شود. حاال 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 دوارکندتر 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 می کند.

$$n_s \propto f$$

سرعت میدان دوار موتورآسنکرون را "سرعت سنکرون " مینامند و با n_s نمایش میدهند.

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 ۱ـ محیط اشغال شده توسط قطب

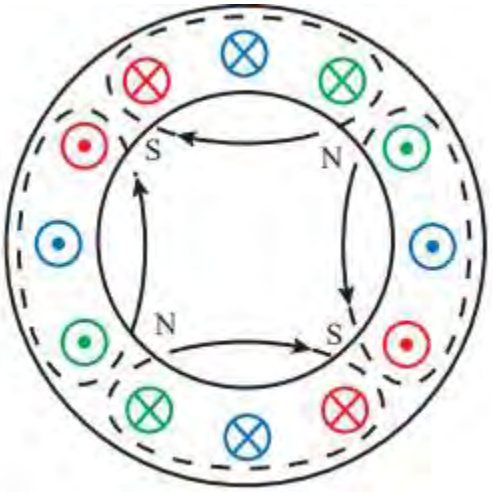
چرخش میدان در محیط استاتور برای یک دوره تناوب	محیط اشغال شده توسط زوج قطب	تعداد زوج قطب $\frac{P}{2}$	تعداد قطب P
طی محیط کامل	$\frac{360}{1} = 360$	۱	۲
طی نصف محیط = $\frac{1}{2}$	$\frac{360}{2} = 180$	۲	۴
طی ثلث محیط = $\frac{1}{3}$	$\frac{360}{3} = 120$	۳	۶
طی ربع محیط = $\frac{1}{4}$	$\frac{360}{4} = 90$	۴	۸
...	...	...	...
عبور از مقابل P در محیط = $\frac{1}{\frac{P}{2}}$	$\frac{720}{P}$	$\frac{P}{2}$	P

۶ـ۳ـ طرز کارموتورهای آسنکرون

با اتصال جریان متناوب سه فاز به سیم پیچی استاتور موتور آسنکرون میدان مغناطیسی دوار درون استاتور تولید می شود. با قرار گرفتن رتورقفسی درون استاتور، میدان دوار هادیهای رتور را قطع میکند وطبق قانون القای فارادی در آنها نیروی محرکهای القا میکند.

$$(E = N\frac{\Delta\phi}{\Delta t})$$

به دلیل القای نیروی محرکه القایی، درهادیهای رتور که توسط حلقه های انتهایی به یکدیگر وصل شده اند جریان جاری می شود که این جریان را »جریان القایی « گویند. طبق قانون لورنس به هر هادی 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 $(T = F.r)$



کل ۲۹ـ تصویر رتور داخل استاتور با نشان دادن نیروی میدان و شعاع رتور

عامل گردش رتور در موتورهای الکتریکی آسنکرون، جریان القایی هادی های 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 هادی ها القا نخواهد شد.

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 نمی تواند 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 به صورت درصد نشان میدهند.

$$\%S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times ۱۰۰$$

در موتورهای القایی شرط ایجاد گشتاور جاری شدن جریان در هادیهای رتور است و شرط جاری شدن جریان، وجود نیروی محرکه القایی در دو سرهادی های رتور می باشد. ازطرفی شرط القا 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 هم زمان گویند.

۸ ـ۳ـ رفتار ماشین القایی

رفتار ماشین القایی در حالتهای راهاندازی، بیباری، بارداری و ترمزی با توجه به سرعت رتور و مقدار لغزش تعیین میشود.

الف) راه اندازی: در حالت راه اندازی موتور القایی، سرعت رتور صفر است ولی میدان دوار با سرعت سنکرون میچرخد. بنابراین خواهیم داشت:

در زمان راه اندازی لغزش موتور S=۱ یا S=٪۱۰۰ است.

$$n_r = ۰ \Rightarrow S = \frac{n_s - ۰}{n_s} = ۱ \text{ یا } ۱۰۰٪$$

ب) بی باری: 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 به همین دلیل سرعت رتور را برابر درنظر می گیرند.

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) برداری: رتور موتور القایی پس از راهاندازی دور میگیرد و سرعت آن پیدرپی افزایش می یابد. با زیاد شدن سرعت رتور، اختلاف سرعت رتور و میدان دوار کمتر می شود. 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 نمی رسد بلکه در نزدیک آن پایدار می شود. برهمین اساس لغزش این حالت دارای مقداری بین صفر و یک است.

$$n_r < n_s \Rightarrow S = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{\Delta n}{n_s} \Rightarrow ۰ < \Delta n < ۱ \Rightarrow ۰ < S < ۱$$

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 می شود و مقدار لغزش آن چنین به دست می آید .

$$n_r < ۰ \Rightarrow S = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{n_s - (-n_r)}{n_s} \Rightarrow \Delta n > ۱ \Rightarrow S > ۱$$

۹ـ۳ـ مشخصه گشتاور ـ دور موتور القایی

در مشخصه گشتاور ـ دور نقاط مهمی وجود دارد که به ترتیب عبارتند از:

نقطه ۱ لحظه راه اندازی موتور است و سرعت رتور برابر صفر و گشتاور موتور دارای مقدار T_s است. مقدارگشتاور موتور در لحظه شروع به کار را "گشتاور راه اندازی " گویند و با T_s نشان میدهند. مقدار گشتاور راه اندازی را با T_s نشان میدهد که موتور چه مقدار گشتاور بار را می توان د به راه بیاندازد. 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 می شود به همین دلیل مشخصه گشتاور ـ لغزش نیز ارائه شده است. 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.

۱۰ـ۳ـ رتور قفسی موتورهای القایی

رتور موتورهای القایی رتورقفسی در ۴ نوع (۴ کلاس) A، B، C و D ساخته می شوند. تفاوت شکل شیار هسته رتور موتورهای القایی باعث می شود تا این رتورها از نظر عملکرد و تولید گشتاورهای راه اندازی T_s و گشتاور ماکزیمم T_m با یکدیگر تفاوتهایی داشته باشند.

۱۱ـ۳ـ ضریب توان مؤثر

ضریب توان مؤثر موتور القایی تابع سرعت رتور است. در زمان راه اندازی ضریب توان مؤثر موتور بسیار کم است ولی با افزایش سرعت، مقدار آن افزایش می یابد و پس از عبور از سرعت n_{rm} موتور مقدار آن رو به کاهش میگذارد و در سرعت سنکرون صفر میشود.

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 (بی باری) وکاهش ضریب توان مؤثر میشود و با دریافت توان غیرمفید (راکتیو) بیشتر موتور از شبکه برق می شود.

راه اندازی 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"راه اندازی" گویند.

در راه اندازی 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 راه اندازی" گویند.

(تهیه شده توسط سایت ایران عرضه)برای راه اندازی موتورهای القایی روشهای متداول زیر استفاده میشود :

۱ـ راه اندازی مستقیم

۲ـ راه اندازی با کنترل ولتاژ

۳ـ راه اندازی با کنترل همزمان ولتاژ و فرکانس

کنترل ولتاژ موتورهای القایی در زمان راه اندازی با روشهای زیر انجام میشود :

الف) راه اندازی ستاره مثلث

ب) راه اندازی ترانسفورماتوری

پ) راه اندازی نرم

۱۲ـ۳ـ 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 عبارتند از :

ـ تغییر همزمان ولتاژ و فرکانس

ـ تغییر قطب

۱۳ـ۳ـ ترمز موتورهای القایی

عمل توقف سریع رتور را در موتورهای الکتریکی»ترمز « گویند. هرگاه رتور موتور الکتریکی در حال گردش باشد، بهدلیل وجودوزن و ابعاد، رتوردارای انرژی جنبشی (اینرسی حرکتی) است. انرژی جنبشی رتور باعث می شود پس از قطع برق، رتور متوقف نشود و به گردش همچنان ادامه دهد تا انرژی جنبشی آن در اثر اصطحلاک مستهلک شود.

برای ترمز موتورهای القایی از روشهای زیر استفاده می شود :

۱ـ ترمزالکترومکانیکی

۲ـ ترمز جریان مخالف

۳ـ ترمز با جریان مستقیم (ترمزدینامیکی)

تلفات و راندمان موتورهای الکتریکی

موتورهای الکتریکی توان الکتریکی را به توان مکانیکی تبدیل می کنند.

در موتورهای الکتریکی، مقداری از انرژی الکتریکی که در واحد زمان به انرژی حرارتی تبدیل می شود را تلفات موتور می گویند وآن را با ΔP نشان می دهند. این تلفات از رابطه ۱ به دست می آید.

$$\Delta P = P_{in} - P_{out} \quad (۱)$$

مقدار توان ورودی که توان الکتریکی است در موتورهای سه فاز از رابطه زیر به دست می آید.

$$P_{in} = \sqrt{۳} V_L I_L \cos\varphi \quad (۲)$$

توان مکانیکی که موتور به بار مکانیکی متصل به رتور تحویل می دهد را توان خروجی گویند و با P_{out} نشان می دهند.حداکثر توانی که موتور به بار مکانیکی تحویل می دهد و آسیب نمیبیند را توان"نامی" گویند و با P_{in} نشان می دهند. توانی که روی پلاک موتور حک می شود بیانگر توان نامی است. موتور به ازای توان نامی ، جریان نامی را تحت ولتاژ و فرکانس نامی از شبکه دریافت می کند. توان خروجی موتور القایی سه فاز از رابطه (۳) قابل محاسبه است.

$$P_{out} = T_{out} \omega_r \quad (۳)$$

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 مسی رتور عبارت است از مقدار توان تلف شده در سیم پیچی موتورهای رتور سیم پیچی یا میله های به کار 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 معمولا از آن صرف نظر می شود.

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.

تلفات مکانیکی رتور و تلفات آهنی استاتور تقریبا ثابت هستند لذا به مجموع این دو تلفات "تلفات ثابت" موتور القایی می گویند.

$$\text{تلفات ثابت} = P_{Fes} + P_{mec}$$

پس کل تلفات (ΔP) در موتورهای القایی را می‌توان مجموع تلفات ثابت و متغیر دانست و به‌صورت رابطه (۱۸) نوشت.

$$\Delta P = \text{تلفات ثابت} + \text{تلفات متغیر}$$
$$\Delta P = (P_{Fes} + P_{mec}) + (P_{Cus} + P_{Cur}) \quad (۱۸)$$

پودمان چهارم

کاربرد اتوماسیون صنعتی (اینورتر)

۱ـ۴ـ مقدمه

امروزه قطعات الکترونیکی در اکثر وسایل الکتریکی به کار برده می شوند. در بسیاری از وسایل الکتریکی صنعتی و خانگی از قطعات الکترونیکی جهت فرایند کنترل استفاده می شود. قطعات الکترونیکی باعث صرفه جویی در مصرف انرژی الکتریکی می شوند و راحتی، دقت و ایمنی بیشتر به هنگام کار با وسیله برقی را نیز فراهم می نمایند. قطعات الکترونیکی بسیار زیادی با کاربرد های منحصر به فرد تولید شده اند. نمونه های قطعات الکترونیکی مانند دیود، ترانزیستور و تریستور و. . . . است. قطعات الکترونیکی با نیمه هادی ها ساخته می شوند.

۲ـ۴ـ نیمه هادی ها

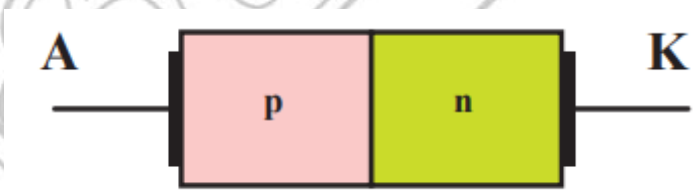
نیمه هادی هاعناصریهستند که در لایه واالنسخود چهارالکترون دارند وهدایت الکتریکیآنهاکمتراز هادی ها و بیشترازعایق ها می باشد. نیمه هادی های سیلیسیوم وژرمانیوم در ساخت قطعاتالکترونیکی استفاده می شوند. از نیمه هادی ژرمانیوم در ساخت قطعات الکترونیکی که در مدارات مخابراتی به کارمی روند استفاده می شود. به منظور افزایش هدایت الکتریکی، نیمه هادی ها را ناخالص می کنند. برای ناخالص کردن نیمه هادی های 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 می شود.

با ناخالص کردن نیمه هادی باعنصر پنج ظرفیتی پیوند کووالانسی بین الکترون های آنها ایجاد می شود. در این پیوند اتم های نیمه هادی و عنصر پنج ظرفیتی الکترون های لایه واالنس خود را به اشتراک می گذارند و تعداد الکترون های لایه والانس اتم ها به هشت می رسد و پایدار می شوند و یک الکترون آزاد ایجاد می شود. الکترون آزاد به هیچ اتمی وابسته نمی باشد. با ناخالص کردن نیمه هادی توسط عنصر پنج ظرفیتی تعداد الکترون های آزاد افزایش می یابد در نتیجه هدایت الکتریکی زیاد می شود.

۳ـ۴ـ دیود Diode

دیود یک قطعه الکترونیکی است که از اتصال دولایه P و N ایجاد می شود و آن را اتصال PN نیز می گویند.

دیود دارای دو پایه می باشد. پایه ای که به لایه P دیود متصل می شود را آند و پایه ای که به لایه N دیود متصل می شود را کاتد می نامند.



دیود می تواند جریان الکتریکی را از سوی آند به سمت کاتد هدایت کند. نماد دیود بیانگر این واقعیت است.

به منظورتشخیص پایه های دیود معمولا پایه کاتد برروی دیود علامت گذاری می شود. و یا روی بدنه دیود با حرف و یا حلقه رنگی کاتد را مشخص می کنند.

۴ـ۴ـ بایاس دیود

تغذیه پایه های دیود در مدارهای الکتریکی توسط منبع ولتاژ را بایاس دیود گویند. بایاس دیود به دوصورت بایاس موافق و بایاس مخالف در مدارهای الکتریکی انجام می شود.

هرگاه پتانسیل پایه آند دیود دریک مدار الکتریکی مثبت تر از پتانسیل پایه کاتد باشد، دیود در بایاس موافق ست. در بایاس موافق به شرط اینکه پتانسیل الکتریکی آند در مدار به اندازه حدود ۰/۷ ولت از پتانسیل الکتریکی کاتد بیشتر شود، دیود هادی خواهد شد و مانند یک کلید بسته جریان الکتریکی را هدایت می نماید.

هرگاه پتانسیل پایه کاتد دیود در یک مدار الکتریکی مثبت تر از پتانسیل پایه آند باشد دیود در بایاس مخالف است. در بایاس مخالف دیود قطع می باشد و مانند یک کلید باز عمل می کند و جریان الکتریکی از آن عبور نمی کند.

۵ـ۴ـ آزمایش دیود

آزمایش دیود به منظور اطمینان از سالم بودن دیود انجام می شود. افت ولتاژ دو سر دیود سالم در بایاس موافق حدود ۰/۷ ولت می باشد و افت ولتاژ دو سر دیود در بایاس مخالف حدود ولتاژ منبع تغذیه مدار است. بدین منظور توسط ولت متر با اندازه گیری افت ولتاژ دوسر دیود از صحت سالمت آن مطمئن می شوند.

اگر در آزمایش افت ولتاژ دو سر دیود در بایاس موافق و مخالف برابر باشد، دیود معیوب است. درصورتی که افت ولتاژ دو سر دیود معیوب در بایاس موافق و مخالف حدود صفر ولت باشد، دیود اتصال کوتاه و خراب است. در صورتی که افت ولتاژ دوسر دیود معیوب در بایاس موافق و مخالف حدود ولتاژ منبع باشد دیود قطع و خراب است.

۶ ـ۴ـ پارامترهای دیود

ارامترهای دیود شامل ولتاژ، جریان، فرکانس، دمای کار و مقاومت حرارتی و. . . می باشد. 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 می شود. از مهم ترین پارامترهای دیود ولتاژ، جریان و فرکانس کار آن می باشد. 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 می کند و معیوب نمی شود را فرکانس کار گویند. دیودهایی که فرکانس کار آنها ۵۰ و یا۶۰ هرتز می باشد را دیود معمولی گویند. از دیودهای معمولی در فرکانسهای بالاتر نمی توان استفاده کرد.

ب) حداکثر ولتاژمعکوس دیود

بیشترین ولتاژی که دیود در بایاس مخالف می توان د تحمل کند و معیوب نشود را حداکثر ولتاژ معکوس دیود می گویند و آن را با (PIV Peak Inverse Voltage ویا با MRV نشان میدهند.

ج) حداکثر جریان دیود

بیشترین جریانی که دیود در بایاس موافق می تواند تحمل کند و معیوب نشود را حداکثر جریان دیود می گویند I نشان میدهند. و آن را با AVG مقدار جریان قابل تحمل دیود توسط کارخانه سازنده تعیین میشود. دیود معمولی از A۱ الی A۱۰۰۰۰ ساخته شده و به بازار عرضه شده اند.

د) دمای مجاز

حداکثر دمایی که دیود هنگام کار می تواند تحمل کند را دمای مجاز دیود می گویند.

۷ـ۴ـ یکسوسازی

بدیل ولتاژ متناوب AC به ولتاژ مستقیم DC را یکسوسازی می گویند. ازدیود های معمولی برای یکسوسازی استفاده می شود. به مدارهای دیودی که برای یکسوسازی استفاده می شود مدار یکسوکننده گویند. انواع مدارهای یکسوکننده تک فاز وسه فاز به صورت نیم موج و تمام موج طراحی می شود.

الف) یکسوکننده نیم موج تک فاز

یکسوکننده ای که نیم سیکل از هر سیکل موج متناوب ورودی را به مصرف کننده می رساند، یکسوکننده نیم موج تک فاز می گویند. در مدار یکسوکننده نیم موج تک فاز از یک دیود استفاده می شود.

مقدار ولتاژ یکسو شده توسط یکسوکننده نیم موج تک فاز از رابطه زیر به دست می آید.

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi}$$

ب) یکسوکننده تمام موج تک فاز

یکسوکننده ای که نیم سیکل های مثبت و منفی موج متناوب ورودی را به صورت نیم سیکل های یکسو شده به بار می رساند را یکسوکننده تمام موج تک فاز می گویند. به یکسوکننده تمام موج تک فاز پل دیودی نیز می گویند. مدار پل دیودی با چهار دیود ساخته می شود.

مقدار ولتاژ یکسو شده توسط یکسوکننده تمام موج تک فاز از رابطه زیر به دست می آید:

$$V_{dc} = \frac{۲V_m}{\pi}$$

در این رابطه:

V_{dc} ولتاژ یکسوشده

V_m ولتاژ ماکزیمم است.

ج) یکسوکننده

به تمام موج سه فاز یکسوکننده ای که نیم سیکل های مثبت و منفی موج متناوب سه فاز ورودی را به صورت یکسوشده به بار می رساند، یکسوکننده تمام موج سه فاز می گویند. به یکسوکننده تمام موج سه فاز پل سه فاز دیودی نیز می گویند. مدار پل سه فاز دیودی با شش دیود ساخته می شود.

۸ ـ۴ـ صافی یکسو ساز

عناصر الکتریکی که برای کاهش تغییرات دامنه ولتاژ یا جریان یکسو شده به کار می رود را صافی filter می گویند. صافی ها دارای دو نوع صافی خازنی و صافی سلفی می باشند. صافی خازنی دامنه تغییرات ولتاژ یکسو شده را کاهش می دهد. صافی خازنی با خروجی یکسوکننده به صورت موازی نصب می شود. با نصب صافی خازنی شکل ولتاژ موج یکسو شده به شکل موج ولتاژ ثابت (مانند ولتاژ دوسر باطری) نزدیک تر خواهد شد.

در صافی، خازنی از خازن های الکترولیتی استفاده می شود. ظرفیت خازن الکترولیتی متناسب با توان یکسوساز انتخاب خواهد شد. صافی سلفی دامنه تغییرات جریان یکسو شده راکاهش می دهد. صافی یکسوساز سلفی با خروجی یکسوکننده به صورت سری نصب می شود.

۹ـ۴ـ دیود نوردهنده

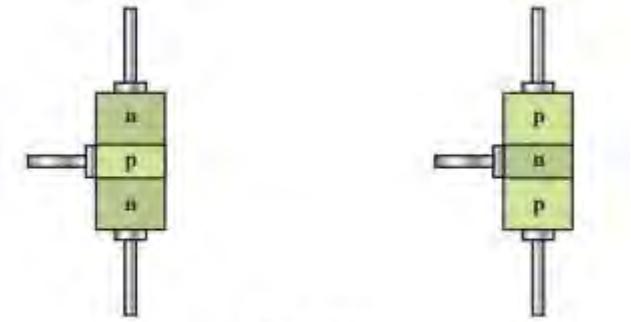
دیود نور دهنده انرژی الکتریکی را به انرژی نورانی تبدیل می کند. به دیود نوردهنده LED می گویند.

شکل ۲۷ـ 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 میلی آمپر نیز میرسد. دیود های نوردهنده LED با نور تولیدی به رنگهای آبی، سفید، قرمز، زرد و سبز با شکلهای فیزیکی متنوع ساخته شده و به بازار عرضه میشوند.

۱۰ـ۴ـ ترانزیستور

ترانزیستور یک قطعه الکترونیکی سه لایه می باشد. که از قطعات P و N تشکیل شده است. ترانزیستور در دو نوع PNP و NPN ساخته می شود.



شکل ۳۰

ترانزیستور دارای سه پایه کلکتور، بیس و امیتر می باشد که به لایه های ترانزیستور وصل می شوند.

ترانزیستورهای سه لایه دارای دو محل اتصال بین قطعات P و N می باشند و آنها را ترانزیستور BJT می نامند.

ترانزیستورهای NPN و یا PNP در مدارهای الکترونیکی برای تقویت ویا قطع و وصل سیگنال ورودی استفاده می شوند. هنگامی که ترانزیستور در یک مدار الکترونیکی به عنوان تقویت کننده استفاده می شود آن مدار را آمپلی فایر گویند و هنگامی که ترانزیستور دریک مدار الکتریکی یا الکترونیکی به عنوان قطع و وصل کننده به کار می رود آن مدار را مدار سوئیچینگ می گویند. تغذیه پایه های ترانزیستور با منبع ولتاژ جریان مستقیم DC را بایاس ترانزیستور گویند. ترانزیستور های PNP و NPN هر دو در عمل تقویت و سوئیچینگ سیگنال قابل استفاده هستند و تفاوت آنها در بایاس و جهت جریان پایه ها می باشد. کاربرد ترانزیستور NPN به مراتب بیشتر از PNP است. عملکرد ترانزیستوری که به عنوان سوئیچ به کار می رود به این ترتیب است که پس از بایاس ترانزیستور و تزریق جریان به پایه بیس ترانزیستور، مقاومت اهمی بین کلکتور و امیتر کاهش می یابد. به این ترتیب جریان الکتریکی بین پایه های کلکتور (خلاصه شده توسط ایران عرضه)رو امیتر برقرار خواهد شد.

فرق ترانزیستور با یک کلید (سوئیچ معمولی) این است که به کمک ترانزیستور می توان در ثانیه میلیون ها بار عمل قطع و وصل را انجام داد، درصورتی که با یک کلید معمولی چنین چیزی امکانپذیر نیست و در ضمن ترانزیستور ابعاد کوچک تری نسبت به کلید مکانیکی مشابه خود دارد، جرقه نمیزند، نویز پخش نمیکند.

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 روش های مختلفی انجام می شود. هدف از انجام آزمایش ترانزیستور تشخیص سالم بودن ترانزیستور است.

۱۱ـ۴ـ تریستور

تریستور یک قطعه الکترونیکی چهارلایه می باشد که از قطعات P و N تشکیل شده است.

تریستور دارای سه پایه آند، کاتد و گیت می باشد.

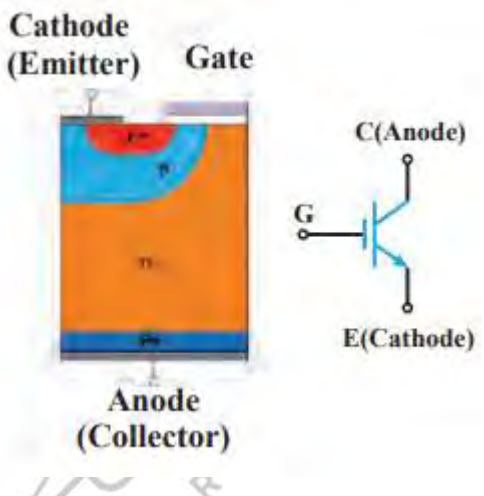
هرگاه پتانسیل پایه آند تریستور در یک مدار الکتریکی مثبت تر از پتانسیل پایه کاتد باشد تریستور در بایاس موافق است. در بایاس موافق با اعمال لحظه ای جریان به پایه گیت تریستور، مقاومت اهمی بین پایه های آند و کاتد به شدت کاهش می یابد و ارتباط الکتریکی بین آنها برقرار می شود و مانند یک سوئیچ بسته، هادی تریستور سوئیچ می کند.

هنگامی که تریستورسوئیچ می کند آند و کاتد باید تحمل می باشند و اصطلاحا جریانی را که از آنها عبور می کند داشته باشند. اعمال لحظه ای جریان به پایه گیت تریستور را تحریک گیت گویند. در واقع تریستور مشابه کلیدی است که کنترل آن از طریق گیت امکان پذیر است.

آزمایش تریستور: آزمایش تریستور به منظور اطمینان از سالم بودن تریستور انجام می شود.

۱۲ـ۴ـ ترانزیستور دوقطبی با گیت عایق شده

ترانزیستور دوقطبی با گیت عایق شده جزو نیمه هادی های قدرت می باشد. 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.



مزایای IGBT عبارت است از:

۱ـ مقاومت ورودی زیاد

۲ـ جریان و توان راه اندازی کم

۳ـ افت ولتاژ در حالت وصل کم

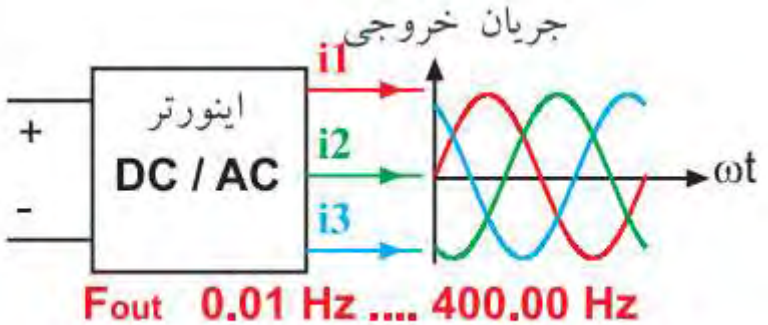
۴ـ تلفات کم

مدار راه اندازی گیت IGBT

IGBT نیازمند ولتاژ گیت ـ امیتر برای کنترل میزان هدایت میان کلکتور و امیتر است. ولتاژ گیت ـ امیتر توسط مدارهای راه اندازی گیت تأمین می شود. مدارهای راه اندازی گیت تأثیر زیادی بر عملکرد IGBT از نظر تلفات سوئیچ، توانایی حفاظت اتصال کوتاه و زمان سوئیچینگ دارد. در مدار راه انداز از مدارات مجتمع آماده برای راه اندازی استفاده می شود که از آن جمله می توان IC راه انداز HCP1316j را نام برد.

۳ـ۴ـ درایو فرکانس متغیر

درایو فرکانس متغیر VFD 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 می باشد. خروجی اینورترها ً می توان د به صورت تک فاز و یا سه فاز باشد. فرکانس ولتاژ متناوب خروجی اینورترهای تک فاز و سه فاز معمولا بین ۰/۰۱ هرتز تا ۴۰۰ هرتز قابل کنترل است. اما ولتاژ متناوب خروجی در اینورتر تک فاز تا ۲۳۰ ولت و در اینورتر سه فاز تا ۴۰۰ ولت قابل کنترل می باشد.

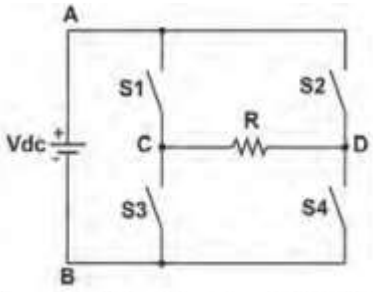


شکل ۵۳

ولتاژ مستقیم DC ورودی اینورتر از یکسو کردن ولتاژ متناوب AC برق شهر تأمین میشود. برای یکسو کردن ولتاژ متناوب AC برق شهر از یکسوکننده های دیودی تمام موج استفاده میشود. در اینورترهای تک فاز یکسوکننده تمام موج تک فاز و در اینورترهای سه فاز یکسو کننده های تمام موج سه فاز استفاده میشود.

۱۴ـ۴ـ اصول کار اینورتر

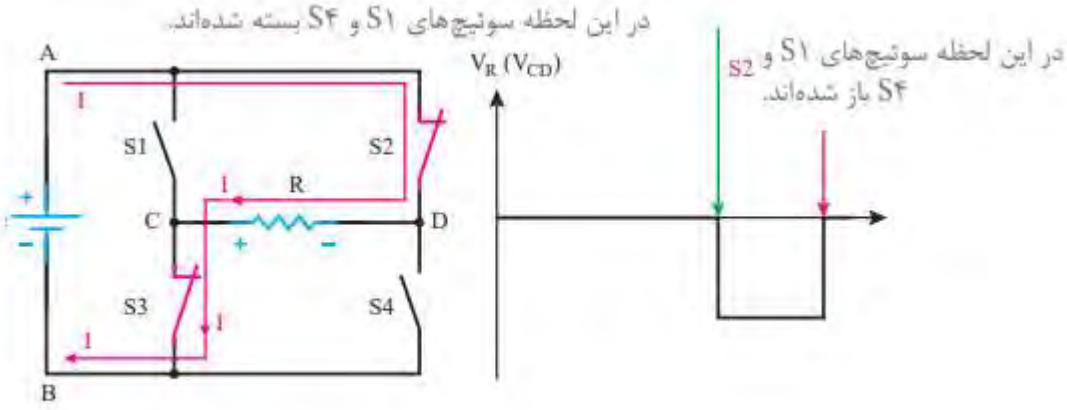
اصول کار اینورتر بر مبنای تبدیل ولتاژ DC به ولتاژ AC استوار است.



شکل ۵۴ـ نحوه تبدیل ولتاژ DC به AC

اگر سوئیچهای S۱ و S۴ شکل۵۴ بسته شوند، ولتاژ DC بین نقاط B وA، در دو سر مقاومت قرار میگیرد در حقیقت مقاومت با منبع موازی میشود.

حال اگر در حالیکه کلیدهای S۱ و S۴ باز هستند کلیدهای S۲ و S۳ را ببندیم شکل ولتاژ دو سر مقاومت اهمیبه صورت شکل۵۶ خواهد شد.



شکل ۵۶ـ ولتاژ دو سربار

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 شده اند که مهم ترین آنها به شرح زیر است:

۱ـ صرفه جویی در مصرف انرژی به طوری که ظرف مدت یک الی یک و نیم سال، هزینه خود اینورتر از بابت صرفه جویی در مصرف انرژی جبران میشود.

۲ـ کاهش توان راکتیو (به دلیل داشتن بانک خازنی در اینورتر)

۳ـ کاهش جریان راه اندازی

۴ـ کاهش تنش های مکانیکی موتور رفع ناهنجاریهای مکانیکی (عدم ایجاد ضربه و به تبع آن عدم خرابی فونداسیون و. . .)

۵ـ عدم خرابی تکیه گاه ها (مانند یاتاقان ها ، بیرینگها، بلبرینگها و. . .)

۶- عدم خرابی سیستم انتقال نیرو از موتور به بار مکانیکی

۷- عدم خرابی گیربکس های تبدیل دور

۸ محدود کردن جریان راه اندازی

۹ـ عدم نیاز به خازنهای اصالح ضریب توان مؤثر

۱۰ـ عدم نیاز به راه اندازی 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

پودمان پنجم

کسب اطلاعات فنی (زبان فنی)

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 الزم در بهره گیری از راهنماها ودستورالعمل های بهره برداری 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 وهم افزایی دانش فنی درمحل کار می کند.

این پودمان از سه بخش اصلی تشکیل شده است:

اندازه گیری الکتریکی

ولتاژ مستقیم و متناوب (نیمه تجویزی)

انواع کاتالوگ

ایران عرضه
فروشگاه کالاهای دانلودی
IRANARZE.IR

ایران عرضه

مرجع نمونه سوالات

آزمون های استخدامی

به همراه پاسخنامه تشریحی

خدمات ایران عرضه:

- ارائه اصل سوالات آزمون های استخدامی
- پاسخنامه های تشریحی سوالات
- جزوات و درسنامه های آموزشی

برای دانلود رایگان جدیدترین سوالات استخدامی هنرآموز برق، اینجا بزنید

برای دانلود رایگان مرجع این جزوه، کتاب دانش فنی - تخصصی دوازدهم اینجا بزنید

« انتشار یا استفاده غیر تجاری از این فایل، بدون حذف لوگوی ایران عرضه، مجاز می باشد »

@iranarze

@iranarze