به نام خدا

سایت گروه آموزشی آلم

ابتدایی، راهنمایی، دبیرستان، کنکور و دانشگاه

www.g-alm.ir	
www.g-alm.ir/ac	دانشگاه
www.g-alm.ir/forum	انجمن
www.g-alm.ir/azmoon	آزمون های آلم
www.g-alm.ir/shop	فروشگاه
www.film.g-alm.ir	فیلم های آموزشی

www.g-alm.ir

تبدیل انرژی — دکتر کاظمی

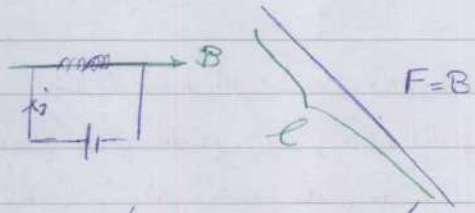
ماشین الکتریکی: وسیله‌ای که تبدیل انرژی الکتریکی به مکانیکی را انجام می‌دهد و بالعکس. این تعریف یک استثناء دارد که ترانسفورماتور است. وسیله‌ای است که تبدیل انرژی الکتریکی به الکتریکی انجام می‌دهد.

تبدیل انرژی الکتریکی به مکانیکی در این حالت به ماشین الکتریکی، موتور می‌گوییم.

موتور: $M \leftarrow E$

ژنراتور: $E \leftarrow M$

عموم ماشین‌های الکتریکی از آهن ساخته شده‌اند.



$F = Bil$

اساس کار موتورها به صورت مقابل است که نیرو به تولید نیرو می‌شود.

یک راه افزایش نیروی افزایش B است! یا برای مثال، با پیچک کردن سیم مدار B را تولید کرد.

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = Ni \longrightarrow HL = Ni, \quad B = \mu H$$

$\mu = \mu_r \mu_0$

μ_0 ← تراوایی خلا $4\pi \times 10^{-7}$ ← تراوایی نسبی

$$\frac{B}{\mu} L = Ni \longrightarrow \frac{1}{\mu_r} \frac{BL}{\mu_0} = Ni$$

آهن و مشتقات آن μ_r بسیار بالایی دارند، به همین دلیل همه موتورها معمولاً آهنی هستند.

μ_r آهن $= 2000$

← در حالت‌هایی که نیاز به تولید گشتاور زیاد است از موتور بدون هسته آهنی استفاده می‌شود:
موتور سبک و دینامیک سریع

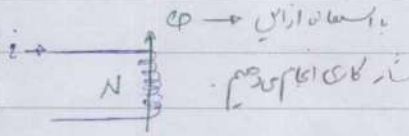
Artline®

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

* تحلیل ماشین الکتریکی: محاسبه شار مغناطیسی در نقاط مختلف آن و احتمالاً محاسبه نیرو و انرژی. بنابراین با استفاده از روابط الکترومغناطیس شار آن را محاسبه می‌کنیم.

* در حالت کلی ماشین الکتریکی به صورت زیر است:



می‌توان با آهربا هم شار تولید کرد اما روی آن کنترلی ندارم.

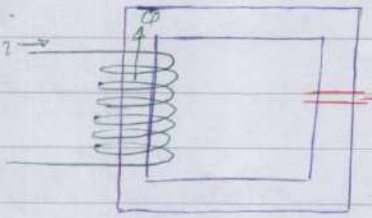
سیم پیچ مولد میدان مغناطیسی را می‌توان با آهربا تعویض کرد، اما:

۱- قابل کنترل نیست، شار ثابت دارد.

۲- ضعیف می‌شود.

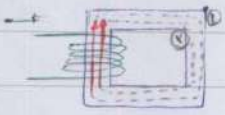
۳- در ابعاد بزرگ قابل ساخت نیست.

← سیم پیچ روی هسته از جنس مواد فرومغناطیس مثل آهن قرار می‌دهد که μ_r بزرگی دارد.



شار تولید شده در داخل هسته آهنی مقدار زیادی دارد، پس خارج از آن میدان کمی داریم. بنابراین جهت قرار دادن اجزای دیگر ماشین یک فاصله ایجاد می‌کنیم که در مسیر طبیعی شار باشند.

در برای یک سیستم با هسته فرومغناطیسی، جنس بگیر است (مثل آهن) روابط را بنویسیم:



شار در هسته بسیار بزرگتر از شار خارج آن است، پس فرض می‌کنیم شار تولیدی فقط در داخل هسته است.

$\oint H \cdot dl = Ni$

از خط H خارج و داخل فرقی ندارد، آنها در آن هسته متفاوت است، برای داخل B در μ ضرب می‌شود پس شار هم μ برابر می‌شود، پس از شار خارج صرف نظر می‌کنیم.

طبق قانون آمپر: $Ni = \oint \vec{H} \cdot d\vec{l}$. بنابراین برای تمام مسیرهای شار داخل هسته مقدار H را محاسبه کرد.

ضخامت هسته زیاد نیست، یعنی سطح نوری و بیرونی تقریباً زیادی دارد. طول مسیر ۱ و ۲ را یکسان می‌گیریم.

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

پس فرض می‌کنیم H در همه جای لوپ هسته یکنواخت است. (در لوپ ایده‌آل فرض می‌کنیم، اگر طول لوپ‌ها کم است پس صرف نظر می‌کنیم)

* به دلیل مشکلات ساخت هسته را مدور می‌سازند (به جای دایره)
* از خاصیت الکتروستاتیکی استفاده می‌کنیم چون در الکتریک ε_r زیاد نداریم.

پس از این دو فرض:

$$\oint \vec{H}\cdot d\vec{l} = Ni \Rightarrow Hl = Ni$$

H در کل مسیر یکنواخت دارد. φ ثابت و یکنواخت، پس از φ استفاده می‌کنیم.

$$\frac{B}{\mu} l = Ni \quad , \quad \mu = \mu_0 \mu_r$$

$$\varphi \left(\frac{AB}{A\mu}\right) l = Ni \quad , \quad \varphi = BA \Rightarrow \varphi\left(\underbrace{\frac{l}{A\mu}}_{R}\right) = Ni$$

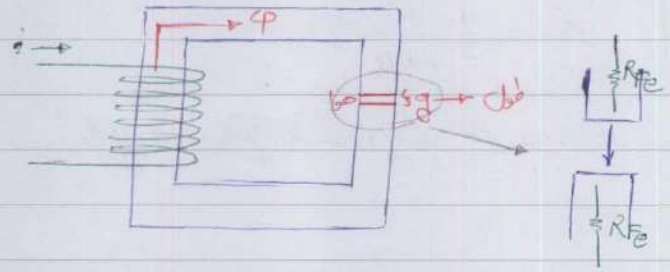
R: رلوکتانس

$$\Rightarrow Ni = R\varphi$$

این رابطه مشابه با رابطه قانون اهم در مدارهای الکتریکی است. بنابراین به این روش تحلیل، مدار معادل مغناطیسی می‌کشید. (استفاده از $Ni = R\varphi$ به جای $\oint H\,dl = Ni$)

$$v = Ri$$
$$\downarrow \quad \downarrow$$
$$Ni = R\varphi$$

فاصله هوایی:

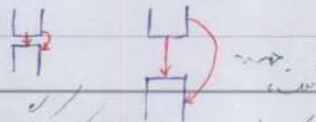


اگر فاصله در حد معقولی کم باشد، می‌توان فرض کرد شار همه جا را طی می‌کند و زیاد پراکندگی نداریم. آنها به دقت کرد که:

$l_g \ll \sqrt{A}$ → سطح مقطع

$l_g = \frac{\sqrt{A}}{10}$ ← معقول

به پدیده خروج شار از شکاف هوایی fringing می‌گویند. شار معمولاً مسیری را انتخاب می‌کند که رلوکتانس کمتری دارد.



بنابراین فرض می‌کنیم فاصله در حد معقولی باشد که پراکندگی زیاد نشود.

Artline®

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

شار پراکندگی: شاری که مسیرش داخل هسته نیست و از آن فرو نظری می‌شود.

← در عمل سیم پیچ پیچیده به هسته است. به همین دلیل در حوالی سیم پیچ هم شار زیاد پراکنده می‌شود (چون میدان ترجیح می‌دهد در آهن عبور کند تا هوا!) اگر سیم پیچ از هسته فاصله داشته باشد، شار پراکنده زیادی می‌شود.

$$\oint H \cdot dl = Ni$$

$$\Rightarrow Ni = H_{Fe} l_{Fe} + H_g l_g$$

Φ ثابت ← به دلیل هم‌پراکندگی ← B ثابت (به دلیل سطح مقطع یکنواخت) ← در سیم هم جنس H ثابت

(فرض می‌شود Φ در شکاف و هسته یکی است، پس B هم یکی خواهد بود. اما H متفاوت داشتن چون جنس هسته و شکاف فرق دارد.)

$$\Rightarrow Ni = \frac{B_{Fe}}{\mu_0 \mu_r} l_{Fe} + \frac{B_g}{\mu_0} l_g \qquad , \quad B_{Fe} = B_g \text{ چون}$$

$$= \frac{\Phi}{A\mu_0}\left(\frac{l_{Fe}}{\mu_r} + l_g\right) \qquad \mu_r > 1000,\ l_{Fe} = 100 l_g \rightarrow \text{بنابراین}$$

$$\Rightarrow Ni \simeq H_g l_g$$

← هرچقدر l_g را کمتر بتوانیم بدهیم، به همان شار، B می‌توان رسید اما با آمپردور کمتر!

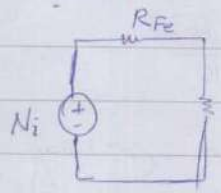
در واقع آمپردور سیم پیچ مولد میدان عمدتاً صرف تولید شار در فاصله هوایی می‌شود.

انرژی $\rightarrow \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu}$:

- شکاف هوایی : $\frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0}$
- آهن : $\frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0 \mu_r}$

پس اگر بخواهیم انرژی ذخیره سیم، استفاده از شکاف هوایی مناسب است.

انرژی آهن $\neq$ انرژی شکاف هوایی



$$R_g = \frac{l_g}{\mu_0 A_g} \qquad A_g = A_{Fe} \Rightarrow \Phi = \frac{N_i}{R_{Fe} + R_g}$$

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

مثال: مدارهای مغناطیسی : (صفحه‌ی ۱۰۳)

ولتاژ القایی در مدارهای مغناطیسی و قانون فاراده :

توجه کنید بر طبق این قانون که از نظر کاربردی اهمیت بیشتری دارد (نسبت به قانون آمپر) و دلیل آن در عدم وجود منبع جریان مستقل در طبیعت می باشد.

اگر به یک سیم پیچ یک منبع ولتاژ اعمال شود در آن شدت مغناطیسی به وجود می آید که بصورت زیر است :

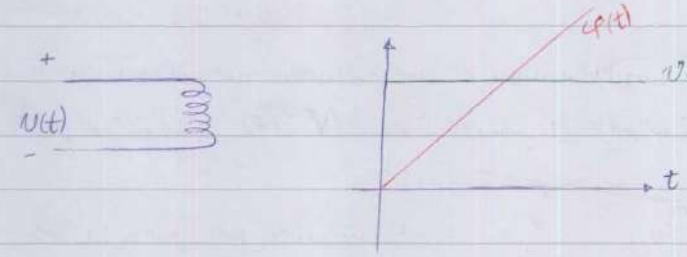
$$V = N \frac{d\varphi}{dt}$$

بالعکس، اگر از سیم پیچی شار مغناطیسی عبور کند، ولتاژ القایی در آن تولید می شود که مقدار آن همواره به صورت فوق به دست می آید.

بنابراین رابطه فوق دو طرفه است.

* یک سیم مستقیم هم یک سیم محسوب می شود. پیچ داشتن عامل اصلی نیست. نصف دور، $\frac{1}{4}$ دور و... هم اهمیتی ندارند، همه یک دور محسوب می شوند.

* $v(t)$ می تواند ثابت باشد:



اگر شار ثابت باشد، ولتاژ القایی صفر می شود.

فرض کنیم، هدف تولید شار مشخصی باشد، با توجه به استفاده از منابع ولتاژ، شار بر طبق قانون فاراده به دست می آید.

$$\varphi = \frac{1}{N} \int v(t)\, dt$$

در نتیجه تولید شار بر طبق قانون فاراده و با استفاده از منابع ولتاژ، تابعی از نوع مثلثی است. (مثل H)

Artline

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

* توجه کنید که قانون فاراده به تولید ولتاژ القایی یا نیروی محرکه‌ی القایی اشاره می‌کند، اما در مورد منبع تولید آن که جریان القایی است اطلاعاتی نمی‌دهد. در واقع می‌توان مثلاً شخص جوری در نظر گرفت، ولتاژ حاصل خواهد بود، اما جریان مقاومت است. ← پس مقاومت است.

$Ni = R\Phi$

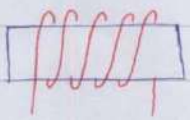
حال $R = \frac{l}{\mu_r \mu_0 A}$، اگر بتوان رلوکتانس را کم کرد، طبق رابطه فوق جریان کاهش می‌یابد یعنی منبع ولتاژ القایی به سیم پیچ جریان کمتری می‌دهد.

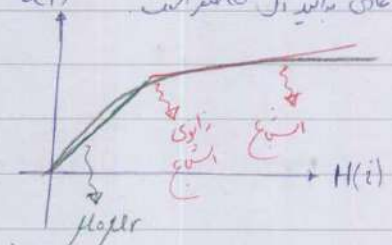
* زیاد کردن جریان باعث می‌شود که انرژی بیشتری داشته باشیم. پس می‌خواهیم رلوکتانس را کم کنیم (هسته‌ی آهنی) تا جریان کمتر شود چون انرژی ولتاژ وقتی زیاد می‌شود، منبع تولید هم کمتر می‌شود. پس تعداد دور سیم جریان را کم نگه داریم.

← ملاحظه می‌شود که طبق فاراده، سطح مقطع، ابعاد یا شکل هم اثری ندارند. آن‌ها شکل‌های توی بزرگ هستند، با بررسی دینامیک‌ها به دلایل این مسئله می‌رسیم.

خصوصیات مواد فرومغناطیس

در ساختار این مواد حوزه‌هایی اند که به صورت زیر وجود دارند که شامل تعدادی دوقطبی مغناطیسی است. در داخل حوزه‌ها این دوقطبی‌ها هم جهت می‌باشند. (صفحه ۷) در حالت عادی مانند آن ماغنت است.





در قسمت اول، خطی اعمال می‌شود و حوزه‌های مغناطیسی هم خطی می‌شوند. در قسمت دوم خطی شدن زیاد است چون در جریان نسبت تقریباً ثابتی هم خطی می‌شوند. اما بقیه حوزه‌ها به تعادلی نمی‌رسند و نمی‌توانند جهت بگیرند. پس از یک نقطه حوزه‌های دیگر هم کمتر می‌توانند جهت دهند. پس شیب کاهش می‌یابد.

پس توضیح می‌دهیم شیب زیاد باشد و شکست کمتر و دیرتر رخ دهد. این ارتباط زیادی با جلوش دانوع ساعت داده دارد. در نهایت شیب تقریباً به سمت صفر می‌رود. ← اشباع

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

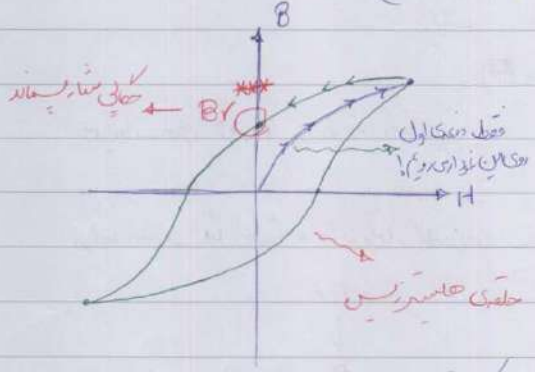
www.g-alm.ir

با Φ ثابت، هرچقدر B را زیاد کنیم یعنی A را کم کنیم علامت میدهیم، B بزرگ کار کنیم. از طرف دیگر می‌خواهیم حوزه‌ای پایین نگه داریم، یعنی B را پایین بیاوریم.

⇐ نقطه بهینه کار کردن زانوی اشباع است.

اگر Φ زیاد شود و A کم باشد، B زیاد می‌شود و ممکن است زانوی اشباع را رد کند و جریان زیادی بکشیم!
پس ترجیح می‌دهیم A را زیادتر کنیم تا با B زیر زانوی اشباع به Φ بالا برسیم.

* فرض کنیم به اشباع رسیده‌ایم و حالا H را شروع می‌کنیم به کم شدن. دلیل اینکه نمودار خلوته برمی‌گردد؟ B کاهش می‌یابد، اما با سرعت کمتری حوزه‌های مغناطیسی از هم خط بودن خارج می‌شوند (چون بعضی حوزه‌ها با زهم بعضی تغییر جهت می‌دهند) ⇐ از بالای نمودار برمی‌گردیم:



*** B_r: وقتی H صفر شده هنوز مقداری از حوزه‌ها به صورت خط شده هستند. در آهن‌ربای دائمی مقدار این B_r زیاد است چون ساختار بسیار نامنظمی دارد.

دوباره دور زدن این منحنی به علت این که هیسترزیت داشت کمی بیشتر، به اندازه سطح حلقه انرژی تلف می‌شود:

تلفات هیسترزیس

$$W_{loss} = A_{B-H}$$

بنابراین در یک تحریک با فرکانس f توان تلفاتی به صورت زیر است:

$$P_{loss(h)} = f \times A_{B-H}$$

هیسترزیس

برای هر حجم و ابعاد دلخواه:

$$P_h = k A_{B-H} f$$

ضریب ثابت، تابع حجم و مشخصات مکانیکی

Artline

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

ثابت می‌شود که:

$A_{B-H} = m B^n$

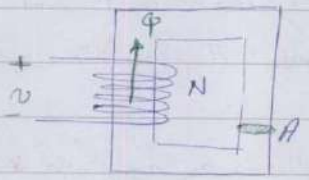
که در رابطه B ای قرار می‌دهیم که بیشترین حالت به آن می‌رسیم.

* n مقدار ثابتی است.

$\Rightarrow P_h = (k_h) B^{(n)} f$

* آزمایش: ثابت است اگر f را زیاد می‌کنیم. (منبع سینوسی)

حین تولید، منبع ولتاژ است پس از قانون فاراده استفاده می‌کنیم:



$v = N \frac{d\varphi}{dt}$

بنابراین: φ سینوسی $\Rightarrow$ v سینوسی

فرض: $\varphi(t) = \varphi_m \sin \omega t$

$v(t) = N \varphi_m \omega \cos \omega t = V_m (\sin(\omega t + \pi/2))$

پس دامنه‌های v و φ روابط زیر وجود دارند:

$V_m = N \varphi_m \omega$

از آنجا که در عمل معمولاً مؤثر ولتاژ کار می‌شود:

$\frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{N A B_m \omega}{\sqrt{2}} \quad \omega = 2\pi f \Rightarrow V_{rms} = 4.44 N f B A$

(V_{rms}: مؤثر، B_{max})

* حتی به دلیل تلفات هیسترزیس سیم داغ می‌شود. فرض کنیم که دامنه V را ثابت نگه داریم و f را زیاد کنیم:

$B \propto \frac{1}{f} \qquad P_h \propto B^n f \propto \frac{1}{f^n} \times f \propto \frac{1}{f^{n-1}}$

$\Leftarrow$ با افزایش فرکانس، تلفات کم می‌شود.

پس می‌توان نتیجه گرفت که هسته خنک‌تر می‌شود. اما این مقدار زیادی تقریب می‌شود چون تلفات دیگری هم وجود دارد.

تلفات جریان‌های گردابی

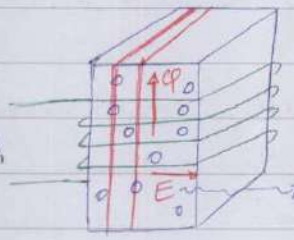
توجه کنید که هسته از آهن است پس رسانا است.

در تولید AC میدان مغناطیسی متغیر با زمان است. $\Leftarrow$ یک میدان الکتریکی متغیر با زمان تولید می‌شود.

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

ثابت می‌شود که این میدان E در داخل هسته باعث می‌شود که جریان های گردابی ایجاد شوند.



(در داخل مقاومت داخل هسته)

تلفات $\frac{V_2^2}{R} \alpha \frac{V_1^2}{R} \alpha \frac{B^2 f^2}{R}$ چون A, N ثابت اند ↪

$V_1 = 4.44\, N f B A$

تلفات جریان های گردابی یا

$\Rightarrow P_e \alpha B^2 f^2$ $\quad P_e = k_e B^2 f^2$

توکو یا ای

بخری

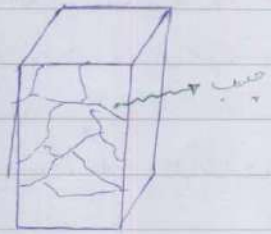
← معایب این تلفات مغرضیت می‌تواند برای جوشکاری یا ذوب کاربرد به کار رود.

← داغ شدن نقطه در مرکز هسته

* فرض کنیم شار در جهت عمودی حرکت می‌کند ← E القایی در جهت افقی خواهد بود. اگر در جهت افقی مقاومت R بزرگ ایجاد کنیم $\frac{V^2}{R}$ کاهش می‌یابد. ← هسته را ورقه ورقه می‌سازند و بین آن ها عایق می‌گذارند. از خطوط عمود شار هم تقاطع دهشکل ایجاد نمی‌شود.

آنها فرکانس های بالا، نازک کردن ورق فایده‌ای ندارد. برای همین از تکنولوژی دیگری استفاده می‌شود. در این تکنولوژی هسته پودری است که پخته می‌شود و با چسب به هم وصل می‌شوند. معمولاً برای فلا در این حالت به کار می‌آید.

یعنی با این تکنولوژی به فرکانس بالایی می‌رسیم.



- با توجه به مکانیزم های تولید تلفات در هسته (هیسترزیس - جریان های گردابی) اگر از هسته با مشخصات زیر استفاده کنیم، بهتر است:

1- هدایت الکتریکی هسته حداقل در جهت میدان الکتریکی تولید شده توسط تغییرات میدان مغناطیسی هر چقدر بیشتر باشد بهتر است. (کاهش جریان گردابی)

Artline®

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

۲- خلوص دیلتو اهمی در هسته کریستال - چرخش حوزه های مغناطیسی را مختل می دهد.

⇐ هرقدر دیلتو کنترل هسته به کاهش جریان های گردابی کمک می کند. هرچقدر مقاومت دیلتوها کمتر باشد، بهتر است به طوری که باری تا دیلتو 0.3mm به راحتی تولید می شود. برای دیلتوهای نازکتر تکنولوژی تولید وجود ندارد، بنابراین از هسته های پودری استفاده می کنند.

* با افزایش فرکانس جریان حوزه جریان های گردابی کوچکتر می شود، دیلتو را هم باید بسیار نازک کرد.

که در نتیجه فقط هادی نداشته باشیم دیلتو کم شود!

* در حالت کلی هسته های مغناطیسی سه دسته دارند:

۱- دیلتوهای آهن

۲- پودرهای آهن ← با فاصله هوایی بزرگ توزیع شده (اند ⇐ μ_r کمی دارند. (خاصیت ذخیره سازی انرژی)

۳- فریتها ← پودری با فاصله هوایی توزیع شده کوچکتر از ۲.

* در داخل فاصله های هوایی می توان انرژی مغناطیسی زیادی ذخیره کرد.

* دیلتوهای بکار رفته در هسته ها با پوشش های پلاستیکی (پوشش پلاستیکی) به هم بسته می شوند جریان می تواند در جهت اهمی مقاومت زیاد باشد تا جریان گردابی مقاومت زیادی ببیند و تلفات زیاد نشود.

* رابطه ماهادی در حالت دائمی سینوسی $V = 4.44\, N f B A$، با افزایش فرکانس در B و A ثابت می توان N را کاهش داد. برای حجم یکسان ($A \leftarrow Fe$ ، $N \leftarrow Cu$) کاهش می یابد که در جبل و فعل هوایی برای مثال کاربرد دارد.

در منبع تغذیه سوئیچینگ با این روش ایجاد ترانسفورمر با حجم کم می کنند که منبع تغذیه به راحتی قابل انتقال باشد.

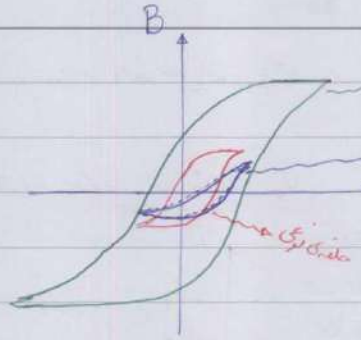
* معمول کننده در افزایش فرکانس تا حد خیلی زیاد این است که در حدود فرکانس 100kHz کاربرد هسته های جدید MHz هم داشته قابل ملاحظه دارند که باعث تداخل با فرکانس های رادیویی و ... می شود.

نکته: اگر تحریک هسته فرومغناطیس تا B_{sat} ادامه پیدا کند، حلقه هیسترزیس کوچکی داخل حلقه اصلی تشکیل می شود که:

Artline

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir



حلقه فرعی می گویند.

* اگر ایجاد حلقه‌ی فرعی به کمک افزایش فرکانس ایجاد نشود، گرچه حلقه نیز نسبت به حلقه‌ی بیرونی کمی جرخیده و زاویه‌ی آن با محور H کمتر می‌شود.

وجود اصل جسم یک خاصیت وجود دارد که طی مکانیسمی با آن مخالف جهت یا تغییر ایجاد می‌کند. این خاصیت که افزایش ϕ را نداریم با تغییر H نشان B گفته می‌شود اصل خواهیم داشت.

(مخالف جریان اولیه)

اندوکتانس سیم پیچ و رابطه‌ی آن با مدار مغناطیسی

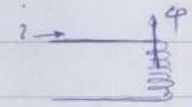
اندوکتانس

اندوکتانس خودی یک سیم پیچ به صورت زیر تعریف می‌شود:

سیم پیچ

$L = \frac{\lambda}{i}$, $\lambda = N\Phi$ ← شار

L ← شار دور



$Hl = Ni \Rightarrow R\Phi = Ni \Rightarrow \Phi = \frac{Ni}{R}$

$\Rightarrow L = \frac{N^2 i}{iR} \Rightarrow \boxed{L = \frac{N^2}{R}}$

وقتی R بزرگ ← L کوچک

نیاز به این طرف رابطه‌ی $v = L\frac{di}{dt}$ را فرض کنید.

$\frac{di}{dt}$ بزرگ می‌شود و در نتیجه ولتاژ زیادی می‌شود.

* ما علاقه نداریم به افزایش L! :دی

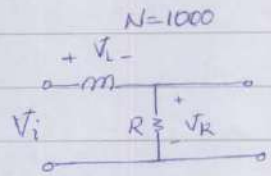
Artline

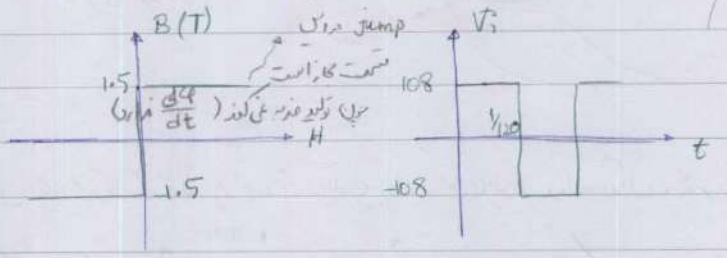
www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

* سلفی که روی هوا باشد خطی است، هسترزیس ندارد.

مثال: مطلوب است V_L, V_R





$$V = N\frac{d\varphi}{dt}$$

V_i در فترات ثابت (شکل مشابه) از $A\times(-1.5T)$ تا $A\times(1.5T)$ تغییر می‌کند:

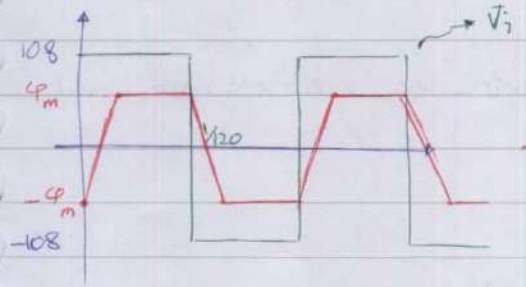
$$\varphi_m - (-\varphi_m) = \frac{108\times t}{1000 \to N}$$

$$*\ \varphi_m = A\times 1.5$$

$$\to t = \frac{1}{360}\ s$$

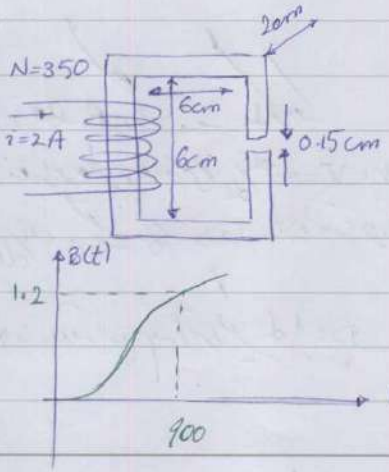
قبل از این لحظه جهت ولتاژ عوض نمی‌شود، به همین شیب در جهت مخالف رسم می‌کنیم.

* اگر t به این مقدار از $\frac{1}{120}$ کمتر بود، جواب بالا برای ما قابل قبول به دست می‌آمد.



نمودار در حالت steady-state

مثال: اگر هوا نبود، از $Ni = R\varphi$ استفاده می‌کردیم و مقاومت ثبت بود و... آقا در اینجا توضیح کاملی نمی‌دهد که



$$Ni = H_{Fe}l_{Fe} + H_g l_g$$

با توجه به شکل داریم:

$$B_g = B_{Fe}$$

$$\Rightarrow Ni = H_F l_F + \frac{B_F}{\mu_0} l_g \quad (1)$$

از ترکیب (1) با نمودار، نقطه کار به دست می‌آید.

$$B_F = B_g \simeq 0.5T$$

Artline

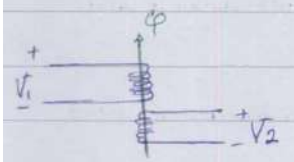
www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

ترانسفورماتور تک فاز

ترانسفورماتور یکی از انواع ماشین های الکتریکی ی باشند که حرکت ندارد. آنها برای سیستم تولید، و انتقال آن کاربرد دارند.

- کاربرد ترانسفورماتور:



$$V = N\frac{d\varphi}{dt}$$

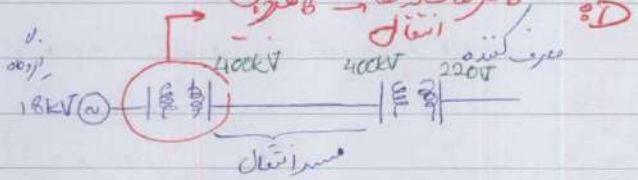
با فرض عدم پراکندگی شار:

$$\varphi_1 = \varphi_2 \Rightarrow \frac{d\varphi_1}{dt} = \frac{d\varphi_2}{dt}$$

$$\Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

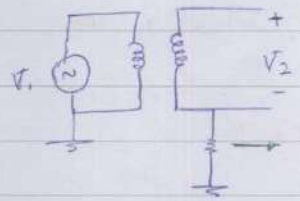
- کاربردها و خاصیت ها:

۱- قابلیت افزایش و کاهش ولتاژ ← کاهش تلفات انتقال (کاهش جریان در خط توسط افزایش ولتاژ و سپس کاهش مجدد آن)



1000MW → $i \approx 2.5kA$

۲- ایزولاسیون: به دلیل ارتباط دو سیم پیچ از طریق میدان مغناطیسی، ولتاژ سیم پیچ دوم نسبت به سیم پیچ اول شناور است و بین آن ها جریانی مبادله نمی شود.

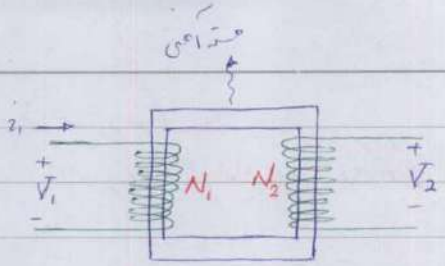


دلیل تاثیر نگذاشتن مقاومت این است که Float نباشد و ولتاژ ها مشخص می شوند.

* دو سیم پیچ می توانند روی هم باشند، چون ممکن است ولتاژهای آن ها زیاد فرق کند پس تخلیه رخ می دهد. بنابراین برای این که پراکندگی زیاد نشود، هدایت شار از طریق هسته آهنی رخ می دهد.

Artline®
www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir



وجود آهن باعث می‌شود که جریان i لازم برای کار کردن بر حسب μ کاهش پیدا کند.

$$Ni = R\varphi$$

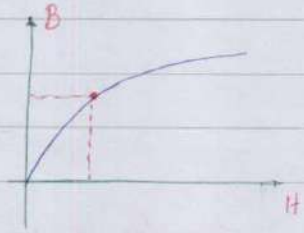
برای راحتی به عنوان شخص، R را کاهش می‌دهیم.

* توجه کنید که ثانویه مدار باز است.

$i_2 = 0$

$\Rightarrow$ ۱۲۰ اسم بیچ ثانویه در معادلات شار دخالتی ندارد،

تنها عامل شار i_1 است.



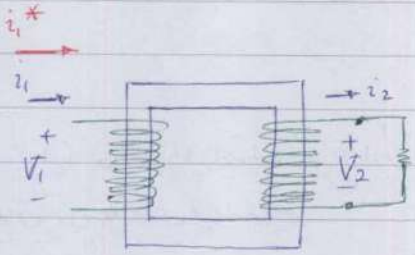
* توجه کنید در هر نقطه کار مغناطیسی هستیم، B، به دلایلی زیر علاقمند به کار کردن در B بزرگ هستیم:

۱- به دست آوردن μ بزرگ: در کنترل می‌خواهیم دستگاه کم عامل نباشد، یعنی الکتریکی کم عایق.

۲- توجه: $V = 4.44 N f B A$، در حالت غیر سینوسی $V = N \frac{d\varphi}{dt}$:

$\Leftarrow$ با افزایش B می‌توان NA را کاهش داد پس حجم یکسی کاهش می‌یابد.

* باز هم ترجیح می‌دهیم در نمودگ زانوی استفاده کنیم.

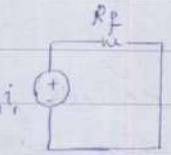


$$i_2 = \frac{V_2}{R}$$

قرارداد بار در ثانویه

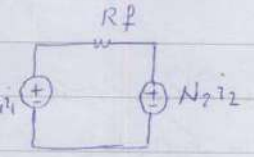
V_2 ثابت است، چون V_1 fix شده است.

$\Leftarrow$ i_2 ثابت است!



$$\varphi = \frac{N_1 i_1}{R_f} \quad , \quad V_1 = N_1 \frac{d\varphi_1}{dt}$$

حالت بدون بار



$$V_1 = N_1 \frac{d\varphi_1}{dt} \quad , \quad V_1 = cte$$

حالت با وجود بار:

$\Rightarrow$ شار همان قبلی می‌ماند

آمپر i_2 اضافه شده است!

Artline®

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

$\dot{i}_1$ اجباراً باید عوض شود.

$\dot{i}_1^*$ اضافه می‌شود تا مقدار ثابت بماند.

$\dot{i}_{1\,new} = \dot{i}_1 + \dot{i}_1^*$

* در حالت عبور جریان از ترانس، جهت $\dot{i}_2$ با توجه به پلاریته‌ی $\dot{V}_2$ درست می‌آید (با فرض ثابت بودن جهت سیم پیچ‌ها)

اگر در ترانس جریان $\dot{i}_2$ از سیم پیچ بیرون آید ⟸ در اولیه $\dot{i}_1^*$ باید سیم پیچ باید وارد شود.

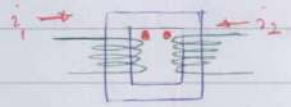
⟸ باید حالت جهت هم اثر کند

علامت گذاری:

قانون نقطه: اگر هر دو جریان به نقطه وارد یا خارج شوند ⟸ شارها با هم جمع می‌شوند.

اگر یکی از جریان‌ها به نقطه وارد و دیگری خارج شود ⟸ شارها همدیگر را تضعیف می‌کنند.

* منظور از شار در همین جا آمپردور است.



* شار داخل هسته ثابت است چون $\dot{V}_1$ ثابت است پس داخل هسته انرژی ذخیره می‌شود. پس انرژی ناشی از $\dot{V}_2\dot{i}_2$ توسط $\dot{V}_1\dot{i}_1^*$ تأمین می‌شود.

(می‌توان از $N_1\dot{i}_1^* = N_2\dot{i}_2$ ، $\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{N_1}{N_2}$ هم استفاده کرد.)

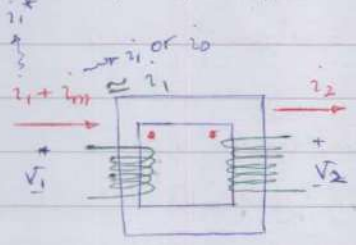
$\Rightarrow \dot{V}_2\dot{i}_2 = \dot{V}_1\dot{i}_1^*$ ، $\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{\dot{i}_1^*}{\dot{i}_2} = \frac{N_2}{N_1}$ ← این رابطه دقیق است

جریانی که پس از ترانزیستور بار در ثانویه اضافه شده است

* در ترانسفورماتوری که خوب طراحی شده باشد یعنی نفوذپذیری مغناطیسی مناسبی برای آن در نظر گرفته شود (زانویی اشباع) جریان $\dot{i}_1$ (برای تولید Φ_1) در حد 2-1% جریان نامی ترانسفورماتور می‌شود. ⟸ به تقریب می‌توان گفت:

$\dot{i}_1^* + \dot{i}_1 \simeq \dot{i}_1^*$

↓ جریانی که در حالت ثانویه بار از اولیه کشیده می‌شود.



- اصلاح علامت‌های جریان (ناگذاری):

$\dot{V}_1 = N_1\frac{d\Phi_1}{dt}$ ، $N_1\dot{i}_m = R\Phi_1$

↓

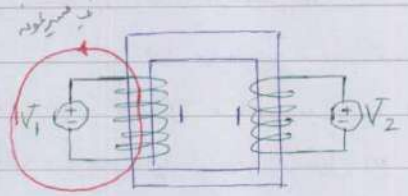
$\dot{i}_1$ عمل است، شار داخل هسته

Artline

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

* فرض کنیم ورودی به صورت زیر بدهیم:



$V_1 \neq V_2$ ، $f_1 = f_2$

$$\left.\begin{aligned} V_1 &= N\frac{d\varphi_1}{dt} \\ V_2 &= N\frac{d\varphi_2}{dt} \end{aligned}\right\} \; , V_1 \neq V_2 \Rightarrow \varphi_1 \neq \varphi_2$$

⇐ شار عبوری از داخل هسته φ_1 است و φ_2. پس بخشی از شار سیم پیچ ها می توان داخل هسته نبود، پس مسیر خود را داخل هوا می بندد و پراکندگی زیادی می شود.
از طرف دیگر، لوکتانس هوا زیاد است، پس جریان زیادی از منبع ها کشیده می شود.

← مثلا اگر ثانویه اتصال کوتاه شود، $V_2 = 0$ می شود. که حالت خاص از قبل بالاست. در این حالت $\frac{d\varphi_2}{dt} = 0$ می شود، پس φ_2 باید ثابت شود. شار پراکندگی باز هم زیاد می شود و از منبع V_1 جریان زیادی کشیده می شود و این منجر به آسیب دیدن ترانسفورمر می شود.
به تعبیر دیگر اگر ثانویه را با بار صفر در نظر بگیریم، جریان $\frac{V_2}{0} \to \infty$ یا جریان خیلی زیاد از ثانویه کشیده می شود. متعادل این جریان باید از منبع اولیه کشیده شود، پس جریان زیاد ایجاد می شود!

$$\Rightarrow \frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1} \qquad (i_m \simeq 0)$$

از اینجا به این تعریف رسیدیم

مدار معادل ترانسفورماتور واقعی

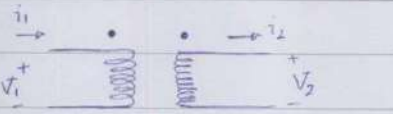
- ایده آل:

۱- ضریب نفوذپذیری هسته $\mu = \infty$ ⇐ پراکندگی شار نداریم. ⇐ تزویج اولیه و ثانویه کامل است
۲- تلفات هسته و سیم پیچ ها نداریم. ↓ کل شده تولیدی اولیه از ثانویه می گذرد
۳- سیم های به کار رفته در سیم پیچ ها مقاومت الکتریکی ندارند.

Artline

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir



$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$; $\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1}$

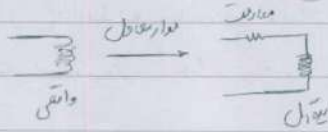
(i_m بدون وجود) $N_1 i_m = \mathcal{R}\varphi$

و چون $\mu_r \to \infty$ $\Leftarrow$ $R \to 0$

* در حالت غیر ایده آل

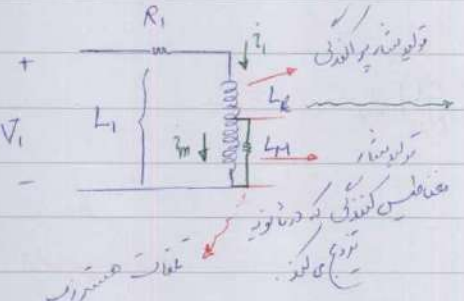
دوایی رابطه دقیق است!

$(V) = N\frac{d\varphi}{dt}$ ، امّا V حول ولتاژ اعمالی ثابت است ، چون تلفات داریم :



ولتاژ دو سر سیم پیچ

* حالت غیر ایده آل :



$\begin{cases} \varphi_m = i_m L_m \\ \varphi_\ell = i_1 L_\ell \end{cases}$

امّا شار پراکندگی نسبت به شار هسته بسیار کمتر است

تقریباً ثابت $\Rightarrow \varphi_m + \varphi_\ell \approx \varphi_m \Rightarrow i_m$

$\Leftarrow$ $\varphi_m + \varphi_\ell$ ثابت فرض می‌شود ، چون ولتاژ V_1 ثابت فرض شده است (البته با تقریب است چون از افت ولتاژ روی R_1 صرف نظر شده است .)

$\Leftarrow$ در هسته تلفات هیسترزیس و جریان گردابی داریم :

$\begin{cases} P_e = k_e f^2 B^2 \\ P_h = k_h B^n f \end{cases}$

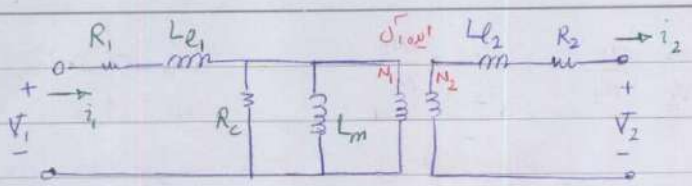
$V = 4.44\, N f B A \Rightarrow$ فرکانس ثابت است ، B فقط تابع V است.

پس این دو نوع تلفات فقط ولتاژ اعمالی وابسته اند نه جریان ! از طرف دیگر هر دوی این تلفات ناشی از شار موجود در هسته است . پس می‌توان گفت این تلفات فقط به ولتاژ دو سر L_M بستگی دارد ، چون L_M شار در هسته ایجاد می‌کند . (دقت کنیم که تلفات در مدار با مقاومت مدل می‌شود .)

* تلفات مانند غیرخطی با B ، V دارد ، پس در حالت کلی با مقاومت نمی‌توان مدل کرد . امّا مشکل این است که در کاربردهای V ثابت است ، پس تلفات تغییر نمی‌کند .

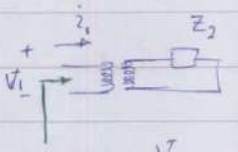
Artline®
www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir



c: core

* L_m و R_c فقط در یک جا قرار گرفته اند، چون مسیر هسته برای هر دو سیم پیچ یکی است. هم چنین اگر مثلاً از ثانویه V_2 و تاثیر اعمال کنیم می‌توان L_m و R_c را به ثانویه منتقل کرد و باز هم این شرایط یکی است.



یاد آوری:

$$Z_{eq} = \frac{V_1}{i_1} = \frac{\frac{N_1}{N_2} V_2}{\frac{N_2}{N_1} i_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \frac{V_2}{i_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z_2$$

معکوس

اندازه گیری پارامترها

آزمایش مدار باز:

در اولیه و تقاضای اعمال می‌شود و ثانویه مدار باز است. V_1 ، i_1 ، P_1 قرائت می‌شوند:

$$R_c = \frac{V_1^2}{P_1}$$

$$X_m = L_m \omega = \frac{V_1^2}{Q_1} \quad , \quad Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P_1^2} \quad , \quad S_1 = V_1 i_1^*$$

در این آزمایش از اثر L_{l_1} و R_1 صرف نظر می‌شود

آزمایش اتصال کوتاه:

ثانویه اتصال کوتاه، به اولیه اعمال جریان می‌شود و i_1 ، V_1 ، P_1 قرائت می‌شوند.

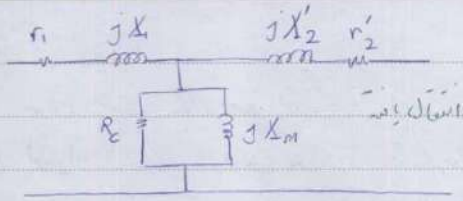
$$P_1 = i_1^2 (R_1 + R_2') \qquad Q_1 = i_1^2 (X_{l_1} + X_{l_2}')$$

Artline

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )



مثال:

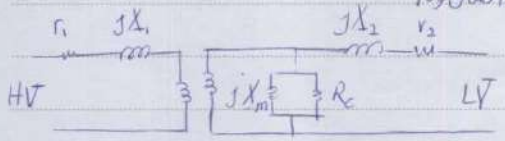
100KVA

1000V/100V

آزمایش: مدار باز: HV $P_{oc}=400W$ ، $I_{oc}=100A$ ، $V_{OC}=100V$

اتصال کوتاه: LV $P_{SC}=1800W$ ، $I_{SC}=100A$ ، $V_{SC}=50V$

پارامترهای معادل در سمت HV



صرف نظر می‌شود چون ادمانس بزرگی دارند r_2 و jX_2 و از آن صرف نظر می‌کنیم: r_1 و jX_1 از

مقادیر داده شده rms هستند

$$(R_c \| jX_m) = Z_{eq} = |Z_{eq}| \angle \theta_{oc}$$

$$I_{Rc} = I_{oc} \cos\theta_{oc}$$

$$I_m = I_{oc} \sin\theta_{oc}$$

$$\cos\theta_{oc} = \frac{P_{oc}}{V_{oc} I_{oc}}$$

$$\begin{cases} R_c = \dfrac{V_{oc}}{I_{Rc}} = \dfrac{V_{oc}}{I_{oc}\cos\theta_{oc}} \\ X_m = \dfrac{V_{oc}}{I_m} = \dfrac{V_{oc}}{I_{oc}\sin\theta_{oc}} \end{cases}$$

← راه حل دوم: P_{oc} اندازه‌گیری شده معادل توان تلف شده روی R_c است:

$$P_{oc} = \frac{V_{oc}^2}{R_c} \longrightarrow R_c \text{ به دست می‌آید.}$$

$$|Y_{oc}| = \left|\frac{1}{Z_{oc}}\right| = \left|\frac{1}{R_c} - j\frac{1}{X_m}\right| = \frac{I_{oc}}{V_{oc}}$$

$$\frac{1}{X_m} = \sqrt{|Y_{oc}|^2 - \frac{1}{R_c^2}}$$

← راه حل سوم:

$$S = V_{oc} I_{oc}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P_{oc}^2}$$

$$X_m = \frac{V_{oc}^2}{Q} \Rightarrow \begin{cases} R_{c_{LV}} = 25\,\Omega \\ X_m \simeq 1\,\Omega \end{cases}$$

PqPCO

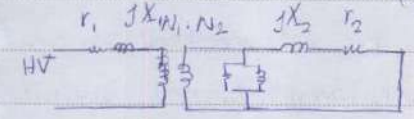
www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

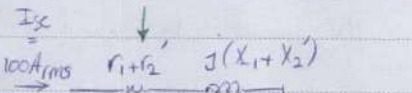
Subject:
Year. Month. Date. ( )

اتصال کوتاه

جریان در سمت LV بیشتر است. برای خواهیم جریان نامی ترانس را بدست بگذرد تا اندازه گیری ها انجام شود. (آمپرمتر انتخاب را اتصال کوتاه برای جریان نامی، مقدار ولتاژ کم خواهد بود پس مشکل داریم.)



در حالت اتصال کوتاه مقادیر R_c و X_m اثری ندارند چون مقدار زیادی دارند.



$$r_2' = \left(\frac{N_{HV}}{N_{LV}}\right)^2 r_2$$

$$Z_{eq} = R_{eq} + jX_{eq} \qquad |Z_{eq}| = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} = \sqrt{R_{eq}^2 + X_{eq}^2}$$

$$P_{sc} = I_{sc}^2 R_{eq} \Rightarrow R_{eq} = \left(\frac{I_{sc}^2}{P_{sc}}\right)^{-1} \Rightarrow X_{eq} = \sqrt{|Z_{eq}|^2 - R_{eq}^2}$$

از اینجا مجموع به دست می آید. برای جدا کردن تک تک راه های مختلفی وجود دارد. مثلا نصفی نصف - نصف در نظری گیرند یا مثلا برای مسی r_1 می توان منبع ولتاژ قرار داد (DC) و بعد مقدار بدست آمده جریان را خواند (آمپرمتر) بر این ترتیب r_1 و r_2 هم بدست می شوند.

* در عمل چون X_m بالا است پس تولید کننده جریان می کشد که X_m حل می شود.
  ← از آوردن X_m صرف نظر کنیم باعث جریان ها عادی است.
* مدار باز ← سمت ولتاژ ضعیف، چون نامی ولتاژ کمتر استاندارد است. البته جریان بیشتری می کشد اما در حدی کم است که مشکلی پیش نیاید.
* مقدار R_c و X_m تابعی از نقطه کار است پس باید ولتاژ نامی اعمال کرد.
* ~~نکته~~: در یک ترانسفورماتور خوب طراحی شده $X_{e_1} = X_{e_2}'$ ، $r_1 = r_2'$

$$R_2' = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_2$$

P4PCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

* اتصال کوتاه ← ست ولتاژ پایین : چون جریان کمتری لازم داریم و تأمین جریان کمتر ساده‌تر است. (در این حالت ولتاژ خیلی کم‌تر از مقدار نامی است.)
* مقاومت‌های داخل مدل تا حدی از کجا هستند و بهتر است در جریان نامی اندازه‌گیری شوند. X_1 و X_2 هم تابع جریان هستند.

مثال: 60Hz ، 2200V/220V ، 10 KVA

{ 150V, 4.55A, 215W ← اتصال کوتاه چون جریان نامی HV است
{ 220V, 2.5A, 100W ← مدار باز چون ولتاژ نامی LV است.

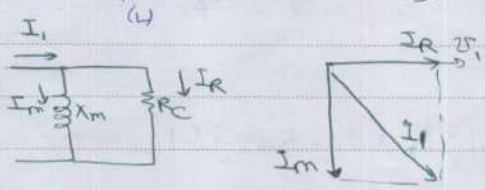
ممکن است جمع کرام نامی نباشند، آن را که نزدیک‌تر است درنظر می‌گیریم.

O.C: $R_{c(L)} = \frac{220^2}{100} = 484\ \Omega$

$X_{m(L)} = \frac{220^2}{Q}$ $\quad Q = \sqrt{S^2 - P^2}$ $\quad S = VI, P = 100W$

این رابطه از اینجا می‌آید:

$\Rightarrow X_{m(L)} = 89\ \Omega$

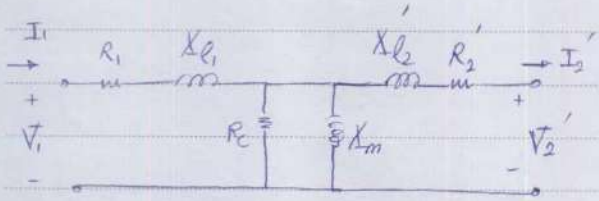


S.C: $(R_1 + R'_2)_H = \frac{P}{I^2} = \frac{215}{4.55^2} = 10.4\ \Omega$ $\begin{cases} R_1 = 5.2\ \Omega \\ R'_2 = 5.2\ \Omega \end{cases}$

$(X_{\ell_1} + X'_{\ell_2})_H = \frac{Q}{I^2} = \frac{\sqrt{(150 \times 4.55)^2 - 215^2}}{4.55^2} = 32\ \Omega$ $\begin{cases} X_{\ell_1} = 16\ \Omega \\ X'_{\ell_2} = 16\ \Omega \end{cases}$

مدل بسیار ساده تر اینجوری میره:

تقریبی می‌زنیم فقط شکل ساده‌ترکی ازاینجوری دهیم:



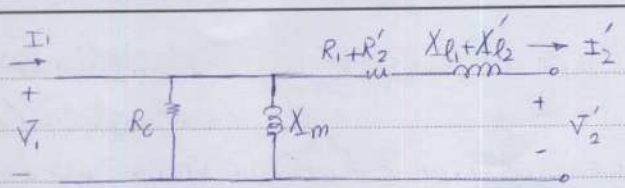
P4PCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

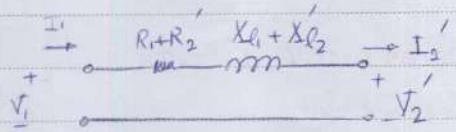
www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

مدل تقریبی:



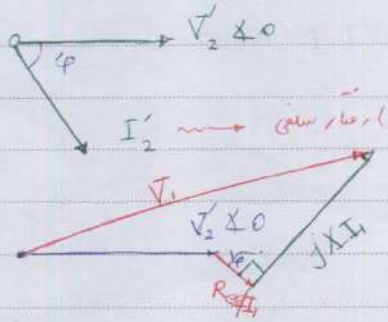
تقریب بهتر:



دلیل این تقریب ها این است که $R_c \| X_m$ امپدانس بزرگی دارد

دیاگرام فازوری ترانسفورمر:

از مدار معادل تقریبی استفاده می‌کنیم. فرض می‌کنیم مقدار بار مشخص است. یعنی V_2، I_2 و در نتیجه V'_2، I'_2 مشخص است.

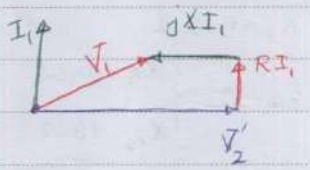


$$I_1 = I'_2$$

$$I_1 = \frac{V_1 - V'_2}{R_{eq} + jX_{eq}}$$

پس فاز: سلفی
پیش فاز: خازنی

$$\Rightarrow |V_1| = |V'_2 + RI_1 + jXI_1|$$



* زاویه φ به بار بستگی دارد
* در حالت بار کاملاً خازنی

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

مثال: ترانسفورمر: LV 220V / HV 2200V — 10kVA

$S = VI \rightarrow I_n = \frac{S_n}{V_n} = \frac{10000}{2200} \simeq 4.55A$ (HV)

* S_n و ولتاژهای نامی جزو خصوصیات ترانس هستند مثلاً اگر در حالت 220V/22V استفاده کنیم بازهم $S_n = 10kVA$ است!
* جریان نامی یعنی جریانی که ماشین به صورت طولانی مدت می‌تواند تحمل کند. این جریان روی ولتاژهای اعمالی دارد، در واقع ورودی ولتاژ هرچقدر باشد، جریان نامی همان مقدار اعمالی است. مثلاً در اینجا جریان نامی 4.55A است.
* اگر از ترانسفورمر با ولتاژ کمتری استفاده کنیم از مقدارهای کار غیر بهینه‌ای خارج می‌شود، چون VA آن به نسبت ولتاژ کم شده است.
* جریان 4.55A کشیده می‌شود، یعنی بار قبول دارد. منظور این است که جریان نباید از 4.55A کشیده شود.
* این مقادیر ولتاژ و VA نامی را به ما می‌دهند تا جریان نامی حساب شود.

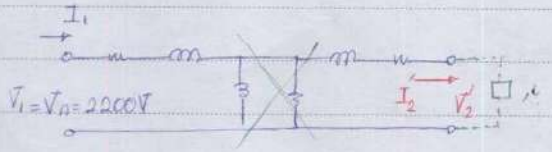
در ادامه دیاگرام بازه‌ی ترانسفورمر را در حالت:

- الف: 0.75 بار سلفی در ناحیه ضریب توان 0.6 پس‌فاز
- ب: 0.75 بار سلفی در ناحیه ضریب توان 0.6 پیش‌فاز

* منظور از بار → توان ظاهری → جریان (با فرض ولتاژ ثابت)

بار 0.75 یعنی = 7500VA (با فرض ولتاژ ثابت که فرض بحثی است.)

الف: ناحیه اول: $V = V_n,\ I = 0.75\, I_n,\ \cos\varphi = 0.6$ lag (پس‌فاز)



فرض: از شبه‌سازی صرف نظر می‌شود. (در حالت الف و دیاگرام بازه‌ی)

P4PCO

۷۳

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

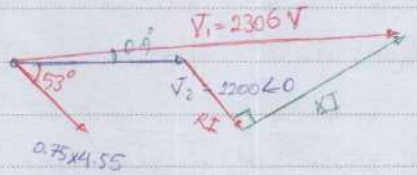
I_1 → R_{eq} X_{eq} → I_2'

V_1 V_2'

$R_{eq} = R_1 + R_2'$

$X_{eq} = X_1 + X_2'$

* مقادیر داده شده برای حالت ناحیه مشخص شده است. پس ولتاژ دو سر بار مشخص باید باشد.
توضیحات: توضیح می‌کنم که ولتاژ دو سر بار ثابت و نامی است.



$V_R = \frac{|\bar{V}| - |\bar{V}_n|}{|\bar{V}_n|} = \frac{2306 - 2200}{2200} \simeq \%4.86$ (ΔV)

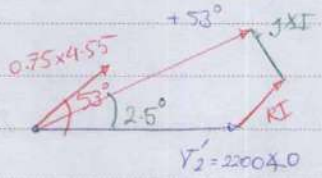
گوید سوئی (تنظیم ولتاژ)

خیر ✓

ب-

$V_2' = V_n$, $I_2' = 0.75\ I_n$, $\cos\varphi = 0.6$ lead

در حالت بار خازنی، ولتاژ کمتری می‌شود، در نتیجه افت ولتاژ بیشتر می‌شود.



$\bar{V}_1 = 2140 \angle 2.5°$ $V_R = \frac{2140 - 2200}{2200} \simeq \%-2.8$

خازنی

ترانسفورماتور سه فاز

یادآوری سیستم سه فاز:

$\bar{V}_3 \angle \varphi_3$

$\bar{V}_2 \angle \varphi_2$

$\bar{V}_1 \angle \varphi_1$

..... $\angle 0$ داشتن یک مرجع، که φ ها مقادیر نسبت به آن باشند.

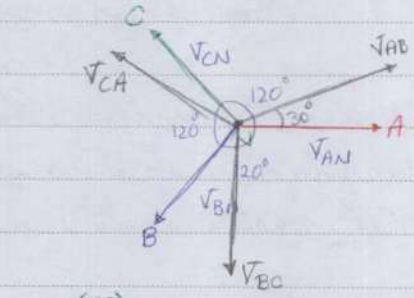
سیستم خنک‌سازی داریم.

PqPCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

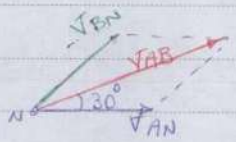
Subject :
Year . Month . Date . ( )



مرجع پتانسیل در سیستم سه فاز نول نامیده می‌شود.

$V_{AB} = V_{AN} - V_{BN}$

مقدار rms هر کدام 220V است.

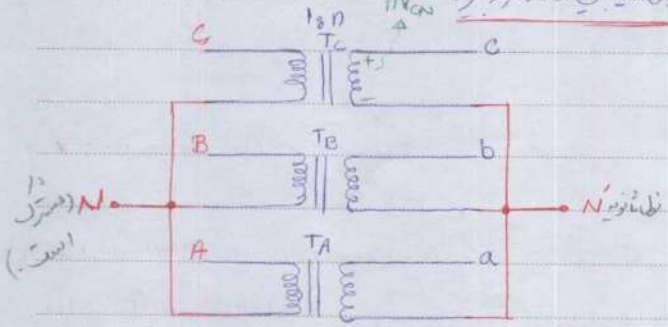


V_{AB}, V_{BC}, V_{CA} : قدر مشترک

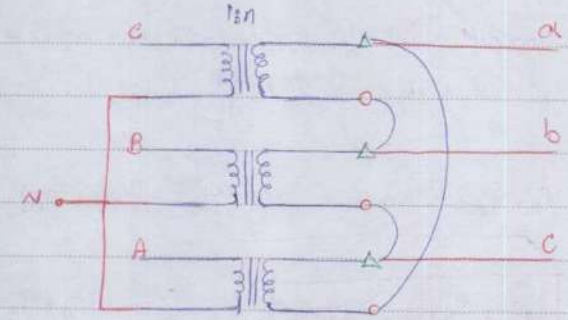
$V_{AB}(rms) = \sqrt{3} \times 220 \ (\approx 380V)$

* برای سه فاز هم می‌توانیم سه ترانسفورمر مورد نیاز داریم. ساده‌ترین حالت این است که از ۳ ترانسفورمر تک فاز استفاده کنیم. (بین هر فاز و نول)

توجه کنید اولیه ترانسفورمری تواند بین یک فاز و نول و یا بین دو فاز قرار گیرد.



* به این حالت اتصال ستاره یا Y می‌گویند.



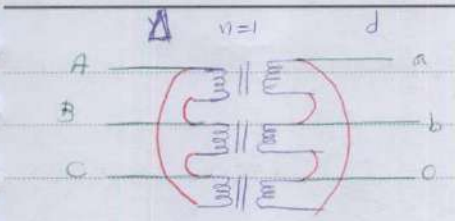
اتصال Δ یا D :

دیگر نیازی به خط نول یا N نیست

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

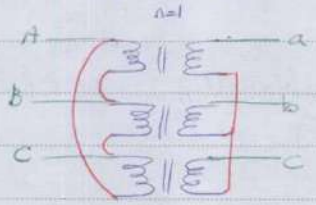


* اگر چیزی ذکر نشود، منظور rms است.

پارامترهای خط.

توجه کنید که برای ترانس، فقط اگر اتصال ثانویه مشخص شود d یا بعد، ولتاژهای خط ثانویه برابر ولتاژهای خط اولیه می‌شوند.

در واقع ثانویه هر ترانسفورمر اولیه شود باید بدانید که به کدام ولتاژ خط اتصال می‌شود.



ولتاژ خط را با سربندی افزایش داده ایم! ولتاژ خط ثانویه $\sqrt{3}$ برابر بزرگتر است.

$\Delta - y$

$V_{ab} = \sqrt{3}\, V_{AB}$

به همین که ۲ است این گونه می‌شود

سؤال: آیا این نتیجه به این معنی است که با تغییر ترانس می‌توان توان بیشتری عبور داد؟

خیر، چون جریان کاهش یافته است.

توان ظاهری در دو حالت یکی است.

$S = \sqrt{3}\, V_{LL} I_L$

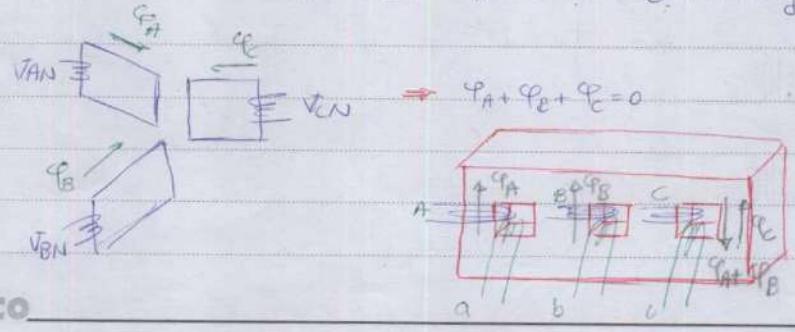
ولتاژ خط — جریان خط

* در حالت $y - \Delta$ نول هم به دست می‌آید.

* در مثلا اتصال $y - \Delta$، دنباله 30° نسبت به اولیه به وجود می‌آید. پس کاربردهای این اتصال دارد. آن phase-shift است.

* توجه کنید در حل ترانسفورمر سه فاز را به صورت یک‌فاز حل می‌کنند.

طبق قانون فاراده $V = N\frac{d\varphi}{dt}$، پس شار با V 90° اختلاف فاز دارد.



$\varphi_C = -(\varphi_A + \varphi_B)V$

P4PCO

۱۴

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

کولاسیون ولتاژ و کالسیات ترانسفورمر سه فاز:

در حالت متعادل و متعادل: تنوان هر اتصال Y را به Δ و بالعکس تبدیل کرد. محاسبات تنها برای یک فاز انجام می‌شود.
هر سیستم سه فازی قابل تبدیل به Yy است.

تبدیل هر خط باهم
برابر و اختلاف فاز 120°

تبدیل هر خط باهم
برابر و اختلاف فاز 120°

$$\begin{cases} V_Y = \sqrt{3}\, V_\varphi \\ V_\Delta = V_\varphi \end{cases}$$

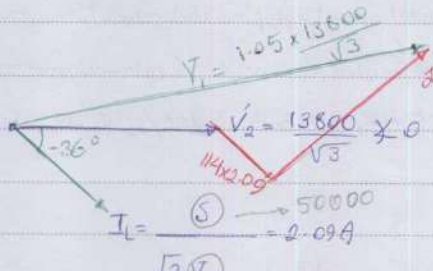
$$\begin{cases} I_\Delta = \frac{1}{\sqrt{3}} I_L \\ I_\varphi = I_L \end{cases}$$

⇐ در انجام محاسبات اصلاً به گیر سیم بین ترانسفورماتورها نیازی نیست.

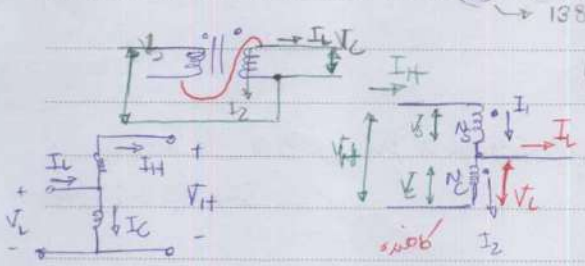
مثال: ترانسفورمر Δ-Y : 13800/208, 50kVA, 5Hz.

این ترانسفورمر در مقدار متعادل Y دارای امپدانس سری $Z_{eq(HT)} = 114\angle 2 + 3800\angle 2$ می‌باشد. اگر باری با توان ظاهری و ضریب توان 0.8 lag را تغذیه کند، رگولاسیون ولتاژ را حساب کنید.

محاسبات برای یک فاز: سمت HV



اتوترانسفورماتور فاز:



جهت تبدیل اتوترانسفورماتور به ترانسفورماتور معمولی (دو سیم پیچ) باید دو سیم پیچ را از هم جدا کرد.

$$\frac{V_H}{V_L} = \frac{V_S + V_C}{V_C} = \frac{N_S + N_C}{N_C}$$

نسبت تبدیل اتوترانسفورماتور

معمولاً سیم پیچ مشترک کمتری دارد!

تغییر ولتاژهای مثلاً 120/110 از این گونه نسبت‌های کم

PAPCO Common & Series : N, S

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

قوای که هر سیم پیچ تحمل می‌کند S_W است . درحالی که توان کل ترانسفورماتور $S_{I/O}$ است که بسیار بزرگتر از S_W است ! بقیه توان از سیم پیچ ها منتقل نمی‌شود ، بلکه از ارتباط سیم پیچ ها منتقل می‌شود . به این ترتیب می‌توان ترانسفورماتور کوچکتری ساخت که توانی که منتقل می‌کند زیاد باشد

Subject:
Year. Month. Date.

جهت مقاومت کمتر سیم پیچ ها ضخیم تر باشد

$$\Rightarrow \frac{I_H}{I_L} = \frac{N_C}{N_C + N_S}$$

$$S_{I/O} = V_H I_H = V_L I_L$$

$V_S I_S = V_C I_C$

S_W: winding ظرفیت سیم پیچ

$$V_H I_H = V_S\left(\frac{N_S+N_C}{N_S}\right) I_1 = \frac{N_S+N_C}{N_S}(V_S I_1)$$

V_1 دستگاه $V_S I_1$

$$\Rightarrow S_{I/O} = S_W\left(\frac{N_S+N_C}{N_S}\right)$$

استفاده از ترانسفورماتورهای اتو که حجم کمتر و آلیاژ ظرفیت زیادی دارند .

مثال : $S_{I/O} = 5MW$, $132/110kV$ $\quad S_W = ?$

$$\frac{V_H}{V_L} = \frac{N_S+N_C}{N_C} = \frac{132}{110} \Rightarrow \frac{N_S}{N_C} = \frac{1}{5} \Rightarrow S_W = 833\ kVA$$

اندازه ترانسفورماتور با این توان کاهش پیدا می‌کند .

محاسبات در سیستم پریونیت (یا واحد) per unit

برای سهولت در کار با محاسبات ، خواندن بدون ابعاد و عدم نیاز به انتقال اطلاعات اضافی روش پریونیت مورد استفاده قرار می‌گیرد . این روش در واقع یک سیستم محاسباتی نسبی است که در آن کمیت ها به صورت تنسبی پریونیت می‌شوند .

مثال : ترانسفورماتور تک فاز $50HZ$, $10kVA$, $2200/220V$

$R_{eq_{(HV)}} = 10.4\Omega$, $X_{eq_{(HV)}} = 31.9\Omega$

$$R_{eq_{(LV)}} = \frac{10.4}{100} \simeq 0.01\Omega \qquad X_{eq_{(LV)}} = \frac{31.9}{100} \simeq 0.39\Omega$$

$R_{C_{(LV)}} = 484\Omega$ $\quad X_{m_{(LV)}} = 89.5\Omega$

برای رفع مشکلات از روش pu استفاده می‌شود . برای هر پارامتر یک مرجع یا base تعریف می‌شود . این مقادیر معمولاً مقادیر نامی هستند .

$V_b = V_n$ $\quad I_b = I_n$

base

PAPCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

عموماً با توان مرجع یا base کار می‌شود.

با تعریف مقادیر مرجع یا پایه، ولتاژ و توان، مقادیر مرجع بقیه شاخص‌ها و پارامترها به دست می‌آیند.

$$I_b = \frac{S_b}{V_b} = \frac{S_n}{V_n}$$

$$Z_b = \frac{V_b^2}{S_b} = \frac{V_n^2}{S_n}$$

$$V_b = \underset{HV}{2200\,V} / \underset{LV}{220\,V} \qquad I_b = \begin{cases} \frac{10k}{2200} = 4.55A & HV \\ \frac{10k}{22} = 45.5A & LV \end{cases}$$

اکنون پارامترهای مدار معادل ترانسفورماتور را pu می‌کنیم. مثلاً R_c و X_m چون در سطح LV هستند، پس مقادیر مرجع LV را استفاده می‌کنیم.

$$Z_b = \frac{220^2}{10{,}000} = 4.84\,\Omega$$

$$R_c(pu) = \frac{R_{c(LV)}}{Z_{b(LV)}} = \frac{484}{4.84} = 100\,pu \qquad X_m(pu) \simeq 20\,pu$$

در حالت کلی مداری، جریانی که عبور می‌کند به برایند بیشتر از مقاومت است، پس مقدار راکتیو ترانسفورماتور زیاد است.

$$R_{eq}(pu) = \frac{R_{eq(HV)}}{Z_{b(HV)}} \simeq 0.02\,pu$$

تاثیر X_{eq} در افت بیش از R_{eq} است.

$$X_{eq}(pu) \simeq 0.06\,pu$$

$$R_{eq_{(LV)}} = \frac{10.4}{100} \xrightarrow{pu} R_{eq}(pu) = \frac{10.4/100}{484/100} \simeq 0.02\,pu$$

$$X_{eq_{(LV)}} = \frac{31.9}{100}$$

برابر با pu افت قبلی شد!

نتیجه: اگر pu کار کنیم فرقی ندارد در کدام طرف هستیم.

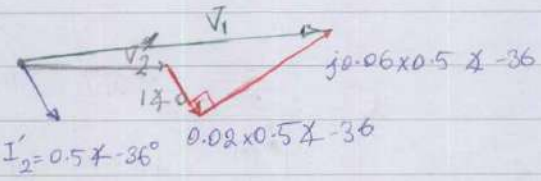
Artline

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

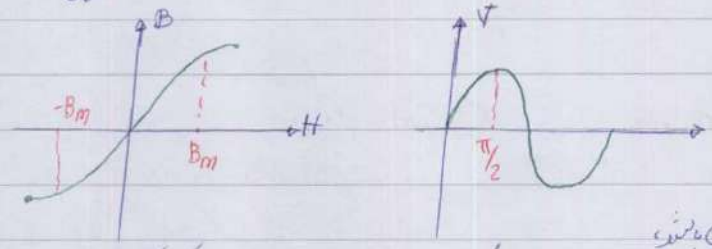
اکنون می‌خواهیم رگولاسیون ولتاژ ترانسفورمر را به صورت عددی انجام دهیم.

مثال: ترانسفورمر مرحله‌ی قبل با بار نامی را در ثانویه و فکتور توان 0.8lag تحویل می‌دهد. $V_R = ?$



~~حالت~~ گذرای ترانسفورمر در حوزه‌ی زمان

$V = N \frac{d\Phi}{dt} \Rightarrow V = 4.44\, N f B A$ سینوسی ← swing با فنومن



فرض‌هایی که می‌خواهیم ترانسفورمر را start بزنیم، مشکل این است که V را در چه لحظه‌ای به ترانس وصل کنیم.

برای این که swing روی B-H متقارن باشد، باید V از $\pi/2$ شروع شود که B_m بدهد و $-B_m$ هم برسیم. اما اگر V از $\pi/2$ کجا switch کند، کلید دوب می‌شود، یعنی حداکثر زمان ممکن تا ماکزیمم کشیده می‌شود.

آنچه مشکل‌ساز است این است که مشکلی پیش می‌آید حول مکانیزم هیسترزیس و وجود اشباع، عملاً سری باعث می‌شود که پس از چند cycle به حالت دائم برسیم. وجود اشباع سری بالا، هیسترزیس پهن، سرعت رسیدن به حالت دائم را کند می‌کند.

توجه کنید از آنجا که مسیر برگشت حلقه هیسترزیس با مسیر رفت آن کمی تفاوت دارد، در حالت برگشت از اشباع با کمی اندک شار (و ولتاژ) حدوداً کاهش قابل توجه می‌یابد و بنابراین در حالت برگشت اندک شاری در هسته موجود می‌آید. (چون اشباع سری داریم) که از این پدیده با عنوان متقارن شدن نوسان شار حول BH می‌نامند.

Artline

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:

Year. Month. Date. ( )

بازدهی ترانسفورماتور

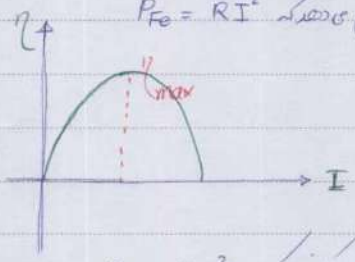
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_2 I_2 \cos\varphi}{V_2 I_2 \cos\varphi + P_{Fe} + RI^2}$$

P_{out} + تلفات

تلفات مسی — تلفات آهنی

از رابطه بالا با $\cos\varphi$ ثابت و ولتاژ مشخص،

$P_{Fe} = RI^2$ ماکزیمم وقتی رخ می‌دهد که η



$\eta_{max} \longrightarrow P_{Fe} = RI^2$

تلفات آهن — تلفات مسی

تلفات مسی = تلفات آهن

جریان ac با قدرتی طراحی می‌شود که $P_{Fe} = RI^2$.

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)\,dt}$$

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject :

Year . Month . Date . ( )

P4PCO

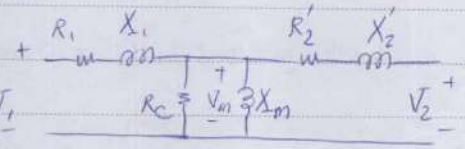
www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

جریان مغناطیس کنندگی ترانسفورمر

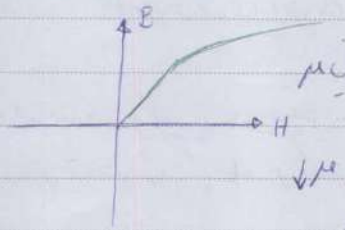
توجه کنید منظور از این جریان، جریان I_m در مدل ترانسفورمری باشد. با توجه به رابطه‌ی $L=\frac{N^2}{R}$، مقدار سلف اولیه ترانس ثابت است و بنابراین تابعی از μ است. پس در یک ترانسفورمر واقعی، مقدار L_m به ازای کار ترانسفورمر ثابت است.



در حالت عادی: $V_1 = V_m$ (تقریبی)

$\Rightarrow \Phi = \frac{(V)}{4.44Nf}$ ← ثابت V_m در حالت

بنابراین تنها کار مغناطیس شدن ترانسفورمر در هر لحظه توسط ولتاژ تعیین می‌شود. ⇐ اعمال ولتاژ سینوسی، شار سینوسی می‌شود.



بنابراین با ورود به ناحیه‌ی اشباع، شیب منحنی B-H کاهش می‌یابد و بنابراین μ کم می‌شود.

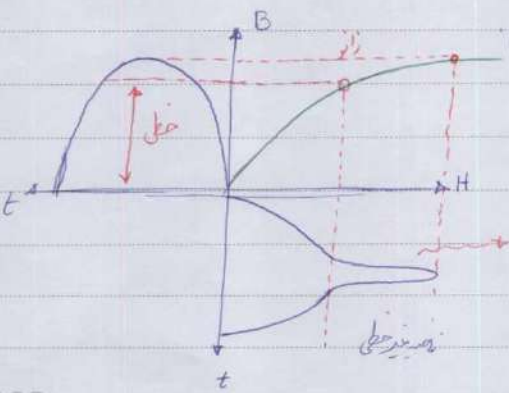
$\downarrow \mu \Rightarrow \uparrow R$

در نتیجه اندازه‌ش زیاد، مقدار سلف مغناطیس کنندگی ترانسفورمر کاهش می‌یابد.

اما توجه کنید از طرف دیگر و بر طبق روابط مدار $\Phi = LI$ چون Φ مستقیماً توسط ولتاژ تعیین می‌شود، بنابراین ثابت است و تحت تأثیر اشباع قرار نمی‌گیرد. (با تقریب خوب نظر از افت روی مقاومتی مثل R_1 و X_1)

$\uparrow I \Leftarrow \downarrow L \Leftarrow$

این اتفاقات دقیقاً برعکس زمانی است که اشباع را بررسی کردیم.



که مدام کاهش می‌یابد.

غیرخطی بودن جریان مغناطیس کنندگی

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری

توجه کنید دو نوع ترانسفورماتور برای اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی به‌کار می‌رود.

۱- ترانسفورماتورهای ولتاژ PT

۲- ترانسفورماتورهای جریان CT

United!! >:P

:X

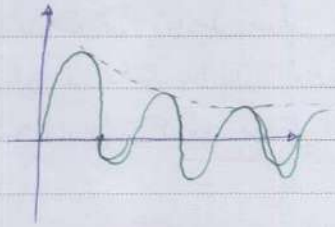
دستگاه‌های اندازه‌گیری نمی‌توانند جریان بالا یا ولتاژ زیاد را تحمل کنند. پس با ترانسفورماتور این مشکل را حل می‌کنیم.

PT و CT در واقع همیشه ترانسفورماتور محسوب می‌شوند، ولی به‌دلیل اهمیت دقت در اندازه‌گیری برای آن‌ها ملاحظات خاص در نظر گرفته می‌شود که مهم‌ترین این ملاحظات دقت در تبدیل ولتاژ یا جریان به کمیت مورد نظر است.

توجه کنید PT‌ها به‌صورت موازی با ولتاژ مورد نظر متصل می‌شوند و CT‌ها به‌صورت سری در مسیر جریان قرار می‌گیرند.

توجه کنید در مورد CT‌ها، تا زمانی که ولتاژ ثانویه تعیین و ولتاژ ثانویه زیادی دارد و تعیین کننده توان است که CT معرفی می‌کند یا عبور می‌کند. (چون این بار و CT را به‌صورت یک کاهنده کل نگاه می‌کنیم.) این عدد معمولاً به‌صورت VA یا S، در مورد CT‌ها به کار می‌رود.

شکل جریان عبوری



PqPCO

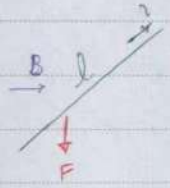
www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

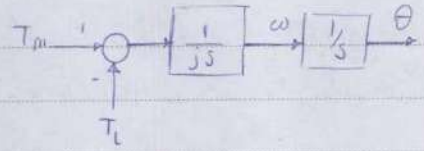
اصول عملکرد ماشین های الکتریکی گردان

مثال: تولید نیرو به کمک کمیت های الکتریکی



$F = Bil$

* هدف از یک ماشین گردان در حالت موتوری تولید گشتاور است. بعد از تولید گشتاور، سرعت و موقعیت از روابط پایه ای مکانیک به دست می آیند و رابطی به موتور ندارند.

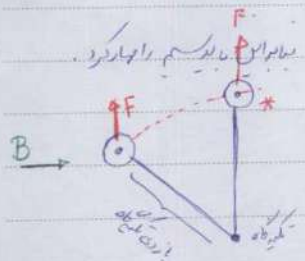


در حالت خطی : $F = ma$

در حالت زاویه ای : $T = J\alpha$, $\alpha = \frac{d\omega}{dt}$, $T =$ جمع گشتاورها

بنابراین به بررسی نحوه تولید الکتریکی پرداخته می شود و نیروی F باعث حرکت می شود.

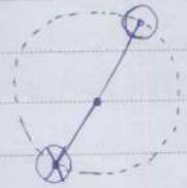
اشکال: سیم بعد از حرکت به دلیل عبور جریان نیروی F بر B از حوزه ی میدان خارج می شود. بنابراین باید سیم را برگرداند.



همین دلیل اکثر موتورهای چرخشی دارند حرکت اصلی و اولیه تولید نیرو لورنتس است.

(*): سیم بهتر است آن در این مکان هم از حرکت می ایستد (سیستم دوقطبی تعادل دارد در واقع + کدام پایدار است)

ایده این است که حوزه تعادل پایدار یا ناپایدار کنیم تا همواره حرکت ادامه داشته باشد.



هم چنین متوال از تعداد بیشتری سیم استفاده کرد.

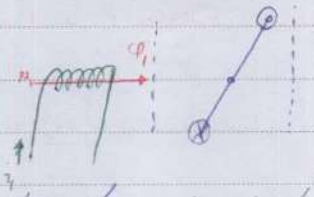
PAPCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

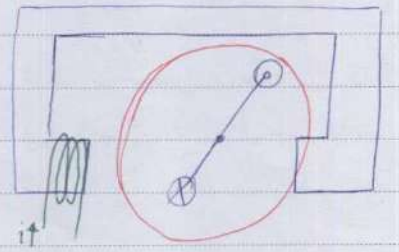
موتورهای گردان نیاز به فضای برای چرخش دارند.



$N_1 i_1 = R\phi$

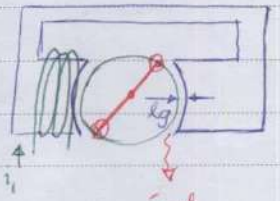
برای تولید نیروی گردان نیروی زیاد با طول بازوی کم یا طول بازوی زیاد و نیروی کم راهست. در عمل حد وسط آن در نظر گرفته می‌شود.

سعی می‌کنیم که تا های ممکن R را کم کنیم. یعنی تا جایی که می‌شود هسته را آهنی کنیم. آن رگولاتور مؤثر جایی است که قسمت گردان باشد. تراکم گرفته و آهن هم بلبرینگ.

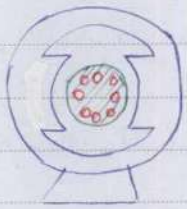


با حذف دور قسمت گردان را هم می‌توانیم آهنی کنیم تا رگولاتور کم شود.

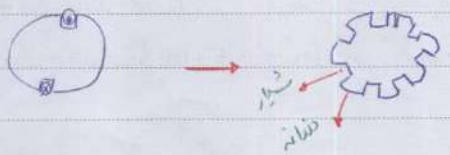
شکاف هوایی را تا حد امکان کم می‌کنیم. وجود آن فقط برای این است که چرخیدن امکان پذیر باشد. به همین دلیل معمولاً در حد میلی متر است.



بازوهای بالایی و پایینی را هم باسطح مقطع نصف در نظر می‌گیرند. یعنی دو بازو داشته باشند. هم چنین بر طابق عمل می‌کنند یا هم داریوی در نظر می‌گیرند.



* به دلیل عمل و برای این که هم سیم نپاره شود و هم این که سیم پیچ داشته باشیم، قسمت گردان را شیار دار می‌سازند.

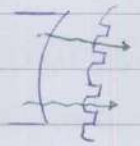


قسمت گردان نظری است تا رگولاتس کمی داشته باشد.

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

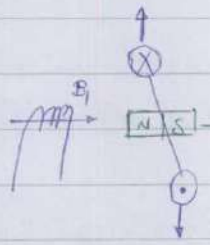
www.g-alm.ir

* مشکل موتور آهن این است که میدان اندرسی بالای دارد، و تغییرات گشتاور در آن کم است. مشکل دیگر این است که در بسیاری از سیاره از دماغه های گذرنده شیارها. آن پس از زمانی دندانه ها به اشباع می روند (چون طراحی در ناحیه اشباع است.) سپس هیسترزیس دندانه کمتر می شود و شما بیشتری از شیارها می گذرد.



محاسبه و رسم توزیع میدان، گشتاور مغناطیسی در ماشین های گردان و تئوری میدان گردان

مثال:



$T = k B_1 \times B_2$

می توان بصورت اضربا در نظر گرفت.

توجه کنید در مثال اخیر در صورت ثابت بودن جریان سیم پیچ و میدان B_1 در صورتی که میدان تولید شده توسط جریان سیم پیچ، میدان B_1 هم ثابت باشد، گشتاور تولید می شود و سیم پیچ حرکت می کند و پس از پیمودن به نقطه تعادل گشتاور صفر می شود و ماشین متوقف می شود.

برای ایجاد حرکت پایدار:

الف: می توان جهت یکی از میدان ها را تغییر داد. توجه کنید در صورت عدم انحراف از نقطه تعادل این روش باعث چرخش می شود.

بنابراین باید روش مطمئن تری برای حرکت پایدار به دست آورد.

ب: تغییر ساختمانی یکی از میدان های B_1 یا سیم پیچ باعث حرکت پایدار خواهد شد. توجه کنید در این روش اشکال بی تعادل در نقطه تعادل وجود ندارد و به علاوه ماشین با قوه می تواند گشتاور حداکثر خود را به ازای $\theta = 90^\circ$ درخطاتی تأمین کند.

در ادامه به بررسی مکانیزم میدان گردان می پردازیم.

تمرکز روی جزء B_1 است: (میدان بخش ثابت)

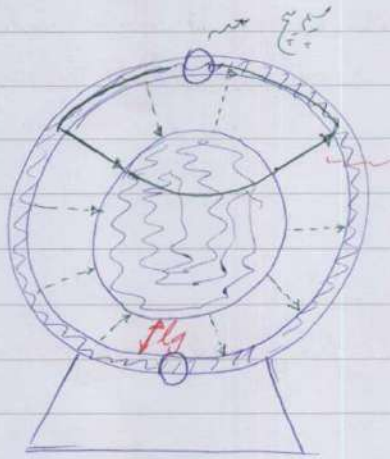
Artline

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

هدف: محاسبه آمپردور لازم برای تولید شار مشخصی از شکاف

$\phi \rightarrow B \rightarrow H$



میدان در شکاف هوایی عمود بر سطح است:

طبق $N_i = R\phi$ در این حفظ میدان تقریباً مقدار برابری دارند. چون R عمدتاً به شکاف هوایی وابسته است و کمتر از رلوکتانس آهن هدف نظر کنیم، برای همین حفظ ϕ و B یکسان می‌شود.

⇐ اگر از این به بعد مسیرهای میدان جز آهن هدف نظر کنیم، تمام آمپردور صرف تولید میدان در شکاف هوایی می‌شود. پس در ادامه میدان شکاف هوایی را با زیرنویس g می‌آوریم:

مسیر انتگرال قانون آمپر را در شکاف هوایی در مسیر میدان در نظر می‌گیریم.

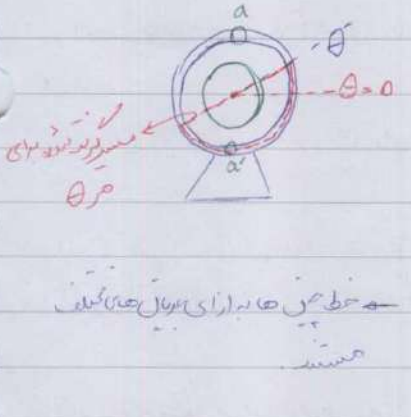
$$N_i = \sum H_f l_f + 2H_g l_g \Rightarrow N_i = 2H_g l_g$$

جمع آمپردور هدف شده برای آهن

$\mu_f \rightarrow \infty$

$H_f \rightarrow 0$

در ادامه توزیع دامنه میدان مغناطیسی را در حوزه‌ی زاویه رسم می‌کنیم.



هدف: رسم دامنه Hg بر حسب θ

با تقسیم میدان به حوزه‌های زیر، توزیع میدان در حوزه‌ی θ تقسیم می‌کند.

4 میدان متمایز

خط‌چین‌ها به ازای میدان‌های کمتر هستند.

H و l دیگر جهت ندارند

Artline

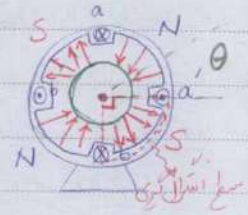
www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

در عمل، تقاطع عبور از صفر ثابت در هر لحظات t و به ازای هر جریان ثابت است. توجه کنید که جریان می‌تواند AC باشد. (= بین دو قطب دائم، یا یک زوج قطبی)

مثال:

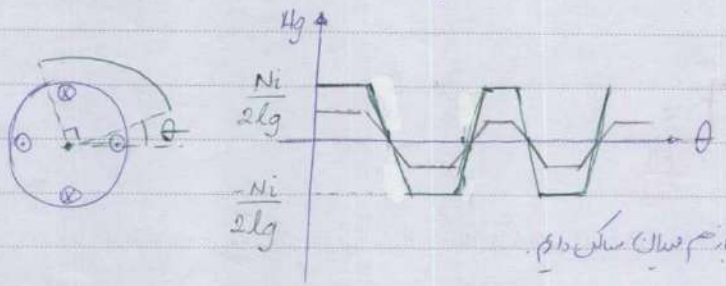


از توسیم a و b جریان عبوری کند. از a وارد می‌شود، a' و b را طی می‌کند و از b' خارج می‌شود.

برای استاتور یک سطح $90°$ در نظر می‌گیریم (ربع دایره).

$\Rightarrow Ni = 2Hg\,lg$

اگر زاویه‌ای $k\frac{\pi}{2}$ مالک را بگذاریم



عبور از صفرها ثابت است و با هم فیدبک مماس داریم.

پاسخ دو زوج - قطبی است (چهار قطبی). سپس اگر بدی بتوانیم بچرخیم، چهار بار جهت ورود و خروج فیدبک عوض می‌شود.

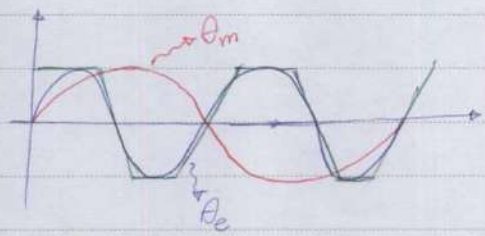
$\theta_m = \frac{2}{p}\theta_e$; $\theta_m = \frac{1}{pp}\theta_e$

تعداد زوج قطب ← تعداد قطب‌ها

* θ_m: زاویه مکانیکی: اگر عملاً استاتور بچرخیم و سلکل را بسم کنیم (بین $0, 2\pi$) و سینوسی در نظر بگیریم.

θ_e: زاویه الکتریکی: روی سلکل به ازای یک دوره سینوسی

بیاندازیم (حاصل تبک اول سلکل سلی)



θ_e را باید بازنویسی تا بر θ_m بیفتد

* در دو قطبی مثل قبل، اگر زمان T طول بکشد، یک آهربا $180°$ می‌چرخد! آن دو چهار قطبی آهربا فقط $90°$ می‌چرخد.

پس وقتی θ_m کوچک باشد، سرعت چرخش مکانیکی هم کوچک می‌شود.

P4PCO

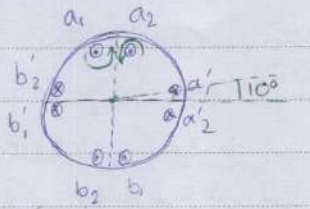
۲۸

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

مثال: دو سیم راست هم جهت حامل جریان

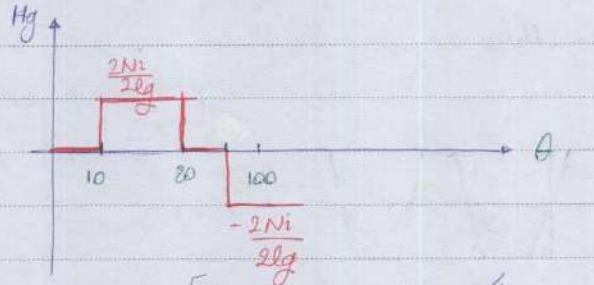


سطح آمپرا یک قطاع از یک دایره در نظر می‌گیریم، به دلیل تقارن خطوط میدان دایره‌ای شکل هوای

برای $\theta=0$ ، Hg صفر می‌شود:

$2Hglg - Ni - Ni = 0$ ← مقدار میدان را برای سیم‌ها

این نتیجه را در سیم دوم داریم



← با تغییر در آمپردورها و شکل قرارگیری سیم‌ها می‌توان شکل‌های دلخواه برای Hg به دست آورد.

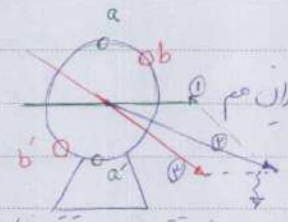
P4PCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

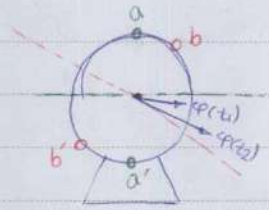
* اساس حرکت دورانی میدان تولید شده در ماشین های الکتریکی به وسیله یک یا چند سیم پیچ یا میدان مغناطیسی مستقل از سیم پیچ اول در ماشین است.



سیم پیچ هوی با زاویه ی دلخواه قراری دهیم.
اگر جریان ها از هم مستقل نباشند، هر دو سیم پیچ جریان بیری برای دارند و این میدان هم همواره ثابت است و فقط اندازه و جهتش عوض می شود.

میدان برایند وقتی از هم مستقل نباشند جریان ها $i_a = i_b$

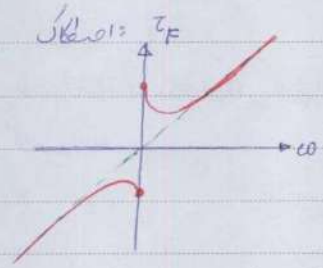
* معمولا با قرار دادن switch و قطع و وصل کردن جریان های aa' و bb' ، موتور را در وضعیت های 1, 2, 3, ... قرار داد. به این ترتیب می توان step motor ساخت.



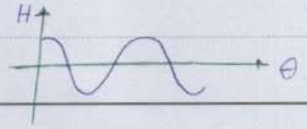
* اگر جریان ها از هم مستقل باشند و مقدارشان تفاوت باشد.
با این ترتیب می توان میدان دوران ایجاد کرد؟ علاقه مندیم که حرکت به صورت یکنواخت انجام شود

* سیم پیچ های چند جاری کاربرد دارند.

* $T = J \frac{d\omega}{dt}$: J همان I است، T همان τ است. T_{net} یا τ_{net} گشتاوری است که موتور ایجاد می کند.
ابتدا T_L ثابت می شود که جرخش load با سرعت ثابتی برقرار شود، سپس از آن T_L صرف می شود و فقط کار گشتاور موتور این است که بر اصطکاک غلبه کند تا سرعت چرخش ثابت نکند.



* در ادامه فرض کنید در استاتور یک ماشین سه سیم پیچ با توزیع سینوسی قرار گرفته است. یعنی نمودار H-θ یک توزیع سینوسی دارد:

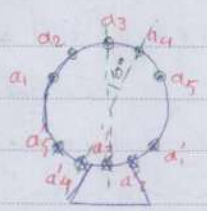


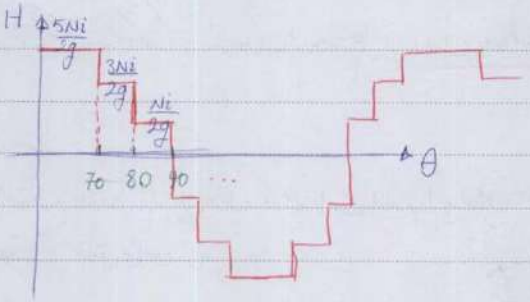
PAPCO

۲۵

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir





مثال:

← فرض می‌کنیم سیم پیچ‌ها با هم 120° اختلاف فاز دارند.

$H_a \propto i_a \cos\theta$

$H_b \propto i_b \cos(\theta - 120^\circ)$

$H_c \propto i_c \cos(\theta + 120^\circ)$

θ = زاویه الکتریکی

120° اختلاف زاویه الکتریکی ⇐ 60° اختلاف زاویه هندسی

دقت کنید H_m متناسب با جریان است. اگر جریان سیم پیچ‌ها را برابر فرض کنیم:

$i_a = i_m \cos\omega t$

$i_b = i_m \cos(\omega t - 120)$

$i_c = i_m \cos(\omega t + 120^\circ)$

$\Rightarrow H_a = H_m \cos\omega t \cos\theta$

$H_b = H_m \cos(\omega t - 120^\circ)\cos(\theta - 120^\circ)$

$H_c = H_m \cos(\omega t + 120^\circ)\cos(\theta + 120^\circ)$

$\Rightarrow$ برآیند $H_s = \frac{1}{2} H_m \cos(\omega t - \theta) + \frac{1}{2} H_m \cos(\omega t + \theta)$

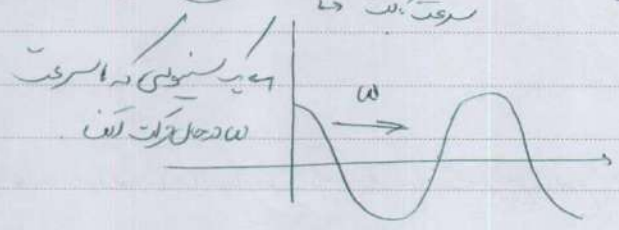
$+ \frac{1}{2} H_m \cos(\omega t - \theta) + \frac{1}{2} H_m \cos(\omega t + \theta - 240^\circ)$

$+ \frac{1}{2} H_m \cos(\omega t - \theta) + \frac{1}{2} H_m \cos(\omega t + \theta + 240^\circ)$

$\Rightarrow H_s(t) = \left(\frac{3}{2} H_m\right) \cos(\omega t - \theta)$

موج سینوسی با سرعت ω در حال حرکت است.

نمودار H-θ در لحظه دلخواه مثال است و یک میدان گردان تولید می‌شود.



www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

$i_a = i_m \cos \omega t$

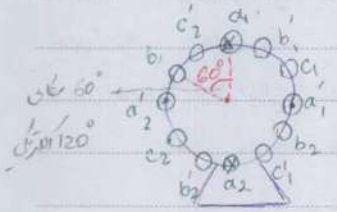
$i_b = i_m \cos(\omega t + 120^\circ)$

$i_c = i_m \cos(\omega t - 120^\circ) \Rightarrow H_s = \frac{3}{2} H_m \cos(\omega t + \theta)$

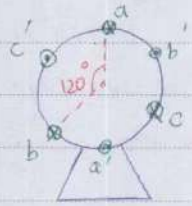
* اگر جریان های با توالی فنی به ماشین اعمال شود:

⇐ با شیارهای دو فاز، جهت گردش تعیین می شود.

مثال:



چهار قطب

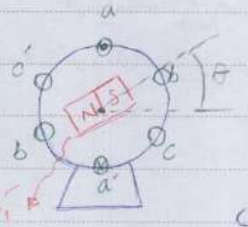


دو قطب

اصول کار کرد و روابط ماشین سنکرون

این ماشین کاربرد زیادی در صنعت برق دارد و بسیاری از نیروگاه ها از این نوع ماشین برای تولید انرژی الکتریکی استفاده می کنند علت این است که عملکرد آن خواص دلخواه، فرکانس ولتاژ ایجاد شده در این ماشین مزیتی از سرعت چرخش است. بنابراین با حفظ سرعت مکانیکی محرک می توان فرکانس ثابت و دلخواه بدست آورد.

اجزاء ماشین سنکرون

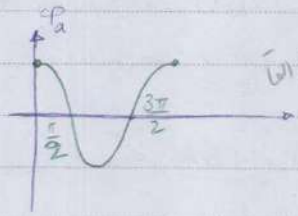


استاتور ← ماشین سنکرون دو قطب سه فاز سیم پیچ میشود:

روتور ← آهنربای دائمی

* جریان سه فاز متوازن در سیم پیچ استاتور، میدان مغناطیسی با دامنه ثابت و چرخش با سرعت سنکرون ایجاد می کند.

* روتور ← آهنربای دائمی که با سرعت سنکرون می چرخد و در استاتور ولتاژ القایی ایجاد می شود.



فرکانس متناسب با سرعت چرخش تعیین می شود و بنابراین فرکانس ولتاژ القایی حاصل مزیتی از سرعت چرخش است. (به دلیل وجود قطب ها)

مثال: در ماشین ۲ قطب، فرکانس الکتریکی دو برابر می شود.

به دلیل نسبت ثابت بین سرعت مکانیکی چرخش موتور و فرکانس ولتاژ القایی استاتور، به این ماشین، ماشین سنکرون گفته می شود.

PqPCO

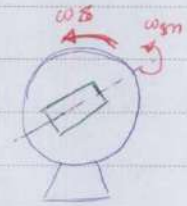
۴۲

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

این ماشین در حالت تولیدی نیز با کمک یک توان به کار می‌رود. در این حالت ولتاژ به استاتور اعمال می‌شود و استاتور را تحریک می‌دهد. بنابراین این گشتاور تولیدی برای ایجاد میدان مغناطیسی گردان استاتور قرار دارد.



سرعت چرخش مکانیکی روتور، نسبت به روتور = صفر

سرعت چرخش مکانیکی روتور، نسبت به بدنه استاتور = ω_m

سرعت چرخش مکانیکی میدان استاتور، نسبت به بدنه استاتور = ω_s

$\omega_m = \omega_s$ ⟸ برای حالت پایدار، گشتاور ثابت

* در حالت تولیدی، ماشین سنکرون قابلیت جرقه ندارد. چون در ابتدا کار، میدان گردان با ω_s می‌چرخد اما آهنربای روتور سرعت $\omega_m = 0$ دارد. هر یک سیکل $(0, 2\pi)$ متوسط گشتاور وارد به روتور صفر است، چون قسمت می‌شود و سپس قسمتی می‌شود و سپس در نهایت روتور شروع به لرزش در سرجای خود می‌کند.

معادلات دینامیکی مدل‌سازی ماشین سنکرون:

ما در اینجا نیز از همان روش تئوری الگوی مغناطیسی، که مدل‌سازی پرداخت می‌کردیم که با تئوری‌های مدارهای راحتی قابل حل است. از دیدگاه سیم‌پیچ‌های استاتور، معادلات ولتاژ - جریان به صورت زیر است:

در حالت کلی، برای سیم‌پیچ a:

$$V_a = R i_a + \frac{d\lambda_a}{dt} \quad ; \quad \lambda_a = N\phi_a$$

$$\lambda_a = L_{aa} i_a + L_{ab} i_b + L_{ac} i_c + L_{af} i_f$$

f: روتور، میدان، Field

توجه کنید اندوکتانس خودی سیم‌پیچ a به صورت دوتکه زیر تعریف می‌شود.

$$L_{aa} = L_{aa_0} + L_{a\ell}$$

$L_{a\ell}$ ← اندوکتانس نشتی از شاری که در حلقه a حلقه نمی‌شود.

L_{aa_0} ← قسمتی از شار که از سیم‌پیچ a حلقه می‌شود.

$$\Rightarrow L_{ab} = L_{ac} = L_{aa_0} \cos 120 = -\frac{1}{2} L_{aa_0}$$

PAPCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

$$\Rightarrow \lambda_a = (L_{aa0} + L_{af})\, i_a - \frac{1}{2} L_{aa0} \underbrace{(i_b + i_c)}_{-i_a} + \underbrace{\hat{L}_{af}}_{\text{Peak}} \cos\theta\, i_f$$

$$= \left(\frac{3}{2} L_{aa0} + L_{af}\right) i_a + \hat{L}_{af} \cos\theta\, i_f$$

* توجه کنید با فرض خطی بودن مدار مغناطیسی ماشین سنکرون معادلات زیر برقرار می‌باشد:

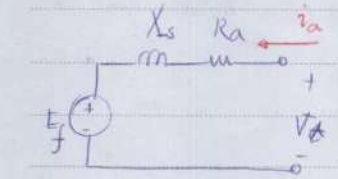
$$V_a = R_a i_a + \frac{d\lambda_a}{dt} = R_a i_a + \underbrace{L_s}_{\left(\frac{3}{2} L_{aa0} + L_{af}\right)} \frac{di_a}{dt} + \omega \hat{L}_{af}\, i_f \sin\theta$$

$$\Rightarrow V_a = R_a i_a + L_s \frac{di_a}{dt} + E_f$$

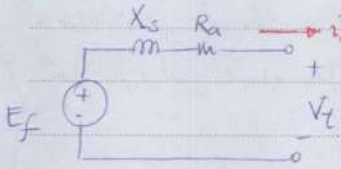
E_f برابر است با $\hat{L}_{af}\, i_f \sin\theta$ که برابر با ولتاژی که داخل تولید شده توسط روتور است.

مدل مداری ماشین سنکرون به صورت زیر به دست می‌آید. در این مدل فرض خطی بودن مدار مغناطیسی است $\Rightarrow$ می‌توان از فازورها استفاده نمود.

قرارداد: جهت فرض مدل موتور سنکرون به دست می‌آید و بر خلاف جهت فرض مدل ژنراتور به دست می‌آید:



موتور



ژنراتور

با فرض خطی بودن مدار فوق در حالت موتوری:

$$KVL: E_f + (R_a + jX_s) I_a = V_t$$

ژنراتوری:

$$V_t = E_f - (R_a + jX_s) I_a$$

مثال: موتور سنکرون با راکتانس سنکرون $0.8\ pu$ و مقاومت استاتور $0.08\ pu$ به شبکه برق متصل است. در حالی که راکتیو مورد نیاز 0.8 را جذب می‌کند. توان مکانیکی کوپلی موتور را با فرض تلفات اصطکاک صفر به دست آورید.

پاسخ: شبکه سراسری، هرچقدر توان دهیم یا بگیریم تغییری در شبکه ایجاد نمی‌شود.

PAPCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

توان توسط E_f مدل می‌شود. عامل تولید توان مکانیکی R_a (تلفات مسی) و X_s (عنصر راکتیو) هستند و بنابراین توان الکتریکی و در حالت موتوری توان مکانیکی را به ما می‌دهد.

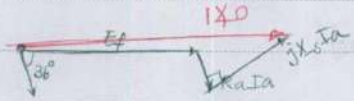
$\text{Re}\{E_f I_a^*\}$

بنابراین ابتدا E_f را به دست می‌آوریم.

$$-V_t + R_a i_a + jX_s i_a + E_f = 0$$

$$\Rightarrow E_f = (1\angle 0) - (0.02 \times 1\angle -\cos^{-1}0.8) - (j0.2 \times 1\angle -\cos^{-1}0.8)$$

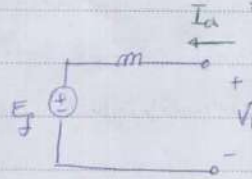
* پس: $1\angle 0$



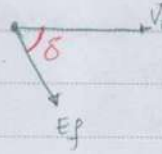
$$\Rightarrow E_f \simeq 0.92\angle -5.3^\circ$$

$$P_{mech} = \text{Re}\{0.92\angle -5.3^\circ \times 1\angle +36^\circ\}$$

* معمولاً $X \gg R_a$ بنابراین به صورت ساده شده، مدل مداری فوق به شکل زیر است:



* اکنون فرض کنیم که یک موتور سنکرون در حال حرکت بدون بار باشد. زاویه‌ی بین E_f (وتاژ ناشی از میدان موتور) و ولتاژ V_t شکل، بیان کننده گشتاور حاصل بین این دو میدان توان است.



$\Rightarrow$ برای موتوری بار $\delta = 0$

* موتوری بار: توان الکتریکی که خارج می‌شود صفر است هیچ بار نداریم. آن گشتاور نداریم.

توان الکتریکی صفر می‌شود پس زاویه E_f با I_a 90° می‌شود و سیلفی رفتار می‌کند.

E_f با I_f تعیین می‌کند، طبق $M_{af} I_f$ فرض کنیم $\delta = 0$ و $E_f \angle V_t$ با زیاد کردن I_f می‌توان E_f را از V_t بیشتر کرد. این مقدار با X_s باید تأمین کند. پس حالت خازنی پیدا می‌کند. حالت سیلفی را هم به همین ترتیب می‌توان توجیه کرد.

P4PCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

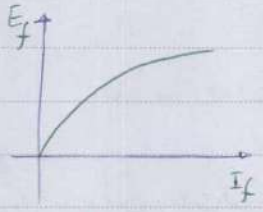
Subject:
Year. Month. Date. ( )

نحوه تعیین پارامترهای مدل ماشین سنکرون

در ادامه با نحوه مدل سازی ترانسفورماتور، در اینجا نیز با چند آزمایش ساده می‌توان E_f و X_s را به دست آورد.

به دست آوردن E_f:

در حالت زیر آوری، ماشین با ترمینال های باز نگه داشته می‌شود و ولتاژ ترمینال برابر با E_f خواهد بود چون $I_a = 0$.

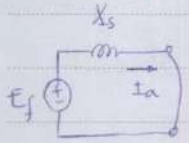


ω ثابت

با تغییر I_f، E_f تغییر می‌کند اما I_f نباید آنقدر زیاد باشد که آهن دستگاه اشباع شود!

I_f باید DC باشد.

به دست آوردن X_s:



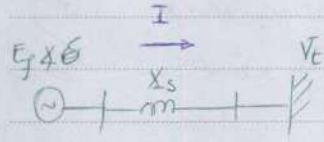
$$I_{ac} = \frac{E_f}{jX_s} \Rightarrow |X_s| = \frac{|E_f|}{|I_a|}$$

* جریان اتصال کوتاه مستقل از سرعت است.

$$\frac{E_f}{X_s} = \frac{\omega \hat{L}_{af} I_f}{\omega L_s}$$

مقابله توان - زاویه در ماشین سنکرون

در ادامه یک ماشین سنکرون متصل به شبکه را در نظر بگیرید:



در این مدل X_s می‌تواند در حالت کلی Z باشد. بنابراین مشابه این کتاب ما در حالت کلی هم می‌توان انجام داد.

توجه کنید X_s می‌تواند اندوکتانس سنکرون مدل ماشین سنکرون باشد.

$$I = \frac{E_f \angle \delta - V_t \angle 0}{jX_s}$$

PqPCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

در حالت کلی توان مختلط مبادله شده بین دو منبع به صورت زیر است:

$S = V_t I^*$ « توان مختلط کوپلی ـ پاس oo »

جزء حقیقی این توان برابر توان حقیقی مبادله شده ـ پاس oo توسط ماشین سنکرون است.

$P = Real\{V_t I^*\}$

$\Rightarrow P = \left(\frac{V_t E_f}{X_s}\right) \sin\delta$ معادله‌ی توان ـ زاویه‌ی ماشین سنکرون

* توجه کنید بر طبق معادله‌ی فوق، توان مبادله شده بین دو منبع به عوامل زیر وابسته است:

۱ـ با ثابت بودن V_t ثابت (پاس oo) با کنترل دامنه‌ی E_f می‌توان توان حقیقی را تغییر داد.

اسم گذاری ها:

۱ـ استاتور: افزایش I_f باعث افزایش E_f می‌شود.

۲ـ گذاری حرارتی: بیش از $R_f I_f^2$ در روتور

۲ـ با ثابت بودن E_f و V_t ثابت، با کنترل δ می‌توان توان حقیقی را تغییر داد.

۳ـ اثر X_s بر طبق معادله‌ی توان ـ زاویه، هر چقدر X_s کوچکتر باشد، مقدار توان مبادله شده بیشتر می‌شود.
توجه کنید برای کاهش X_s، مدار حفاظتی باید گذاری ایجاد می‌کند.

* تغییر δ ی توان P را مثبت دنبال کرد.

موتور های سنکرون

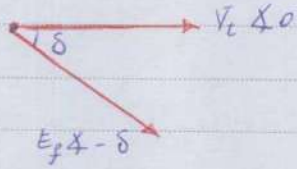
تمام معادلات و مدل های ماری در حالت موتوری نیز صادق است با این تفاوت که موتور توان الکتریکی را جذب

P4PCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

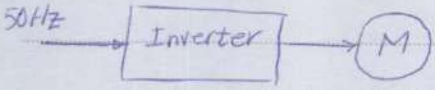
Subject:
Year. Month. Date. ( )



~~باشد.~~
~~δ در اینجا نمی‌تواند مثبت باشد چون در این صورت بر گشتن افتاده~~
~~شتابی بار روی موتور، موتور از حالت ایستاد.~~

* موتورهای سنکرون نیاز به مکانیزم راه اندازی دارند.

مکانیزم تغییر فرکانس تغذیه



مکانیزم سنکرون سازی

این مکانیزم برای یکی کردن دامنه‌ی ولتاژهای خروجی ماشین که در حالت ژنراتوری کار می‌کند با شبکه با فرکانس مشخص، و هم چنین یکی کردن فرکانس‌های دو طرف و اختلاف فاز دو طرف به کار می‌رود.

* ابتدا ω را به f نزدیک می‌کنیم و سپس I_f را زیاد می‌کنیم.

PAPCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject :

Year . Month . Date . ( )

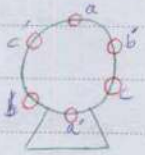
PqPCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

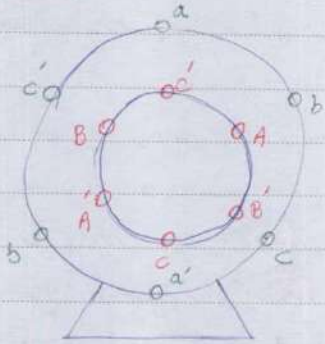
www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

همانطور که گفته شد استاتور این نوع موتورها مانند ماشین های سنکرون 3 فاز است و شامل 3 دسته سیم پیچ 3 فاز است.



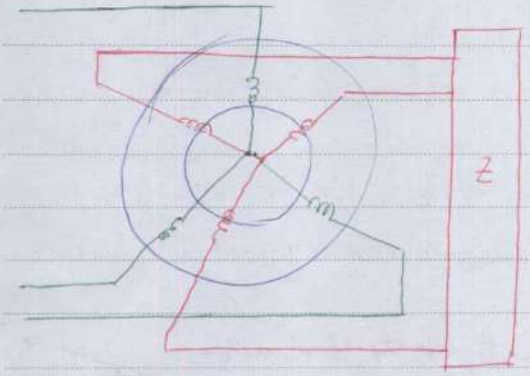
در روتور این ماشین کاملاً مشابه با استاتور، سیم پیچ های 3 فاز قرار دارند.



* حال فرض کنید انتهای سرهای کلاف روتور باز باشند، با اعمال ولتاژ 3 فاز به سیم پیچ استاتور یک میدان گردان مغناطیسی Φ_s با سرعت ω_s (که از چه کاسی شکل به وجود می آید) در فضای ماشین به وجود می آید.

هم چنین سرعت نسبی حرکت سیم پیچ روتور نسبت به روتور صفر است. سر سیم پیچ های روتور باز باشند، جریانی ها ولتاژ القا می شود زیرا سرعت نسبی حرکت Φ_s نسبت به روتور همان ω_s است و چون سیم پیچی روتور نسبت به روتور ثابت است، سرعت قطع سیم پیچ های روتور توسط میدان استاتور ω_s است. بنابراین در کلاف های روتور ولتاژ القایی با فرکانس ω_s ایجاد می شود.

در این حالت روتور هم چون جریان ندارد است، بنابراین روتور شاری ایجاد می کند $N_r i_r = 0$ و بنابراین شار در حالت صفر است. ← بر آن نیروی وارد می شود.



* فرض کنید سرهای روتور را با اهمیت Z به هم کنیم.

⇐ در روتور جریان ایجاد می شود: ⇐ در روتور شار Φ_r ایجاد می شود.

با ایجاد شار در روتور گشتاور حاصل از Φ_r و Φ_s ایجاد می شود. اما باید سرعت نسبی این دو میدان نسبت به هم صفر باشد چون زاویه بین آن ها ثابت بماند.

* اکنون حالت سکون را در نظر بگیرم:

سرعت میدان استاتور نسبت به بدنه استاتور: ω_s

" " روتور " " " روتور: ω_s

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

سرعت روتور نسبت به بدنه استاتور : صفر

سرعت میدان روتور نسبت به میدان استاتور : صفر

⇐ ماشین گشتاور راه اندازی خواهد داشت.

* میدان سنکرون روتور در حال چرخش با سرعت ω_m است نسبت به بدنه استاتور.

ω_m مکانیکی ⇐ ω_s و ω_r ها هم مکانیکی اند.

سرعت میدان استاتور نسبت به بدنه استاتور : ω_s

سرعت سیم پیچ روتور نسبت به میدان استاتور : $\omega_s - \omega_m$

سرعت میدان روتور نسبت به بدنه روتور : $\omega_s - \omega_m$

سرعت میدان روتور نسبت به بدنه استاتور : $\omega_s - \omega_m + \omega_m = \omega_s$

D

* توجه کنید در حالت سنکرون : $\omega_m = \omega_s$ ⇐ سیم پیچ روتور توسط میدان استاتور قطع نمی شود ⇐ القا نداریم

سرعت نسبی سیم پیچ روتور نسبت به میدان استاتور = صفر

⇐ القا نمی شود بنابراین شار Φ_r هم وجود ندارد و بنابراین ماشین گشتاور تولید نمی کند.

⇐ معادله سرعت ماشین = ω_s.

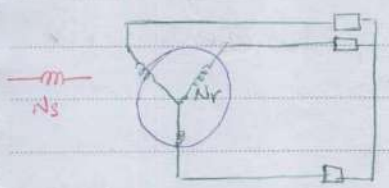
مثال: ماشین سه فاز ۴ قطب 50Hz

معمولا سرعت حرکت مکانیکی را با rpm نشان می دهیم.

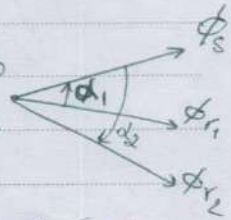
$\omega_s = \frac{2}{p} f_s = 25\,Hz$

$60 \times \frac{2}{p} f_s = \frac{120 f}{P} \Rightarrow 1500\,rpm$

در ماشین القایی Φ_r خودش تابع سرعت و سایر عوامل است. اما در روتور سنکرون Φ_s توسط V_s و Φ_r توسط I_f تعیین می شود. در سنکرون تابع فنر Flexible تر است.



$V = N \frac{d\Phi}{dt}$



* مقدار Z معلوم است؟

PqPCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

در سرعت های بالا مقدار ولتاژ القایی بسیار کم است، اگر Z زیاد باشد جریان بسیار کم می‌شود. پس علاوه قدیم با Z های کوچک کار کنیم و تنها کمبودیت با ملاحظات توان، سیم، هادر حرارت و ... است. پس در حالت خوب $Z=0$ باید باشد

← سیم پیچ روتور قفس سنجابی

تعریف لغزش Slip

با توجه به اصول کارکرد موتورهای القایی به تعاریفی آید که در یک سرعت روتور مفروض ω_m میدان روتور بر حسب روتور فرکانس چرخش $\omega_r = \omega_s - \omega_m$ در حال نوسان است. طوری که سرعت حرکت آن نسبت به بدنه استاتور با میدان استاتور یکی است.

$$S = \frac{\omega_s - \omega_m}{\omega_s}$$

فرکانس لغزش $\omega_r = \omega_s - \omega_m = S\omega_s$

← بدنه روتور توسط میدان روتور با سرعت ولتاژ قطع می‌شود.

← با افزایش سرعت مکانیکی تلفات هسته روتور کم می‌شود. ← باز هم می‌تواند زیاد شود

مثال: موتور 1500 rpm معمولی

$\omega_m/_n = 1450\ rpm \Rightarrow \omega_r = 50\ rpm$

← با توان در یک ماشین سنکرون $S=0$. پس تلفات هسته ماشین سنکرون صفر است. ← هسته ماشین سنکرون را می‌توان با آهن یکپارچه ساخت.

مدل موتور القایی سه فاز

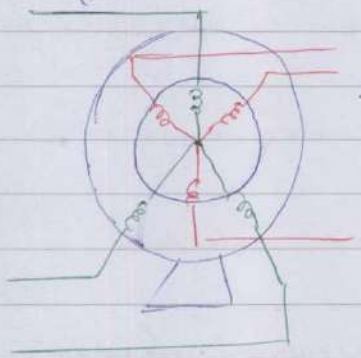
با فرض تقارن می‌توان مدل یک فاز را به دست آورد.

Artline

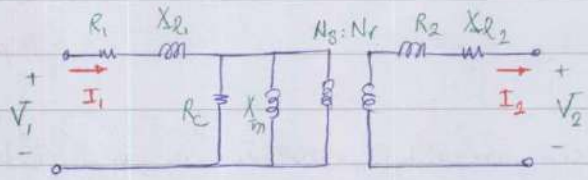
www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

ابتدا حالت سکون را در نظر بگیرید. در این حالت فقط سیم پیچ های ماشین مدار باز می باشند (سیم پیچ های روتور)



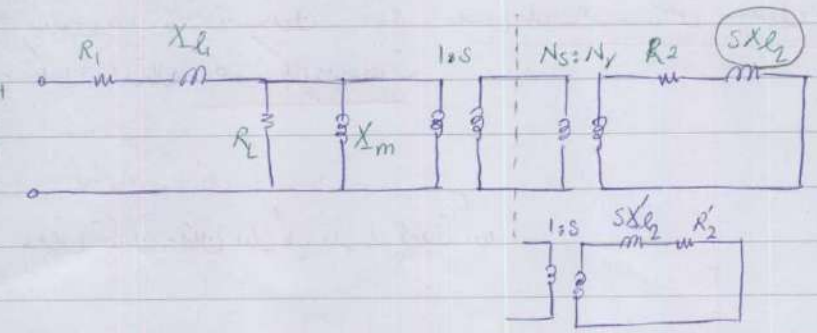
توجه کنید چون این حالت مشابه ترانسفورماتور سه فاز است، پس آن نیز مشابه آن می باشد.



* اما چون شکاف هوایی داریم، جریان مغناطیس کنندگی افزایش می یابد هم چنین چون رلوکتانس زیاد شده، طبق $\frac{N^2}{R}$ مقدار X_m کاهش می یابد نسبت به X_1 و X_2. هم چنین مقدار X_{l_2} ها نیز افزایش می یابد بنابراین
* اگر بخواهیم روتور را ثابت نگه داریم جریان بسیار زیادی می گذرد. چون مشابه ترانسفورماتور تا اینجا مقادیر رلوکتانس ها نسبت به حالت ترانسفورماتوری که در ماشین شکاف هوایی وجود نداشت تغییری کرده است.
X_m کاهش می یابد و پراکندگی افزایش می یابد. اما توجه کنید $X_m + X_{l_1}$ نیز کاهش می یابد.

وقتی روتور می چرخد، به توی فرکانس $s\omega_s$ خواهد داشت. در لحظه ای که ورودی فرکانس ω_s داشت. پس هم نسبت تبدیل داریم، هم نسبت تبدیل فرکانس!
بنابراین X_{l_2} تابع ω_m می شود که خودش تابع ω_m است. حل مسئله در این حالت سخت است. به توی کلاس دوم:

$$X_{l_2} \to \omega_2 L_{l_2} \to s\omega_s L_{l_2} \to sX_{l_2}$$



Artline

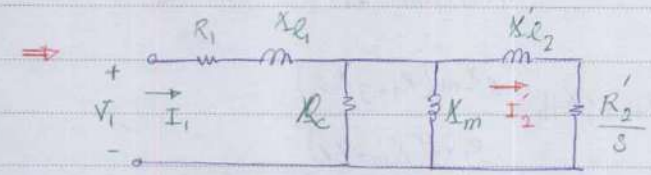
www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

در ثانیه $\frac{1}{S}$ مقطع دندانه‌ها عوض می‌شود، پس هم از طریق فرکانس. پس جریان‌ها می‌توانند برابر باشند. پس دیگر نسبت تبدیل a^2 نداریم و R'_2 داریم.

* اگر: $V = 4.44 N f B A$ عوض می‌شود دامنه دندانه عوض می‌شود.



* در اینجا قانون مقدار انرژی را در برزخ سیم‌پیچ‌ها تبدیل شده‌اند پس کسری از توان صرف تلفات می‌شود.

* تلفاتی که روی $R'_2 + \frac{R'_2}{S} - R'_2$ می‌شود صرف تلفات مکانیکی است.

$S<1 \rightarrow \frac{R'_2}{S} > R_2$

تلفات روی $\frac{R'_2}{S}$ برابر است با: $P = I'^2_2 \frac{R'_2}{S}$

$\Rightarrow$ تلفات مکانیکی: $P_m = I'^2_2 \left(\frac{R'_2}{S} - R'_2 \right)$

تلفات حسته

$\frac{P_m}{\omega_m} = T_m \quad , \quad \omega_m = (1-S)\omega_s$

* دقت شود که I'_2 جریانش با $\frac{R'_2}{S}$ وابسته است.

* در ادامه به حل این مدارها کامل می‌پردازیم.

سهم تلفات حسته (شامل روتور و استاتور) و تلفات چرخشی (اصطکاک) ثابت فرض شده و مقداری ثابت در توان خروجی ظاهر می‌شود.

مجموع تلفات حاصل $P_{loc} + P_c \simeq$ ثابت. پس هر بار P_m را حساب می‌کنیم و تلفات را کم می‌کنیم.

$\Rightarrow$ توان خروجی به دست می‌آید.

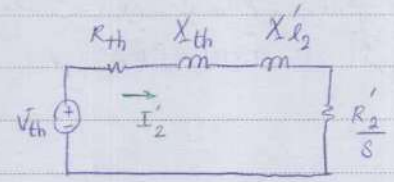
P4PCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

برای راحتی کار X_m را از سمت X_m به سمت چپ منتقل کرده



$$\bar{V}_{th} = \frac{jX_m \bar{V}_1}{R_1 + j(X_m + X_{\ell_1})} \simeq \frac{X_m}{X_m + X_{\ell_1}} \bar{V}_1$$

$$R_{th} + jX_{th} = \frac{jX_m(R_1 + jX_{\ell_1})}{R_1 + j(X_m + X_{\ell_1})}$$

$$\Rightarrow R_{th} \simeq \left(\frac{X_m}{X_m + X_{\ell_1}}\right)^2 R_1$$

$$X_{th} \simeq X_{\ell_1}$$

$$\bar{I}'_2 = \frac{\bar{V}_{th}}{R_{th} + \frac{R'_2}{s} + j(X_{th_1} + X'_{\ell_2})}$$

$$\Rightarrow |I'_2|^2 = \frac{V_{th}^2}{\left(R_{th} + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_{th} + X'_{\ell_2})^2}$$

توان گپ : $P_m = \omega_m T_m$

$$\omega_m = (1-s)\omega_s$$

$$P_m = (1-s)\left(\frac{R'_2}{s} I'^2_2\right)$$

P_{ag} : air gap $\longrightarrow$ صرف : { حرکت مکانیکی ، تلفات مسی-ج }

$$\Rightarrow T_m = \frac{P_{ag}}{\omega_s}$$

$$\Rightarrow T_m = \frac{3}{\omega_s} \frac{\frac{R'_2}{s} V_{th}^2}{\left(R_{th} + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_{th} + X'_{\ell_2})^2}$$

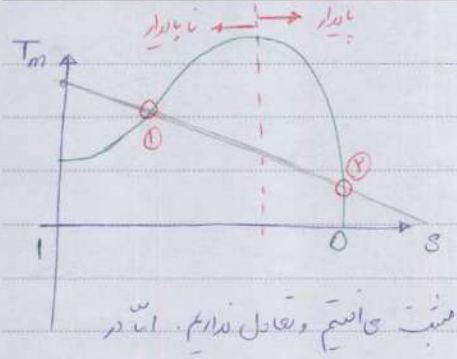
تبدیل ۳ : ب

P4PCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )



رابطه گشتاور - سرعت (گشتاور - لغزش) موتور القائی

نمودار به صورت خط است تقریباً.

در نقطه 1 فرض کنیم به دلیلی سرعت کمی زیاد شود، در این حالت گشتاور هم زیاد می‌شود پس در یک لوپ فیدبک مثبت می‌افتیم و تعادل نداریم. اما در نقطه 2 این اتفاق رخ نمی‌دهد.

* ماشین با داشتن بار همیشه راه اندازی دارد. بایستی بار را ابتدا به نقطه خاصی از سرعت برساند. مکانیزم در آینده بررسی می‌شود.

مثال: یک موتور القائی سه فاز 380V, Y, 50Hz, 4 قطب

$R_1 = 0.6\,\Omega$, $R'_2 = 0.8\,\Omega$, $X_{e1} = 1.1\,\Omega$, $X'_{e2} = 0.45\,\Omega$, $X_m = 25\,\Omega$

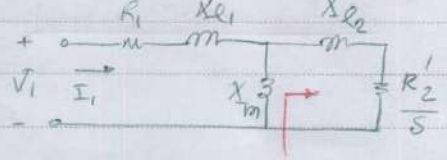
تلفات هسته و باد و اصطکاک 800W ثابت فرض می‌شود.

اگر موتور با دنده و فرکانس‌های لغزش 0.02 کار کند، مطلوب است:
سرعت حرکت - بازده - توان گشتاور جهتی - ضریب قدرت - توان گشتاور فاصله هوایی - جریان استاتور

$$n_s = \frac{120 f_s}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500\ \text{rpm}$$

$$n_m = (1-s) n_s = 1470\ \text{rpm}$$

توان فاصله هوایی: $P_{ag} = 3 \frac{R'_2}{s} I'^2_2$ → توانی که از شکاف هوایی عبور می‌کند به روتور می‌رسد.



PqPCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

$V_1 = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220V$

$V_{Th} = \frac{X_m}{\sqrt{R^2 + (X_m + X_{e1})^2}} V_p = 210.6V$

$R_{Th} = \left(\frac{X_m}{X_m + X_{e1}}\right)^2 R_1 = 0.55\Omega \qquad X_{Th} \simeq X_{e1} = 1.1\Omega$

$\Rightarrow I'_2 = \frac{V_{Th}}{\sqrt{(R_{Th} + \frac{R'_2}{s})^2 + (X_{e1} + X'_{e2})^2}} = 13$

$\Rightarrow P_{ag} = \frac{3R'_2}{s} I'^2_2 = 8138\,W \qquad P_m = (1-s)P_{ag} = 7975\,W$

$\Rightarrow T_m = \frac{P_m}{\omega_m} = 51.8\ N.m$

توان خروجی = توان تولید - تلفات

$\Rightarrow P_{out} = P_m - \underbrace{P_{rot}}_{800W} = 7975 - 800 = 7175W$

$\Rightarrow T = \frac{P_{out}}{\omega_m} = 46.6\ N.m. \qquad T_{ag} = \frac{P_{ag}}{\omega_s}$

برای محاسبه ضریب توان باید جریان I_1 را بر حسب $V_1 \angle 0$ بدست آورد.

$\Rightarrow I_1 = 15.89 \angle -34^\circ$

$\Rightarrow P_F = 0.82\ lag$

* موتور القایی مشابه ژنراتور است و در حالت دیگری می‌تواند کار کند.

تلفات مسی استاتور: $3R_1 I_1^2$

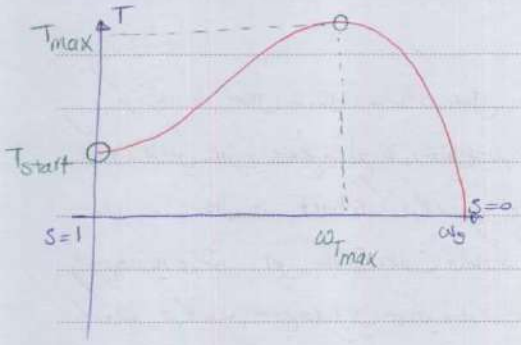
$\Rightarrow \eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{rot} + P_{cu}} = \%83.5$

P4PCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )



یک بررسی مشخصه و رفتار ماشین القائی

T_{start} مشخص کننده امکان حرکت از سکون. گشتاور start برای $s=1$ بدست می‌آید.

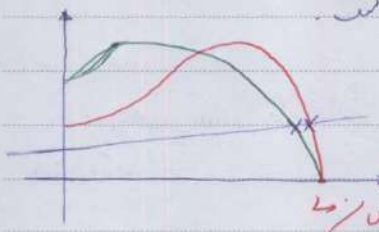
T_{max} مشخص کننده حد راه اندازی ماشین برای بدست آوردن این است.

* این T_{max} و $S_{T_{max}}$ را بدست آوردیم:

$$T_{max} = \frac{3}{2\omega_s} \frac{V_{th}^2}{R_{th} + \sqrt{R_{th}^2 + (X_{th} + X'_{\ell_2})^2}}$$

$$S_{T_{max}} = \frac{R'_2}{(R_{th}^2 + (X_{th} + X'_{\ell_2})^2)^{1/2}}$$

$\Leftarrow$ T_{max} از R'_2 مستقل است اما $S_{T_{max}}$ و R'_2 وابسته است.



* پیشنهاد راه اندازی بعضی می‌کند این نمودار. برای start به روتور مقاومت اضافه می‌کنیم تا گشتاور start بیشتری داشته باشد.

بهتر توکافی بال ← وینچ‌ها

$P_m = (1-s) P_{ag}$

تلفات $P_{rotor} = s P_{ag}$

تلفات با s نسبت است، برای افزایش بازده علاقمندم که s مقدار کوچکتری داشته باشد. فرض کنید خط بار به صورت خط آبی رنگ باشد.

روی نمودار قرمز رنگ حاصل می‌شود (نمودار قرمز مقاومت روتور کمتری دارد.) در این حالت بازده بیشتر است.

* این روش معمولاً برای موتورهای القائی سیم پیچی شده استفاده می‌شود چون برای قفس سنجاب کار پرزحمتی دارد.

* قفس سنجابی مقاومت روتور کمی دارد پس بازده بیشتری دارد اما گشتاور start کوچکی دارد.

PqPCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

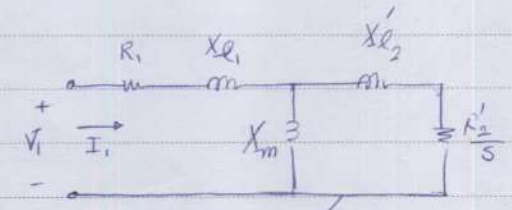
Subject:
Year. Month. Date. ( )

آزمایش

اگر فرکانس جریان ثابت باشد، مثل start که فرکانس ω_s است، اثر جریان در پوسته‌ی سیم قوار می‌گیرد. در این حالت سطح مقطع عبور جریان کم می‌شود ⇐ مقاومت زیاد می‌شود.

در لحظه‌ی شروع start که فرکانس سیم‌های روتور f_{2s} است، به دلیل اثر پوستی مقاومت سیم‌ها زیاد می‌شود. این حالت باعث می‌شود که گشتاور start زیادی داشته باشیم. وقتی شروع به کار می‌کند فرکانس سیم‌ها پایین می‌آید و بازده خوب می‌شود.

روش اول پارامترهای موتور القائی



دستگاهی خطی به داخل موتور نداریم.

آزمایش بی باری: در این آزمایش موتور با ولتاژ و فرکانس نامی و بدون بار جرقه داده می‌شود.

$S \to 0 \Rightarrow \frac{R'_2}{S} \to \infty$ بنابراین آزمایش عملا بار در ترانسفورمر

در این حالت تلفات تولید شده $3R_1I_1^2 + P_{rotational}$ است اندازه‌ی R_1 را نسبت DC به دست می‌آوریم.

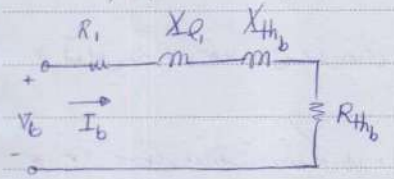
$\Rightarrow R_1, P_{rotational}$ و $X_{n\ell} = X_{\ell_1} + X_m$ به دست می‌آیند.

تست DC: در جریان نامی مولی $2R_1 = \frac{V_{DC}}{I_{DC}}$ را به دست می‌آوریم

آزمایش روتور قفل شده:

در این حالت روتور را با یک پیچ مکانیکی متوقف کرده و به ورودی ولتاژ اعمال می‌کنیم. جریان را نامی کرده و توان ورودی را اندازه‌گیری می‌کنیم.

چون R_2 زیاد است می‌گوییم



برای کاهش خطا مدار معادل تونن سمت روتور را به دست می‌آوریم.

$$X_{th_b} \simeq X'_{\ell_2} \quad , \quad R_{th_b} \simeq R'_2 \left(\frac{X_m}{X_m + X'_{\ell_2}}\right)^2$$

R_1 را داریم، از سمت R_{th_b} و R'_2 به دست می‌آید.

PqPCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

* در این حالت هم تلفات هسته وجود دارد اما چون در جریان های کاری کم ولتاژ های زیاد از آن صرف نظر کرد. *

$P_{in} = 3(R_1 + R_{th}) I_b^2 \Rightarrow R_{th}$ ✓

$Q_{in} = 3(X_{l_1} + X'_{l_2}) I_b^2 \Rightarrow X_{l_1} + X'_{l_2}$ ✓

$\Leftarrow$ برای ماشین القایی معمولی کلاس A : $X_{l_1} = X'_{l_2}$

$\Rightarrow X_m$ ✓ $\Rightarrow R'_2$ ✓

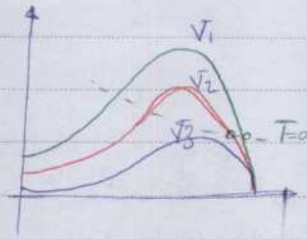
سوال: آزمایش روتور قفل شده در فرکانس کمتر از مای انجام میشود، چرا؟ (به عنوان مثال در $\frac{1}{4}$ فرکانس های)

آزمایش روتور قفل شده پارامترهای روتور را به دست می دهد. روتور معمولا در فرکانس های کمتر از ۱۰ کار می کند. (فرکانس را می توان خیلی کم کرد چون مجبور نیستیم B را زیاد کنیم در نتیجه ولتاژ استاتور هم زیاد نمی شود.) اما چون V باید ثابت باشد تا جریان های ثابت باشند ($V = 4.44 N f B A$)

روش های کنترل سرعت موتور القایی

با توجه به اصول عملکرد موتور القایی، به کمک عوامل مؤثر در تولید گشتاور در آن می توان چند روش را برای کنترل سرعت موتور به کار برد:

توجه کنید این روش ها در موتور سنکرون صرفا وجود دارد و کنترل فرکانس بود. هیچ روش ساده ای برای کنترل و یا تغییر سرعت مستقیم وجود نداشت.



الف - کنترل ولتاژ:

با کاهش V ترمینال T_{max} که متناسب با V_{th}^2 بود کاهش می یابد اما مقدار آن $S_{T_{max}}$ ثابت است.

می توان با کاهش ولتاژ به ازای T ثابت ω را تغییر داد.

PqPCO

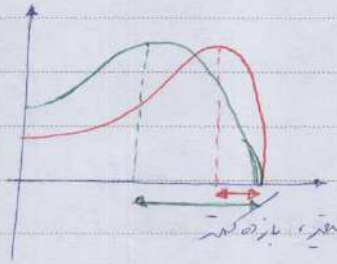
۵۹

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

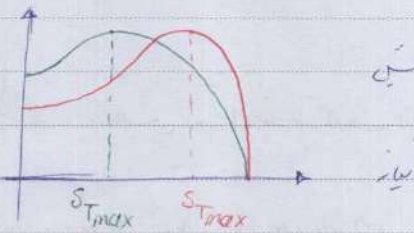
توجه کنید هر چقدر بازه S_{Tmax} بزرگتر باشد، با این روش امکان کنترل و تغییر روی سرعت است. بنابراین روتور با روتور ناموجود، این شیوه روش مؤثرتر است. (چون بازه کمتری دارد.)

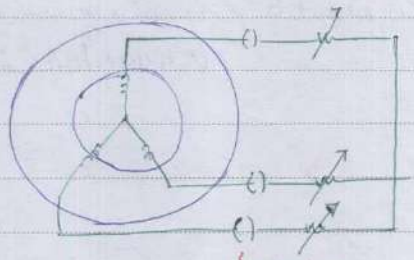


ب - تغییر مقاومت روتور:

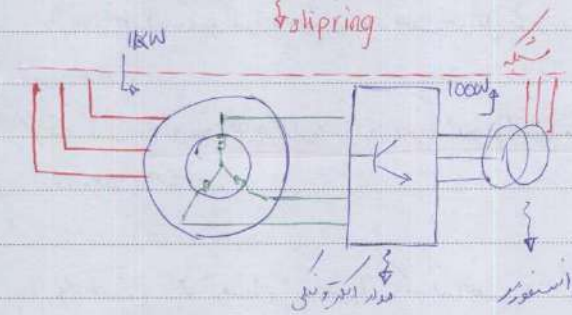
✓ نحوه روش برای کنترل سرعت به روش آن، در T_{start} را افزایش می‌دهد (عکس حالت قبل)

✗ کاهش بیشتر بازدهی - برای همین جای به کار می‌رود. بیاد Slip Ring دارد.





یک ایده جالب هم وجود دارد، این که مقاومت نداریم تا توان تلف شود. می‌توان توانی تولید کرد تا تنظیم قرار داد. دوباره وارد شبکه برگرداند.



از 1 KW توان دریافتی، 100W برمی‌گردد، پس توان دریافتی کم می‌شود و بازده زیاد می‌شود.

ج - تغییر دوقطب‌ها:

$$n_s = \frac{120f_e}{P}$$

با تغییر قطب‌ها می‌توان سرعت را تغییر کرد. مثال: دور تند دلتا کوتاه

PqPCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

✓ بسیار ساده و ارزان قیمت

✗ کوانتیزه است 750, 1500, 3600 rpm

- تغییر فرکانس ورودی

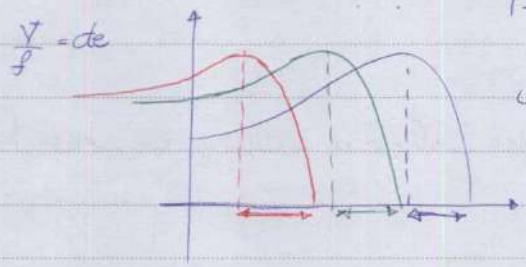
برابر رابطه $n_s = \frac{120 f_e}{P}$ ، اگر فرکانس عوض شود سرعت عوض می‌شود.

✓ می‌تواند کاملاً بسته باشد ـ اثر فنی روی بازدهی ندارد

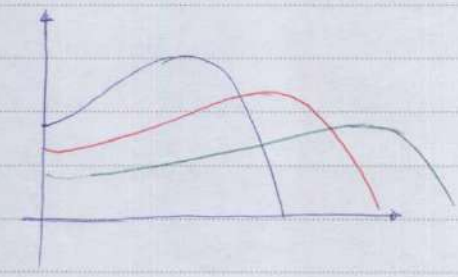
✗ مشکل است دینامیک داشته باشد.

* اگر فرکانس و ولتاژ را با هم کم می‌کنیم:

$V = 4.44 N f B A$ اگر f را کاهش دهیم، V ثابت باشد، B زیاد می‌شود و ممکن است به اشباع برویم. معمولاً V و f را با هم کم می‌کنیم که B ثابت بماند:



نمودار $\frac{V}{f}$ ثابت به صورت متقابل است. یعنی وقتی ناحیه پایدار را کم می‌شود پس بازده ثابت است، گشتاور start زیادی می‌شود، peak هم ثابت است.



اگر V ثابت بماند و f تغییر peak تغییر می‌کند:

راه اندازی:

توجه کنید همانطور که دیدیم، در هنگام راه اندازی روتور مانند ترانس اتصال کوتاه است و جریان زیادی از شبکه می‌کشد.

اشکالات:

افت دینامیک لحظه‌ای در خط ـ مشکل تداخل الکترومغناطیسی ـ عناصر حفاظت

↓

∇

نیروهای عکس وجود دارد.

P4PCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

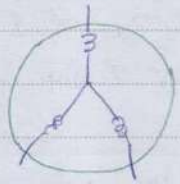
Subject :
Year . Month . Date . ( )

برخی کلیدهای حافظ شده که در خط استارت جریان زیادی عبور می‌دهند و بعد کاهش می‌یابد جریان بار، مشکل را حل می‌کند.

کلید ستاره - مثلث:

ابتدا ستاره است که بتواند جریان زیادی عبور دهد و سپس مثلث می‌شود.

در حالت ستاره تا $\frac{1}{3}$ برابر بیشتر می‌تواند جریان عبور دهد.



* روش‌های کاهش جریان راه اندازی: گذاشتن مقاومت یا سلف - تغییر ولتاژ - کلید ستاره - مثلث

↓

کنتاور استارت نمی‌خواهد داشت

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

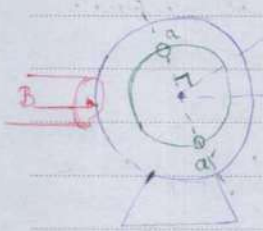
www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

ساختمان و اصول کارکرد ماشین‌های DC

این نوع ماشین اولین نوع ماشین‌های الکتریکی بوده و ظاهراً بسیار کم متداول است. اما اینجا در ایران نیز در اینجا وجود دارد.

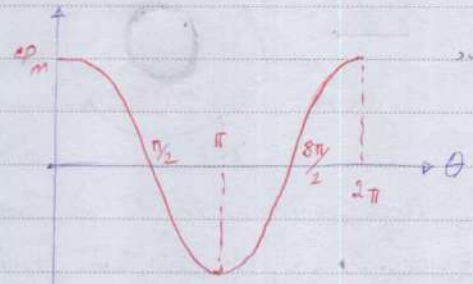
در ادامه کمی راجع به ساختمان ماشین و چگونگی کار آن صحبت می‌کنیم.



در داخل استاتور آهن‌رباهای دائم در بیرون روتور سیم‌پیچی.

* روتور دائماً AC است. اما از بیرون DC دیده می‌شود.

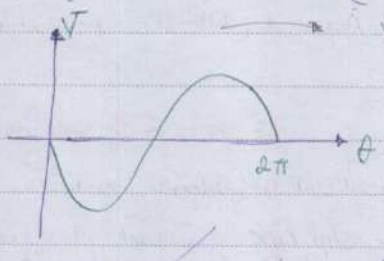
آهن‌رباهای استاتور است.
روتور را می‌چرخانیم!



* ولتاژ القایی سیم‌پیچ است که هر آن زمان نیاز به DC بوده است. ماشین به مکانیزمی DC دیده می‌شود لذا برای یکسوسازی از اسلیپ رینگ slip ring یا حلقه تماس استفاده می‌شود.

در هر نیم پریود یکی از نیم لفه‌ها به a و دیگری به a' وصل است و در هر نیم پریود قطبهای این دو لفه عوض می‌شود، پس یکسوساز مکانیکی داریم.

* در حالت کلی برای ماشین DC که فعلاً روی استاتور است و سیم‌پیچ روی روتور است، ولتاژ القایی روی روتور به صورت زیر است:



$V = N\frac{d\Phi}{dt}$

$\theta = \omega t$ هم تغییر با زمان است.

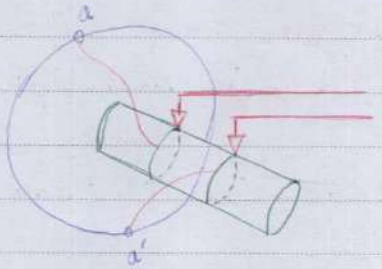
در حالت عادی از اسلیپ رینگ slip ring استفاده کنیم همین شکل موج بیرون می‌آید. هم چنین به دلیل حرکت روتور کمیوم از

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

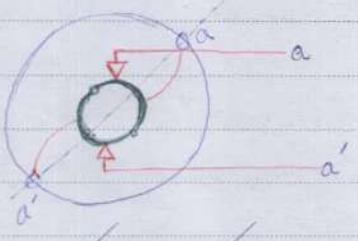
Subject:
Year. Month. Date. ( )

slip ring استفاده نیم:

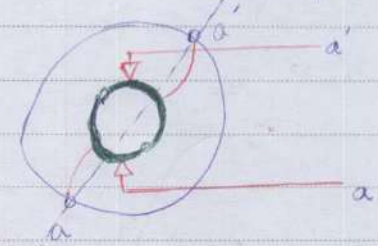


a و a' می‌توان بسیم وصل کرد. slip ring چون shaft روی روتور ثابت است.

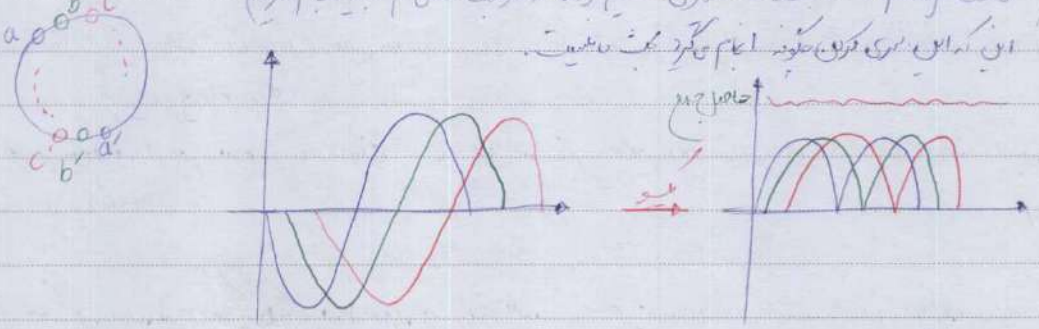
* در هر نیم پریود اتصالات جابجا می‌شوند تا یکسوسازی شوند. خطوط هر نیم حلقه تبدیل می‌شوند.



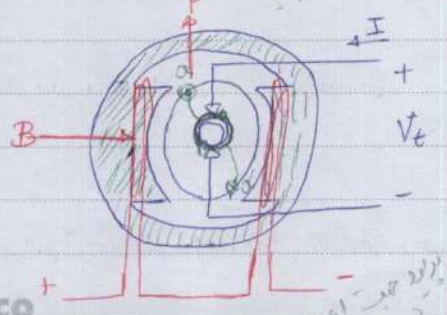
با نیم پریود



* ایده‌ی کلی ساخت DC این است که تعداد نیم حلقه‌ها را زیاد کنیم و هرچه یکنواخت‌تر جمع کنیم.
(می‌توان slip ring را با قطعات بیشتری تقسیم کرد. (عملاً همین کار هم باید انجام گیرد)
این که این عمل چگونه انجام می‌گیرد مهم نیست.



* ولتاژ پسا DC حاصل از peak ولتاژهای سینوسی تولید شده مقدار بیشتری دارد.



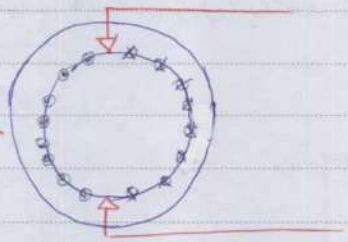
نحوه عملکرد ماشین DC:
گشتاور ← روتور وارد می‌شود تا دور ثابتی بچرخد.
جریان هنگام اتصالات slip ring جابجا می‌شود
جهت میدان عوض می‌شود و حرکت ادامه می‌یابد.
ولتاژ خروجی ثابت می‌شود

P4PCO

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

* با یک سیم پیچ تنهای aa' گشتاور تولید نمی‌شود. برای این که گشتاور تولید شود تعداد سیم پیچ‌ها را بیشتر می‌کنیم.



* چگونه جریان B_r و B_s بر هم عمود شوند، یعنی کمیته ماکزیمم گشتاور اعمال می‌شود ← (؟)

* در هنگام راه اندازی بیشترین گشتاور اعمال می‌شود و ماشین خود راه انداز است.

هم چنین می‌توان نتیجه گرفت که در آغاز مخالف قانون لنز با ولتاژ برقی وجود ندارد، پس در راه اندازی بیشترین گشتاور را داریم و چنین به دلیل قانون لنز کمی لفت دادیم.

* تا طبیعت تغذیه موتور DC هم مناسب است چون مدار استاتور و روتور مستقل از هم هستند.

* $T=\vec{r}\times\vec{F}$: با افزایش B_s یا افزایش i می‌توان گشتاور را بیشتر کرد. $(F=i l\times B)$

مدل مداری ماشین DC

مطابق اصول کارکرد ماشین DC ولتاژی که از دو سر مبدل‌های ماشین دیده می‌شود برابر جمع فازوری ولتاژ برقی و ولتاژ برقی است که به صورت سینوسی تولید می‌شوند.

ولتاژ هر کلاف به صورت سینوسی بوده و مطابق فارادی به دست می‌آید:

ولتاژ هر کلاف $= E_w = 4.44\, N f \Phi$ ← شار تولید شده توسط ولتاژ ایجاد AC است.

استاتور

ولتاژ هر کلاف ← مبدل، جریان

* ماشین DC

روتور ← آرمیچر

⇐ لذا در روتور یا افزایش سرعت چرخش می‌توان ولتاژ بالاتر برد.

P4PCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

$E_a = k(E_w)$

↓

تابع کوه سیم پیچی و اتصالات آهن

$\Rightarrow E_a = k_e \phi w_m$

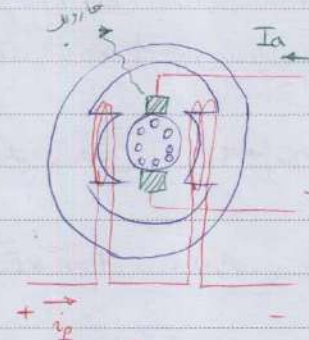
سرعت مکانیکی

ولتاژ اینجا DC است.

ولتاژ القا شده در آرمیچر کلاف های سری شده :

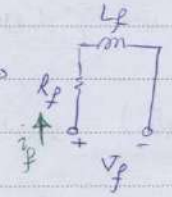
که بصورت خلاصه شده به شکل زیر نوشته می شود.

⇐ شکل ساده شده ماشین DC به صورت زیر به دست می آید :



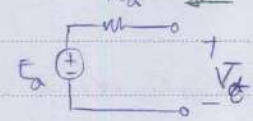
در حالت steady-state :

$i_f = \frac{V_f}{R_f}$



↳ فعلا آرمیچر وصل برقرار نمی شود ⇐ نیروی محرکه نداریم، E_{af} نداریم.

برای آرمیچر هم مدار RL داریم ، اما دوسر L ولتاژ ثابت E_a می افتد :



* به هادی های آرمیچر که حامل جریان i_a می باشند میدان ϕ تابیده می شود و نیروی F به آن ها اعمال می شود :

$F = BI_a l$

$\Rightarrow \vec{\tau} = \vec{F} \times \vec{r} \Rightarrow \tau \propto BI_a l r$

بنابراین گشتاور کل کلاف ها برابر می شود با :

$\boxed{\tau = k_t \phi I_a}$ معادله گشتاور در موتور DC

P4PCO

۴۲

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

ثابت می‌شود که $K_t = K_e = K$

* با داشتن I_a و ω_m می‌توان T را به دست آورد.

* $T = K\phi I_a$ ، هرچقدر I_a بیشتر باشد گشتاور بیشتر است، $I_a = \frac{V_t - E_a}{R_a}$ ، هرچقدر E_a کمتر باشد گشتاور بیشتر است، $E_a = K\phi\omega_m$.

⇐ در start که $\omega_m = 0$ است، ماکزیمم گشتاور اعمال می‌شود.

* در راه اندازی E_a صفر است، پس $I_a = \frac{V_t}{R_a}$ ⇐ جریان بسیار زیادی می‌کشد در هنگام راه اندازی.
(مقاومت سیم‌ها + مقاومت جاروبک)

* مقدار R_a معمولاً کم است. پس V_t و E_a تقریباً برابرند ⇐ $V_t \simeq K\phi\omega_m$ ⇐ V_t و ω_m تقریباً متناسب با هم‌اند. ⇐ با ولتاژ V_t می‌توان سرعت ماشین را کنترل کرد. ← قابلیت کنترلی

* مقاومت جاروبک‌ها از مقاومت سیم‌های تشکیل‌دهنده آرمیچر بیشتر است.

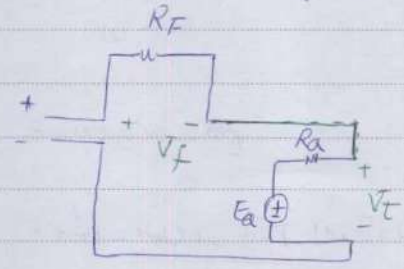
* برای رفع مشکل جریان زیاد موتور DC در هنگام راه اندازی یک مقاومت خارجی با آرمیچر سری می‌کنند.

* اگر سیم پیچ از یک نوع سیم‌کشی، آمپری دائمی تأمین شود و آرمیچر از یک نوع دیگر، به ماشین «تحریک جداگانه» گفته می‌شود.

تحلیل‌های اخیر برای حالت ϕ ثابت یعنی تحریک جداگانه بود.

← مدار معادل دقیق‌تر این موتور را حفظ بود!

ماشین تحریک سری ← جریان سری



سرهای ماشین را به صورت مقابل می‌بندیم:

$N_i = R\phi$ پس سرعت توسط N و ϕ تأمین می‌شود.

PqPCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

می‌توان N را کم کرد و آن را بیشتر کرد. با کم کردن N می‌توان R_f را کاهش داد. $I_f = I_a$

در هنگام start ، $E_a = 0$ و مقدار R_f کم است. پس در هنگام start جریان تقریباً از R_a می‌گذرد. E_a هم در start جریان بسیار زیادی از آرمیچر و فیلد می‌گذرد. یعنی هم ϕ زیاد است هم I_a.
⇐ گشتاور start هم بیشتر می‌شود.

* در موتور تحریک جداگانه می‌توان برای مثال به آرمیچر ولتاژ AC داد، چون نمی‌خواهد بخواهد جهت نیرو عوض می‌شود.

* تا به حالا در موتور تحریک سری: $T = k \phi I_a$ می‌توان به آن AC داد، چون هم روی ϕ و I_a عوض می‌شود، پس T همیشه ثابتی می‌ماند. اما گشتاور آن نوسانات بیشتری خواهد داشت.

* تحریک سری ← Universal : هم با AC کار می‌کند و هم DC.

این روش برای کاربردهایی استفاده می‌شود که نیاز به گشتاور start زیادی داریم.

→ می‌توانیم R_f را هم کم کنیم

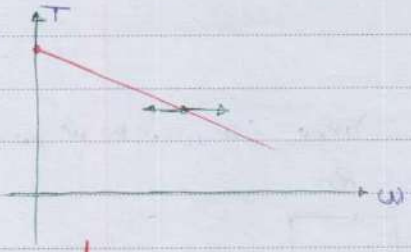
* اگر در یک موتور DC سیم پیچ فیلد و آرمیچر را با هم سری کنیم و R_f را کم کنیم، در هنگام راه اندازی از نامیت افزایش I_a و ϕ می‌توان استفاده کرد و گشتاور راه اندازی بسیار زیادی تولید کرد.

* دلیت آوردن مشخصه $T-\omega$ موتور DC تحریک جداگانه

$$T = k\phi I_a \quad , \quad I_a = \frac{V_t - E_a}{R_a} \quad , \quad E_a = k\phi\omega_m$$

ثابت

$$\Rightarrow T = \frac{k\phi V_t}{R_a} - \frac{k^2\phi^2\omega_m}{R_a}$$



* تحویلت تحریک داریم. ثابت هم با شین DC این است که عموماً در ناحیه پایدار قرار دارد.

* در حالت روشن بار $T = 0$ است، پس $I_a = 0$ است.

PdPCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

* با تغییر V_t حساسیت تغییر روی T بیشتر است نسبت به وقتی که Φ را ثابت نگه داریم.

* اگر سیم پیچ میدان به آرمیچر بسته شود در این صورت $I_f = I_a$ است. قابلیت هم در این حالت افزایش چندانی در ابتدای راه اندازی است. یعنی برخلاف ماشین تحریک جداگانه که I_f ثابت بود، در این حالت I_f نیز مانند I_a تغییر می‌کند و در ابتدا مقدار زیادی دارد.

$\omega_m = 0 \Rightarrow E_a = 0$

$\Leftarrow$ این ماشین جداکثر جریان را در راه اندازی دارد و جداکثر گشتاور را ارائه می‌دهد.

$\measuredangle(\psi_a, \psi_f) = 90^\circ$, $\psi_a, \psi_{f\,max}$

↳ کاربرد: دریل برقی - مقاوم برقی - استارت اتومبیل

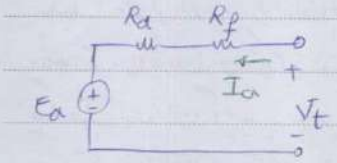
در این ماشین چون I_f و I_a به دلیل بودن مدارشان، با هم تغییر جهت می‌دهند می‌توان از ولتاژ AC نیز برای تغذیه آن استفاده کرد.

به دست آوردن مشخصه T-ω در موتور DC سری

$T = k\Phi I_a$, $\Phi = k' I_f \rightarrow$ نواحی عدم اشباع , $I_f = I_a$

$\Rightarrow T = M I_a^2$

تقریبا ثابت



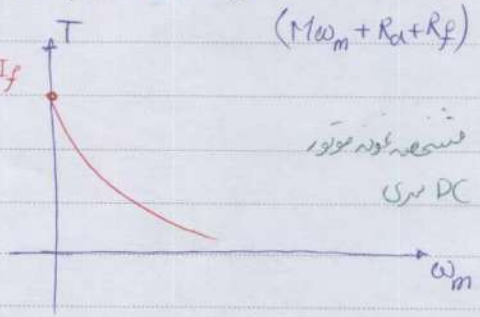
در حالت steady-state از سلف صرف نظر می‌شود.

$\Rightarrow V_t = E_a + (R_a + R_f) I_a$ (1) $\Rightarrow I_a = \dfrac{V_t}{(M\omega_m + R_a + R_f)}$

$E_a = k\Phi\omega_m = k' I_f$

$\Rightarrow E_a = M I_a \omega_m$ (2)

$\Rightarrow T = \dfrac{M V_t^2}{(M\omega_m + R_a + R_f)^2}$



مشخصه گشتاور موتور DC سری

PqPCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

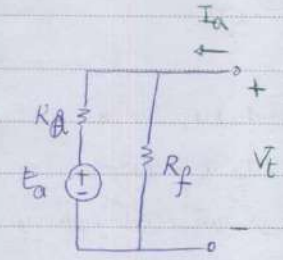
www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

مشخص است که قابلیت لغو این موتور در ... های کوچک است.

موتور DC شنت (تحریک شنت - موازی)

این موتور همان تحریک جداگانه است که هم آرمیچر و هم میدان آن به طور موازی از یک منبع DC استفاده می‌کنند.



موتورهای DC کوچک، میدان آهنربای دائم، مشابه یک موتور DC تحریک جداگانه حساب می‌شوند، با آهنربا دور خوبی میدان به جای سیم مغناطیس آن برابر آهنربای دائم می‌باشد.

راه اندازی موتورهای DC

برای موتورهای DC شنت که احتمالاً بیشتر راه انداز زیاد وجود دارد (در مقایسه با موتورهای DC سری) جریان راه اندازی استارت باید محدود شود:

$$I_{a_{start}} = \frac{V_t}{R_a} \quad (R_a \to 0 \Rightarrow I_a \to \infty)$$

جاروبک حجم کمی دارد و در راه اندازی جریان بسیار زیادی از آن می‌گذرد، مقاومت آن باعث می‌شود که در زمان کوتاه حرارت بسیار زیادی پیدا کند که می‌تواند آسیب برساند.

در موتور اتصالی این مشکل پیش می‌آمد چون مقاومت توزیع شده بود و حجم زیادی داشت. محدود کردن جریان در اینجا برای عدم ایجاد اشکال در شکم بود.

* برای کاهش جریان راه اندازی:
۱- استفاده از مقاومت سری
۲- کاهش دیتای آرمیچر

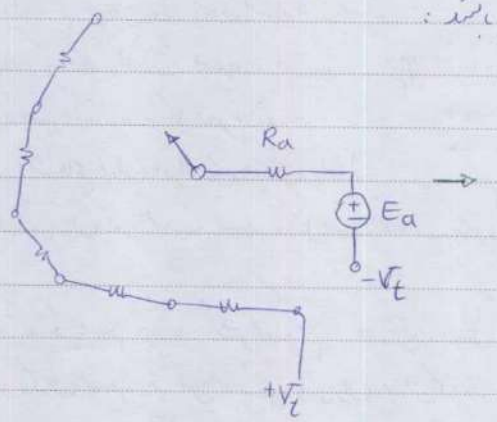
PqPCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

* شکل یک مدار راه اندازی می تواند به صورت زیر باشد :



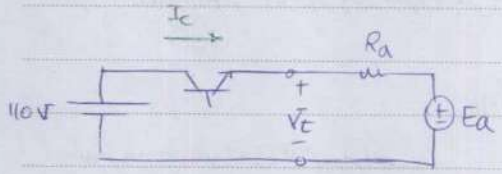
کلید برای چی چاپ.

* معمولا از ترانزیستور هم استفاده می کند.

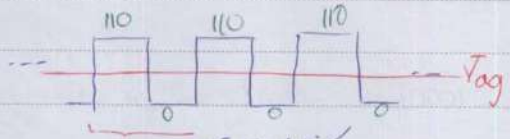
کاهش ولتاژ :

در روش قبلی نیز در واقع ولتاژ آرمیچر کاهش می یافت. پس کاهش ولتاژ آرمیچر در واقع باعث کاهش V_t یافت و I_a استارت می شود.

انجام این کار با استفاده از یک منبع DC با ولتاژ متغیر قابل تنظیم (به کمک ترانزیستور) یکی از روش های کنترلی بسیار پرهزینه قابل اجرا است.



ترانزیستور متناوباً on و off می شود.
قطع شکن



با کنترل PCM ی توان ولتاژ V_t را تنظیم کرد.
$V_{t\,rms}$

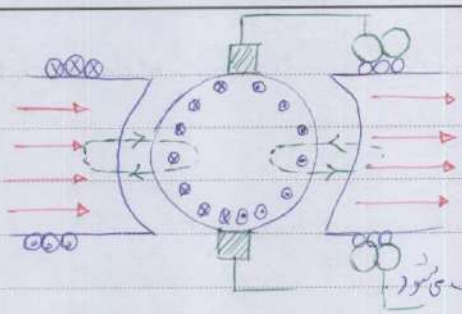
عکس العمل آرمیچر نسبت به تغییرات ناگهانی در میدان DC

در صورت عبور جریان از آرمیچر به دلیل توزیع نشار در براثر قطب های جریان، از نشار جریان Φ_f کاسته می شود، به این پدیده عکس العمل آرمیچر می گوییم.

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )



شاری که توسط سیم پیچ های روتور ایجاد می شوند مسیر بسته ای پیدا می کنند و به نظر می رسد که ممکن است شیر جهی رفت و برگشتی شدیدا خنثی کننده اثر کل همدیگر باشند.
اما به دلیل اشباع میدان افزایش میدان توسط آرمیچر از کاهش آن کمتر است ⇐ در کل شار تضعیف می شود.

راه حل این است که تعداد سیم پیچ آرمیچر را کم کنیم. هر چقدر جریان آرمیچر بیشتر باشد، مقدار تضعیف شار بیشتر است، با بیرون کردن سیم پیچ این کاهش را می توان جبران کرد.

برای حل این مشکل تعدادی حلقه سیم پیچ، تعداد سیم های به کار رفته در آرمیچر را در قطب های اصلی قرار می دهیم. در این صورت جریان آرمیچر از یک طرف میدان مغناطیسی قطب ها، دلیل عکس العمل آرمیچر کاهش می یابد و از طرف دیگر یک آمپردور اضافی در قطب ها ایجاد می شود که باعث افزایش شار می شود.
اگر میزان تضعیف و تقویت یکسان باشد شار قطب تغییری نمی کند و عکس العمل آرمیچر خنثی می شود.

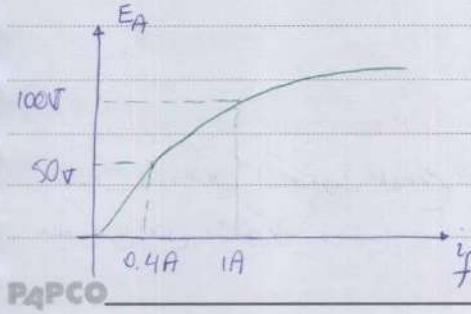
مثال: $NF=100$ ، $I_F=1A$ باشد و میزان عکس العمل آرمیچر در جریان نامی $I_a=10A$ ، 10٪ شار را تضعیف کند.

$$AR = \%10 \times (Ni)_F = \frac{1}{10} \times 100 \times 1 = 10\ At$$

تعداد حلقه های سری شکل لازم برابر است با:

$$10\ At = N_s i_a \Rightarrow N_s = 1\ t$$

مثال: ب موتور shunt ، 100V ، 12kW ، $R_a=0.1\Omega$ ، $R_f=80\Omega$ ، 1000rpm



جریان آرمیچر در سرعت نامی 1000rpm ماشین 60A است.
الف- مقاومت اضافی مدار تحریک را برای صفر کنید.
ب- تلفات چرخشی در سرعت نامی

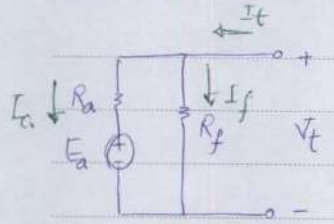
$T=0$ ، ω ، $I_a \neq 0 \Rightarrow E_a I_a$
تلف تلفات چرخشی می شود

PqPCO

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac

www.g-alm.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )



* مقاومت R_f : external ، بری است تا جریان را کنترل کنیم.

$V_t = E_a + R_a i_a \Rightarrow E_A \simeq 99.4V \Rightarrow i_f \simeq 1A$

100 ، 0.1 ، 6

$\Rightarrow \frac{V_t}{R_f'} \simeq 1A \Rightarrow R_f' \simeq 100\Omega \Rightarrow R_{f_x} \simeq 20\Omega$

ب) در حالت کلی برای هر موتور $P_{Load} + P_{rotational} = P_{out} = E_a I_a$

در بی باری : $P_{Load} = 0$ است.

$\Rightarrow P_{rot} = 99.4 \times 6 = 596.4\ W$

ج) با فرض همان ماشین 120A ، سرعت ثانویه را به دست آورید.

$E_a = k\phi\omega_m \Rightarrow \frac{E_{a_1}}{E_{a_2}} = \frac{\omega_{m_1}}{\omega_{m_2}} \Rightarrow E_a\big|_{\text{بار کامل}} = V_t - R_a i_a = 100 - 0.1 \times 120 = 88V$

de ، de

$\Rightarrow \omega_{m_2} = 1000 \times \frac{88}{99.4}$

د) حالت اخیر با فرض 10٪ عکس العمل آرمیچر

یعنی شار 10٪ کاهش یابد

یعنی شار بار کامل به اندازه‌ی 10٪ نسبت به بی باری کاهش یافته است

$\frac{E_{a_1}}{E_{a_2}} = \frac{k\phi_1\omega_{m_1}}{k\phi_2\omega_{m_2}} = \frac{\omega_{m_1}}{0.9\omega_{m_2}}$

ه) گشتاور جریری بدون AR :

۱ ه/ : $T = k\phi I_a$ ، $k\phi = \frac{E_a}{\omega_{n1}}$

۲ ه/ : $T = \frac{P_{out}}{\omega_m} = \frac{E_a I_a}{\omega_m}$

PAPCO

۷۴

www.g-alm.ir/forum www.g-alm.ir/ac