اجزای ماشین های الکتریکی و اصول کارکرد آن ها:

۱) میدان مغناطیسی (استاتور)

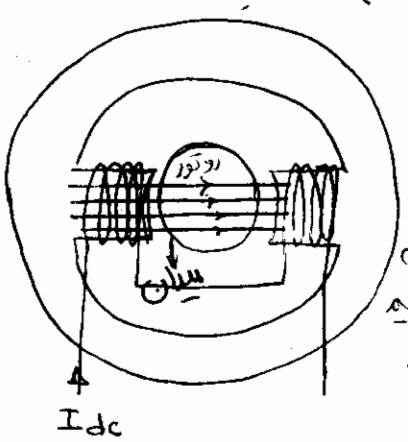
۲) تولید انرژی الکتریکی را به عهده دارد و یا تولید انرژی مکانیکی را (آرمیچر یا روتور)

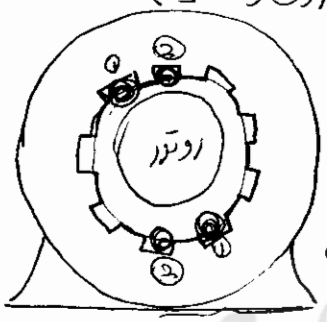
۳) عایق ها.

۴) یاتاقان ها یا بلبرینگ ها.

۵) کموتاتور یا یکسوساز مکانیکی (مخصوص ماشین های DC است)

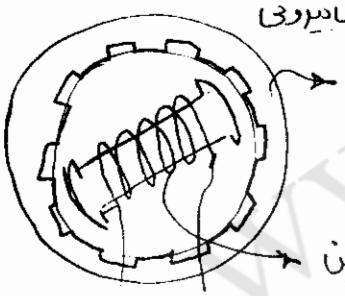
۱) استاتور — i) استاتور قطب ها جسته با سیم پیچی متمرکز. (ماشین DC)
ii) استاتور قطب صاف با سیم پیچی توزیع شده.
(در ماشین آسنکرون و القایی)

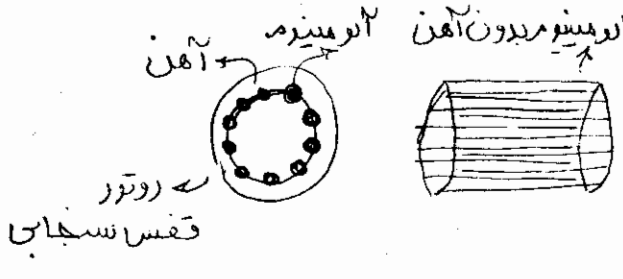




* عموماً سیم پیچی آرمیچرها سیم پیچی توزیع شده است.

۲) آرمیچر یا روتور — i) آرمیچر سیم پیچی توزیع شده (ماشین DC و ماشین آسنکرون)
ii) روتور قفس سنجابی



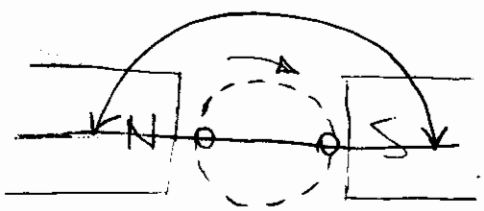


* روتور قفس سنجابی در ماشین آسنکرون در حالت موتوری: روتور سیم پیچی توزیع شده در ماشین آسنکرون در حالت ژنراتوری

مشابه مشترک در ماشین های الکتریکی:

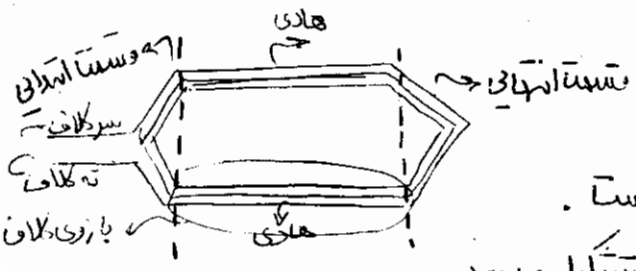
فرآیند تبدیل انرژی: یک میدان درون یک میدان حرکت کند یا شار داخل یک هادی تغییر کند (حالت ژنراتوری)
در یک هادی جریان دار داخل یک میدان مغناطیسی نیرو تولید می شود (حالت موتوری)

گام قطب: زاویه بین دو قطب غیرهمنام مجاور در سیستم دو قطبی π rad مکانیکی یا π rad الکتریکی خواهد بود.



www.tevf.com

هادی ـ کلاف ـ زوایای الکتریکی و مکانیکی :

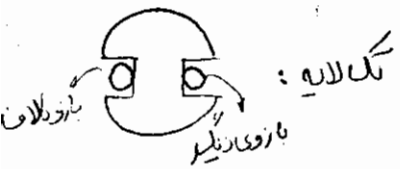


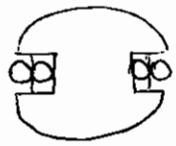
هادی : کوچکترین جزء القاء و تأثر در ماشین الکتریکی

حلقه : از دو هادی تشکیل شده که به صورت سری با هم دیگر قرار گرفته است .

کلاف : از N حلقه یا دور تشکیل شده و قسمت کلی سیم پیچ را تشکیل می دهد.

* قسمت انتهایی و ابتدایی فقط نقش نگه داشتن دو هادی را به هم ایفا می کنند و




دو لایه

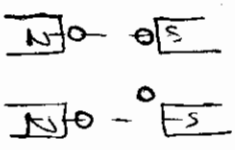
سیم بندی آرمیچر: چگونگی قرار گرفتن کلاف ها و شیارهای آرمیچر و اتصال سرو ته کلاف ها به هم دیگر را سیم بندی آرمیچر می نامیم .

گام شیار: فاصله یا زاویه بین دو شیار مجاور را گام شیار می نامیم .

گام کلاف: فاصله یا زاویه بین دو بازوی یک کلاف را گام کلاف می نامند

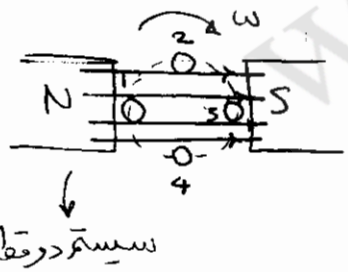
۱) به صورت زاویه.
۲) به صورت تعداد شیار بین آن ها.

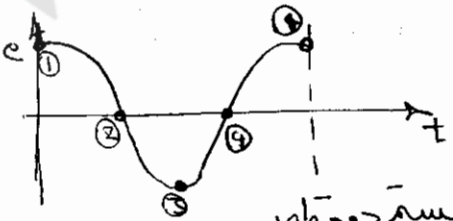
گام زاویه ای ← ۱- گام کامل : π رادیان الکتریکی
۲- گام کوتاه : کمتر از π رادیان الکتریکی



براساس تعداد شیار، تعداد شیار بین دو بازوی یک کلاف + عدد یک ، گام کلاف برحسب شیار خواهد بود.

زوایای الکتریکی و مکانیکی :



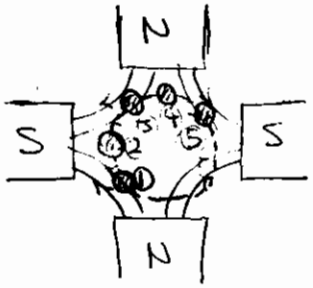


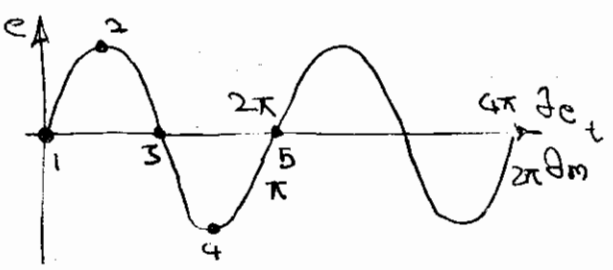
* هادی با سرعت زاویه ای ω می چرخد.

زاویه الکتریکی θ_e
زاویه مکانیکی θ_m

در سیستم دو قطبی $\theta_e = \theta_m$

سیستم چهار قطبی



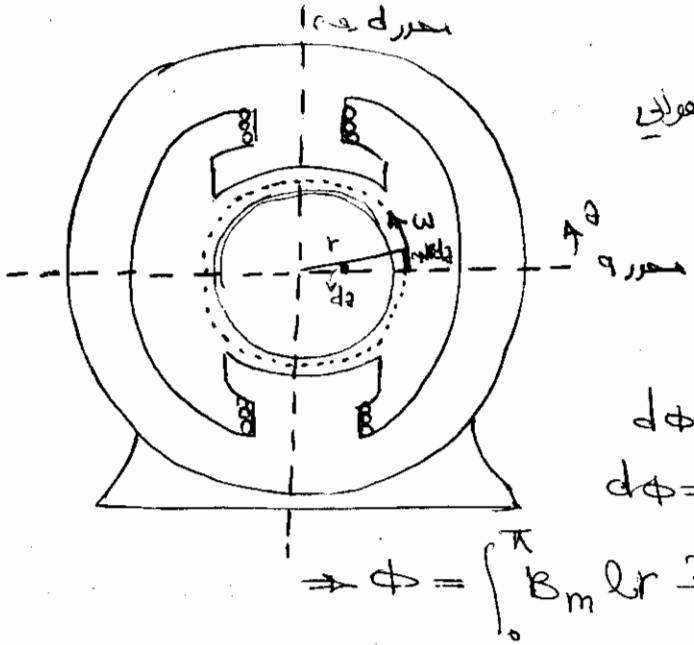


تعداد قطب ها : P ⇒ $\theta_e = \frac{P}{2}\theta_m$

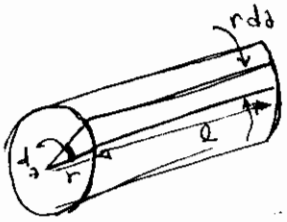
$\omega_e = \frac{P}{2}\omega_m$

www.tcyf.com

محاسبه شار زیر قطب:



چگالی شار فاصله هوایی $B = B_m \sin\theta$



سطح جزئی فاصله هوایی: سطح جزئی $= lr\,d\theta$

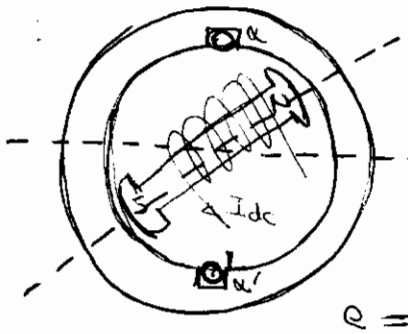
$$d\phi = B_m l r \sin\theta\, d\theta_m \;;\; d\theta_e = \frac{P}{2} d\theta_m$$

$$d\phi = B_m l r \frac{2}{P} \sin\theta\, d\theta_{me}$$

شار ماکزیمم زیر قطب

$$\Rightarrow \phi = \int_0^{\pi} B_m l r \frac{2}{P} \sin\theta\, d\theta = \frac{4 l r}{P} B_m$$

ولتاژ تولید شده در یک کلاف:



تغییرات شار عبوری از کلاف:

تعداد دور کلاف

$$\phi \cos\omega t \text{ یا } \phi \cos\theta$$

$$\lambda = N_c \phi \cos\omega t \qquad e = -\frac{d\lambda}{dt}$$

$$e = \underbrace{N_c \phi \omega \sin\omega t}_{\text{ولتاژ القا شده جزئی}} - \underbrace{N_c \frac{d\phi}{dt} \cos\omega t}_{\text{ولتاژ ترانسفورماتوری}}$$

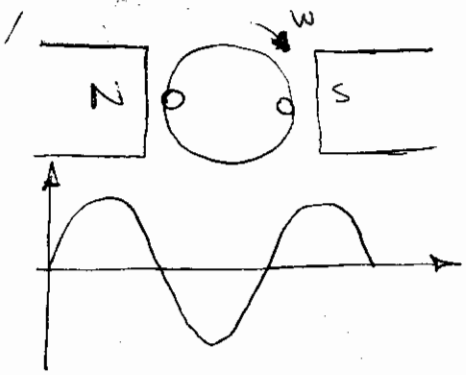
در ماشین‌های DC با توجه به ثابت بودن میدان در زمان

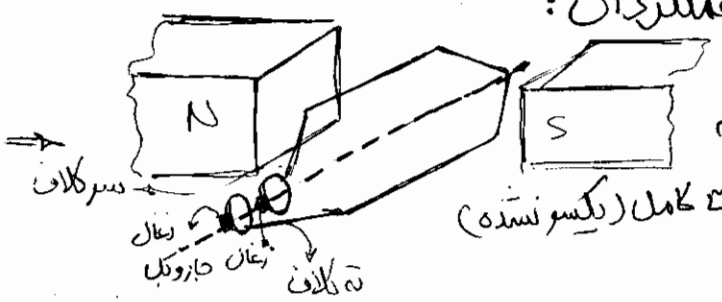
$e = N_c \phi \omega \sin\omega t$ ولتاژ القا شده لحظه‌ای

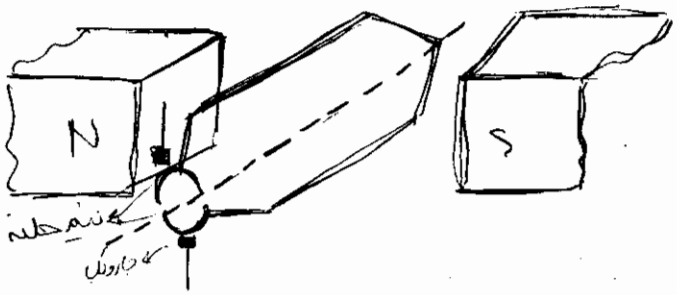
سرعت نسبی بین هادی ها و میدان

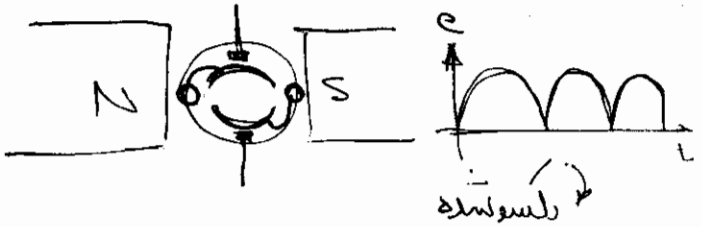
ماشین DC: چگونگی یکسو کردن ولتاژ تولید شده و محاسبه ولتاژ متوسط:

کموتاتور و عملکرد آن:



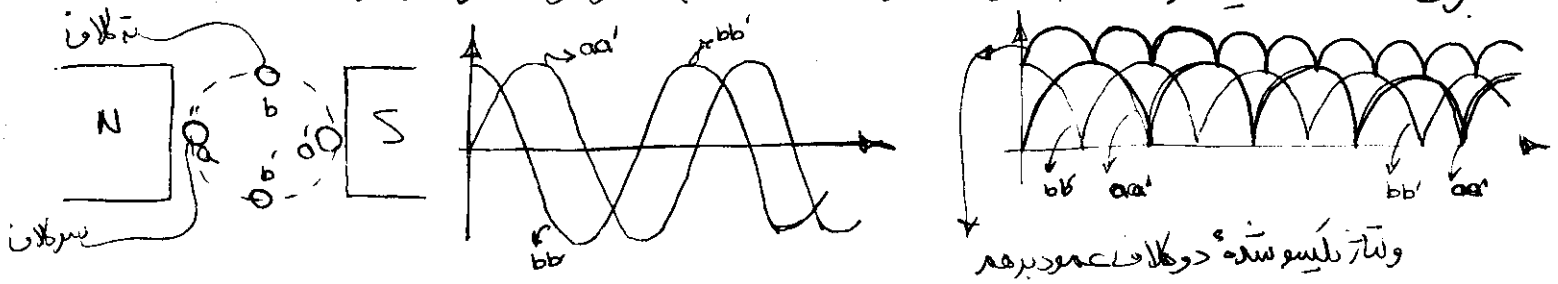






www.tevfi.com

برای N کلاف یکسوشدگی به صورت سری شکل موج بهتری را ارائه خواهد داد:



ولتاژ یکسو شده دوکلاف عمود برهم

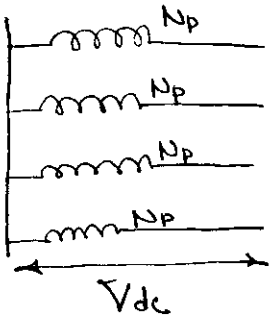
ولتاژ متوسط:

$$E_{dc} = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} N_c \omega \Phi \sin\omega t \, dt = \frac{2}{\pi} N_c \Phi \omega$$ ← الکتریکی

$$E_{dc} = \frac{2}{\pi} N_c \Phi \frac{P}{2} \omega_m \Rightarrow E_{dc} = \frac{P N_c \Phi \omega_m}{\pi}$$ ← باسرعت مکانیکی

تعداد دورهای کلاف های موجود با N نشان دهید:

تعداد مسیرهای موازی با N دور کلاف ها با a نمایش دهید.



$a = 4$

$$E_{dc} = \frac{P N \Phi \omega_m}{\pi a} \qquad N_p = \frac{N}{a}$$

تعداد مسیرهای موازی کلاف های روی آرمیچر

$$\Rightarrow \frac{PN}{\pi a} = K \Rightarrow E_{dc} = K \Phi \omega_m$$

انواع آرمیچر (سیم بندی آرمیچر):

آرمیچر ماشین های DC:

آرمیچر ماشین های AC (ماشین سنکرون)

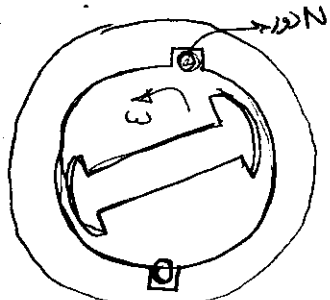
ماشین DC: 1) سیم بندی بسته: a) حلقوی b) موجی

2) سیم بندی باز: ماشین AC — a) سیم بندی توزیع شده باز (معمولاً سه فازه)

سیم بندی بسته: اگر از سر یک کلاف شروع کرده و سیم سیم بندی را ادامه دهیم در نهایت به همان نقطه شروع خواهیم و نقاط اتصال سر و ته کلاف ها از یر تیغه های مسی کموتاتور خواهد بود.

سیم بندی باز: بسته به یک فاز یا سه فازه بودن ماشین دارای یک یا سه فاز سیم بندی بوده و مجموعه کلاف های هر فاز با اتصالات سری یا موازی به بیرون از ماشین منتقل می شود و ترمینال های ماشین را تشکیل می دهد این نوع سیم پیچ ها را که هرکدام از فازها به صورت مستقل در دسترس سند سیم پیچ بازی نامیم.

ولتاژ القاشده در یک کلاف AC:



$$\Phi = \Phi_m \cos\omega t \qquad \lambda = N \Phi_m \cos\omega t$$

$$e = N \Phi_m \omega \sin\omega t = e_m \sin\omega t \qquad E_{rms} = \frac{N \Phi_m \omega}{\sqrt{2}}$$

$$= \frac{2\pi f N \Phi_m}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}\,\pi f \Phi_m N = 4.44 f N \Phi_m$$

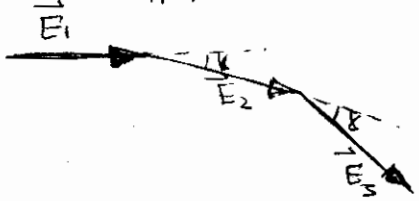
N تعداد دور یک کلاف

www.teyf.com

* برای افزایش ولتاژ القایی باید مقدار N را افزایش دهیم به خاطر همین کلاف ها را به صورت سری قرار می دهیم.
* برای سیستم سه فاز آرمیچر را به سه قسمت 120° تقسیم می کنیم و کلاف هایی که در هر قسمت وجود است را با هم سری می کنیم. به این صورت سه فاز داریم.

* فرض کنیم هر فاز دارای سه کلاف است مثلاً فاز A حال:

$E_A \neq E_1 + E_2 + E_3$



$\Rightarrow \vec{E_A} = \vec{E_1} + \vec{E_2} + \vec{E_3}$ چون هر کلاف که ولتاژ القا می شود این ولتاژها دارای اختلاف فاز هستند پس به صورت جبری نمی توان آن ها را با هم جمع کرد.

K_d = distribution Factor = $\frac{\text{مقدار واقعی ولتاژ فاز}}{\text{جمع جبری ولتاژهای کلاف های آن فاز}} = \frac{E_A}{mE_i}$

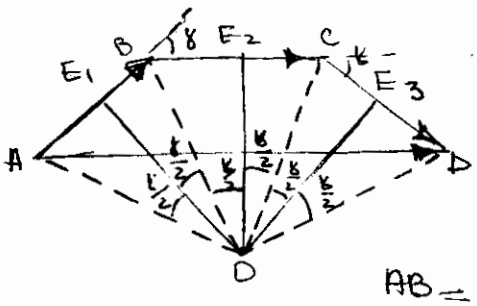
m: تعداد کلاف ها

S: تعداد کل شیارهای یک آرمیچر، q: تعداد فاز موجود در آرمیچر، P: تعداد قطب ها

γ: زاویه بین شیارهای مجاور.

$S_{pp} = m = \frac{S}{Pq}$ ← تعداد شیار برای هر قطب هر فاز

$\gamma = \frac{\pi P}{S}$ ← رادیان الکتریکی



ولتاژ واقعی فاز $\overline{AD}$

ولتاژ القا شده در هر کلاف E_1, E_2, E_3

$K_d = \frac{AD}{3AB} = \frac{AD}{mAB}$ $\quad AD = 2.OA.\sin\frac{m\gamma}{2}$

$AB = 2.OA.\sin\frac{\gamma}{2}$ $\quad K_d = \frac{2.OA.\sin\frac{m\gamma}{2}}{m\,2.OA.\sin\frac{\gamma}{2}}$

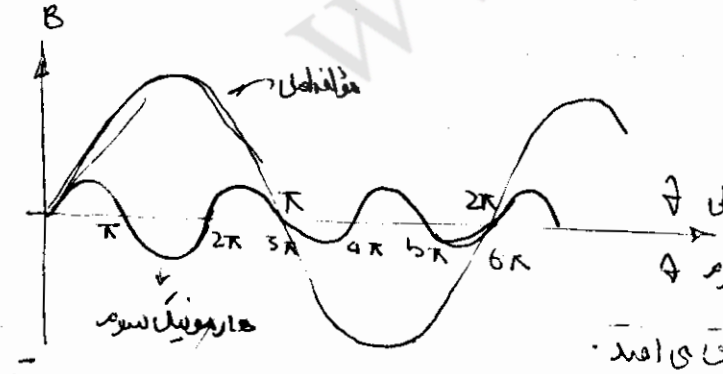
$K_d = \frac{\sin m\frac{\gamma}{2}}{m\sin\frac{\gamma}{2}}$

$E_{rms} = 4.44 f N_{ph} \Phi_m$ ← تعداد کل دورهای یک فاز

$E_{rms_{ph}} = 4.44 K_d f \Phi_m N_{ph}$

محتوای هارمونیکی سیم پیچ های توزیع شده:

فرض: حالتی شار غیر سینوسی



* این پدیده ای است که در اکثر ماشین ها ناخواسته اتفاق می افتد.
* این مؤلفه اصلی دارای هارمونیک های فرد است، ولی هارمونیک سوم به تنهایی از بقیه آن هارمونیک ها مهمتر است.

$\theta(\text{nth harmonic}) = n\,\theta(\text{fundamental})$

هارمونیک nام ← اصلی

$K_d(\text{هارمونیک nام}) = \frac{\sin n m\frac{\gamma}{2}}{m\sin n\frac{\gamma}{2}}$

K_d هارمونیک nام از K_d مؤلفه اصلی به مراتب کوچکتر است.

www.teyf.com

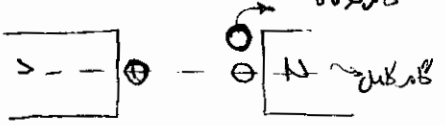
مثال: مطلوبست محاسبه ضریب توزیع برای مؤلفه اصلی، هارمونیک سوم و پنجم برای آرمیچری که با 36 شیار با 4 قطب به صورت سه فاز پیچیده شده است.

$$m=\frac{36}{3\times4}=3 \qquad \gamma=\frac{180\times4}{36}=20^\circ \quad \text{الکتریکی}$$

$$k_d=\frac{\sin\frac{3\times20}{2}}{3\sin\frac{20}{2}}=0.96 \qquad k_{d3}=\frac{\sin(3\times3\times\frac{20}{2})}{3\sin(3\times\frac{20}{2})}=0.66$$

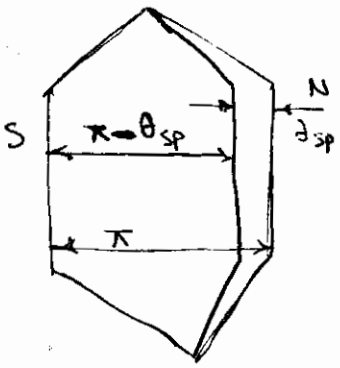
$$k_{d5}=\frac{\sin(3\times5\times\frac{20}{2})}{3\sin(5\times\frac{20}{2})}=0.21$$

گام کوتاه یا کسری (Short Pitch):

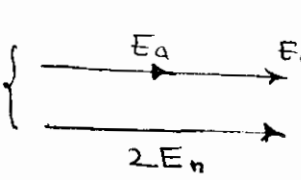


ضریب گام (k_p): ولتاژ کلاف = 2 برابر ولتاژ هر بازو: در گام کامل

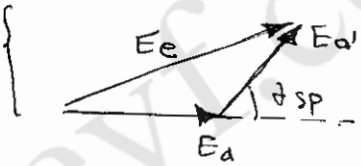
ولتاژ کلاف ≠ 2 برابر ولتاژ هر بازو: گام کوتاه



گام کامل:



گام کسری:



ضریب گام $k_p=\frac{E_c}{2E_a}$ $\quad E_c=2E_a\cos\left(\frac{\theta_{sp}}{2}\right)$ $\quad k_p=\frac{2E_a\cos\left(\frac{\theta_{sp}}{2}\right)}{2E_a}$

$$k_p=\cos\left(\frac{\theta_{sp}}{2}\right) \qquad E_{ph}=4.44k_pk_d\Phi_mNf \qquad k_w=k_pk_d$$

ضریب سه پیچی توزیع شده

با در نظر گرفتن هارمونیک های جگانی شار:

$$k_p\ (\text{برای هارمونیک } n)=\cos n\frac{\theta_{sp}}{2}$$

گام کسری برای حذف هارمونیک خاصی در ولتاژ فازی توانند به کار گرفته شود

$$n\frac{\theta_{sp}}{2}=k\frac{\pi}{2} \qquad k=1,3,5,\dots$$

* حذف برای حذف هارمونیک 13 ام: $13\times\frac{\theta_{sp}}{2}=90^\circ\Rightarrow\theta_{sp}=14^\circ$

مثال: یک مولد سنکرون سه فاز دارای 16 قطب، تعداد 144 شیار، 10 هادی در هر شیار سیم بندی می‌شود، شار هر قطب $0.04\,Wb$ و به صورت سینوسی تغییر کرده است. اگر سرعت دوران برابر با 375 rpm باشد مطلوبست تعیین فرکانس و ولتاژهای خاص بر خط تولید شده. سیم بندی به صورت ستاره می‌باشد.

$$f=\frac{nP}{120}=\frac{375\times16}{120}=50\ Hz \qquad \text{تعداد کل هادیها } 144\times10=1440$$

$$\frac{1440}{2}=720 \text{ تعداد دور کلاف‌ها} \qquad \frac{720}{3}=240 \text{ تعداد دور کلاف‌های یک فاز} \qquad \gamma=\frac{180.P}{S}=\frac{180\times16}{144}=20^\circ$$

$$m=\frac{144}{16\times3}=3 \qquad k_d=\frac{\sin m\frac{\gamma}{2}}{m\sin\frac{\gamma}{2}}=0.96 \qquad E_{ph}=4.44fN_{ph}\Phi k_d=2046 \text{ ولت}$$

$$E_L=\sqrt{3}E_{ph}=3547$$

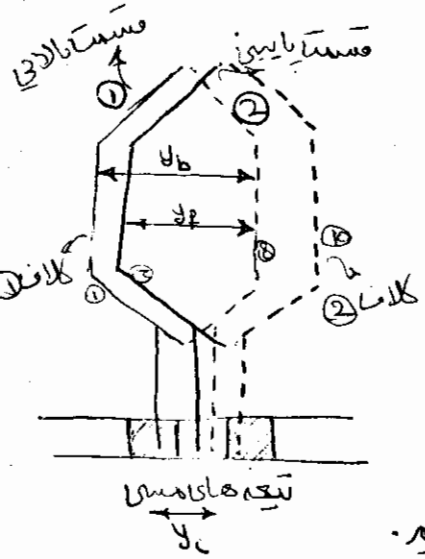
www.teyf.com

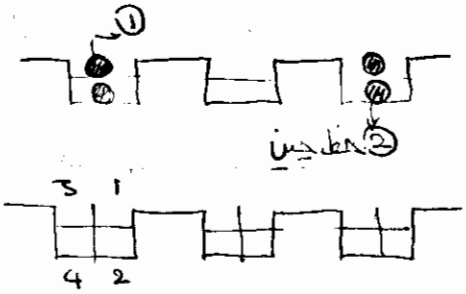
مثال: یک ژنراتور 50^{Hz} سه فاز با القای ستاره دارای سیم بندی دولایه حمت سرعت 600rpm تولید و تاژی کند این ماشین طاری 12 دوردر هر کلاف 4 شیار در هر قطب فاز و دارای گام کلاف 10 شیاری می باشد. اگر شار قطب سینوسی با دامنه 0.035^{wb} باشد مطلوبست محاسبه ولتاژهای تولید شده برای فاز و خط. کلاف های هر فاز به صورت سری در نظر گرفته شود.

سیم بندی آرمیچر ماشین های DC :

سیم بندی های بسته : ← ۱) سیم بندی محاور Lap (حلقوی)
۲) سیم بندی موجی wave

محاور:





برش شده شیارها در سیم بندی دولایه :

سیم بندی چهارلایه :

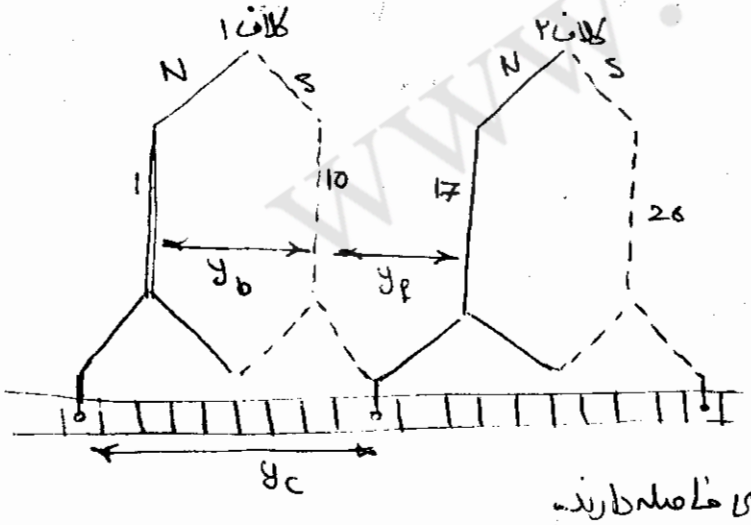
* برای شماره گذاری شیارها اعداد فرد به قسمت بالایی و اعداد زوج به قسمت پایینی نسبت داده می شوند.

y_b : فاصله بین بازوی بالایی و پایینی را که با تعداد شیار نامگذاری می کنیم y_b می نامیم.

y_f : فاصله بین دو بازوی کلافی که زیر یک تیغه قرار گرفته اند با y_f نشان می دهیم.

y_c : فاصله بین تیغه های مسی بین سر و ته کلاف.

موجی:



y_b : فاصله بین بازوهای بالا و پایین یک کلاف گام عقب کلاف نامیده می شود معمولا بر حسب شیار یا دندانه یا بازوهای کلاف ها اندازه گیری می شود (y_b : گام کلاف)

* سر و ته کلاف در این نوع سیم پیچی با هم دو گام قطبی فاصله دارند.

y_f : گام جلوی کلاف : فاصله بین دو بازوی سیم پیچی که به یک تیغه مسی وصل شده اند گام جلوی کلاف نامیده می شود.

y_c : گام کموتاسیون : فاصله بین دو تیغه مسی که سر و ته یک کلاف به آن ها وصل شده باشد گام کموتاسیون نامیده می شود. در سیم بندی محاور همیشه $\perp$ و در سیم بندی های موجی وابسته به کلاف ها یا تیغه های مسی خواهد بود.

www.teyf.com

y_w گام سیم پیچی: فاصله بین دو بازوی بالایی متوالی یا دو بازوی پایینی متوالی گام سیم پیچی نامیده می‌شود.

* گام سیم پیچی y_w همواره یک عدد زوج است.

$y_w = y_b + y_f$ سیم بندی موجی

* $y_w = y_b - y_f$ سیم بندی متحاور

سیم بندی حلقوی ساده:

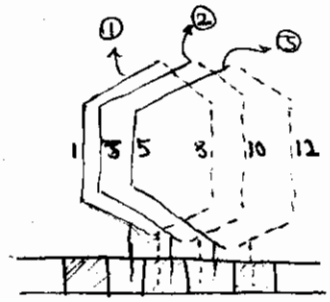
* $y_w = \pm 2$ / $y_c = \pm 1$ } سیم بندی حلقوی با دانستن نوع حرکت سیم بندی

تعداد کلاف‌های آرمیچر c نامیده می‌شود.
تعداد قطب‌های ماشین P " "
تعداد بازوهای کلاف‌ها $2c$ " "
گام عقب در ابر گام قطبی و مرتبی باشد.

* k برای این است که y_b به یک عدد زوج صحیح تبدیل شود مقدار k را خودمان قراری دهیم در طراحی‌ها استفاده می‌شود.

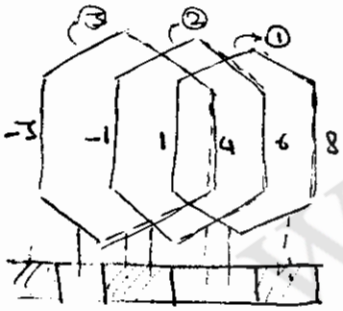
$y_b = \frac{2c}{p} \pm k$ = تعداد بازوهای کلاف برای هر قطب

دو نوع حرکت سیم بندی:



i) پیشروی: چیدن کلاف‌ها در جهت عقربه‌های ساعت است. به این نوع حرکت حرکت سیم بندی پیشروی می‌نامیم.

$y_w = y_b - y_f = (8-11) - (8-5) = +2$
$y_c = +1 \rightarrow$ حلقوی



ii) پسروی: چیدن کلاف‌ها در خلاف جهت عقربه‌های ساعت است. این نوع سیم بندی را سیم بندی پسروی می‌نامیم.

$y_w = y_b - y_f = (8-1) - (8-(-11)) = -2$
$y_c = -1 \rightarrow$ حلقوی

* برای بستن سیم پیچی‌ها تنها داشتن گام شیارها کافی است.

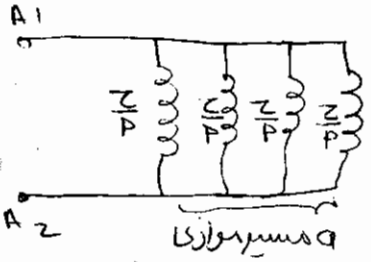
مثال: برای ماشین جاروبک دار با تعداد 6 قطب 40 کلاف با سیم بندی متحاور محاسبات زیر را انجام دهید. تعداد تیغه‌های مسی لازم، گام جلو و عقب کلاف‌ها و گام کموتاتور.

تعداد کلاف‌ها $= c = 40$ ⟹ تعداد تیغه‌های مسی $= 40 = c$

$y_b = \frac{2c}{p} \pm k = \frac{2 \times 40}{6} \pm k = \frac{40}{3} - \frac{1}{3} = 13$

$\begin{cases} y_b - y_f = \pm 2 \rightarrow y_f = 11, 15 \\ y_c = \pm 1 \end{cases}$

* اگر از دو سر ترمینال در سیستم‌های حلقوی ماشین DC نگاه کنیم a مسیر موازی خواهیم دید.



تعداد مسیر موازی $a = p$ تعداد قطب‌ها

$E = \frac{Z \phi p \omega}{2\pi a}$ ← مسیرهای موازی ← سرعت زاویه‌ای گردش آرمیچر ← شار در هر قطب ← تعداد کل هادی ← متوسط

www.teyf.com

$A = 2 = a$ (همواره برقرار)

* در سیستم های موجی:

* تعداد حالت های هر مسیر در سیم بندی حلقوی $\frac{Z}{P}$ و در سیم بندی موجی $\frac{Z}{2}$ خواهد بود

سیم بندی موجی:

$2y_c = c \pm 1$ $\quad \frac{4}{2} y_c = c \pm 1$

چندمتغیر $\frac{P}{2} y_c = c \pm 1$ $\quad y_c = \frac{c \pm 1}{P/2}$

$y_\omega = \frac{2c \pm 2}{P/2} = 2y_c$ $\quad y_\omega = y_b + y_f$

علامت + : پیشروی.

علامت − : پسروی.

y_c : عدد صحیح.

y_ω : باید زوج باشد.

y_b و y_f هردو فرد یا باشند

www.eyf.com