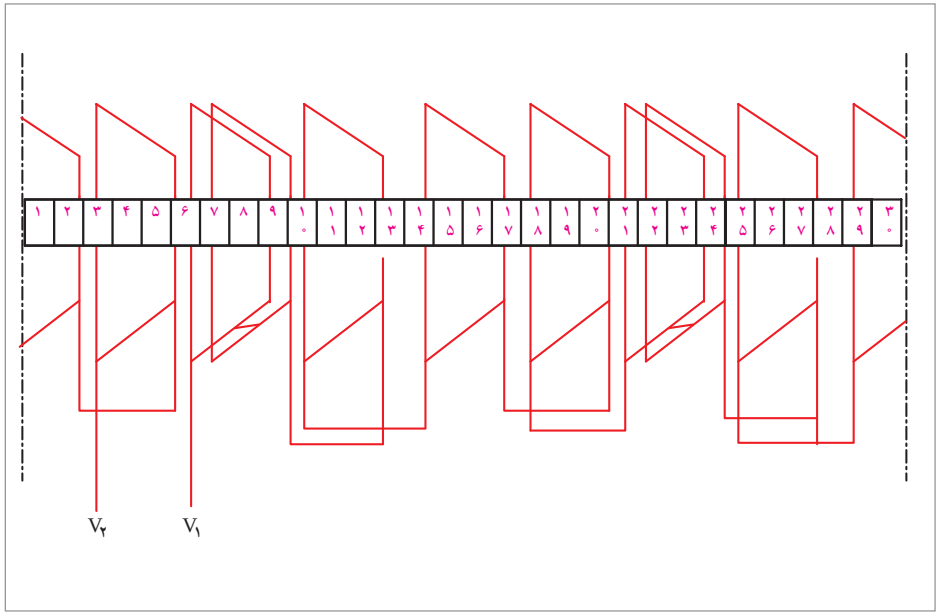
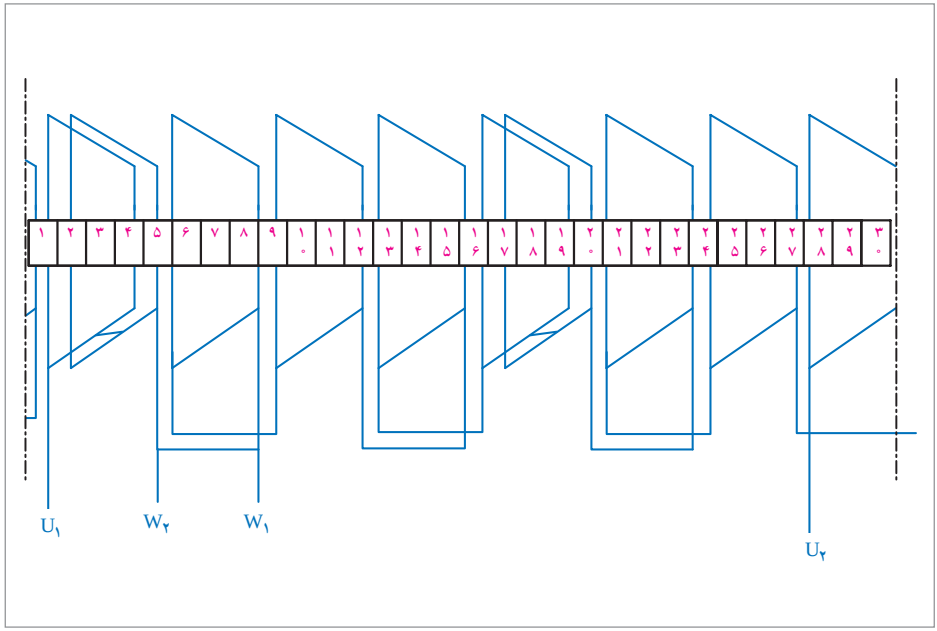


شکل ۳۳ـ سیم‌بندی فازدوم



شکل ۳۴ـ سیم‌بندی فازسوم

مثال ۳ـ برای جدول مخصوص

یک استاتور ۲۴ شیار در اختیار بگیرید با اندازه‌گیری طول و قطر استاتور با اتصال مثلث در شبکه سه فاز ۳۸۰/۲۲۰ ولت با فرکانس ۵۰ هرتز، تعداد دور و قطر سیم را محاسبه کنید این موتور به‌صورت ۶ قطب یک طبقه سیم‌پیچی می‌شود دیاگرام گسترده سیم‌پیچی آن را رسم کنید و سیم‌پیچی آن را اجرا کنید.

الف)محاسبات طرح دیاگرام سیم‌پیچی

$$Y_p = \frac{Z}{2P} = \frac{24}{6} = 4$$

$$q = \frac{Z}{2Pm} = \frac{24}{6\times 3} = \frac{4}{3} = \frac{C}{d}$$

$$q = 1 + \frac{1}{3} \rightarrow K = 1\,,\ a = 1\,,\ d = 3$$

$$C = 4 \rightarrow Y_{Ph} = \frac{2}{3} Y_p = \frac{2}{3}\times 4 = \frac{8}{3}$$ عدد صحیح نیست

$$\alpha_{eZ} = \frac{P\times 360}{Z} = \frac{4\times 360}{24} = 60$$

شروع فاز اول = ۱

شروع فاز دوم $= 1 + \frac{120}{60} = 3$

شروع فاز سوم $= 1 + \frac{240}{60} = 5$

ب)تشکیل جدول

در جدول مخصوص به تعداد کلاف‌های هر فاز، ستون باز می‌کنیم تعداد ردیف‌ها برابر تعداد اتصالات موتور در تخته کلم می‌باشد. چون Y_{Ph} عدد صحیح نمی‌باشد فاصله اعداد در ردیف‌های جدول برابر $2Y_P$ می‌باشد. در تکمیل جدول اگر به عدد بزرگ‌تر از تعداد شیارها برسیم از عدد موجود تعداد شیارها را کسرکرده، به حاصل یک واحد اضافه می‌کنیم و به تکمیل جدول ۴ ادامه می‌دهیم.

$$\gamma = \frac{Z\times t}{2m} = \frac{24\times 1}{2\times 3} = 4 \rightarrow 2Y_p = 8$$

جدول ۴ـ جدول مخصوص

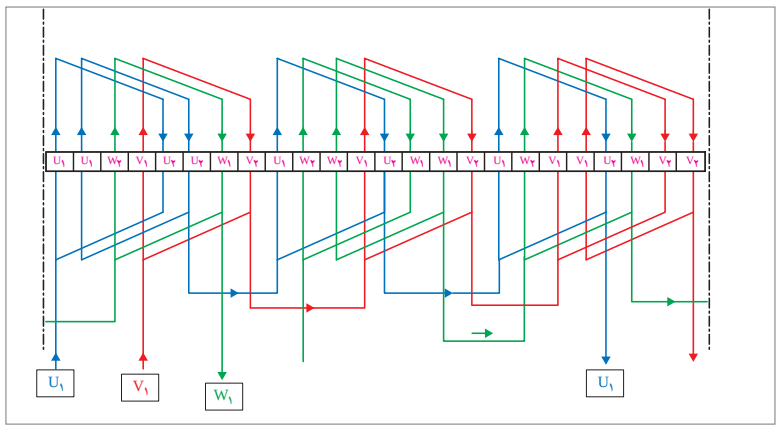
۷	۱	محاسبات	۲	محاسبات	۳	محاسبات	۴	محاسبات
U_1	۱	۱+۸	۹	۹+۸	۱۷	۱۷+۸=۲۵ ۲۵_۲۴+۱	۲	۲+۸
W_2	۱۰	۱۰+۸	۱۸	۱۸+۸=۲۶ ۲۶_۲۴+۱	۳	۳+۸	۱۱	۱۱+۸
V_1	۱۹	۱۹+۸=۲۷ ۲۷_۲۴+۱	۴	۴+۸	۱۲	۱۲+۸	۲۰	۲۰+۸=۲۸ ۲۸_۲۴+۱
U_2	۵	۵+۸	۱۳	۱۳+۸	۲۱	۲۱+۸=۲۹ ۲۹_۲۴+۱	۶	۶+۸
W_1	۱۴	۱۴+۸	۲۲	۲۲+۸=۳۰ ۳۰_۲۴+۱	۷	۷+۸	۱۵	۱۵+۸=۲۳
V_2	۲۳	۲۳+۸=۳۱ ۳۱_۲۴+۱	۸	۸+۸	۱۶	۱۶+۸	۲۴	

پ)رسم دیاگرام

موقعیت‌های به‌دست آمده برای W_2، V_1، W_1، U_2، U_1 را در شیارهای موتور ثبت می‌کنیم.

U_1	U_1	W_2	V_1	U_2	U_2	W_1	V_2	U_1	W_2	W_2	V_1	U_2	W_1	W_1	V_2	U_1	W_2	V_1	V_1	U_2	W_1	V_2	V_2
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴

N	S	N	S	N	S



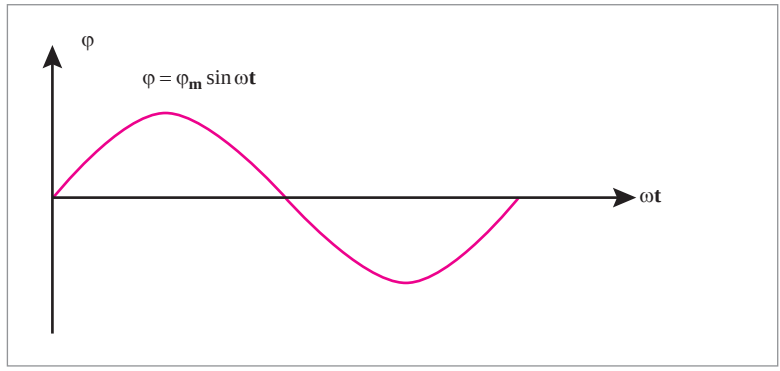
شکل ۳۵ـ دیاگرام گستره موتور ۲۴ شیار۶ قطب یک طبقه

۱۷ـ۴ـ هارمونیک‌های یک موج

در تغذیه سیم‌پیچی‌های استاتور اگر امواج سه فاز که تغییرات سینوسی دارند بتوانند در سطح استاتور شار مغناطیسی سینوسی ایجاد کنند موتور نرم کار کرده، عارضه‌ای نخواهد داشت و بدون سروصدا و با مقادیر نامی به گردش در می‌آید و عمر طبیعی خود را خواهد داشت. ولی در عمل با این پدیده مطلوب مواجه نیستیم زیرا، عدم توزیع یکنواخت شار در شیارها به علت خاصیت تجمع شار در نوک تیز شیاره، پسماند مغناطیسی و عکس‌العمل میدان عرضی جریان مفتول‌های رتور و سایر عوامل باعث می‌شود توزیع شار در سطح استاتور، از یکنواختی خارج شود و ضربان‌هایی در یاتاقان‌ها و لرزش‌هایی در رتور مشاهده گردد. این امر علاوه‌بر ایجاد سر وصدا و آسیب دیدن یاتاقان‌ها و کاهش راندمان موتور، عمر مفید مؤثر را کاهش خواهد داد. یکی از روش‌های کاهش اثرات نامطلوب، حذف بعضی از امواج مولد موج اصلی، برای یکنواخت کردن آن می‌باشد که این کار با سیم‌پیچی، گام کسری میسر می‌شود.

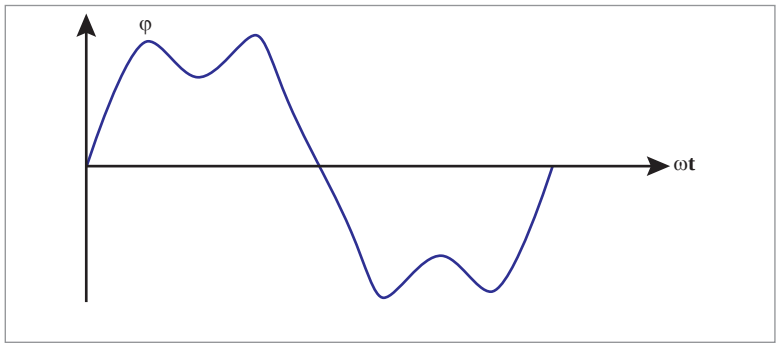
فرض می‌کنیم در حالت ایده‌آل، شار سینوسی فاز L۱ در سطح استاتور، به صورت سینوسی مطابق ۳۶ باشد. روشن است در فازهای بعدی این شار با ۱۲۰ درجه اختلاف فاز ایجاد می‌گردد.

$$\varphi_1 = \varphi_m \sin \omega t \quad , \quad \varphi_2 = \varphi_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \quad , \quad \varphi_3 = \varphi_m \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3})$$



شکل ۳۶

این موج دارای فرکانس f می‌باشد و یک موج فرد است. در اثر اعمال رفتارهای ناخواسته روی موج، از یکنواختی خارج می‌شود، فرض می‌کنیم به شکل ۳۷ تبدیل شود.



شکل ۳۷

امواج متناوب را می‌توان براساس سری فوریه به امواجی که فرکانس‌های آنها مضرب صحیحی از فرکانس موج مورد نظر است، تجزیه نمود که ترکیب‌های امواج موج اصلی را تشکیل می‌دهند. به این امواج تشکیل‌دهنده که فرکانس آنها مضرب صحیحی از موج اصلی است، هارمونیک‌های موج می‌گویند.

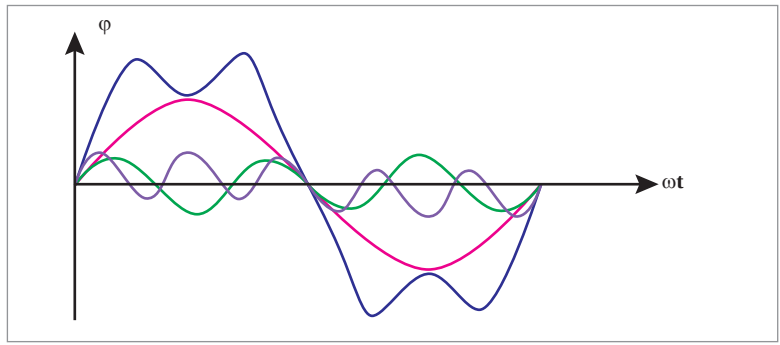
$$f(\omega t) = f(۰) + \sum_{۰}^{n}[a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)]$$

$$f(۰) = \frac{۱}{۲\pi}\int_{۰}^{۲\pi} f(\omega t)d\omega t$$

$$a_n = \frac{۱}{۲\pi}\int_{۰}^{۲\pi} f(\omega t)\cos(n\omega t)d\omega t$$

$$b_n = \frac{۱}{۲\pi}\int_{۰}^{۲\pi} f(\omega t)\sin(n\omega t)d\omega t \qquad b_۰ = ۰$$

تابع فوق فرد است بنابراین ضرایب $\sin(n\omega t)$ها یعنی $b_۰ = ۰$ می‌باشد و در ضرایب $\cos(n\omega t)$ امواج زوج مقدار متوسط صفر خواهند داشت. بنابراین امواج تشکیل‌دهنده امواج فرد ضرایب $\cos(n\omega t)$ خواهد بود. در شکل ۳۸ هارمونیک که فرکانس آن ۵۰ هرتز و هارمونیک سوم با فرکانس ۱۵۰ هرتز و هارمونیک پنجم با فرکانس ۲۵۰ هرتز نشان داده شده است.

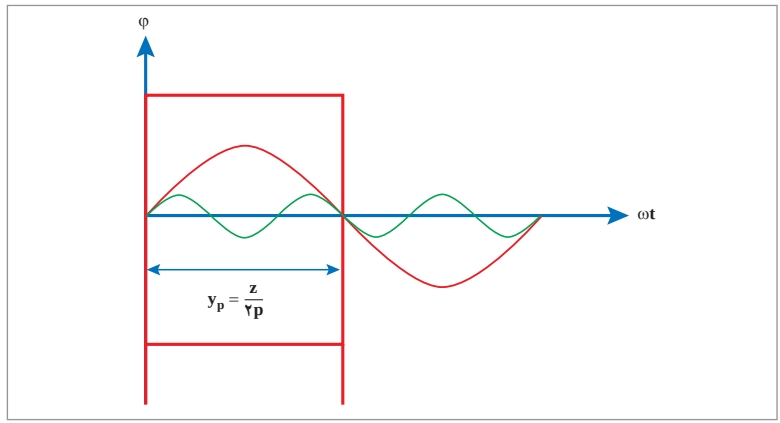


شکل ۳۸

با افزایش فرکانس هارمونیک‌ها روبه کاهش گذاشته و اثرات آنها در ساختار موج روبه کاهش می‌گذارد. بنابراین مهم‌ترین هارمونیک‌ها در مولدها و موتورهای الکتریکی هارمونیک سوم و پنجم و هفتم و یازدهم خواهند بود. در اتصال ستاره چون مجموع هارمونیک‌ها ازسیم مشترک نول عبور می‌کنند لذا به اختلاف ۱۲۰ درجه هارمونیک‌ها مضرب سه اثر همدیگر را از بین می‌برند. پس در مولدها که اتصال ستاره دارند مزاحم‌ترین هارمونیک، هارمونیک پنجم، هفتم و یازدهم می‌باشند.

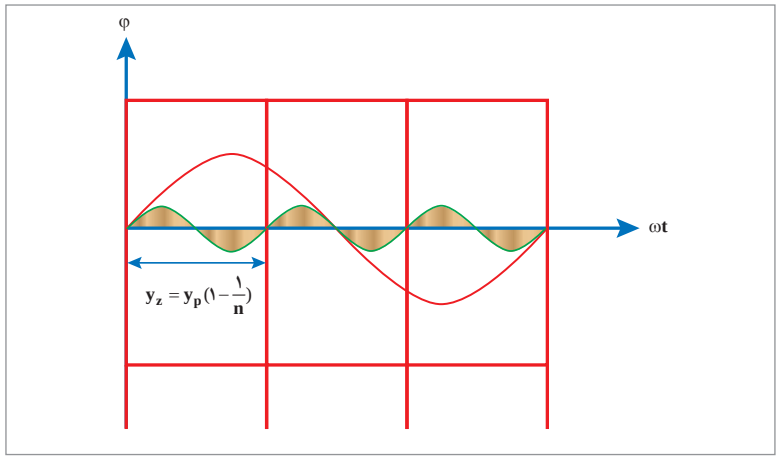
۱ـ۱۷ـ۴ حذف هارمونیک‌ها با گام کسری

درسیم بندی گام کامل بین بازو های رفت و برگشت یک کلاف ۱۸۰درجه اختلاف وجود دارد که موقعیت این بازوها را در شکل ۳۹ با هارمونیک اصلی و سوم مشاهده می‌کنید.



شکل۳۹

در شکل ۳۹ اگرگام کلاف را به اندازه $\frac{\pi}{۳}$ کاهش دهیم، نیم سیکل‌های مثبت منفی هارمونیک سوم اثرات همدیگر را خنثی خواهند کرد و این عمل برای حذف هارمونی پنجم کاهش گام، به اندازه $\frac{\pi}{۵}$ می‌باشد. بدین طریق برای حذف هارمونی nام کافی است کسری گام به اندازه $\frac{\pi}{n}$ باشد (شکل ۴۰).



شکل ۴۰ـ حذف هارمونیک سوم با کسری گام $\frac{\pi}{۳}$

فعالیت

دو نفر روی دو صندلی مقابل هم قرار گیرید و به تناوب جای خود را با هم عوض کنید. حال این کار را با چهار صندلی و چهار نفر انجام دهید و به ترتیب جای خود را در یک جهت عوض کنید. در کدام حالت زودتر به صندلی قبلی برمی‌گردید؟ چرا؟ اگر تعداد صندلی و افراد بیشتر شود چه اتفاقی در زمان این جابه‌جایی رخ می‌دهد؟

جواب: نفرات در صندلی دو نفره با دو بار جابه‌جایی به جایگاه خود برمی‌گردند و در هر جابه‌جایی نصف مسیر را طی می‌کنند. در مورد چهار صندلی با چهار نفرکه نفرات مجاور با هم جای‌شان را عوض می‌کنند درهر جابه‌جایی یک چهارم مسیر پیموده می‌شود پس چهار بار لازم است جابه‌جایی صورت بگیرد تا افراد به جایگاه اولیه خود برسند. بنابراین سرعت گردش در چهار نفره نصف سرعت گردش دو نفره می‌باشد. هر چقدرتعداد صندلی‌ها و نفرات زیاد شوند سرعت گردش کاهش می‌یابد. در موتورها هرچقدر تعداد قطب‌ها زیاد شود سرعت گردش موتورکاهش می‌یابد.

فعالیت

سرعت میدان دوار مولدهای نیروگاه آبی کارون سه استان خوزستان ۱۸۷/۵ r.p.m است. این مولد نیروگاهی چند قطب است؟

جواب:

$N_S = ۱۸۷/۵ \quad r.p.m$

$f = ۵۰ \ Hz$

$$N_S = \frac{f \times ۱۲۰}{۲P} \Rightarrow ۲P = \frac{f \times ۱۲۰}{N_S}$$

$$۲P = \frac{۵۰ \times ۱۲۰}{۱۸۷/۵} = ۳۲$$

فعالیت

تغییرات لغزش (S) و سرعت لغزش (Δn) به چه عاملی بستگی دارد؟

جواب:

با توجه به روابط $S = \frac{N_S - N_R}{N_S}$ ، $N_S = \frac{f \times ۱۲۰}{۲P}$ و $\Delta n = N_S - N_R$ مشاهده می‌شود فرکانس شبکه، تعداد قطب‌های موتور ثابت است پس در روابط داده شده N_S ثابت است بنابراین $\Delta_n S$ با تغییر N_R تغییرخواهدکرد و N_R با تغییر بار تغییر می‌کند بنابراین تغییرات بار S و Δ_n را تغییر خواهد داد.

پرسش

تغییر جهت چرخش رتور چه کاربردهایی دارد؟ نام ببرید.

جواب: در مسیرهای رفت و برگشت سیستم‌های انتقال، حرکت بالا و پایین در آسانسورها، لازم است جهت حرکت عوض شود تا حرکت در خلاف وضعیت قبلی امکان‌پذیر باشد. این عمل درموتورهای الکتریکی با تغییر جهت گردش موتور امکان‌پذیر است.

پرسش

آیا ضربه و حرارت بیش از حد روی مشخصه مغناطیسی ورقه دینامو‌بلش تأثیر منفی دارد؟

جواب: مواد مغناطیسی زمانی که ملکول‌هایش به ارتعاش درآیند با جذب قطب‌ها غیرهمنام، مغناطیسی خاصیت مغناطیسی را از دست می‌دهند. ازآنجایی که ضربه‌های بزرگ و حرارت بیش از حد مجاز، باعث ارتعاش ملکول‌های مواد مغناطیسی می‌شوند، بنابراین ضربه‌های شدید و حرارت زیاد، اثر منفی در خواص مغناطیسی ورقه‌های دینامو‌بلش خواهد گذاشت.

فعالیت

تعداد قطب الکتروموتورهای شکل ۴۴ را تعیین کنید.

جواب:

$f=۶۰\ Hz \quad , N_r=۱۷۸۵$

$$۲P \cong \frac{f \times ۱۲۰}{N_r} \cong \frac{۶۰ \times ۱۲۰}{۱۷۸۵} \cong ۴$$

$f=۵۰\ Hz \quad , N_r=۱۴۳۰$

$$۲P \cong \frac{f \times ۱۲۰}{N_r} \cong \frac{۵۰ \times ۱۲۰}{۱۴۳۰} \cong ۴$$

$f=۵۰\ Hz \quad , Nr=۱۴۰۰$

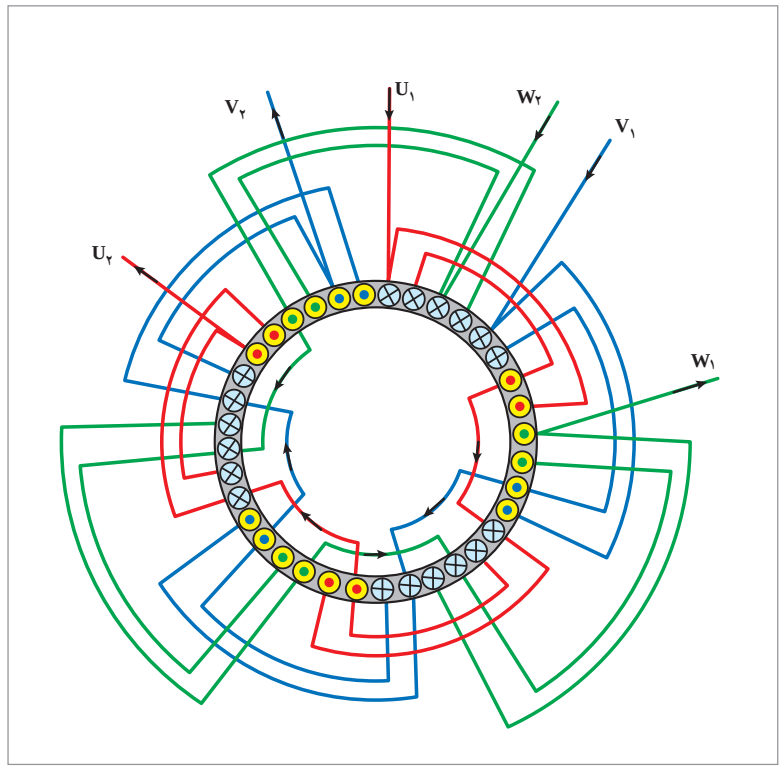
$$۲P \cong \frac{f \times ۱۲۰}{N_r} \cong \frac{۵۰ \times ۱۲۰}{۱۴۰۰} \cong ۴$$

پرسش

سیم‌پیچی الکتروموتور از روی دیاگرام چند قطب است؟

جواب: توجه شود دیاگرام دایره ای شکل ۶۶ مربوط به شکل گسترده شکل ۶۵ نمی‌باشد، زیرا دیاگرام مدور شکل ۶۶ با توجه به گام قطبی $Y_P=10-1=9$ و $2P=\frac{Z}{Y_P}=\frac{36}{9}=4$ می‌باشد در صورتی که دیاگرام گسترده شکل ۶۵، ۶ قطب می‌باشد.

پیشنهاد می‌شود دیاگرام گسترده برای شکل ۶۵ کتاب درسی مطابق شکل ۴۱ جایگزین شود.

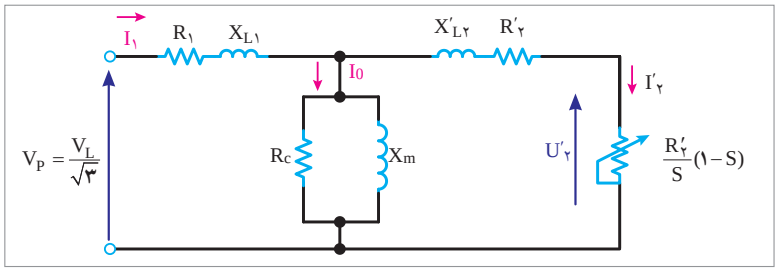


شکل ۴۱ـ دیاگرام دایره‌ای موتور ۳۶ شیار ۶ قطب

۱۸ـ۴ـ تحلیل موتورهای آسنکرون با نرم‌افزار مولتی‌سیم

در این قسمت می‌خواهیم جریان‌های راه‌اندازی و جریان نامی، توان بی‌باری و توان الکترومغناطیسی و تلفات ماشین را با توجه به مدار معادل موتور آسنکرون مورد مطالعه قرار دهیم.

مدار معادل یک فاز موتور آسنکرون از دیدگاه استاتور به صورت زیر بیان می‌شود.در مدار معادل به علت تقارن فازها، روی یک فاز مطالعات را انجام می‌دهند و نتیجه را به ۳ ضرب می‌کنند (شکل۴۲).



شکل ۴۲ـ مدار معادل یک موتور آسنکرون

یک موتور القایی ۴۰۰ ولت ۴ قطبی و ۵۰ هرتز مفروض است و سرعت نسبی آن ۱۴۴۰ دور در دقیقه است. فرض می‌کنیم تلفات مکانیکی ۸۰۰ وات باشد و سایر مشخصات آن به قرار زیر است.

$R_۱ = ۰/۲۵\ \Omega$

$R'_۲ = ۰/۲\Omega$

$X_{L۱} = XL'_۲ = ۰/۵\Omega$

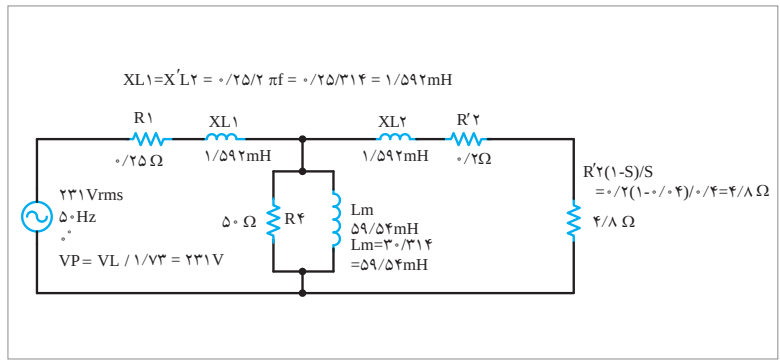
$X_m = ۳۰\Omega$

$R_C = ۴۰\Omega$

مدار معادل این موتور را در مولتی‌سیم پیدا کرده و از طریق اندازه‌گیری جریان راه‌اندازی، جریان نامی، توان خروجی، توان ورودی، راندمان، گشتاور خروجی و ضریب توان آن را به‌دست آورید (شکل ۴۳).

$$\omega = ۲\pi f = ۲ \times ۳/۱۴ \times ۵۰ = ۳۱۴$$

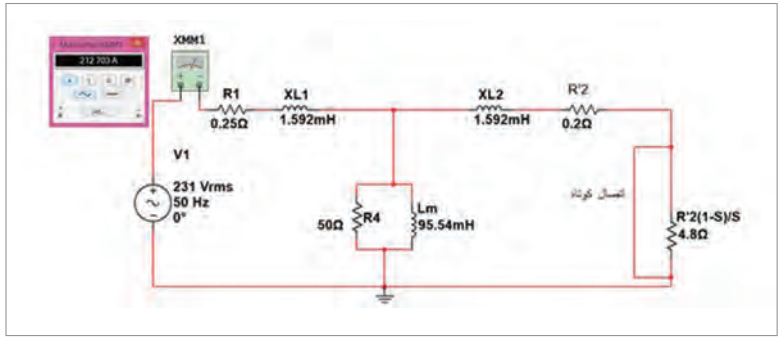
$$N_s = \frac{۵۰ \times ۱۲۰}{۴} = ۱۵۰۰ \qquad S = \frac{۱۵۰۰ - ۱۴۴۰}{۱۵۰۰} = ۰/۰۴$$



شکل ۴۳ــ مقادیر مدار معادل در مولتی سیم

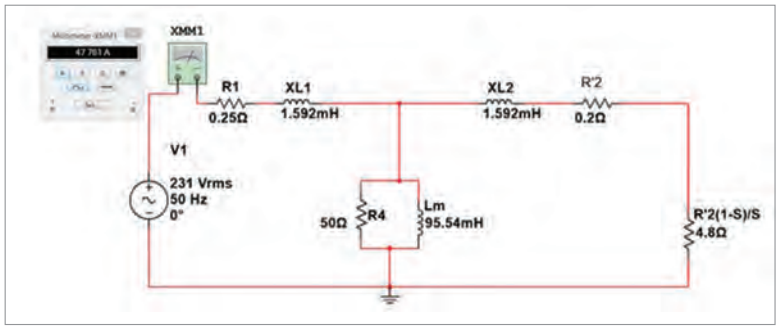
اندازه‌گیری جریان راه‌اندازی

در حالت راه‌اندازی به علت آنکه موتور کار نمی‌کند لغزش برابر ۱ است. در این حال مقدار $\frac{R'_۲}{S}(۱-S)=۰$ می‌باشد، به عبارت دیگر این مقاومت اتصال کوتاه عمل می‌کند مدار را به صورت زیر بسته و مقداری که آمپرمتر نشان می‌دهد جریان راه‌اندازی می‌باشد و اندازه آن برابر ۲۱۲/۷ آمپراست (شکل ۴۴).



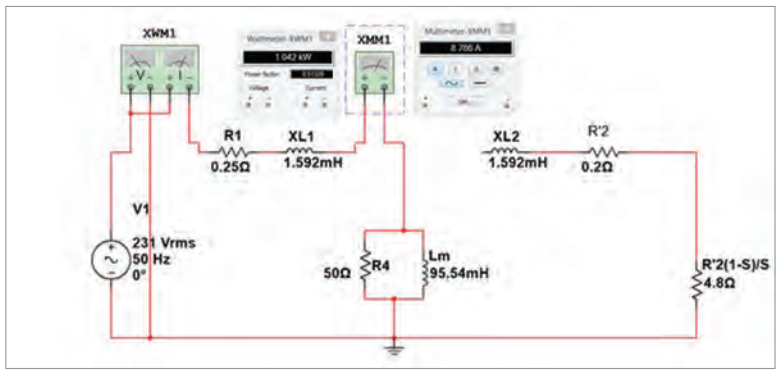
شکل ۴۴ــ اندازه‌گیری جریان راه‌اندازی

در اندازه‌گیری جریان نامی مسیر اتصال کوتاه باز شده و مقاومت $\frac{R'_2}{S}(1-S) = ۴/۸$ در مدار معادل قرار می‌گیرد. این مقدار برابر ۴۷/۷۶ آمپر می‌شود که جریان راه‌اندازی $\frac{۲۱۲/۷}{۴۷/۷۶} = ۴/۴۵$ برابر جریان نامی است به موتور صدمه می‌رساند و باید کنترل شود (شکل۴۵).



شکل ۴۵ـ اندازه‌گیری جریان نامی

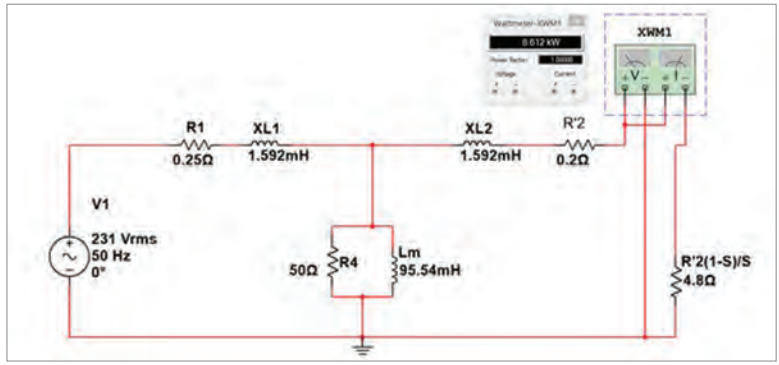
در اندازه‌گیری توان بی‌باری جریان رتور تقریباً صفر است و مسیر رتور را باز می‌کند و مقداری که وات متر نشان می‌دهد تقریباً تلفات بی‌باری خواهد بود.مقدار آن ۱۰۴۲ وات به‌دست می‌آید و جریان بی‌باری ۸/۷۸۶ آمپر است (شکل ۴۶).



شکل ۴۶ـ اندازه‌گیری تلفات بی‌باری موتور و جریان بی‌باری

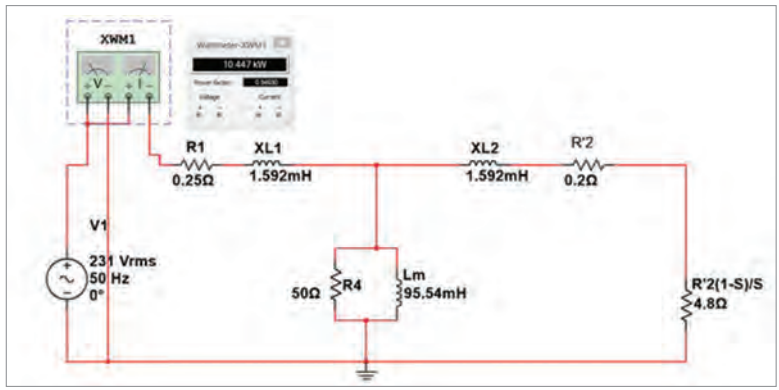
توان الکترومغناطیسی توسط مقاومت توسعه یافته به محور موتور انتقال می‌یابد و مقداری که وات متر در مقاومت توسعه یافته نشان می‌دهد توان الکترومغناطیسی است

که از توان خروجی به اندازه تلفات مکانیکی بیشتر است. مقدار این توان برابر ۸۶۱۲ وات می‌باشد و توان خروجی برابر ۷۸۱۲w = ۸۰۰ - ۸۶۱۲ می‌باشد (شکل ۴۷).



شکل ۴۷ـ اندازه‌گیری توان الکترومغناطیسی

توان ورودی و ضریب توان به طریق زیر اندازه‌گیری می‌شود. توان ورودی ۱۰۴۴۷ وات و ضریب توان برابر ۰/۹۴ می‌باشد (شکل ۴۸).



شکل ۴۸ـ اندازه‌گیری توان ورودی و ضریب توان

$$\Delta P = P_1 - P_2 = ۱۰۴۴۷ - ۷۸۱۲ = ۲۶۶۵\ W$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{۷۸۱۲}{۱۰۴۷۷} \times ۱۰۰ = \%۷۴/۵$$

سیم‌پیچی موتورهای الکتریکی تک‌فاز

مقدمه

هر کدام از موتورهای تک‌فاز به علت تنوع آنها در شکل‌های اسپیلیت، طرح دوفاز، چاکدار، اتورسال، ریپولسیونی و ... از محاسبات خاص برخوردارند. در این قسمت سعی می‌کنیم محاسبات موتورهایی که کاربرد بیشتری دارند مورد مطالعه قرار دهیم. در موتورهای تک‌فاز مقاومتی (اسپیلیت‌فاز) برای ایجاد اختلاف فاز در محدوده ۶۰ درجه الکتریکی بین جریان سیم‌پیچ اصلی و سیم‌پیچ راه‌انداز، مقاومت اهمی سیم‌پیچ راه‌انداز تقریباً سه برابر مقاومت اهمی سیم‌پیچ اصلی می‌گیرند و این عمل از کاهش سطح مقطع سیم‌پیچ راه‌انداز انجام می‌شود. بنابراین سیم‌پیچ راه‌انداز تحمل جریان‌های زیاد را در زمان‌های زیاد نخواهد داشت. لازم است پس از ایجاد دور مناسب (۷۵٪ دورنامی) توسط کلید گریز از مرکز یا رله‌های مغناطیسی از مدار الکتریکی خارج شود. در موتورهای راه‌انداز خازنی دایم یا موقت، خازن‌ها را به گونه‌ای انتخاب می‌کنند که در راه‌اندازی بین جریان سیم‌پیچ اصلی و سیم‌پیچ راه‌انداز، ۹۰ درجه الکتریکی اختلاف فاز ایجاد شود تا حداکثر گشتاور در راه‌اندازی حاصل شود. به علت خروج سیم‌پیچی استارت از مدار الکتریکی پس از راه‌اندازی، عملاً $\frac{۱}{۳}$ هسته در تولید انرژی مکانیکی مشارکت نمی‌کند و این امر باعث می‌شود راندمان این موتور نسبت به موتورهای سه‌فاز خیلی پایین باشد. برای افزایش راندمان و بهره‌وری از کل هسته، از سیم‌پیچی طرح دوفاز استفاده می‌شود که یکی از سیم‌پیچ‌ها همواره با یک خازن دینامیکی در مدار سری می‌شود و اختلاف فاز بین دوسیم‌پیچ به ۹۰ درجه الکتریکی برسد.

۵ـ۱ محاسبات سیم‌پیچی موتورهای تک‌فاز با سیم‌پیچ استارت موقت

۵ـ۱ـ۵ محاسبه قطر سیم اصلی و استارت

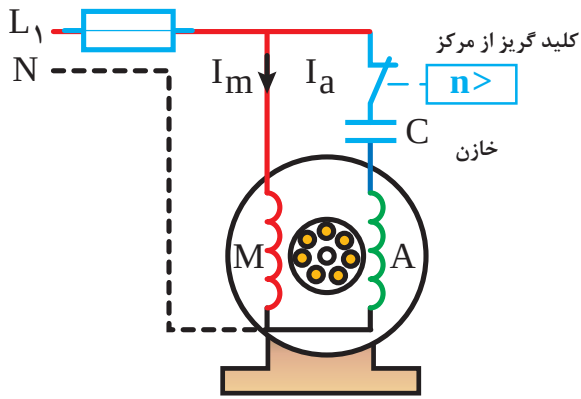
قدرت هسته استاتور موتورهای تک‌فاز نظیر موتورهای سه‌فاز با توجه به منحنی‌های داده شده از شماره ۱ تا ۶ در پودمان شماره ۴ از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$P_{۲} = K \times B^{۲}m \times L \times N_{r}$$

$$N_{r} = \frac{۱۲۰ \times f}{۲P}(۱ - S)$$

در موتورهای تک‌فاز با سیم موقت $\frac{۲}{۳}$ هسته در تولید توان شرکت می‌کند. توان موتور $\frac{۲}{۳}$ توان بالا می‌باشد. بنابراین:

$$P_m = \frac{۲}{۳} \times K \times B^{۲}m \times D^{۲} \times L \times N_r \qquad (۵\text{ـ}۱)$$



M سیم‌پیچ اصلی و A سیم‌پیچ استارت با کمکی است.

شکل ۱ـ الکتروموتور تک‌فاز

در شکل ۱ جریان سیم‌پیچ اصلی با توجه به رابطه ۱ـ۵، که از رابطه ۲ـ۵ به‌دست می‌آید.

$$I_m = \frac{P_m}{U \times \cos\varphi \times \eta} \qquad (۵\text{ـ}۲)$$

η و $\cos\varphi$ را ازجدول ۱ استخراج می‌کنیم.

جدول۱ـ استخراج مقادیر برحسب توان

قدرت (وات)	سیم‌پیچ استارت در مدار باقی می‌ماند.				سیم‌پیچ استارت از مدار خارج می‌شود.			
	$\cos\varphi$		η		$\cos\varphi$		η	
	۲P = ۲	۲P = ۴	۲P = ۲	۲P = ۴	۲P = ۲	۲P = ۴	۲P = ۲	۲P = ۴
۳۰	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۴۴

۴۰	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۵۵	۰/۵۲	۰/۵۵	۰/۵۰۵	۰/۴۹	۰/۴۸
۵۰	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۵۸۵	۰/۵۴	۰/۵۲۵	۰/۵۱۵
۷۵	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۶۲۵	۰/۵۸	۰/۵۶	۰/۵۵
۱۰۰	۰/۸۹۵	۰/۸۹۵	۰/۶۲	۰/۶۰	۰/۶۵	۰/۶۰۵	۰/۵۸	۰/۵۷
۱۲۵	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۶۳۵	۰/۶۲	۰/۶۷	۰/۶۲۵	۰/۶۰	۰/۵۹
۱۵۰	۰/۹۰۵	۰/۹۰۵	۰/۶۴۵	۰/۶۳	۰/۶۸	۰/۶۳۵	۰/۶۱	۰/۶۰
۲۰۰	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۶۶	۰/۶۴۵	۰/۷۰	۰/۶۵۵	۰/۶۳	۰/۶۲
۲۵۰	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۶۷	۰/۶۵۵	۰/۷۱۵	۰/۶۷	۰/۶۴۵	۰/۶۳۵
۳۰۰	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۶۸	۰/۶۶۵	۰/۷۲۵	۰/۶۸	۰/۶۵۵	۰/۶۴۵
۴۰۰	۰/۹۱۵	۰/۹۱۵	۰/۶۹	۰/۶۷۵	۰/۷۴	۰/۶۹۵	۰/۶۷	۰/۶۶
۵۰۰	۰/۹۱۵	۰/۹۱۵	۰/۷۱	۰/۶۸۵	۰/۷۵	۰/۷۰۵	۰/۶۸	۰/۶۶۵
۶۰۰	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۷۱	۰/۷۰	۰/۷۵۵	۰/۷۱	۰/۶۸۵	۰/۶۷
۷۰۰	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۷۲	۰/۷۱	۰/۷۶	۰/۷۱۵	۰/۶۹	۰/۶۷۵
۸۰۰	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۷۲۵	۰/۷۱۵	۰/۷۶۵	۰/۷۲	۰/۶۹۵	۰/۶۸
۱۰۰۰	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۷۷۵	۰/۷۳	۰/۷۰	۰/۶۸۵

توان سیم‌پیچ استارت:

$$P_a = \frac{۱}{۳} \times K \times B^{۲} m \times D^{۲} \times L \times N_r \qquad (۵\text{ـ}۳)$$

جریان سیم‌پیچ استارت :

$$I_a = \frac{P_a}{U \times \cos\varphi \times \eta}$$

با توجه به منحنی چگالی جریان قطر سیم اصلی و استارت به‌دست می‌آید.

قطر سیم اصلی $d_m = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_m}{J}}$

قطر سیم استارت $d_a = ۱/۱۳\sqrt{\frac{I_a}{J}}$

۲ـ۱ـ۵ محاسبه تعداد دور کلاف‌ها

الف) محاسبه تعداد دورکلاف‌های سیم‌پیچ اصلی: $\frac{۲}{۳}$ شیارها در سیم‌پیچی موتور تک‌فاز با استارت موقت را کلاف‌های سیم‌پیچ اصلی اشغال می‌کند، اگر تعداد شیارهای سیم پیچ اصلی را به Z_A و تعداد شیارهای کل استاتور را با Z نشان دهیم می‌توان نوشت:

$$Z_A = \frac{۲}{۳} Z \qquad (۵ـ۴)$$

چون هر کلاف با دو بازو، دو شیار را اشغال خواهد کرد اگرتعداد کلاف سیم‌پیچ اصلی را با γ_A نشان دهیم مقدار آن از رابطه ۵ـ۵ قابل محاسبه است.

تعداد کلاف‌های سیم‌پیچ اصلی $\gamma_A = \frac{Z_A}{۲} = \frac{۲}{۳} Z \times \frac{۱}{۲} = \frac{۱}{۳} Z$ (۵ـ۵)

تعداد شیارهای اصلی برای هر قطب از رابطه ۵ـ۶ به‌دست می‌آید.

تعداد شیارهای اصلی برای هر قطب $q_A = \frac{Z_A}{۴ \times P \times m}$ (۵ـ۶)

m تعداد فازها برابر یک است در موتورهایی که سیم‌بندی آنها متحدالمرکز است، گام سیم‌پیچی از رابطه $Y_{ZA} = \frac{Z_A}{۲P}$ تعیین می‌شود.

مثال ۱: آرایش کلاف اصلی موتور ۳۶ شیار، ۴ قطب را تعیین کنید.

$$Z = ۳۶ \,,\quad ۲P = ۴$$

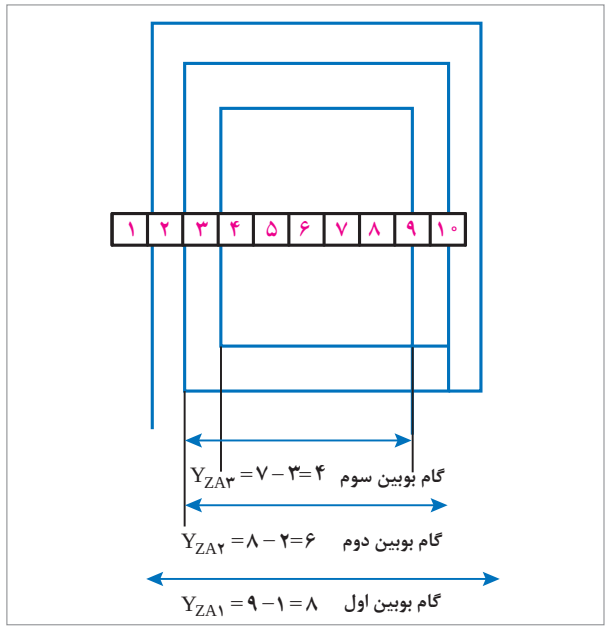
$$Z_A = \frac{۲}{۳} Z = \frac{۲}{۳} \times ۳۶ = ۲۴$$

$$Y_{ZA} = \frac{Z_A}{۲P} = \frac{۲۴}{۴} = ۶$$

$$q_A = \frac{Z_A}{۴ \times P \times m} = \frac{۲۴}{۴ \times ۲ \times ۱} = ۳$$

تعداد گروه کلاف‌ها $G = \frac{\gamma A}{۲_{qA}} = \frac{۲۴}{۲ \times ۳} = ۴$

دیاگرام سیم‌پیچی شبیه شکل ۲ خواهد بود.



شکل ۲ـ دیاگرام سیم‌پیچی

زاویه الکتریکی شیارها:

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times ۳۶۰}{Z} = \frac{۲ \times ۳۶۰}{۳۶} = ۲۰$$

ضریب وتر از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$K_P = \sin(\frac{\pi}{۲} \times \varepsilon) = \sin(\frac{۱۸۰}{۲} \times \frac{Y_Z}{Y_P})$$

$$K_P = \sin(\frac{۱۸۰}{۲} \times \frac{Y_Z}{\frac{Z}{۲_P}}) = \sin(\frac{P \times ۳۶۰}{۲} \times Y_Z) = \sin(\frac{Y_Z \times \alpha_{ez}}{۲})$$

$$K_{P۱} = \sin(\frac{Y_{ZA۱} \times \alpha_{eZ}}{۲}) = \sin(\frac{۸ \times ۲۰}{۲}) = ۰/۹۸۵$$

$$K_{P۲} = \sin(\frac{Y_{ZA۲} \times \alpha_{eZ}}{۲}) = \sin(\frac{۶ \times ۲۰}{۲}) = ۰/۸۶۶$$

$$K_{P۳} = \sin(\frac{Y_{ZA۳} \times \alpha_{eZ}}{۲}) = \sin(\frac{۴ \times ۲۰}{۲}) = ۰/۶۴$$

$$SUB = K_{P۱} + K_{P۲} + K_{P۳} = ۰/۹۸۵ + ۰/۸۶۶ + ۰/۶۴ = ۲/۵$$

درصد توزیع دوربوبین‌ها به نسبت ضرایب کوتاهی گام‌ها خواهد بود.

$$\%N_{A۱} = \frac{K_{P۱} \times ۱۰۰}{SUB} = \frac{۰/۹۸۵ \times ۱۰۰}{۲/۵} = ۳۹/۴\%$$

$$\%N_{A۲} = \frac{K_{P۲} \times ۱۰۰}{SUB} = \frac{۰/۸۶۶ \times ۱۰۰}{۲/۵} = ۳۴/۶۴\%$$

$$\%N_{A۳} = \frac{K_{P۳} \times ۱۰۰}{SUB} = \frac{۰/۶۴ \times ۱۰۰}{۲/۵} = ۲۵/۶\%$$

ضریب کل سیم‌پیچی به قرار زیر حساب می‌شود.

$$K_{WA} = \frac{K_{A۱} \times \%N_{A۱} + K_{A۲} \times N_{A۲} + K_{P۳} \times \%N_{A۳}}{\%N_{A۱} + \%N_{A۲} + \%N_{A۳}}$$

پس از تعیین K_{WA} تعداد دور کل سیم‌پیچی را از رابطه به‌دست می‌آوریم و بین کلاف‌ها متناسب با درصد توزیع تقسیم می‌کنیم.

$$N_{ph} = \frac{U_{ph}(۱ - \%\Delta U) \times ۲P}{۴/۴۴ \times f \times B_m \times L \times D \times K_{WA} \times ۰/۹۵}$$

سهم هرگروه کلاف از رابطه $N_{bA} = \frac{N_{phA}}{۴P}$ به‌دست می‌آید، بدین ترتیب تعداد دور کلاف‌ها در هر گروه کلاف به قرار زیر مشخص می‌گردد.

تعداد دور کلاف بزرگ (اول)	$N_{A۱}=\frac{K_{A۱}\times ۱۰۰}{SUB}\times N_{bA}$
تعداد دور کلاف متوسط (دوم)	$N_{A۲}=\frac{K_{A۲}\times ۱۰۰}{SUB}\times N_{bA}$
تعداد دور کلاف کوچک (سوم)	$N_{A۳}=\frac{K_{A۳}\times ۱۰۰}{SUB}\times N_{bA}$

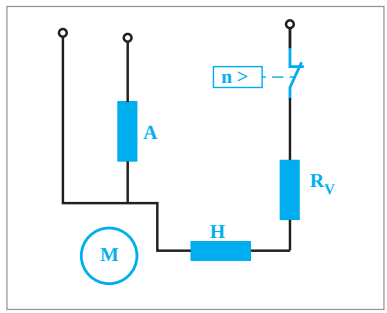
ب) محاسبه تعداد دور کلاف‌های سیم‌پیچ استارت: اگر تعداد دور سیم‌پیچ استارت را به N_H و ضریب سیم‌پیچی استارت را به K_{WH} نشان دهیم بین تعداد دور استارت و دور اصلی در گروه کلاف رابطه زیر برقرار است.

$$N_H=\frac{K_{WA}\times NbA}{K_{WH}}\times K$$

ضریب K را برابر ۱/۵ در نظر می‌گیرند. پس از تعیین N_H با توجه به اینکه $\frac{۱}{۳}$ شیارهای استاتور با سیم‌پیچ استارت اشغال می‌شود نظیر توزیع سیم‌پیچ اصلی، سهم دور هر کلاف استارت را به‌دست می‌آوریم. توجه شود در اغلب سیم‌پیچی‌ها آرایش کلاف‌های استارت را نظیر سیم‌پیچ اصلی در نظر می‌گیرند.

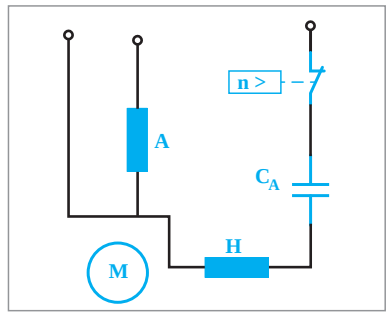
پ) محاسبه ظرفیت خازن ومقاومت سیم‌پیچ استارت

اگر موتور یک فاز القایی با راه‌انداز مقاومتی باشد مقدار مقاومت راه‌انداز از رابطه $R_V=\frac{U}{I_A}tg^{۲}(\frac{\varphi}{۲})$ به‌دست می‌آید. R_V مقاومتی است که با سیم‌پیچ استارت سری می‌شود. I_A جریان سیم اصلی است، اختلاف فاز ولتاژ و جریان در سیم‌پیچ اصلی است (شکل ۳). مقاومت راه‌انداز از رابطه $R_H=R_V+R_A\times tg^{۲}(\frac{\varphi}{۲})$ تعیین می‌شود.



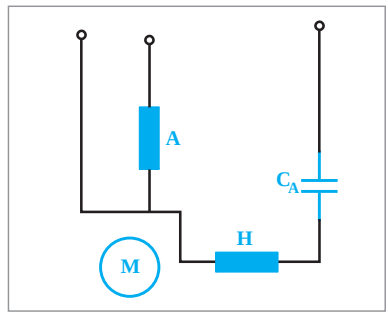
شکل ۳

R_A مقاومت اهمی سیم‌پیچ اصلی است.
اگر در راه‌اندازی از خازن موقت استفاده کنیم اندازه ظرفیت خازن از رابطه $C_A = \frac{۱}{۳} \times \frac{I_A \times ۱۰^۶}{\omega \times U \times tg\varphi \times \sqrt{۱ - tg^۲\varphi}} \mu F$ محاسبه می‌شود (شکل۴).



شکل ۴

در موتورهایی که خازن و سیم‌پیچ استارت (طرح دوفاز) پس از راه‌اندازی در مدار باقی می‌مانند ظرفیت خازن از رابطه $C_B = \frac{۱}{۲} \times \frac{I_A \times \sin\varphi \times ۱۰^۶}{\omega \times U} \mu F$ به‌دست می‌آید. محاسبات موتورهای طرح دوفاز نظیر موتورهای طرح سه‌فاز می‌باشد با این تفاوت که تعداد فاز $m = ۲$ در نظر گرفته می‌شود و اختلاف فاز بین سیم‌پیچ‌های دوفاز ۹۰ درجه الکتریکی می‌باشد (شکل۵).



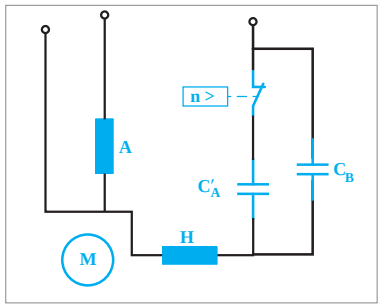
شکل ۵

در موتورهایی که هم خازن دائم و هم خازن موقت دارند ظرفیت خازن موقت سه برابر ظرفیت خازن دائم است. خازن موقت الکترولیتی و خازن دائم روغنی می‌باشد

در مدار شکل ۸۱ خازن موقت با C'_A و خازن دایم با C_B نشان داده شده است (شکل ۶)

ظرفیت خازن موقت $C'_A = \frac{۲}{۳} \times \frac{I_A \times \sin\varphi \times ۱۰^۶}{\omega \times U}$ μF ظرفیت خازن دائم

$$C_B = \frac{۱}{۲} \times \frac{I_A \times \sin\varphi \times ۱۰^۶}{\omega \times U} \quad \text{و} \quad C'_A = ۳C_B$$



شکل ۶

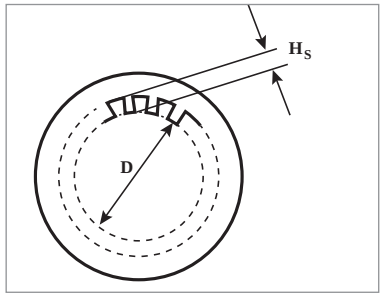
برای راه‌اندازی موتور سه‌فاز در جریان تک‌فاز از خازن استفاده می‌کنند که ظرفیت خازن از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$C = \frac{۲ \times I \times ۱۰^۶}{\omega \times U} = \sin\varphi \ \mu F$$

تعیین طول یک دور کلاف (اندازه قالب‌ها)

با توجه به شکل ۷ طول هر کلاف از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$L = \frac{۸/۴\,(D + H_S) \times Y_Z}{Z} + ۲L_S$$



شکل ۷ــ عمق شیار

در این رابطه L_S طول مؤثر استاتور برحسب سانتی‌متر و D قطر استاتور، برحسب سانتی متر و H_S عمق شیار برحسب سانتی‌متر می‌باشد. کل متراژ سیم‌پیچی از رابطه $L_{At} = L_{A1} \times N_{A1} + L_{A2} \times N_{A2} + L_{A3} \times N_{A3}$ تعیین می‌شود و می‌توان مقاومت اهمی سیم‌پیچی را از رابطه $R_a = \rho \frac{L_{At} \times G_A}{A}$ به‌دست آورد. در این رابطه G_A تعداد گروه کلاف‌های سیم‌پیچی و A سطح مقطع سیم برحسب میلی‌مترمربع و ρ مقاومت مخصوص برحسب $\frac{\Omega mm^2}{m}$ می‌باشد. $\rho_{cu} = \frac{1}{56} \frac{\Omega mm^2}{m}$ و $\rho_{AI} = \frac{1}{35} \frac{\Omega mm^2}{m}$ است.

۲ـ۵ـ محاسبات موتورهای قطب چاک‌دار

اساس محاسبات این موتورها نظیر محاسبه موتورهای طرح دوفاز می‌باشد، با توجه به اینکه تعداد شیارهای آن براساس شیارهای چاک‌دار برابر ۸ شیار می‌باشد و از رابطه $\gamma_A = Z_A = \frac{1}{2} Z$ تعدادکلاف‌های هر فاز مشخص می‌گردد.

مثال ۲:

قطر هسته پمپ کولر ۳/۶ سانتی‌متر و طول آن ۱/۵۵سانتی‌متر است. تعداد دور و قطر سیم مسی آن را به‌دست آورید. فرکانس منبع تغذیه ۵۰ هرتز و ولتاژ آن ۲۲۰ ولت است.

حل:

در این موتورها هر چاک دو شیار محسوب می‌شود.

$$Z = 8 \quad , \quad 2P = 2$$

$$\gamma A = Z_A = \frac{1}{2 \times m} Z = \frac{1}{2 \times 2} \times 8 = 2$$

$$N_b = \frac{U(1 - \%\Delta U) \times 2P}{4/44 \times 2 \times f \times B_m \times D \times L \times K_{WA} \times 0/95 \times \gamma A}$$

$$Y_{ZA} = \frac{Z_A}{2P} = \frac{4}{2} = 2$$

$$K_{PA} = \sin\left(\frac{2 \times 360}{8}\right) = 1 \Rightarrow K_{WA} = 1$$

$$N_b = \frac{220(1 - 0/02) \times 2}{4/44 \times 2 \times 50 \times 0/79 \times 0/036 \times 0/0155 \times 0/95 \times 2} = 1160 \text{ دور}$$

$$P_2 = K \times B_m^2 \times D2 \times L \times N_r$$

$$N_r = N_S(1-S) = \frac{۱۲۰\times ۵۰}{۲}(۱-۰/۰۶۲) = ۲۸۱۴ \text{r.p.m}$$

$$P_۲ = ۱/۵\times ۱۰^{-۹}\times ۰/۷۹\times ۳۶^۲\times ۱۵/۵\times ۲۸۱۴ = ۰/۵۳\text{KW}$$

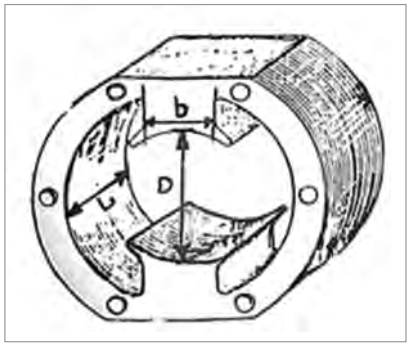
$$I_A = \frac{P_۲\times ۱۰۰۰}{۲\times U\times \cos\varphi\times \eta} = \frac{۰/۵۳\times ۱۰۰۰}{۲\times ۲۲۰\times ۰/۸۵\times ۰/۵۷} = ۰/۲۵\text{A}$$

$$d = ۱/۱۳\sqrt{A} = ۱/۱۳\sqrt{\frac{۰/۲۵}{۸/۲}} = ۰/۱۹۷ \approx ۰/۲۰\text{mm}$$

۳ـ۵ـ محاسبات سیم‌پیچی موتورهای اونیورسال

الف) محاسبه تعداد دور سیم بالشتک

تعداد دور هر بالشتک از رابطه $N_b = \frac{۱/۱۶\times U\times ۱۰^۳}{b\times L\times B_m}$ محاسبه می‌شود. در این رابطه b عرض هسته است که در شکل ۸ مشاهده می‌شود و B_m از منحنی شکل ۹ تعیین می‌شود.



شکل ۸ـ موتور قطب چاک‌دار

تعداد دور هر کلاف آرمیچر از رابطه $N_a = \frac{۲/۸۳\times N_b}{K}$ به‌دست می‌آید. K تعداد تیغه‌های کلکتور است.

ب) محاسبه قطر سیم آرمیچر و بالشتک

برای به‌دست آوردن قطر سیم آرمیچر ابتدا جریان هر راه جریان را به‌دست می‌آوریم.

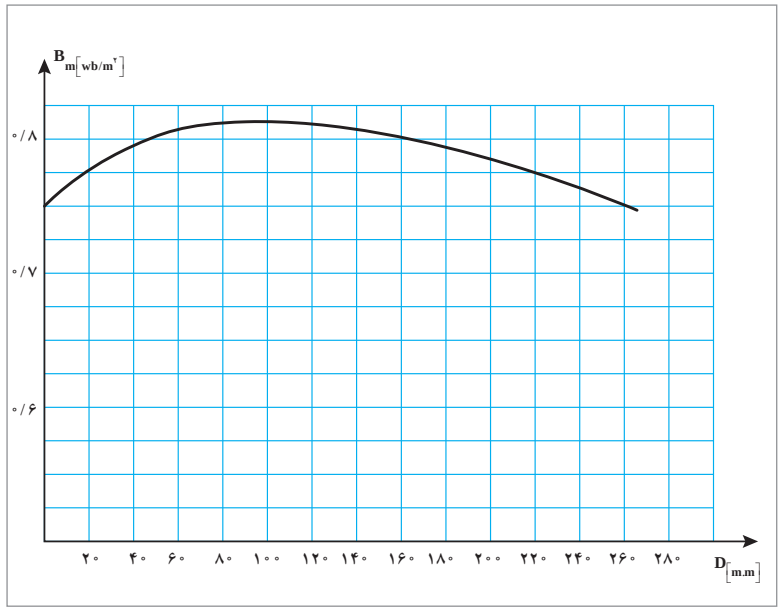
$$I_a = \frac{\pi \times D \times B}{N_a}$$

N_a تعداد دور سیم‌بندی آرمیچر و B چگالی میدان از منحنی شکل ۸۵ تعیین می‌شود.

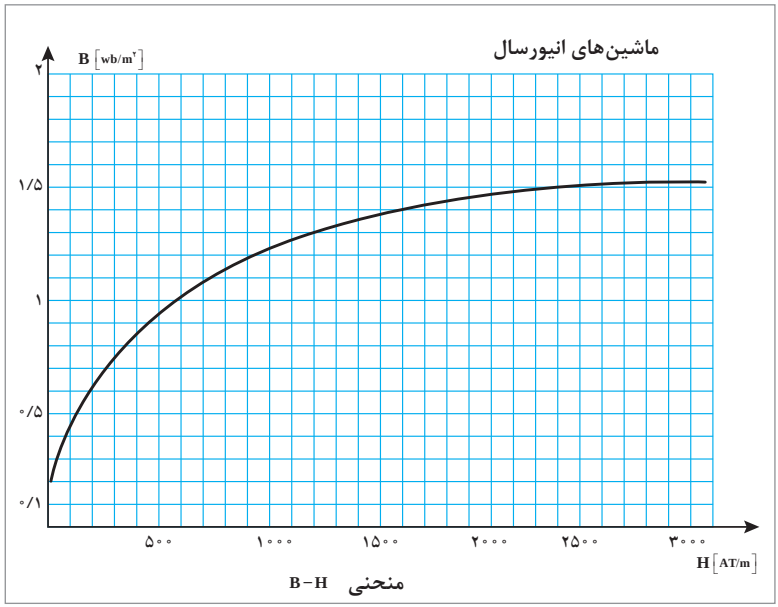
$$d_a = ۱/۱۱۳\sqrt{\frac{I_a}{j}}\ mm$$

J چگالی جریان از منحنی شکل ۹ تعیین می‌شود، چون در ماشین‌های انیورسال ۲ مسیر جریان داریم، لذا جریان در بالشتک‌ها دو برابر جریان آرمیچر است بنابراین قطر سیم بالشتک‌ها به قرار زیر تعیین می‌شود.

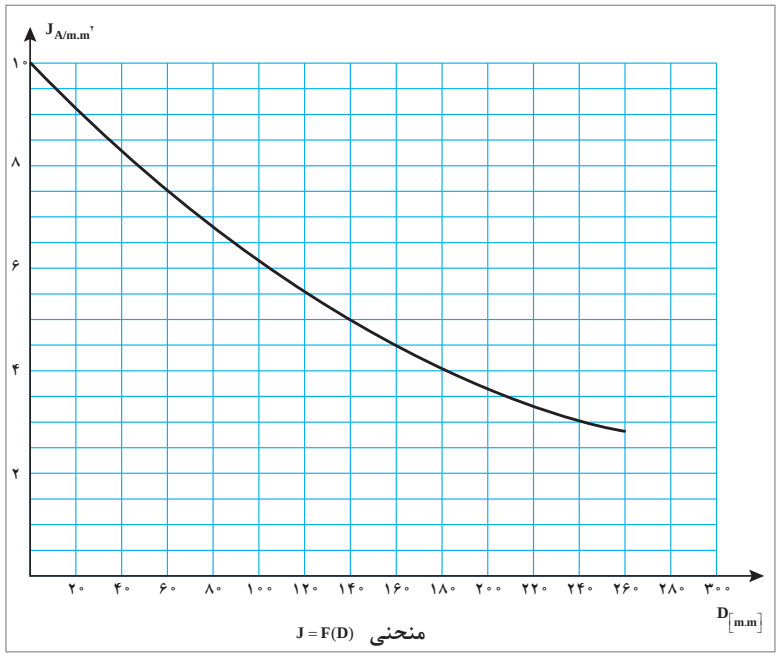
$$d_b = ۱/۱۳\sqrt{\frac{۲ \times I_a}{j}}\ mm$$



شکل ۹ــ منحنی قطر وچگالی


ماشین‌های انیورسال
B [wb/m۲]
۲
۱/۵
۱
۰/۵
۰/۱
۵۰۰
۱۰۰۰
۱۵۰۰
۲۰۰۰
۲۵۰۰
۳۰۰۰
H [AT/m]
منحنی B−H

شکل ۱۰


J A/m.m۲
۱۰
۸
۶
۴
۲
۲۰ ۴۰ ۶۰ ۸۰ ۱۰۰ ۱۲۰ ۱۴۰ ۱۶۰ ۱۸۰ ۲۰۰ ۲۲۰ ۲۴۰ ۲۶۰ ۲۸۰ ۳۰۰
D [m.m]
منحنی J = F(D)

شکل ۱۱

پرسش

چند نمونه از دیگر کاربردهای الکتروموتورهای تک فاز را نام ببرید.

جواب: موتورهای یخچال، آب‌میوه‌گیری، دریل، کولر، پمپ آب، بالابرها، جاروبرقی، مخلوط‌کن‌ها، چرخ گوشت و ...

تحقیق

آیا سیم‌پیچ کمکی از نظر ضخامت و تعداد دور با سیم‌پیچ اصلی برابر است؟

جواب: ضخامت سیم‌پیچ کمکی را به علت موقت بودن براساس ولتاژ کمتر از ولتاژ سیم‌پیچ اصلی در نظر می‌گیرند و چون به مدت کوتاه در مدار الکتریکی قرار می‌گیرد لذا نسبت به سیم‌پیچ اصلی کمتر است، ولی در موتورهای طرح دوفاز ضخامت سیم‌پیچ اصلی و کمکی تقریباً برابر هستند. تعداد دور سیم‌پیچ کمکی به علت در برداشتن تعداد شیار کمتر از تعداد دور بیشتری برخوردار است.

تحقیق

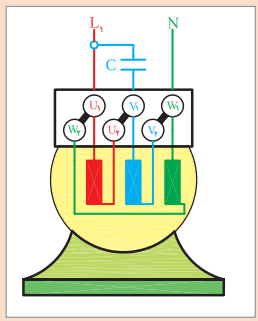
اگر کلید گریز از مرکز به هر دلیلی تغییر حالت ندهد چه پیامدی برای الکتروموتور خواهد داشت؟

جواب: اگر کلید گریز از مرکز در حالت راه‌اندازی تغییر وضعیت نداده باشد موتور راه‌اندازی نمی‌شود و موتور در حالت رتور قفل شده عمل کرده، چندین برابر جریان نامی از شبکه دریافت می‌کند و موتور می‌سوزد. اگر کلید در راه‌اندازی سیم‌پیچ استارت را در مدار قرار دهد و مدار آن را در ۷۵٪ دور نامی قطع نکند به علت هم‌ارز نبودن میدان سیم‌پیچ استارت با میدان سیم‌پیچ اصلی، موتور با سروصدا و نامتقارن کار خواهد کرد و جریان زیاد از شبکه دریافت خواهد نمود و از آنجایی که سیم‌پیچ استارت ضعیف و برای لحظه کوتاه طراحی می‌شود ولتاژ کم را تحمل می‌کند در مدت زمان کوتاه سوخته و از بین خواهد رفت.

تحقیق

آیا ممکن است الکتروموتور سه‌فاز را با اتصال به شبکه برق شهر (تک‌فاز) راه‌اندازی کرد؟

جواب: موتورهای سه‌فاز را با کمک خازن با مدار اتصالی شکل ۱۲ می‌توان راه‌اندازی کرد و ظرفیت خازن برای هر کیلووات را ۷۰ میکروفاراد در نظر می‌گیرند.



شکل ۱۲

پرسش

دیاگرام گسترده و دایره‌ای هر کدام از چه نمایی سیم‌پیچی الکتروموتور را نشان می‌دهد؟

جواب: دیاگرام گسترده نمای برش داده شده طولی سیم‌پیچی استاتور را نشان می‌دهد و دیاگرام دایره‌ای مقطع عرضی سیم‌پیچی استاتور را نشان می‌دهد.

تمرین

چگونه می‌توان از صحت خازن اطمینان حاصل کرد؟

جواب: مبتدی‌ترین روش استفاده از اهم‌متر است. ابتدا دو سر خازن را به هم وصل می‌کنیم تا در صورت داشتن ولتاژ ذخیره شده تخلیه شود سپس دو سر آن را به یک اهم‌متر، که در رنج $R \times ۱۰۰۰$ قرار دارد وصل می‌کنیم. اگر عقربه اهم‌متر با سرعت زیاد به صفر اهم‌متر برود سپس به آرامی به ∞ اهم‌متر برگردد خازن سالم است روش دقیق آن اندازه‌گیری ظرفیت آن از طریق مدار الکتریکی یا پل‌های اندازه‌گیری می‌باشد.

پرسش

پس از تغییر وضعیت کلید کولر از حالت خاموش به حالت روشن کولر راه‌اندازی نمی‌شود. به علت آن در کدام مورد اشاره شده است؟

الف) سیم‌پیچ راه‌انداز سوخته است.

ب) کلید گریز از مرکز به حالت اولیه برنگشته است.

جواب: هر دو گزینه ممکن است صحیح باشد. چون اگرسیم‌پیچ استارت بسوزد موتور راه‌اندازی نمی‌شود و اگر کلید گریز از مرکز به حالت اول برنگردد مدار سیم‌پیچ استارت از شبکه تغذیه نخواهد کرد و گشتاور راه‌اندازی صفر خواهد شد و موتور راه نخواهد افتاد.

پرسش

با توجه به تعداد قطب حالت‌های دور کند و تند کولر در هر حالت دور نامی کولر چند دور در دقیقه است؟

جواب: معمولاً موتورهای کولر با لغزش ۶٪ کار می‌کنند و دور کند آنها ۶ قطب و دور تند آنها ۴ قطب می‌باشد.

$$N_r = N_S(۱ - S)$$

$$N_S = \frac{f \times ۱۲۰}{P}$$

$$\begin{cases} \text{دور کند} \rightarrow N_r = \frac{۵۰ \times ۱۲۰}{۶}(۱ - ۰/۰۶) = ۹۴۰ r.p.m \\ \text{دور تند} \rightarrow N_r = \frac{۵۰ \times ۱۲۰}{۴}(۱ - ۰/۰۶) = ۱۴۱۰ r.p.m \end{cases}$$

منابع و مآخذ

۱ برنامه درسی رشته الکتروتکنیک، ۱۳۹۳.
۲ محاسبات عملی ترانسفورماتورها و چوک‌ها، مؤلف علی عراقی، فتح الله نظریان، احمد معیری.
۳ محاسبه و طراحی موتورهای الکتریکی تک‌فاز، انیورسال و سیم‌پیچی آرمیچر مؤلفین علی عراقی، علی رحیمیان‌پرور، محمود حیدری، احمد معیری.
۴ ماشین‌های الکتریکی، مؤلف دکتر پ ـ س ـ سن، ترجمه دکتر مهرداد عابدی، مهندس محمدتقی نبوی.
۵ تکنولوژی و کارگاه برق صنعتی، محمود اعتضادی، ناصر ساعتچی و ...، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۵.
۶ بروشورها و کاتالوگ‌های شرکت‌های کابل و سیم

هنرآموزان محترم، می‌توانند نظرهای اصلاحی خود را دربارهٔ مطالب این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران - صندوق پستی ۴۸۷۴ / ۱۵۸۷۵ - گروه درسی مربوط و یا پیام نگار tvoccd@roshd.ir ارسال نمایند.

وب گاه: www.tvoccd.medu.ir

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش