



مقدمه

۳

ساده‌تر از موتورهای DC است. ولی مکانیزم عملکرد، کنترل سرعت و گشتاور در این نوع موتورها نیازمند درک عمیق‌تری از مفاهیم الکتریسیته و مغناطیس می‌باشد. این نوع موتور در قدرت‌های متنوع (کسری از کیلو وات تا چند ده مگا وات) ساخته و بهره‌برداری می‌شوند.

موتورهای القایی سه فاز، پرکاربردترین موتورهایی هستند که برای به حرکت درآوردن، چرخ‌های صنعت از آنها استفاده می‌شود. طراحی ساده و مستحکم، قیمت ارزان، هزینه نگهداری پایین و اتصال آسان به منبع سه فاز امتیازات اصلی موتورهای القایی هستند. با اینکه ساختمان موتورهای القایی سه فاز به مراتب



شکل ۱- انواع موتورهای الکتریکی و کاربرد آن در صنعت

۳-۱- ساختمان ماشین‌های القایی

به‌طور کلی هر ماشین القایی (موتور یا مولد القایی) از دو بخش استاتور و رتور تشکیل شده است. استاتور بخش ثابت و رتور بخش متحرک ماشین می‌باشد.

در شکل (۲) ساختمان ماشین القایی نشان داده شده است.

۳-۱-۱- استاتور: استاتور ماشین القایی، شامل بدنه،

هسته مغناطیسی، سیم‌پیچ‌ها و باتاقان‌ها می‌باشد.^۱

هسته استاتور، مجموعه‌ای از ورق‌های فولادی است که

دارای شیار در سطح داخلی آن مطابق شکل (۳-الف) می‌باشد که پس از قرار گرفتن در کنار هم تشکیل یک حجم استوانه‌ای توخالی را مطابق شکل (۳-ب) می‌دهد.

سیم‌پیچ‌های سه فاز ماشین القایی در داخل همین شیارها

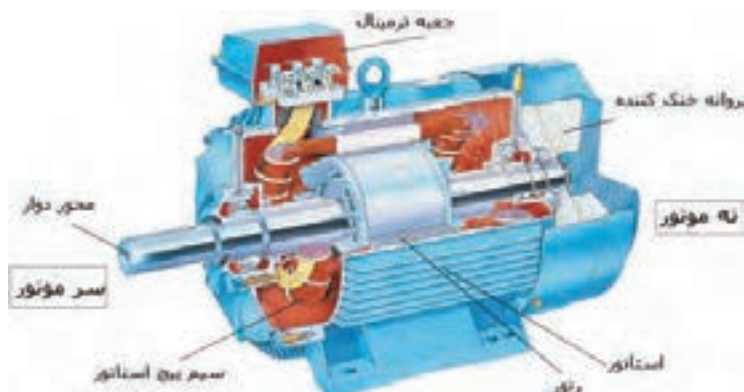
قرار می‌گیرند.

در فصل ۱ با پدیده هیستریزس و فوکو آشنا شدید. در

ماشین‌های القایی نیز به دلیل تلفات هیستریزس، جنس هسته باید از فولاد الکتریکی با پسماند کم^۲ انتخاب شود تا تلفات هیستریزس ماشین به حداقل ممکن برسد. همچنین برای کاهش تلفات فوکو نیز از روش ورق، ورق کردن هسته بهره می‌گیرند.

ابعاد هسته استاتور به گونه‌ای است که به راحتی در بدنه فولادی، چدنی یا آلومینیومی استاتور محکم می‌شود این بدنه به صورت پره دار ساخته می‌شود تا برای تهویه بهتر، سطح تماس بیشتری با هوای محیط (سطح بیرونی) خود داشته باشد.

وظیفه بدنه، پوشش نهایی ماشین القایی می‌باشد که هسته و سیم‌پیچ‌ها را در خود جای داده است و ضمن محافظت ماشین در برابر ورود اجسام خارجی امکان نصب ماشین را فراهم می‌کند. همچنین برای اتصال سیم‌پیچ‌ها روی بدنه ماشین جعبه ترمینال^۳ قرار می‌گیرد.



شکل ۲- اجزای تشکیل دهنده یک موتور القایی

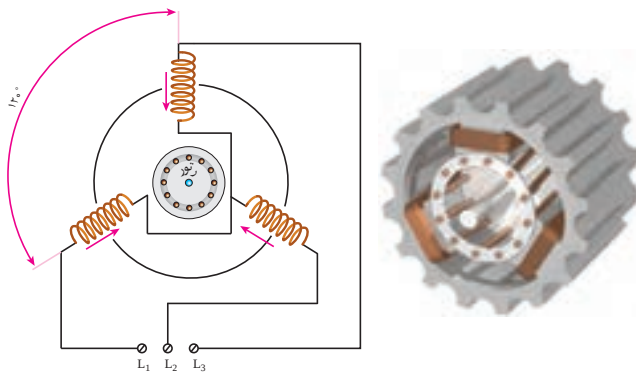
۱- در صورت نیاز ممکن است به منظور خنک سازی ماشین القایی و یا حفاظت آن از لوازم بیشتری نظیر فن، هیتر یا گرم کن، سنسور لرزش، مقاومت‌های متغیر با دما و ... در

آن استفاده شود.

۲- فولاد سیلیس دار

۳- Terminal Box

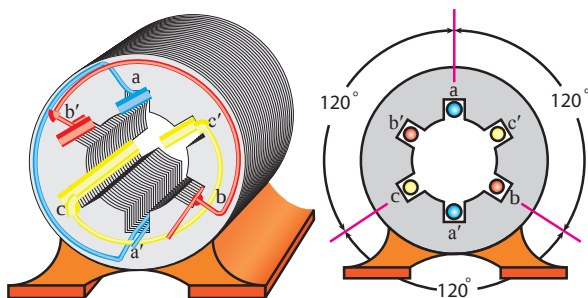
۲-۱-۳- سیم پیچ: استاتور ماشین القایی سه فاز با توجه به محیط 360° دایره‌ای شکل خود باید حداقل دارای سه سیم پیچ با اختلاف زاویه 120° مکانی از هم مطابق شکل (۴) باشد.



به اختلاف مکانی 120° درجه سیم پیچ توجه کنید.

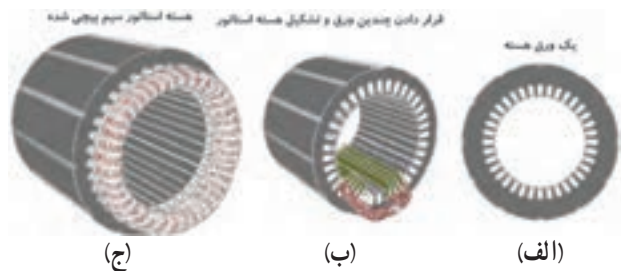
شکل ۴- استقرار سیم پیچ‌های ماشین القایی و مدار الکتریکی آن

در عمل سیم پیچ‌های سه فاز استاتور ماشین القایی احتیاج به حداقل ۶ شیار مطابق شکل (۵) دارند. سیم پیچ‌ها به گونه‌ای جاسازی می‌شوند که هر سیم پیچ با دیگری 120° درجه اختلاف فاز مکانی داشته باشد. در این شکل سه دسته سیم پیچ با حروف (aa', bb', cc') مشخص شده‌اند. در ماشین‌های القایی صنعتی شیارهای استاتور بیشتر از این تعداد می‌باشند.

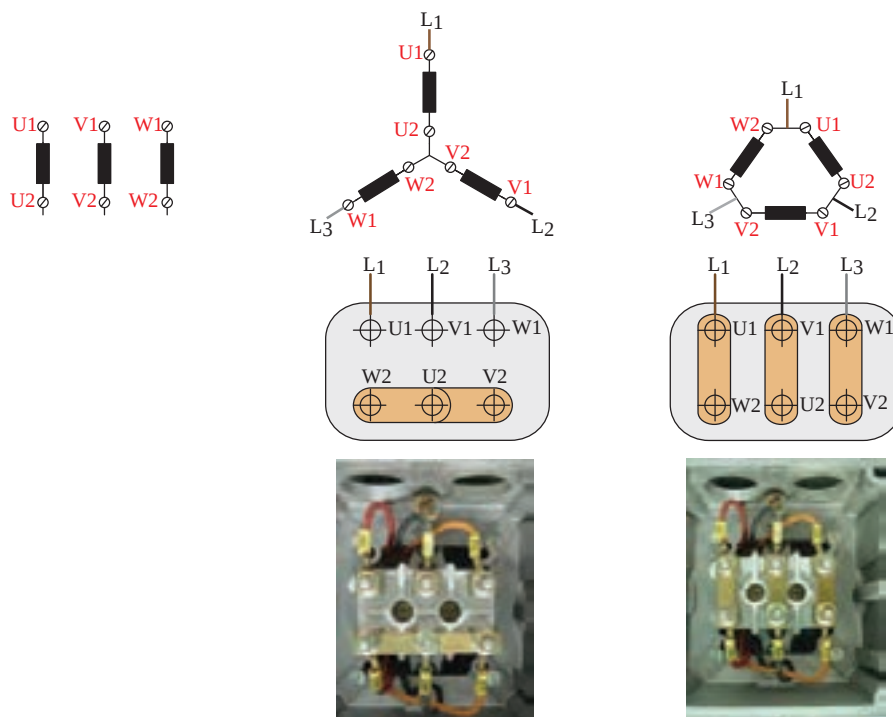


شکل ۵- استاتور ماشین الکتریکی سه فاز دو قطب شامل سه کلاف تک حلقه

به علاوه دو درپوش و یاتاقان‌های طرفین ماشین به گونه‌ای طراحی می‌شوند که قسمت متحرک ماشین (رتور) به راحتی در داخل استاتور بچرخد و تکیه‌گاه مکانیکی مناسبی برای رتور فراهم شود. این بخش در ساختار الکتریکی ماشین نقشی ندارد و جزو تجهیزات مکانیکی ماشین به حساب می‌آید. در موتورهای سنگین که جابه‌جایی آن برای افراد میسر نیست، یک قلاب در بالای بدنه ماشین پیش‌بینی می‌شود که بتوان با جرثقیل آن را جابه‌جا نمود.



شکل ۳- هسته استاتور، بدنه و سیم پیچ استاتور



شکل ۶- نحوه اتصال سر سیم ها در ترمینال ماشین القایی سه فاز

سپس این میله ها از هر دو طرف توسط دو حلقه هم جنس با میله ها (آلومینیوم یا مس) به هم متصل شده اند. شکل (۷) ابعاد چند نوع رتور قفسی را نشان می دهد.

در ماشین های القایی، سر و ته سیم پیچ ها (aa' , bb' , cc') را به داخل جعبه ترمینال می آورند تا به ترمینال های خروجی متصل شوند. بدین ترتیب تغییر اتصال ستاره و یا مثلث در جعبه ترمینال بسیار ساده مانند شکل (۶) می باشد.

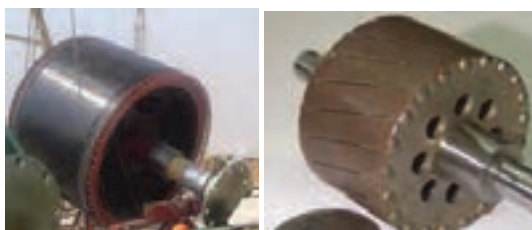
۳-۱-۳ رتور: رتور ماشین های القایی بر دو نوع است:

- رتور قفسی

- رتور سیم پیچی شده

هسته هر دو نوع رتور از ورقه های مغناطیسی دایره ای شکلی تشکیل شده اند که از مرکز آن محور فولادی رتور عبور کرده است. محور فولادی رتور بایستی از نظر مکانیکی از استحکام کافی برخوردار بوده ولی از نظر خاصیت مغناطیسی ضعیف باشد.

۳-۱-۴ رتور قفسی: این نوع رتور، از تعدادی میله های مسی یا آلومینیومی مطابق شکل (۲۱) تشکیل شده است که آنها را در داخل شیارهای ورقه مغناطیسی رتور تعبیه کرده اند.



شکل ۷- رتور قفسی در ابعاد مختلف

۵-۱-۳- رتور سیم‌پیچی شده (Wound rotor) :

بر روی این نوع رتور سه دسته سیم‌پیچ با اختلاف مکانی 120° درجه مانند استاتور ماشین القایی سه فاز با همان تعداد قطب پیچیده می‌شوند. این سیم‌پیچ‌ها نسبت به بدنه رتور عایق شده است. نمایی از این نوع رتور در شکل (۸) دیده می‌شود.



شکل ۸- رتور سیم‌پیچی شده در ابعاد مختلف

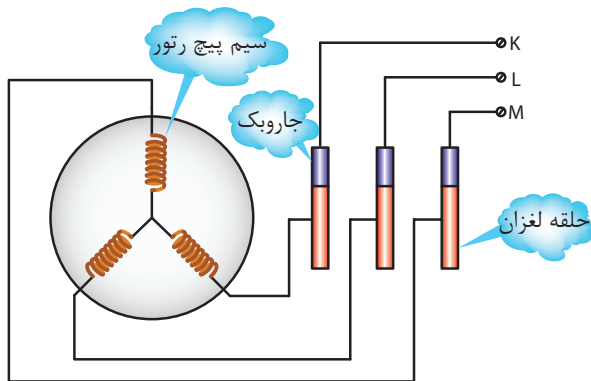
نکات قابل توجه در رابطه با ماشین‌های القایی رتور سیم‌پیچی عبارتست از :

الف) تعداد شیارهای رتور همواره کمتر از تعداد شیارهای استاتور است.

ب) تعداد قطب‌های سیم‌پیچی رتور باید برابر با تعداد قطب‌های سیم‌پیچی استاتور باشد.

سیم‌پیچ‌های رتور اغلب با اتصال ستاره^۱ به هم وصل می‌شوند و سه سر دیگر سیم‌پیچ‌ها توسط حلقه‌های لغزان^۲ و جاروبک به بیرون رتور جهت اتصال به مقاومت راه‌انداز انتقال داده می‌شوند.

بدین ترتیب در ماشین‌های القایی رتور سیم‌پیچی، امکان دسترسی به مدار داخلی رتور وجود دارد. مدار الکتریکی و اتصال سیم‌پیچ‌های رتور به حلقه‌های لغزان در شکل (۹) نشان داده شده است.



شکل ۹- مدار الکتریکی رتور سیم‌پیچی

خود را بیازمایید



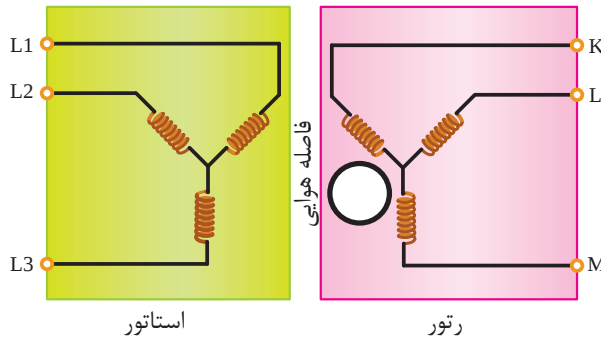
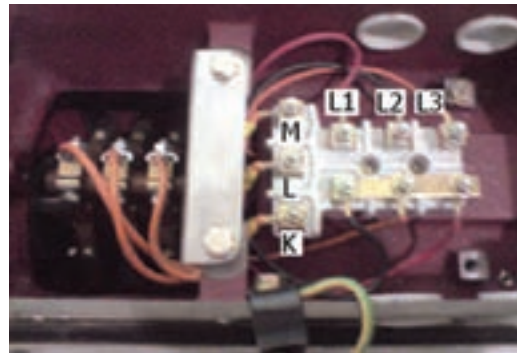
- ۱- مزیت‌های ماشین‌های القایی جریان متناوب نسبت به ماشین‌های جریان مستقیم را بیان کنید.
- ۲- به قسمت ثابت ماشین‌های القایی... و به قسمت متحرک آن... می‌گویند.
- ۳- قسمت‌های اصلی استاتور ماشین‌های القایی را نام ببرید.
- ۴- چرا هسته استاتور ماشین‌های القایی را به صورت ورقه ورقه و با پسماند کم می‌سازند؟
- ۵- اجزای تشکیل دهنده رتور قفسی را نام ببرید.

۱- گاهی در صنعت می‌توان موتورهای القایی رتور سیم‌پیچی شده‌ای یافت که سیم‌پیچ‌های رتور آن با اتصال مثلث به هم وصل شده باشند.

۳-۲- اساس کار موتورهای القایی

(ثانویه) علاوه بر هسته مغناطیسی، فاصله هوایی نیز وجود دارد و از آنجا که در قدرت‌های یکسان، نیروی محرکه مغناطیسی بیشتری جهت غلبه بر تلفات مکانیکی رتور و مقاومت مغناطیسی ناشی از فاصله هوایی بین استاتور و رتور مورد نیاز است، بنابراین در قدرت یکسان جریان بی‌باری موتورهای القایی نسبت به ترانسفورماتورها بیشتر می‌باشد.

مطابق شکل (۱۰)، مدار الکتریکی موتور القایی سه فاز رتور سیم پیچی شده مانند یک ترانسفورماتور سه فاز است. در واقع هر دو از اثر القای نیروی محرکه در سیم پیچ طرف دیگر استفاده می‌کنند لذا به این موتورها، موتورهای القایی گفته می‌شود. البته در ساختار موتور القایی بین سیم استاتور (اولیه) و رتور



شکل ۱۰- مدار الکتریکی (پایین) و جعبه ترمینال (بالا) موتور القایی با رتور سیم پیچی شده

می‌گیرند ولی از آنجا که می‌توان این موضوع را با دلایل فیزیکی نیز شرح داد، لذا برای اثبات میدان دوار از تشریح فیزیکی میدان استفاده می‌گردد.

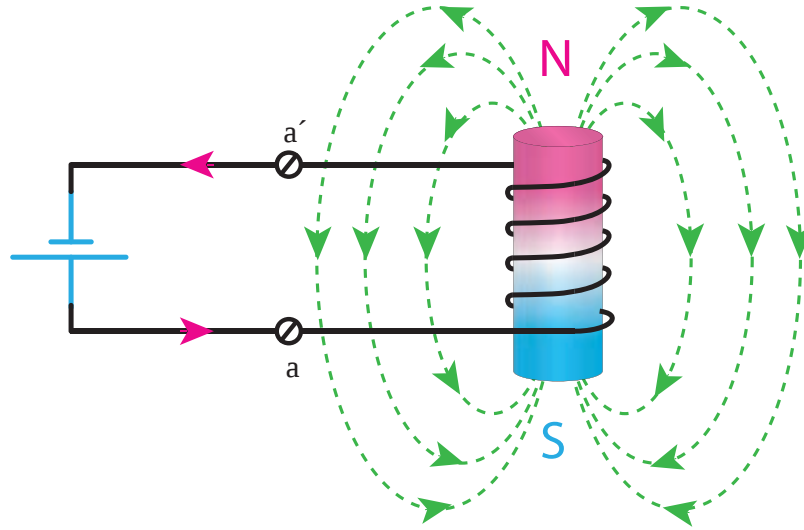
در آغاز انواع میدان‌های ایجاد شده توسط جریان‌های مستقیم و متناوب یادآوری می‌شود. مطابق شکل (۱۱) با عبور جریان DC از یک سیم پیچ می‌توان میدان ثابت ایجاد کرد. زیرا اندازه و جهت این میدان همواره ثابت است. همچنین با عبور

۳-۳- پدیده میدان دوار در ماشین‌های القایی

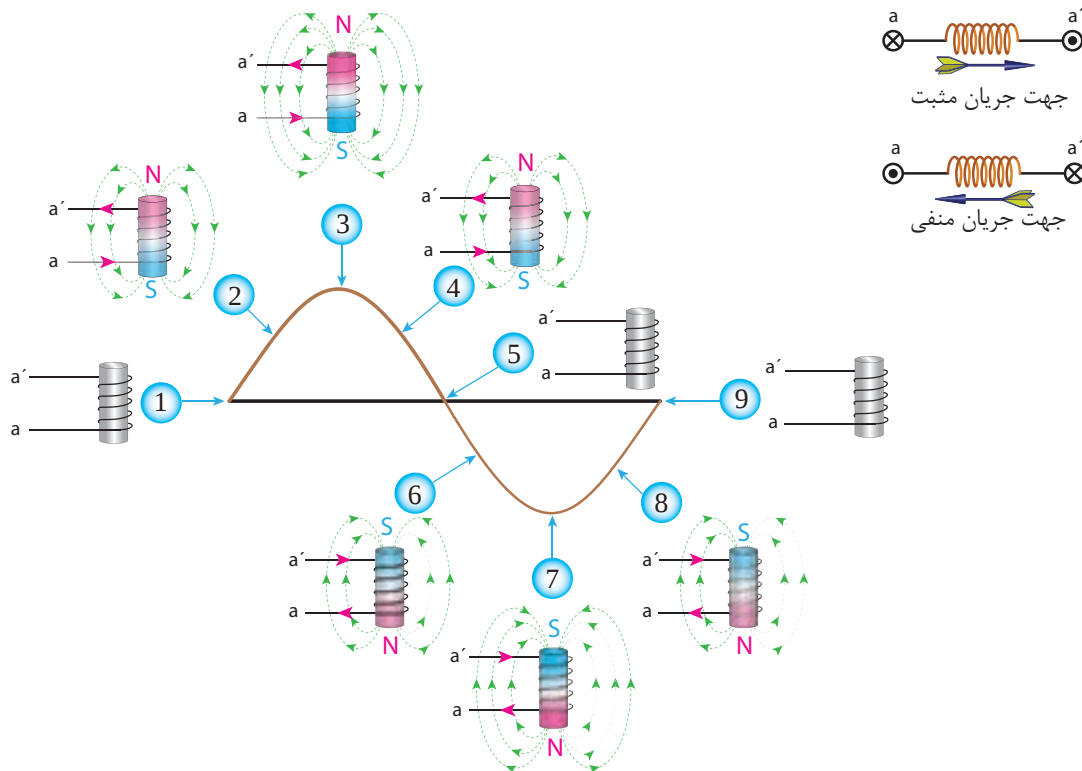
در این بخش پس از معرفی ساختار ماشین القایی سه فاز، ثابت می‌شود که چگونه با عبور جریان سه فاز از سه سیم پیچ استاتور ماشین القایی می‌توان میدان دوار ایجاد کرد به طوری که این میدان پیرامون هسته استاتور گردش نموده و بدین ترتیب شرایط لازم برای چرخش رتور را فراهم کند. البته برای اثبات موضوع فوق از معادلات ریاضی بهره

ضربانی می‌گویند. جهت میدان‌های مغناطیسی اطراف سیم پیچ در جریان متناوب تکفاز مطابق شکل (۱۲) می‌باشد.

جریان متناوب تک فاز میدانی متغیر ایجاد می‌شود که به صورت ضربانی جهت آن در هر نیم سیکل مرتب تغییر می‌کند که به آن میدان



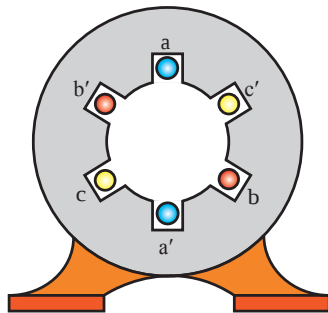
شکل ۱۱- میدان مغناطیسی حاصل از منبع جریان مستقیم



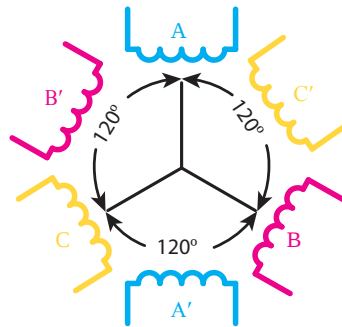
شکل ۱۲- جهت میدان مغناطیسی سیم پیچ در جریان متناوب

پیکان نشان داده شده در شکل ۱۲ جهت جریان فرضی وارد و خارج شده از سیم پیچ را نشان می‌دهد. در ادامه نشان داده می‌شود که با عبور جریان‌های متناوب سه فاز در سه سیم پیچ مطابق شکل (۱۳) میدان‌های گردشی یا دوار ایجاد خواهد شد.

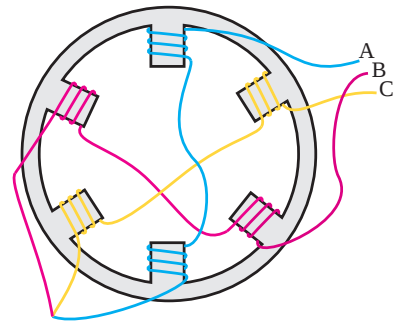
شکل (۱۳- الف) سیم‌بندی سه فاز ماشین القایی دوقطبی ساده را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۱۳- ب، ج)، سیم پیچ‌های سه فاز a, b, c در بدنه استاتور، با اختلاف 120° درجه مکانی نسبت به یکدیگر جاسازی شده‌اند در این ماشین بازوی برگشت سیم پیچ‌های هر فاز استاتور، ماشین



ج) شمای تک حلقه سیم‌بندی ماشین القایی با سیم پیچ گسترده بر اساس موقعیت مکانی



ب) نمایش کلاف‌ها بر اساس موقعیت مکانی



الف) شمای واقعی با ماشین القایی با سیم پیچ متمرکز



د) شکل واقعی ماشین القایی سیم پیچ متمرکز مدل آزمایشگاهی

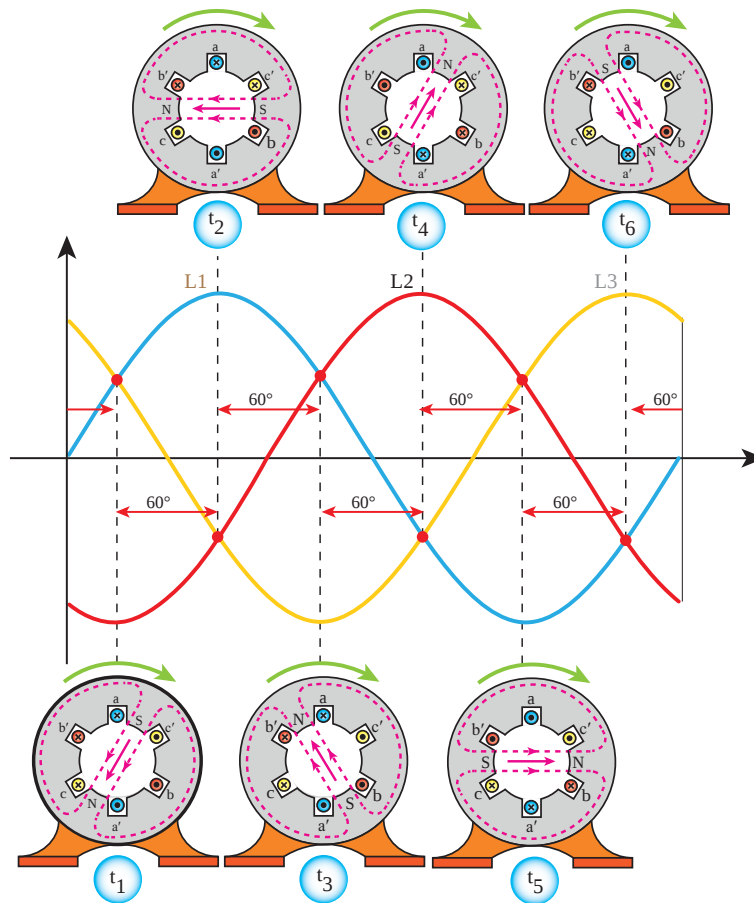
شکل ۱۳- ماشین القایی سه فاز

استاتور، جریان الکتریکی در آن جاری می‌شود و سپس در هادی‌های هر سیم پیچ متناسب با جهت جریان عبوری از آن میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود.

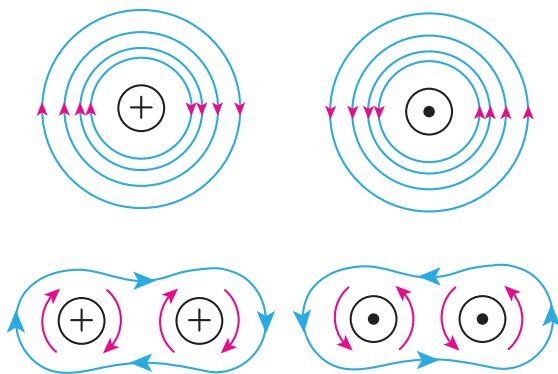
برای تحلیل آسان تر میدان دوار، اندازه و جهت جریان‌های سه فاز شکل (۱۴) در زمان‌های t_1 تا t_6 در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه فاصله هر یک از نمونه‌های زمانی 60° درجه از یکدیگر می‌باشد. بنابراین با تحلیل این ۶ نقطه می‌توان گردش کامل میدان دوار را در مسیر دایره‌ای (یعنی 360° درجه) بررسی نمود.

را به دو نیم تبدیل نموده است یعنی بازوی رفت سیم پیچ مثلاً a با بازوی برگشت آن یعنی a' ، 180° درجه اختلاف مکانی دارد بنابراین در این ماشین القایی میدان دو قطبی ایجاد می‌شود.

برای شروع انتهای سیم پیچ‌های سه فاز استاتور یعنی (a', b', c') را با اتصال ستاره به هم متصل کرده و ابتدای آنها یعنی (a, b, c) را به منبع برق سه فاز با ولتاژ مناسب، وصل می‌کنند. بلافاصله پس از اتصال برق سه فاز به سیم پیچ‌های

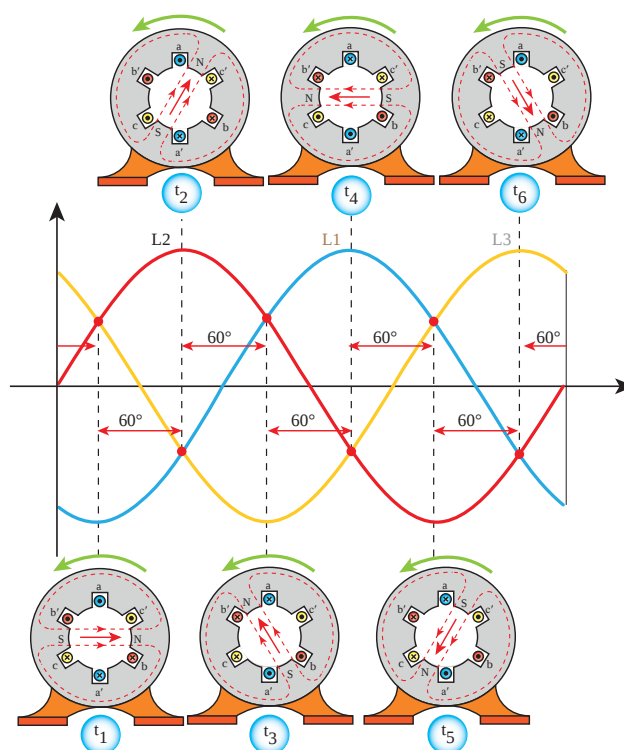


شکل ۱۴- میدان دوار استاتور در یک دوره تناوب



شکل ۱۵- میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان و دو سیم مجاور یا جریان هم جهت

جدول (۱) تحلیل جهت جریان هر یک از سیم‌پیچ‌ها را در یک دوره تناوب شکل موج سه فاز نشان می‌دهد. جهت جریان هادی‌های هر شیپار و وضعیت میدان‌های مغناطیسی استاتور در هر یک از زمان‌های t_1 تا t_6 به کمک جدول (۱) به دست می‌آید. از آنجا که شیپارهای استاتور، هادی‌های هر فاز را در خود جای داده‌اند و جهت جریان هادی‌های هر شیپار در هر لحظه با توجه به فرض فوق قابل علامت‌گذاری هستند. لذا می‌توان جدول (۱) را کامل نمود. بنابراین با توجه به میدان مغناطیسی اطراف هادی‌های هم جوار، جهت میدان مغناطیسی ایجاد شده در هر لحظه به دست می‌آید.



شکل ۱۶- جهت جریان سیم پیچ های استاتور و تغییر جهت میدان دوار در یک دوره تناوب

خود را بیازمایید



- ۱- چرا جریان بی‌باری موتورهای القایی بیشتر از ترانسفورماتورها می‌باشد؟
- ۲- آیا می‌توان با جریان مستقیم میدان دوار ایجاد کرد؟
- ۳- با توجه به علامت جریان‌های داده شده در جدول زیر، جهت جریان در سیم پیچ‌های ماشین القایی و جهت میدان دوار را تعیین کنید.

زمان	علامت جریان هر فاز			جهت جریان در مقاطع سیم پیچ					
	I_a	I_b	I_c	a	c'	b	a'	c	b'
t_1	+	+	-						
t_2	-	+	-						
t_3	-	+	+						
t_4	-	-	+						
t_5	+	-	+						
t_6	+	-	-						

۵-۳- عوامل مؤثر در سرعت میدان دوار

همانطور که ملاحظه کردید 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 در زمان کوتاه‌تری تکرار گردد مسلماً سرعت چرخشی میدان دوار نیز بیشتر خواهد شد و بالعکس با افزایش زمان دوره تناوب سرعت میدان دوار کندتر می‌شود.

یکی از کمیت‌های شبکه برق متناوب، فرکانس f است که با دوره تناوب T نسبت عکس دارد. پس می‌توان نتیجه گرفت یکی از عوامل مؤثر بر سرعت میدان دوار، فرکانس شبکه برق می‌باشد ولی از آنجا که فرکانس متناسب با عکس زمان تناوب است، بنابراین با کاهش فرکانس، سرعت چرخش میدان دوار، کم می‌شود و با افزایش فرکانس، سرعت چرخش میدان دوار زیاد می‌شود.

سرعت میدان دوار ماشین القایی را با n_s نمایش می‌دهند و آن را سرعت سنکرون می‌نامند.

سرعت میدان دوار متناسب با فرکانس است بنابراین

می‌نویسیم:

$$n_s \propto f$$

از آنجا که جریان عبوری از سیم‌پیچ‌ها در یک دوره تناوب

فقط یکبار تغییر جهت می‌دهند، می‌توان نتیجه گرفت که قطب‌های N و S میدان دوار در این مدت فقط یکبار عوض می‌شود. بنابراین در یک ماشین دو قطبی که قطب‌ها (360°) (درجه) محیط استاتور را اشغال کرده‌اند در یک دوره تناوب، میدان دوار یک دور محیط استاتور را طی می‌کند در حالی که در یک ماشین چهار قطبی که هر دو قطب آن (180°) (درجه) محیط استاتور را اشغال کرده است در یک دوره تناوب، میدان دوار تنها نیم دور (180°) (درجه) محیط استاتور را طی می‌کند. پس می‌توان نتیجه گرفت، افزایش تعداد قطب‌های استاتور باعث کم شدن سرعت میدان دوار می‌شود.

بنابراین عامل دیگر تعیین کننده سرعت میدان دوار، تعداد قطب‌های سیم‌بندی ماشین القایی می‌باشد.

با مراجعه به جدول (۳) دیده می‌شود که میدان دوار ماشین ۴ قطبی در مقایسه با ماشین ۲ قطبی در یک دوره تناوب نیم دور محیط استاتور را طی می‌کند.

با توجه به جدول (۳) سرعت میدان دوار با رابطه $\frac{2}{p}$ متناسب است.

$$n_s \propto \frac{2}{p}$$

p تعداد قطب‌ها

n_s سرعت میدان دوار

جدول ۳- اثر افزایش تعداد قطب ماشین القایی بر سرعت رتور

تعداد قطب‌ها	محیط اشغال شده توسط یک جفت قطب	چرخش میدان در یک دوره تناوب
۲	$\frac{360^\circ}{\frac{2}{2}} = \frac{360^\circ}{1} = 360^\circ$	$\frac{2}{2} = \text{یک دور کامل}$
۴	$\frac{360^\circ}{\frac{4}{2}} = \frac{360^\circ}{2} = 180^\circ$	$\frac{2}{4} = \text{نیم دور}$
۶	$\frac{360^\circ}{\frac{6}{2}} = \frac{360^\circ}{3} = 120^\circ$	$\frac{2}{6} = \text{ثلث دور}$
...	...	...
p	$\frac{360^\circ}{\frac{p}{2}}$	$\frac{2}{p} \text{ دور}$

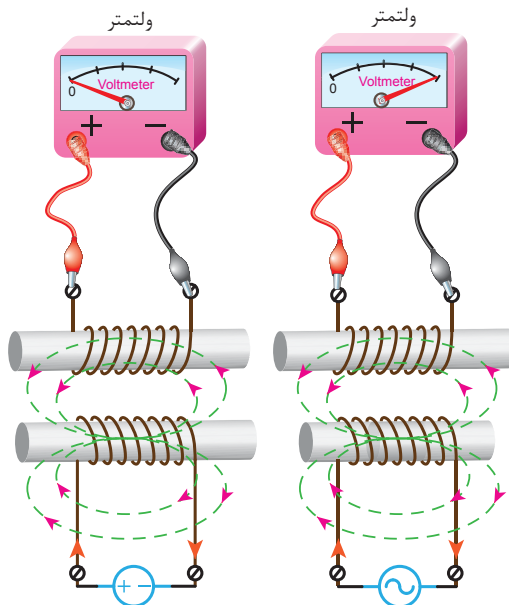
خود را بیازمایید



- ۱- در ماشین القایی هر چقدر دوره تناوب بزرگ تر باشد سرعت میدان دوار است.
- ۲ چرا در ماشین های القایی هر چقدر تعداد قطب ها بیشتر باشد سرعت میدان دوار کمتر می شود؟
- ۳ سرعت میدان دوار ماشین القایی ۱۰۰۰ RPM و فرکانس شبکه ۵۰ Hz می باشد. تعداد قطب های ماشین را به دست آورید.

۳-۶ نحوه ایجاد چرخش رتور در موتورهای القایی

تغییرات فوران عامل ایجاد نیروی محرکه القایی در سیم پیچ است. از آنجا که جریان DC فوران با مقدار ثابت تولید می کند لذا سیم پیچ حامل جریان DC در سیم پیچ مجاور خود نیروی محرکه القایی نمی کند.



شکل ۱۷- ایجاد ولتاژ القایی با ولتاژ متناوب (سمت راست) عدم ایجاد ولتاژ القایی با ولتاژ جریان مستقیم (سمت چپ)

رابطه سرعت میدان دوار با در نظر گرفتن هر دو عامل فرکانس و تعداد قطب های سیم پیچی به صورت زیر نوشته می شود:

$$n_s = \frac{2 \times f}{p} \quad (3-1)$$

n_s بر حسب دور در ثانیه)

سرعت میدان دوار در رابطه (۳-۱) بر حسب دور بر ثانیه می باشد ولی از آنجا که سرعت ماشین های دوار را معمولاً بر حسب دور بر دقیقه (RPM) نمایش می دهند، لذا رابطه سرعت میدان دوار به صورت رابطه (۳-۲) خواهد شد.

$$n_s = \frac{120 \times f}{p} \quad (3-2)$$

در رابطه (۳-۲):

n_s سرعت میدان دوار بر حسب RPM

f فرکانس شبکه برق بر حسب Hz

P تعداد قطب های سیم بندی ماشین القایی

به یاد داشته باشید که فرکانس در شبکه های برق ثابت است در نتیجه حداکثر سرعت میدان دوار در ماشین القایی دو قطبی ایجاد می شود.

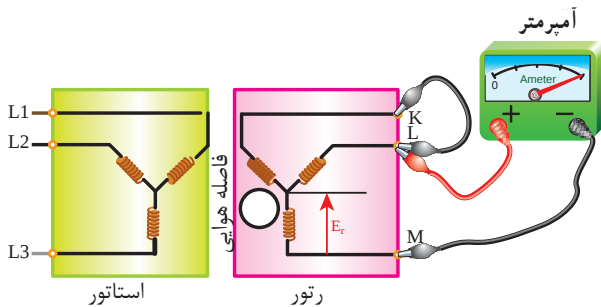
مثال: سرعت میدان دوار یک ماشین ۲ قطبی در شبکه برق

ایران با فرکانس (۵۰ Hz) چقدر است؟

$$n_s = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 50}{2} = 3000 \text{ RPM}$$

این سرعت بیشترین مقداری است که میدان دوار ماشین القایی در اتصال به شبکه برق کشور ایران می تواند داشته باشد.

که سیم‌پیچ استاتور به برق اتصال داشته باشد رتور به حرکت خود ادامه خواهد داد.

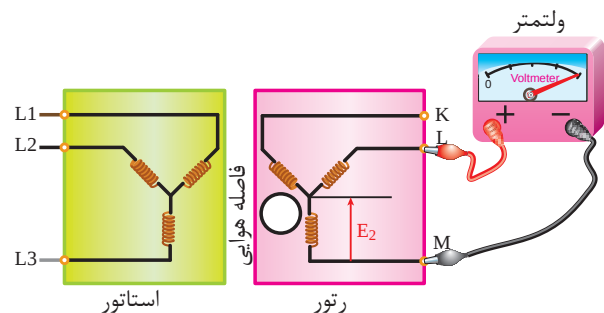


شکل ۱۹- مدار الکتریکی ماشین القایی رتور سیم‌پیچی شده در حالی که استاتور آن توسط منبع سه فاز برقرار و مدار رتور آن اتصال کوتاه است

ولتاژ القاء شده در مدار بسته رتور باعث جاری شدن جریان در سیم‌پیچ‌های آن می‌شود.

آمپرتر شکل (۱۹) جریان یکی از فازهای سیم‌پیچ رتور را نشان می‌دهد. این جریان را جریان رتور می‌نامند و آن را با I_r نمایش می‌دهند.

با اتصال سیم‌پیچ استاتور ماشین القایی رتور سیم‌پیچی شده به منبع ولتاژ متناوب و ایجاد میدان دوار در استاتور طبق قانون القای فارادی، نیروی محرکه‌ای متناسب با آهنگ تغییرات فوران در سیم‌پیچ‌های رتور القاء خواهد شد. اما، با باز بودن مدار خروجی M, L, K رتور شکل (۱۸)، رتور حرکت نمی‌کند و با قرار دادن یک ولت‌متر مطابق شکل (۱۸) در دو سر سیم‌پیچی رتور می‌توان مقدار نیروی محرکه القایی سیم‌پیچی رتور را اندازه گرفت. از آنجا که رتور در این حالت ساکن است و چرخش ندارد، این نیروی محرکه القایی را ولتاژ حالت سکون رتور می‌نامند و آن را با E_r نمایش می‌دهند.



شکل ۱۸- مدار الکتریکی ماشین القایی رتور سیم‌پیچی شده در حالی که استاتور آن توسط منبع سه فاز برقرار گردیده و مدار رتور آن باز است

خود را بیازمایید



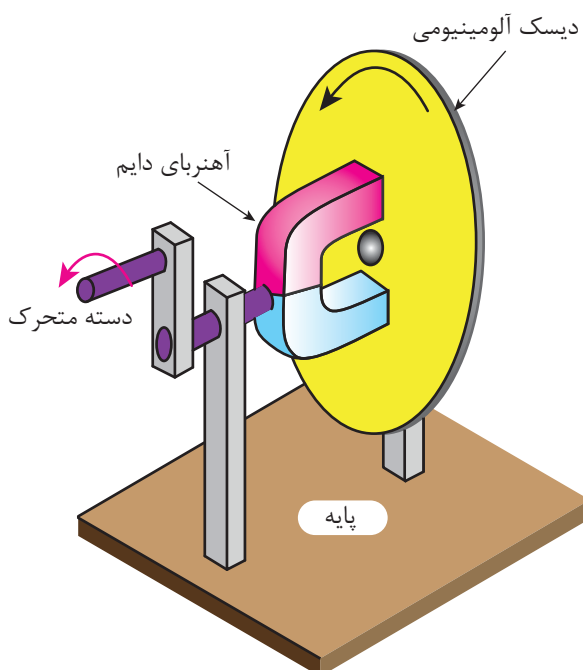
- ۱- چرا برای به چرخش در آمدن رتور ماشین القایی علاوه بر میدان دوار، سیم‌پیچی رتور نیز باید حامل جریان باشد؟
- ۲- منظور از ولتاژ حالت سکون در ماشین القایی با رتور سیم‌پیچی شده چیست؟
- ۳- هرچقدر اختلاف سرعت رتور و میدان دوار کمتر باشد ولتاژ القایی در رتور است.

در واقع با ایجاد میدان دوار استاتور، نیروی محرکه E_r در سیم‌پیچی رتور القاء می‌شود ولی از آنجا که جریانی از مدار رتور عبور نمی‌کند در نتیجه نیروی لورنس هم به سیم‌پیچی رتور وارد نمی‌شود.

در صورتی که بخواهیم به رتور نیروی لورنس وارد شود باید در سیم‌پیچی رتور جریان جاری شود. بنابراین اگر حلقه‌های خروجی مدار رتور مطابق شکل (۱۹) به یکدیگر اتصال داده شوند و آمپرتر در مسیر M و L قرار گیرد، مدار رتور بسته می‌شود و در سیم‌پیچی رتور جریان جاری می‌شود و نیروی لورنس پدید می‌آید لذا رتور حول محورش می‌گردد و تا زمانی

۷-۳- موتورهای القایی رتور قفس سنجابی

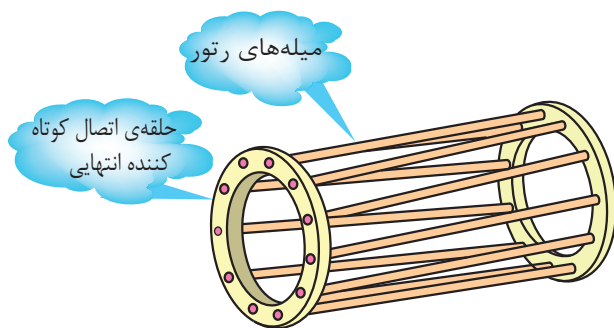
شکل (۲۰) چگونگی چرخش رتور قفسی در موتورهای القایی را به سادگی نمایش داده است. شما می‌توانید با تهیه وسایل نشان داده شده، این آزمایش را انجام دهید. در این آزمایش با چرخاندن دسته متحرک، آهنربای دائم می‌چرخد و در پی آن دیسک آلومینیومی نیز که اندکی از آهنربا فاصله دارد به حرکت در می‌آید.



شکل ۲۰- یک وسیله ساده برای فهم بهتر اثر میدان دوار در چرخش دیسک

آیا با توجه به چرخش میدان و تغییر میدان مغناطیسی در دیسک آلومینیومی مطابق آنچه در شکل (۲۰) می‌بینید، می‌توان نتیجه گرفت که عامل چرخش دیسک القای نیروی محرکه و ایجاد جریان القایی در آن است؟

در شکل (۲۱) ابتدا و انتهای مفتول‌ها به یکدیگر متصل و در نتیجه مدار اتصال کوتاه شده‌ای در هادی‌های رتور ایجاد شده است و از آنجا که شکل ایجاد شده شبیه یک قفس است، به همین دلیل به رتور شکل (۲۱) رتور قفسی می‌گویند. برای ساختن این نوع رتور ابتدا ورقه‌های هسته رتور را کنار یکدیگر قرار می‌دهند تا هسته یکپارچه رتور تشکیل شود سپس



شکل ۲۱- ساختمان رتور قفسی (سمت راست) رتور کامل با معرفی اجزای آن (سمت چپ)

ماشین‌های القایی قفس سنجایی از نظر ساختمان ساده تر و از نظر اقتصادی به صرفه تر از ماشین‌های رتور سیم‌پیچی شده هستند و کمتر به تعمیر و نگهداری احتیاج دارند.

آلومینیوم و یا گاهی مس ذوب شده را به داخل هسته رتور تزریق می‌نمایند. ماده مذاب تزریق شده در هسته پس از سرد شدن به شکل مفتول‌هایی درمی‌آیند که در داخل هسته قالب‌گیری شده است. لذا این هادی‌ها نسبت به هسته عایق نیستند.

خود را بیازمایید

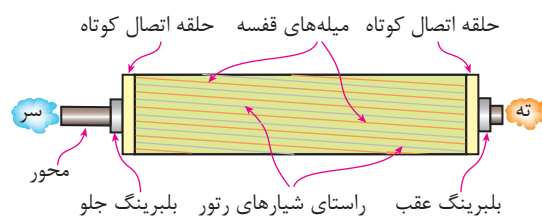
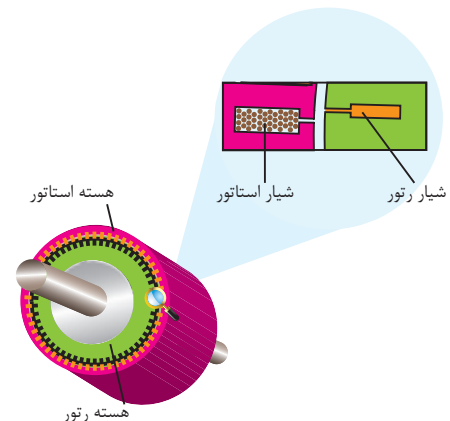


– وظیفه دو حلقه ای که در طرفین میله‌های رتور قفسی به مفتول‌ها متصل می‌شوند، چیست؟

تحقیق کنید



چرا جریان القاشده در هادی‌های رتور قفسی با اینکه رتور عایق نشده است، به بدنه ماشین منتقل نمی‌شود؟



شکل ۲۲- نمایش انحراف شیارهای رتور نسبت به امتداد شیارهای استاتور

۸-۳- لغزش در ماشین‌های القایی

در ماشین القایی به اختلاف سرعت رتور (n_r) با سرعت میدان دوار (n_s) سرعت لغزش می‌گویند. و آن را با رابطه (۳-۳) نشان می‌دهند.

$$\Delta n = n_s - n_r \quad (3-3)$$

از آنجا که سرعت رتور متغیر است لذا سرعت لغزش هم به تناسب آن تغییر می‌کند. نسبت سرعت لغزش به سرعت میدان دوار را لغزش می‌گویند و آن را با S نمایش می‌دهند.

$$S = \frac{\Delta n}{n_s} \quad (3-4)$$

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (3-5)$$

معمولاً لغزش را در ماشین‌های القایی به صورت درصد نمایش می‌دهند و آن را از رابطه زیر محاسبه می‌کنند.

$$\% S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100$$

از آنجا که شکل (۲۱) شبیه قفس سنجاب به نظر می‌رسد، ماشین‌های القایی که ساختمان رتور آنها این گونه است را قفس سنجایی نیز می‌گویند.

مطابق شکل (۲۲) در اغلب ماشین‌های القایی شیارهای رتور با محور ماشین موازی نیستند یعنی شیارها نسبت به محور ماشین مورب است. این عمل باعث کاهش سر و صدای رتور در زمان چرخش آن می‌شود. معمولاً انحراف شیارهای رتور به اندازه پهنای یک شیار استاتور در نظر گرفته می‌شود. در ماشین‌های القایی با شیارهای مورب، راه‌اندازی سریع‌تر بوده و قابلیت تحمل اضافه بار در چنین ماشین‌هایی بیشتر است.

مثال

رتور موتور القایی چهار قطب در فرکانس ۵۰ HZ با سرعت ۱۴۵۰ RPM می چرخد مطلوب است. سرعت لغزش و لغزش این موتور القایی :

$$n_r = 0 \Rightarrow S = \frac{n_s - 0}{n_s} = 1$$

$$\Delta n = n_s$$

لغزش ماشین در زمان راه اندازی برابر ۱ یا ۱۰۰٪ است.

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ RPM}$$

$$\Delta n = n_s - n_r = 1500 - 1450 = 50 \text{ RPM}$$

$$S = \frac{\Delta n}{n_s} = \frac{50}{1500} = 0.033$$

$$0.033 \times 100 = 3\%$$

با توجه به رابطه (۳-۵) می توان نوشت :

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \Rightarrow s n_s = n_s - n_r \Rightarrow n_r = n_s - s n_s$$

$$n_r = n_s (1 - s) \quad (3-6)$$

از رابطه (۳-۶) برای محاسبه سرعت رتور می توان استفاده نمود.

مثال

اگر لغزش یک موتور القایی چهار قطب در فرکانس ۵۰ HZ، ده درصد باشد، سرعت رتور را محاسبه نمایید.

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ RPM}$$

$$S = 10\% = \frac{10}{100} = 0.1$$

$$n_r = n_s (1 - S) = 1500 (1 - 0.1) = 1350 \text{ RPM}$$

۳-۹-۲ رفتار ماشین های القایی در لغزش های مختلف

در بخش قبل گفته شد که لغزش ماشین القایی با مقادیر مختلف سرعت رتور تغییر می کند. در این قسمت مقادیر لغزش در سرعت های متفاوت رتور بررسی می گردد.

۳-۹-۱ لغزش در زمان راه اندازی :

اتصال سیم پیچ های استاتور ماشین القایی سه فاز به برق یعنی

هنگام راه اندازی سرعت رتور صفر است ولی میدان دوار با سرعت سنکرون می چرخد. بنابراین خواهیم داشت :

۳-۹-۲ لغزش در سرعت سنکرون :

بتواند با سرعتی برابر سرعت سنکرون و یا با همان سرعت میدان دوار گردش کند لغزش ماشین صفر می شود.

$$n_r = n_s \Rightarrow S = \frac{n_s - n_s}{n_s} = 0$$

$$\Delta n = 0$$

این کار زمانی امکان پذیر است که رتور ماشین القایی به کمک یک نیروی محرکه خارجی به اندازه سرعت میدان دوار در همان جهت چرخانده شود.

لغزش ماشین القایی در سرعت سنکرون صفر است.

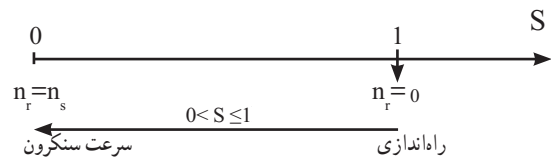
۳-۹-۳ لغزش موتور در حین کار :

رتور موتور القایی پس از راه اندازی دور می گیرد و سرعت آن به تدریج افزایش می یابد. با زیاد شدن سرعت رتور، اختلاف سرعت رتور با سرعت میدان دوار کم می شود. این افزایش سرعت تا جایی که نزدیک به سرعت سنکرون است می تواند ادامه یابد. زیرا اگر سرعت رتور با میدان دوار برابر شود، میدان استاتور هم نمی تواند هادی های رتور را قطع نماید و در نتیجه نیرویی به رتور وارد نمی شود. با وجود وزن خود رتور و نیروی اصطکاک یا تاقان ها و هوا، سرعت رتور هرگز به سرعت سنکرون نمی رسد بلکه در نزدیک آن پایدار می شود. از آنجا که در موتورهای القایی بین

سرعت میدان دوار و سرعت رتور همواره اختلاف وجود دارد در نتیجه به آنها موتورهای آسنکرون^۱ نیز گفته می‌شود.

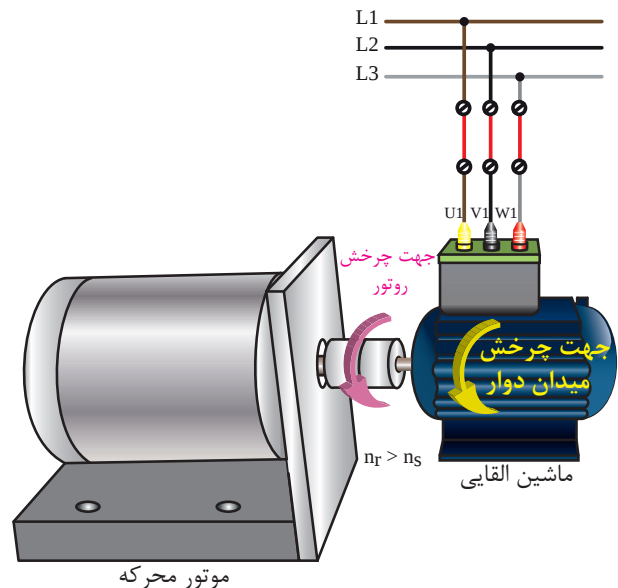
لغزش موتور القایی در حین کار کمتر از لغزش زمان راه اندازی است.

لغزش موتور القایی در حین کار بیش از لغزش در سرعت سنکرون است.



۳-۹-۴- لغزش منفی: اگر محور رتور ماشین

القایی متصل شده به شبکه برق توسط وسیله‌ای با سرعتی بیش از سرعت سنکرون در جهت چرخش میدان دوار چرخانده شود، بنابراین طبق رابطه (۳-۵) چون $n_r > n_s$ می‌باشد مقدار لغزش منفی خواهد شد.

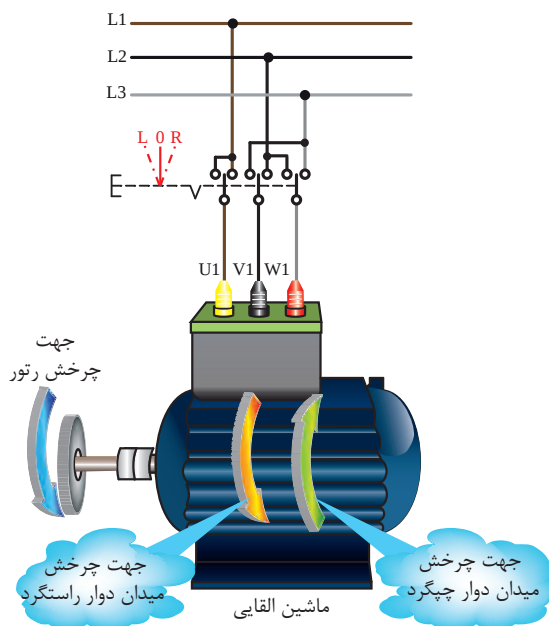


شکل ۲۳- نمایش حالت مولدی ماشین القایی

این وضعیت را در ماشین‌های القایی حالت ژنراتوری می‌نامند.

۳-۹-۵- لغزش‌های بزرگ‌تر از واحد (بیش از

۱۰۰٪): شکل (۲۴) یک ماشین القایی را نشان می‌دهد که توسط کلید راستگرد، چپگرد سه فاز به شبکه برق متصل است. اگر این ماشین به حالت موتوری در جهت راستگرد راه اندازی شود، رتور آن راستگرد می‌چرخد. حال چنانچه موتور به وسیله کلید ابتدا از شبکه قطع شود و بلافاصله به طور لحظه‌ای چپگرد راه اندازی گردد، میدان دوار آن چپگرد شده و سرعت رتور سریعاً به صفر می‌رسد. در نتیجه با توجه به جهت گردش رتور در حالت راستگرد پیش از ایستادن رتور، میدان دوار به حالت چپگرد در آمده و در نتیجه اختلاف سرعت رتور با سرعت سنکرون افزایش می‌یابد و لذا مقدار لغزش بیش از واحد خواهد شد. به این وضعیت عملکرد، حالت ترمزی ماشین‌های القایی می‌گویند.



شکل ۲۴- نمایش حالت ترمزی ماشین القایی

مطابق رابطه (۳-۵) داریم:

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \Rightarrow S = \frac{n_s - (-n_r)}{n_s} = \frac{n_s + n_r}{n_s} > 1$$

میدان‌های استاتور و رتور و اختلاف فاز بین آن دو می‌باشد.

بیشتر بدانید



$$T \propto B_s B_r \cos \varphi_r \quad (3-16)$$

تقابل دو میدان استاتور (B_s) و رتور (B_r) را برای ایجاد گشتاور الکترومغناطیسی می‌توان به صورت رابطه (۳-۱۷) نوشت.

$$T = K_A B_s B_r \cos \varphi_r \quad (3-17)$$

B_s چگالی میدان مغناطیسی استاتور

B_r چگالی میدان مغناطیس رتور

T گشتاور کار ماشین القایی

$\propto$ علامت تناسب

وابستگی ولتاژ القایی رتور به میدان مغناطیسی استاتور را می‌توان با رابطه (۳-۱۸) نشان داد.

$$E_r \propto B_s \Rightarrow E_r = K_s B_s \Rightarrow$$

$$B_s = \frac{1}{K_s} E_r \Rightarrow B_s = K_v E_r \quad (3-18)$$

چگالی میدان مغناطیس رتور نیز متناسب با جریان رتور می‌باشد بنابراین:

$$B_r \propto I_r \Rightarrow B_r = K_v I_r \quad (3-19)$$

از جایگزینی روابط (۳-۱۸) و (۳-۱۹)

در رابطه (۳-۱۷) خواهیم داشت:

$$T = K_A B_s B_r \cos \varphi_r \Rightarrow T = \underbrace{K_A K_v K_v}_K E_r I_r \cos \varphi_r$$

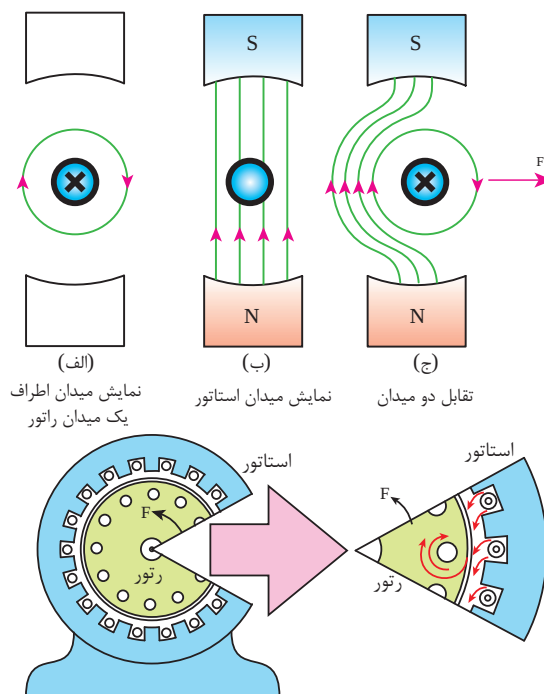
$$T = K E_r I_r \cos \varphi_r$$

$$T = K S E_v \times \frac{E_r}{\sqrt{R_v^2 + (S X_v)^2}} \times \frac{R_r}{\sqrt{R_r^2 + (S X_r)^2}}$$

$$T = K E_v^2 \times \frac{S R_r}{R_r^2 + (S X_r)^2} \quad (3-20)$$

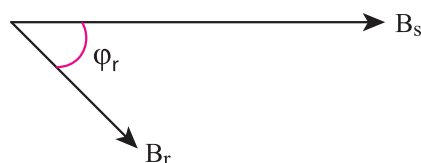
برای چرخش رتور در ماشین‌های القایی نیز به گشتاور احتیاج است. این گشتاور بر اثر نیروی الکترومغناطیسی ایجاد می‌شود. همانطور که در شکل (۳-الف و ب) نشان داده شده است میدان استاتور و یا رتور به تنهایی برای وارد شدن نیرو به رتور کافی نیست و لازم است برای ایجاد گشتاور الکترومغناطیسی دو میدان مغناطیسی برهم اثر نمایند.

در شکل (۳-ج و د)، مشاهده می‌شود که گشتاور وارد شده به رتور و گردش آن، با اثر متقابل دو میدان ایجاد شده است. این دو میدان یکی توسط جریان استاتور و دیگری ناشی از جریان رتور می‌باشد.



شکل ۳-۳ نحوه تولید گشتاور در موتور القایی

میدان‌های استاتور و رتور هر یک دارای اندازه و جهت مشخصی می‌باشند، پس می‌توان آنها را با بردار نمایش داد از طرفی این دو بردار با هم به میزان φ_r اختلاف فاز دارند.



بنابراین عوامل تعیین کننده گشتاور ماشین القایی، اندازه

(۱) رابطه تناسب گشتاور با اندازه میدان‌های استاتور و رتور و اختلاف فاز بین آنها را می‌توان با ضرب یک مقدار ثابت نظیر K_s به تساوی تبدیل نمود.

نتیجه ۱ :

رابطه $(20-3)$ نشان می دهد که گشتاور ماشین القایی با مجذور نیروی محرکه القایی رتور در حالت سکون (E_p) نسبت مستقیم دارد. از طرفی نیروی محرکه القایی رتور وابسته به ولتاژ ورودی ماشین (ولتاژ استاتور) می باشد. بنابراین گشتاور ماشین القایی با مجذور ولتاژ استاتور نسبت مستقیم دارد.

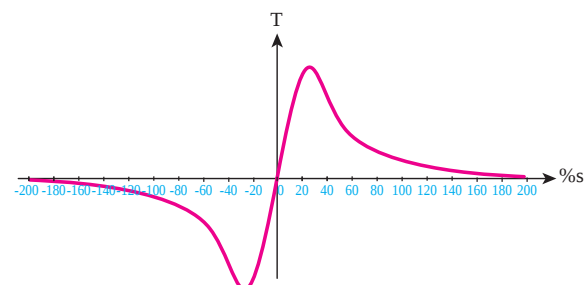


می توانید بگویید ۲۰ درصد افزایش ولتاژ ورودی باعث چه میزان افزایش در گشتاور ماشین القایی می شود؟

نتیجه ۲ :

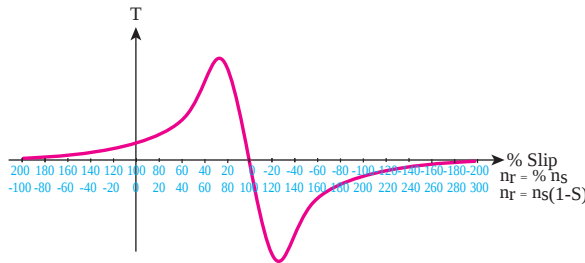
از آنجا که کمیت های R_p و X_p همواره مقداری ثابت دارند، با توجه به رابطه $(20-3)$ اگر ماشین القایی در یک ولتاژ مشخص استفاده شود، تنها عامل تغییر دهنده گشتاور ماشین القایی، لغزش می باشد. لذا با ترسیم تابع تغییرات گشتاور بر اساس تغییرات لغزش در روی صفحه مختصات، منحنی شکل (31) به دست می آید که به عنوان منحنی تغییرات تابع گشتاور نسبت به لغزش $T = f(S)$ شناخته می شود.

توجه : از دانش آموزان انتظار می رود شکل کیفی منحنی های زیر را به خاطر بسپارند.



شکل ۳۱- نمودار تغییرات گشتاور ماشین القایی بر حسب لغزش

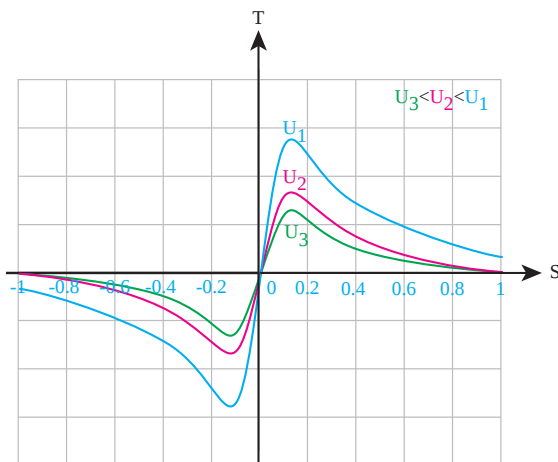
البته از آنجا که در تحلیل ماشین القایی تصور تغییرات سرعت راحت تر است، لذا در اغلب اوقات بجای مشخصه گشتاور بر حسب لغزش شکل (31) از مشخصه گشتاور بر حسب دور شکل (32) استفاده می شود.



شکل ۳۲- منحنی تغییرات گشتاور ماشین القایی بر حسب لغزش و سرعت رتور

نتیجه ۳ :

منحنی شکل (31) و (32) در ولتاژ مشخصی ترسیم شده است. یعنی ولتاژ استاتور ماشین القایی ثابت لحاظ گردیده است. اما با توجه به رابطه $(20-3)$ ، گشتاور ماشین القایی با مجذور ولتاژ استاتور نیز نسبت مستقیم دارد بنابراین با تغییر ولتاژ استاتور، منحنی (گشتاور-دور) $T = f(n_r)$ یا (گشتاور-لغزش) $T = f(S)$ با نسبت مجذوری جابه جا خواهند شد.



شکل ۳۳- اثر تغییرات ولتاژ بر منحنی گشتاور-لغزش ماشین القایی

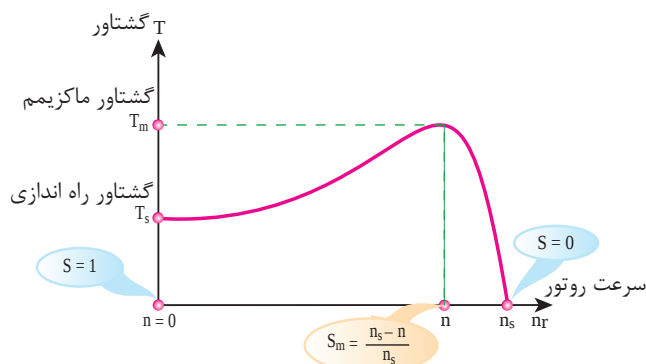
خود را بیازمایید



- ۱- عوامل تعیین کننده گشتاور در ماشین های القایی کدامند؟
- ۲- تنها عامل تغییر دهنده گشتاور ماشین القایی که با ولتاژ ثابت کار می کند چیست؟
- ۳- در یک ماشین القایی، ولتاژ شبکه ۵ درصد کاهش می یابد. گشتاور ماشین چقدر تغییر می کند؟
- ۴- منحنی مشخصه گشتاور - لغزش یک ماشین القایی را در فاصله $(-1 \leq S \leq 0)$ ترسیم نمایید.

۳-۱۳- مشخصه گشتاور - دور موتور القایی

با توجه به شکل (۳۵)، ناحیه عملکرد موتوری ماشین القایی در سرعت $n_r \leq n < 0$ و یا $0 \leq S < 1$ می باشد. لذا در تحلیل رفتار موتوری فقط همین ناحیه را ترسیم نموده و مورد بررسی قرار می دهند. شکل (۳۵) مشخصه گشتاور - دور موتور القایی را نشان می دهد.



شکل ۳۵- منحنی گشتاور - دور موتور القایی

از مشخصه شکل (۳۵) نکات زیر به دست می آید.

با توجه به وابستگی گشتاور به مجذور ولتاژ ورودی می توان رابطه تناسبی (۳-۲۱) را نوشت.

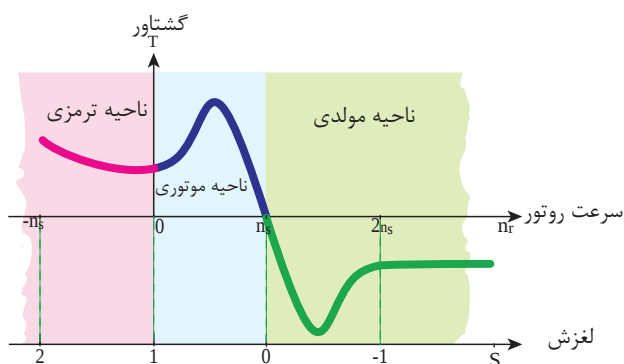
$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{U_1^2}{U_2^2} \quad (3-21)$$

در رابطه (۳-۲۱)

T_1 گشتاور ماشین القایی در ولتاژ U_1
 T_2 گشتاور ماشین القایی در ولتاژ U_2
 U_1 ولتاژ استاتور ماشین القایی در حالت اول
 U_2 ولتاژ استاتور ماشین القایی در حالت دوم
 آیا حالا می توانید به سؤال مربوط به نتیجه ۱ به راحتی پاسخ دهید؟

۳-۱۲- ناحیه بندی ماشین القایی بر اساس مشخصه گشتاور - دور

مطابق آنچه در توصیف رفتار ماشین های القایی با توجه به مقادیر مختلف لغزش «بند ۱۰» بیان شد می توان نواحی عملکرد ماشین القایی را بر روی منحنی (گشتاور - دور) و (گشتاور - لغزش) ماشین القایی مشخص نمود. این تقسیم بندی در شکل (۳۴) نشان داده شده است.



شکل ۳۴- نواحی مختلف ماشین القایی



نکته ۱: در لحظه راه‌اندازی ($n_r = 0$) و یا $S = 1$ گشتاور برابر مقدار « T_s » است که به عنوان گشتاور راه‌اندازی شناخته می‌شود.



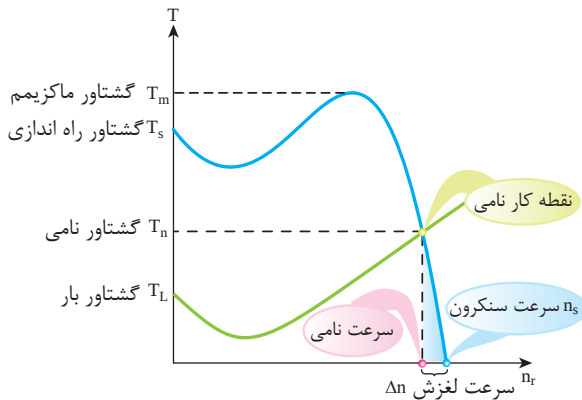
نکته ۲: با کمک روابط ریاضی ثابت می‌شود بیشترین مقدار گشتاور « T_m » در لغزشی معادل با نسبت مقاومت اهمی مدار رتور به راکتانس القایی حالت سکون آن ($\frac{R_r}{X_r}$) اتفاق می‌افتد که آن را لغزش بحرانی می‌نامند.



نکته ۳: از آنجا که در فاصله نقطه T_s تا T_m روی مشخصه گشتاور-دور موتور، افزایش گشتاور و سرعت با هم رخ می‌دهند، بنابراین در این فاصله امکان تثبیت سرعت وجود ندارد. یا به عبارتی موتور در حال افزایش سرعت است.



نکته ۴: هر موتور القایی مقدار مشخصی گشتاور راه‌اندازی « T_s » دارد که به طراحی آن وابسته است. برای چرخاندن هر بار مکانیکی باید به این مقدار گشتاور دقت ویژه داشت. زیرا گشتاور راه‌اندازی موتور القایی باید بیش از گشتاور راه‌اندازی بار مکانیکی باشد تا موتور بتواند آن را به حرکت درآورد.



شکل ۳۶- تقابل نمودار گشتاور-دور بار مکانیکی و گشتاور-دور موتور القایی و تشکیل نقطه کار

در شکل (۳۶) مشخصه گشتاور-دور موتور القایی و یک نوع بار مکانیکی^۱ ترسیم شده است.^۲



نکته ۵: در فاصله T_s تا T_m همراه با افزایش سرعت موتور مقدار گشتاور نیز مرتباً زیاد می‌شود. ولی با عبور از نقطه T_m (گشتاور ماکزیمم) این وضعیت تغییر نموده و گشتاور شروع به کاهش می‌نماید. بنابراین با رسیدن گشتاور موتور (گشتاور محرک) به مقدار گشتاور بار (گشتاور مقاوم) یعنی نقطه تلاقی مشخصه گشتاور-دور موتور القایی با مشخصه گشتاور-دور بار مکانیکی (نیروی مقاوم) مطابق شکل (۳۶) سرعت موتور تثبیت می‌گردد. این نقطه را نقطه کار موتور می‌گویند. درواقع برابری گشتاور موتور و بار مکانیکی سبب تثبیت سرعت موتور در نقطه کار می‌شود.

۱- مشخصه گشتاور-دور بپ

۲- چگونگی مشخصه‌های گشتاور-دور بارهای مقاوم وابسته به عملکرد مکانیکی آن می‌باشد و توصیف آن از حوصله کتاب خارج است.



نکته ۶: گشتاور مورد نظر سازنده موتور

القایی در نقطه کار را گشتاور نامی موتور می نامند و آن را با « T_n » نمایش می دهند. مسلماً این گشتاور در یک لغزش و سرعت مشخص اتفاق می افتد. که بر روی پلاک موتور نیز یادداشت می شود.



نکته ۸: در موتورهای القایی رتور

قفسی به جای سیم پیچ از هادی های مفتولی شکل در هسته رتور استفاده می شود. شکل شیار رتورهای قفسی که مفتول ها در آن جا دارند، تأثیر بسزایی در نحوه عملکرد موتور و مشخصه گشتاور- دور آن دارد.



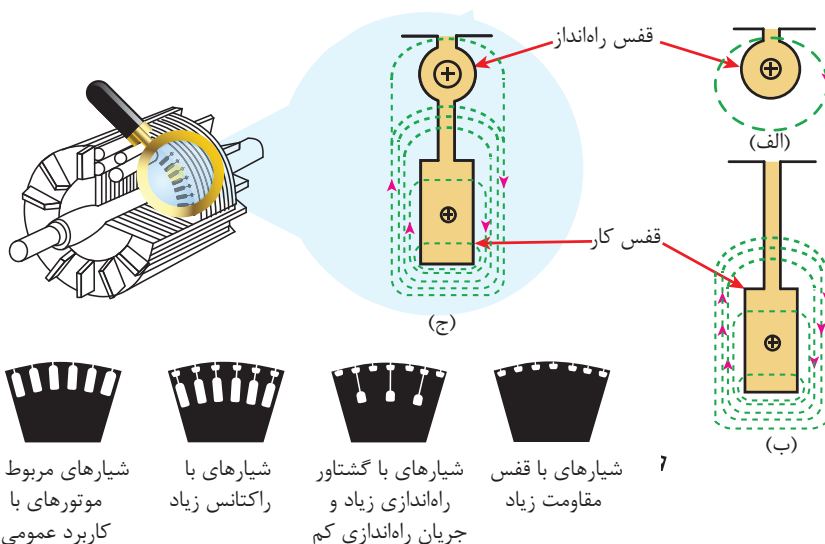
نکته ۷: برای تحلیل رفتار موتور القایی و

به حرکت در آوردن بار مکانیکی مقادیر T_n ، T_m ، و T_s از اهمیت بالایی برخوردار است که سازندگان موتورهای القایی، مقدار T_n و نسبت های $\frac{T_m}{T_n}$ و $\frac{T_s}{T_n}$ را در برگه مشخصات فنی^۱ در اختیار بهره بردار قرار می دهند.

میدان هادی هایی که در شیارهای عمیق جای دارند توسط آهن رتور احاطه می شوند. در نتیجه مطابق شکل (۳۷- ب) موجب می شود که میدان اطراف آن پراکندگی کمتری داشته باشد لذا در مغناطیس نمودن هسته نقش بیشتری دارد که معادل خاصیت راکتانس سلفی بیشتر در رتور است. چنین موتورهایی در نقطه کار دارای لغزش کمتری هستند و خاصیت کار بهتری دارند. از آنجا که سطح مقطع نسبی مفتول های نزدیک تر به سطح رتور کوچکتر از مفتول های عمیق است در نتیجه مقاومت

به دلیل نزدیک بودن شیار به سطح میدان به راحتی به دور آن گردش نمی کند. این نوع شیارها اثر القایی کم دارند و چون سطح مقطع نسبی آن ها کمتر است خاصیت اهمی بیشتری دارند.

اطراف شیارهای عمیق را آهن رتور قرار گرفته است پس راکتانس القایی آن نسبت به شیارهای نزدیک به سطح بیشتر است.



شکل ۳۷- انواع قفس رتور ماشین های القایی از لحاظ شکل و چگونگی استقرار

این نوع رتورها را رتور دو قفسی می‌نامند. موتورهای دو قفسی به دلیل داشتن هر دو خاصیت دارای گشتاور راه‌اندازی بالا و همچنین لغزش کم در نقطه کار می‌باشند.

به طور کلی استاندارد NEMA^۱ مشخصه کارکرد انواع موتورهای رتور قفسی را به چهار دسته (A,B,C,D) تقسیم نموده که در جدول (۴) آمده است.

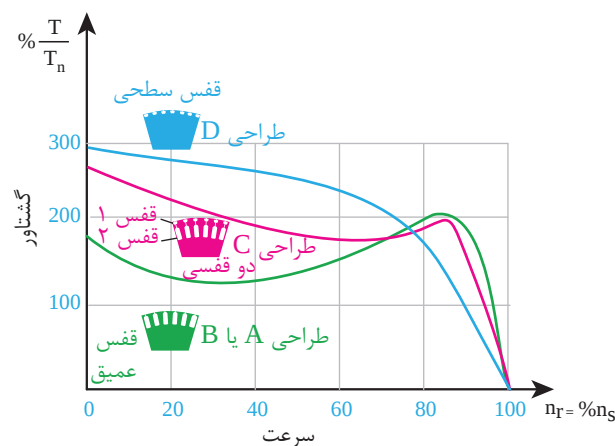
اهمی بیشتری نسبت به مفتول‌های درون شیار عمیق دارند. گشتاور موتورهایی که رتور آنها چنین خصوصیاتی دارد در زمان راه‌اندازی بیشتر است ولی در نقطه کار با لغزش زیاد کار می‌کنند شکل (۳۷-الف).

یکی از انواع موتورهای رتور قفسی که رتور آن دارای هر دو نوع شیار می‌باشد در شکل (۳۷-ج) نشان داده شده است.

*مقادیر بیشتر مربوط به موتورهایی با توان کمتر است.

جدول ۴- مشخصات انواع رتورهای قفسی طبقه‌بندی شده بر اساس استاندارد NEMA

نوع طراحی	گشتاور راه‌اندازی (درصد نسبت به جریان نامی)	گشتاور ماکزیمم (درصد نسبت به جریان نامی)	جریان راه‌اندازی (درصد نسبت به جریان نامی)	لغزش	کاربرد عمومی
طراحی A- گشتاور راه‌اندازی معمولی جریان راه‌اندازی زیاد	۷۰~۲۷۵*	۱۷۵~۳۰۰	مشخص نشده	۰/۵~۵٪	فن، دمنده‌های هوا، پمپ‌های سانترفیوژ، کمپرسورها و هرجایی که گشتاور راه‌اندازی مورد نیاز بار به نسبت کم باشد.
طراحی B- گشتاور راه‌اندازی معمولی جریان راه‌اندازی معمولی	۷۰~۲۷۵*	۱۷۵~۳۰۰	۶۰۰~۸۰۰	۰/۵~۵٪	فن، دمنده‌های هوا، پمپ‌های سانترفیوژ، کمپرسورها و هرجایی که گشتاور راه‌اندازی مورد نیاز بار به نسبت کم باشد.
طراحی C- گشتاور راه‌اندازی زیاد جریان راه‌اندازی معمولی	۲۰۰~۲۸۵*	۱۹۰~۲۲۵	۶۰۰~۸۰۰	۱~۵٪	تسمه نقاله‌ها سنگ شکن‌ها، ماشین‌های همزن و هرجایی که راه‌اندازی زیر بار مورد نیاز باشد.
طراحی D- گشتاور راه‌اندازی زیاد لغزش زیاد	۲۷۵*	۲۷۵	۶۰۰~۸۰۰	≥۵٪	ماشین پانچ، بالابرها، پمپ‌های چاه نفت و هرجایی که مقدار بار مکانیکی همراه یا بدون جرخ طیار زیاد باشد.



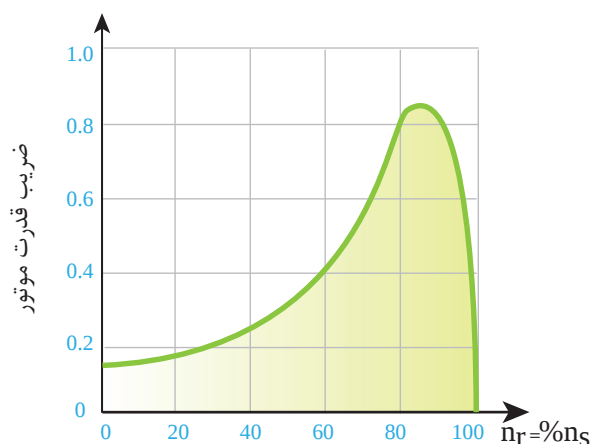
شکل ۳۸- منحنی مشخصه گشتاور- دور انواع موتورهای قفسی بر اساس استاندارد NEMA



خود را بیازمایید

- ۱- منحنی گشتاور - دور موتور القایی را ترسیم نموده و بر روی آن نقطه گشتاور ماکزیمم را مشخص کنید. این گشتاور در چه لغزشی اتفاق افتاده و مقدار لغزش چگونه محاسبه می شود؟
- ۲- نقطه کار در منحنی گشتاور - دور، نشان دهنده چیست؟
- ۳- چه عاملی سبب تثبیت سرعت موتور در زیر بار می گردد؟
- ۴- در رتورهای قفسی هر چقدر عمق شیارها بیشتر باشد، مقاومت القایی رتور..... (بیشتر/ کمتر) است چرا؟
- ۵- ساختمان رتور دو قفسی را توضیح دهید.

البته لازم به ذکر است که ضریب قدرت در لحظه راه اندازی هر موتور به دلیل اهمیت ویژه ای که دارد در برگه مشخصات سازنده ارائه می شود.



شکل ۳۹ - منحنی تغییرات ضریب قدرت یک نوع موتور القایی بر حسب سرعت رتور

با توجه به شکل (۳۹) ملاحظه می شود که در زمان راه اندازی ضریب قدرت موتور بسیار کم است ولی با افزایش سرعت، مقدار آن افزایش یافته و پس از عبور از لغزش بحرانی مقدار آن رو به کاهش می گذارد و در سرعت سنکرون صفر می شود.

بنابراین در انتخاب موتور القایی برای چرخش بار مکانیکی مشخص نباید توان موتور را خیلی بالاتر از آن اختیار نمود، زیرا باعث هرزگردی (بی باری) و کاهش ضریب قدرت و در نتیجه دریافت توان راکتیو بیشتر موتور از شبکه برق می شود و اتلاف انرژی را در پی خواهد داشت و مقرون به صرفه نیست.

در استانداردهای مختلف، میزان متفاوتی برای بیشتر بودن توان موتور الکتریکی از توان مکانیکی بار مشخص شده است.

۱۴-۳- مشخصه ضریب قدرت - سرعت موتور القایی

یکی از مهمترین پارامترهای شبکه های برق، ضریب قدرت مصرف کننده می باشد. در واقع ضریب قدرت $\cos \phi$ یا (PF) ناشی از اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان است. از آنجا که تغییر سرعت رتور باعث تغییر امپدانس مدار رتور می شود و همچنین به دلیل القای متقابل مدار رتور و تأثیر آن بر میدان استاتور، امپدانس کلی موتور نیز تغییر می کند. بنابراین تغییر سرعت رتور بر ضریب قدرت موتور نیز اثر گذار است. در شکل (۳۹) منحنی تغییرات ضریب قدرت بر حسب دور موتور القایی نمایش داده شده است.

خود را بیازمایید



۱- با افزایش فاصله هوایی رتور و استاتور موتور القایی هر یک از کمیت‌های زیر چه تغییری می‌کند؟

الف) جریان مغناطیس‌کننده

ب) ضریب قدرت

ج) انرژی دریافتی از شبکه

۲- در موتورهای القایی، جریان راه‌اندازی حدوداً چند برابر جریان نامی می‌باشد؟

۳- در هر یک از حالات زیر عملکرد موتور القایی بر روی بار مکانیکی چگونه خواهد بود؟

الف) بار مکانیکی بیشتر از توان موتور باشد.

ب) بار مکانیکی بسیار کمتر از توان موتور باشد.

۴- منظور از جریان رتور قفل شده در موتور القایی چیست؟

۵- در یک موتور القایی جریان راه‌اندازی ۲۴ آمپر و جریان نامی ۴/۸ آمپر است. جریان رتور قفل شده چقدر است؟

۶- کاربرد منحنی زمان تحمل سیم‌پیچ استاتور را شرح دهید.

در جدول (۵) توان موتور پمپ به نسبت بار مکانیکی آن بر اساس استاندارد^۱ API ۶۱۰ ارائه شده است.

جدول ۵- انتخاب توان موتور بر حسب توان مورد نیاز پمپ بر اساس استاندارد API

توان مکانیکی		انتخاب توان نامی موتور (%)
kw	hp	
<۲۲	<۳۰	۱۲۵
۲۲-۵۵	۳۰-۷۵	۱۱۵
>۵۵	>۷۵	۱۱۰

انتخاب موتور القایی که توان آن خیلی بیشتر از توان مکانیکی بار است، باعث مصرف بیهوده انرژی می‌گردد

۱۵-۳- تأثیر فاصله هوایی میان رتور و استاتور بر مقدار ضریب قدرت موتور

در موتورهای القایی با ثابت بودن ولتاژ و فرکانس، شار مغناطیسی عبوری از فاصله هوایی نیز ثابت خواهد ماند. اما اگر دو موتور با مشخصات کاملاً یکسان و با فاصله هوایی متفاوت بین استاتور و رتور هر دو به یک شبکه برق یعنی به ولتاژ و فرکانس یکسان متصل شوند، موتوری که دارای فاصله هوایی بیشتر است، برای عبور شار یکسان از فاصله هوایی خود به جریان مغناطیس‌کننده بیشتری احتیاج دارد. جریان مغناطیس‌کننده بیشتر به معنای دریافت توان راکتیو بیشتر از شبکه برق می‌باشد که باعث کاهش ضریب قدرت موتور می‌گردد.

موتورهای القایی که رتور و استاتور آن فاصله هوایی بیشتری دارند، انرژی الکتریکی بیشتری مصرف می‌کنند.

۱۶-۳- روش‌های راه‌اندازی موتورهای القایی

با توجه به تنوع بار (پمپ‌ها، کمپرسورها، بالابرها، نوارهای نقاله، همزن‌ها و...) موتورهای القایی و میزان بار آنها در شروع راه‌اندازی و همچنین نوع و یا شکل قفس رتور، جریان راه‌اندازی در این نوع موتورها نسبتاً زیاد و حدود ۵ تا ۸ برابر جریان نامی آنها است. بنابراین بررسی روش‌های راه‌اندازی از اهمیت ویژه برخوردار می‌باشد.

در زمان راه‌اندازی موتور، دو موضوع باید ملاحظه شود:

الف) نسبت گشتاور راه‌اندازی به گشتاور نامی ($\frac{T_s}{T_n}$) این نسبت نشان می‌دهد که موتور القایی برای رسیدن به نقطه کار به چه مدت زمانی احتیاج دارد، هر چه مقدار این نسبت بیشتر باشد موتور شتاب بیشتری گرفته و زودتر به نقطه کار می‌رسد.

ب) نسبت جریان راه‌اندازی به جریان نامی ($\frac{I_s}{I_n}$) مقدار این نسبت هر چه بیشتر باشد یعنی جریان راه‌اندازی بیشتر است. در طی زمان راه‌اندازی به دلیل ازدیاد جریان، شبکه برق، کابل و منبع تغذیه تحت فشار قرار می‌گیرند و لذا دچار افت ولتاژ می‌شوند.

بنابراین هر چه نسبت $\frac{I_s}{I_n}$ کمتر باشد، شرایط راه‌اندازی بهتر است.

با در نظر گرفتن این دو موضوع می‌توان راه‌اندازی موتور

القایی را به طور کلی با دو روش انجام داد:

- روش راه‌اندازی استاتوری (قابل کاربرد در کلیه موتورهای القایی)

- روش راه‌اندازی رتوری (قابل کاربرد در موتورهای القایی رتور سیم‌پیچی)

انواع روش‌های راه‌اندازی استاتوری عبارتند از:

– راه‌اندازی مستقیم (DOL) Direct On Line

– راه‌اندازی ستاره – مثلث (0YD) Star Delta

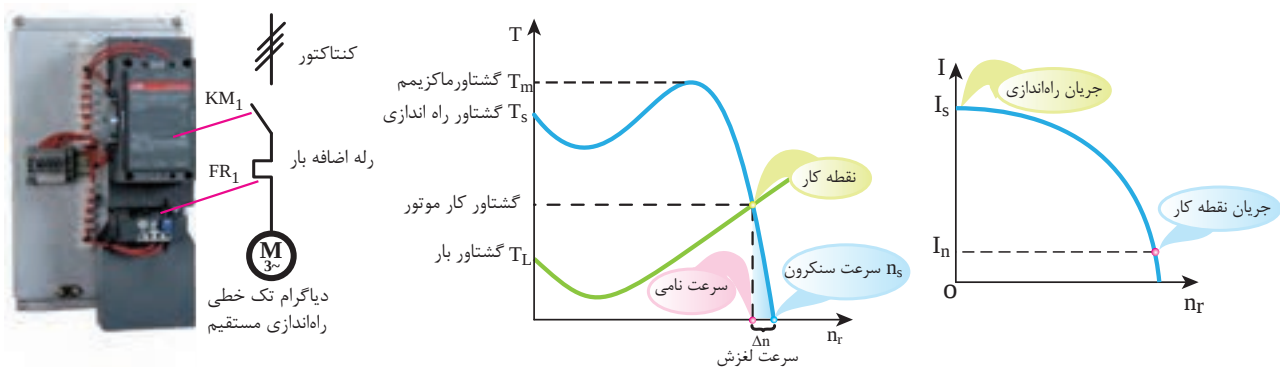
– راه‌اندازی با اتو ترانسفورماتور

– راه‌اندازی نرم (با تجهیزات الکترونیک قدرت) Soft Starter

۱-۱۶-۳- راه‌اندازی مستقیم DOL: در این

روش تنها (از یک کلید قطع و وصل (کنتاکتور) مطابق شکل (۴۰) استفاده می‌شود. این روش ساده‌ترین راه برای راه‌اندازی موتور القایی و در عین حال به دلیل مقرون به صرفه بودن رایج‌ترین روش می‌باشد.

با اتصال مستقیم موتور به شبکه هیچ تغییری در منحنی مشخص گشتاور – دور شکل (۴۰) ایجاد نمی‌شود. بنابراین از معایب این روش، جریان بالای راه‌اندازی پس از وصل کلید است. هر چند وقتی از این روش استفاده می‌شود، کابل، شبکه برق (ترانسفورماتور یا ژنراتور و دیگر تجهیزات متصل به شبکه)



شکل ۴۰ – مدار قدرت و نمودارهای مربوط به راه‌اندازی مستقیم DOL

فشار ضعیف برق ایران بتواند 380 V ولتاژ خط را تحمل نماید زیرا در اتصال مثلث سیم‌پیچ‌های هر فاز به ولتاژ خط متصل می‌شوند.

راه‌اندازی هر موتور القایی به صورت ستاره – مثلث امکان‌پذیر نیست.

در راه‌اندازی به صورت ستاره – مثلث ابتدا برای کاهش جریان راه‌اندازی، موتور را با اتصال ستاره به برق متصل می‌کنند سپس بعد از عبور جریان اولیه راه‌اندازی که در اتصال ستاره $\frac{1}{3}$ جریان راه‌اندازی با اتصال مثلث است، اتصال سیم‌پیچ‌ها را به مثلث تبدیل می‌نمایند. زمان راه‌اندازی در این روش گاهی به ۱۵ ثانیه می‌رسد. در صورتی که عمل تغییر اتصال به موقع انجام نشود، ممکن است موتور در زیر بار بماند زیرا توان حالت مثلث ۳ برابر توان در حالت ستاره است و موتور برای غلبه بر نیروی مقاوم بار به توان حالت مثلث احتیاج دارد. به همین خاطر برای تغییر اتصال این روش راه‌اندازی در مدار فرمان از تایمر استفاده می‌شود.

با این روش راه‌اندازی، جریان و گشتاور راه‌اندازی به حدود 30% جریان راه‌اندازی حالت مستقیم (DOL) می‌رسد. شکل (۴۱) مدار قدرت و نمودارهای مربوط به راه‌اندازی ستاره – مثلث را نشان می‌دهد. از معایب (راه‌اندازی ستاره – مثلث) می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- استفاده از سه کلید قطع و وصل (کنتاکتور) به جای یک کلید در راه‌اندازی مستقیم DOL
- بالا رفتن هزینه کابل و کابل‌کشی (زیرا باید سر و ته کلاف‌های سه فاز موتور به تابلو منتقل شوند).
- کاهش گشتاور راه‌اندازی که باید پیش از انتخاب این روش از بالاتر بودن آن نسبت به گشتاور راه‌اندازی بار اطمینان حاصل کرد.
- مدار کنترل پیچیده‌تر نسبت به راه‌اندازی مستقیم DOL

باید تحمل عبور جریان بالای راه‌اندازی^۱ (۵ تا ۸ برابر جریان نامی) و افت ولتاژ حاصل از این جریان را تا چند ثانیه داشته باشند.

به علاوه در این روش گشتاور راه‌اندازی موتور بسیار زیاد است که در صورت اختلاف خیلی زیاد با گشتاور بار در زمان راه‌اندازی، نیروی بیشتری به اتصالات مکانیکی موتور و تجهیزات متصل به آن وارد می‌شود که با گذشت زمان باعث کاهش عمر مکانیکی تجهیزات می‌گردد.

جریان راه‌اندازی موتور القایی در روش اتصال مستقیم (DOL) زیاد است. ساده‌ترین راه برای کاهش جریان راه‌اندازی، کم کردن ولتاژ ورودی در زمان راه‌اندازی می‌باشد. در بخش‌های قبل تأثیر تغییر ولتاژ برگشتاور موتور القایی بحث گردید. با توجه به شکل (۳۳) باید توجه داشت که کاهش ولتاژ استاتور در زمان راه‌اندازی، علاوه بر کاهش جریان راه‌اندازی موتور، باعث کاهش گشتاور راه‌اندازی نیز می‌شود. بنابراین نمی‌توان بدون مطالعه بار متصل به موتور ولتاژ ورودی موتور را کاهش داد.

برای کاهش ولتاژ استاتور شیوه‌های مختلفی وجود دارد که هریک دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشند که در ذیل معرفی شده است.

● قرار دادن مقاومت پر قدرت در مسیر جریان موتور (این روش به دلیل کاهش راندمان موتور و اتلاف انرژی منسوخ شده است).

- روش ستاره – مثلث
- استفاده از اتوترانسفورماتور
- استفاده از راه‌انداز نرم

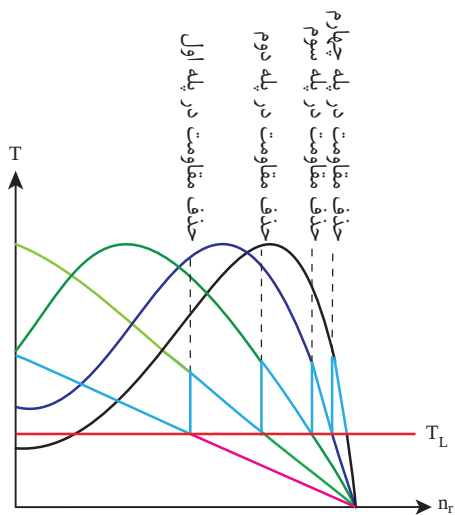
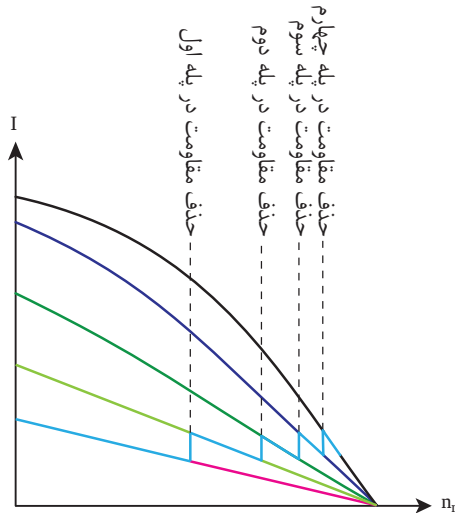
۲-۱۶-۳- راه‌اندازی ستاره – مثلث: مهمترین مشکل

راه‌اندازی مستقیم (DOL)، عبور جریان زیاد در زمان راه‌اندازی است. لازم به توضیح است که فقط موتورهای را می‌توان با روش ستاره مثلث راه‌اندازی نمود که بدون بار باشند و سیم‌پیچ هر فاز آنها تحمل اتصال به ولتاژ خط (U_L) را داشته باشد. یعنی در شبکه

۱- نسبت جریان راه‌اندازی به جریان نامی موتورهای کوچک‌تر، بیشتر از موتورهای با قدرت بالا می‌باشد.

موتور القایی رتور سیم‌پیچی به صورت راه‌انداز چهار مرحله‌ای را نشان می‌دهد.

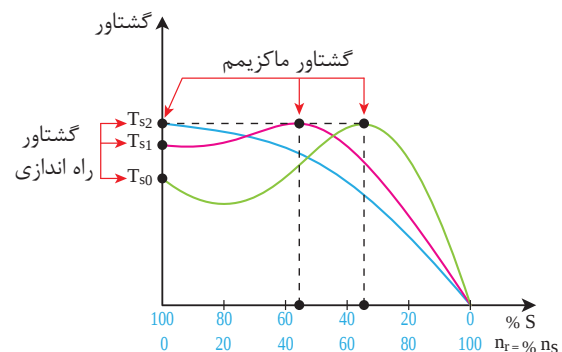
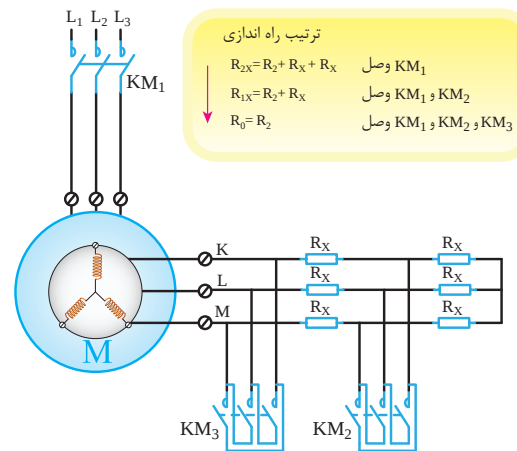
مهمترین کاربرد موتور القایی رتور سیم‌پیچی در مواردی است که بار مکانیکی به گشتاور راه‌اندازی زیاد و قطع و وصل بی‌دری موتور احتیاج داشته باشد. البته قیمت این موتورها و



شکل ۴۵- راه‌انداز چهار پله‌ای موتور القایی رتور سیم‌پیچی و نمایش چگونگی مهار جریان راه‌اندازی

هزینه تعمیر و نگهداری آن در مقایسه با موتور القایی رتور قفسی زیاد است همچنین به دلیل اتصال جاروبک و احتمال ایجاد جرقه نمی‌توان از آن در مکان‌هایی نظیر پالایشگاه استفاده نمود.

گشتاور ماکزیمم موتور القایی از رابطه (۳-۲۲) به دست می‌آید. در رابطه (۳-۲۲) پیداست که گشتاور ماکزیمم موتور القایی به مقاومت اهمی مدار رتور وابسته نیست ولی با توجه به رابطه $S_m = \frac{R_r}{X_p}$ مقدار مقاومت اهمی مدار رتور می‌تواند مقدار لغزش مربوط به گشتاور ماکزیمم را تغییر دهد. از رابطه $S_m = \frac{R_r}{X_p}$ می‌توان نتیجه گرفت که افزایش مقاومت مدار رتور باعث جابه‌جاشدن مختصات گشتاور ماکزیمم، در نمودار گشتاور-لغزش می‌شود و آن را به مختصات لحظه راه‌اندازی می‌تواند نزدیک‌تر کند این موضوع در شکل (۴۴) نشان داده شده است.



شکل ۴۴- مدار راه‌اندازی موتور القایی به روش تغییر مقاومت رتور (شکل بالا) و اثر تغییر مقاومت مدار رتور بر منحنی گشتاور- دور (شکل پایین)

البته باید توجه داشت که بخشی از انرژی الکتریکی در مقاومت اضافه شده به مدار رتور به حرارت تبدیل و تلف می‌شود. شکل (۴۵)، منحنی گشتاور لغزش و جریان- سرعت

۱۷-۳- تغییر سرعت موتورهای القایی

گاهی در صنایع لازم است، سرعت موتور قابل کنترل باشد. در گذشته یکی از ضعف‌های موتور القایی را دشواری تنظیم سرعت آن و تنها برتری موتورهای DC را کنترل پذیری آسان سرعت آن می‌دانستند. در حال حاضر با رشد صنعت الکترونیک و توسعه تجهیزات الکترونیک قدرت، کنترل سرعت موتورهای القایی به سهولت امکان پذیر شده است.

به طور کلی برای تغییر سرعت موتورهای القایی روش‌های زیر به کار گرفته می‌شود.

تغییر سرعت میدان دوار (n_s) با :

- روش کنترل هم‌زمان فرکانس و ولتاژ

- تغییر قطب‌های سیم‌بندی

تغییر مقدار لغزش (S) با :

- تغییر ولتاژ

- تغییر مقاومت مدار رتور (مخصوص موتورهای رتور

سیم‌پیچی)

۱۷-۳-۱- کنترل هم‌زمان فرکانس و ولتاژ : با توجه

به رابطه (۲-۳) می‌توان با تغییر فرکانس، سرعت میدان دوار را تغییر داد. اما لازمه استفاده از این روش داشتن یک مبدل فرکانس است. شکل (۴۶) نمای ظاهری یک نمونه از مبدل‌های فرکانسی را نشان می‌دهد. مبدل فرکانسی را VSD^1 یا VFD نیز می‌گویند.



شکل ۴۶- نمای ظاهری یک نمونه از مبدل فرکانسی کنترل‌کننده سرعت موتور

القایی

خود را بیازمایید



۱- روش‌های راه‌اندازی موتورهای القایی را نام ببرید.

۲- برداشت شما از نسبت گشتاور راه‌اندازی به گشتاور نامی چیست؟

۳- معایب استفاده از روش راه‌اندازی مستقیم چیست؟

۴- در روش‌های راه‌اندازی استاتوری ساده‌ترین راه کاهش جریان راه‌اندازی چیست؟

۵- روش راه‌اندازی ستاره - مثلث برای کدام یک از موتورهای القایی قابل اجرا می‌باشد؟

۶- اگر در روش راه‌اندازی ستاره - مثلث فاصله زمانی بین اتصال ستاره و مثلث بیش از حد باشد چه اتفاقی می‌افتد؟ چرا؟

۷- کاربرد روش راه‌اندازی با اتوترانسفور ماتور در کجاست؟

۸- روش راه‌اندازی نرم چه مزیت‌هایی نسبت به دیگر روش‌های استاتوری دارد؟

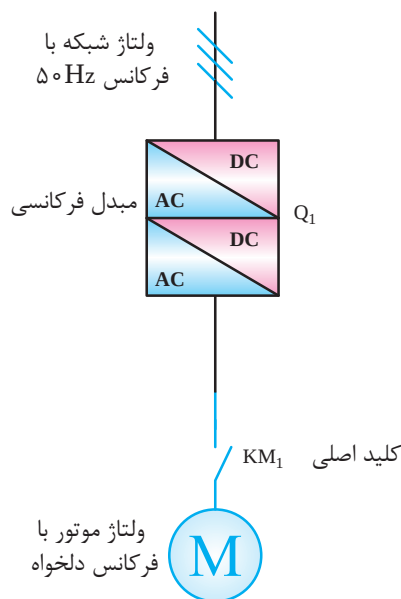
۹- روش راه‌اندازی رتوری فقط در موتورهای القایی قابل اجرا می‌باشد.

۱۰- افزایش مقاومت رتور چه اثری بر گشتاور ماکزیمم و لغزش نظیر گشتاور ماکزیمم دارد؟

۱۱- مهمترین کاربرد موتور القایی با رتور سیم‌پیچی شده در چه نوع بارهایی می‌باشد؟

^۱-(Variable Speed Drive Or Variable Frequency Drive)

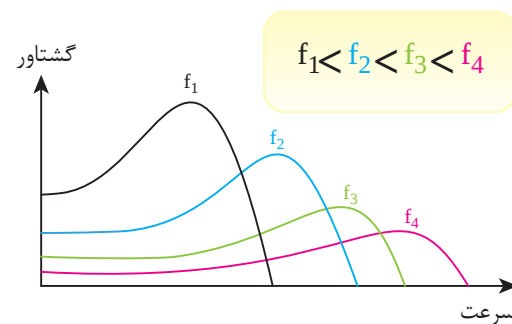
(۴۷) ملاحظه می‌شود که با افزایش فرکانس، گشتاور موتور مرتب کاهش یافته و با کاهش فرکانس گشتاور موتور افزایش می‌یابد. این موضوع بسیار با اهمیت است. زیرا با افزایش بیش از حد فرکانس ممکن است گشتاور موتور از گشتاور بار کمتر شود و موتور زیر بار بماند. از طرفی با کاهش فرکانس موتور، هسته ماشین به ناحیه اشباع مغناطیسی وارد می‌شود، لذا برای جلوگیری از سوختن سیم‌پیچ ماشین در هر دو حالت باید به‌طور همزمان ولتاژ و فرکانس تغییر نماید، به‌طوری که نسبت $\frac{E}{f}$ ثابت بماند.



هر مبدل فرکانسی دارای دو بخش می‌باشد. ابتدا ولتاژ AC (50° یا 60° هرتز) در این دستگاه به ولتاژ DC تبدیل می‌شود سپس ولتاژ DC را به ولتاژ AC، با فرکانس قابل کنترل معمولاً بین $25^\circ \text{Hz} \sim 50^\circ \text{Hz}$ تبدیل می‌کند.

نکته قابل توجه اینکه، تغییر فرکانس علاوه بر تغییر سرعت سنکرون بر روی نیروی محرکه القاء شده رتور و همچنین سایر کمیت‌های مغناطیسی موتور و گشتاور نیز اثر می‌گذارد.

مشخصه گشتاور – دور موتور القایی در فرکانس‌های مختلف در شکل (۴۷) نشان داده شده است. با توجه به شکل



شکل ۴۷- شمای تک خطی اتصال مبدل فرکانسی به موتور القایی (شکل سمت چپ) اثر تغییر فرکانس بر گشتاور و سرعت (شکل سمت راست)

یابد. و از آنجا که تقابل دو میدان باعث ایجاد گشتاور در موتور القایی می‌شود لذا تغییرات شار مغناطیسی به تغییر گشتاور مفید موتور می‌انجامد.

رابطه (۳-۲۴) را می‌توان به صورت رابطه (۳-۲۵) نوشت، بنابراین برای تثبیت مقدار شار مغناطیسی مطابق رابطه (۳-۲۵) لازم است مقدار ولتاژ و فرکانس با یک نسبت تغییر کنند.

$$\frac{E}{f} = \frac{4}{44} N \Phi \quad (3-25)$$

در فصل اول بیان گردید که ولتاژ القایی در یک سیم‌پیچ از رابطه (۳-۲۳) به دست می‌آید.

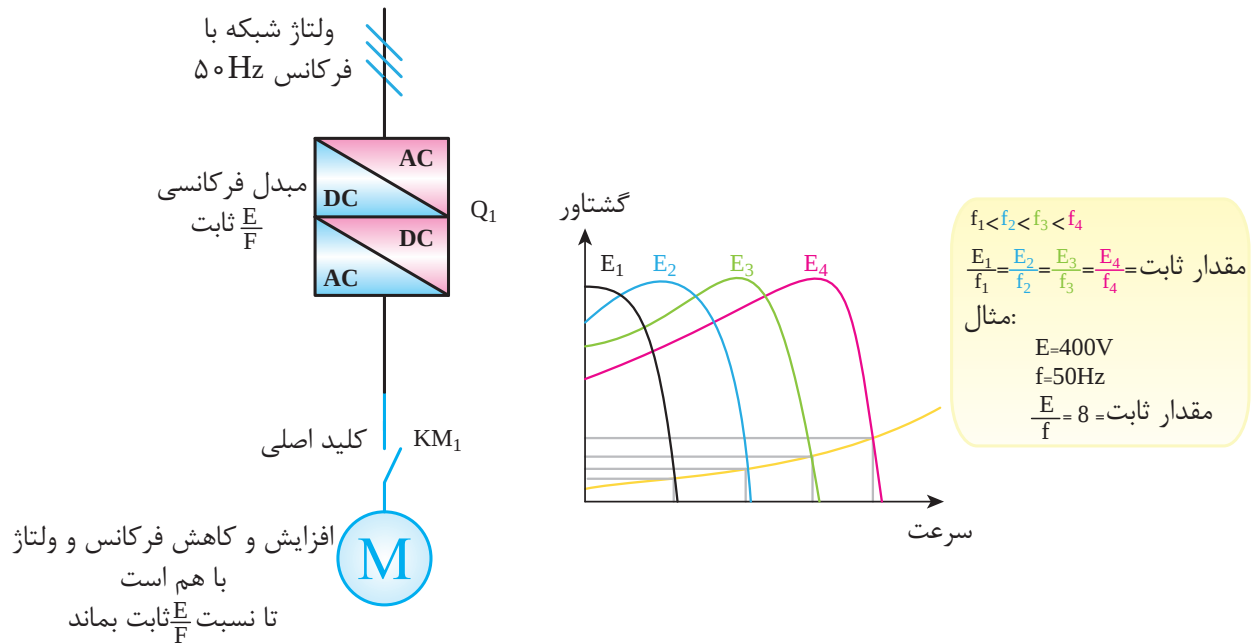
$$E = \frac{4}{44} N B A f \quad (3-23)$$

به عبارتی

$$E = \frac{4}{44} N \Phi f \quad (3-24)$$

در صورتی که فرکانس به تنهایی افزایش یا کاهش یابد، برای برقراری رابطه (۳-۲۴) باید شار فاصله هوایی کاهش یا افزایش

در شکل (۴۸) شمای تک خطی راه اندازی و کنترل دور موتور القایی به وسیله یک مبدل ولتاژ-فرکانس نشان داده شده است.



شکل ۴۸- شمای تک خطی اتصال مبدل فرکانسی / ولتاژ به موتور القایی (شکل سمت چپ) اثر تغییر فرکانس و ولتاژ همزمان بر منحنی گشتاور-دور (شکل سمت راست)

۲-۱۷-۳- تغییر قطب‌های سیم‌بندی: یکی دیگر

از راه‌های تغییر سرعت میدان دوار با توجه به رابطه (۲-۳) تغییر تعداد قطب‌های سیم‌بندی موتور القایی است. ولی تعداد قطب‌های موتور القایی:

اولاً به نوع سیم‌پیچی استاتور موتور وابسته است.

ثانیاً از لحاظ فیزیکی تعداد قطب‌ها مضرب زوج می‌باشند.

(۲, ۴, ۶, ...)

بنابراین تغییر تعداد قطب‌ها باعث تغییر پیوسته سرعت نمی‌شود بلکه سرعت به‌طور ناپیوسته و پله‌ای تغییر می‌کند. تغییر تعداد قطب‌های موتور القایی به روش‌های زیر امکان‌پذیر است.

(الف) استفاده از سیم‌پیچی دالاندر

(ب) قراردادن دو سیم‌بندی مجزا در داخل استاتور

خود را بیازمایید



- ۱- روش‌های کنترل سرعت موتورهای القایی را نام ببرید.
- ۲- عملکرد مبدل فرکانس در کنترل سرعت موتور القایی چگونه است؟
- ۳- افزایش بیش از حد فرکانس شبکه چه اثری بر گشتاور موتور القایی دارد؟ چرا؟
- ۴- رابطه‌ای براساس محاسبه شار مغناطیسی بنویسید که نشان دهد برای ثابت ماندن آن بایستی ولتاژ و فرکانس همزمان تغییر کنند.

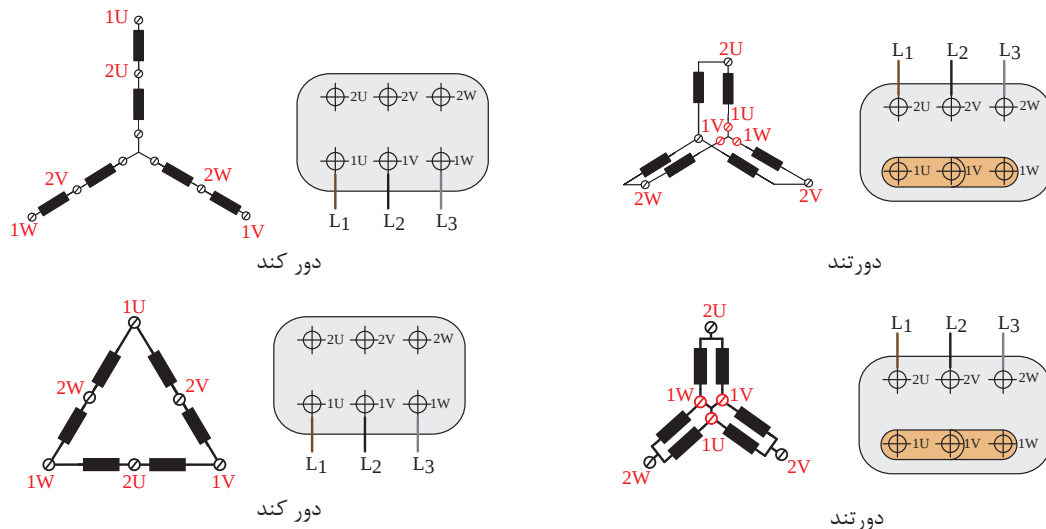
تغییر توان و گشتاور موتور در سرعت تند و یا کند می‌شود. به همین خاطر توان و گشتاور موتورهای دالاندر در اتصالات مختلف در برگه مشخصات فنی موتور توسط سازنده ارائه می‌گردد.

شکل (۴۹) چگونگی اتصال دو نوع از متداول‌ترین موتورهای دالاندر را به شبکه برق سه فاز نشان می‌دهد.

۳-۱۷-۳- موتور دالاندر: در موتورهای القایی

روشی برای سیم‌پیچی وجود دارد که به اتصال دالاندر معروف است. در اتصال دالاندر می‌توان تعداد قطب‌ها را با تغییر اتصال کلاف‌های موتور نصف و یا دو برابر نمود. بنابراین سرعت موتورهای دالاندر به نسبت ۱ به ۲ می‌باشد.

انتخاب نوع اتصالات داخلی موتور دالاندر باعث

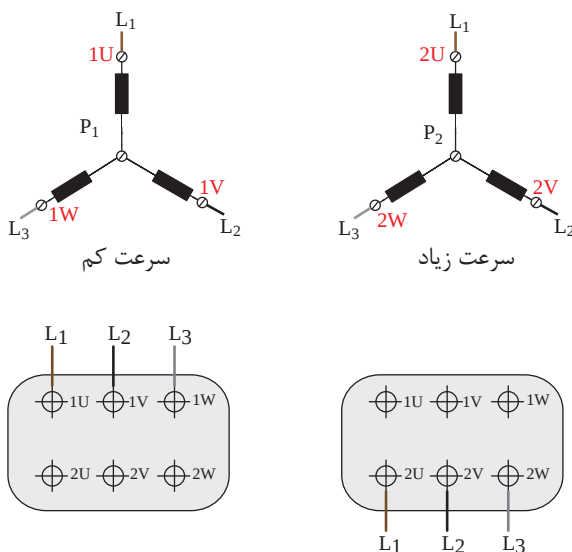


شکل ۴۹ - جعبه ترمینال و نحوه اتصال دو نوع موتور دالاندر

۴-۱۷-۳- قرار دادن دو سیم‌بندی مجزا در داخل

استاتور: اگر در استاتور موتور القایی دو گروه سیم‌پیچ کاملاً مستقل از هم قرار گیرند به طوری که هیچ ارتباط الکتریکی بین آنها وجود نداشته باشد، در این صورت آن را موتور القایی با سیم‌پیچ جداگانه یا مستقل می‌نامند.

در این موتور هر یک از سیم‌پیچ‌ها می‌توانند با تعداد قطب مشخصی طراحی و در استاتور موتور قرار داده شوند. که البته در یک زمان فقط یکی از آنها باید در مدار باشند. مثلاً با داشتن موتوری که دارای دو سیم‌پیچ ۴ و ۶ قطبی در فرکانس ۵۰ HZ است می‌توان به هر دو سرعت ۱۵۰۰ RPM و ۱۰۰۰ RPM دسترسی داشت.



شکل ۵۰ - جعبه ترمینال و نحوه اتصال یک نوع موتور با سیم‌پیچ جداگانه

راندمان را می‌توان به صورت درصد یا نسبت به واحد هم

محاسبه کرد.

$$\% \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (3-30)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{\sqrt{3} U_L I_L \cos \phi} \quad (3-31)$$

مطابق دیاگرام شکل (۶۳) می‌توان راندمان را به صورت

رابطه (۳-۳۲) نیز نوشت :

$$P_{in} = P_{out} + \Delta P \quad (3-32)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \Delta P} \quad (3-33)$$

$$\Delta P = \Delta P_s + \Delta P_r \quad (3-34)$$

ΔP_s تلفات استاتور موتور القایی بر حسب (W)

ΔP_r تلفات رتور موتور القایی بر حسب (W)

ΔP در رابطه (۳-۳۴)، مجموعه تلفات موتور القایی

است که شامل تلفات استاتور و رتور می‌باشد.

تلفات استاتور ΔP_s شامل تلفات اهمی در سیم‌پیچ‌های

استاتور (P_{cus}) و تلفات هسته (P_{core}) می‌باشد. تلفات هسته

موتور القایی جزو تلفات ثابت موتور بوده که به دلیل حضور

جریان‌های گردابی و تلفات هیستریزس در هسته ایجاد

می‌شوند.

$$\Delta P_s = P_{cus} + P_{core} \quad (3-35)$$

ΔP_r شامل تلفات اهمی سیم‌پیچ رتور در موتورهای القایی

رتور سیم‌پیچی و یا تلفات اهمی حاصل از مفتول‌های به کار رفته

در موتورهای رتور قفسی می‌باشد. لذا تلفات اهمی در رتور

را تلفات مسی رتور^۱ می‌نامند. و آن را با P_{cur} نمایش می‌دهند.

برمی‌گردد، در محاسبات تلفات و راندمان ماشین به حساب نمی‌آید.

بخش دیگری از توان ورودی به موتور القایی، توان اکتیو

است. این توان در موتورهای سه فاز از رابطه (۳-۲۶) محاسبه

می‌شود.

$$P_{in} = \sqrt{3} U_L I_L \cos \phi \quad (3-26)$$

در رابطه (۳-۲۶)

U_L ولتاژ خط بر حسب V

I_L جریان خط بر حسب V

$\cos \phi$ ضریب قدرت موتور

حداکثر توانی را که موتور می‌تواند به بار تحویل دهد توان

نامی موتور تعریف می‌کنند و بر روی پلاک موتور درج می‌شود،

همچنین در برگه مشخصات فنی موتور نیز ارائه می‌گردد.

توان نامی موتور القایی سه فاز از رابطه (۳-۲۷) قابل

محاسبه است.

$$P_n = T_n \omega_r \quad (3-27)$$

$$P_n = T_n \times \frac{2\pi n_r}{60} \quad (3-28)$$

در رابطه (۳-۲۸)،

T_n گشتاور نامی یا مفید بر حسب N-m

n_r سرعت نامی رتور بر حسب RPM

P_n توان نامی رتور بر حسب W

اگر بار مکانیکی روی محور با توان نامی موتور برابر باشد

در این صورت خواهیم داشت :

$$P_{out} = P_n$$

راندمان موتور القایی را مانند دیگر ماشین‌ها براساس نسبت

توان خروجی به توان ورودی مطابق با رابطه (۳-۲۹) می‌توان

محاسبه نمود.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (3-29)$$

T_e گشتاور الکترو مغناطیسی بر حسب N-m
 n_s سرعت سنکرون موتور القایی بر حسب RPM
 P_e توان الکترو مغناطیسی بر حسب W
 همچنین با توجه به دیاگرام توان شکل (۶۴) داریم:

$$P_e = P_{in} - (P_{Cus} + P_{Fe}) \quad (۳-۴۰)$$

$$P_e = P_{out} + P_{Cur} + P_{mis} \quad (۳-۴۱)$$

تلفات ژولی رتور را می توان از حاصلضرب لغزش در توان الکترومغناطیسی به دست آورد.

$$P_{Cur} = S P_e \quad (۳-۴۲)$$

در رابطه (۳-۴۲)،

S لغزش موتور

P_e توان الکترو مغناطیسی بر حسب W

P_{Cur} تلفات مسی رتور بر حسب W

رابطه (۳-۴۲) نشان می دهد که با افزایش لغزش، تلفات مسی در مدار رتور افزایش یافته و در نتیجه توان خروجی کاهش می یابد.

همچنان که در بخش تغییر سرعت موتورهای رتور سیم پیچی عنوان شد، افزایش مقاومت مدار رتور به منظور کاهش سرعت و یا افزایش گشتاور راه اندازی باعث افزایش لغزش می گردد.

بنابراین طبق رابطه (۳-۴۲) افزایش لغزش، افزایش تلفات مسی در مدار رتور را در پی دارد و به دنبال آن راندمان موتور کاهش می یابد.

با توجه به اینکه تلفات مسی در استاتور و تلفات مسی رتور به جریان سیم پیچ استاتور و رتور وابسته هستند و این جریان نیز با تغییرات بار، تغییر می کند. لذا به مجموع تلفات مسی استاتور و تلفات مسی رتور تلفات متغیر موتور القایی می گویند.

$$P_{\text{تلفات متغیر}} = P_{Cus} + P_{Cur} \quad (۳-۴۳)$$

تلفات مکانیکی رتور و تلفات هسته در استاتور تلفات ثابت

بخش دیگری از تلفات در رتور، تلفات مکانیکی است که به علت وجود اصطکاک هوا و یاتاقان ها ایجاد می شود و چون سرعت موتور القایی ثابت است، تلفات مکانیکی نیز ثابت می باشد این تلفات را با P_{mis} نشان می دهند.

از آنجا که فرکانس رتور در حال چرخش کم است لذا از تلفات آهنی رتور می توان چشم پوشی کرد زیرا تلفات آهنی با مجذور فرکانس نسبت مستقیم دارد.

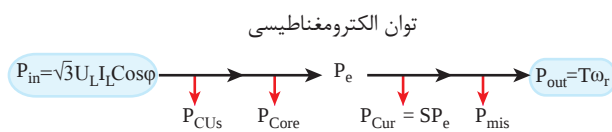
بنابراین تلفات رتور مطابق رابطه (۳-۳۶) به دست می آید.

$$\Delta P = P_{Cur} + P_{mis} \quad (۳-۳۶)$$

با جایگزینی مقدار ΔP_r و ΔP_s می توان تلفات کل ماشین را از رابطه (۳-۳۷) به دست آورد.

$$\Delta P = P_{Cus} + P_{Core} + P_{jr} + P_{mis} \quad (۳-۳۷)$$

نمودار توازن توان در موتورهای القایی در شکل (۶۴) نمایش داده شده است.



شکل ۶۴- نمودار توازن توان در موتورهای القایی

توان الکترومغناطیسی (P_e) توانی است که از طریق میدان دوار استاتور در فاصله هوایی به رتور منتقل می شود.

توان الکترومغناطیسی (P_e) را می توان به طور مستقیم از رابطه (۳-۳۸) نیز محاسبه نمود.

$$P_e = T_e \omega_s \quad (۳-۳۸)$$

$$P_e = T_e \times \frac{2\pi n_s}{60} \quad (۳-۳۹)$$

در رابطه (۳-۳۹):

هستند و به مجموع آنها تلفات ثابت موتور القایی می‌گویند.
بنابراین داریم:

$$P_{\text{Core}} + P_{\text{mis}} = \text{تلفات ثابت} \quad (3-44)$$

پس تلفات کل موتور القایی برابر مجموع تلفات ثابت و تلفات متغیر است.

تلفات متغیر + تلفات ثابت = ΔP

$$\Delta P = P_{\text{Cus}} + P_{\text{Cur}} + P_{\text{Core}} + P_{\text{mis}} \quad (3-45)$$

روابط فوق در حل بسیاری از مسائل مربوط به محاسبه راندمان سودمند است.

۲۱-۳- مقایسه موتورهای رتور قفسی و رتور

سیم‌پیچی

از مزایای موتور القایی رتور قفسی به جای رتور سیم‌پیچی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- موتور رتور قفسی در یک توان مشخص، مقاومت اهمی کمتری در رتور داشته و لذا تلفات مسی رتور در آن کمتر است.
- موتور رتور سیم‌پیچی نیاز به حلقه‌های لغزان، جاروبک و سیم‌پیچی رتور دارد در نتیجه گرانترازی یک موتور رتور قفسی است.
- موتور رتور قفسی به دلیل نداشتن جاروبک و حلقه‌های لغزان، هزینه تعمیر و نگهداری کمتری دارد.
- از معایب موتور رتور قفسی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:
- گشتاور راه‌اندازی کمتر نسبت به موتور رتور سیم‌پیچی
- ضریب قدرت کم در هنگام راه‌اندازی

با این حال چون موتورهای رتور قفسی ساختمان ساده‌ای دارند، تعمیر و نگهداری آنها ساده است و در هر مکانی قابل استفاده هستند و از نظر قیمت نیز در قدرت یکسان، ارزان‌تر از موتور رتور سیم‌پیچی می‌باشند بدین لحاظ امروزه جایگاه ویژه‌ای برای کاربرد در اکثر صنایع پیدا کرده‌اند.

خود را بیازمایید



۱- چرا در محاسبات توان تلفاتی و راندمان ماشین القایی از توان راکتیو استفاده نمی‌شود؟

۲- منظور از توان نامی موتور القایی چیست؟ رابطه آن را نوشته و کمیت‌های آن را معرفی کنید.

۳- چرا در موتورهای القایی رتور سیم‌پیچی شده با افزایش مقاومت رتور، راندمان کاهش می‌یابد؟

۴- منظور از تلفات ثابت و متغیر در ماشین القایی چیست؟

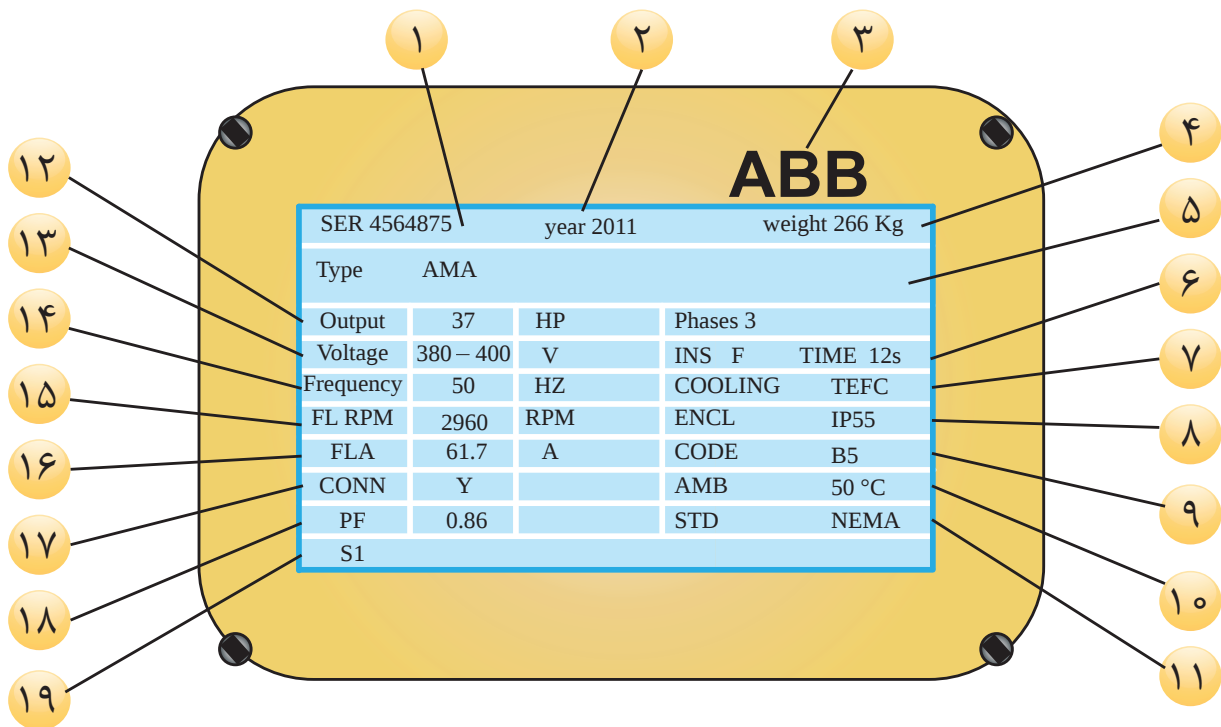
۵- تلفات استاتور موتور القایی را تشریح کنید.

۶- تلفات رتور موتور القایی را تشریح کنید.

۷- به کمک نمودار توازن توان موتورهای القایی، توان الکترومغناطیسی را محاسبه کنید.

۲۲-۳- پلاک خوانی موتورهای القایی و استفاده از برگ مشخصات فنی

در شکل (۶۵) یک نمونه پلاک موتور القایی با توضیحات مربوطه نشان داده شده است. لازم به توضیح است که برگه مشخصات فنی همان موتور نیز در ادامه آمده است.



شکل ۶۵- نمونه پلاک موتور

مشخصه	توضیحات
۱_ Serial number	شماره سریال کارخانه ۴۵۶۴۸۷۵
۲_ Manufacturing year	سال تولید ۲۰۱۱ به میلادی
۳_ Manufacturer	سازنده [ABB]
۴_ Machine weight [Kg]	وزن ماشین به کیلوگرم (۲۶۶ کیلوگرم)
۵_ Type designation	نوع موتور با توجه به کد کارخانه
۶_ Insulation class	کلاس عایقی F با ۱۲ ثانیه تحمل در حالت قفل شدگی رتور
۷_ Type of cooling [IC code]	روش خنک سازی TEFC (تقسیم بندی با توجه به استاندارد NEMA)
۸_ Degree of protection [IP class]	درجه حفاظتی IP۵۵ (تقسیم بندی با توجه به استاندارد ۶۰۰۳۴-۵)
۹_ Mounting arrangement [IM code]	چگونگی نصب B۵ (تقسیم بندی با توجه به استاندارد NEMA)
۱۰_ Ambient Temperature	دمای محیط ۵۰ درجه سانتی گراد
۱۱_ Standard	استاندارد ساخت NEMA
۱۲_ Output [Kw] or [Hp]	توان خروجی به کیلو وات یا اسب بخار ۳۷ کیلو وات
۱۳_ Stator voltage [V] & Number Of Phase	ولتاژ استاتور به ولت و تعداد فاز ۳۸۰/۴۰۰ ولت سه فاز
۱۴_ Frequency [Hz]	فرکانس منبع ۵۰ هرتز
۱۵_ [Rotating speed [rpm]	سرعت رتور ۲۹۶۰ دور در دقیقه
۱۶_ Stator current [A]	جریان استاتور به ۶۱/۷ آمپر
۱۷_ Type of connection	ستاره
۱۸_ Power factor [cosfi]	ضریب قدرت موتور ۰/۸۶
۱۹_ Duty	روش استفاده دائمی (تقسیم بندی با توجه به استاندارد ۶۰۰۳۴-۱) (S۱)

کتابهای مرجع :

- 1- Electric Machinery , Fitzgerald
- 2- Electric Machinery Fundamental ... S.J. Chapman
مبانی ماشین های الکتریکی چاپمن ترجمه دکتر قیض
- 3- Alternating current Machines . M.G. Say
- 4- Applied Electric Machinery . J. Hindmarsh.
ماشین های الکتریکی و کاربردها
- 5- Electric Machines , Slemon
- 6- Principles of Electric Machines and Power Electronics : مراجع اضافی :
(P.C. Sen) 1989
ماشین های الکتریکی ، تحلیل و بهره برداری کنترل (عابدی) (برای بخش ترانس و موتور القایی)
- 7- ماشین های الکتریکی و کاربردهای آن از الکترونیک قدرت (عابدی)
- 8- ترانسفورمر و ماشین آسنکرون (میرسلیم)

مرفصل های درس :

فصل اول : ترانسفورماتورها

۱- مقدمه ۲- اجزاء ۳- ترانس ایدیه آل

۴- علامت گذاری کلافها ۵- انتقال امپدانس ۶- ترانس غیرایده آل

۷- دیاگرام نیروی تدافعی ۸- ضریب کوپلاژ ۹- مدار معادل T

۱۰- مدار معادل L و مدارات تقریبی ۱۱- مدار معادل ترانس با فرکانس متغیر *

۱۲- مقادیر نامی ترانس ۱۳- آزمایشهای تعیین پارامتر ترانس

۱۴- تلفات و راندها ۱۵- تنظیم ولتاژ ۱۶- جریان هجومی

۱۷- سیستم پربونیت ۱۸- اتو ترانسفورماتورها ۱۹- موازی کردن

۲۰- ترانس های سه فاز ۲۱- امداد و حروف شناسایی ۲۲- اتصالات ویژه

۲۳- روشهای خنک کنی ۲۴- تیپ چنجر *

فصل دوم: موتورهای القایی سه فاز (آسکرون)

۱- مقدمه ۲- اجزاء ۳- میدان مغناطیسی گردان

۴- ولتاژ القاشده در استاتور ۵- عملکرد موتور در حالت سکون

۶- عملکرد موتور القایی سه فاز در حالت عادی ۷- لغزش

کتابهای مرجع :

- 1- Electric Machinery , Fitzgerald
2. Electric Machinery Fundamental , S.J. Chapman
مبانی ماشین های الکتریکی چاپین ترجمه دکتر فیض
3. Alternating current Machines . M.G. Say
- 4- Applied Electric Machinery , J. Hindmarsh.
ماشین های الکتریکی و کاربردهای آنها
- 5- Electric Machines , Slemon
- 6- Principles of Electric Machines and Power Electronics : مراجع اضافی :
(P.C. Sen) 1989
ماشین های الکتریکی ، تحلیل و بهره برداری کنترل (عابدی) (برای بخش ترانس و موتور القایی)
- 7- ماشین های الکتریکی و کاربردهای آن (میرسلیم)
- 8- ترانسفورمر و ماشین آسنکرون (میرسلیم)

مرفصل های درس :

فصل اول : ترانسفورماتورها

۳
۸- موتور القایی سه فاز معکوس * ۹- مدار معادل ۱۰- مدار معادل ساده شده

۱۱- رانندگی ۱۲- تعیین پارامترها ۱۳- منحنی مشخصه های موتور القایی

۱۴- مقاومت موتور و دسته بندی موتورها ۱۵- روش های کنترل سرعت IM

۱۶- راه اندازی موتورهای القایی ۱۷- توقف موتورهای القایی ۱۸- ژنراتور القایی

۱۹- هارمونیک های زمانی و مکانی ۲۰- اشاره ای به موتورهای تک فاز

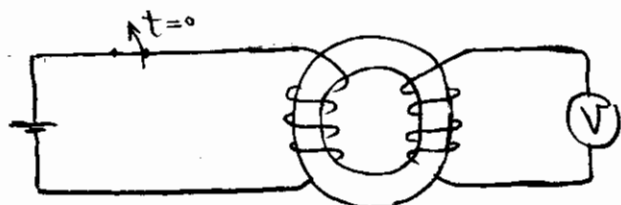
۲۱- اشاره ای به ماشین سنکرون ۲۲- موتورهای خطی *

نحوه ارزیابی : میان ترم جزوه بسته ۶، ۵ نمره تمرینات و کوئیز ۷، ۵ نمره
پایان ترم جزوه بسته ۱۱ نمره

فصل اول : ترانسفورماتورها

۱- مقدمه

۱-۱ تاریخچه :



۱۸۳۱ فارادی (ساخت اولین ترانس)

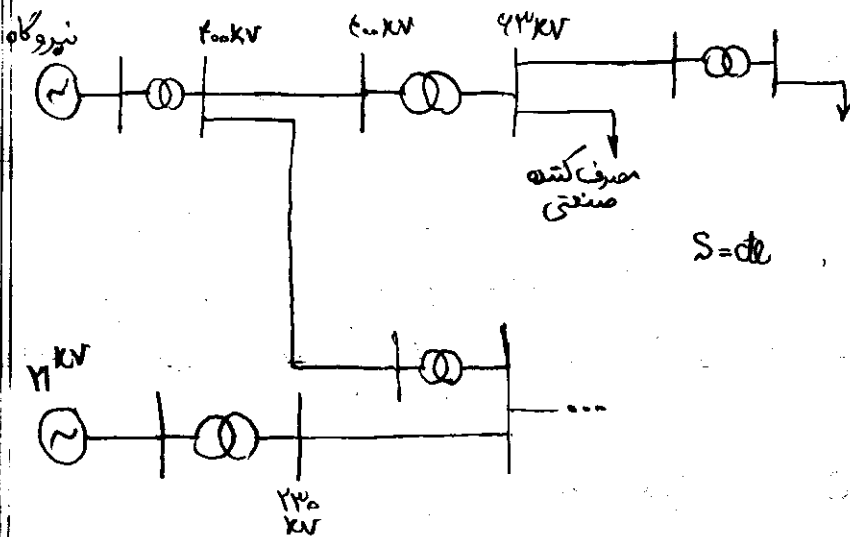
۱۸۸۳ ادیسون (ساخت شبکه برق dc)

۱۸۸۵ جرج وستینگهاوس (ساخت ترانس سه فاز در حالت سیستم AC)

$$\eta = 99\%$$

امروزه طرحهایی برای ساخت ترانس‌هایی با سطح ولتاژ ۱۵۰۰-۲۰۰۰ KV و ۵۰۰۰ MVA ^{تیربرق} _{مگا}

۲-۱ کاربردها :



۱- انتقال انرژی

$$S = VI^*$$

$$S = d\phi, \quad V \uparrow \quad I \downarrow \quad RI^2 \downarrow$$

۲- مصرف

۳- انتقال شبکه‌ها

۵- تطبیق امپدانس

۴- ایجاد ولتاژ با سطوح اقتصادی

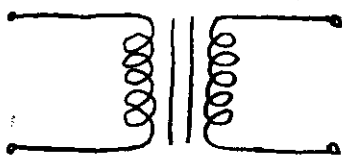
۷- حذف مؤلفه‌های dc

۶- اینزولاسیون

۹- یکسوسازی (سه فاز شش فاز، دوازده فاز و ...)

۸- اندازه‌گیری

۲- اجزای ترانسفورماتورها :



نمایش مداری :

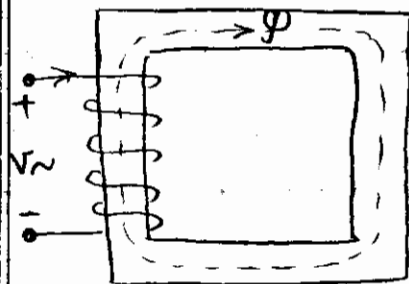
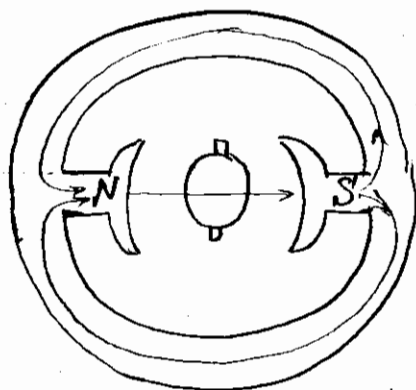
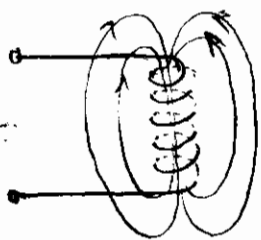
— سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه

— هسته

— تانک

⋮

۱-۲ هسته:



هسته از جنس مواد فرومغناطیس است که در آن:

$R \rightarrow$ رلوکتانس یا مقاومت مغناطیسی

$\mu \rightarrow$ نفوذپذیری مغناطیسی

همانند آهن هسته مغناطیس می‌شود.

نقشی که هسته در ترانسفورماتور دارد همان نقشی است که هسته در ماشین dc دارد،

یعنی بستن شار در یک مسیر مشخص.

چون ولتاژ V اعمالی به ترانس متناوب است در نتیجه یک شار متناوب ایجاد خواهد شد

که باعث وجود جریان گردابی است. لذا هسته ترانس باید مورق ساخته شود تا تلفات

هسته کاهش یابد.

تلفات فوکو $Eddy current$

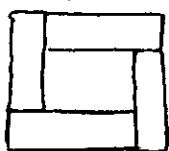
تلفات هیستریزیس

هرف: کاهش تلفات هسته شامل

مورق کردن باعث می‌شود که طول مسیر جریان های گردابی کاهش یافته و در نتیجه مقاومت

به خاطر داریم که هر چه نفوذ پذیری مغناطیسی هسته بالاتر باشد، تلفات هیستریزس آن پاشی می آید.

معمولاً ضخامت ورقه های هسته حدود $0.35 \text{ mm} - 0.30 \text{ mm}$ که عایق بین آنها دارای ضخامت 0.02 mm است. (تراش های قدیم). در تراش های جدید ضخامت ورقه ها حدود 0.23 mm است. امروزه در طرح هایی برای ساخت هسته های با ضخامت ورقه 0.17 mm کار می شود. جنس هسته های امروزی از نوع فولاد سیلیسیم دار است.



هسته های اولیه به شکل مقابل بود.

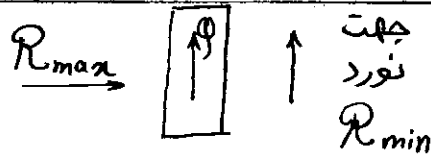
چون جنس هسته ها از فولاد بود برای اینکه میدان مغناطیسی

منحرف نشود از سیمه های هسته (فولاد سیلیسیم دار) استفاده می کردند که به

صورت گرم نورد می شدند. آنچه که حاصل می شد نورد گرم hot-rolled نام داشت

در این حالت معان های مغناطیسی در جهتی قرار می گرفتند که رلوکتانس در یک مسیر بسیار

زیاد و در مسیر دیگر کم بود که به این حالت دانه بندی گفته می شد. $B_{max} = 1.3 T$



بعد ها متوجه شدند که اگر عمل نور در حالت سرد انجام شود نتیجه بهتری گرفته می شود.
Cold-rolled

در این حالت دانه بندی جهت دار بود. grain-oriented

$$B_{max} = 1.7 - 1.8 \text{ T}$$

در نسل بعدی ورقه های Hi-B ساخته شدند. این ورقه ها از زیر اشعه لیزر
laser-radiated

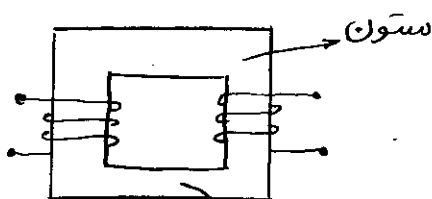
می گذرند و این امر باعث می شود دانه بندی بسیار مرتب تر باشد.

$$B_{max} > 1.8 \text{ T}$$

۲-۲ شکل ظاهری هسته :

هسته های فرومغناطیسی از نظر شکل ظاهری به دو دسته تقسیم می شوند:

۱- Core Type هسته ای شکل ۲- shell Type زره ای شکل

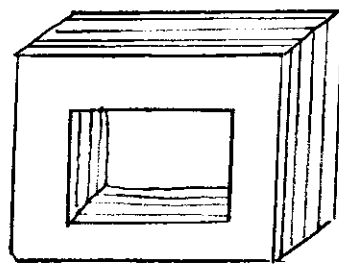


یک هسته Core Type به شکل مقابل است:

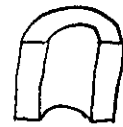
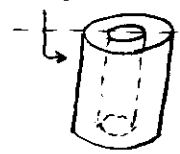
در عمل محل قرارگیری سیم پیچی ها به شکل

یوغ Yoke هسته کلفاز

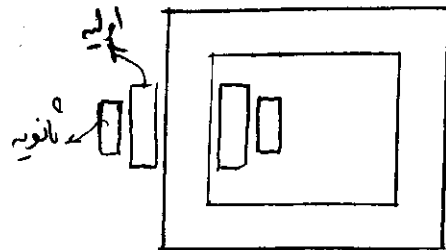
مقابل نیست بلکه سیم پیچی واقعی به شکل زیر خواهد بود:



نحوه سیم پیچی

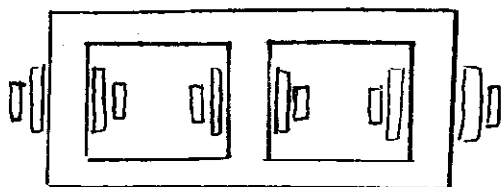


دید از روبرو



دید از روبرو:

ترانس بالا یک ترانس تک فاز بود. در مورد یک ترانس سه فاز هسته به شکل زیر خواهد



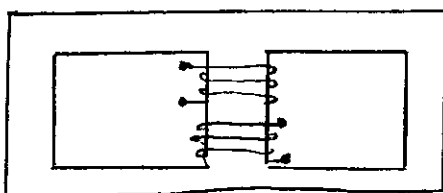
سه فاز استونه

بود.

سه فاز ۵ ستونه

ترانس های بالا همگی از نوع Core Type بودند. اکنون بررسی نوع Shell Type

می پردازیم.

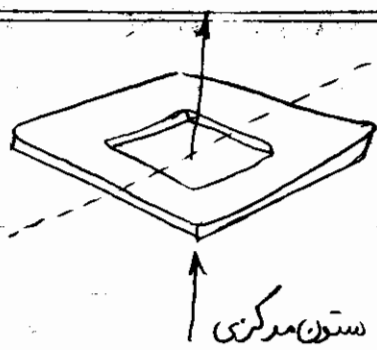


دیدمداری

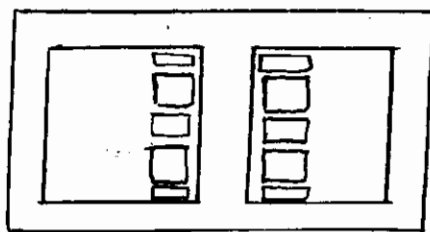
نخست هسته تک فاز رهی برای بینیم.

در این هسته سیم پیچی ها در ستون وسط قرار گرفته اند و دو ستون کناری سیم پیچی

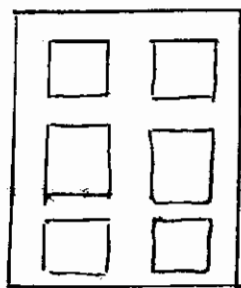
را مانند رهی احاطه کرده اند



نحوه سیم‌بجی :



تراش تک‌فاز
نمونه از روبرو :

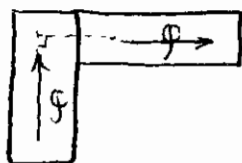


در سیستم سه فاز تراش به شکل مقابل

خواهد بود :

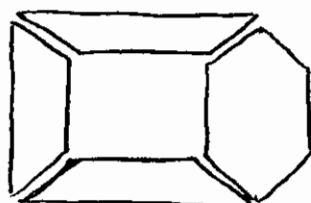
۳-۲ هسته چینی :

اینکه هسته‌ها به صورت یک تکه ساخته نمی‌شوند ^{به خاطر} سیم‌بجی کردن آنها است. لذا



هسته‌ها به صورت تکه تکه ساخته می‌شوند

در تکنولوژی ساخت هسته به شکل بالا چون جهت شلرها برهم عمود است و تغییر



وضعیت برای شار مشکل است لذا هسته‌ها به

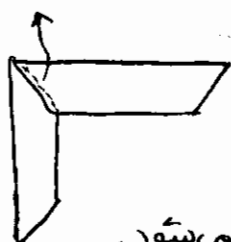
صورت مقابل ساخته می‌شوند :

با توجه به اینکه وجود فاصله هوایی در هسته باعث افت شدید μ_{eff} در آن می شود

لذا باید فاصله هوایی بین کله ها به حداقل خود برسد. به این دلیل از عمل جوشکاری

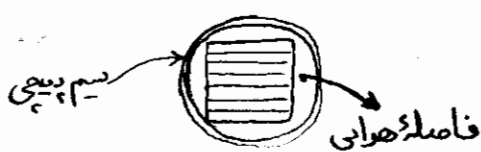
استفاده نمی شود و هم اکنون نیز هسته ها با دست در کنار یکدیگر چیده می شوند. اما

چون باز هم فاصله هوایی کامل از بین نمی رود، لذا از تکنیک همپوشانی over-lap



استفاده می شود.

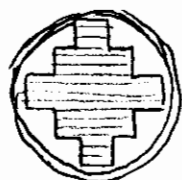
همپوشانی باعث اتصال کوتاه کردن فاصله هوایی می شود.



مقطع برشی از هسته
(دید از بالا)

فاصله هوایی نشان داده شده در شکل بالا باعث نشست سازه می شود، لذا برای رفع این

اشکال هسته را به شکلی نزدیک به شکل استوانه



هسته چینی پله ای

می سازند.

در تراش های قدرت بزرگ تعداد پله ها ممکن است به ۱۷ الی ۱۸ پله برسد. برش های

که باعث ایجاد پله های شود توسط دستگاه انجام می شود.

تراش های کوچک به شکل E یا I ساخته می شوند. اینکه قسمت E

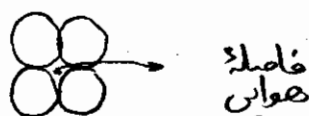
یا یک تکه ساخته می شود به دلیل ^{بین} از برون فاصله هوایی است.

۲-۴ عایق کاری



های هادی ترانس عموماً به شکل مستطیلی شکل هستند.

چون در حالت استوانه فاصله هوایی بین های هادی ها بوده و راندمان کارایی می آید.

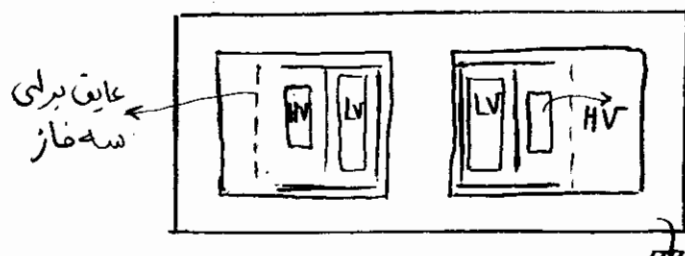


آنچه که های هادی ها را از نظر الکتریکی جدایی کند پوشش لاک روی آنها است. همچنین

برای بالا بردن استقامت الکتریکی از کاغذ کابل نیز بین های هادی ها استفاده می شود.

همچنین برای جدا کردن های هادی و هسته از یک استوانه عایق استفاده می شود که

بر روی هسته قرار می گیرد که به آن پرس بورد گفته می شود.



HV: High voltage

LV: low voltage

روغن ترانس: روغنی که در داخل ترانس ریخته می شود وظیفه دارد:

۲- هرات حرارتی

۱- عایق

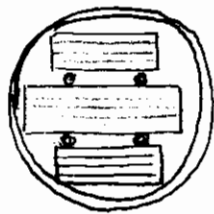
روغن باعث می شود که در فواصل هوایی نفوذ کرده و استقامت الکتریکی را بالا ببرد.

در ترانس ۹۹٪ که دارای قدرت ۱۰۰ MVA است مقادیر تلفات برابر ۱ MW است

که این انرژی به صورت گرمای زیادی ظاهر می شود. لذا از روغن استفاده می شود تا گرما

را به بیرون هدایت کند. همچنین چون حرارت در داخل هسته نیز ایجاد می شود لذا

امکان دسترسی روغن به داخل هسته نیز باید مهیا شود. لذا از طراحی زیر استفاده

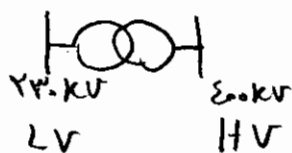


می شود:

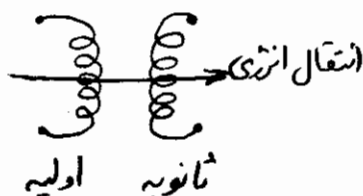
۲-۵ نام گذاری سیم پیچ ها

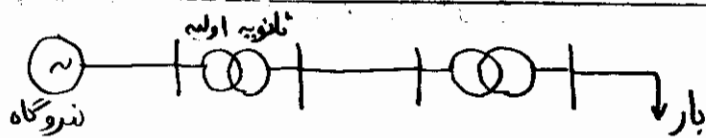
اولین روش نام گذاری به طریقی است که سیم پیچ با ولتاژ کمتر را LV (low voltage)

و سیم پیچ با ولتاژ بیشتر را HV (High voltage) می گویند.



روش دیگر نام گذاری اولیه و ثانویه است که جهت انتقال انرژی را نشان می دهد.





ترانس افزایش دهنده : ترانسی که ولتاژ را افزایش می دهد که در ابتدای خط انتقال بعد از
step-up trans.

نیوگاه قرار دارد.

ترانس کاهش دهنده : ترانسی است که ولتاژ را کاهش می دهد و درست مصروف کننده قرار
step-down trans

۶-۲ انواع سیم پیچی ها :

وظایف سیم پیچی ها :

۱- عبور جریان I از خود و تولید شار (از دیدگاه اولیه)

۲- در بر گرفتن شار (از دیدگاه ثانویه)

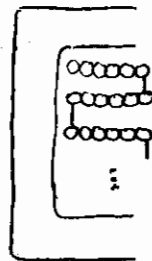
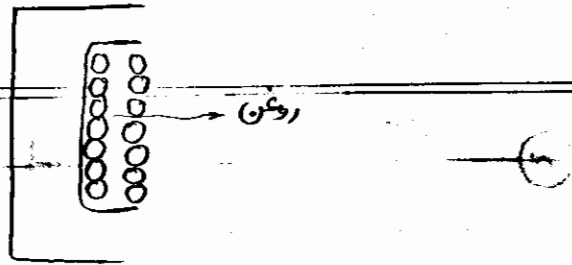
انواع سیم پیچی ها :
زرهی ← سیم پیچی ساندویچی
هسته ای ←

در نوع هسته ای چند قسم سیم پیچی وجود دارد که عبارتند از :

استوانه ای / لایه ای — مارپیچی

دیسکی — Cross-over

سیم پیچی استوانه ای / لایه ای به شکل زیر است :



وسیم پیچ دسکی :

سیم پیچ دسکی بیشتر در قسمت فشار قوی به کار می رود.

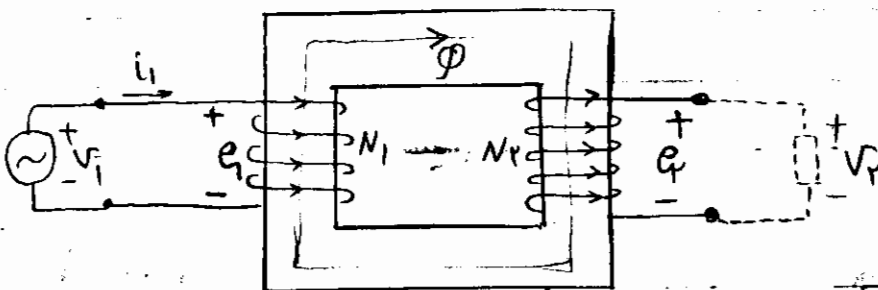
۳- ترانسفورماتور تک فاز ایده آل

مفروضات : ^① اولین چیزی که فرض می کنیم این است که ترانس بی اتلاف است.

یعنی : ۱- مقاومت سیم پیچ را صفر فرض می کنیم و ۲- هسته را بدون تلفات

می گیریم. ^② شار ناشی نداریم ^③ $\mu \rightarrow \infty \Rightarrow R = \frac{l}{\mu A} \rightarrow 0$

طرز کار :



$$v_1 \rightarrow i_1 \rightarrow \phi = \phi_m \sin \omega t$$

شار در بر گیرنده

$$e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} = \frac{d\lambda}{dt} = N_1 \phi_m \omega \cos \omega t \quad \text{①}$$

mmf

emf

$$e_r = N_r \frac{d\phi}{dt} = N_r \phi_m \omega \cos \omega t \quad \textcircled{II}$$

$$V_1 = e_1, \quad V_r = e_r$$

$$\textcircled{I} \div \textcircled{II} \rightarrow \frac{e_1}{e_r} = \frac{V_1}{V_r} = \frac{N_1}{N_r} = \alpha \quad \text{نسبت تبدیل}$$

$$V_1 i_1 = V_r i_r \rightarrow \frac{i_1}{i_r} = \frac{1}{\alpha} \quad \text{چون ترانس بی تلف است:}$$

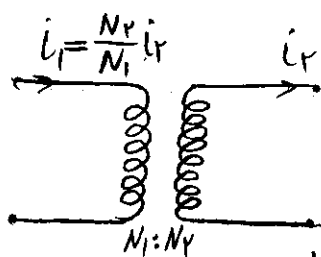
$$V = R \cdot I, \quad \text{emf} = R \cdot I$$

$$, \quad \text{mmf} = \mathcal{R} \cdot \phi$$

$$N_1 i_1 - N_r i_r = \left(\frac{l_{\text{core}}}{\mu_0 \cdot \mu \cdot A_{\text{core}}} \right) \cdot \phi$$

$$, \quad N_1 i_1 = N_r i_r \quad \textcircled{I} \rightarrow \frac{i_1}{i_r} = \frac{1}{\alpha}$$

رابطه ① انولفاظ فیزیکی بیان می کند که mmf ایجاد شده در اولیه توسط ثانویه



خستگی می شود. رابطه بالا نشان می دهد که هر چه قدر از ثانویه ترانس

جریان بکشیم، جریان اولیه توسط آن تعیین می شود.

$$e_1 = N_1 \phi_m \omega \cos \omega t$$

مقادیر موثر:

$$E_{1max} = N_1 \phi_m \omega \quad , \quad E_{1rms} = 4.44 \cdot N_1 \phi_m \cdot f$$

$$E_{2rms} = 4.44 N_2 \phi_m f$$

$$\text{ولت بر دور اولیه} = \frac{E_{1rms}}{N_1} = 4.44 \cdot \phi_m \cdot f$$

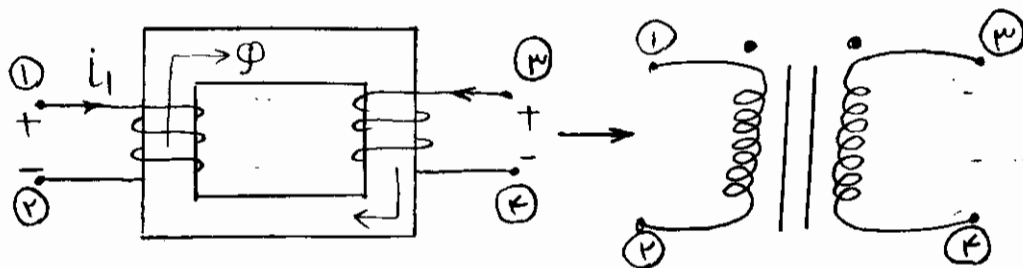
$$\text{ولت بر دور ثانویه} = \frac{E_{2rms}}{N_2} = 4.44 \cdot \phi_m \cdot f$$

نکات : ۱- در ترانس ایده آل ولت بر دور اولیه با ولت بر دور ثانویه برابر است.

$$N_{HV} > N_{LV} \quad \leftarrow \quad \frac{E_{1HV}}{E_{2LV}} = \frac{N_1}{N_2} \quad -2$$

$$V_1 = E_1 \quad , \quad V_2 = E_2 \quad : \quad 3- \text{در ترانس ایده آل}$$

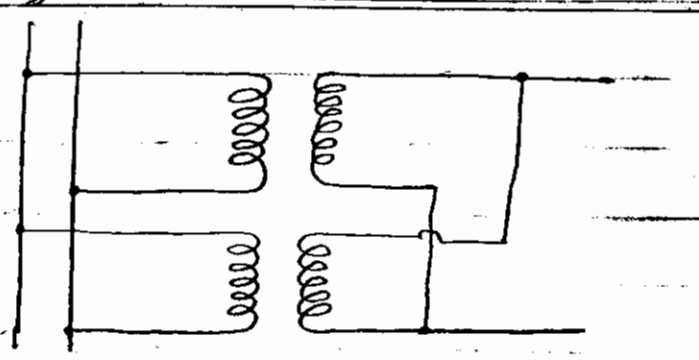
۴- علامت گذاری پلاریته (labelling) :



هرگاه سر ۱ نسبت به ۲ مثبت باشد در همان لحظه سر ۳ نسبت به ۴ مثبت است.

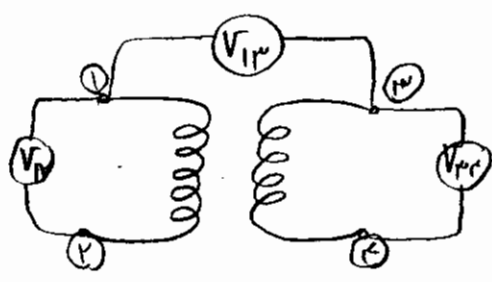
(دیدگاه پتانسیلی). بیان لحظه به علت سینوسی بودن است.

پلاریته ترانسها در هنگام موازی کردن آنها از اهمیت بالایی برخوردار است.



دوترانس موازی:

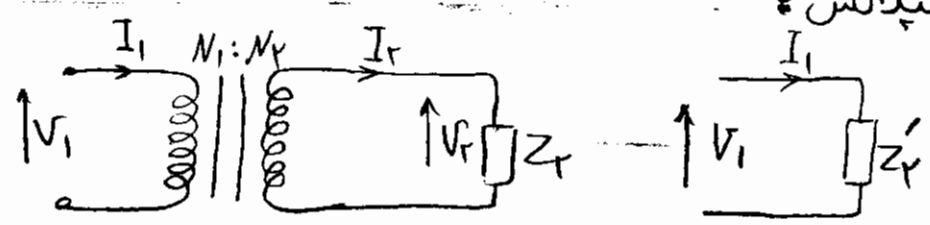
سوال: چگونه می توان با سه ولت متر ولتاژ پهنه هلی یک ترانس را تشخیص داد؟



(مدار آزمایش)

① و ③ سر هلی نقطه دارند.

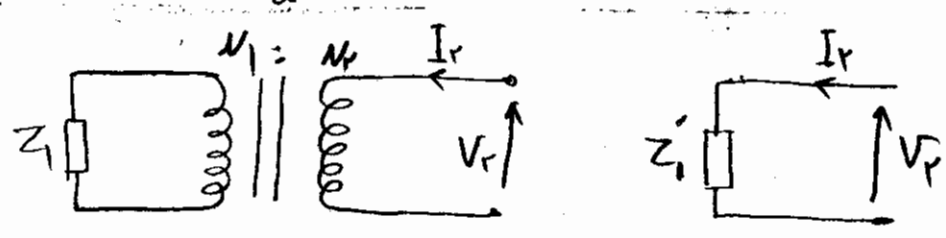
۵- انتقال امپدانس:



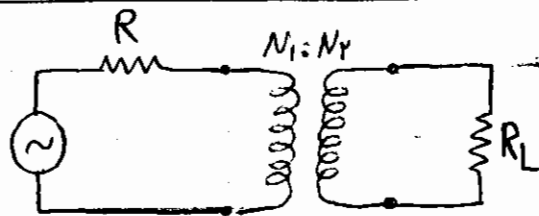
$$V_r = Z_r I_r, \quad \frac{V_1}{I_1} = ?$$

$$\frac{V_1}{V_r} = a, \quad \frac{I_1}{I_r} = \frac{1}{a}$$

$$\frac{V_1}{I_1} = \frac{a V_r}{I_r / a} = a^2 \frac{V_r}{I_r} = a^2 Z_r \rightarrow Z'_r = a^2 Z_r$$



$$Z'_i = \frac{1}{a^2} Z_1$$



تطبيق امپدانس از
ديگر کاربردهای ترانس

است کدر طبقه آخر تقویت کننده ها عموماً به کاری رود.

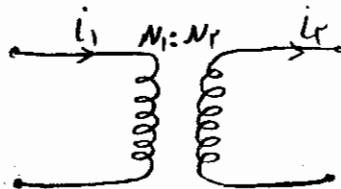
۶- ترانسفورماتور غیر ایده آل

۶-۱ اثر محدود بودن ضریب نفوذ مغناطیسی

$$mmf = N_1 i_1 - N_2 i_2 = 0$$

در حالت ایده آل :

$$i_1 = \frac{N_2}{N_1} i_2$$



در حالت غیر ایده آل :

$$\mu \rightarrow \infty, R \rightarrow 0$$

$$mmf = R \cdot \Phi \neq 0, \quad mmf = N_1 i_1 - N_2 i_2 \neq 0$$

$$i_1 = \underbrace{\frac{mmf}{N_1}}_{i_m} + \underbrace{\frac{N_2}{N_1} i_2}_{i_p}$$

پایه از اولیه کشیده شده است تا mmf ثانویه را جبران کند. چون هسته دارای

مقاومت است، m کشیده می شود تا هسته را مغناطیسی کند.

۶-۲ در نظر گرفتن تلفات هسته

$$P_e \propto B_m^2 \cdot f^2$$

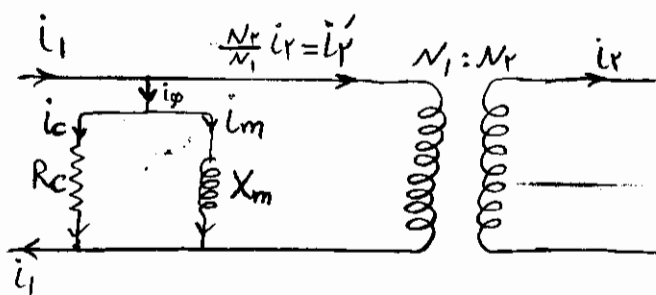
تلفات هسته ← فوکو

$$P_h \propto B_m^{1/4} \cdot f$$

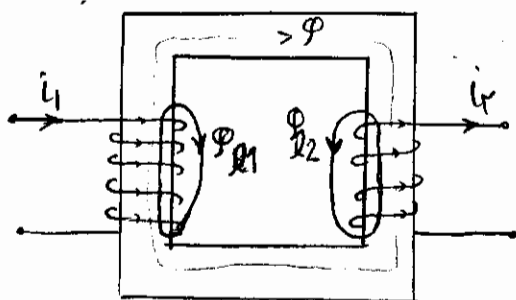
هیستریزیس ←

$$i_1 = i_m + i_r' + i_{core}$$

i_{core} به این دلیل اضافه می شود که باید تلف بشود.



۳-۶ شارپراکنندگی



Φ : شار متقابل

Mutual Flux

شار در برگیرنده اولیه و ثانویه

Φl1 : شار نشتی اولیه

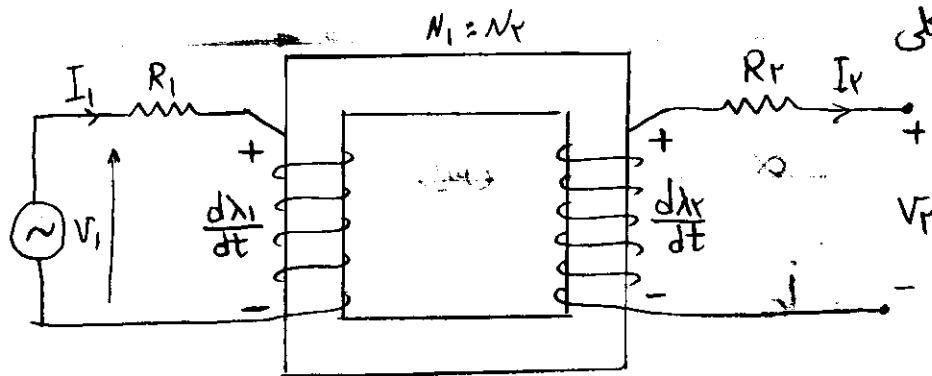
شار کلی که از سیم پیچ اولیه عبوری کند : $\Phi_1 = \Phi + \Phi_{l1}$

شار در برگیرنده اولیه : $\lambda_1 = N_1 \Phi_1$

شار ثانویه : $\Phi_2 = \Phi - \Phi_{l2}$

شار در برگیرنده ثانویه : $\lambda_2 = N_2 \Phi_2$

4-6 رابطه کلی



R_1 مقاومت سیم پیچ اولیه و R_2 مقاومت سیم پیچ ثانویه است.

$$\begin{cases} V_1 = R_1 i_1 + \frac{d\lambda_1}{dt} \\ V_2 = -R_2 i_2 + \frac{d\lambda_2}{dt} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} V_1 = R_1 i_1 + N_1 \frac{d\Phi_1}{dt} \\ V_2 = -R_2 i_2 + N_2 \frac{d\Phi_2}{dt} \end{cases}$$

$$\Phi_1 = \Phi + \Phi_{L1}, \quad \Phi_2 = \Phi - \Phi_{L2}$$

$$\rightarrow \begin{cases} V_1 = R_1 i_1 + \underbrace{N_1 \frac{d\Phi}{dt}}_{e_1} + N_1 \frac{d\Phi_{L1}}{dt} \\ V_2 = -R_2 i_2 + \underbrace{N_2 \frac{d\Phi}{dt}}_{e_2} - N_2 \frac{d\Phi_{L2}}{dt} \end{cases}$$

در حالت ایده آل: $V_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt} = e_1$, $V_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt} = e_2$

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

نکته: در ترانس ایده آل یا غیر ایده آل همواره رابطه بالا برقرار است.

مقدار شارنشستی عموماً برابر ۲۵٪، سار متقابل است.

۵-۶ تکمیل مدار

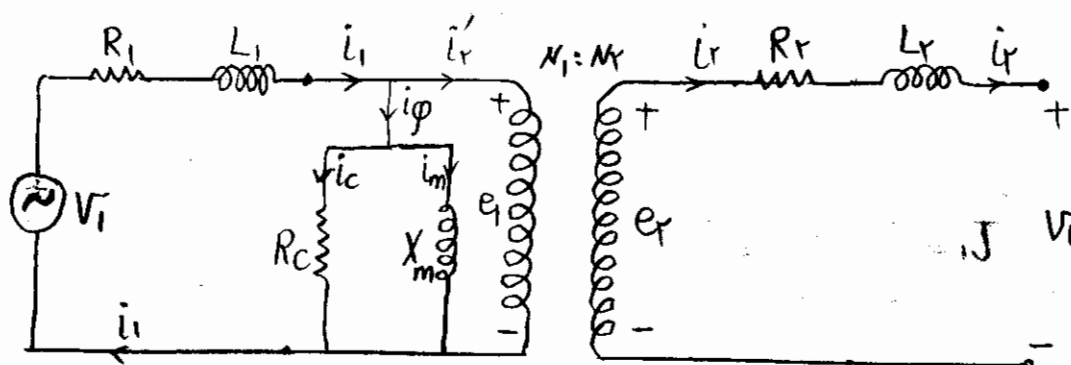
$$\begin{cases} V_1 = R_1 i_1 + e_1 + N_1 \frac{d\phi_{l1}}{dt} \\ V_r = -R_r i_r + e_r - N_r \frac{d\phi_{l2}}{dt} \end{cases}$$

L_1 : اندوکتانس ناشی اولیه ، $N_1 \phi_{l1} = L_1 i_1$

چون شار ناشی اولیه مسیر خود را از هوای بندودر نتیجه رابطه بالا خطی است.

L_r : اندوکتانس ناشی ثانویه ، $N_r \phi_{l2} = L_r i_r$

$$\rightarrow \begin{cases} V_1 = R_1 i_1 + e_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} \\ V_r = -R_r i_r + e_r - L_r \frac{di_r}{dt} \end{cases}$$



باید دقت داشت که در تولید e_r و e_1 فقط شار متقابل نقش دارد.

۷- دیاگرام فازوری ترانس تکفاز

۷-۱ معادلات حالت دائم

$$\begin{cases} V_1 = R_1 i_1 + e_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} \\ V_r = e_r - R_r i_r - L_r \frac{di_r}{dt} \end{cases}$$

روابط بالا که در حوزه زمان بودند بصورت زیر در حوزه فرکانس نوشته می شوند:

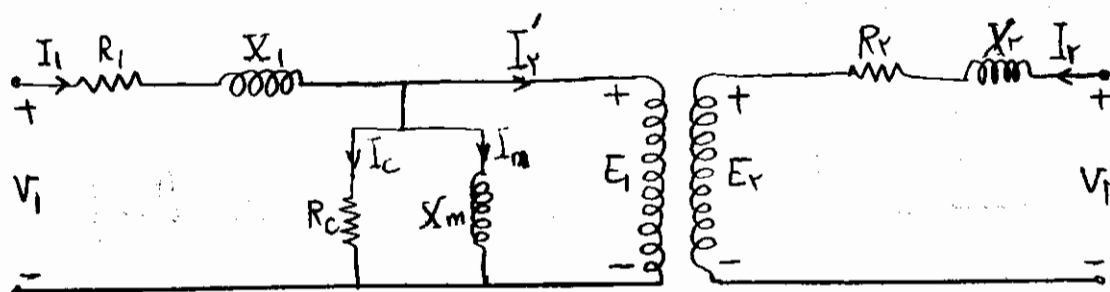
$$\begin{cases} V_1 = E_1 + R_1 I_1 + L_1 (j\omega) I_1 \\ V_2 = E_2 - R_2 I_2 - L_2 (j\omega) I_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_1 = E_1 + R_1 I_1 + j X_1 I_1 \\ V_2 = E_2 - R_2 I_2 - j X_2 I_2 \end{cases} \quad \text{و یا:}$$

$$X_1 = L_1 \omega \quad \leftarrow \text{رأكتانس نشتی اولیه}$$

$$X_2 = L_2 \omega \quad \leftarrow \text{رأكتانس نشتی ثانویه}$$

که در آن:



$$I_1 = I_m + I_c + I_2'$$

$$\rightarrow I_1 = I_m + I_c + I_2'$$

$$I_m = \frac{E_1}{jX_m}, \quad I_c = \frac{E_1}{R_c}$$

۲-۷ دیاگرام فانونی در حالت بی باری:

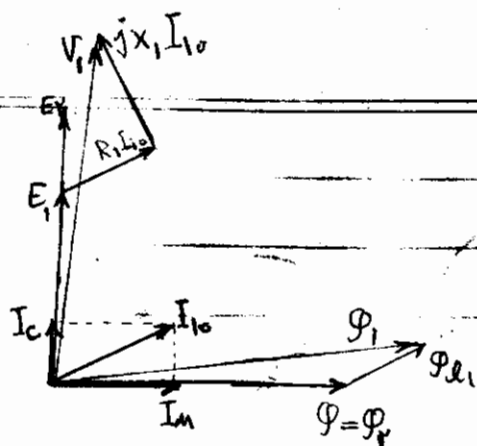
$$V_2 \rightarrow I_2 = 0 \quad \rightarrow I_2' = 0$$

$$I_{10} = I_c + I_m$$

I₁₀ همان I₀ است

$$V_1 = E_1 + R_1 I_{10} + j X_1 I_{10}$$

نشتی



E_r *
 E_1 *
 ϕ *
 I_{10} *
 V_1 *

$$e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \rightarrow E_1 = N_1 (j\omega) \phi$$

$$e_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt} \rightarrow E_2 = N_2 (j\omega) \phi$$

$$\phi = \frac{E_2 r}{j\omega N_{1,r}}$$

$$I_{10} = I_c + I_m, \quad I_m = \frac{E_1}{jX_m}, \quad I_c = \frac{E_1}{R_c}$$

$$V_1 = E_1 + R_1 I_{10} + jX_1 I_{10}$$

$$\phi_1 = \phi + \phi_{l1}, \quad \phi_2 = \phi - \phi_{l2}$$

در حالت بی باری

چون جریانی از سیم پیچ ثانویه عبور نمی کند (در حالت بی باری)، در نتیجه $\phi_{l2} = 0$ است.

سوال: جریان بی باری به چه چیزی بستگی دارد؟ و با تغییر چه چیزی کم یا زیاد می شود؟

ضریب توان تراش در حالت بی باری بسیار کوچک خواهد بود چون ϕ خیلی نزدیک به ۹۰ است.

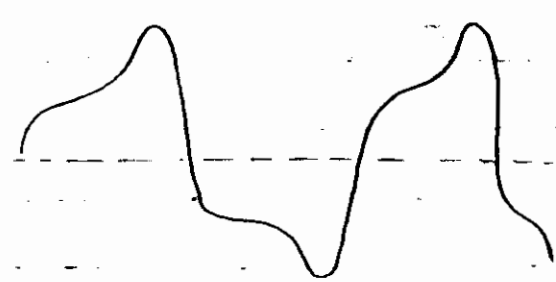
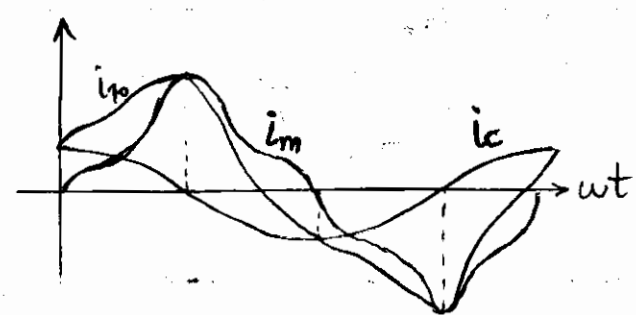
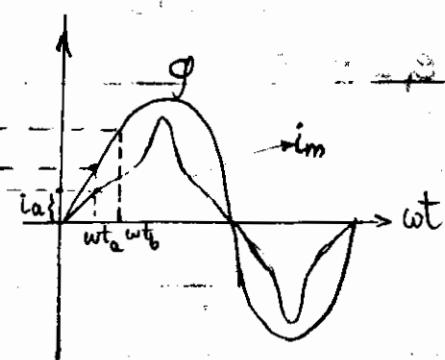
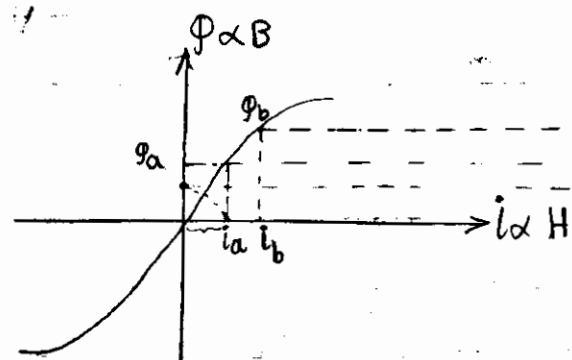
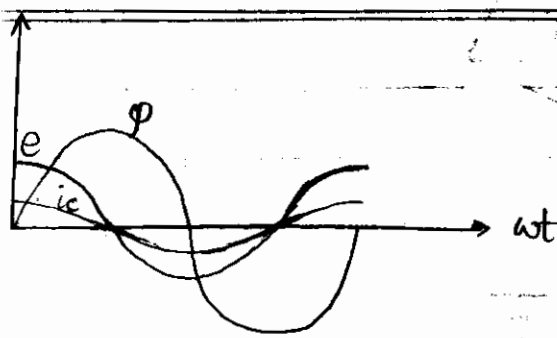
۷-۳ شکل موج جریان بی باری

$$\phi = \phi_m \sin \omega t$$

با فرض اینکه شار سینوسی است:

$$e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} = N_1 \phi_m \cos \omega t$$

* ۴



* جریان بی باری یک جریان غیر سینوسی است که دلیل آن غیر سینوسی بودن جریان

مغناطیس کننده است.

* ما فرض سینوسی بودن شار و ولتاژ جریان بی باری غیر سینوسی شد.

* نیم موج مثبت جریان بی باری شبیه نیم موج منفی آن است. لذا چون تابعی فرد است اگر

سری فوریه آن را بنویسیم فقط دارای هارمونیک هلی فرد خواهد بود.

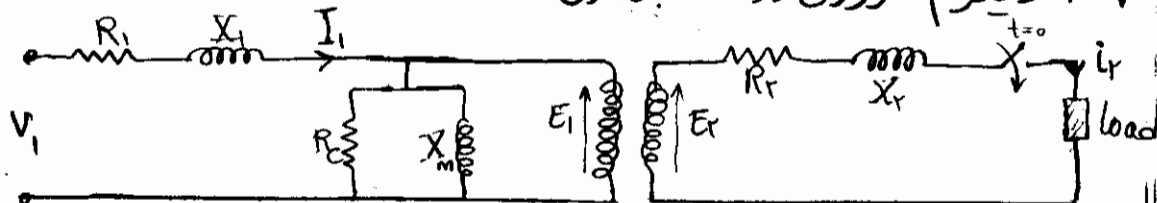
* با فرض ثابت بودن منحنی ϕ ، هرچه منحنی $B-H$ خوابیده تر شود (یعنی سریع

اشباع شود) منحنی جریان I_1 از تنیزی بیشتری برخوردار خواهد بود.

* در صورت اشباع ترانس دامنه هارمونیک سوم می تواند $\% 4$ دامنه هارمونیک اصلی

باشد.

$V-I$ دیاگرام فازوری در حالت بار داری



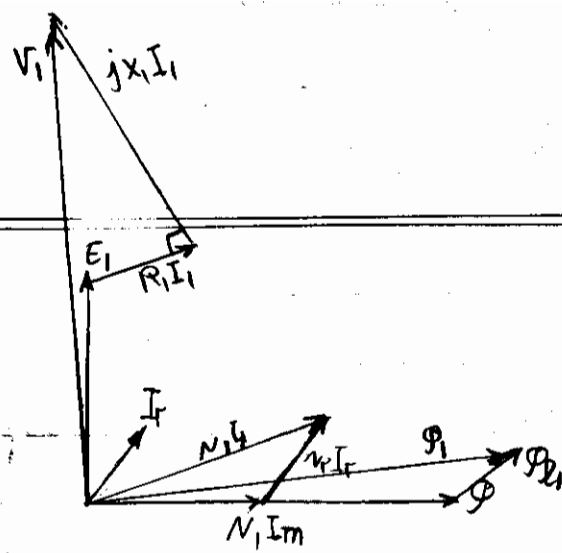
$N_1 I_1 = N_2 I_2 = R_p$ در حالت بی باری $I_2 = 0$ ، $N_1 I_m \rightarrow \phi$

$N_1 I_m - N_2 I_2 \rightarrow \phi$ ، در حالت بار داری: $I_2 \neq 0$

$\rightarrow E_1 \downarrow , V_1 = cte$

$\rightarrow I_1 \uparrow$

$N_1 I_1 = N_1 I_m + N_2 I_2$



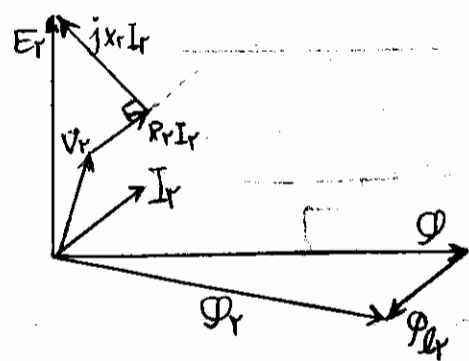
بافرض:
 I_r, ϕ, E_1
 معلوم

$$P_{L1} \parallel N_1 I_1$$

$$V_1 = E_1 + R_1 I_1 + jX_1 I_1$$

$$V_2 = E_2 - R_2 I_2 - jX_2 I_2$$

$$\rightarrow E_2 = V_2 + R_2 I_2 + jX_2 I_2$$



* در حالت پس فاز یعنی I_r عقب تر از V_r : $E_r > V_r$ $V_1 > E_1$

و در حالت پیش فاز این مسئله برعکس خواهد بود.

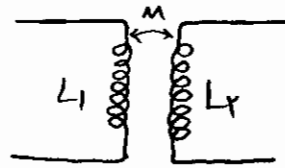
* بار پس فاز اثر ضد مغناطیس کشندگی دارد ولی در حالت پیش فاز (ضرب توان بار

پیش فاز باشد) شار بوجود آمده اثر مغناطیس کشندگی خواهد داشت.

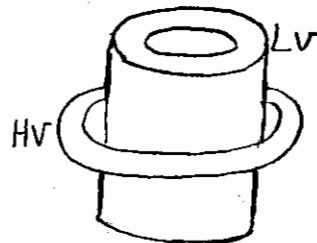
۱- ضریب تزویج (ضریب کوپلاژ یا پیوند)

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

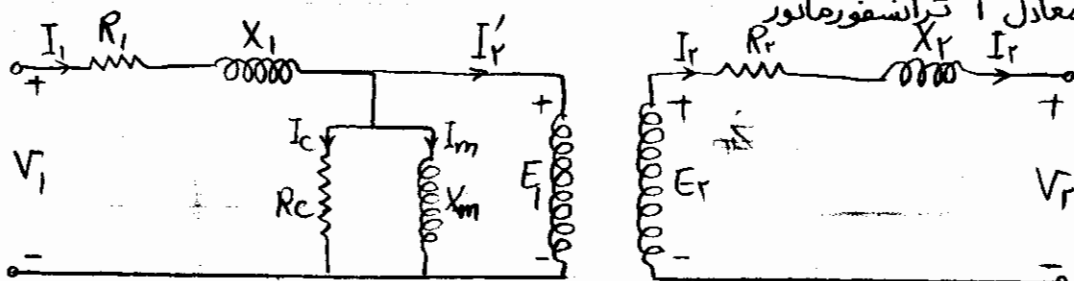
$$K = \frac{\phi}{\phi + \phi_l}$$



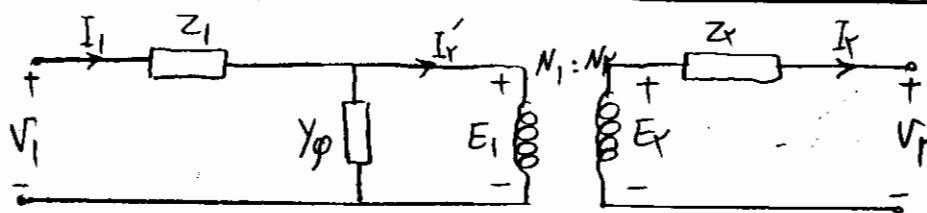
برای افزایش K سیم بیچها را هم محور درست می کنند.



۴- مدار معادل T ترانسفورماتور



مدار معادل T:



$$Z_1 \triangleq R_1 + jX_1, \quad Z_2 \triangleq R_2 + jX_2$$

$$Y_\phi \triangleq \frac{1}{R_c} + j\frac{1}{X_m}$$

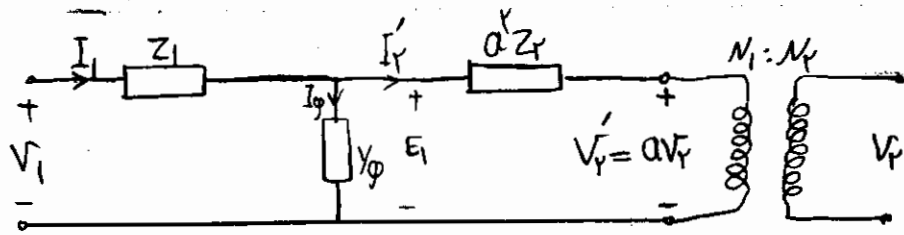
$$V_2 = E_2 - Z_2 I_2$$

$$\times \frac{N_1}{N_2} \longrightarrow \frac{N_1}{N_2} V_2 = \left(\frac{N_1}{N_2} E_2 \right) - \frac{N_1}{N_2} Z_2 I_2$$

$$\longrightarrow a V_2 = E_1 - a Z_2 I_2$$

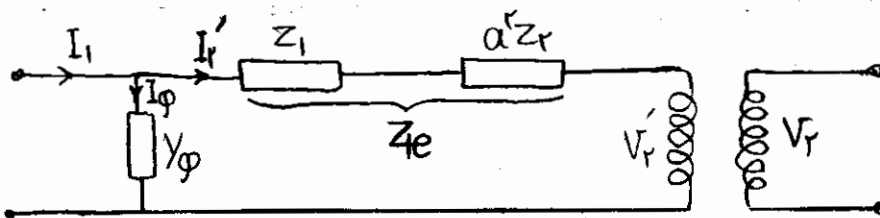
$$\longrightarrow I_2' N_1 = I_2 N_2 \longrightarrow I_2 = \frac{N_1}{N_2} I_2'$$

$$\rightarrow aV_r = E_1 - a^2 Z_r I_r'$$



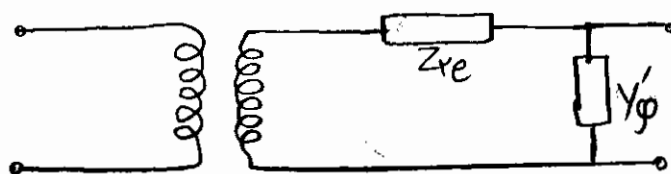
مدار بالا معادل T یک ترانسفورماتور است.

10- مدار معادل L و مدارهای تقریبی.



با تبدیل مدار معادل T به مدار شکل بالا با اینکه تقریب استفاده می‌کنیم اما ساده‌سازی زیادی در حل مسائل انجام می‌شود.

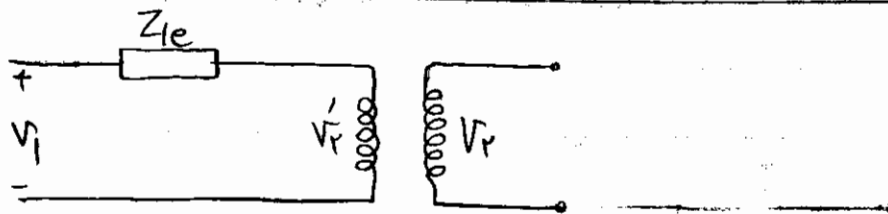
تمام محاسبات مطرح شده می‌توانست در مورد مدار ثانویه انجام بگیرد:



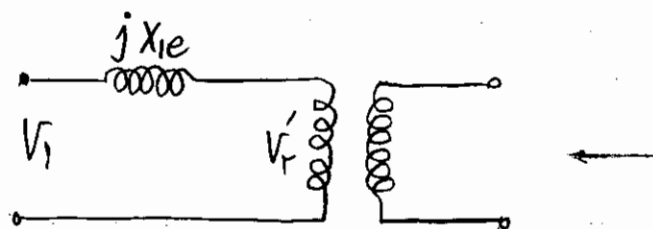
در صورتیکه قدرت ترانس از ۱۰۰ kVA بیشتر باشد $S > 100$ آن گاه:

در این صورت:

$$I_1 \gg I_m =$$



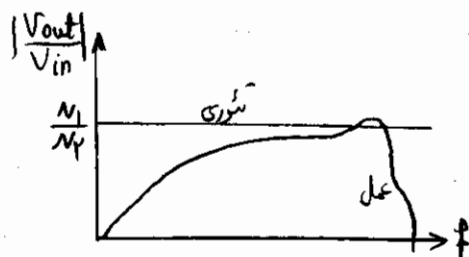
و اگر قدرت ترانس بیشتر از ۵۰۰ kVA باشد $S > ۵۰۰$ در این صورت:



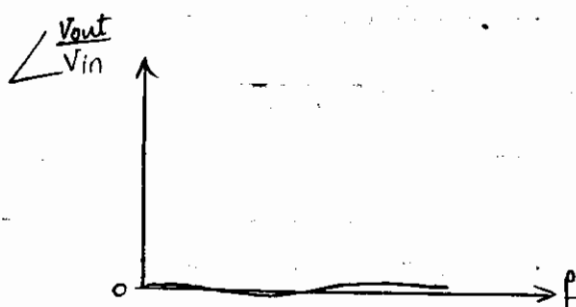
۱۱- مدار معادل تقریبی ترانسفورماتور با فرکانس متغیر.

(مرجع: کتاب سلیمون ترجمه دکتر لسانی)

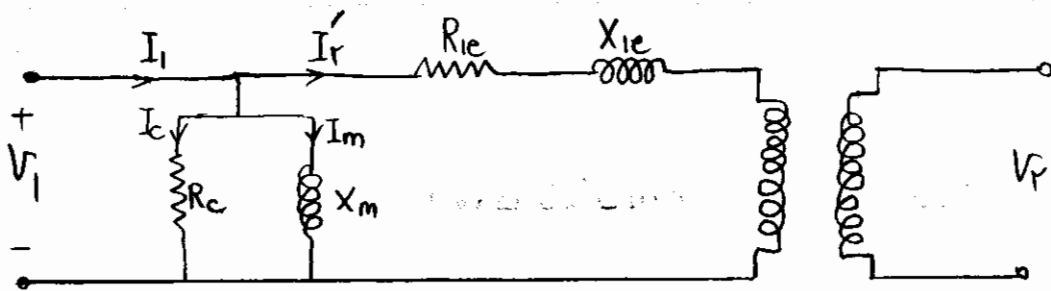
هدف ما این است که ترانس در یک بازه فرکانسی دارای $\frac{V_2}{V_1}$ ثابتی باشد:



همچنین انتظار داریم که:



۱۲- مقادیر نامی ترانسفورماتور:



$$I_c = \frac{V_1}{R_c} \rightarrow P_{core} = \frac{V_1^2}{R_c} = R_c I_c^2 \quad \text{تلفات هسته:}$$

$$P_{cu} = R_{le} I_r'^2 \quad \text{تلفات مس:}$$

یکی از مقادیر نامی ولتاژ است که با توجه به مقدار P_{core} اگر ولتاژ بیشتر از مقدار نامی شود تلفات هسته افزایش پیدا می کند. دیگر مقدار نامی جریان خواهد بود که اگر مقدار نامی خود تجاوز کند مقدار تلفات مس، P_{cu} افزایش می یابد.

مثال: توان نامی ترانسفورماتوری 315 kVA با نسبت تبدیل $\frac{20 \text{ kV}}{400 \text{ V}}$ می باشد. مقادیر

نامی را محاسبه کنید.

$$\rightarrow 20 \text{ kV} = \text{ولتاژ اسی اولیه}$$

$$400 \text{ V} = \text{ولتاژ اسی ثانویه}$$

$$S = \sqrt{3} V I \quad \text{توان ظاهری سه فاز}$$

$$\rightarrow I_1 = \frac{315 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 20 \text{ kV}} = 9,1 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{315 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 400 \text{ V}} = 455,2 \text{ A}$$

جریانهای اسی اولیه و ثانویه:

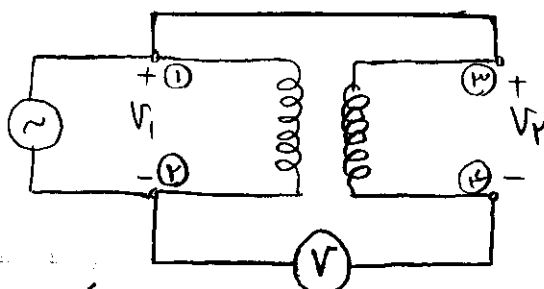
می توان فهمید که در HV سطح مقطع و به طور کل سیمهای آن دارای ظرافت بیشتری از سیم

LV است.

۱۳- آزمایشات ترانسفورماتور:

هدف: تخمین پارامترهای مدار معادل است.

۱۳-۱ آزمایش تعیین پلاریته.



V_1 و V_2 توسط منبع ولتاژ ایجاد شده اند. سرهای ۱ و ۳ را اتصال کوتاه می کنیم. پس

از انجام آزمایش اگر: $V = V_1 - V_2$ آن گاه ۱ و ۳ هم پلاریته هستند.

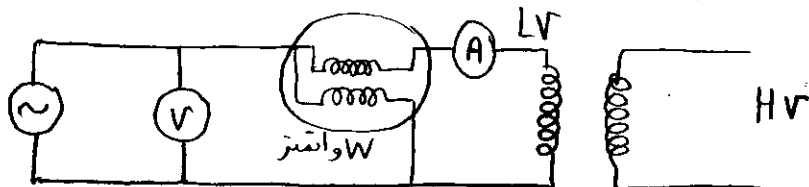
$V = V_1 + V_2$ آن گاه ۱ و ۴ هم پلاریته هستند.

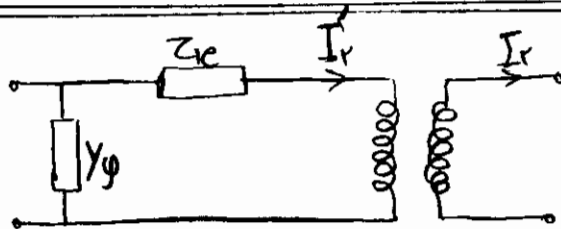
۱۳-۲ آزمایش مدار باز

هدف: تعیین R_c ، X_m ، تلفات هسته.

شرایط آزمایش: تحت ولتاژ اسی و فرکانس اسی

فرکانس باید اسی باشد چون خصوصیات مغناطیسی مدار را تغییری دهد.





ثانویه یعنی HV مدار باز است. در نتیجه $I_r = 0$

$$\rightarrow I_r' = 0$$



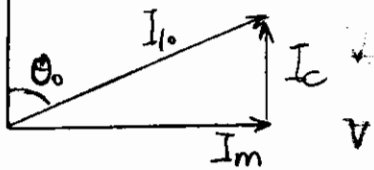
P_{core} ✓

I_{10} ✓

V_1 ✓

$$P_{core} = V_1 I_{10} \cos \theta_0 \rightarrow \cos \theta_0 \text{ پیرامونی آید}$$

$$V_1 \propto E_1$$



$$I_c = I_{10} \cos \theta_0$$

$$I_m = I_{10} \sin \theta_0$$

$$\begin{cases} R_c = \frac{E_1}{I_c} = \frac{V_1}{I_{10} \cos \theta_0} \\ X_m = \frac{E_1}{I_m} = \frac{V_1}{I_{10} \sin \theta_0} \end{cases}$$

$$P_{core} = \underbrace{K_h \cdot f \cdot B_{max}^{1.4}}_{\text{تلفات هستریزیس}} + \underbrace{K_e \cdot f^2 \cdot B_{max}^2}_{\text{تلفات فوکس}}$$

if $B_{max} = cte \rightarrow P_{core} \triangleq (PF) = a f + b f^2$ ①

باتوجه به رابطه ① اگر تلفات هسته در دو فرکانس داده شود می توان تلفات هسته را در

تمام فرکانسها بدست آورد

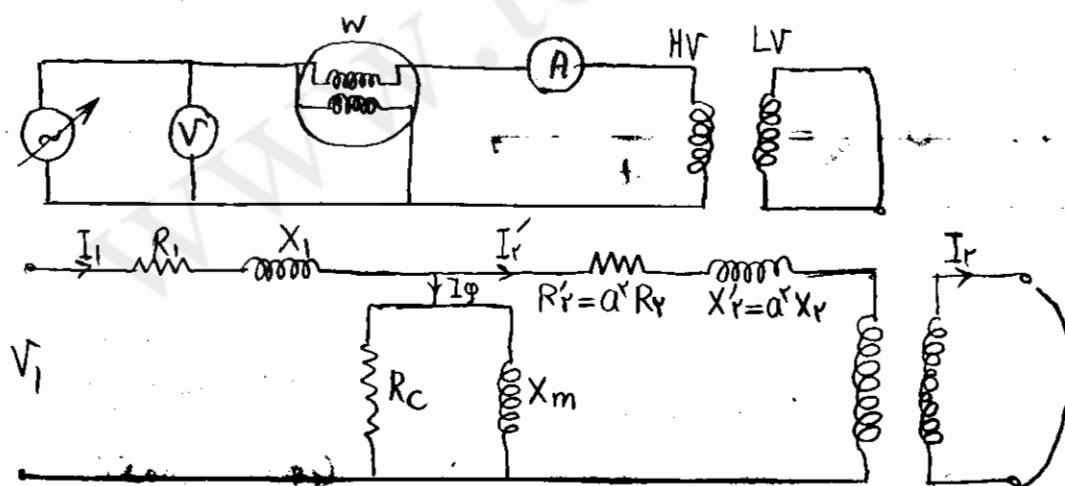
۳-۱۳ آزمایش اتصال کوتاه :

هدف : تخمین R_{ie} و X_{ie} تلفات مس.

شرایط آزمایش : جریان نامی و فرکانس نامی.

چون یکی از اهداف بدست آوردن تلفات مس است، لذا باید جریان اسمی باشد تا

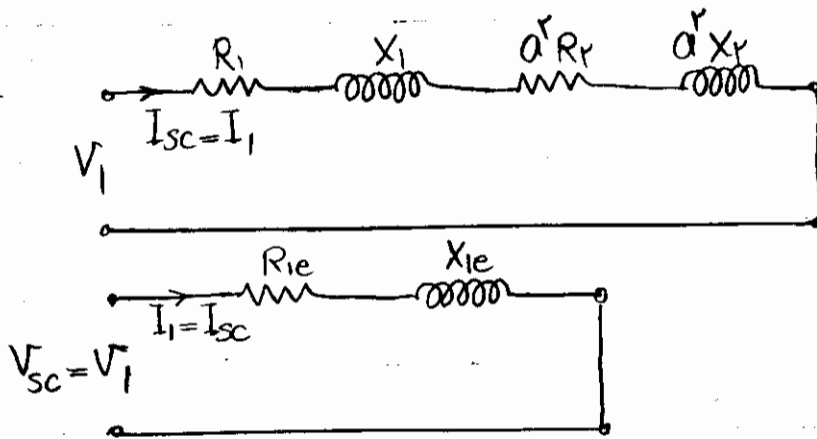
تلفات اسمی باشد. چون با افزایش فرکانس به علت اثر پوستی تلفات بالایی رود.



ولتاژ V_1 را تا حدی افزایش می دهیم که جریان عبوری I_1 برابر جریان اسمی ترانس باشد.

چون ثانویه اتصال کوتاه شده است با ولتاژ اندکی در اولیه، جریان اسمی از اولیه خواهد گذشت.

س : $I_0 \ll I_r'$ در شبکه :



$$Z_{ie} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} = \frac{V_{sc}}{I_{rat}} \quad \begin{array}{l} \text{افزودت برتر می خوانیم} \\ \text{از آمپر متری خوانیم} \end{array}$$

$$Z_{ie} = \sqrt{R_{ie}^2 + X_{ie}^2}$$

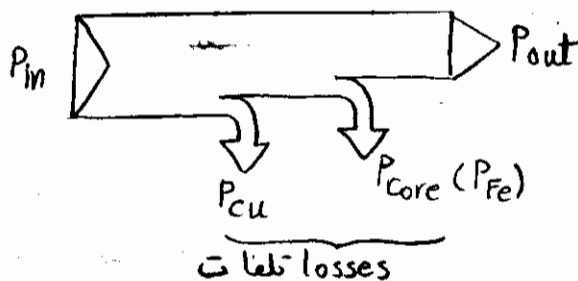
$$P_{cu} = R_{ie} \cdot (I_{rat})^2 \quad \begin{array}{l} \text{Rie معلومی شود} \\ \text{Xie معلوم} \end{array}$$

$$\cos \theta_{sc} = \frac{P_{cu}}{V_{sc} \cdot I_{rat}}, \quad \cos \theta_{sc} = \frac{R_{ie}}{Z_{ie}}$$

$$u_k \% = \frac{V_{sc}}{V_{rat}} = V_{sc} \% = \frac{V_{sc} / I_{rat}}{V_{rat} / I_{rat}} = \frac{Z_{ie}}{\frac{Z_{rat}}{\text{امپدانس مبنا}}} = Z_{ie} \% \quad \text{رابطه تنی}$$

۱۳- تلفات و راندمان (بازدهی)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

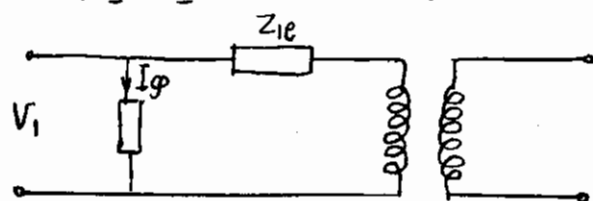


چون جیس هسته اغلب از آهن است تلفات هسته P_{core} را گاهی با P_{Fe} نشان می دهند

$$\rightarrow \eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + losses} \quad \text{تلفات ۱-۱۴}$$

تلفات هسته همانطور که در جلسات قبل گفته شد شامل موارد زیر بود :

تلفات فوکو $K_e f^2 B_m^2$ ، تلفات هیستریزس $K_h f B_m^{1.6}$



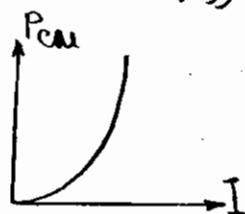
$$V_1 \approx E_1 = 4.44 N_1 \phi f = 4.44 N_1 B A f$$

چون ولتاژ و فرکانس ثابت هستند انتظاری رود که چگالی شار $\phi = BA$ نیز ثابت باشد.

در نتیجه تلفات هسته ثابت خواهد بود اگر ولتاژ و فرکانس ثابت باشند و به بار

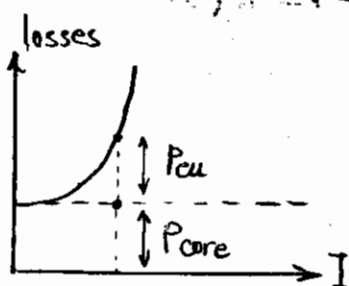
ارتباطی ندارد. $P_{core} = cte \Rightarrow$ ولتاژ و فرکانس ثابت

$$P_{cu} = R_{1e} I_1^2 = R_{2e} I_2^2$$



وکل تلفات

$$losses = P_{core} + P_{cu}$$



تلفات اضافی: تلفاتی است که مقدار بسیار کمی دارد و در اندازه گیریهای دقیق قابل تشخیص

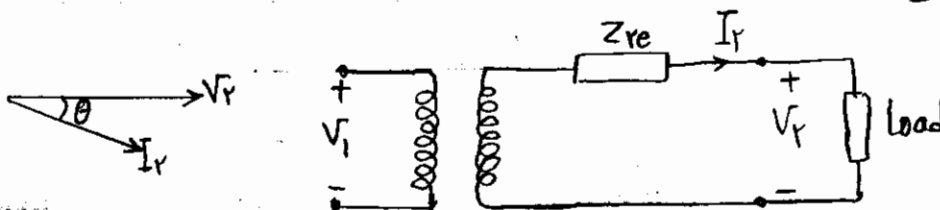
است. این تلفات به علت نفوذ شار در بدنه ترانس بوجود می آید. این تلفات با اندازه گیری

الکتریکی مشخص نمی شود بلکه با اندازه گیری هلی حرارتی قابل تشخیص خواهد بود.

تلفات عایقی: تلفاتی است که به علت عبور جریان از عایقها بوجود می آید. این تلفات

در سیستم های فرکانس بالا حائز اهمیت است. چون ارتباط به فرکانس دارد.

۲-۱۴ بازدهی بهینه:



$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \text{losses}} = \frac{V_r I_r \cos \theta}{V_r I_r \cos \theta + P_{core} + R_{re} I_r^2}$$

در دیدگاه کاربردی انتظار داریم که V_r ثابت باشد لذا با فرض ثابت بودن V_r مسئله را

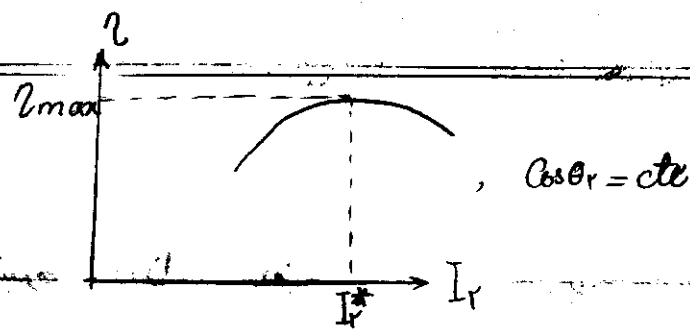
دنبال می کنیم: $V_r = cte$

$$\rightarrow \eta = f(I_r, \cos \theta)$$

فرض کنیم θ ثابت باشد:

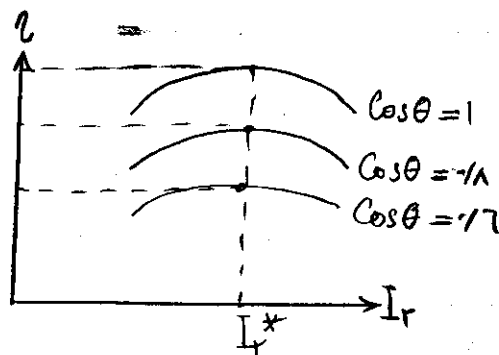
$$\frac{\partial \eta}{\partial I_r} = 0 \rightarrow R_{re} I_r^2 = P_{cu} = P_{core}$$

$$\rightarrow I_r^* = \sqrt{\frac{P_{core}}{R_{re}}}$$

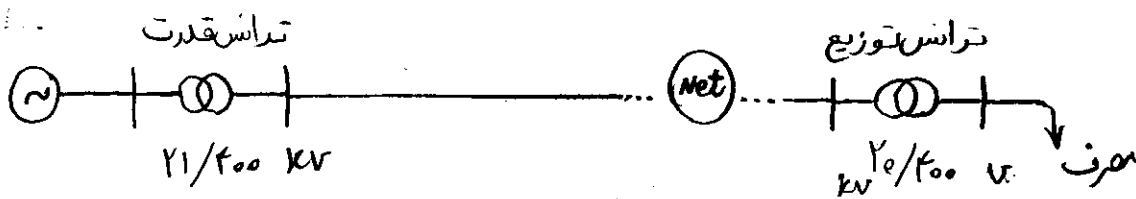


حال این بار جریان را ثابت فرض می‌کنیم:

$$\frac{\partial \eta}{\partial \theta} = 0 \rightarrow \cos \theta = 1$$



۳-۱۴ مقایسه بازده بهینه در ترانس‌های قدرت و توزیع



ترانس قدرت معمولاً در نیروگاه‌ها و یا در پست انتقال قرار دارد.

از دیدگاه کاربردی انتظار داریم راندمان ترانس قدرت در جریان اسی ماکزیمم باشد.

در نتیجه تلفات مس بسیار مهم خواهد بود.

در ترانس توزیع جریان خروجی همواره در تغییر است. لذا طوری ساخته می‌شوند که در

۵۰٪ جریان اسی راندمان ماکزیمم باشد. این ترانس‌ها چون همیشه در مدار وصل

هستند در نتیجه تلفات هسته حائز اهمیت خواهد بود.

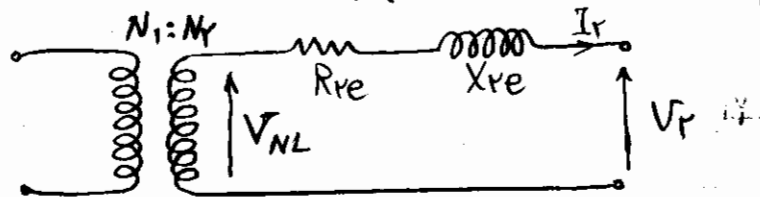
چون P_{out} در هر لحظه تغییری کند لذا در تعریف راندمان از رابطه زیر استفاده می کنیم:

$$\eta = \frac{\text{انرژی خروجی در عرض ۲۴ ساعت}}{\text{تلفات در عرض ۲۴ ساعت} + \text{KWh خروجی در عرض ۲۴ ساعت}} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} P_{out} dt}{\int_{t_1}^{t_2} P_{out} dt + P_{core}(t_2 - t_1) + \int_{t_1}^{t_2} P_{cu} dt}$$

۱۵- تنظیم ولتاژ / انتظام ولتاژ Voltage Regulation

در یک منبع ولتاژ ساده (باتری) با گرفتن جریان از خروجی آن سطح ولتاژ افت پیدا می کند.

حال باید ببینیم این وضعیت در ترانس چگونه است:



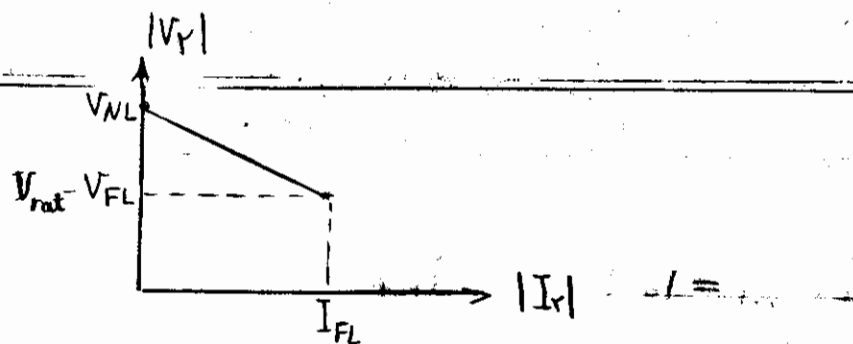
$$R_{re} = R_r + \left(\frac{N_r}{N_1}\right)^2 R_1, \quad X_{re} = X_r + \left(\frac{N_r}{N_1}\right)^2 X_1$$

موقعی که I_r صفر است اگر خروجی ولتتری قرار دهیم ولتاژ E_r را که با V_{NL} نشا

$$I_r = 0 \rightarrow V_r = V_{NL} \quad \text{No-Load} \quad \text{می دهند اندازه می گیریم.}$$

$$I_r \neq 0 \rightarrow V_r \neq V_{NL}$$

$$, \quad V_r = V_{FL} \quad \text{Full-Load}$$



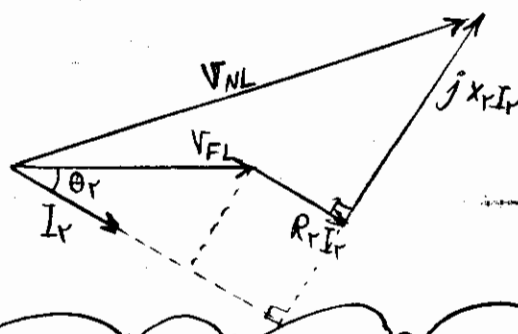
در نتیجه V_{NL} را بیشتری گیریم تا با کشیده شدن جریان و افت ولتاژ به ولتاژ V_{FL}

که مطلوب ما است بررسییم :

$$VR\% = \frac{|V_{rNL}| - |V_{rFL}|}{|V_{rFL}|} \times 100$$

$$V_{NL} = (R_{re} + j X_{re}) I_r + V_{FL}$$

لذا به عنوان معلومات مسئله، مبنای کار را V_{FL} در نظری گیریم و دیاگرام فازوری را رسم می‌کنیم



رابطه داتی کارسناسی ارشد

$$|V_{NL}| = \sqrt{(V_{FL} \cos \theta_r + R_{re} I_r)^2 + (X_{re} I_r \pm V_{FL} \sin \theta_r)^2}$$

سلفاز
+ lag
- lead
پیش فاز

۱۶- جریان هجومی (inrush current) :

هنگامی که ترانس در حالت دائم کاری کند مقدار جریان مغناطیس کننده برابر است با :

$$I_m = 25.5\% I_{rat.}$$

$$25.1\% I_{rat.}$$

اما بعضی وقت‌ها به محض وصل کردن کلید مدار قطعی شود. این به دلیل جریان هجری

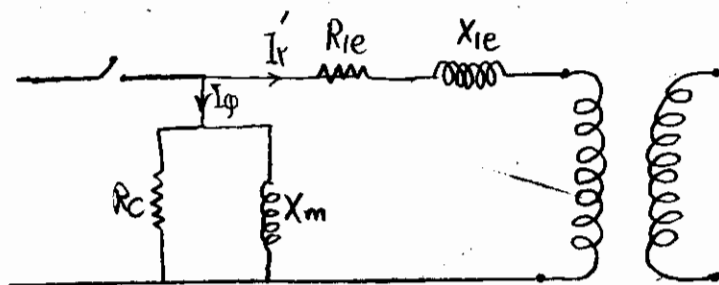
است که مقدار آن برابر است با: $I_{inrush} = 10 \text{ تا } 20 \times I_{rat}$

اینکه سیستم حفاظتی شبکه، مدار را قطع می‌کند به این دلیل است که جریان هجری را با

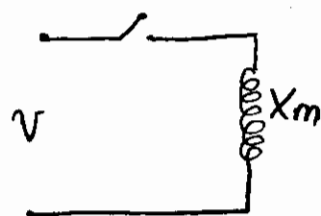
جریان اتصال کوتاه اشتباه می‌گیرد.

همچنین در هنگام بروز جریان هجری نیروی شدید مکانیکی به سیم‌پیچ‌ها وارد می‌شود.

۱-۱۶ تحلیل



اگر از تمام مقادیر متناظر فنظر کنیم و همچنین فرض کنیم که: $I_r \ll I_\phi$



آنگاه:

$$v = \sqrt{2} V \sin \omega t, \quad e = N \frac{d\phi}{dt}, \quad e = v$$

$$\phi = \frac{1}{N} \int_{t_0}^t v \cdot dt$$

$$\phi(t) = -\frac{\sqrt{2} V}{N \omega} \cos \omega t + \frac{\sqrt{2} V}{N \omega} \cos \omega t.$$

پس جریان هجوى به دو متغير بستگى داشت : ۱- لخط وصل كليد ۲- اثر پسماند

كه حد دو متغير فوق كاملاً تصادفى هستند.

۱۷- سيستم پريونيت (يكايى/مبنائى واحد / Per Unit)

۱۷-۱ مقدمه :

تعريف :
$$\text{مقدار پريونيتى هر كميّت} = \frac{\text{مقدار واقعى آن كميّت}}{\text{مقدار مبنائى كميّت}}$$

مثلاً در نظرى گيريم كه مقدار مبنائى مقاومت برابر 100Ω باشد ($R_{base} = 100 \Omega$) در اين صورت

مقاومت پريونيتى يك مقاومت 120Ω برابر 1.2 است يعنى :

$$R_1 = 120 \Omega = \frac{120}{100} \text{ pu} = 1.2 \text{ pu}$$

در ترانس ها معمولاً جريان مغناطيس كننده را بر مبنائى جريان نامى آن ترانس پريونيت گيژند،

كه در اين صورت در تمام ترانس ها به مقدار 0.4 pu تا 0.4 pu مى رسيم.

$$\text{جريان تحريك ترانس} = \frac{\text{جريان نامى هيل ترانس}}{\text{جريان نامى هيل ترانس}} = 0.4 \text{ pu} \text{ تا } 0.4 \text{ pu}$$

$$\text{مقدار درصدى كميّت} = \frac{\text{مقدار پريونيتى هر كميّت}}{100}$$

كميّت هاى مبنائى در برق عموماً شامل :

جريان I_{base} ، ولتاژ V_{base} ، توان S_{base} و امپدانس Z_{base} هستند.

$$\rightarrow S_b = V_b I_b, \quad V_b = Z_b I_b$$

بنابراین در آنالیز مدارها فقط لازم است دو کمیت مبنا داشته باشیم،

ارتباط مقادیر مبنای اولیه و ثانویه:

$$\frac{V_{b1}}{V_{b2}} = a, \quad \frac{I_{b1}}{I_{b2}} = \frac{1}{a}$$

باتوجه به این موضوع امپدانس پیرونیته شده را محاسبه می‌کنیم:

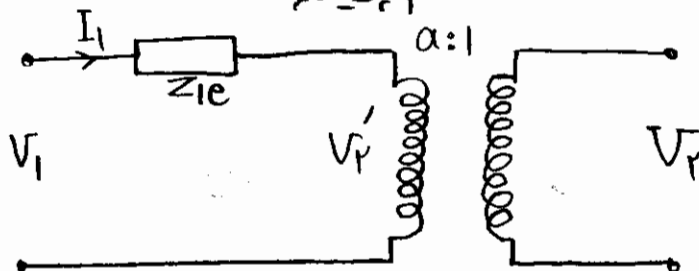
$$Z_{b1} = \frac{V_{b1}}{I_{b1}} = \text{امپدانس مبنا در اولیه}, \quad Z_{b2} = \frac{V_{b2}}{I_{b2}} = \text{امپدانس مبنا در ثانویه}$$

$$\rightarrow Z_{1e} \text{ pu} = \frac{Z_{1e} \Omega}{Z_{b1} \Omega} = \frac{Z_{1e}}{\frac{V_{b1}}{I_{b1}}}$$

$$Z_{2e} \text{ pu} = \frac{Z_{2e} \Omega}{Z_{b2} \Omega} = \frac{Z_{2e}}{\frac{V_{b2}}{I_{b2}}} = \frac{Z_{1e} / a^2}{(\frac{V_{b1}}{a}) / \frac{1}{a} I_{b1}} = \frac{Z_{1e}}{Z_{b1}}$$

$$\rightarrow \boxed{Z_{1e} \text{ pu} = Z_{2e} \text{ pu}}$$

۱۷-۲ مدار معادل ترانسفورماتور در سیستم پیرونیته:



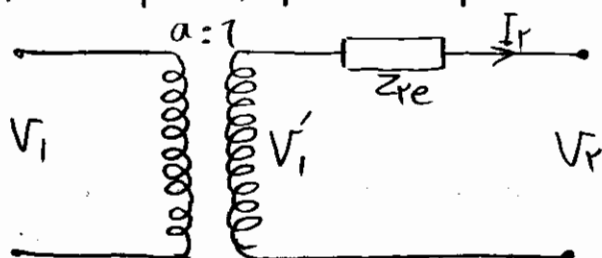
تمام روابط فازوری نوشته شده است:

$$V_1 = Z_{1e} I_1 + V_1'$$

$$\div V_{b1} \rightarrow \frac{V_1}{V_{b1}} = \frac{Z_{1e} I_1}{V_{b1}} + \frac{V_1'}{V_{b1}}$$

$$\rightarrow V_1 \text{ pu} = \frac{I_1 Z_{ie}}{I_{b1} Z_{b1}} + \frac{a V_r}{a V_{br}}$$

$$\rightarrow V_1 \text{ pu} = I_1 \text{ pu} \cdot Z_{ie} \text{ pu} + V_r \text{ pu} \quad (1) \quad \text{پریونیت کردن از دیدگاه اولیه}$$



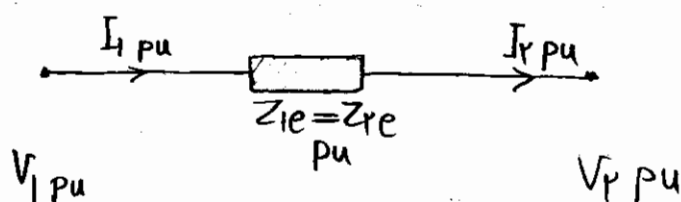
$$V_1' = Z_{re} I_r + V_r$$

$$\div V_{br} \rightarrow \frac{V_1'}{V_{br}} = \frac{Z_{re} I_r}{V_{br}} + \frac{V_r}{V_{br}}$$

$$\rightarrow \frac{V_1/a}{V_{b1}/a} = \frac{Z_{re} I_r}{Z_{br} I_{br}} + V_r \text{ pu}$$

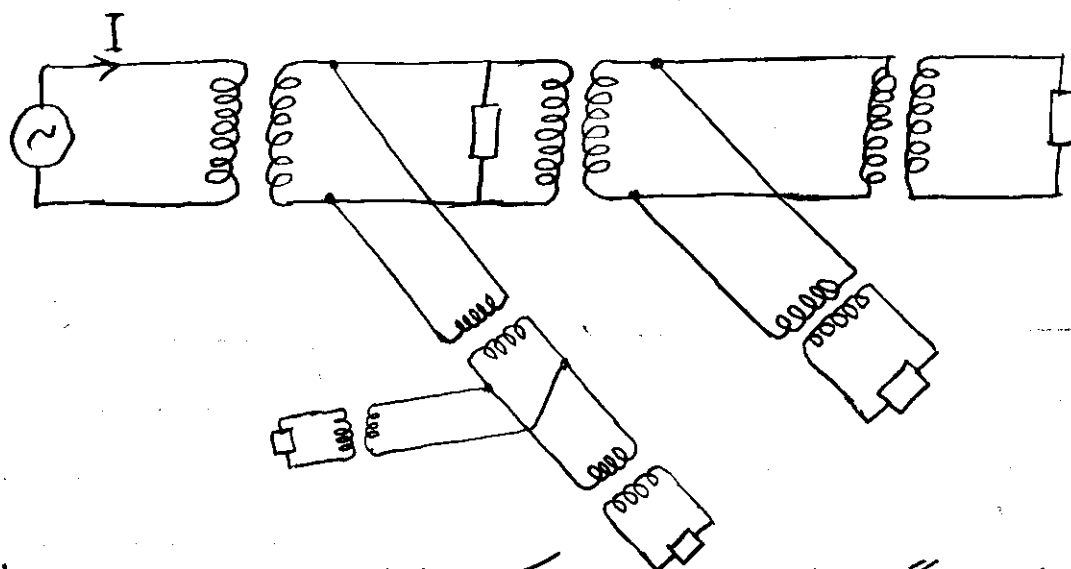
$$\rightarrow V_1 \text{ pu} = Z_{re} \text{ pu} \cdot I_r \text{ pu} + V_r \text{ pu} \quad (2) \quad \text{پریونیت کردن از دیدگاه ثانویه}$$

$$(1), (2), Z_{ie} \text{ pu} = Z_{re} \text{ pu} \rightarrow I_1 \text{ pu} = I_r \text{ pu}$$



می بینیم که مدار پریونیت شده ترانس بسیار ساده است. حال اهمیت این موضوع را

بررسی می کنیم. شبکه ترانس زیر را در نظر می گیریم:



در مدار فوق اگر بخواهیم I را محاسبه کنیم روابط زیاد و پیچیده‌ای بوجود می‌آیند
 اما با پریونیت کردن مدار بسیار ساده شده و محاسبات راحت تر انجام می‌شود. این
 به این دلیل است که نسبت تبدیل حذف می‌شود. لذا از مزایای پریونیت کردن
حذف نسبت تبدیل است در حالتیکه دقت حفظی شود.

۳-۱۷ تلفات مس نای پریونیت شده :

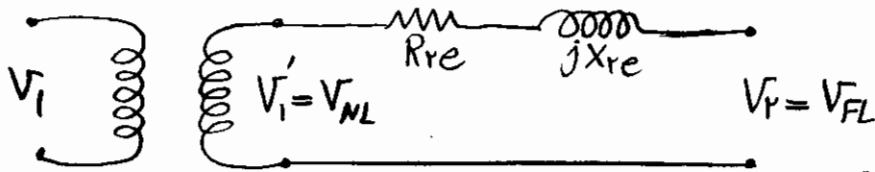
$$P_{cu}^{FL} = R_{ie} (I_{1FL})^2$$

با فرض: $I_b = I_{FL}$ و $S_b = S_{rat}$

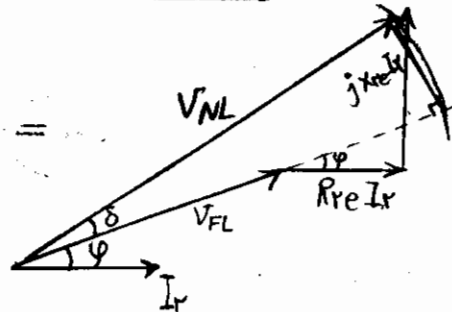
$$\div S_b \rightarrow \frac{P_{cu}^{FL}}{S_b} = \frac{R_{ie} (I_{1FL})^2}{S_b} = \frac{R_{ie} I_{1FL}^2}{V_{b1} \cdot I_{b1}} = \frac{R_{ie}}{\frac{V_{b1}}{I_{b1}}} = \frac{R_{ie}}{Z_{b1}} = R_{ie} \text{ pu}$$

تلفات مس نای پریونیت شده $\left(\frac{P_{cu}^{FL}}{S_b} \right) = R_{ie} \text{ pu}$ نکته تستی برای کارشناسی ارشد

۱۷-۴ تنظیم ولتاژ / انتظام ولتاژ پریونیتی



$$V_{NL} = V_{FL} + R_{re} I_r + j X_{re} I_r$$



$$|V_{NL}| - |V_{FL}| \approx R_r I_r \cos \phi + X I \sin \phi$$

$$\div |V_{FL}| \rightarrow VR_{pu} = \frac{R_r I_{FL}}{V_{FL}} \cdot \frac{I}{I_{FL}} \cos \phi + \frac{X I_{FL}}{V_{FL}} \cdot \frac{I}{I_{FL}} \sin \phi$$

$$\rightarrow VR_{pu} = R_{pu} \cdot I_{pu} \cos \phi + X_{pu} \cdot I_{pu} \sin \phi$$

نکته انگوری: $\phi < 0$ پیشفاز , $\phi > 0$ پسفاز

۱۷-۵ امپدانس اتصال کوتاه پریونیتی

$$V_{sc} \% = \frac{V_{sc}}{V_{rat}} = \frac{V_{sc}/I_{rat}}{V_{rat}/I_{rat}} = \frac{Z_{sc}}{Z_{base}} = Z_{sc} \%$$

$$\rightarrow V_{sc}^{pu} = Z_{sc}^{pu}$$

۱۷-۶ تغییر مبنا

تغییر مقادیر پریونیتی قدیمی به مقادیر پریونیتی جدید

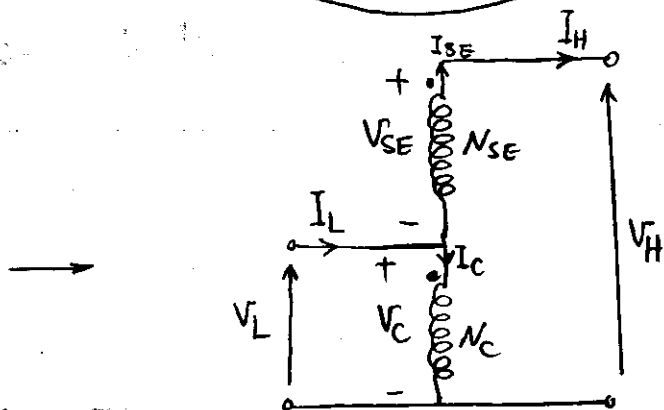
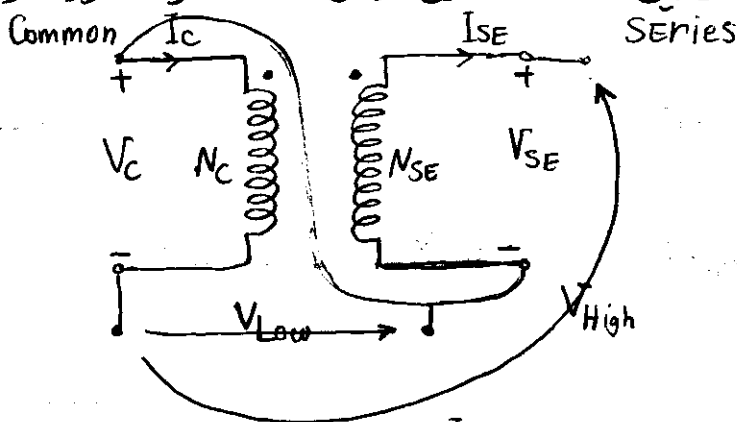
$$Z_{pu0}^{\text{old}} = \frac{Z_{\Omega}}{\frac{(V_{bo})^2}{S_{bo}}} \rightarrow Z_{\Omega} = Z_{pu0} \cdot \frac{(V_{bo})^2}{S_{bo}}$$

$$Z_{pun} = \frac{Z_{\Omega}}{\frac{(V_{bn})^2}{S_{bn}}} \rightarrow Z_{\Omega} = Z_{pun} \cdot \frac{(V_{bn})^2}{S_{bn}}$$

$$\rightarrow Z_{pun} = Z_{pu0} \cdot \frac{S_{bn}}{S_{bo}} \cdot \left(\frac{V_{bo}}{V_{bn}}\right)^2$$

۱۸- اتوترانسفورماتور

۱۸-۱ تعریف: وسیله‌ای فیزیکی است که اصول کار آن همانند ترانسفورماتور است.



بادقت در شکل می بینیم که دستگاه از یک سیم پیچ سری و یک سیم پیچ مشترک تشکیل شده

Common

Series

است.

$$\rightarrow \frac{V_C}{V_{SE}} = \frac{N_C}{N_{SE}}, \quad N_C I_C = N_{SE} I_{SE}$$

$$\begin{cases} V_L = V_C \\ V_H = V_C + V_{SE} \end{cases}, \quad \begin{cases} I_L = I_C + I_{SE} \\ I_H = I_{SE} \end{cases}$$

$$\rightarrow \frac{V_L}{V_H} = \frac{V_C}{V_C + V_{SE}} = \frac{V_C/V_{SE}}{V_C/V_{SE} + 1} = \frac{\frac{N_C}{N_{SE}}}{1 + \frac{N_C}{N_{SE}}}$$

$$\rightarrow \frac{V_L}{V_H} = \frac{N_C}{N_C + N_{SE}} = K$$

$$\rightarrow \frac{I_L}{I_H} = \frac{I_C + I_{SE}}{I_{SE}} = \frac{N_{SE} I_C + \overbrace{N_{SE} I_{SE}}^{N_C I_C}}{N_{SE} I_{SE}} = \frac{N_{SE} + N_C}{N_C}$$

$$\rightarrow \frac{I_L}{I_H} = \frac{N_{SE} + N_C}{N_C} = \frac{1}{K}$$

۱۸-۲ مزیت اتوترانسفورماتور

۱۸-۲-۱ توان ظاهری بالاتر

$$S_{in} = V_L I_L = S_{out}, \quad S_{auto} = V_H \cdot I_H$$

برای یک ترانس تک فاز معمولی (توسعه یه یه wired) رابط زیر را داریم:

$$S_{TW} = V_C I_C = V_{SE} \cdot I_{SE}$$

$$\rightarrow S_{TW} = V_C I_C = V_L (I_L - I_H) = V_L I_L - V_L I_H$$

$$= V_L I_L - V_L I_L \frac{N_C}{N_C + N_{SE}} = V_L I_L \left[1 - \frac{N_C}{N_C + N_{SE}} \right]$$

$$= V_L I_L \frac{N_{SE}}{N_{SE} + N_C}$$

$$\rightarrow S_{rw} = S_{auto} \frac{N_{SE}}{N_{SE} + N_C} \rightarrow \frac{S_{rw}}{S_{auto}} = 1 - K$$

با توجه به اینکه $K < 1$ است لذا همواره $S_{auto} > S_{rw}$

$$V_C I_C = V_{SE} I_{SE} \quad \text{در ترانس معمولی:}$$

$$V_L I_L = V_L (I_{SE} + I_C) = V_L I_{SE} + V_L I_C = V_C I_{SE} + V_C I_C \quad \text{در اتوترانس:}$$

لینکه در اتوترانس قدرت بیشتری انتقال می یابد این است که در اتوترانس اتصال الکتریکی

$$\rightarrow V_L I_L = \underbrace{V_C I_{SE}}_{\text{قدرت منتقل شده از طریق مغناطیسی}} + \underbrace{V_C I_C}_{\text{قدرت منتقل شده از طریق الکتریکی}}$$

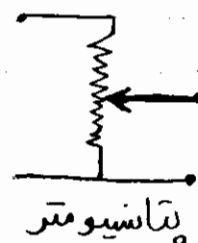
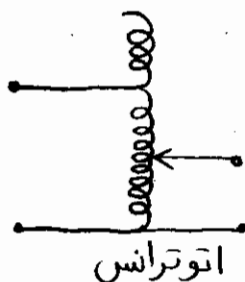
$$\text{if } N_{SE} \rightarrow 0 \rightarrow K \rightarrow 1$$

$$\therefore \frac{S_{rw}}{1-K} = S_{auto}$$

پس قدرت اتوترانس وقتی ماکزیمم است که N_{SE} به سمت صفر میل کند. البته N_{SE} را صفر

نمی گیریم. چون در این صورت V_L V_{High} برابر می شوند و مفهوم ترانس از بین می رود.

۱۸-۲-۲ مزیت افزایش ولتاژ متغیر.



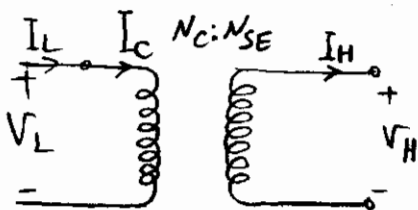
افکام به جلی اتوترانس از پتانسیومتر استفاده نمی‌کنیم این است که:

- پتانسیومتر دارای تلفات است.

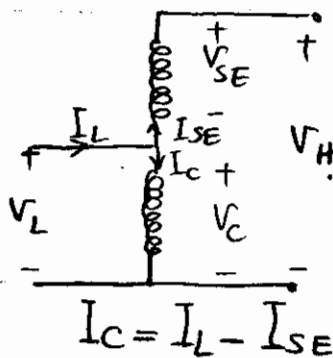
- در اتوترانس می‌توان ولتاژ بیشتر از تغذیه را ایجاد کرد اما در پتانسیومتر خیر.

۳-۲-۱۸ مزیت کاهش هزینه (وزن و اندازه).

هدف: انتقال توان $V_L I_L$ است. آلترناتیوها $2W_{auto}$



$$I_C = I_L$$



با توجه به روابط بالا چون I_C ترانس کمتر است می‌توان سطح مقطع هادی‌های مس ترانس را

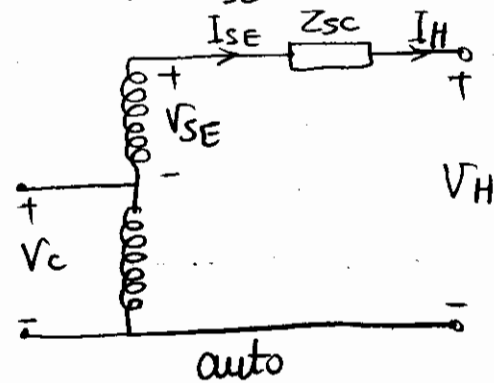
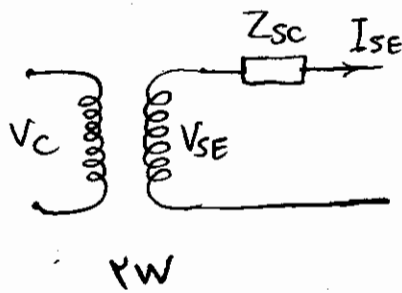
کوچک کرد. در نتیجه پنجره اتوترانس کوچک خواهد بود، پس وزن و هزینه اتوترانس کمتر

بوده و هزینه کمتری را خواهد داشت.

$$N_{SE} \rightarrow 0, k \rightarrow 1, \frac{I_L}{I_H} = \frac{1}{k} \rightarrow 1, I_C = I_L - I_H \rightarrow 0$$

در نتیجه هرچه V_L به V_H نزدیک‌تر باشد استفاده از اتوترانس اقتصادی خواهد بود.

۱۸-۲-۴ تلفات و راندمان



از لحاظ تلفات اسی هر دو با هم برابر هستند چون از هر دو مقاومت جریان سری می گذرد.

اما از لحاظ پریونیتی متفاوت خواهند بود :

$$\frac{\text{تلفات مس پریونیتی اتوترانس}}{\text{تلفات مس پریونیتی دو سیم پیچ}} = \frac{\frac{\text{تلفات در بار کامل}}{S_{\text{auto}}}}{\frac{\text{تلفات در بار کامل}}{S_{\text{rw}}}} = \frac{S_{\text{rw}}}{S_{\text{auto}}} = 1 - K$$

$$\eta_{\text{rw}} = \frac{P_{\text{in}} - \text{losses}}{P_{\text{in}}} = 1 - \text{losses (pu)}$$

if $P_{\text{base}} = P_{\text{in}} = P_{\text{rat}}$ $\uparrow$

در مورد اتوترانس هم به همین گونه است.

۱۸-۲-۵ تنظیم ولتاژ بهتر $2W \rightarrow \text{auto}$

$$\frac{Z_{\text{auto}}^{\text{pu}}}{Z_{\text{rw}}^{\text{pu}}} = \frac{\frac{Z}{V_H/I_H}}{\frac{Z}{V_{SE}/I_{SE}}} = \frac{V_{SE}}{V_H} = \frac{V_H - V_L}{V_H} = 1 - K$$

$$\rightarrow \frac{Z_{\text{auto}}^{\text{pu}}}{Z_{\text{rw}}^{\text{pu}}} = 1 - K$$

$$\left. \begin{aligned} Z_{auto}^{pu} \cdot I_H &\propto \text{افت ولتاژ} \propto \text{تنظیم ولتاژ اتوترانس} \\ Z_{YW}^{pu} \cdot I_{SE} &\propto \text{افت ولتاژ} \propto \text{تنظیم ولتاژ ترانس تکفاز ۲۳} \end{aligned} \right\} \rightarrow$$

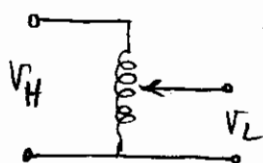
$$\rightarrow \frac{V_{R_{auto}}}{V_{R_{YW}}} = \frac{Z_{auto}^{pu} \cdot I_H}{Z_{YW}^{pu} \cdot I_{SE}} = 1 - K$$

وضعیتی که سیم پیچها در اتوترانس دارند باعث می شود که در موقع ساخت، راکتانس ناشی

اتوترانس کمتر شود و راکتانس ناشی خود را در Z_{sc} نشان می دهد و به همین دلیل تنظیم

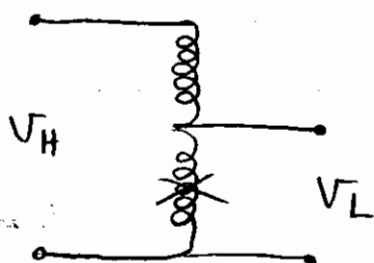
ولتاژ بهتری خواهد داشت.

۱۸-۳ معایب اتوترانس



اولین عیب عبور اغتشاشات است که به علت وجود اتصال الکتریکی در اتوترانس است.

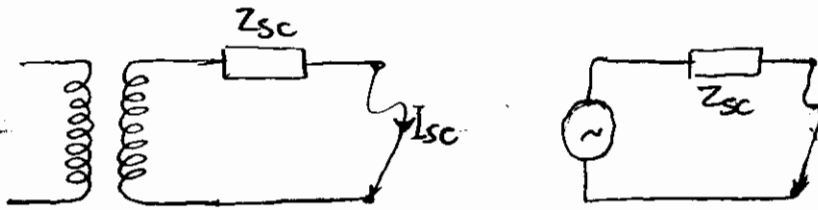
دومین عیب وقتی است که مدار اتوترانس قطع شود.



هنگامی که سیم پیچ مشترک قطع شود تمام V_H کاملاً در V_L ظاهر می شود و اگر نسبت تبدیل

بزرگ باشد باعث صدمه دیدن قسمتهایی که در طرف V_L قرار دارند می شود.

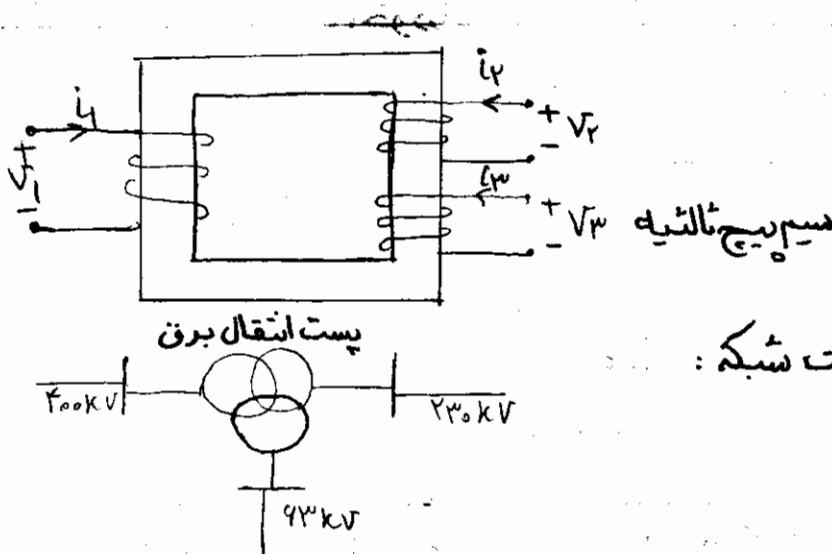
عیب سوم اتصال کوتاه است.



در این حالت جریان اتصال کوتاه بیشتری خواهد گذشت چون راکتانس کمتری دارد.

۴-۱۸ ترانس‌های (تلفاز) سه سیم پیچه

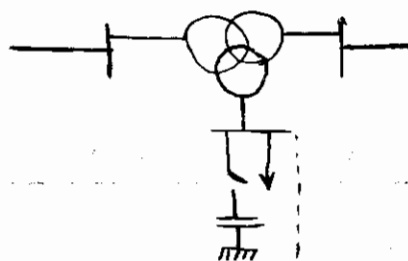
کاربردها:



- اتصال سه قسمت شبکه:

- تغذیه داخلی پستها: با توجه به اینکه پستها خودشان مصرف انرژی دارند، لذا با

استفاده از سیم پیچ ثالثیه و با سطح ولتاژ کم (حدود ۲۰ kV) خود پست نیز تغذیه می‌شود.

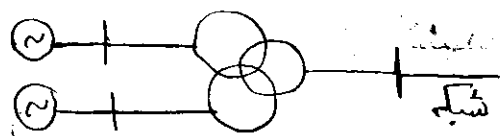


- تغذیه بار راکتیو:

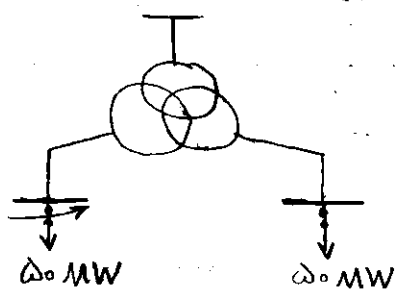
در نیروگاه توان الکتریکی تولید می‌شوند و مصرف کننده نیاز به توان الکتریکی دارد.

اما به اجبار باید توان را کمترانیز دریافت کند. هنگامی که توان را کمتر در شبکه کم می شود با استفاده از سیم پیچ ناشی و یک خازن می توان این توان را تولید کرد.

— اتصال دو ژنراتور به شبکه :



— افزایش قابلیت اطمینان :

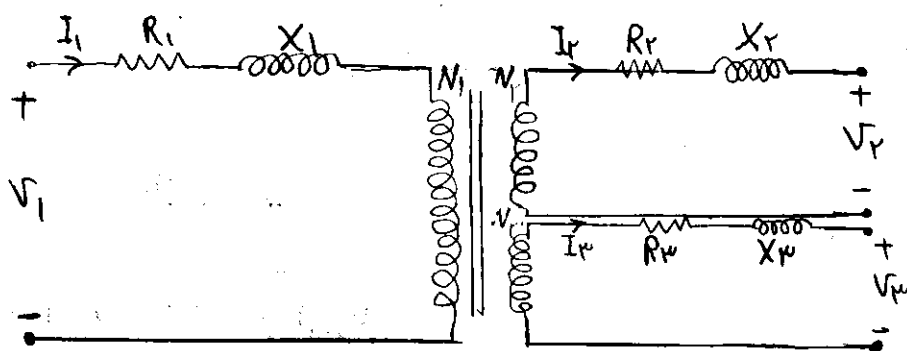


برای تغذیه یک بار 100 MW می توان آن را از دو سیم پیچ که هر کدام 50 MW دارد تغذیه

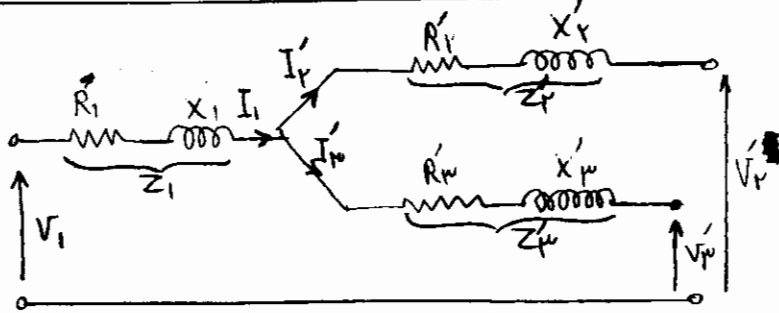
کرد. در این صورت اگر احیاناً اتصال کوتاهی در یکی از سیم پیچ ها رخ داده و کلید مدار را قطع

کند فقط 50 MW از مدار خارج می شود ولی در تداش های دو سیم پیچ تمام 100 MW

از مدار خارج می شود.



مدار معادل :

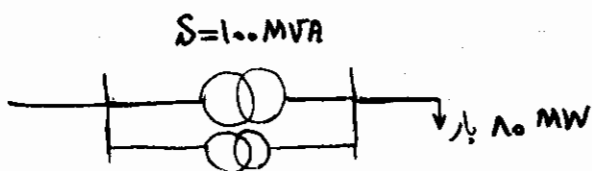


از سمت اولیه باید جریان I_1 ای کشیده شود که mmf تولید شده از آن بتواند mmf ثانویه و تالیث را خنثی کند. KCL مربوط به گره بالا بیا نگره سین امر است.

$$R'_2 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_2, \quad R'_3 = \left(\frac{N_1}{N_3}\right)^2 R_3$$

سوال: چگونه می توان با انجام سه آزمایش اتصال کوتاه مقدار Z_1 و Z_2 و Z_3 را بیس کرد؟

۱۹- موازی کردن ترانسفورماتورها



چرا موازی می کنیم؟

— افزایش بار: فرض کنیم باری به اندازه ۸۰ MW داریم که با ترانسی به قدرت ۱۰۰ MVA

تغذیه می شود حال اگر بار افزایش یابد به ناچار برای تغذیه آن باید ترانس دیگری با

ترانس فوق موازی کنیم.

— افزایش قابلیت اطمینان: اگر اشکالی در یکی از ترانسها بوجود آید با قطع کردن

آن فقط قسمتی از شبکه را باید خاموش کنیم. اما اگر یک ترانس بود باید کل شبکه را خاموش

می کردیم.

تغییرات و نگهداری: دستگاهها و تجهیزات گران قیمت طبق برنامه های خاصی تعمیر

می شوند و هنگام تعمیر باید قطع شوند لذا از روش موازی کردن ترانس ها استفاده می کنیم

تا هنگام قطع تمام شبکه قطع نشود.

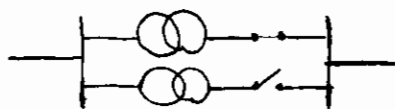
نصب: اگر ترانس های با قدرت بالا را انتخاب نکنیم و از ترانس های کم قدرت استفاده کرده

و آنها را موازی کنیم حمل و نقل و نصب این گونه ترانس که حجم کمتری دارند راحت تر خواهد بود.

راندمان (با تقسیم مناسب بار)

۱-۱۹ شرط های موازی کردن

شرط های ضروری:

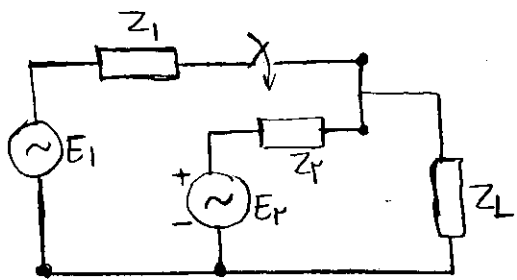


یکسان $\frac{V_1}{V_2}$

$\frac{V_1}{V_2}$ هر دو ترانس باید برابر باشد تا V_2 برای هر دو یکسان بوده و شکلی از جهت

وصل کردن ثانویه ها به هم بوجود نیاید.

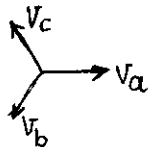
— پلاریته صحیح



از نظر dc اگر پلاریته دو باتری موازی برعکس باشد حالت سری بوجود می آید و جریانی تلف خواهد شد. در حالت ac باید آزمایش

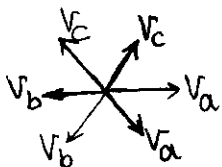
پلاریته را انجام بدهیم تا ببینیم در یک آلترناتر هنگامی که E_1 در ماکزیمم خود قرار دارد آیا

E_2 هم همین وضعیت را دارد. (اختلاف فاز E_1 و E_2)

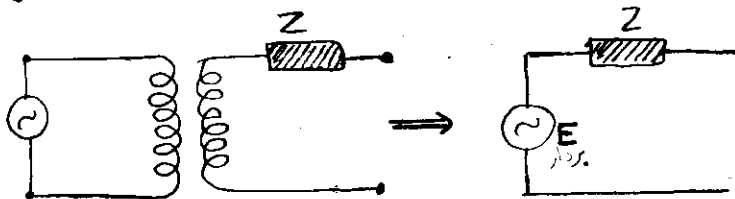


باید ترتیب فازها رعایت شود.

در ترانس های سه فاز



ترانس های همگروه مولتی شوند.

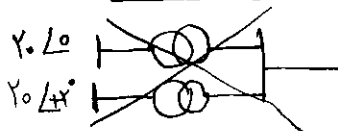


شرط های ایده آل :

— یکسان بودن emf ها (دانه و فاز)

در دو ترانس موازی اگر $\frac{V_1}{V_2}$ یکسان و پلاریته ها صحیح و ژنراتور تغذیه اولیه هر دو یکی

جزو شرایط اضروری



باشند آن گاه emf ها در هر دو یکسان است.

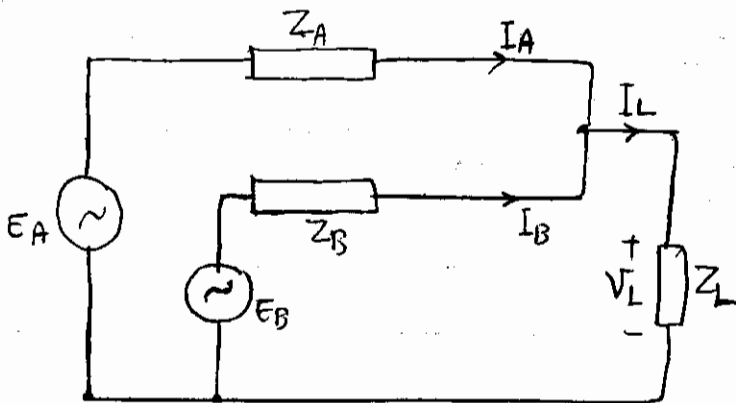
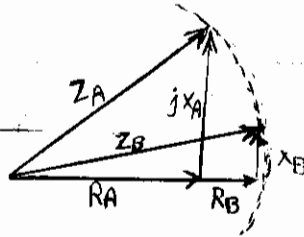
— Z^{pu} یکسان داشته باشند. $Z = R + jX$

— برای جبری مقابل : $\frac{X_A}{R_A} = \frac{X_B}{R_B}$

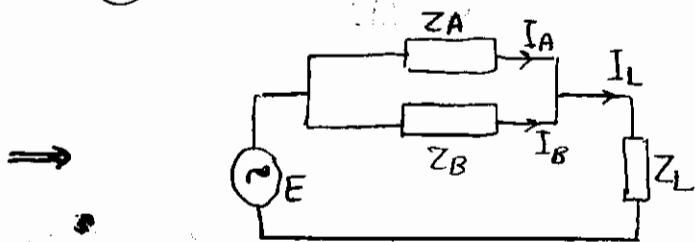
۱۹-۲ حالتی که در آن: $E_A = E_B$, $Z_A^{pu} = Z_B^{pu}$, $\frac{X_B}{R_B} \neq \frac{X_A}{R_A}$

$$Z_A = R_A + jX_A = |Z_A| \angle \tan^{-1} \frac{X_A}{R_A}$$

$$Z_B = R_B + jX_B = |Z_B| \angle \tan^{-1} \frac{X_B}{R_B}$$



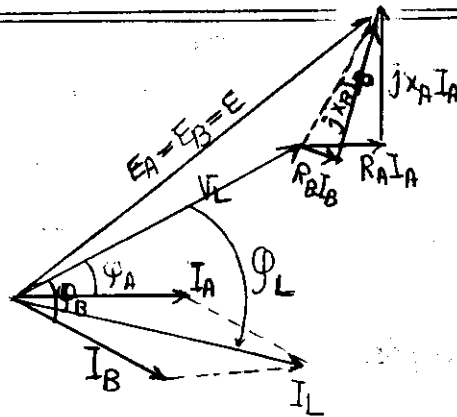
$$\begin{cases} \vec{V}_L = \vec{E}_A - \vec{Z}_A \vec{I}_A \\ \vec{V}_L = \vec{E}_B - \vec{Z}_B \vec{I}_B \end{cases} \quad \begin{cases} \vec{I}_L = \vec{I}_A + \vec{I}_B \\ \vec{V}_L = \vec{Z}_L \vec{I}_L \end{cases}$$



$$\vec{E}_A = \vec{E}_B = \vec{E} \longrightarrow \vec{Z}_A \vec{I}_A = \vec{Z}_B \vec{I}_B$$

$$\left. \begin{aligned} \text{if } |Z_A| &= |Z_B| \\ \frac{X_A}{R_A} &= \frac{X_B}{R_B} \end{aligned} \right\} \longrightarrow \vec{Z}_A = \vec{Z}_B \longrightarrow \vec{I}_A = \vec{I}_B$$

باقی به اینکه در این حالت $\frac{X_B}{R_B} \neq \frac{X_A}{R_A}$ در نتیجه $\vec{I}_A \neq \vec{I}_B$



در دیاگرام بالا V_L مرجع انتخاب شده است. چون $I_B \neq I_A$ در نتیجه اختلاف فازهای

ϕ_B و ϕ_A را نسبت به V_L خواهند داشت. برابری $\bar{Z}_A \bar{I}_A$ ، $\bar{Z}_B \bar{I}_B$ را می توان در قسمت
خط چین مشاهده کرد.

حال فرض کنیم $I_A = I_A^{FL}$ ، یعنی ترانس A در وضعیت جریان نامی کاری کند. می خواهیم

بینیم در این حالت وضعیت ترانس B چگونه است. $I_B = ?$

$$\bar{Z}_A \bar{I}_A = \bar{Z}_B \bar{I}_B \quad , \quad |Z_A| |I_A| = |Z_B| |I_B|$$

$$\div E \longrightarrow \frac{|Z_A|}{\frac{|E|}{|I_A^{FL}|}} = \frac{|Z_B|}{\frac{|E|}{|I_B|}} \longrightarrow Z_A^{pu} = \frac{Z_B}{\frac{|E|}{|I_B|}}$$

$$\longrightarrow Z_B^{pu} = \frac{Z_B}{\frac{|E|}{|I_B|}} \quad , \quad Z_A^{pu} = Z_B^{pu} \quad \text{از طرفی می دانیم که:}$$

در نتیجه:

$$\longrightarrow I_B = I_B^{FL}$$

$$\bar{I}_A + \bar{I}_B = \bar{I}_L$$

در مثلث جریانها داریم:

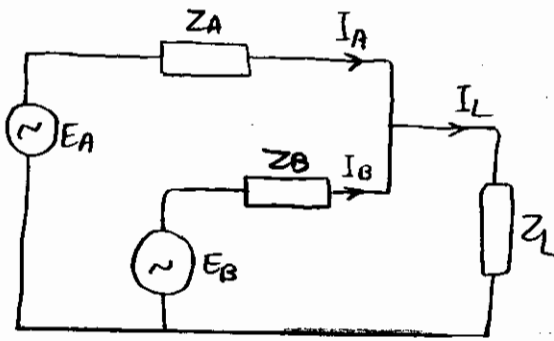
$$|I_A| + |I_B| > |I_L|$$

$$V_L \rightarrow KVA_{load} < KVA_A + KVA_B$$

در نتیجه KVA^{-1} ای که دو ترانس موازی می توانند به بار بدهند کوچکتر از جمع جبری KVA

هریک از آنها است. ۲- در این شرایط تقسیم بار در هر دو ترانس یکسان است.

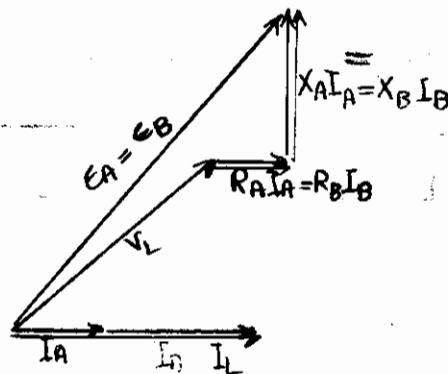
$$Z_A^{pu} \neq Z_B^{pu} \quad \text{پس} \quad \frac{X_A}{R_A} = \frac{X_B}{R_B}, \quad E_A = E_B \quad ۱۹-۳$$



$$\begin{cases} V_L = E_A - Z_A I_A \\ V_L = E_B - Z_B I_B \end{cases}, \quad E_A = E_B \rightarrow Z_A I_A = Z_B I_B$$

$$\rightarrow \begin{cases} |Z_A| |I_A| = |Z_B| |I_B| \\ \tan^{-1} \frac{X_A}{R_A} + \angle I_A = \tan^{-1} \frac{X_B}{R_B} + \angle I_B \end{cases}$$

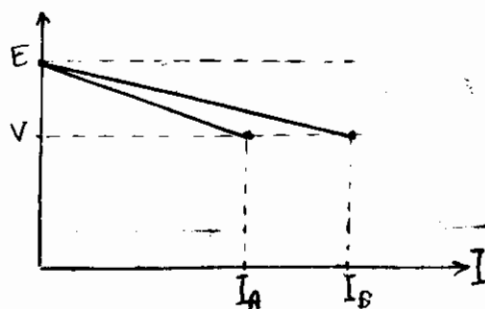
$$\xrightarrow{\text{با توجه به}} \angle I_A = \angle I_B$$



$$I_A = \frac{V_L - E_A}{Z_A} = \frac{|V_L - E|}{|Z_A|} \angle \theta$$

$$I_B = \frac{V_L - E_B}{Z_B} = \frac{|V_L - E|}{|Z_B|} \angle \theta$$

به عنوان مثال فرض کنیم $|Z_A| > |Z_B|$ در این صورت: $|I_A| < |I_B|$



اگر فرض $I_A = 1^{pu}$ باشد در این صورت I_B بیشتر از 1^{pu} بوده و در نتیجه ترانس B

اضافه بار دارد (overload).

اگر $I_B = 1^{pu}$ باشد در این صورت I_A کمتر از 1^{pu} بوده و در نتیجه ترانس A در زیر بار

استی کاری کند. (underload)

نتیجه: $|I_A| + |I_B| = |I_L|$

$$\xrightarrow{xV_L} KVA_A + KVA_B = KVA_{load} \quad -1$$

$$|I_A| \neq |I_B| \quad \therefore \quad KVA_A \neq KVA_B \quad -2$$

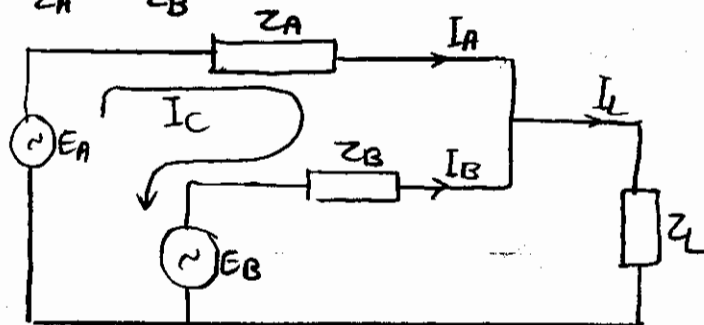
۴-۱۹ حالت کلی

$$\begin{cases} E_A = Z_A I_A + V_L \\ E_B = Z_B I_B + V_L \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_L = I_A + I_B \\ V_L = Z_L I_L \end{cases}$$

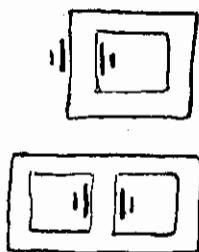
جریان چرخشی = I_C

$$\begin{cases} I_A = \left(\frac{Z_B}{Z_A Z_B + Z_B Z_L + Z_A Z_L} \right) E_A + \frac{Z_L}{Z_A Z_B + Z_B Z_L + Z_A Z_L} (E_A - E_B) \\ I_B = \left(\frac{Z_A}{Z_A Z_B + Z_B Z_L + Z_A Z_L} \right) E_B - \frac{Z_L}{Z_A Z_B + Z_B Z_L + Z_A Z_L} (E_A - E_B) \\ I_L = \frac{\frac{1}{Z} \left(\frac{E_A}{Z_A} + \frac{E_B}{Z_B} \right)}{\frac{1}{Z_L} + \frac{1}{Z_A} + \frac{1}{Z_B}} \end{cases}$$



۲۰- ترانسفورماتورهای سه فاز

۲۰-۱ شکل هسته.



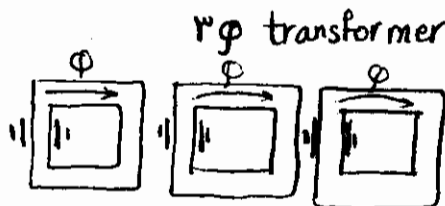
هسته‌ای Core type

زره‌ای Shell type

ترانس تکفاز

مدارهای مغناطیسی مستقل

اتصال به Δ یا Y



۳ ϕ transformer bank

ترانس‌های سه فاز

۳ ستونه

۵ ستونه

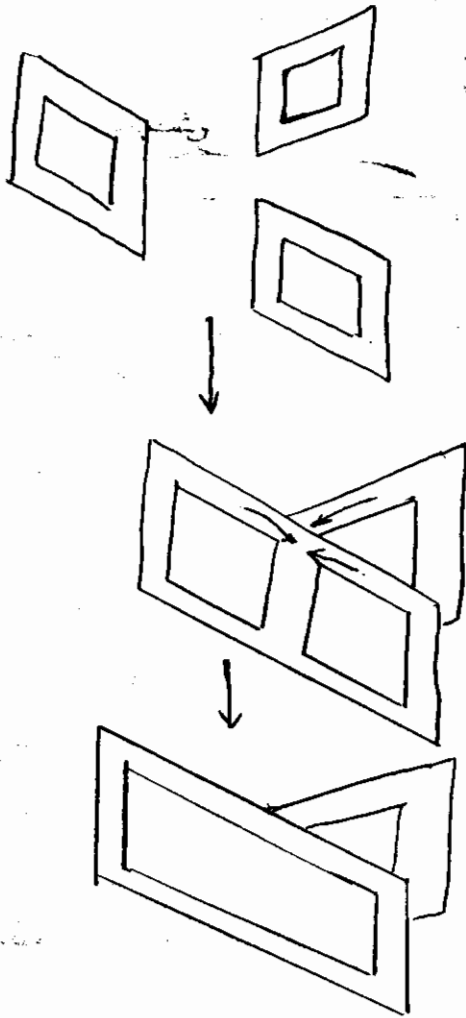
هسته‌ای

۳ ϕ transformer unit

ترانس سه فاز یکپارچه

زره‌ای

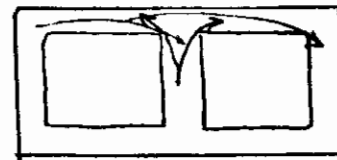
تراش ۳ فاز هسته‌ای



$$\vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_3 = 0$$

$$\vec{\Phi}_1 + \vec{\Phi}_2 + \vec{\Phi}_3 = 0$$

۳ ستونه



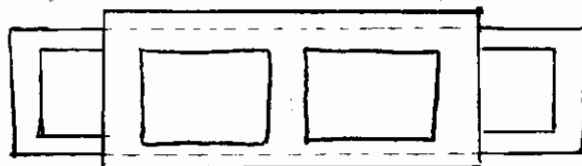
- مدار مغناطیسی مستقل نیست.
- جریان مغناطیس کننده نابرابر

شود

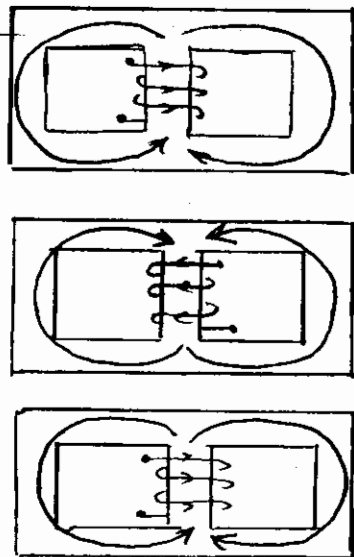
سطح مقطع یوغ را کوچکتر و سطح مقطع ستونها را بزرگتر می‌گیرند تا نابرابری بالا تا حدی حل

همچنین راه حل دیگر مدارهای مغناطیسی جابجایی هستند:

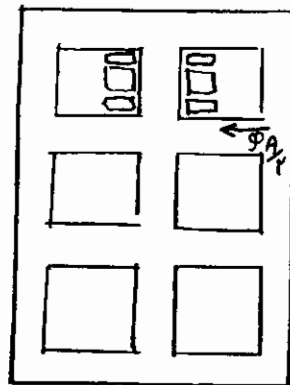
۵ ستونه



در این حالت مدار مغناطیسی تقریباً مستقل می‌شود.

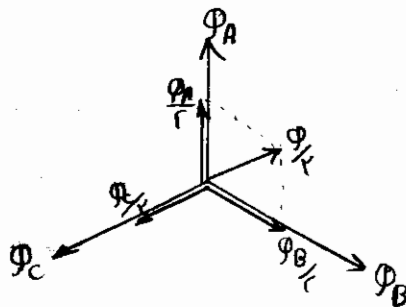


نوع زره‌ای



$$\vec{\phi}_A + \vec{\phi}_B = \vec{\phi}_C$$

این نوع از قرار گرفتن سه ترانس تکفاز زره‌ای بر روی هم تشکیل می‌شود.

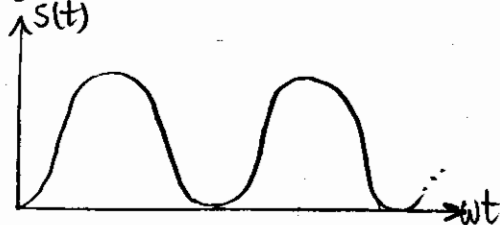


حال این سوال مطرح می‌شود که چرا از ترانس‌های سه فاز استفاده می‌کنیم:

۲-۲ مزایای ترانسفورماتور سه فاز:

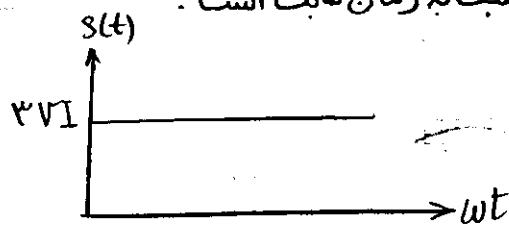
- به ازای KVA های برابر: قیمت سه فاز > قیمت تکفاز
- حجم و وزن سه فاز > حجم و وزن تکفاز
- $\eta_{\text{سه فاز}} < \eta_{\text{تک فاز}}$

چرا در انتقال از سیستم سه فاز استفاده می‌کنیم؟ توان

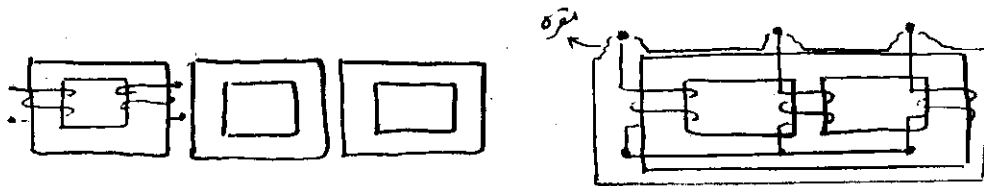


در سیستم تکفاز
 $\vec{V}, \vec{I}$

ولی در سیستم سه فاز توان نسبت به زمان ثابت است :



آیا ترانس سه فاز یکپارچه بهتر است یا سه ترانس تکفاز به صورت اتصال سه فاز ؟



حمل و نقل و نصب راحت تر
رزرو

حجم و وزن کمتر
هزینه کمتر
راندمان بیشتر

تعداد سرهای یکپارچه ۶ تا بوده و تعداد سرهای سه ترانس تکفاز ۱۲ عدد است. با توجه به

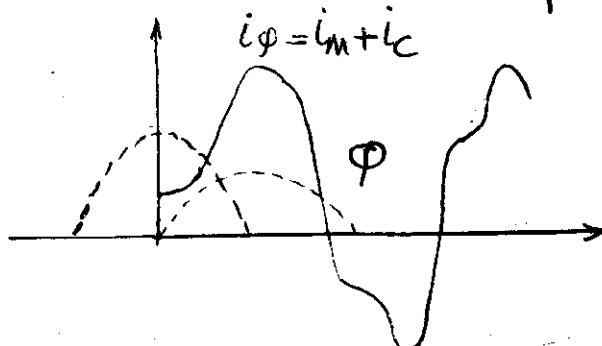
اینکه برای هر خروجی نیاز به مقره است (به علت سطح ولتاژ بالا) لذا از نظر هزینه ای بهتر است

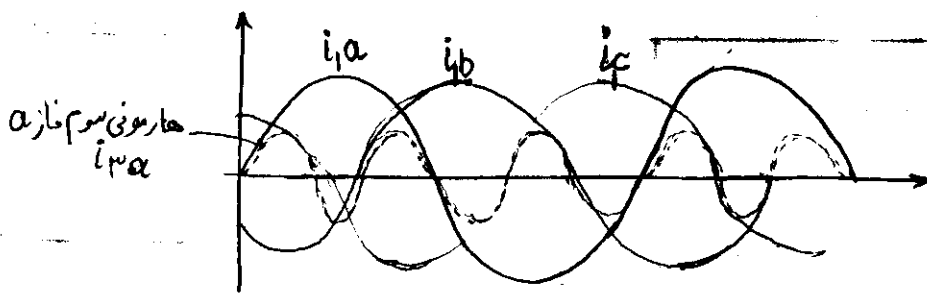
تعداد سرها کمتر باشد. (مقره از جنس چینی بوده و به عنوان عایق عمل می کند)

در نوع یکپارچه اگر اسکالی در یکی از فازها بوجود آید کل ترانس باید از مدار خارج شود ولی در

نوع سه ترانس تکفاز فقط $\frac{1}{3}$ مجموعه از مدار خارج می شود (مسئله رزرو)

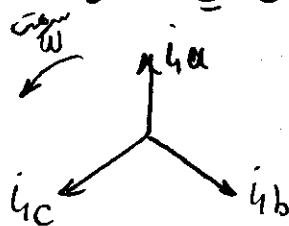
۳-۲۰ جریان تحریک و هارمونی سوم





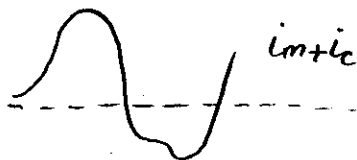
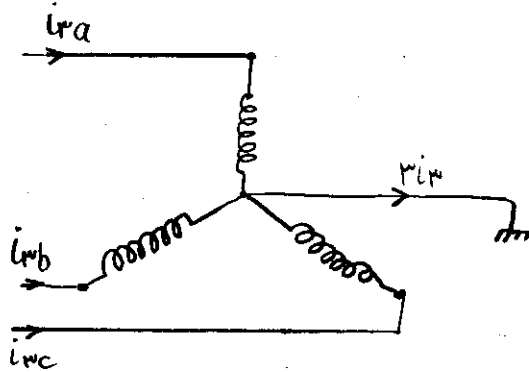
هارمونی سوم فاز a و هارمونی سوم فاز b و هارمونی سوم فاز c با هم هم فاز بوده و بر روی

یکدیگر منطبق اند. هارمونی های اول این سه فاز اختلاف فاز 120° با هم دارند.



هارمونی های سوم نسبت به هم ثابت هستند ولی با همگی با سرعت 3ω می چرخند.

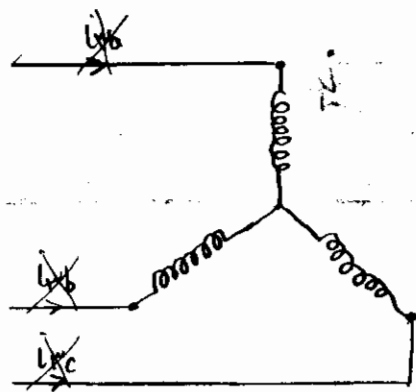
۱-۳-۲ اتصال اولیه Δ_m :



به ازای جریان تحریک مقابل

شار و ولتاژ در اولیه سینوسی هستند.

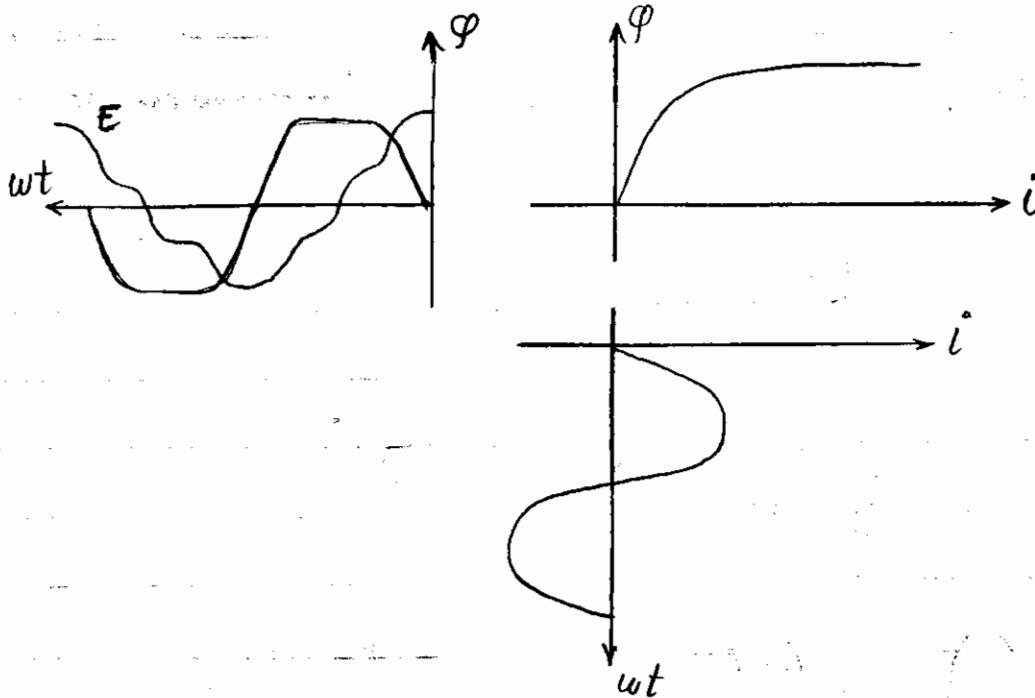
۲-۳-۲ اتصال اولیه ۸



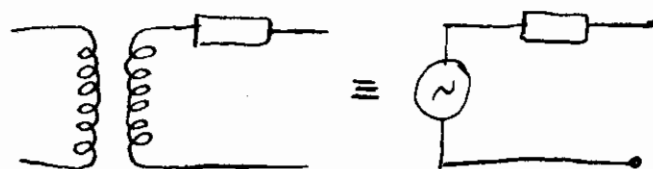
چون هر سه جریان i_a ، i_b ، i_c با هم همفاز بوده و همگی به یک نقطه وارد می شوند لذا

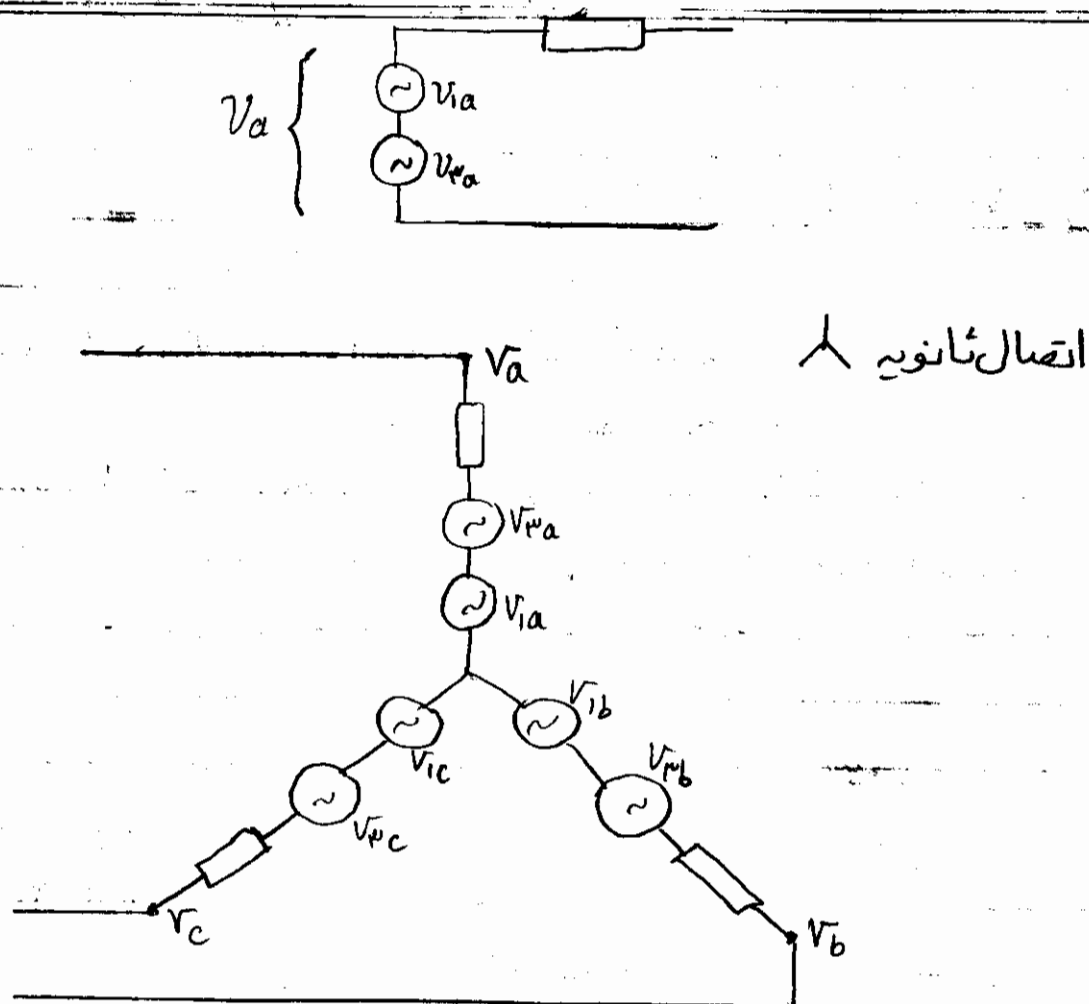
مسیری برای عبور جریان وجود نخواهد داشت و این سه جریان به این طریق نمی توانند عبور

کنند. پس مسیر جریان فقط برای هارمونی اول جریان برقرار است.



در نتیجه می توان دید که شار و ولتاژ دارای هارمونی اول و سوم هستند.





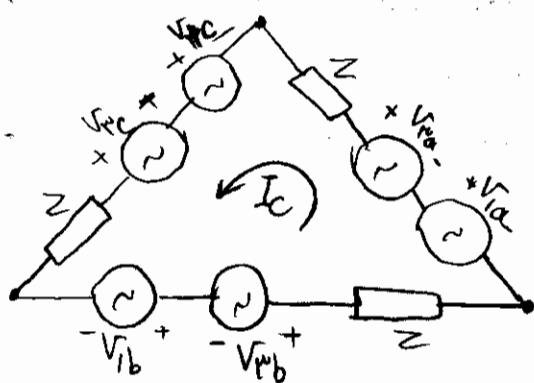
اتصال ثابویه

اگر مصرف کننده ای بین V_a و نول قرار گرفته باشد هارمونیک سوم را خواهد دید و امر مسئله این

است. در مورد ولتاژ خط:

$$V_a - V_b = V_{ia} - V_{ib} + \overbrace{V_{raa} - V_{rbb}}^0$$

بنابراین مصرف کننده ای اگر از ولتاژ خط تغذیه شود هارمونی سوم را نخواهد دید.



اتصال ثابویه Δ

نخست جریان I_c را محاسبه می‌کنیم:

$$I_c = \frac{V_a + V_b + V_c}{3Z} = \frac{V_a + V_b + V_c}{3Z} + \frac{V_{3a} + V_{3b} + V_{3c}}{3Z} = \frac{V_{3c}}{Z}$$

$V_a + V_b + V_c$ برابر صفر است. چون تقارن 120° ای دارند.

چون منبع ولتاژ هارمونی سوم است، فرکانس زاویه‌ای جریان I_c نیز 3ω خواهد بود.

می‌بینیم با اینکه در اولیه هارمونی سوم نداریم اما در اتصال مثلث در ثانویه یک جریان تولید

می‌شود که دارای هارمونی سوم است. لذا شار و ولتاژ به شکل سینوسی خواهند بود.

۴-۲. اتصالات مختلف سه فاز

ثانویه اولیه مثلثی

۱-۲-۳ اتصال ستاره - ستاره Δ Y

مزایای اتصال Y : در اتصال Y : $V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$ در حالیکه در اتصال Δ : $V_p = V_L$

لذا در حالت Y : ۱- سطح ولتاژ میانی بوده و در نتیجه سطح عایق بندی کمتر بوده و هزینه

نیز کمتر خواهد شد. ۲- شار نیز در حالت Y کاهش می‌یابد و می‌توان برای یک شار خاص سطح

هسته را نیز کم کرد و این نیز باعث کاهش هزینه‌های می‌شود. Core

در حالت Y : $I_p = I_L$ و در نتیجه قطرهای ها بزرگتر است. این امر باعث می‌شود

۷۱
۳- استقامت مکانیکی ترانس (در حالت اتصال کوتاه) افزایش یابد.

۴- ولی وزن مس بیشتر و در نتیجه هزینه نیز بیشتری شود.

همچنین در اتصال ۸ : دسترسی به نول داریم. در نتیجه مصرف کننده هم می تواند از

۵- فاز تغذیه شود و هم از ~~خط~~ خط.

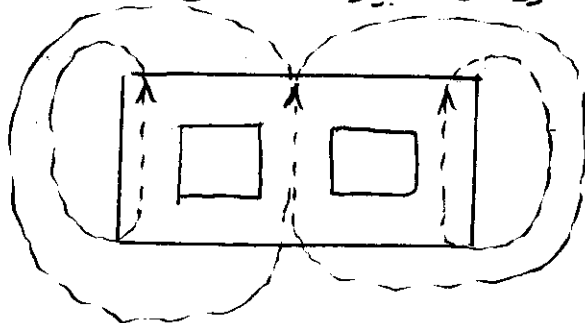
عیب اتصال ۸ همانطور که مطرح شد، نبود جریان هارمونیک سوم است.

اگر مدار مغناطیسی غیر مستقل باشد (در اتصال ۸۸) هارمونی سوم شار و ولتاژ را داریم.

در مورد شار نیز هارمونی هلی سوم نیز هم فازند. لذا در هر سه ستون در یک لحظه هر سه

شار و در حال افزایش یا کاهش ... هستند و این مشکل بوجود می آورد. در این حالت اتفاتی

که می افتد این است که شار مسیر خود را در بیرون هستی بندد.



اگر مدار مغناطیسی مستقل باشد (۸۸) باز هم هر سه شار ب یک نحو عمل می کنند اما

چون مدارها مستقل هستند شارها در داخل هسته بسته می شود.

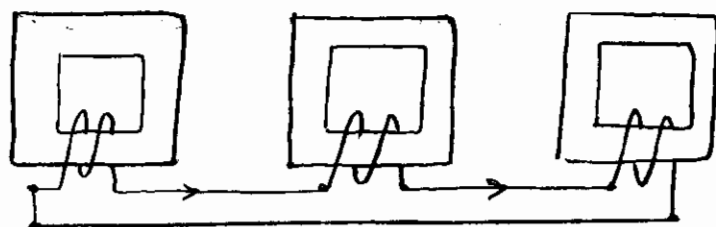


با مقایسه این دو حالت چون در غیر مستقل شار در بیرون از هسته بسته می شود لذا اگر لوکاتس

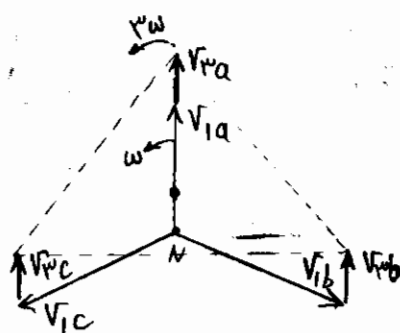
آن بیشتر از حالت مستقل است. زیرا بدون مقاومت مغناطیسی باعث می شود که دامنه هارمونی

سوم کاهش یابد. (اما همچنان نبود هارمونی سوم مشکل را است. ولتاژ و شار

راه حل : مدار زیر نقص نبود هارمونی سوم را جبران می کند.



در این مدار اتصال مثلث نیز برقرار شده است (۸۸)



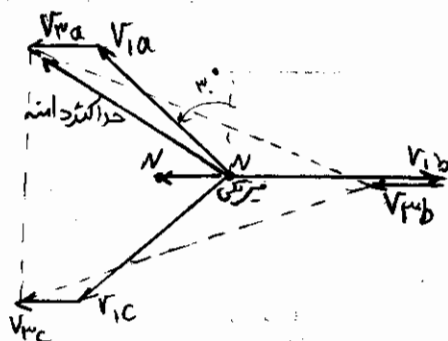
نول شناور

در دیاگرام بالا در یک لحظه هارمونی سوم a و هارمونی اول آن بر روی هم قرار گرفته اند. در این

حالت بقیه هارمونی ها (b, c) در شکل نمایش داده شده اند. در این لحظه نقطه خنثی (N)

به کمی بالاتر مستقل می شود و لذا از نظر فیزیکی نقطه خنثی (N) دارای ولتاژ خواهد بود. (در این لحظه خاص)

حال اگر هارمونی اول 3° بجز هارمونی سوم 9° می‌جوید:



پس در صورت وجود هارمونی سوم ولتاژ نقطه نول پتانسیل خواهد گرفت به اندازه دامنه

هارمونی سوم با تغییرات $3W$. لذا اول فیزیکی دارای ولتاژ بوده و ایمنی نیست.

* در ولتاژ خط هارمونی سوم دیده نمی‌شود.

حد اکثر دامنه ^{فاز (نسبت به نول فیزیکی)} ~~هارمونی سوم~~ برابر مجموع دامنه هارمونی اول و هارمونی سوم است.

به این پدیده که نول دارای ولتاژی می‌شود نول شناور می‌گوئیم.

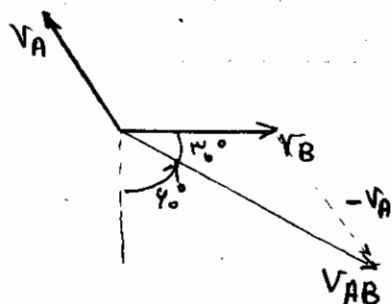
۲-۴-۲ اتصال ^{مانند اولیه} $\Delta \lambda$:

* در این وضعیت هارمونی سوم جریان تولید می‌شود.

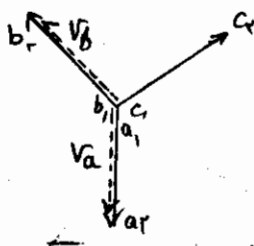
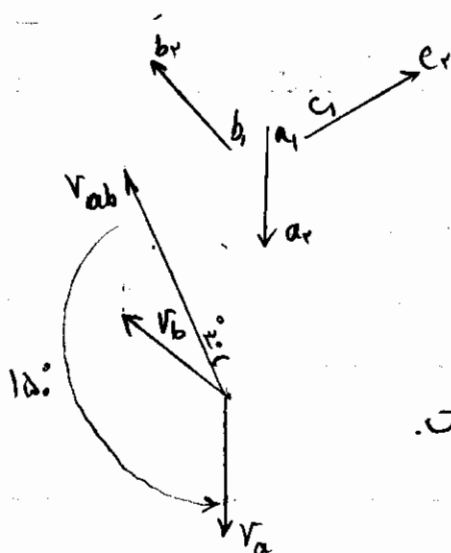
$$\text{نسبت تبدیل} = a_{\Delta\lambda} = \frac{V_{L\Delta}}{V_{L\lambda}} = \frac{V_{P\Delta}}{V_{P\lambda} \cdot \sqrt{3}} = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

$$\rightarrow \text{نسبت تبدیل} = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

$$\text{نسبت دورها} = a = \frac{N_{P\Delta}}{N_{P\lambda}} = \frac{V_{P\Delta}}{V_{P\lambda}}$$



$$V_{AB} = V_B - V_A$$



می‌توان که عدد شناسایی تاخیر فاز V_{AB} و V_{ab} است.

$$\frac{150 + 40}{30} = 7 \text{ که برابر با } V$$

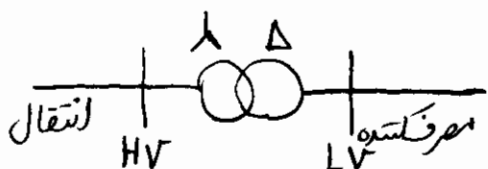
* عوض کردن سرها در اتصالات الکتریکی باعث می‌شود که عدد شناسایی تغییر کند. (تمرین :

حالت‌های دیگر اتصال سرها را بررسی کرده و عدد شناسایی هر یک را بدست آورید).

۴-۲۰ اتصال Δ ^{ناقص اولیه}

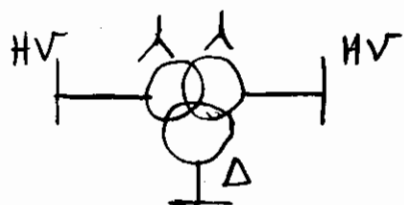
* در این حالت نیز هارمونیک سوم جریان تولید می‌شود.

$$a_{\lambda\Delta} = \frac{V_{L\lambda}}{V_{L\Delta}} = \frac{\sqrt{3} V_{P\lambda}}{V_{P\Delta}} = \sqrt{3} a$$



* کاربرد

کاربرد اتصال ۸۸ در پستهای است که ثانویه و اولیه هر دو HV است و البته در این



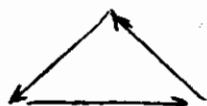
اتصال باید Δ نیز باشد.

۴-۴-۲۰ اتصال $\Delta\Delta$



اگر کل مثلث را یک گره فرض کنیم با توجه به اینکه همه جریانها به این گره وارد می شوند لذا

اولیه نمی تواند هارمونیک سوم را از خود عبور دهد.



$$V_1 + V_2 + V_3 = 0$$

با توجه به رابطه بالایی توان فهمید که آکاسرهای نقطه در را درست بستیم یا نه. با اتصال



یک ولت متر به شکل مقابل اگر ولت متر ولتاژ

صفر را نشان دهد می توان فهمید که اتصال مثلث

درست است.

مزایای این اتصال: یکی هارمونیک سوم جریان است که در بالا صحبت کردیم.

* اتصال open delta یا VV : در این نوع اتصال به جای سه سیم پیچ از دو سیم پیچ در

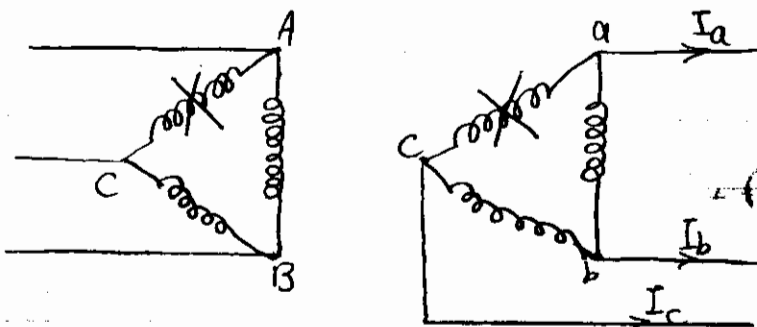
مثلت استفاده کرده ایم و یکی از اشیاء مثلت حذف شده است.

معایب: $V_p = V_L$ * ولتاژ فاز و خط برابرند لذا هزینه عایق بندی افزایش می یابد.

همچنین شار نیز افزایش می یابد و مقدار آهن به کار رفته در هسته نیز زیاد خواهد شد.

* در اینجا نیز فقط یک نوع ولتاژ داریم. (امکان استفاده از دو نوع ولتاژ فاز و خط وجود ندارد)

۵-۴-۲۰ اتصال V-V

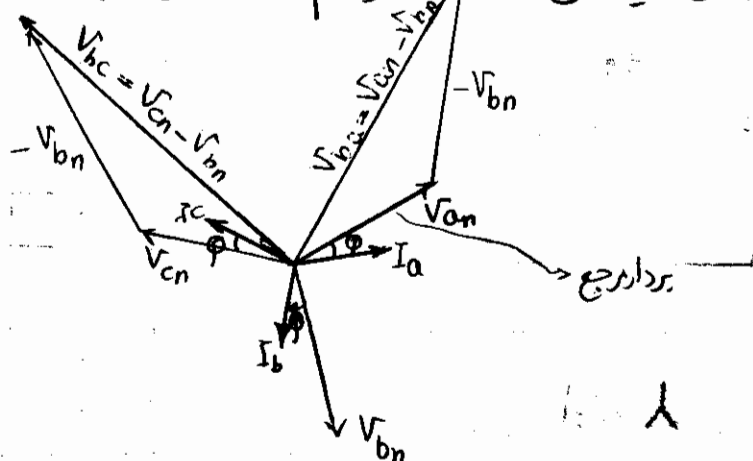


فرض کنیم سیستم $\Delta-\Delta$ بالا به علت اشکال یکی از ترانس ها از مدار خارج شود (خروج

امیاری یکی از ترانس ها) لذا از نظر فیزیکی باید سیستم سه فاز مستقل باشد.

* در این حالت سیستم همان سه فاز است ولی عملاً با دو سیم پیچ انجام می شود. لذا در مکان

که قدرت بالا نیاز نیست می توان از این سیستم استفاده کرد و بعد ها آن را به سه سیم پیچ توسعه داد.



$$S = V_a I_a^* + V_b I_b^* + V_c I_c^*$$

$$0 = I_a + I_b + I_c \longrightarrow I_b^* = -I_a^* - I_c^*$$

$$S = V_a I_a^* - V_b I_a^* - V_b I_c^* + V_c I_c^*$$

$$S = (V_a - V_b) I_a^* + (V_c - V_b) I_c^*$$

$$S = [|V_a| \angle 0^\circ - |V_b| \angle -120^\circ] [|I_a| \angle -\varphi]^* + [|V_c| \angle -240^\circ - |V_b| \angle -120^\circ]^* [|I_c| \angle -(240^\circ + \varphi)]^*$$

$$S = |V_{ba}| |I_a| \angle \varphi + 120^\circ + |V_{bc}| |I_c| \angle \varphi - 120^\circ$$

$$P_{VV} = V_p I_p \cos(\varphi + 120^\circ) + V_p I_p \cos(\varphi - 120^\circ)$$

$$P_{VV} = \sqrt{3} V_p I_p \cos \varphi$$

$$P_{\Delta\Delta} = 3 V_p I_p \cos \varphi$$

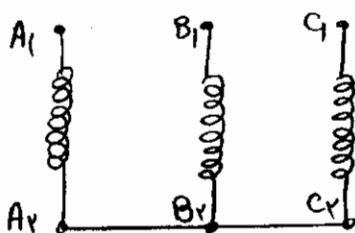
$$\frac{P_{VV}}{P_{\Delta\Delta}} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 58\%$$

لذا توانی که با اتصال VV انتقال می دهیم حدود ۵۸٪ مقداری است که توسط اتصال $\Delta\Delta$

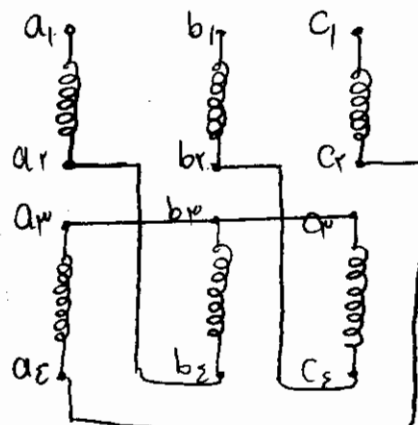
منتقل می شود.

کاربرد در سیستم های توزیع

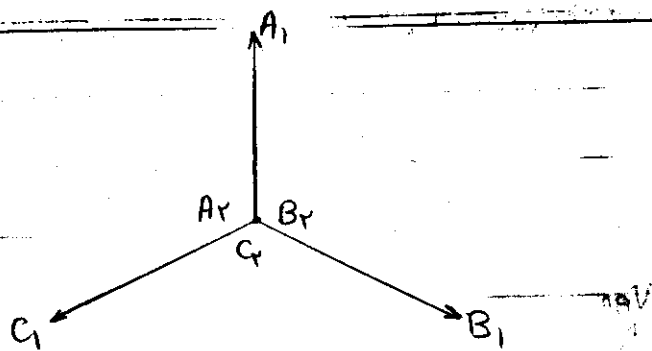
۴-۲-۰ اتصال YZ



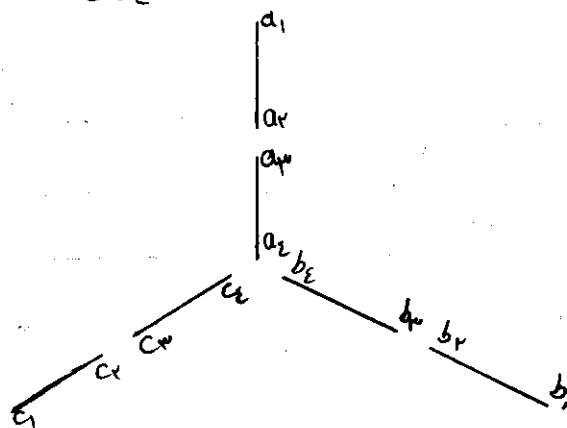
اولیه λ



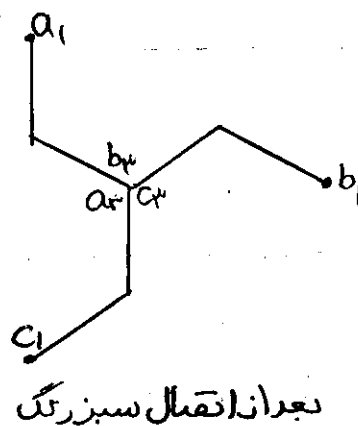
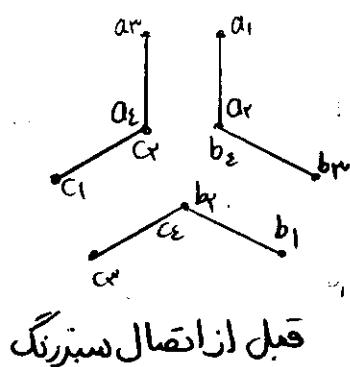
ثانویه Z



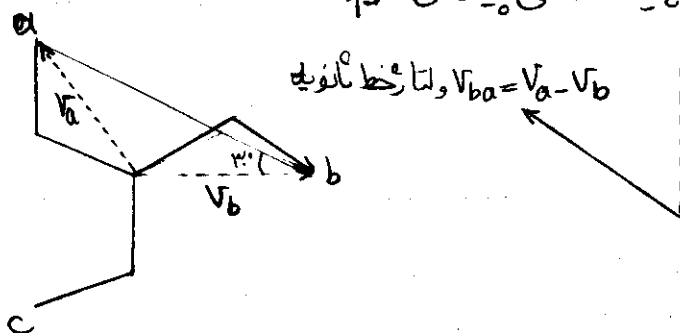
همچنین سیم‌پیچ‌هایی که در یک ستون قرار دارند از نظر تغییر شکل وضعیت یکسانی دارند. در نتیجه



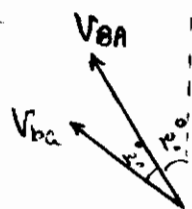
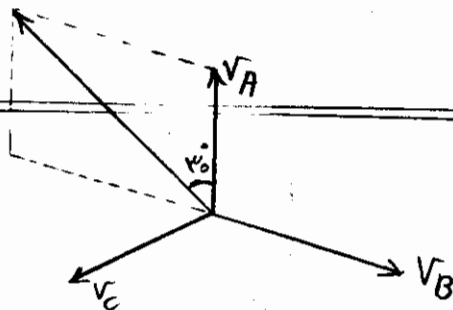
حال اتصال‌های الکتریکی را برقرار می‌کنیم:



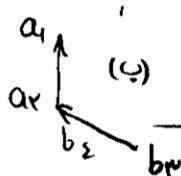
حال گروه برداری را برای چنین اتصال‌ی پیدا می‌کنیم:



ولتاژ خط اولیه $V_{BA} = V_A - V_B$

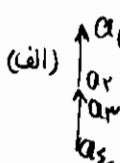


$$\text{گروه برداری} = \frac{330^\circ}{30^\circ} = 11$$



(ب)

یا



(الف)

مقایسه این اتصال با حالت قبلی :

در الف اگر N دور در هر بخش باشد ولتاژ کل برابر ولتاژ هر بخش $\times 2$ است. در حالت ب

همان N دور در هر بخش وجود دارد و ولتاژ کل برابر ولتاژ هر بخش $\times \sqrt{3}$ است. لذا برای

رفع این موضوع تعداد دورهای ب را افزایش می دهیم (حدود ۱۵).

$$\text{تعداد دورهای هر بخش} = \frac{1/15}{\sqrt{3}} \times N$$

افزایش تعداد دورها باعث افزایش مصرف مس و در نتیجه هزینه است. افزایش دور باعث

افزایش ابعاد هسته (چون جابجایی پیچیدن دورهای خواهیم شده و مصرف آهن هم بالا می رود.

اهمیت این نوع اتصال در بارهای نامتعادل است. همان طور که گفتیم این اتصال در سیستم های

توزیع به کار برده می شود. چند شهر جریان های مساری از نیروگاه می کشند اما چند محله

یا خانه جریان های مسلوی نمی کشند و مسئله بار نامتعادل در سیستم توزیع برق محله ای به وجودی آید. لذا از این نوع اتصال استفاده می کنند تا مسئله بار نامتعادل حل شود.

۲۱- اعداد و حروف شناسایی ترانس سه فاز

حروف شناسایی					عدد شناسایی
حروف کوچک			حروف بزرگ		
گروه پردازی	نوع اتصال ثانویه	n در صورت دسترسی به نول	نوع اتصال ثانویه	N در صورت دسترسی به نول	نوع اتصال اولیه

مثال: $YNyn5$

نمایش فوق یک سیستم سه فاز با اولیه ستاره و ثانویه Z همراه با نول و گروه برداری ۵ را نشان می دهد و اولیه به N نول دسترسی نداریم.

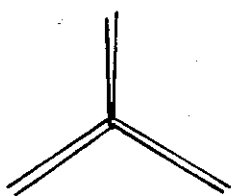
مثال: $YNyn0$ سیستم سه فاز با اولیه ستاره و نول آن و ثانویه ستاره و نول آن را

نشان می دهد که اولیه با ثانویه اختلاف فاز ندارد

حال اهمیت گروه برداری در موازی کردن ترانس ها مشخص می شود.

آیا می توان دو ترانس $YNyn0$ و $YNyn4$ را با هم موازی کرد؟

چرا اگر جای دو فاز را در ترانس های گروه ۳ با هم جابجا کنیم آن ترانس قابل موازی شدن با گروه ۴ است.



چون دامنه ها با هم برابر و است اختلاف فازی هم نداریم

این دو ترانس می توان موازی کرد. ($120^\circ = 30^\circ \times 4$)

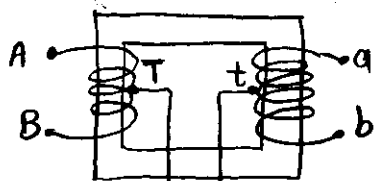
استاندارد ۴ گروه را مشخص می کنند که ترانس های هر گروه را می توان با هم موازی کرد.

عدد شناسایی			
گروه ۱ :	۵	۴	۸
گروه ۲ :	۶	۱۰	۲
گروه ۳ :	۱	۵	
گروه ۴ :	۷	۱۱	

۲۲- اتصالات ویژه :

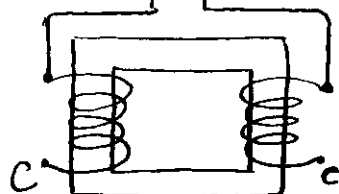
۲۲-۱ اتصال T-T

ترانس اصلی

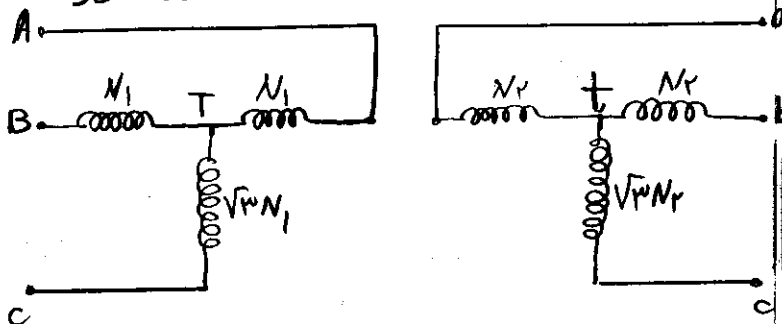


ترانس اشطاب

(تیزر Teaser)



انتقال سه فاز با استفاده از دو ترانسفورماتور.



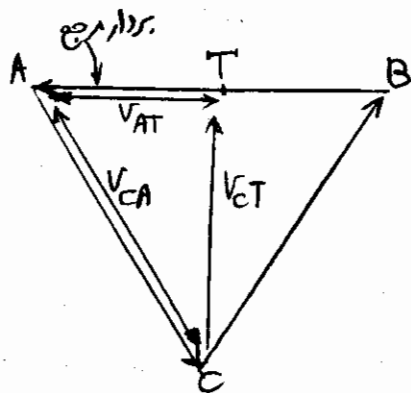
این نوع اتصال منسوخ شده و open delta جای آن را گرفته است. دلیل این است که

باید نقطه وسطسیم بیج های ترانس اصلی در دسترس باشند. همچنین در این

حالت تعداد دورهایکی نسبت ولی نسبت ها برابر است.

$$\frac{2N_1}{2N_2} \quad , \quad \frac{\sqrt{3}N_1}{\sqrt{3}N_2}$$

ترانس اصلی ترانس اشعاع



$$V = V_L$$

ولتاژ نامی ترانس اصلی

$$V_{CT} = V_{CA} + V_{AT}$$

$$V_{CT} = V \angle 120^\circ + \frac{V}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} V \angle 90^\circ \rightarrow V_{CT} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} V \angle 90^\circ$$

ولتاژ نامی ترانس اصلی همان ولتاژ خط V_L است، و ولتاژ نامی ترانس اشعاع $\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} V$ است.

فلذا: ولت بردور ترانس اصلی $\frac{V}{2N_1}$

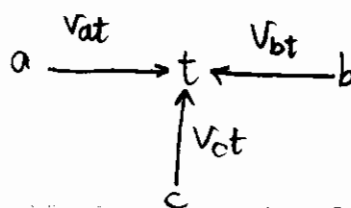
$$\frac{V}{2N_1} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} V}{\sqrt{3} N_1} = \frac{V}{2N_1}$$

ولت بردور ترانس اشعاع

و دلیل اینکه دورهای اشعاع را $\sqrt{3} N_1$ قرار داده ایم این است که ولت بردور و ترانس

برابر شود.

$$\left\{ \begin{aligned} V_{at} &= \frac{N_2}{N_1} V_{AT} = \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{V}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \\ V_{bt} &= \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{V}{\sqrt{3}} \angle 120^\circ \\ V_{ct} &= \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} V \angle 90^\circ \end{aligned} \right.$$

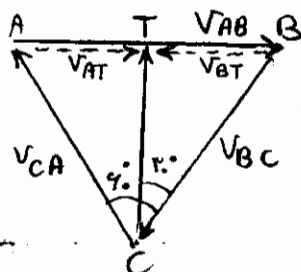
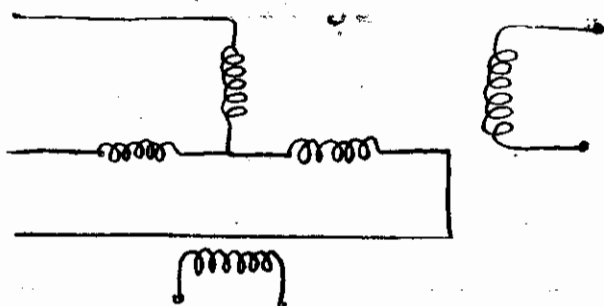
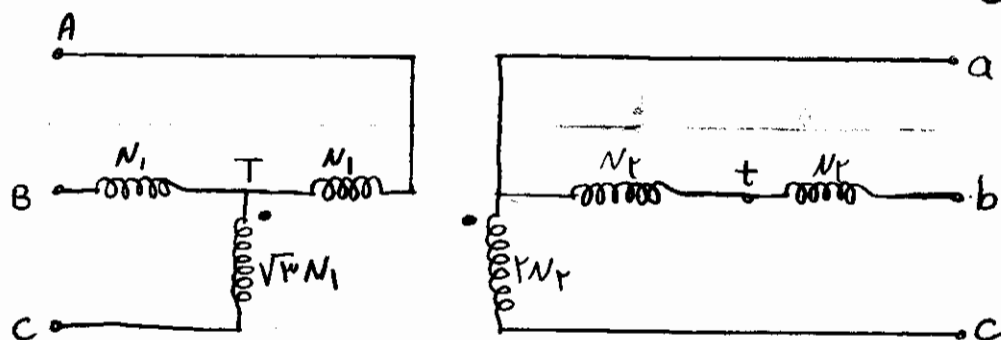


$$S_{\text{main}} = V_{AT} \cdot I_{AT}^* + V_{BT} \cdot I_{BT}^*$$

$$S_{\text{Teaser}} = V_{CT} \cdot I_{CT}^*$$

$$S = S_{\text{main}} + S_{\text{Teaser}} = \sqrt{3} VI$$

= Scott اتصال ۲-۲



در اولیه :

$$V_{AT} = \frac{V}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ, \quad V_{BT} = \frac{V}{\sqrt{3}} \angle 18^\circ, \quad V_{CT} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} V \angle 90^\circ$$

در این اتصال نیز مانند T-T دوترانس داریم و تفاوت آن این است که این سیستم سه فاز

را به سیستم دو فاز تبدیل می کند.

$$V_{at} = \frac{N_2}{N_1} V_{AT} = \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{V}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \rightarrow V_{ta} = \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{V}{\sqrt{3}} \angle 18^\circ$$

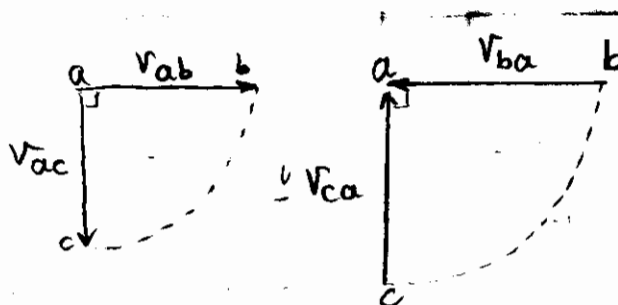
در ثانویه :

$$V_{bt} = \frac{N_2}{N_1} V_{BT} = \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{V}{\sqrt{3}} \angle 18^\circ$$

$$V_{ca} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{N_2}{N_1} V_{CT} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{N_2}{N_1} \times \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} V \angle 90^\circ = \frac{N_2}{N_1} V \angle 90^\circ$$

$$V_{ba} = V_{bt} + V_{ta} = \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{V}{2} \angle 90^\circ + \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{V}{2} \angle 180^\circ = \frac{N_2}{N_1} V \angle 180^\circ$$

$$V_{ca} = \frac{N_2}{N_1} V \angle 90^\circ$$

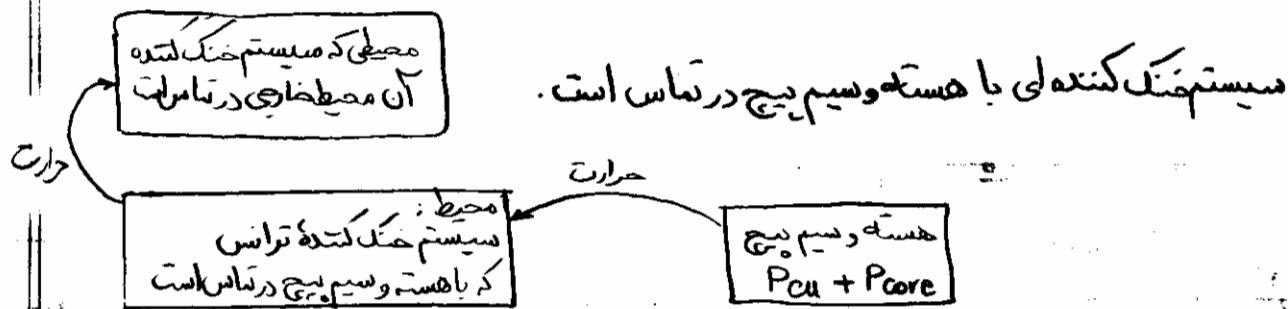


مشاهده می‌کنیم که یک سیستم در فاز با فازهای V_{ca} ، V_{ba} داریم.

۲۳- انواع روش‌های خنک‌کنندگی:

تلفات هسته و سیم پیچ یعنی $P_{cu} + P_{core}$ به صورت حرارت در ترانس ظاهر می‌شود. لذا

باید حرارت به محیط خارج انتقال یابد که در نتیجه نیاز به یک سیستم خنک‌کننده داریم. چنین



یکی از محیط‌های خنک‌کننده روغن است که بحث آن قبلاً مطرح شده است. نوع دیگر چنین

محیط‌های خنک‌کننده، هوا است و هسته و سیم پیچ با هوا در تماس هستند که به آنها ترانس‌های

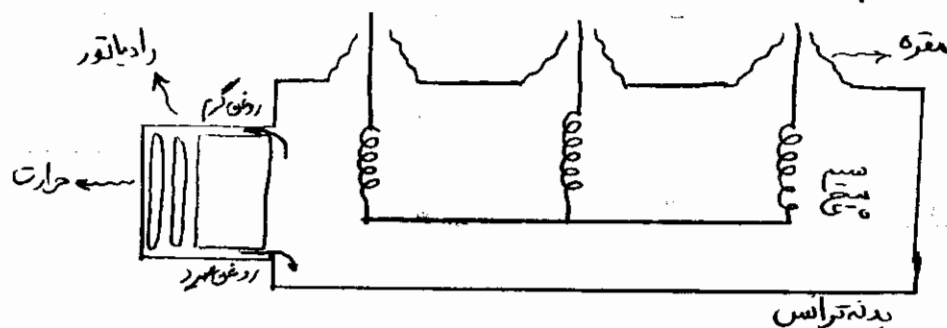
خشک‌نیزی گوئیم. در ترانس‌های با ولتاژ بالا به جای هوا از گاز SF_6 استفاده می‌شود که

خاصیت آکسید کننده سریع الکترون است. به چنین ترانس‌هایی، ترانس‌های گازی گفته می‌شود.

محیط خارجی که گمانهای آن منتقلی شود هوا یا آب است.

علامت شناسایی سیستم خنک کن:

حرف اول	حرف دوم	حرف سوم	حرف چهارم
O روغن	N طبیعی	A هوا	N طبیعی
G گاز	F اجباری	W آب	F اجباری
W آب	D اجباری با عبور روغن جهت داده شده		
A هوا			
نوع محیط خنک کننده که با سیم پیچ هسته در تماس است.	نوع سیرکولاسیون	نوع مصیعی که سیستم خنک کننده با آن در تماس است.	نوع سیرکولاسیون



در سیرکولاسیون طبیعی روغن به صورت طبیعی وارد رادیاتور می شود. در اجباری از پمپ برای حرکت (F)

روغن استفاده می شود. حالت D کانالهایی بین سیم پیچ ها بوجود می آید که مسیری برای عبور

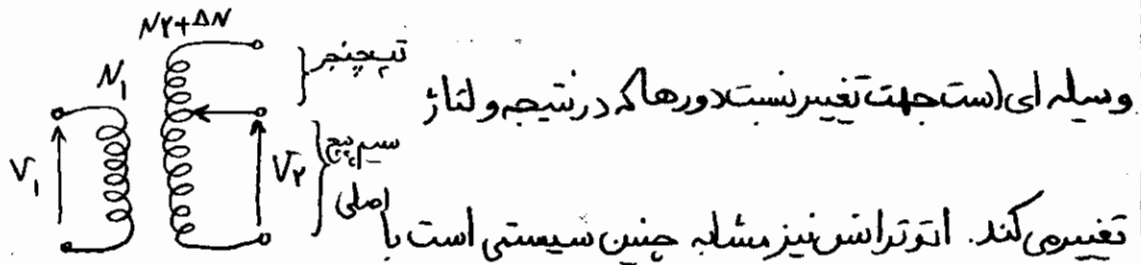
روغن خواهند بود و در نتیجه عبور روغن جهت داده شده است. در سیرکولاسیون طبیعی (حرف

چهارم) هوا به صورت طبیعی رادیاتور را خنک می کند اما در اجباری هوا یا فن به رادیاتور دمیده

می شود. ترانس ONAN/ONAF نخست به صورت طبیعی با هوا خنک می شود اما بعد از

مدتی که دما بالا رود سیستم به طور اتوماتیک فن‌ها را بکار می‌اندازد.

۲۴- Tap changer



انواع تپ‌چنجر: ۱- off-load Tap changer یا no-load Tap changer

۲- on-load Tap changer یا (OLTC)

off-load Tap changer موقعی می‌تواند تغییر ولتاژ انجام دهد که ترانس در شرایط بی‌باری

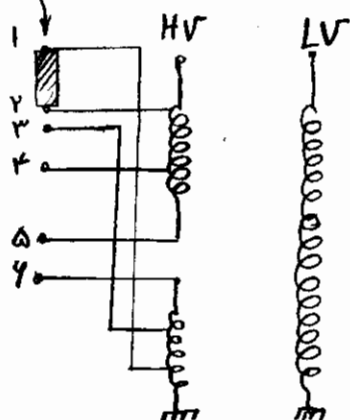
قرار دارد و لذا در سیستمهایی که تغییرات بار آنها تقریباً ثابت است. تغییرات بار در این

سیستمها با تغییرات فصل خواهد بود. در on-load Tap cha. در حالت بار داری نیز

می‌توان تغییر ولتاژ انجام داد. برای تغییرات جزئی ولتاژ Tap changer را در سمت فشار

قوی قرار می‌دهیم. در این سمت جریان عبوری نیز کمتر است

جهت افزایش ولتاژ



۱- ۲۴ off-load Tap changer

۱۹
در حالت عادی تمام سرها دارای ولتاژ هستند. وقتی کلید ۱-۲ بسته است تعداد دورها در HV

کمترین است و وقتی کلید ۵-۶ بسته است تمام دورها در HV وجود دارند و بیشترین تعداد دور

را داریم. به این ترتیب ولتاژ تغییر می کند. در on-load Tap cha. هنگام تعویض کلیدها

جرقه تولید خواهد شد. لذا تپ چنج را در تانک مجزایی به از روغن قرار می دهند تا جرقه

که باعث تجزیه روغن می شود تا اثری در روغن داخل ترانس معمولی نگذارد.