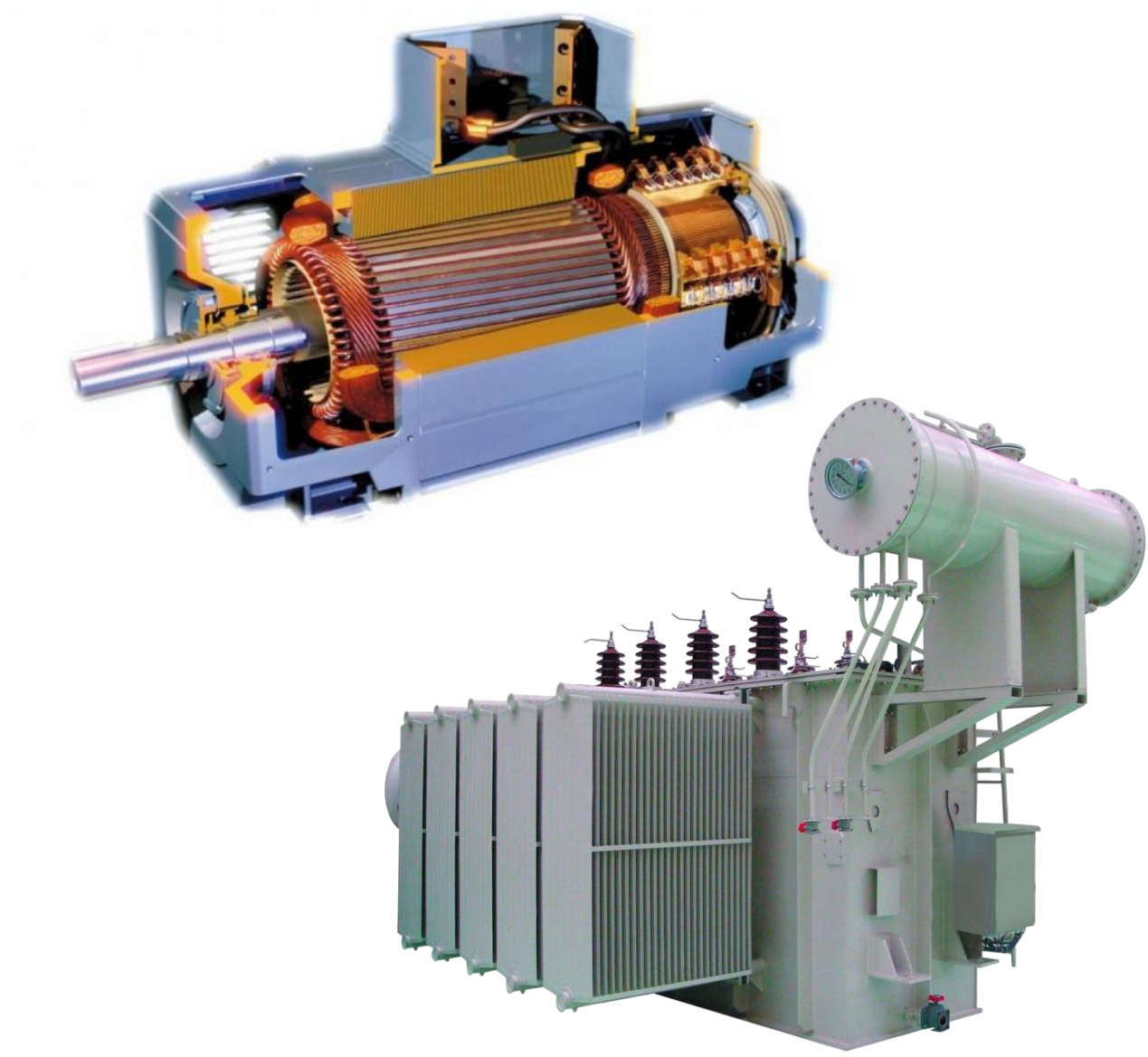
ماشین‌های الکتریکی ۲

{دانشگاه فنی و حرفه‌ای - دانشکده فنی واحد فسا}



تهیه و تنظیم:

علی کاظمی وکیل‌آبادی

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

فصل اول: ماشین‌های الکتریکی جریان مستقیم

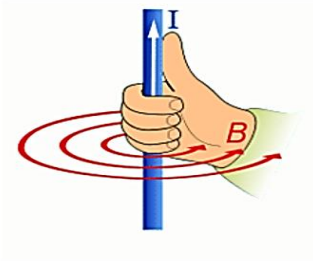
الکترومغناطیس

فلو یا شار مغناطیسی

میدان الکتریکی از بارهای الکتریکی ساکن نشات می گیرد. اگر بارهای الکتریکی با سرعتی یکنواخت به حرکت در آیند اثر ثانویه یعنی اثر مغناطیسی شکل می گیرد . نتیجه آنکه میدان مغناطیسی از بارهای الکتریکی متحرک حاصل میشود. میدان مغناطیسی توسط بردار $\mathbf{B}$ به نام چگالی شار مغناطیسی مشخص می گردد. واحد $\mathbf{B}$ بر حسب وبر بر متر مربع یا تسلا بیان می گردد . شار مغناطیسی نیز به قرار زیر است:

شدت میدان مغناطیسی[1]

طبق تعریف هرگاه از یک هادی جریان الکتریکی عبور کند در ازاطراف آن هادی[2] یک میدان مغناطیسی تولید می شود. شدت این میدان را که تابع میزان جریان عبوری از سیم می باشد با ($\mathbf{H}$) نشان داده و جهت خطوط شار مغناطیسی حاصل را با قانون شصت دست راست[1] تعیین می کنیم بدین معنی که هرگاه انگشت شصت دست راست را در جهت جریان قرار دهیم ، جهت پیچش انگشتان دست راست ، جهت میدان را نشان خواهد داد. این موضوع در شکل ۱ – ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ – ۱ . بیان قانون شصت دست راست

[1] Magnetic Field Intensity

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

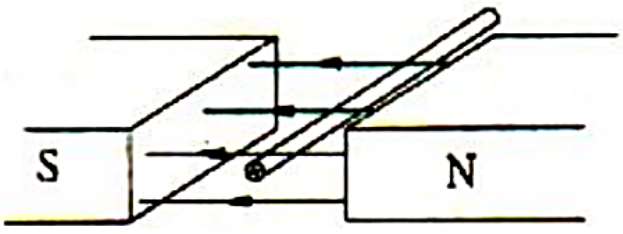
چگالی شار مغناطیسی

طبق تعریف تعداد خطوط فلوی[۱] مغناطیسی را که از واحد سطح می گذرند چگالی شار مغناطیس نامیده و در فضای آزاد به صورت زیر نشان می دهند:

که در این رابطه B بر حسب وبر بر متر مربع اندازه گیری می شود که در اصطلاح تسلا(T) نام دارد.μ خاصیتی از محیط است که ضریب نفوذ پذیری[۲] محیط نامیده می شود. μ_0 [۳] ضریب نفوذ پذیری یا پرمابیلیته فضای آزاد وμ_r ضریب نفوذپذیری مغناطیسی نسبی[۴] محیط می باشدکه در هوای آزاد ، هادی های الکتریکی و عایق ها برابر یک در نظر گرفته می شود اما در مواد مغناطیسی مقدار آن از چند صد تا چندین هزار تغییر می کند و توسط جداول مربوطه مشخص می گردد. یکی از نمودار های مهم در بررسی مدارهای مغناطیسی نمودار توصیف کننده رابطه بین B وH می باشد.

گشتاور تولید شده در میدان مغناطیسی

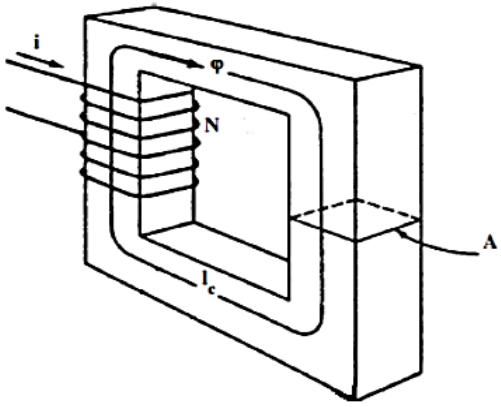
هرگاه یک هادی حامل جریان مطابق آنچه در شکل ۱ – ۶ نشان داده شده است، بتواند در داخل یک میدان مغناطیسی به طور آزادانه حول یک محور مشخص بچرخد نیروی وارده بر سیم گشتاوری را تولید خواهد کرد که طبق رابطه زیر محاسبه می گردد:



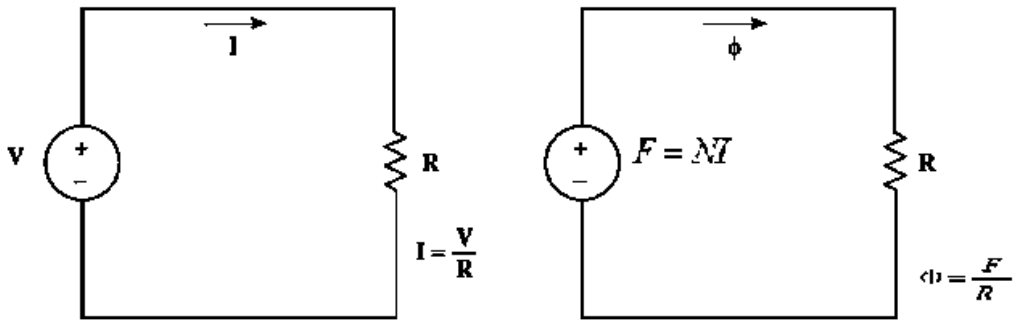
تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

مدارهای مغناطیسی

در شکل ۱ – ۸ یک مدار بسیار ساده مغناطیس که از یک هسته فرومغناطیس و یک سیم پیچ تشکیل شده است ، نشان داده می شود. وجود سیم پیچ حامل جریان باعث ایجاد شار مغناطیسی در داخل هسته خواهد شد.



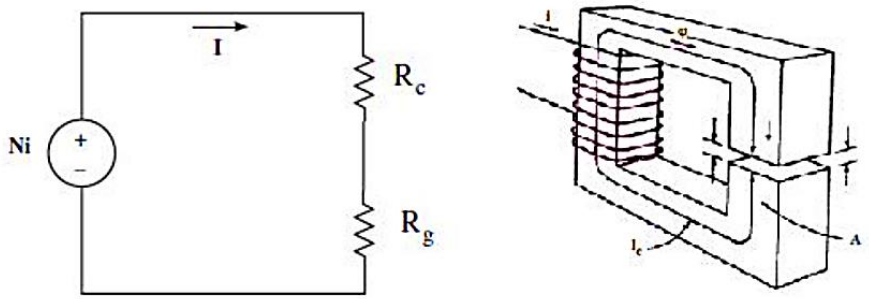
ارتباط مدارهای مغناطیسی و مدارهای الکتریکی



تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

مدار مغناطیسی با فاصله هوایی

در برخی از دستگاههای الکتریکی هسته پیوسته نبوده و بخشی از هسته از یک شکاف هوائی تشکیل می شود. به عنوان مثال در ماشین های الکتریکی دوار ، قسمت دوار که بعداً روتور خواهیم نامید توسط یک فاصله هوائی از قسمت ساکن که استاتور نام دارد ، جدا شده است. در این صورت هرچند شاری که در داخل هسته تولید می شود با شاری که در شکاف هوائی ایجاد خواهد شد برابرند ولی مقاومت معادلی که برای هسته در نظر گرفته شده با مقاومت فاصله هوائی یکسان نبوده و المان دیگری نیز به مدار معادل الکتریکی مربوط به مدار مغناطیسی دارای شکاف هوائی اضافه خواهد شد. این موضوع در شکل ۱ — ۱۰ نشان داده شده است.



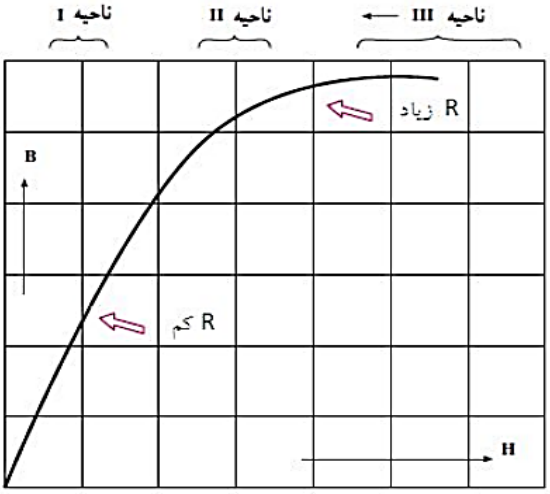
جدول زیر کمیت های مربوط به میدان های مغناطیسی را نشان می دهد:

کمیت	علامت	فرمول (یا ضریب)	واحد (SI)
نیروی محرکه مغناطیسی	$F(\theta)$	$F = N.I$	A
شدت میدان مغناطیسی	H	$H = \frac{\theta}{l}$	$\frac{A}{m}$
فوران مغناطیسی	ϕ	$\phi = B.A$	$V.s = wb$
چگالی فوران مغناطیسی	B	$B = \frac{\phi}{A}$	$\frac{wb}{m^2} = T$
ضریب نفوذ مغناطیسی	μ	$\mu = \frac{B}{H}$	$\frac{V.s}{A.m} = \frac{wb}{A.m}$
ضریب نفوذ مغناطیسی خلأ	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$	$\frac{V.s}{A.m} = \frac{wb}{A.m}$
ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی	μ_r	$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$	بدون واحد
مقاومت مغناطیسی	R_m	$R_m = \frac{l}{\mu A}$	$\frac{A}{wb}$

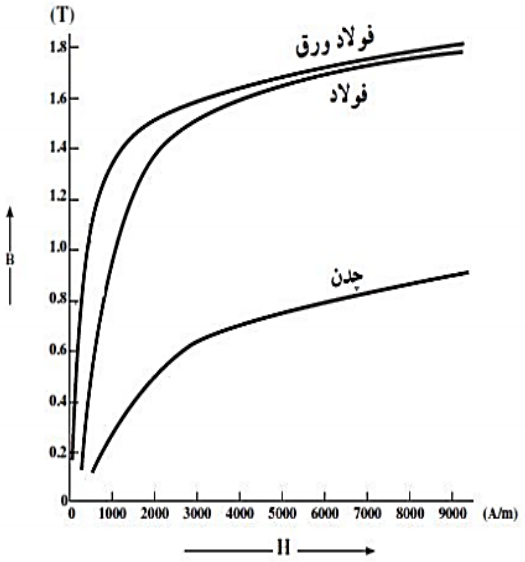
تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

منحنی مغناطیس شوندگی مواد مغناطیسی

در مدارهائی که در ساختار آن از مواد فرو مغناطیس استفاده شده است، هرگاه جریان مدار افزایش یابد ، شدت میدان مغناطیسی نیز افزایش خواهد یافت. منحنی توصیف کننده رفتار چگالی شار در برابر تغییرات شدت میدان مغناطیسی را در اصطلاح منحنی مغناطیس شوندگی نامیده و به صورت زیر نمایش می دهیم:



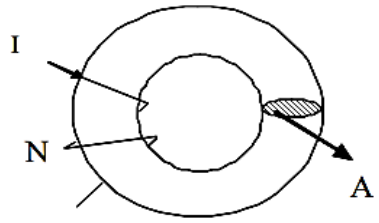
در شکل ۱ – ۱۲ منحنی مغناطیس شوندگی برخی از هسته های مغناطیسی داده شده است.



تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

مثال ۱:

یک مدار مغناطیسی چنبره ای شکل مفروض است شعاع متوسط ۲۵ سانتی متر وسطح مقطع $3cm^2$ می‌باشد تعداد دور سیم پیچ ۶۰۰ دور و جریان مستقیم عبوری از آن A ۱,۵ می‌باشد. ضریب نفوذ پذیری مغناطیسی نسبی هسته ۱۵۰۰ است مطلوب است :



الف- مقاومت مغناطیسی هسته

ب – MMF و H دراین مدار مغناطیسی

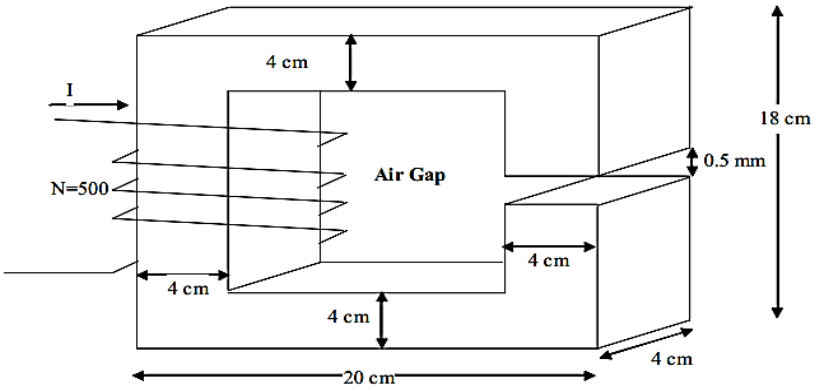
ج- شار و چگالی شار در هسته چنبره

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

مثال ۲:

در شکل روبرو اگر بخواهیم چگالی شاری معادل یک شاری در این سازه شکل بگیرد جریان سیم پیچی را حساب کنید.

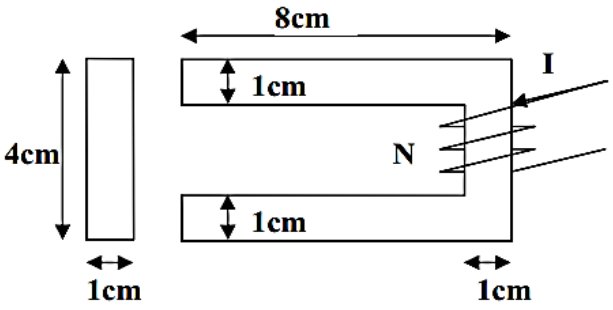
نفوذپذیری مغناطیسی نسبی ۳۹۸۰ می باشد.



تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

مثال ۳:

مثال: مدار مغناطیسی یک رله الکترو مغناطیسی :



اگربخواهیم شاری معادل 5C=WB در سازه شکل بگیرد MMF موردنیاز را حساب کنید. جنس هسته را فولاد ریخته گری در نظر بگیرید .

اثر پراکندگی شار را درنظر بگیرید.

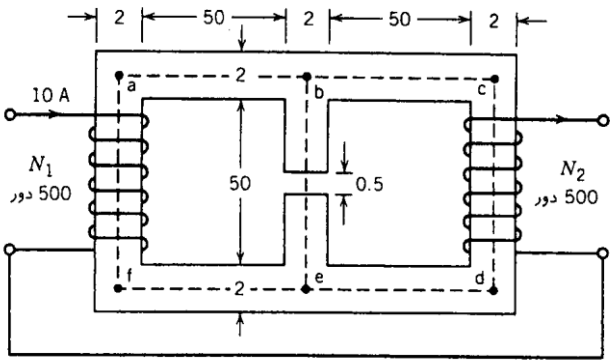
$\ell g = 0.5mm$

عمق هسته = 1Cm

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

مثال ۴:

در مدارمغناطیسی شکل زیر ضریب نفوذپذیری مغناطیسی نسبی هسته $\mu_r = 1200$ بوده و از شار نشتی صرف نظر شده است. سطح مقطع هسته مربعی بوده و در تمام مسیر یکسان است. چگالی شار در شکاف هوایی را محاسبه کنید.



تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

اندوکتانس

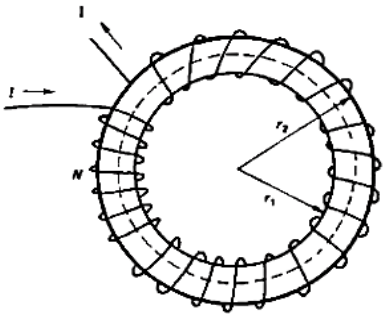
هرگاه سیمی به دور یک هسته فرومغناطیس همانند آنچه که در شکل ۱ – ۱۳ نشان داده شده است پیچیده شود ، یک المان مداری ایده آل به نام اندوکتانس(سلف) ایجاد خواهد شد. مقدار عددی اندوکتانس برابر نسبت (شار–دور) به جریان بوده و داریم :

مثال ۵:

در سیم پیچی نشان داده شده در شکل زیر با فرض اینکه تعداد دور سیم پیچی ۲۰۰ دور و جنس هسته از نوع فولاد سیلیکونی با سطح مقطع دایره و شعاع داخلی 25cm و شعاع خارجی 33cm بوده و جریانی معادل ۳/۲ آمپر از سیم پیچی بگذرد، مطلوبست :

الف) محاسبه چگالی شار در هسته

ب) اندوکتانس سیم پیچ مدار.



تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

مثال ۶:

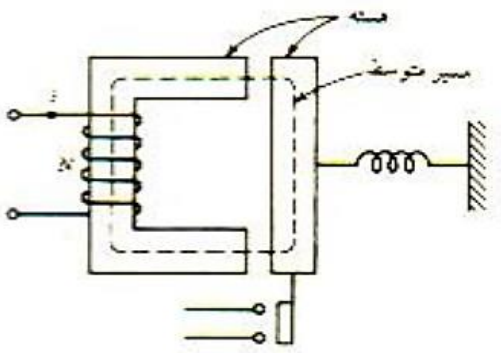
۶ - مدار شکل زیر یک رله ساده را نشان می دهد. هرگاه تعداد دور سیم پیچی برابر N=500 دور ، طول متوسط مسیر هسته l_c=360mm ، طول هرشکاف هوائی l_g=0.7mm ، جنس هسته ازنوع فولاد ریخته گری و چگالی شار لازم برای عملکرد مطلوب رله برابر B_c=0.8 T باشد مطلوبست:

الف) رسم مدار معادل الکتریکی

ب) جریان سیم پیچ

ج) ضریب نفوذپذیری نسبی هسته

چ) هرگاه رله عمل کرده و فاصله هوائی حذف گردد، با فرض ثابت بودن چگالی شار ، میزان جریان عبوری از سیم پیچ را محاسبه نمائید.



تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

ساختار ماشین های جریان مستقیم

ماشین های الکتریکی دوار که موضوع بحث این درس می باشند به دو بخش اساسی تقسیم بندی می شوند:

۱ – قسمت ثابت یا ساکن یا استاتور[۱] که ثابت بوده و قسمت بیرونی یا خارجی ماشین را تشکیل می دهد. به این قسمت در اصطلاح عامیانه پوسته ، یوک ، یوغ یا بدنه نیز گفته می شود. ساختار استاتور از قسمت های متعددی تشکیل یافته که در شکل ۳ – ۱ تشریح شده است.

۲ – قسمت متحرک یا دوار یا روتور[۲] قسمت درونی ماشین را تشکیل می دهد و می تواند به صورت آزادنه بچرخد. روتور نیز مانند استاتور از قسمت های مختلفی تشکیل یافته که در شکل ۳ – ۱ مشخص شده است.

لازم به توضیح است که در ساختمان ماشین های الکتریکی از هسته آهن فرومغناطیس استفاده می شود تا پیوند مغناطیسی بین کلاف های تشکیل شده از هادی های موجود در شیار های روتور و استاتور، تقویت شود. این نوع هسته باعث می گردد تا چگالی شار بیشتری تولید شده و حجم ماشین به طور چشم گیری کوچک شود. بنابر این انتظار می رود که در ساختمان ماشین های الکتریکی حداقل دو دسته سیم پیچی وجود داشته باشد. دسته اول که معمولاً بر روی مدار روتور قرار داشته[۳] و ولتاژ در آنها القاءمی شود سیم پیچی آرمیچر[۴] نام دارد.دسته دوم سیم پیچی هائی هستند که از آنها جریان تحریک عبور داده می شود تا میدان مغناطیسی به وجود آمده و تولید شار نمایند. به این سیم پیچی ها که معمولاً بر روی استاتور قرار داده می شوند، سیم پیچی تحریک یا سیم پیچی میدان[۵] گفته می شود.

ولتاژ القاءشده در سیم پیچی آرمیچر متناوب بوده و با توج به DC بودن ساختار ماشین باید یکسو گردد. برای این منظور از تیغه های کموتاتور[۱] در حضور جاروبک ها استفاده می شود. این ساختار مرکب در حقیقت به عنوان یکسوسار مکانیکی عمل می کند.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

نیروی محرکه القایی در ماشین DC (ولتاژ آرمیچر)

زمانیکه آرمیچر در داخل میدان مغناطیسی ناشی از قطب های استاتور می چرخد در ولتاژی در سیم پیچی آرمیچر القاء می گردد. این ولتاژ القاء شده به سه عامل شار مغناطیسی ، سرعت زاویه ای دوران روتور و نوع سیم پیچی و تعداد هادی های ماشین بستگی داشته و به دو روش :

۱ – استفاده از قانون القاء فاراده به دلیل تغییرات شار پیوندی یا شار دور

۲ – استفاده از مفهوم قطع شدن خطوط قوا به دلیل حرکت هادی ها

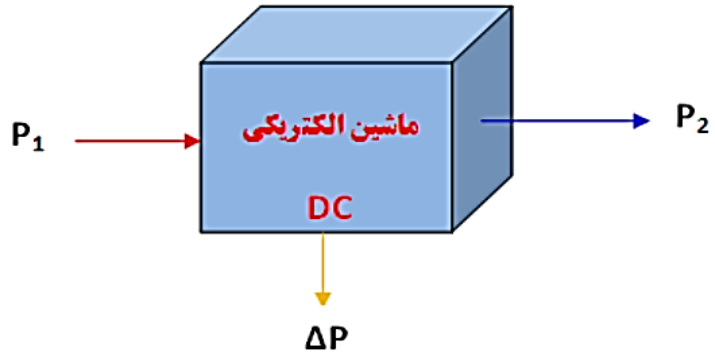
محاسبه گشتاور الکترومغناطیسی حاصله در ماشین DC

با توجه به عبور جریان از سیم پیچی های آرمیچر و در حضور میدان مغناطیسی ناشی از قطبهای استاتور، گشتاور الکترومغناطیسی تولید می شود. این گشتاور که به سادگی با استفاده از قانون نیروی لورنتس قابل توجیه می باشد به سه عامل جریان آرمیچر ، شار مغناطیسی حاصل از قطب ها و ساختمان ماشین بستگی دارد. نشان داده شده است که :

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

پخش توان و بازده در ماشین های الکتریکی جریان مستقیم

همانگونه که در تعریف ماشین الکتریکی ذکر گردید ، ماشین الکتریکی سیستمی است که کار تبدیل انرژی الکترومکانیکی را انجام می دهد. بنابراین انتظار می رود که ماشین هم در ورودی و هم در خروجی خود نوع خاصی از توان را تحویل نماید. هرگاه مطابق آنچه که در بلوک دیاگرام شکل ۳ – ۲۱ نشانداده شده است، توان ورودی ماشین الکتریکی را با P_1 و توان خروجی آن را با P_2 نمایش دهیم، اختلاف بین این دو توان را با ΔP نشان داده و آن را تلفات ماشین می نامیم.



باید توجه نمود عددی که روی پلاک ماشین های الکتریکی نوشته می شود مربوط به توان خروجی ماشین می باشد و از آنجائیکه تلفات در ماشین های الکتریکی همواره وجود دارد لذا انتظار می رود مقدار توان ورودی همواره به اندازه تلفات ماشین از توان خروجی بزرگترباشد. تلفات در ماشین های الکتریکی عمدتاً به صورت حرارت آزاد می گردد که باید کنترل شود.

بررسی رابطه بین توان های ورودی و خروجی نه تنها منجر به تعریف تلفات می گردد بلکه نسبت بین توان خروجی به توان ورودی نیز تعریف بسیار مهم دیگری به نام بازده[1] (راندمان) در ماشین های الکتریکی را ارائه می دهد. لذا می توان نوشت :

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

انواع تلفات در ماشین های الکتریکی جریان مستقیم

۱- تلفات مسی

می دانیم که ماشین های الکتریکی از مجموعه ای از کلاف های سیم پیچی مانند سیم پیچی آرمیچر ، سیم پیچی میدان ، سیم پیچی جبرانگر ، سیم پیچی کمکی و همچنین تیغه های کموتاتور و جاروبک تشکیل شده است که هرکدام از آنها دارای یک مقاومت اهمی داخلی هرچند کوچک می باشند که در اثر عبور جریان ، بخشی از توان داده شده را تلف می نمایند. به این تلفات ، تلفات مسی ماشین گفته می شود. در ملاحظات عملی مقاومت اهمی سیم پیچی های میدان را با R_F و مقاومت اهمی کل مدار آرمیچر شامل سیم پیچی آرمیچر ، سیم پیچی کمکی و جبرانگر ، تیغه های جاروبک و تیغه های کموتاتور که مدار تغذیه آرمیچررا تشکیل می دهند با R_A نمایش داده و تلفات مسی را به صورت زیر محاسبه نمایند:

۲- تلفات مکانیکی یا اصطکاکی

در تعریف ماشین های الکتریکی دوار گفتیم که قسمت دوار یا روتور با استفاده از تکیه گاه خود که بر روی قسمت ثابت یا استاتور قرار دارد به چرخش وا داشته می شود، هرچند با استفاده از روان کننده های حرکتی[۱] سعی شده است اصطکاک بین روتور و استاتور کاهش یابد ولی این کاهش به سمت صفر میل نکرده لذا بخشی از توان ورودی به سیستم را تلف خواهد کرد. از طرف دیگر مقاومت مربوط به مقاومت هوا و نیز مقاومت مربوط به اصطکاک بین جاروبک و کموتاتور نیز باعث بروز تلفات در ماشین خواهد شد. مجموع این تلفات که تابع سرعت چرخش ماشین نیز می باشد را تلفات مکانیکی نامیده و با P_{mec} نمایش می دهند.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

۳- تلفات آهنی یا تلفات هسته

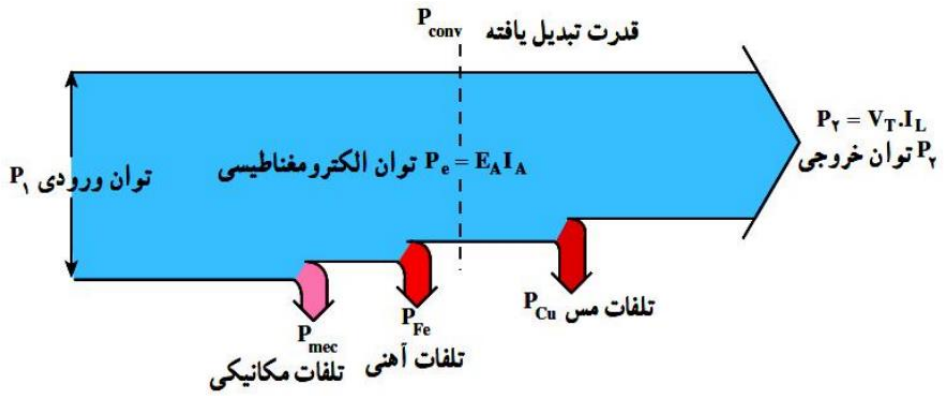
همانگونه که در فصل یک نیز به اجمال توضیح داده شد ، استفاده از هسته مغناطیسی، باعث بخشی از تلفات ماشین می گردد که ناشی از تلفات هیسترزیس و تلفات فوکو بوده و به جنس هسته و نوع ساخت آن بستگی دارد. البته همانگونه که می دانیم از آنجائیکه در قطبها تغییرات شار وجود ندارد تلفات فوکو و هیسترزیس در قطبها به وجود نمی آید لذا لذا تلفات هسته را نی توان ناشی از دو عمال ولتاژ القاء شده در آرمیچرEa و سرعت چرخش روتور دانست. تلافات آهن در ماشین های الکتریکی را با P_{Fe} نمایش می دهیم.

لازم به ذکر است که تلفات آهن و تلفات مکانیکی در نواحی مختلف کار ماشین از بی باری تا بار نامی ثابت بوده و لذا مجموع این دو تلفات را به نام تلفات ثابت ماشین می‌نامیم اما تلفات مسی تابع جریان گذرنده از مدار آرمیچر بوده و در بارهای مختلف تغییر می کند لذا به تلفات مسی ، تلفات متغییر نیز گفته می شود.

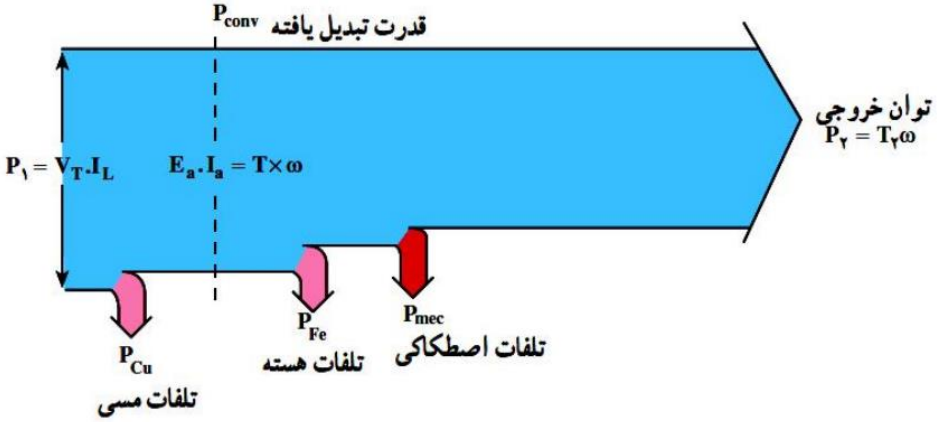
با استفاده ازمطالب فوق،کل تلفات توان در ماشین‌های‌جریان‌مستقیم را می‌توان مطابق رابطه زیر محاسبه نمود:

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

پخش توان در ژنراتور جریان مستقیم



پخش توان در موتور جریان مستقیم



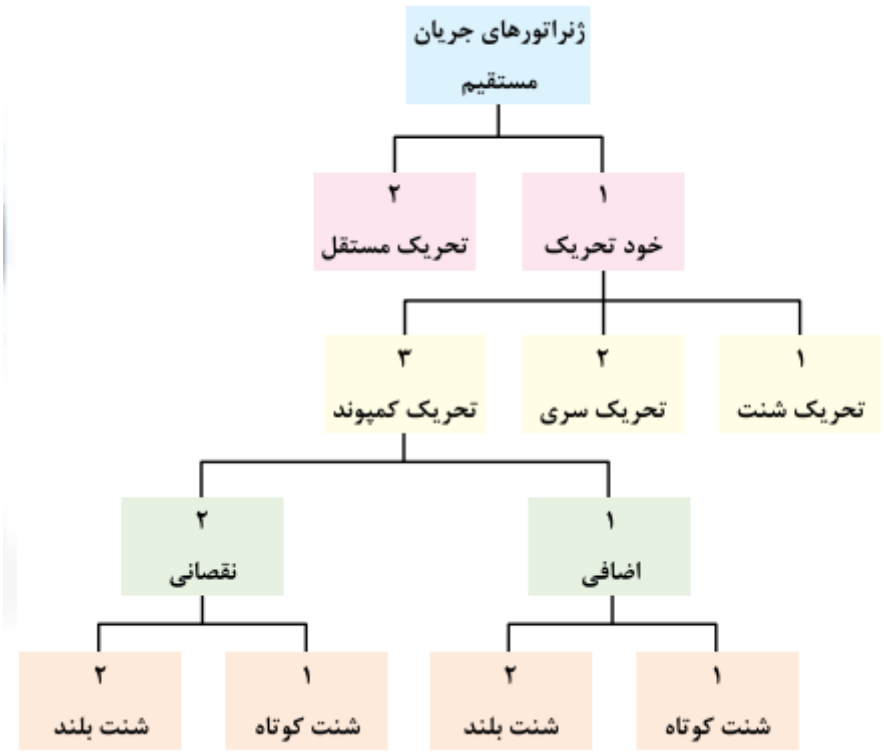
تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

مثال ۷:

۱ – مشخصات نامی یک ژنراتور جریان مستقیم به صورت 12Kw – 310V داده شده است، هرگاه تلفات مکانیکی این ژنراتور برابر710w ، تلفات مسی مدار میدان برابر 290w ، تلفات مسی مدار آرمیچر برابر 350w و تلفات آهن آن برابر 50w داده شده باشد مطلوبست محاسبه تلفات کل ژنراتور ، توان ورودی ژنراتور ، توان الکترومغناطیس و راندمان ژنراتور.

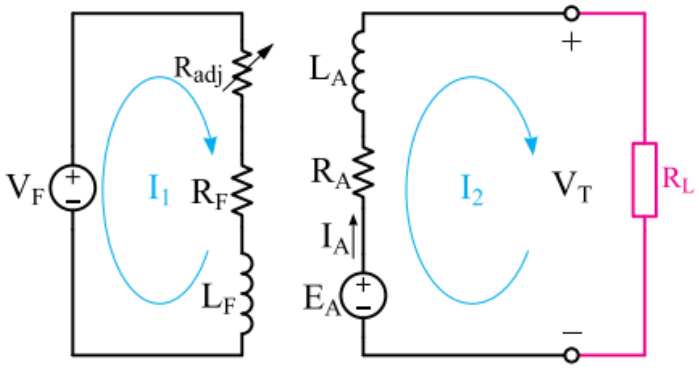
تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

ژنراتورهای جریان مستقیم



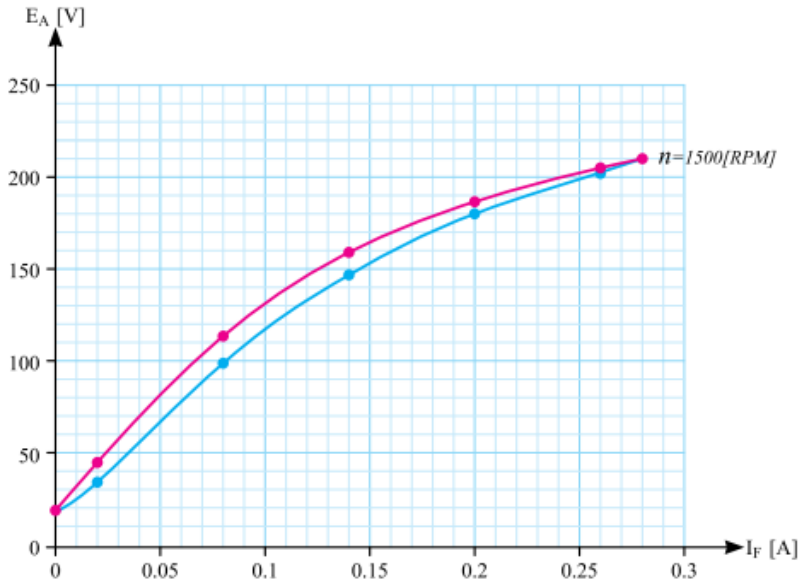
۱- ژنراتور جریان مستقیم تحریک مستقل

هرگاه مدار میدان تحریک مستقل از مدار آرمیچر بوده و با استفاده از یک منبع تحریک DC خارجی تغذیه گردد ، ساختار حاصل را ساختار تحریک مستقل گویند.



تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

منحنی مشخصه بی باری ژنراتور تحریک مستقل



مثال ۸:

یک ژنراتور جریان مستقیم ازنوع تحریک مستقل، ۶ کیلو واتی، ۱۲۰ ولتی، ۱۲۰۰ دور در دقیقه می‌چرخد. مشخصه مغناطیس شوندگی آن در سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه طبق جدول زیر است.

If (A)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1	1.2
Ea (V)	5	20	40	60	79	93	102	114	117	120	125

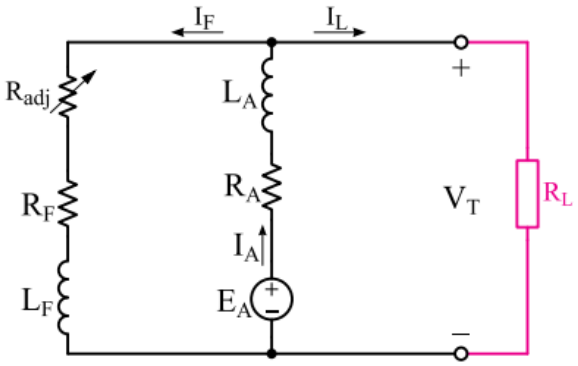
مقاومت آرمیچر ۰/۲ اهم و مقاومت مدار تحریک آن ۱۰۰ اهم که با ولتاژ ۱۲۰ ولت تحریک می‌شود. این ژنراتور به باری با امپدانس ۱۲ اهم متصل است و رئوستای (مقاومت متغیر) مدار تحریک این ژنراتور از صفر تا ۱۵۰ اهم تغییر می‌کند.

الف) ماکزیموم ولتاژ بی باری را حساب کنید.

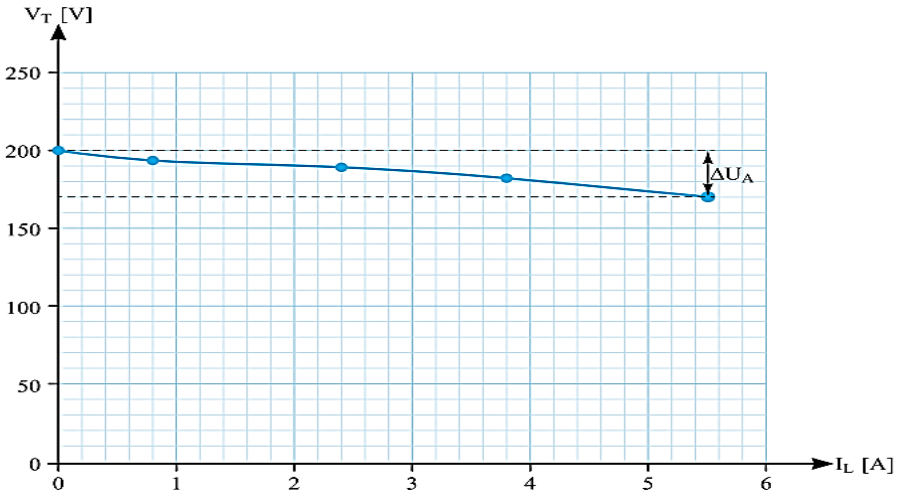
ب) ولتاژ خروجی ژنراتور را در صورتی حساب کنید که در بار کامل عکس‌العمل ژنراتور ۰/۱ آمپر باشد.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

۲- ژنراتور جریان مستقیم تحریک شنت



منحنی مشخصه بارداری ژنراتور تحریک شنت



تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

مثال ۹:

۳ – در یک ژنراتور شنت خود تحریک ، مقاومت مدار تحریک 160Ω و مقاومت مدار آرمیچر 0.03Ω و سرعت نامی 165rpm و جریان نامی آرمیچر Ia=100A می باشد. هرگاه منحنی بی باری این ژنراتور در سرعت نامی با رابطه $E_a = 155I_F + 5$ توصیف گردد. هرگاه بتوان از عکس العمل آرمیچر صرفنظر نمود مطلوبست محاسبه :

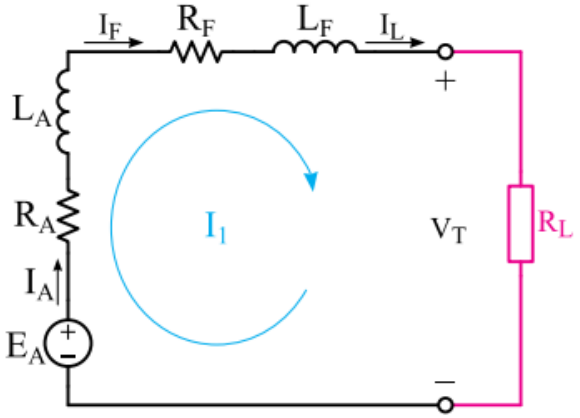
الف) ولتاژ خروجی ژنراتور در حالت بی باری.

ب) ولتاژ خروجی ژنراتور در جریان نامی .

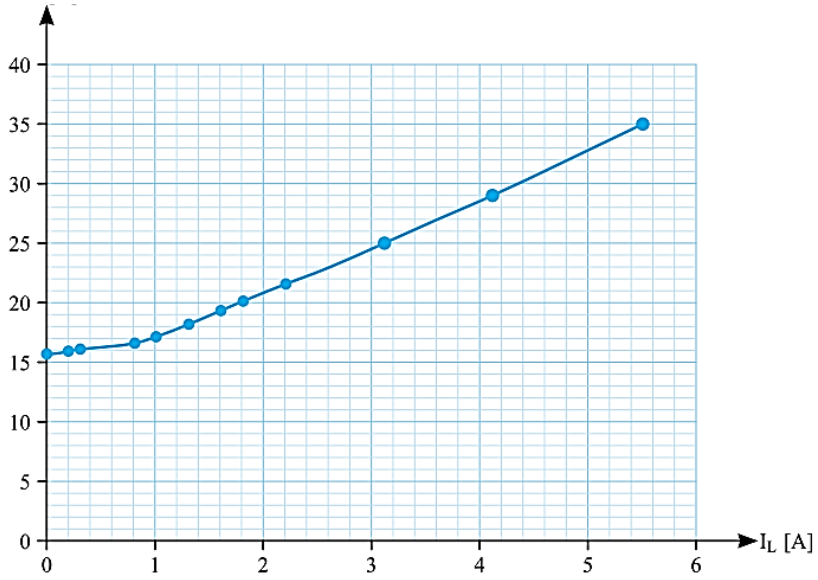
ج) میزان جریان اتصال کوتاه ژنراتور.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

۳- ژنراتور جریان مستقیم تحریک سری



منحنی مشخصه بارداری ژنراتور تحریک سری

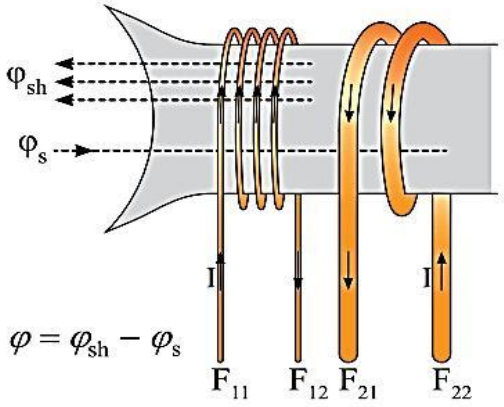


تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

۴- ژنراتور جریان مستقیم تحریک کمپوند

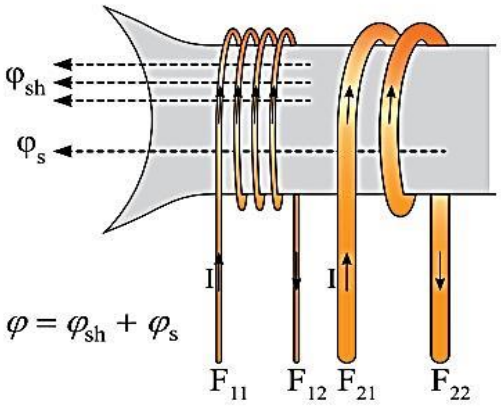
۲ ـ ۲۵ ـ ۳ ـ ژنراتور کمپوند نقصانی

اگر سیم‌پیچی تحریک شنت و سری به گونه‌ای با مدار سیم‌پیچی آرمیچر ارتباط داده شوند تا جریان آن‌ها هم جهت نباشد به‌طوری که فوران ناشی از سیم‌پیچی تحریک سری φ_s از فوران ناشی از سیم‌پیچی تحریک شنت φ_{sh} کم شود، در این صورت ژنراتور را «کمپوند نقصانی» گویند. شکل (۳۷ ـ ۳)

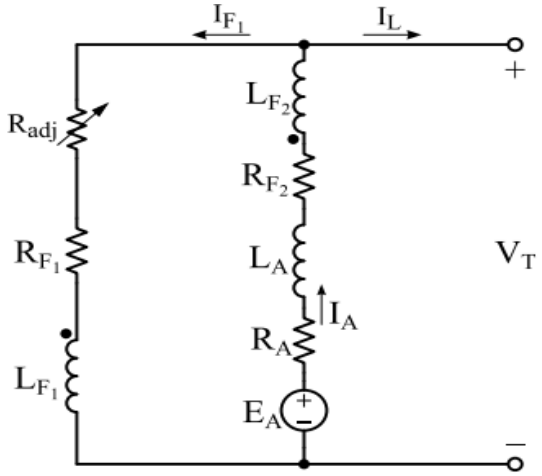


۱ ـ ۲۵ ـ ۳ ـ ژنراتور کمپوند اضافی

اگر سیم‌پیچی‌های تحریک شنت و سری به گونه‌ای با مدار سیم‌پیچی آرمیچر ارتباط داده شوند تا جریان آن‌ها هم جهت باشد به‌طوری که فوران ناشی از سیم‌پیچی تحریک سری φ_s به فوران ناشی از سیم‌پیچی تحریک شنت φ_{sh} اضافه شود در این صورت ژنراتور را «کمپوند اضافی» گویند. شکل (۳۶ ـ ۳)

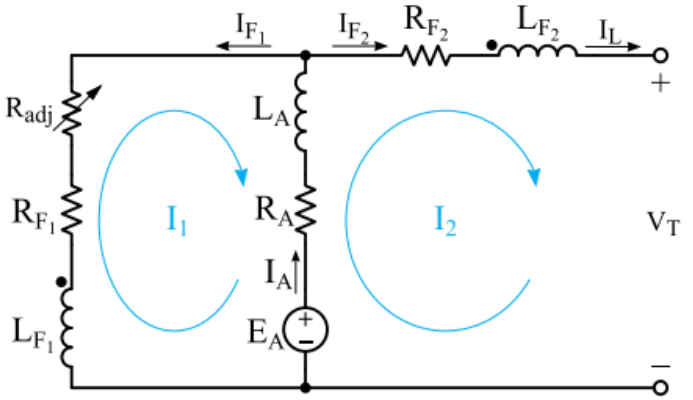


ژنراتور کمپوند اضافی با شنت بلند

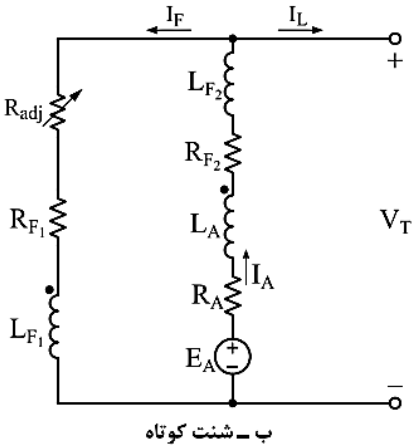


تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

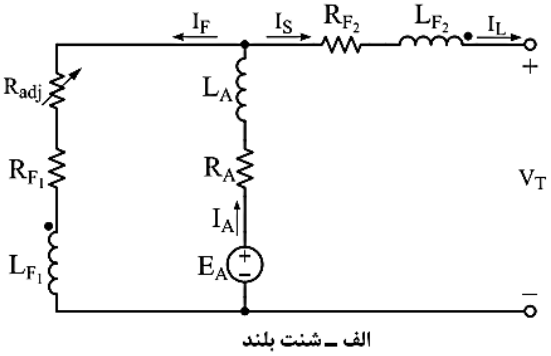
ژنراتور کمپوند اضافی با شنت کوتاه



ژنراتور کمپوند نقصانی با شنت بلند و کوتاه



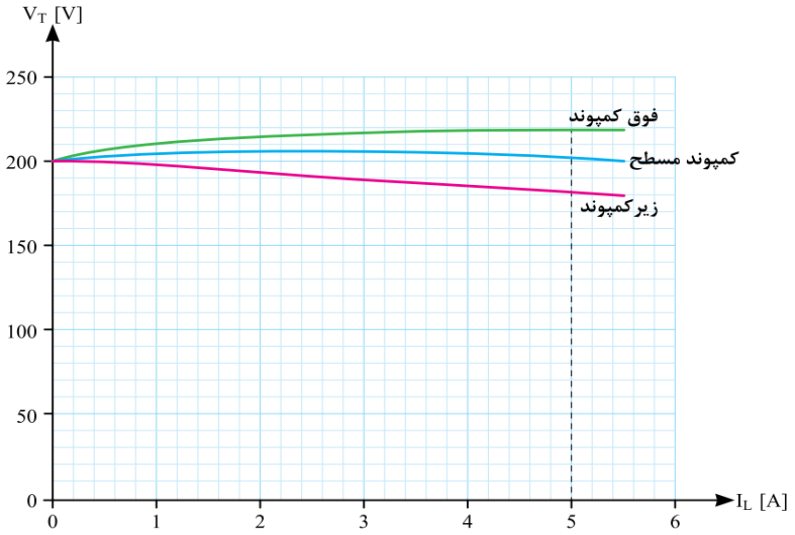
ب ــ شنت کوتاه



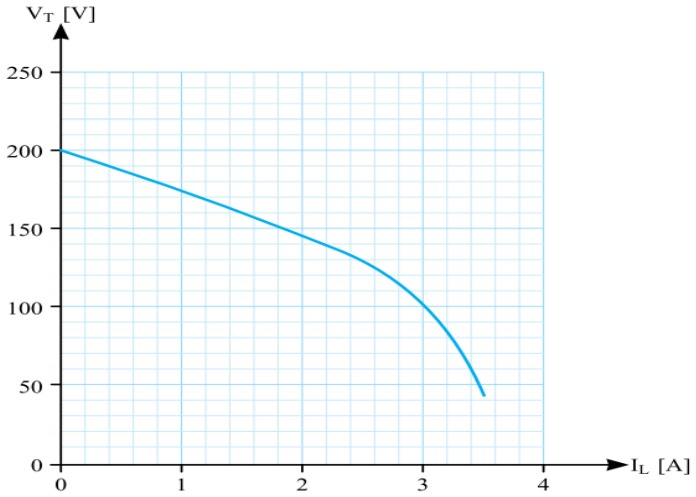
الف ــ شنت بلند

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

منحنی مشخصه بارداری ژنراتور کمپوند اضافی



منحنی مشخصه بارداری ژنراتور کمپوند نقصانی



مثال ۱۰:

یک ژنراتور DC شنت ۲۴ کیلوواتی ۲۴۰ ولتی و ۱۰۰۰ دور در دقیقه ای با مشخصات زیر مفروض است:

$Ra = 0.12\ \Omega$ (مقاومت آرمیچر)

$N_f = 600$ (تعداد حلقه یا دور سیم پیچ هر قطب)

ژنراتور را بصورت تحریک مستقل، با همان سرعت مورد بهره برداری قرار می گیرد. اگر جریان تحریک ۱/۸ آمپر باشد و ولتاژ پایانه ماشین در بی باری ۲۴۰ ولت خواهد شد. اگر ژنراتور جریان اسمی را تحویل دهد ولتاژ پایانه ماشین ۲۲۵ ولت می گردد.

الف- Ea و گشتاور حاصله در هنگامی که بار نامی تحویل می شود، چقدر است؟

ب- افت ولتاژ ناشی از عکس العمل آرمیچر چیست؟

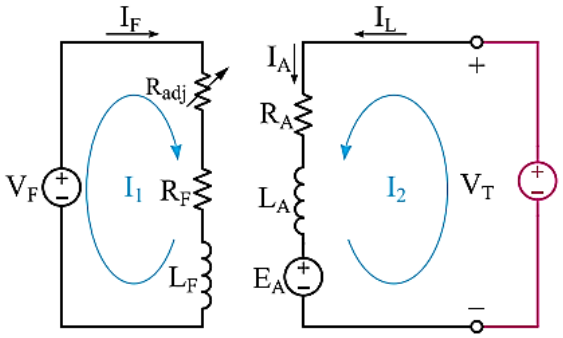
تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

ج- اگر جریان تحریک به ۲/۲ آمپر افزایش یابد ولتاژ پایانه در دو شرایط بی باری و نامی یکسان خواهد بود. برای این یکسان سازی به کمک تبدیل ژنراتور به کمپوند عملی می شود. اگر جریان تحریک همان ۱/۸ آمپر باشد، تعداد حلقه های سیم پیچ سری را حساب کنید.

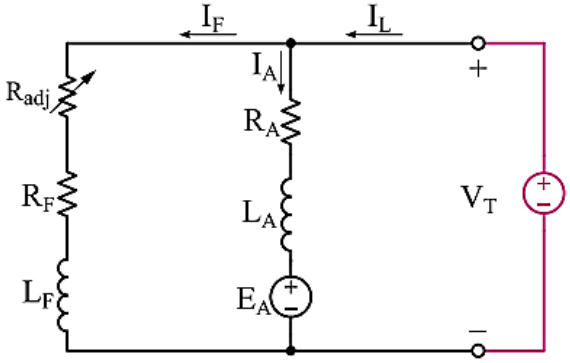
تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

موتورهای جریان مستقیم

۱- موتور جریان مستقیم با تحریک مستقل

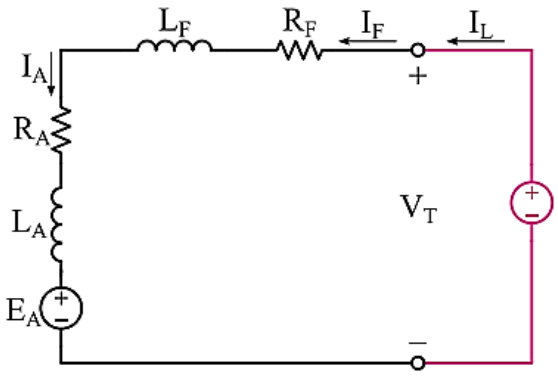


۲- موتور جریان مستقیم با تحریک شنت



تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

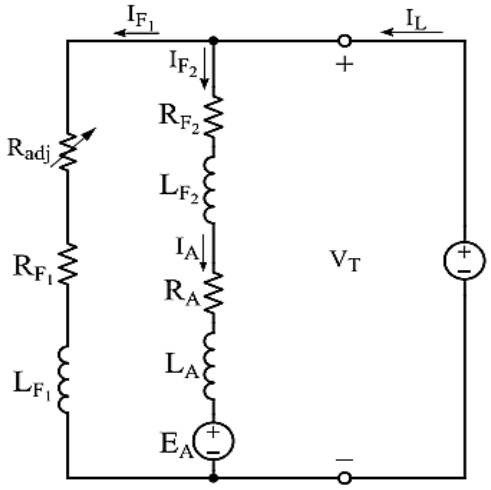
۳- موتور جریان مستقیم با تحریک سری



۴- موتور جریان مستقیم با تحریک کمپوند

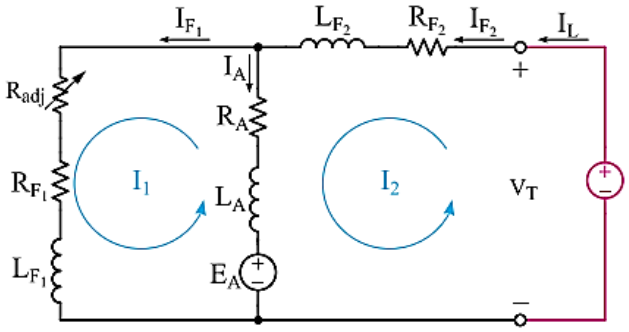
کمپوند اضافی – کمپوند نقصانی

موتور کمپوند با شنت بلند



تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

موتور کمپوند با شنت کوتاه



مثال ۱۱:

یک موتور DC شنت بار آسانسوری را که به گشتاور ثابت ۳۰۰ نیوتن متر احتیاج دارد می کشد. موتور به یک منبع ۶۰۰ ولتی متصل و در سرعت ۱۵۰۰ دور در دقیقه می چرخد. مقاومت آرمیچر ۰/۵ اهم است.

الف- جریان آرمیچر را تعیین کنید.

ب- اگر شار میدان شنت ۱۰ درصد کاهش یابد، جریان آرمیچر و سرعت موتور را حساب کنید.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

مثال ۱۲:

یک موتور DC سری ۲۳۰ ولتی، ۱۲ اسب بخاری و ۱۲۰۰ دور در دقیقه ای مفروض است و به منبع ولتاژ ۲۳۰ ولتی وصل است. این موتور ۴۰ آمپر از شبکه می کشد و تحت سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه می چرخد. مقاومت آرمیچر ۰/۲۵ اهم و مقاومت مدار تحریک سری ۰/۱ اهم است. سستم مغناطیسی را خطی فرض کنید.

الف- توان و گشتاور حاصله را بیابید.

ب- اگر موتور ۲۰ آمپر از شبکه بکشد، سرعت، گشتاور و توان موتور را حساب کنید.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

فصل دوم: ترانسفورماتور

مقدمه

ترانسفورماتور وسیله‌ای است که انرژی الکتریکی را در یک سیستم جریان متناوب از یک مدار به مدار دیگر انتقال می دهد و می تواند ولتاژ کم را به ولتاژ زیاد وبالعکس تبدیل نماید.

برخلاف ماشین‌های الکتریکی که انرژی الکتریکی و مکانیکی را به یکدیگر تبدیل می کند ، در ترانسفورماتور انرژی به همان شکل الکتریکی باقی می‌ماند، فرکانس آن نیز تغییر نمی‌کند و فقط مقادیر ولتاژ و جریان در اولیه و ثانویه متفاوت خواهد بود .

ترانسفورماتورها نه تنها به عنوان اجزاء اصلی سیستم‌های انتقال و پخش انرژی مطرح هستند؛ بلکه در تغذیه مدارهای الکترونیک و کنترل ، یکسوسازی ، اندازه گیری و کوره های الکتریکی نیز نقش مهمی بر عهده دارند.

انواع ترانسفورماتورها را می‌توان برحسب وظایف آنها بصورت ذیل بسته بندی کرد:

۱. ترانسفورماتورهای قدرت در نیروگاه‌ها و پست‌های فشارقوی
۲. ترانسفورماتورهای توزیع در پستهای توزیع زمینی و هوایی ، برای پخش انرژی در سطح شهرها و کارخانه‌جات
۳. ترانسفورماتورهای قدرت برای مقاصد خاص مانند کوره‌های ذوب آلومینیم ، یکسوسازها و واحدهای جوشکاری
۴. اتوترانسفورماتورها جهت تبدیل ولتاژ با نسبت کم و راه اندازی موتورهای القایی
۵. ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان جهت مقاصد اندازه گیری و حفاظت
۶. ترانسفورماتور زمین برای ایجاد نقطه صفر و زمین کردن نقطه صفر
۷. ترانسفورماتور آزمایشگاه فشار قوی و ...

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

تعاریف و اصول کار ترانسفورماتور

ترانسفورماتور وسیله ای است که انرژی الکتریکی را در یک سیستم جریان متناوب از مداری به مدار دیگر انتقال می دهد و می تواند ولتاژ زیاد را به کم و بلعکس تبدیل نماید . بطورکلی ترانسفورماتور مبدل سطح ولتاژ می باشد.

ترانسفورماتور امروز یکی از وسایل لازم و حیاتی در سیستم های الکتریکی و همچنین سیستم های تبدیل انرژی می باشد و از دو بخش اصلی زیر تشکیل می گردد :

۱- هسته که از ورقه های نازک فولادی ساخته می شود .
۲- دو یا چند سیم پیچ که در ترانسفورماتور های معمولی با هم رابطه مغناطیسی و در اتوترانسفورماتورها، رابطه الکتریکی و مغناطیسی دارند .

آن بخش از سیم پیچ که از مدار الکتریکی انرژی می گیرد سیم پیچ اولیه و بخش دیگر که از آن انرژی گرفته می شود سیم پیچ ثانویه نامیده می شود . سیم پیچ متصل به مدار با ولتاژ زیاد به سیم پیچ فشار قوی (H.V) و سیم پیچی که به مدار با ولتاژ کم اتصال می یابد به سیم‌پیچ فشار ضعیف (L.V) معروف است .

ترانسفورماتورهای که ولتاژ سیم پیچ ثانویه از ولتاژ اولیه آن کمتر باشد ترانسفورماتور کاهنده و آنکه ولتاژ ثانویه‌اش از ولتاژ اولیه بیشتر باشد ترانسفورماتور افزاینده و ترانسفورماتوری که ولتاژ سیم پیچ اولیه و ثانویه آن برابر باشند، ترانسفورماتور ایزوله نامیده می‌شوند .

اگر سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور به منبع ولتاژ متناوب وصل شود، فوران متناوبی تولید خواهد شد که دامنه‌اش نسبت مستقیم با ولتاژ دو سر سیم پیچ اولیه و تعداد دورهای اولیه دارد. فوران تولید شده؛ سیم پیچ ثانویه را نیز دور می زند و ولتاژی در آن القاء می نماید که مقدار آن به شماره دوره های سیم پیچ ثانویه بستگی دارد . واضح است که ترانسفورماتور ها فقط با وجود فوران های متقابل که هر دو سیم پیچ را دور می زنند کار می‌کنند. این فوران ها (فلوها) از مواد فرو مغناطیسی (پرمابیلیته زیاد) به مراتب بهتر از سایر موارد عبور می‌نمایند و از اینروست که هسته ترانسفورماتورها از آهن (فورمغناطیس) می باشند . برای جلوگیری از اثر تخریبی هوا و بهبود شرایط خنک شدن ترانسفورماتورهای با قدرت زیاد ، معمولاً هسته و سیم پیچ های آنها را در مخزن پر از روغن قرار می دهند که این نوع ترانسفورماتور را روغنی می نامند و آنهایی که توسط هوا خنک می شوند به ترانسفورماتورهای خشک معروفند.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

قسمت‌های مختلف ترانسفورماتور

اگر چه اصول کار تمام ترانسفورماتورهای ولتاژ یکسان است ولی در ترانسفورماتورهای بزرگ به علت ولتاژ بالا و عبور جریان زیاد آنها ، هسته و سیم پیچ ها به شدت گرم می شوند و امکان بروز خسارت و از کار افتادن ترانسفورماتور وجود دارد ، این گونه ترانسفورماتورها باید به وسایل ایمنی مجهز گردند و ساختمان آنها پیچیده تر از ترانسفورماتورهای خشک با قدرت کم می باشد.

قسمتهای مختلف این ترانسفورماتور عبارتند از :

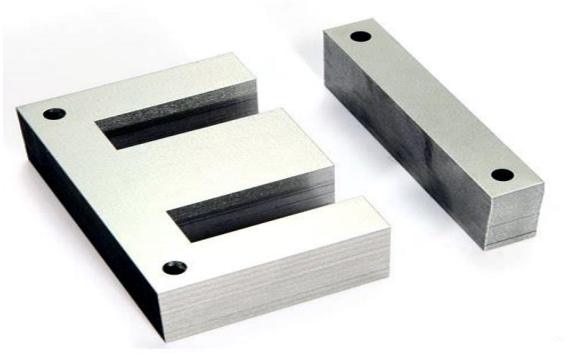
هسته - سیم پیچ ها (بوبین ها) - مخزن روغن - بوشینگ - پاک و لوله انفجار - تپ‌چنجر - ترمومترها - رله بو خهلتس – درجه نمای روغن – تابلوهای مشخصات – چرخها – شیرهای مختلف رواشها – لوله های ارتباط – ترانسفورماتورهای جریان – جعبه کنترل (فرمان پنکه ها ، ترموستات ، پمپ ورگولاتور) – سیستم خنک کننده (رادیاتورها – پنکه ها و غیره)

هسته

هسته های ترانسفورماتورها باید تا حد امکان دارای قابلیت نفوذ مغناطیسی خوب و قابلیت هدایت الکتریکی بد باشد . هسته های ترانسفورماتورها از ورقه‌ای نورد شده دینامو‌بلش یا فریت به ضخامت ۰/۳۵ تا ۰/۵۰ میلیمتر ساخته می شوند . هسته ها به خاطر کاهش تلفات فوکو و هیسترزیس به صورت مورق ساخته می شوند که این ورقه ها نسبت به هم عایق می باشند . این خاصیت توسط یک لایه ی نازک از رزین یا مواد عایقی دیگر تأمین می گردد . هسته های ترانسفورماتورها بسته به قدرت آنها ساخته و طراحی می گردد . که شامل دو نوع می باشد:

هسته های شکافدار (EI)　　هسته های نواری

کاربرد هسته های شکافدار بیشتر از هسته های نواری می باشد . و به این علت است که این هسته‌ها به راحتی در کنار هم قرار گرفته و سیم پیچ ها بر روی آنها نصب می شوند .



تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

سیم پیچ‌ها

سیم‌پیچ ترانسفورماتورها اغلب از جنس مس یا آلومینیم انتخاب می شوند. سیم پیچ‌های ترانسفورماتورهای کوچک را معمولاً روی قرقره می پیچند و جنس قرقره ها اغلب از ترموپلاست است. سیم پیچها در کل به دو صورت هستند . نواری: که غیر قابل تعمیر می باشند و به صورت طبقه طبقه: که به آنها دیسکی هم گفته می شود و قابل تعمیر هستند. سیم های به کار برده شده در ترانسفورماتورها ، بسته به قدرت آنها تغییر می کنند مثلاً در قدرتهای پایین و متوسط از سیم های با سطح مقطع کوچک و گرد استفاده می شود . در ترانسفورماتور های با قدرت زیاد از شمش‌هایی با سطح مقطع مربعی و یا نواری استفاده می شود .

نحوه ی قرار گرفتن سیم پیچ‌ها

معمولاً در ترانسفورماتورهای قدرت، ابتدا سیم پیچ ثانویه یا فشار ضعیف پیچیده می‌شود و سپس سیم پیچ اولیه یا فشار قوی پیچیده می شوند . این کار به خاطر این است که در صورت اتصالی ، سیم پیچ فشار قوی از هسته و اتصال به بدنه دور بماند و همچنین از بالا رفتن شدت میدان میان سیم پیچ اولیه و هسته جلوگیری شود.

نحوه ی اتصال سیم‌پیچ‌ها

در ترانسفورماتورهای سه فاز بسته به شریط بارگیری ترانسفورماتور ، اتصال سیم پیچ ها را تعیین می کنند . انواع اتصالات به شرح زیر می باشند :

۱. اتصال ستاره – ستاره (Y-y[۲])
۲. اتصال ستاره – مثلث (Y-d)
۳. اتصال مثلث – ستاره (D-y)
۴. اتصال مثلث – مثلث (D-d)
۵. ستاره – زیگزاگ (Y-z)

[۲]

نوع اتصال	سیم‌پیچ ثانویه	سیم‌پیچ اولیه
اتصال ستاره	y	Y
اتصال مثلث	d	D
اتصال زیگزاگ	z	-

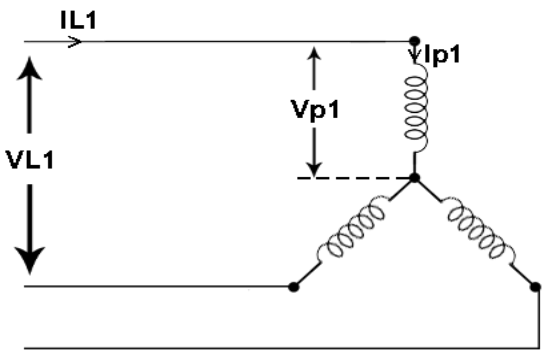
تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

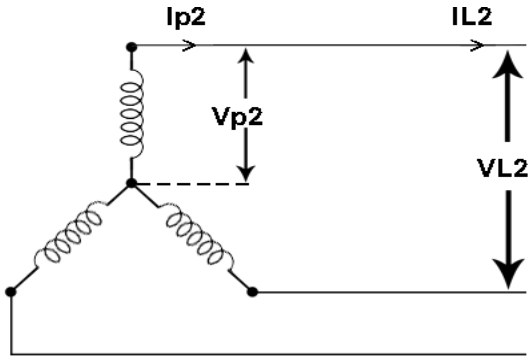
در میان اتصالات فوق فقط از یکی از آنها نمی توان در سیستم توزیع استفاده کرد که آن اتصال ستاره – ستاره می باشد . در این اتصال ، در صورتی که ترانسفورماتور به صورت نا متقارن زیر بار رود ترانسفورماتور می سوزد . علت این امر این است که ، هنگامی که از یک فاز ترانسفورماتور ستاره – ستاره جریان بیشتری کشیده شود در هسته شار بیشتری تولید می شود و هسته فوراً اشباع می شود و باعث گرم شدن بیش از حد می شود. از سوی دیگر هم برگشت این جریان از دو بازوی دیگر این ترانسفورماتور می باشد و بر بازوهای دیگر هم تأثیر می گذارد . در چنین مواردی سعی می شود در اولیه از اتصال مثلث استفاده شود. و در مواردی که استفاده از اتصال مثلث غیر ممکن باشد از اتصال زیگزاگ در ثانویه ی آن ترانسفورماتور استفاده می شود تا در صورت نامتقارن بودن جریان، فوران بر روی دو بازوی ترانسفورماتور توزیع شود.

۱. مدار، روابط ولتاژ، جریان و نسبت دور اتصال ستاره – ستاره (Y-y) بصورت زیر است:

در این نوع اتصال اگر از یک فاز بارگیری شود (منظور سمت ثانویه) باعث می شود روی یک سیم‌پیچ در سمت اولیه تأثیر بگذارد و دو فاز دیگر هیچ گونه تأثیری ندارد بنابراین اگر بیش از حد جریان از سیم عبور کند باعث سوختن همان سیم پیچ می شود.

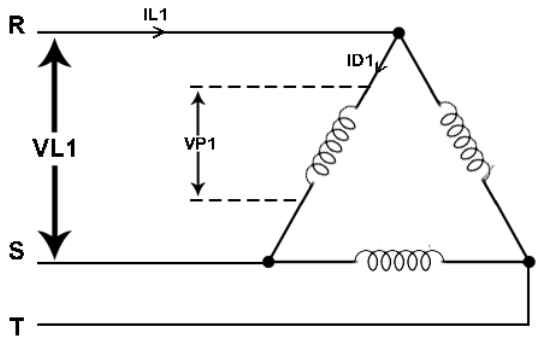
* سیم پیچ ثلاثه : در این اتصال به علت وجود هارمونیک شکل موج خروجی سینوسی نیست که برای رفع این عیب سیم پیچ متعادل کننده با اتصال مثلث بین اولیه و ثانویه استفاده می شود . سیم پیچ متعادل کننده هیچ ارتباطی با اولیه و ثانویه ندارد.

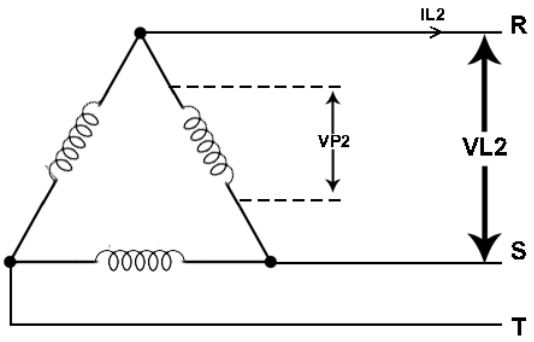




تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

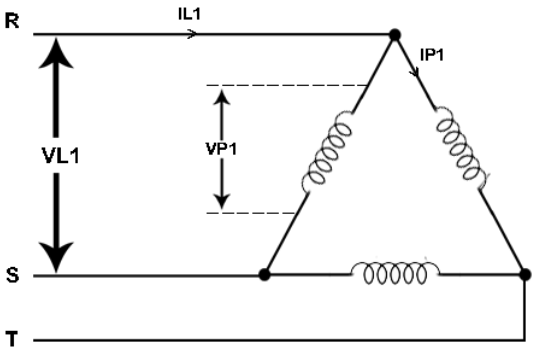
۲. مدار، روابط ولتاژ، جریان و نسبت دور اتصال مثلث – مثلث (D-d) بصورت زیر است:

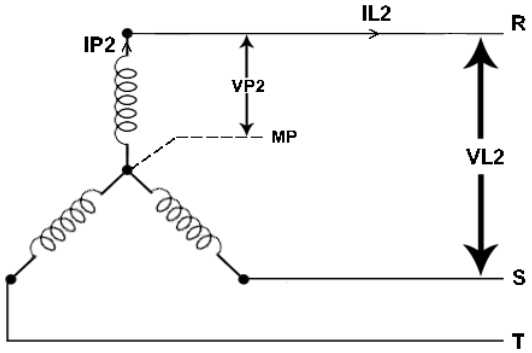




۳. مدار، روابط ولتاژ، جریان و نسبت دور اتصال مثلث – ستاره (D-y) بصورت زیر است:

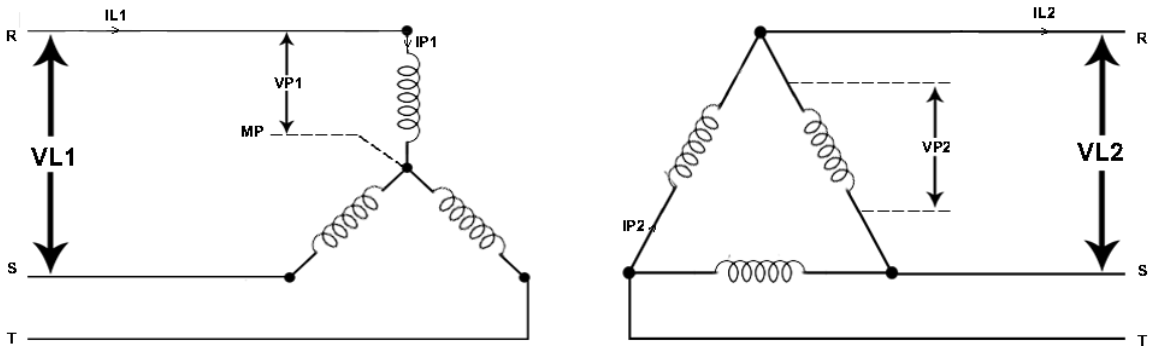
برای ترانسفورماتور افزاینده به کار می رود و در نیروگاه ها استفاده می شود.



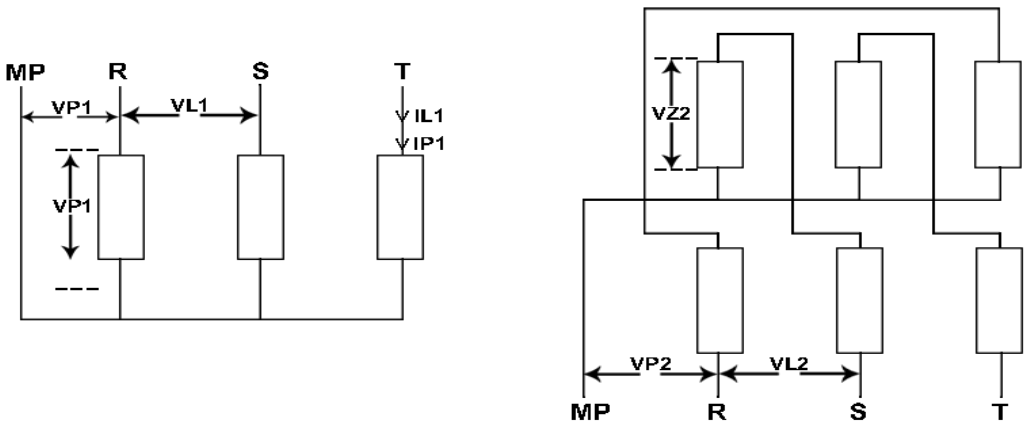


تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

۴. مدار، روابط ولتاژ، جریان و نسبت دور اتصال ستاره – مثلث (Y-d) بصورت زیر است:

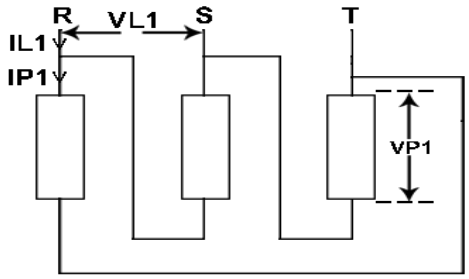


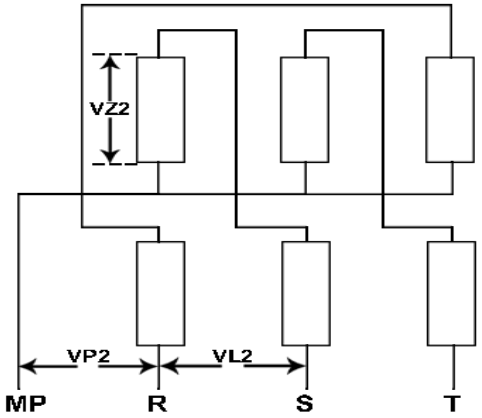
۵. مدار، روابط ولتاژ، جریان و نسبت دور ستاره – زیگزاگ (Y-z) بصورت زیر است:



تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

۶. مدار، روابط ولتاژ، جریان و نسبت دور مثلث – زیگزاگ (D-z) بصورت زیر است:





تراسفورماتور V-V (تراسفورماتور مثلث باز):

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

تراسفورماتور T-T (تراسفورماتور اسکات):

تپ‌چنجر ترانسفورماتور

در بعضی از مواقع به علت طول زیاد شبکه‌ی توزیع و انتقال؛ در انتهای خط با افت ولتاژی مواجه می شوند. باید این افت بر طرف شود تا مصرف کننده بتواند بدون هیچ مشکلی از ولتاژ شبکه استفاده کند. در چنین مواقعی از تغییرات نسبت دور در ترانسفورماتورها استفاده می‌شود. همان طور که از رابطه اساسی ترانسفورماتور ها برآورد می شود ($\frac{N_1}{N_2}=\frac{V_1}{V_2}$) هنگامی که تعداد دور اولیه افزایش یابد ولتاژ خروجی کاهش و با کم کردن تعداد دور اولیه ولتاژ خروجی افزایش می یابد.

تپ چنجر که بر روی اولیه ی ترانسفورماتورها می باشد، در واقع تعداد دور اولیه را هنگام پایین بودن ولتاژ شبکه کم می کند و بلعکس. معمولاً تپ‌چنجرها دارای پنج رنج می باشند که از ۱ تا ۵ مدرج می باشد. نصب تپ چنجر در سمت فشار قوی دارای مزیت های زیرمی باشد:

الف) در طرف فشار قوی جریان کمتر است لذا برای تپ چنجرهایی که زیر بار عمل می‌کنند حذف جرقه ساده تر است.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

ب) چون تعداد دور سیم پیچها ی فشار قوی بیشتر است ، لذا امکان تغییرات یکنواخت تر و پله‌های کوچکتر به راحتی میسر است. در اتصال ستاره انشعابات تب چنجر را در سمت نقطه صفر قرار می دهند تا عایق کاری آن نسبت به زمین ساده تر باشد .

عمل تپ‌چنجر در حقیقت افزایش یا کاهش شماره دوره های مؤثر سیم‌پیچ ترانسفورماتور می‌باشد و استفاده از تپ چنجر (یارگولاتور ولتاژ) در ترانسفورماتور های با قدرت زیاد می باشد . تغییر ولتاژ توسط تپ‌چنجر و جریان حاصله در مدار و قوس های الکتریکی آن امکان سوختن شدید و از بین رفتن کنتاکت‌ها را بوجود می آورد. بدلیل وجود قوس‌های الکتریکی و حرارت حاصل از آن، تپ سلکتور و کنتاکتورها را در تانک روغن جداگانه‌ای قرار می دهند و بدین ترتیب بدون اینکه کنتاکت‌ها صدمه ببینند قوس الکتریکی نیز از بین می رود. ضمناً بدون باز کردن ترانسفورماتور کنتاکتها را می توانند بازرسی کرد و روغن فاسد شده در اثر قوس‌های الکتریکی به آسانی تعویض شود . سوئیچ و کنتاکتور ها توسط چرخ دنده و با موتور الکتریکی عمل می‌نمایند.

تب چنجر ترانسفورماتورها عموماً بر ۲ نوع می باشند:

۱. On load tap changer : ترانسفورماتورهایی که تپ آنها زمانی که ترانسفورماتور زیربار است ، قابل تغییر می باشد.
۲. Off load tap changer : ترانسفورماتورهایی که تپ آنها فقط زمانی که در مدار نباشند ، قابل تغییر می باشند .

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

تانک روغن

تانک روغن، مخزن روغنی است که هسته و سیم پیچ های ترانسفورماتور در آن قرار می‌گیرند. ترانسفورماتورهای روغن تا 40 KVA ممکن است فقط دارای تانک با دیواره های صاف باشند. اما برای ترانسفورماتورهای بزرگتر سطح صاف برای از بین بردن حرارت کافی نبوده و باید بطور مصنوعی افزایش یا باید در آنها وسائل خنک کننده اضافی تعبیه گردد. در ترانسفورماتورهای تا قدرت 1600 KVA سطح تانک توسط لوله هایی که از خارج به بدنه تانک جوش می خورند افزایش می یابد .

ترانسفورماتور های ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلوولت‌آمپر با تانک ساده از رادیاتورهایی که با اتصالات فلانج به تانک جوش می خورد استفاده می نمایند در قدرت های بالاتر از ۱۰۰۰۰ کیلوولت‌آمپر خنک کردن با روغن بطور طبیعی کافی نبود و باید از جریان هوا و روغن با فشار استفاده شود . یک تانک شامل یک دیواره ، کف و قاب به بالای دیواره جوش داده می شود و شامل نوار فولادی است که حاوی سوراخ هایی به فواصل مساوی می باشند . یک پوشش (کاور) از ورق فولادی به قاپ پیچ می شود . ضمناً در روی تانک محل هایی برای حمل و نصب ترانسفورماتور در نظر گرفته می شود .

مخزن روغن

مخزن روغن در حقیقت یک طبل فولادی است که بطور افقی روی تانک نصب می شود و توسط یک لوله به آن ارتباط می یابد این مخزن طوری ساخته می شود که بتوان کف آن را جهت تمیز نمودن و رنگ زدن جدا نمود . باک‌ها با رطوبت گیر مجهز می شوند تا بتوان رطوبت هوایی را که در مخزن به علت کم شدن روغن وجود دارد بر طرف نمود . هوا از طریق یک ماده جذب کننده رطوبت بنام سیلیکاژل[۳] عبور می کند و در حالت خشک وارد مخزن می شود. طوبت‌گیر سیلیکاژل به منظور حذف رطوبت هوای ورودی به منبع انبساط بوده که با اینکار سبب حفظ خواص عایقی روغن ترانسفورماتور می گردد. این ماده قادر است تا معادل ۲۰٪ وزن خود رطوبت جذب کند. رطوبت گیر ها را باید از نظر مسدود نشدن مسیر عبور هوا و عدم جذب رطوبت بیش از حد بررسی نمود. هنگام خشک بودن رطوبت گیر آبی رنگ و در صورت اشباع شدن با رطوبت به صورتی کم رنگ تغییر می یابد. در این هنگام بایست سیلیکاژل را تعویض کرد. در یک محفظه سیلیکاژل ، هوا ابتدا از یک توری عبور کرده و پس از عبور روغن به منظور گرفتن گرد و غبار و رطوبت به سیلیکاژل رسیده و پس از رطوبت گیری کامل به باک ترانسفورماتور هدایت می شود. شکل زیر محفظه رطوبت‌گیر را نشان می‌دهد.

---

[۳] Silicagel

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

ترمومترها:

این نشان دهنده ها ، از نوع عقربه ای بوده و برای تشخیص درجه حرارت گرمترین نقطه سیم‌پیچی ترانس بکار میرود . معمولاً به ازاء هر گروه سیم یک نشان دهنده بکار گرفته شده که روی یک از فازها نصب می شود . این روش اندازه گیری بصورت غیرمستقیم است به این معنی که غلاف ترمومتر داخل روغن بوده و دمای روغن را حس می کند، لذا گرمایی متناسب با سیم پیچ ها در ترمومتر ایجاد می شود .

نشان دهنده حرارت روغن:

این نشان دهنده نیز از نوع عقربه ای بوده و عنصر حساس آن در بالای ترانس و در نزدیک گرمترین محل روغن نصب می شود و خود آن روی بدنه ترانس و در مجاورت ترمومتر سیم‌پیچ ها نصب می گردد و اغلب مقاومت حساس به دما است.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

نشان دهندهٔ سطح روغن:

اگر چه رله بوخهولتز می تواند کاهش سطح روغن را نشان دهد ولی ، برای داشتن ضریب اطمینان بالاتر ، نشان دهندهٔ سطح روغن نیز بر روی منبع پیش بینی می شود . ممکن است نشان دهنده بصورت دریچه شیشه ای برای دیدن سطح روغن باشد . علاوه برآن ، نشان دهنده نوع عقربه ای که از طریق مغناطیس ، با شناور داخل منبع در ارتباط است، نیز تعبیه می گردد و باید طوری نصب شود که از سطح زمین قابل رؤیت باشد . عقربه نشان دهنده باید نمایانگر سطوح حداکثر ، حداقل و نرمال بوده و کنتاکتهایی برای آلارم نیز باید پیش بینی شده باشد.

رله بوخهولتز:

تجهیزات الکتریکی که داخل آنها پر از روغن است نظیر ترانسفورماتورها ، بوشینگ‌های آنها و ترمینال مربوط به کابل ها را می توان جهت محافظت از عیوب داخلی و از دست رفتن روغن آنها ، با رله بوخهولتز حفاظت کرد .

این رله که در لوله رابط بین تانک ومنبع ذخیره نصب می شود از دو گوی شناور که در داخل محفظه رله نصب شده اند و می توانند همراه با سطح روغن جابجا شوند ، تشکیل شده است . دو عدد کلید جیوه ای نیز با شناور همراه هستند و می توانند کنتاکت‌هایی را قطع یا وصل کنند. رله بوخهلتز بسیار دقیق است و از آنجا که در مراحل اولیه آغاز شدن بسیاری از مشکلات ، آلارم می‌دهد . این شانس را به پرسنل بهره برداری می دهد که شرایط خطرناک را خیلی زود شناسایی کنند . و از آسیب های جدی به تجهیزات جلوگیری نمایند.

تنظیم درجه حساسیت رله بوخهولتز کاملاً تجربی است و بستگی به ترانس و رله دارد . در هر حال باید دقت داشت که رله خیلی حساس نباشد ، زیرا اضافه بار کم و حتی تغییرات درجه حرارت موسمی ، سبب جریان پیدا کردن روغن می شود که نباید رله بوخهولتز را بکار اندازد . پس از هر خطای ترانس ، در اثر رله بوخهولتز باید گازهایی که در محفظه رله جمع شده است را خارج نمود تا شناور آن به حالت اولیه خود بازگردد .

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

در ضمن باید گازهایی را کهاز محفظه گاز رله خارج می کنیم ، از نظر قابلیت اشتعال مورد آزمایش قرار دهیم ، زیرا در صورتیکه ترانسفورماتور خوب تحت خلاء قرار نگرفته باشد ، هوای موجود در داخل روغن ، کم کم خارج شده و در رله جمع می گردد و می تواند سبب ظاهر شدن آلارم گردد. همچنین ممکن است به طریقی هوا به داخل ترانسفورماتور نفوذ کرده باشد . این عمل در ترانسهایی که روغن آنرا جدیداً عوض کرده اند بیشتر پیش می آید . با وجود اینکه رله بوخهولتز یک رله بسیار خوبی است و می تواند از آغاز پیدایش نقص آن را تشخیص دهد ، و لیکن دارای محدویت هایی نیز هست که در ادامه ذکر می گردد .

محدودیت های رله بوخهولتز:

- فقط خطاهایی را تشخیص می دهد که در سطح روغن پایین تر از رله اتفاق افتاده باشد .
- تنظیم کلید جیوه ای را نمی توان زیاد حساس گرفت ، زیرا در این صورت لرزش‌های ناشی از بهره‌برداری ، زلزله ، شوک‌های مکانیکی در خط و حتی نشستن پرنده ها ، ممکن است اشتباهاً آنرا به کار اندازند.
- مینیموم زمان عمل کردن آن ۰.۱ ثانیه است و متوسط آن ۰.۲ ثانیه . چنین رله ای خیلی کند به حساب می آید ، و لیکن با وجود آن ارزش این رله بسیار بالاست .
- از نظر اقتصادی رله بوخهولتز برای ترانسهای کمتر از ۵۰۰ کیلوولت آمپر بکار برده نمی‌شود .

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

سوپاپ اطمینان یا لوله انفجاری (شیر فشار شکن)

در اثر اتصال کوتاه ناگهانی و یا هر حادثهٔ دیگر در هسته و سیم پیچ‌ها که منجر به ایجاد گاز شدید شود ، فشار داخل تانک می تواند به میزان خطرناکی افزایش یابد . برای جلوگیری از خطر انفجار تانک ، در بالای درپوش آن شیر فشار شکن نصب می گردد. این شیر در عرض چند میلی‌ثانیه عمل خواهد کرد و سبب تخلیه فشار خواهد شد . در همین موقع ، میکروسویچی که همراه آن است ، سبب بسته شدن مدار الارم می گردد . پس از کاهش فشار در اثر نیروی فنر ، شیر خود به خود بسته خواهد شد.

بدنه

بدنه ی ترانسفورماتورها از فولاد می باشد و در بعضی مواقع از استیل است . بر روی بدنه‌ی ترانسفورماتورها رادیاتورهایی جهت تهویه و خنک شدن هر چه سریعتر ترانسفورماتور تعبیه شده است . بر روی بدنه ، شیر تخلیه ی روغن ، تانک روغن ، مقرهای فشار ضعیف و فشار قوی قرار می گیرند .

تابلو مشخصات ترانسفورماتور

این تابلو (یا پلاک) که بر روی ترانسفورماتور نصب می شود معمولاً دارای مشخصات زیر است : نوع ترانسفورماتور – شماره سریال ترانسفورماتور – سال مونتاژ – تعداد فازها – گروه ترانسفورماتور – فرکانس – نوع خنک کردن – قدرت اسمی – وزن کل – وزن روغن – و دیاگرام سیم پیچی .

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

سیستمهای خنک کننده ترانسفورماتورها

ترانسفورماتورها را می توان از نظر سیستم خنک کنندگی به چند گروه تقسیم کرد . ترانسفورماتورهایی که با جریان هوا خنک می شوند و ترانسفورماتورهایی که با روغن خنک می‌شوند و یا ترکیبی از هر دو سیستم خنک کننده، بسته به قدرت ترانسفورماتور و محل استفاده از آن می باشد . مثلاً در محل هایی که به‌الاجبار ترانسفورماتور باید در سالن یا محل کار باشد از ترانسفورماتورهایی با سمغ ریختگی استفاده می شود . این انتخاب به این علت است که چون امکان آتش سوزی در کارگاه یا محل کار وجود دارد از ترانسفورماتور با سیستم روغنی استفاده نمی شود .

در ترانسفورماتور های توزیع معمولاً از سیستم خنک کنندگی روغن استفاده می شود .

معمولاً بر روی پلاک ترانسفورماتور ها ، نوع سیستم خنک کنندگی آنها نوشته می شود . که نمونه ای از آنها در زیر نوشته شده اند :

سیستم ONAN (روغن طبیعی – هوا طبیعی) :

در این سیستم ، هوا به طور طبیعی با سطح خارجی رادیاتورها در تماس است و رادیاتورها به طور طبیعی با هوا خنک می شوند . همچنین گردش روغن در ترانسفورماتور نیز به طور طبیعی صورت می گیرد ؛ یعنی روغن گرم بالا می رود و روغن سرد ، جای آن را می گیرد . این نوع سیستم خنک کنندگی مختص ترانسفورماتورهای با قدرت کم است ؛ زیرا با افزایش قدرت ترانسفورماتور ، حرارت سیم پیچ ها زیاد می شود و روغن باید با سرعت بیشتری در تماس با هوای بیرون قرار گیرد و عمل خنک کنندگی با سرعت بیشتری انجام شود . از این نوع سیستم برای ترانسفورماتورهای قدرت تا ۳۰ مگا ولت آمپر مورد استفاده قرار می گیرد .

سیستم ONAF (روغن طبیعی – هوا اجباری) :

در این سیتم ، گردش روغن در داخل ترانسفورماتور به طور طبیعی صورت می گیرد ؛ ولی فن های نصب شده روی بدنه رادیاتورها ، سرعت تماس هوای خارج با بدنه رادیاتور را افزایش می‌دهند . لذا روغن سریعتر خنک می شود و طبعاً می توان توان ترانسفورماتور را بالا برد . دمیدن هوا توسط فن ها می تواند به طور مداوم یا با فاصله تناوبی انجام شود ؛ بدین صورت که عملکرد فن می تواند تابعی از درجه حرارت روغن داخل ترانسفورماتور باشد و هنگامی که دمای روغن از حد معینی افزایش یافت ، فن ها به طور خودکار وارد مدار می شوند . البته هنگامی که درجه حرارت محیط خیلی بالا باشد ، ترانسفورماتور می تواند بدون سیستم فن و با خنک شدن طبیعی ، تقریباً تا دو سوم توان نامی خود کار کند و در صورتی که بخواهیم با

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

توان نامی کار کند ، باید فن ها شروع به کار کنند . این نوع سیستم خنک کنندگی به طور وسیعی در ترانسفورماتورهای قدرت با توان بین ۳۰ تا ۶۰ مگا ولت آمپر مورد استفاده قرار می گیرد.

سیستم OFAF (روغن اجباری – هوا اجباری) :

در این سیستم ، گردش روغن در داخل ترانسفورماتور به کمک فن ، سرعت داده می شود تا انتقال حرارت با سرعت بیشتری انجام گیرد . فن های هوا نیز بدنه رادیاتورها را در تماس بیشتری با هوا قرار می دهند تا روغن را سریعتر خنک کنند . در این سیستم با توجه به سرعت بسیار بالای خنک کنندگی سیم پیچ ها ، می توان قدرت نامی ترانسفورماتور را به مقدار قابل توجهی افزایش داد . لازم به ذکر است که عموماً از این نوع سیستم خنک کنندگی در ترانسفورماتورهای با توان بیش از ۶۰ مگا ولت آمپر استفاده می شود .

سیستم OFWF (روغن اجباری – آب اجباری) :

در این سیستم ، ابتدا روغن توسط پمپ از بالای ترانسفورماتور وارد رادیاتور می شود تا پس از عبور از آن ، از پایین رادیاتور وارد ترانسفورماتور گردد . در رادیاتور ، آب توسط پمپ در خلاف مسیر روغن در رادیاتور عبور می کند که باعث کاهش دمای روغن می شود . از این نوع سیستم در ترانسفورماتورهای با توان بیش از ۶۰ مگا ولت آمپر مورد استفاده قرار می گیرد .

سیستم ODWF (روغن اجباری در سیم پیچ و هسته – آب اجباری) :

در ترانسفورماتورهای با قدرت های بسیار بالا ، به منظور کاهش هرچه بیشتر دمای سیم‌پیچ ها و هسته باید روغن را توسط پمپ ها ، با فشار و جهت مناسب از قسمت تحتانی تانک ترانسفورماتور به داخل سیم پیچ ها و هسته هدایت نمود . همچنین مشابه روش قبل ، با استفاده از رادیاتور و چرخش روغن در داخل آن و به واسطه تماس غیر مستقیم با آب خنک کنندگی ، دمای روغن به مقدار مورد نظر کاهش می یابد .

تلفات ترانسفورماتور باعث گرم شدن ترانسفورماتور می شود و اگر حرارت ایجاد شده به خارج هدایت نشود بار دهی ترانسفورماتور کم شده و چه بسا باعث سوختن ترانسفورماتور می‌شود . برای خنک کردن ترانسفورماتور بر حسب نوع ترانسفورماتور (ترانسفورماتور خشک و ترانسفورماتور روغنی) طرق مختلفی موجود است که عبارتند از :

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

۱- ترانسفورماتور خشک:

ترانسفورماتور خشک با قدرت زیاد بندرت ساخته می شود زیرا این ترانسفورماتورها از نظر استقامت الکتریکی و دینامیکی خیلی ضعیف تر از ترانسفورماتورهای روغنی می‌باشند. ترانسفورماتور های خشک معمولاً با قدرت ۳۰۰ کیلو ولت آمپر و ولتاژ ماکزیموم ۱۰ کیلوولت ساخته می شوند . زیرا در ولتاژ های زیاد فاصله پیچک ها از یکدیگر و از قسمت هائی که مربوط به مدار جریان نیستند خیلی زیاد می شود بطوری که برای ترانسفورماتورهای بیش از ۱۰ کیلوولت نیز ترانسفورماتورهای روغنی با صرفه تر است.

در ترانسفورماتور های خشک با قدرت کم معمولاً وسیله اضافی برای خنک کردن ترانسفورماتور بکار برده نمی شود بلکه همان خنک شدن طبیعی در اثر تماس مداوم و عادی هوا با سطوح ترانسفورماتور کافی است . این نوع ترانسفورماتور را که خود به خود خنک می شود با TS نشان می دهند . ترانسفورماتور هایی با قدرت بیشتر به کمک فن‌های بادبزن مخصوص خنک می کنند. این ترانسفورماتورها با علامت TF مشخص می شوند . در این طریق خنک کردن، حرکت هوا زیاد و سریع شده در نتیجه هدایت حرارت به خارج سریع تر عملی می گردد .

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

۲- ترانسفورماتور روغنی

در این ترانسفورماتورها، روغن واسطه انتقال حرارت از هسته و سیم‌پیچ ترانسفورماتور به هوای خارج می باشد .

طرق مختلف خنک کردن ترانسفورماتور های روغنی به شرح زیر است :

الف – خنک کردن طبیعی (OS) :

این نوع خنک کردن عملاً بدون هیچ واسطه ای انجام می گیرد و در حقیقت برداشت حرارت در اثر تشعشع ، هدایت و انتقال حرارت بطور عادی و طبیعی انجام می شود و ساده ترین و ارزانترین روش خنک کردن ترانسفورماتور است زیرا ترانسفورماتور احتیاج به هیچ گونه مراقبت و نگهداری ندارد. در ترانسفورماتورهای کوچک تا قدرت ۳۰ کیلو ولت آمپر کافی است که سطح جدار خارجی منبع روغن صاف باشد و در قدرت های بیشتر تا ۶۰۰۰ کیلو ولت آمپر برای بزرگ کردن سطح تماس منبع روغن با هوا، منبع روغن را پرده دار و یا موجی درست می کنند و در قدرت های بیشتر تا حدود ۲۰۰۰۰ کیلو ولت آمپر منبع روغن دارای لوله های خنک کننده مجزا می باشد .

در بعضی از ترانسفورماتور ها که دارای تلافات بیشتر می باشند از رادیاتور مخصوص استفاده می شود و در صورتیکه ترانسفورماتور خیلی بزرگ باشد بخاطر جلوگیری از مشکلات حمل و نقل رادیاتور ها را طوری می سازند که در موقع حمل و نقل از ترانسفورماتور جدا شده و در محل مجدداً نصب شود .

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

ب- خنک کردن غیر طبیعی

ترانسفورماتورهای خیلی بزرگ و یا ترانسفورماتورهایی که در اطاق سرپوشیده و کوچک نصب می شوند (پست ترانسفورماتور محصور) باید مصنوعی خنک شوند تا عمل خنک شدن تسریع یابد و از باردهی و بازدهی ترانسفورماتور کاسته نگردد . خنک کردن مصنوعی بیشتر به کمک آب (OW) و یا به کمک جریان انداختن سریع هوا (OF) انجام می شود .

خنک کردن ترانسفورماتور به کمک آب دو طریق است :

۱. خنک کردن روغن ترانسفورماتور در داخل منبع آب
۲. خنک کردن روغن ترانسفورماتور در خارج از منبع

در طریقه اول لوله های اب سرد از داخل منبع ترانسفورماتور در کنار دیواره های منبع و یا سقف منبع عبور داده می شود و جریان آب سرد باعث خنک کردن روغن می گردد . در این طریق نشت کردن احتمالی اب باعث خراب شدن ترانسفورماتور می شود .

در طریقه دوم روغن گرم از ترانسفورماتور خارج شده و به کمک اب خنک شده مجدداً به داخل ترانسفورماتور تزریق می شود . دراین حالت روغن از بالای ترانسفورماتور توسط پمپ روغن خارج شده پس از خنک شدن در کولر ابی مجدداً از زیر ترانسفورماتور وارد منبع روغن می‌شود .

مقره ها (بوشینگ‌ها)

سرهای خروجی سیم پیچ های فشار قوی و فشار ضعیف باید نسبت به بدنه فلزی تانک ، عایق‌کاری شوند . برای این منظور از مقره ها استفاده می شود . مقره یا بوشینگ از یک هادی مرکزی که توسط عایق های مناسبی در میان گرفته شده ، تشکیل شده است.

بوشینگها روی در پوش فوقانی ترانس نصب می شوند و در موارد نادری بوشینگها را روی دیوارۀ جانبی تانک هم نصب می کنند . انتهای پایینی مقره در داخل تانک جای می گیرد ، در حالیکه سر دیگر آن در بالای درپوش و در هوای خارج واقع می شود.

ترمینال‌های هر دو سر دارای بستهای مناسبی برای اتصال به سر هادی های داخل ترانسفورماتور و نیز هادی های شبکه می باشند . شکل و اندازه بوشینگ‌ها به کلاس ولتاژ ، نوع محل (داخل ساختمان یا در هوای آزاد) و جریان نامی آن بستگی دارد . بوشینگ‌های داخل ساختمانی نسبتاً کوچک بوده و سطح آن صاف است ، اما بوشینگ‌های هوای آزاد کاملاً در معرض شرایط مختلف جوی نظیر برف و باران و آلودگی و ... قرار می گیرند ، بنابراین از نظر شکل کاملاً متفاوتند و از سپرهایی به شکل چتر تشکیل می شوند ، تا سطح

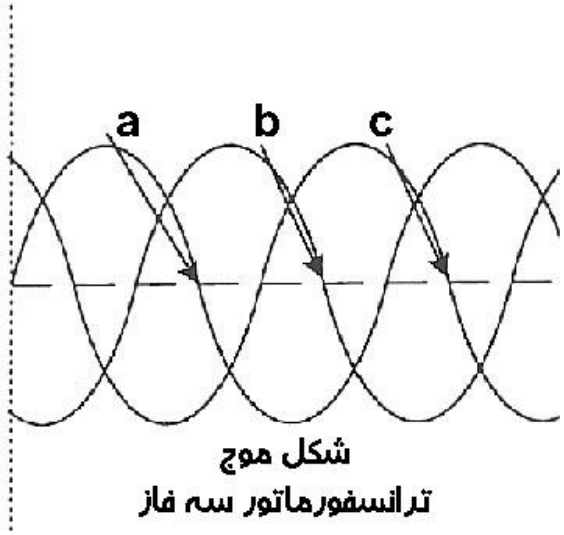
تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

زیرین آنها در مقابل باران خشک نگه داشته شوند . دراین صورت سطح خارجی آنها زیاد شده و فاصله خزش جرقه روی سطح چینی عایق زیادتر می گردد و در نتیجه استقامت الکتریکی بوشینگ افزایش می یابد .

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

اساس کار ترانسفورماتور سه‌فاز

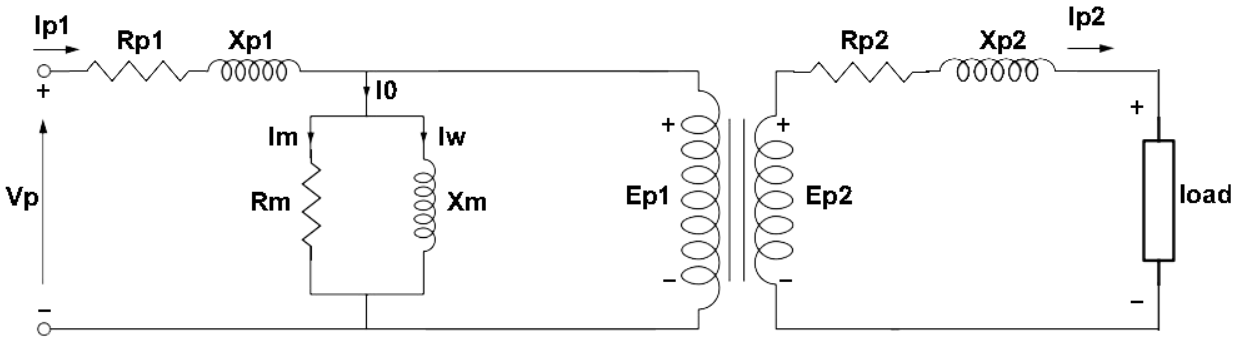
دراثر عبور جریان از سیم پیچ های اولیه، شاری مغناطیسی ناشی از هرفاز در هسته جاری می شود که نسبت به یکدیگر ۱۲۰ درجه زمانی اختلاف فاز دارند. این شارهای متغیر به سیم پیچ ثانویه برخورد کرده و درهر سیم پیچ ولتاژ القایی تولید می شود که نسبت به یکدیگر ۱۲۰ درجه الکتریکی اختلاف فاز زمانی دارند. بنابراین اساس ترانسفورماتورهای سه‌فاز براساس القای متقابل می باشد.



شکل موج
ترانسفورماتور سه فاز

$$e_a = E_m \sin \omega t$$
$$e_b = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$
$$e_c = E_m \sin(\omega t - 240^\circ)$$

مدار معادل ترانسفورماتور سه فاز



تلفات اهمی سیم پیچ ثانویه : Rp2 — تلفات اهمی سیم پیچ اولیه : Rp1

تلفات پراکندگی ثانویه : Xp2 — تلفات پراکندگی اولیه : Xp1

ولتاژ فازی القایی در سیم پیچ ثانویه : Ep2 — ولتاژ فازی القایی در سیم پیچ اولیه : Ep1

معادل تلفات آهنی(اهمی) هسته : Rm — معدل تلفات میدان در هسته : Xm

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

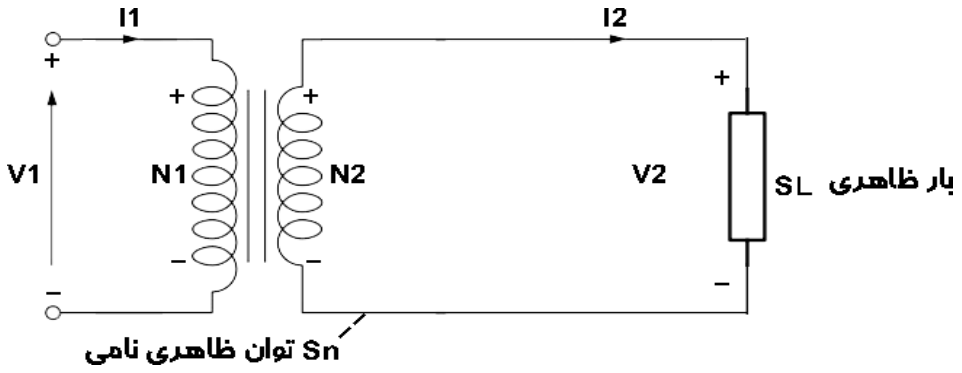
*** انواع تلفات در ترانسفورماتور سه فاز**

الف – تلفات ثابت (تلفات آهنی): که شامل تلفات فوکو و هیسترزیس می باشد:

ب – تلفات متغیر (تلفات مسی): که شامل تلفات مسی سیم پیچ های اولیه و ثانویه می باشد:

*** ضریب بهره ترانسفورماتور (راندمان)**

۱- ضریب بهره نامی:



تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

۲- ضریب بهره در نصف بار نامی:

۳- ضریب بهره در بارهای مختلف:

*** قدرت ظاهری بار در راندمان ماکزیموم**

*** توان ظاهری خروجی در راندمان ماکزیموم**

*** قدرت اکتیو یا موثر در راندمان ماکزیموم**

*** ضریب بهره ماکزیموم (راندمان ماکزیموم)**

*** جریان بار در راندمان ماکزیموم**

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

مثال ۱۳:

یک ترانسفورماتور سه فاز (ستاره – ستاره) با قدرت 120KVA و ولتاژ 6000/400V و فرکانس 50HZ دارای تلفات آهنی 1600W می باشد . در صورتی که راندمان ماکزیمم ترانس در $\frac{3}{4}$ بار کامل رخ دهد، مطلوب است محاسبه:

الف – ضریب بهره در بار نامی (با ضریب قدرت ۰.۸ پس فاز)

ب – ضریب بهره در نصف بار نامی با ضریب قدرت واحد

ج – راندمان ماکزیمم در ضریب قدرت ۰.۸ پس فاز

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

مثال ۱۴:

یک ترانسفورماتور سه فاز 2000KVA با ولتاژ 6000/400V به طوریکه در سمت ولتاژ بالاتر اتصال مثلث و در سمت ولتاژ پائین تر اتصال ستاره برقرار است ، در صورتی که این ترانسفورماتور تحت آزمایش بی باری و اتصال کوتاه قرار گرفته باشد ، افت ولتاژ اهمی و رأکتانس پراکندگی این ترانسفورماتور را حساب کنید؟

آزمایش بی باری (تمام مقادیر در سمت ولتاژ کم قرائت شده است): 15 KW - 150 A - 400 V

آزمایش اتصال کوتاه (تمام مقادیر در سمت ولتاژ زیاد قرائت شده است): 17 KW - 175 A - 400 V

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

مثال ۱۵:

یک ترانسفورماتور سه فاز ستاره – مثلث 100KVA و 50HZ و 63/20KV موجود می باشد در صورتی که مقاوت اهمی سیم پیچ اولیه و ثانویه در هر فاز به ترتیب ۲۰ و ۲ اهم باشد. مطلوب است محاسبه :

الف – راندمان در بار نامی در صورتی که تلفات آهنی 4KW و ضریب قدرت بار ۰.۸ پس فاز باشد.

ب – ضریب بهره ترانسفورماتور در $\frac{1}{2}$ بار نامی با ضریب قدرت واحد.

ج – بازده ماکزیمم با ضریب قدرت ۰.۸ پس فاز .

د – قدرت ظاهری در راندمان ماکزیمم و جریان بار در راندمان ماکزیمم

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

مثال ۱۶:

یک ترانسفورماتور سه فاز ستاره – مثلث 100KVA و50HZ و 20KV/400V موجود است در صورتیکه تلفات آهنی ترانسفورماتور 2KW و تلفات مسی نامی 1/6W باشد مطلوب است محاسبه :

الف – ضریب بهره در بار نامی با ضریب قدرت 0.8 پس فاز .

ب – ضریب بهره در 60% بار نامی در ضریب قدرت واحد .

ج – قدرت ظاهری بار در راندمان ماکزیمم .

د – جریان بار در راندمان ماکزیمم در صورتی که مقاومت معادل از دیدگاه ثانویه ۴ اهم باشد .

پایان