



Namatek
True Education

www.namatek.com

Motor Winding Formulas

فرمول های سیم پیچی
موتور

فهرست مطالب

۱. موتور الکتریکی چیست؟
۲. فرمول محاسبه تعداد قطب‌های موتور
۳. فرمول محاسبه گام قطبی
۴. گام سیم بندی یا گام کلاف
۵. فرمول محاسبه سیم پیچی موتور برای زاویه الکتریکی شیار
۶. فرمول محاسبه تعداد پیچک های یک کلاف
۷. محاسبه شیارهای ورودی هر فاز
۸. مشخص کردن نوع سربندی الکتروموتور

اولین چیزی که در ساخت یک موتور الکتریکی نیاز دارید، فرمول های سیم پیچی موتور است. موتورها پرکاربردترین بخش هر دستگاهی هستند. از ساعت های ظریف و کوچک مچی گرفته تا دستگاه های بزرگ صنعتی در کارخانه ها، همگی به نوعی از موتور الکتریکی در ساختار داخلی خود بهره می برند. بسته به کاربرد مورد نظر شما برای موتور، گزینه هایی برای انتخاب در پیش رو خواهید داشت. در ادامه این مقاله همراه ما باشید تا با انواع فرمول هایی که در سیم پیچی موتور به آن ها نیاز پیدا خواهید کرد آشنا شوید.

موتور الکتریکی چیست؟

موتور الکتریکی دستگاهی است که انرژی الکتریکی را به مکانیکی تبدیل می کند. اکثر موتورها بر اساس اصل برهمکنش بین جریان الکتریکی و میدان مغناطیسی درون سیم پیچ کار می کنند که این اتفاق باعث چرخش شفت موتور می شود.

موتورها دو نوع منبع تغذیه دارند:

۱. **DC (Direct Current)**: شامل باتری ها
۲. **AC (Alternating Current)**: شامل اینورترها، شبکه های برق و ژنراتورها



در بخش های بعد مهم ترین فرمول های سیم پیچی موتور (Motor Winding) را بیان خواهیم کرد که به کمک آن ها می توانید پارامترهای موتور الکتریکی را محاسبه کنید.

فرمول محاسبه تعداد قطب های موتور



برای محاسبه تعداد قطب های یک الکتروموتور، از فرمول زیر استفاده می شود.

$$P = 120f/Ns$$

که در آن:

• P تعداد قطب‌ها است.

• F فرکانس منبع تغذیه برحسب هرتز است.

• N_s سرعت سنکرون موتور برحسب دور بر دقیقه یا RPM است.

فرص کنید یک موتور دارای فرکانس منبع تغذیه ۵۰ هرتز و سرعت سنکرون ۱۵۰۰ دور بر دقیقه باشد، با استفاده از فرمول بالا تعداد قطب‌های آن به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$P = 120 * 50 / 1500$$

$$P = 6000 / 1500 = 4$$

بنابراین، این موتور یک موتور چهار قطبی است.

نکات تکمیلی

فرکانس منبع تغذیه در بیشتر کشورها ۵۰ هرتز و در برخی از کشورهای دنیا مانند آمریکا ۶۰ هرتز است. سرعت سنکرون موتورهای مورد استفاده در صنعت معمولاً یکی از مقادیر استاندارد مانند ۷۵۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ یا ۳۰۰۰ دور بر دقیقه برای فرکانس ۵۰ هرتز است. برای فرکانس ۶۰ هرتز هم این مقادیر به ترتیب ۹۰۰، ۱۲۰۰، ۱۸۰۰ یا ۳۶۰۰ دور بر دقیقه می‌باشند.

که به احتمال زیاد به مرور زمان با استفاده از فرمول‌های سیم پیچی موتور و فرمول ذکر شده در این بخش این موارد را به خاطر خواهید سپرد که برای هر سرعت و فرکانس مشخص چه تعداد قطب موتور مورد نیاز است.

فرکانس ۵۰ هرتز:

• 3000 RPM موتور دو قطبی

• 1500 RPM موتور چهار قطبی

• 1000 RPM موتور شش قطبی

• 750 RPM موتور هشت قطبی

فرکانس ۶۰ هرتز:

• 3600 RPM موتور دو قطبی

• 1800 RPM موتور چهار قطبی

• 1200 RPM موتور شش قطبی

• 900 RPM موتور هشت قطبی

فرمول محاسبه گام قطبی

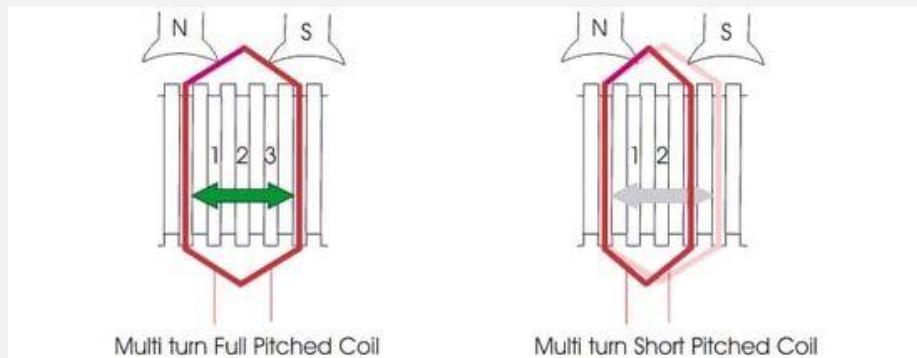
یکی از مواردی که در هنگام سیم پیچی موتورهای الکتریکی باید محاسبه شود و در نظر داشته باشیم، گام قطبی است. گام قطبی به سطحی از استاتور گفته می‌شود که توسط یک قطب N یا S محاصره می‌گردد. به بیان ساده‌تر گام قطبی به تعداد شیارهایی گفته می‌شود که توسط یک قطب اشغال می‌شود. گام قطبی را با y_p و تعداد شیارها را با z و تعداد قطب‌ها را با $2P$ نشان می‌دهند و به این ترتیب محاسبه گام قطبی به صورت زیر می‌باشد.

$$y_p = z / 2P$$

برای مثال اگر یک موتور ۳۶ شیار و ۴ قطب داشته باشد، گام قطبی آن برابر است با:

$$y_p = 36 / 4 = 9$$

گام سیم بندی یا گام کلاف



گام کلاف یا سیم بندی به فاصله شیارها بین بازوها یا پیچک‌های یک کلاف گفته می‌شود و با yz نمایش داده می‌شود. اگر yp با yz مساوی باشد، گام سیم بندی کامل است. اگر yz کوچکتر از yp باشد، گام سیم بندی کوتاه یا کسری است. میزان کسری گام در گام کوتاه یک سوم گام قطبی و حداقل یک شیار است.

برای گام کامل گام سیم بندی برابر با گام قطبی می‌باشد. برای گام سیم بندی در گام کوتاه ضریب کوتاهی گام یک سوم را در گام قطبی ضرب می‌کنیم و حداکثر کسری گام به دست می‌آید، سپس گام قطبی را از عدد حداکثر کوتاهی گام کم می‌کنیم تا گام سیم بندی در گام کوتاه مشخص شود.

حل مثال عددی

گام سیم بندی یک موتور ۲۴ شیار ۲ قطبی را با گام کامل و گام کوتاه محاسبه می‌کنیم:

ابتدا گام قطبی را حساب می‌کنیم که در دو حالت یکسان است و برابر است با:

$$yp = z/2p$$

$$6 = 2 * y_p = 24 / 2$$

حداکثر کسری گام برابر است با یک سوم ضرب گام قطبی یعنی یک سوم عدد ۶ که می شود مقدار ۲.

yz = گام قطبی - حداکثر کسری گام

$$yz = 6 - 2 = 4$$

اعداد به دست آمده را باید با عدد یک جمع کنیم.

علت این کار است که گام سیم بندی محاسبه شده در هر دو حالت مشخص کننده فاصله بین شیارها می باشد؛ یعنی در گام کامل، گام کلاف ۱ به ۷ می باشد و بین شیار ۱ تا ۷ ما ۶ شیار فاصله داریم و در گام کوتاه گام سیم بندی ۱ به ۵ می باشد؛ یعنی بین شیارهایی که دو بازو یا پیچک کلاف قرار گرفته است، ۴ شیار فاصله است.

معمولا طراحی موتور با گام کوتاه به خاطر کاهش هارمونیک ها و بهبود کارایی موتور است. برای فهم بهتر این موضوع یک مثال بازاری می زنیم. الکتروموتور چهار قطب در حالت گام کامل شش کلاف دارد و در حالت گام کوتاه دوازده کلاف دارد.

فرمول محاسبه سیم پیچی موتور برای زاویه

الکتریکی شیار

زاویه الکتریکی شیارهای الکتروموتور (معروف به زاویه شیار) که با α نشان داده می شود، به زاویه ای اشاره دارد که میان شیارهای مجاور در استاتور یا روتور یک ماشین الکتریکی وجود دارند.

این زاویه در تحلیل توزیع میدان مغناطیسی و طراحی بهینه موتورهای الکتریکی نقش مهمی دارد.

زاویه الکتریکی شیارها را می‌توان از طریق رابطه زیر محاسبه کرد:

$$\alpha_e z = 360p/z$$

که در آن:

- $\alpha_e z$ زاویه الکتریکی شیارها است.
- P تعداد جفت قطب‌های موتور است.
- Z تعداد کل شیارهای استاتور یا روتور است.

حل مثال عددی

فرض کنید یک موتور با ۶ جفت قطب (یعنی ۱۲ قطب) و ۳۶ شیار داشته باشیم. زاویه الکتریکی شیارها به صورت زیر می‌باشد.

$$\alpha_e z = 360 * 6 / 36$$

$$\alpha_e z = 60$$

این عدد به این معنا است که هر شیار نسبت به شیار بعدی یک زاویه الکتریکی ۶۰ درجه دارد.

اهمیت زاویه الکتریکی شیارها در محاسبات سیم پیچی موتورها

زاویه الکتریکی شیارها نقش حیاتی در توزیع متقارن جریان‌ها و تولید میدان مغناطیسی در موتورهای الکتریکی دارد. توزیع مناسب شیارها می‌تواند منجر به کاهش هارمونیک‌های ناخواسته، کاهش نویز و ارتعاش و بهبود بازده کلی موتور شود.

به بیان دیگر می‌توان گفت که زاویه الکتریکی شیارهای الکتروموتور نشان‌دهنده زاویه بین شیارهای مجاور در یک موتور الکتریکی است و از طریق رابطه‌ای که به تعداد جفت قطب‌ها و تعداد شیارها بستگی دارد محاسبه می‌شود. این زاویه در بهینه‌سازی طراحی و عملکرد موتورهای الکتریکی اهمیت فراوانی دارد و برای پیدا کردن شیارهای ورودی برق فازها در فرمول‌های سیم پیچی الکتروموتور بعدی لازم است.

فرمول محاسبه تعداد پیچک‌های یک کلاف



برای به دست آوردن تعداد پیچک‌های یک کلاف در استاتور یا روتور یک موتور الکتریکی، از فرمول زیر استفاده می‌شود که به تعداد شیارها، تعداد قطب‌ها و تعداد کلاف‌ها بستگی دارد.

$$q = Z / 2.p.m$$

که در آن:

- Q تعداد پیچک‌های هر کلاف است.
- Z تعداد کل شیارها است.
- $2p$ تعداد جفت قطب‌های موتور است.

• M تعداد فازها (معمولاً ۳ برای موتورهای سه فاز) است.

برای مثال در یک موتور با ۶ جفت قطب (۱۲ قطبی) و ۳۶ شیار و ۳ فاز تعداد پیچک‌های هر کلاف به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$q = 36 / 2.6.3 = 1$$

این عدد به این معنا است که هر کلاف شامل یک پیچک است.

اهمیت تعداد پیچک‌ها در فرمول‌های سیم پیچی موتور

تعداد پیچک‌های هر کلاف بر روی توزیع جریان و تولید میدان مغناطیسی در موتور تأثیر می‌گذارد. طراحی صحیح و انتخاب مناسب تعداد پیچک‌ها می‌تواند به بهبود کارایی و عملکرد موتور کمک کند. طبق محاسبات قبلی که گام سیم بندی را به دست آوردیم با محاسبه تعداد پیچک‌ها می‌توان متوجه شد که هر کلاف چند پیچک دارد و ترسیم دیاگرام را برای ما آسان می‌کند.

محاسبه شیارهای ورودی هر فاز

برای پیدا کردن شیارهای ورودی هر فاز ابتدا باید زاویه الکتریکی را محاسبه کرد که همان $\alpha e z$ می‌باشد که توضیحات آن قبل‌تر داده شده است. شیار شماره ۱ را به عنوان ورودی اول یا U قرار می‌دهیم. سر و ته‌های هر فاز به ترتیب برای هر فاز همانام به صورت U و X برای فاز اول، V و Y برای فاز دوم و W و Z برای فاز سوم در نظر گرفته می‌شود.

البته این علائم برای نظام قدیم بوده و در نظام جدید با علائم U1 و U2 برای فاز اول، V1 و V2 برای فاز دوم و W1 و W2 برای فاز سوم نام‌گذاری

می‌شود. برای ورودی‌های برق نیز در نظام قدیم از حروف R, S, T استفاده می‌شد که با حروف L1, L2, L3 در نظام جدید جایگزین شده‌اند. شیار ۱ برای R در نظر گرفته می‌شود و برای ورودی دوم باید از رابطه زیر استفاده کرد:

$$S = 1 + 120/\alpha e z$$

و برای ورودی سوم نیز داریم که:

$$T = 1 + 240/\alpha e z$$

حل مثال عددی

برای یک الکتروموتور ۳۶ شیار و ۴ قطب، ورودی فازها را محاسبه کنید.

$$\alpha e z = 360 \times p/z$$

$$20 = \alpha e z = 360 \times 2/36$$

زاویه الکتریکی هر شیار ۲۰ درجه محاسبه شد و در نتیجه ورودی‌ها را محاسبه می‌کنیم.

R شیار اول است.

برای محاسبه S داریم:

$$S = 1 + (120/20) = 7$$

برای محاسبه T داریم:

$$T = 1 + (240/20) = 13$$

که در نهایت ورودی‌های برق به ترتیب U=1، V=7 و W=13 می‌باشند.

مشخص کردن نوع سربندی الکتروموتور

یکی از اموری که برای سیم پیچی موتورها ضروری است، تعیین نوع سربندی موتور است. برای فهمیدن نوع اتصال سربندی الکتروموتورهای معمولی باید G را محاسبه کرد تعداد کلاف‌های موجود در یک فاز و سپس با مقایسه این عدد با جفت قطب یا قطب $(2P)$ یا (P) نوع سربندی مشخص می‌شود. محاسبه G دو روش دارد، روش اول تجربی است با شمردن تعداد کلاف‌ها و تقسیم آن بر سه.

برای مثال موتور ما شش کلاف دارد که از تقسیم آن بر سه مقدار G می‌شود دو.

روش دوم استفاده از فرمول محاسبه سیم‌بندی الکتروموتور است که از رابطه زیر برای آن استفاده می‌شود.

$$G = (t.z)/(2q.m)$$

در رابطه فوق t تعداد طبقات سیم پیچی است که در موتورهای دوطبقه مهم است؛ ولی در موتورهای یک طبقه می‌توان آن را حذف کرد.

• Z تعداد شیارهای استاتور است.

• Q تعداد پیچک‌های هر کلاف است.

• M تعداد فازها می باشد.

حل مثال عددی

سربندی الکتروموتور ۳۶ شیار ۴ قطب به چه صورت است؟
ابتدا q یا همان تعداد پیچک‌های استاتور را حساب می‌کنیم.

$$q = z/2pm$$

$$3 = q = 36 / (4 \times 3)$$

یعنی هر کلاف ۳ پیچک دارد.

حال می‌توان عدد G را به دست آورد.

$$G = (t.z)/(2q.m)$$

$$2 = G = (1 \times 36) / (2 \times 3 \times 3)$$

پس از محاسبه، عدد به دست آمده را با قطب یا جفت قطب مقایسه می‌کنیم
اگر G با برابر با p بود سربندی اتصال نزدیک است؛ یعنی ته به سر و
اگر G برابر با ۲ p بود اتصال دور است؛ یعنی ته به ته و سر به سر. از این
روابط می‌توان نتیجه گرفت در حالت گام کامل و گام کوتاه اتصال سربندی
برعکس هم هستند. در موتور ۳۶ شیار ۴ قطب گام کامل ما تعداد ۶ کلاف
داریم و سربندی با محاسبات فوق اتصال نزدیک است؛ یعنی ته به سر ولی
برای همین موتور در حالت گام کوتاه ما تعداد ۱۲ کلاف داریم و اگر محاسبات
را انجام دهیم متوجه می‌شویم که سربندی در این حالت به صورت اتصال
دور یا ته به ته می‌باشد.