

۱-۶ اصول محاسبه دیاگرام الکتروموتورهای
آسنکرون سه فاز یک طبقه یک سرعت
دیاگرام های سیم بندی الکتروموتورها را در ۴ مرحله زیر
محاسبه می کنیم :

| $\frac{2m}{2p}$ | $U_1 \quad U_2$ | $V_1 \quad V_2$ | $W_1 \quad W_2$ |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

شکل ۱-۲۰- تشکیل جدول سیم بندی

۱. محاسبات مربوط به رسم دیاگرام
۲. تشکیل جدول سیم بندی
۳. رسم دیاگرام
۴. سربندی و تشکیل قطب های سیم پیچی

۱-۶-۱ محاسبات سیم بندی: در این مرحله، با
استفاده از روابطی که گفته شد، گام قطبی، گام کلاف، زاویه
الکتریکی شیارها، تعداد شیارهای هر فاز در زیر هر قطب و شماره
شیارهای شروع فازها را تعیین می کنیم.

۱-۶-۲ تشکیل جدول سیم بندی: جدول سیم بندی
(شکل ۱-۲۰) موقعیت U_1 ، V_1 ، W_1 ، U_2 ، V_2 و W_2 را
در شیارهای استاتور نشان می دهد.

در تشکیل این جدول به تعداد قطب های موتور ردیف و به
تعداد فازها، ستون باز می کنیم. اگر یک موتور سه فاز، ۴ قطب
داشته باشد، قسمت اول جدول سیم بندی آن مطابق شکل ۱-۲۰
ترسیم می شود.

| $\frac{2m}{2p}$ | $U_1 \quad U_2$ | $V_1 \quad V_2$ | $W_1 \quad W_2$ |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

شکل ۱-۲۱- تقسیم ستون های هر فاز به q قسمت

برای تکمیل جدول، $q = \frac{Z}{2p.m}$ را محاسبه می کنیم.
فرض می کنیم تعداد شیارهای استاتور برای جدول رسم شده،
۳۶ عدد باشد. سپس مقدار q را به دست می آوریم.
$$q = \frac{Z}{2p.m} = \frac{36}{4 \times 3} = 3$$

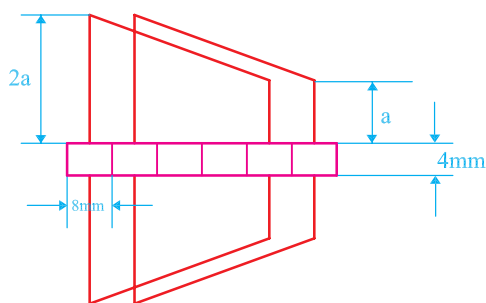
هر ستون مربوط به هر فاز را در جدول شکل ۱-۲۰ به q
قسمت تقسیم می کنیم (شکل ۱-۲۱).

| $\frac{2m}{2p}$ | $U_1 \quad U_2$ | | | $V_1 \quad V_2$ | | | $W_1 \quad W_2$ | | |
|-----------------|-----------------|---|---|-----------------|---|---|-----------------|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 7 | 8 | 9 | 13 | 14 | 15 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

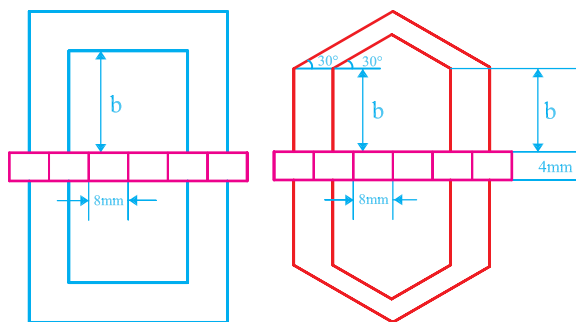
شکل ۱-۲۲- تعیین شیارهای شروع فازها

| $\frac{2m}{2p}$ | $U_1 \quad U_2$ | | | $V_1 \quad V_2$ | | | $W_1 \quad W_2$ | | |
|-----------------|-----------------|----|----|-----------------|----|----|-----------------|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 7 | 8 | 9 | 13 | 14 | 15 |
| $Y_p=9$ | 10 | 11 | 12 | 16 | 17 | 19 | 22 | 23 | 24 |
| | 19 | 20 | 21 | 25 | 26 | 27 | 31 | 32 | 33 |
| | 28 | 29 | 30 | 34 | 35 | 36 | 4 | 5 | 6 |

شکل ۱-۲۳- افزودن گام قطبی به ستون‌های جدول و تکمیل آن



شکل ۱-۲۴- ابعاد پیشنهادی دیاگرام گسترده دوزنقه‌ای



شکل ۱-۲۵- ابعاد پیشنهادی دیاگرام گسترده ۶ ضلعی و مستطیل

شیارهای شروع فازها را با محاسبه به دست می‌آوریم. در ابتدای هر فاز، در ردیف اول می‌نویسیم و به اندازه q شماره‌های متوالی آن‌ها را در جدول (شکل ۱-۲۲) منظور می‌کنیم. برای درج مشخصات در جدول (شکل ۱-۲۱) شیارهای شروع فازها به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$Z = 36, \quad 2P = 4, \quad m = 3$$

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times 360}{Z} = \frac{2 \times 360}{36} = 20^\circ$$

$$U_1 \rightarrow \text{شروع فاز ۱}$$

$$V_1 \rightarrow \text{شروع فاز ۲} \rightarrow 1 + \frac{120}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{120}{20} = 7$$

$$W_1 \rightarrow \text{شروع فاز ۳} \rightarrow 1 + \frac{240}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{240}{20} = 13$$

ردیف‌های بعدی جدول را با افزودن یک گام قطبی به شماره‌های هم‌ستون ردیف بالا، تکمیل می‌کنیم.

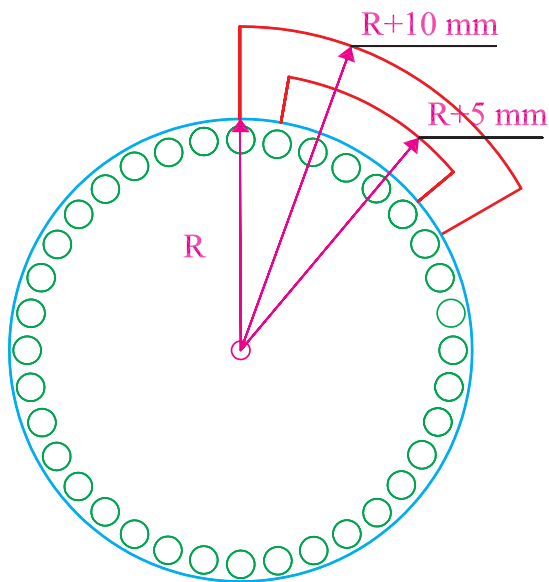
گام قطبی موتوری با مشخصات جدول (شکل ۱-۲۳) را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد و جدول را کامل کرد.

$$Y_p = \frac{Z}{2P} = \frac{36}{4} = 9$$

۳-۶-۱- رسم دیاگرام سیم‌بندی: دیاگرام سیم‌بندی

را با روش‌های مختلفی رسم می‌کنند. در دیاگرام‌های گسترده، استاتور را برش داده و دیاگرام را به صورت مسطح رسم می‌کنند. در دیاگرام‌های مسطح، بازوهای کلاف‌ها را به صورت دوزنقه (شکل ۱-۲۴) مستطیل یا ۶ ضلعی (شکل ۱-۲۵) رسم می‌کنند. در دیاگرام‌های مدور، برش عرضی استاتور را به صورت دایره‌ای در نظر می‌گیرند و با استفاده از دوائر اطراف استاتور سیم‌بندی را رسم می‌کنند.

به علت وجود خطوط بیشتر در دیاگرام سیم‌بندی، تعقیب سیم‌بندی کاری مشکل است. برای آسان کردن تعقیب سیم‌بندی، معمولاً در ترسیم دیاگرام سیم‌بندی، مشخصات خطوط هر فازها را با رنگ جداگانه رسم می‌کنند.



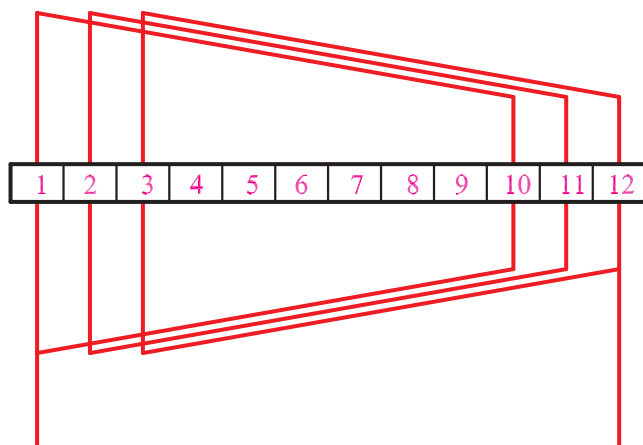
شکل ۱-۲۶ ابعاد پیشنهادی دیاگرام مدور

در رسم دیاگرام‌ها، رعایت اندازه‌های مندرج در شکل‌های ۱-۲۴ و ۱-۲۵ توصیه می‌شود.

| $\frac{2m}{2p}$ | U_1 | U_2 | V_1 | V_2 | W_1 | W_2 | | | |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1 ↓ 10 | 2 ↓ 11 | 3 ↓ 12 | 7 ↓ 16 | 8 ↓ 17 | 9 ↓ 19 | 13 ↓ 22 | 14 ↓ 23 | 15 ↓ 24 |
| | 19 ↓ 28 | 20 ↓ 29 | 21 ↓ 30 | 25 ↓ 34 | 26 ↓ 35 | 27 ↓ 36 | 31 ↓ 4 | 32 ↓ 5 | 33 ↓ 6 |

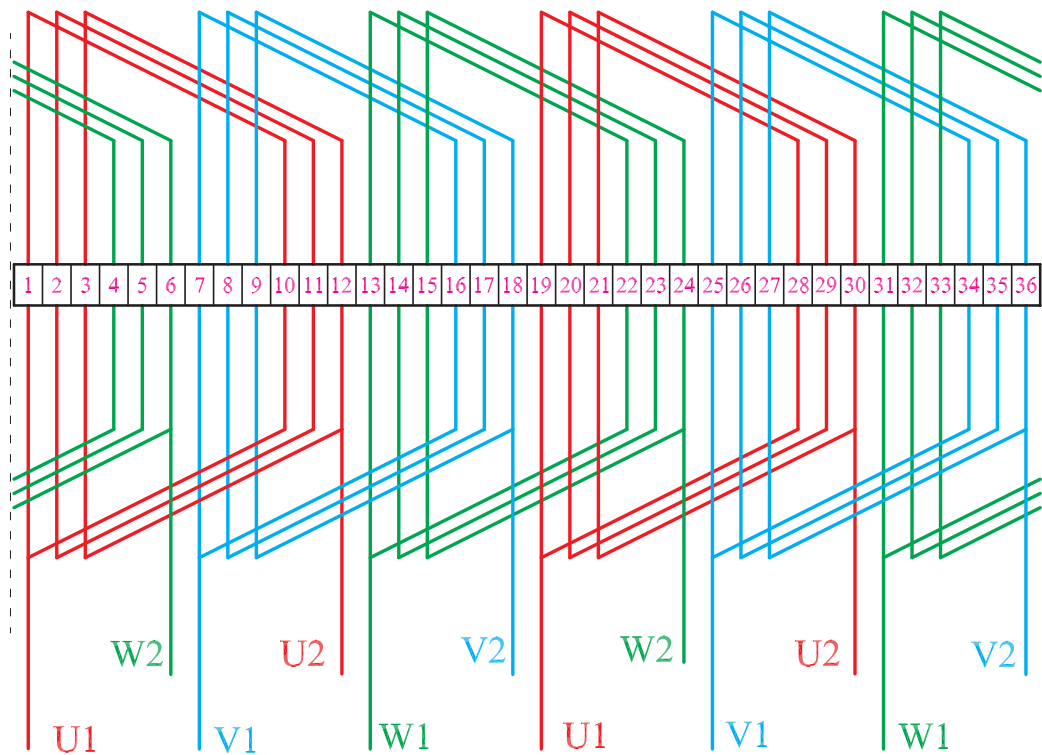
شکل ۱-۲۷

جدول شکل ۱-۲۳ را در نظر می‌گیریم. با توجه به هدایت سیم‌ها در داخل شیارها، ۲ نوع سیم‌بندی کلاف مساوی و متحدالمرکز امکان‌پذیر است. اگر مطابق جدول شکل ۱-۲۷ بازوی کلاف‌های سیم‌پیچ U_1 و U_2 را از ۱ به ۱۰، ۲ به ۱۱، ۳ به ۱۲، ۱۹ به ۲۸، ۲۰ به ۲۹ و ۲۱ به ۳۰ هدایت کنیم، گام تمامی کلاف‌ها در سیم‌پیچی، مساوی خواهد شد. شکل ۱-۲۸ الف هدایت یک گروه کلاف از سیم‌پیچ U_1 و U_2 را نشان می‌دهد.



الف - یک گروه کلاف

با توجه به قسمت الف شکل ۱-۲۸ محل قرار گرفتن بازوها در شیارهای استاتور مطابق قسمت ب شکل ۱-۲۸ خواهد بود.



ب - تمام کلاف‌ها

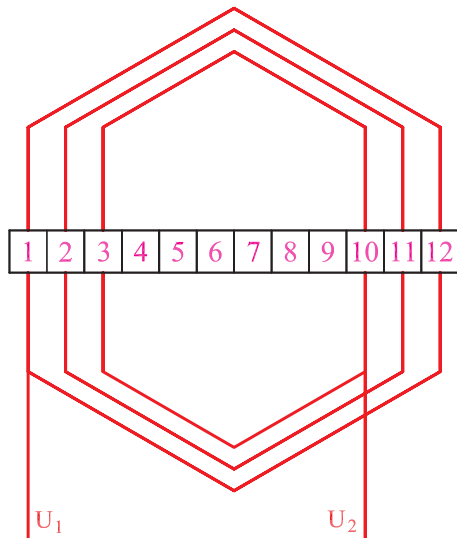
شکل ۱-۲۸ - دیاگرام سیم‌بندی کلاف مساوی

| $\begin{matrix} 2m \\ 2p \end{matrix}$ | U_1 U_2 | V_1 V_2 | W_1 W_2 |
|--|-------------|-------------|-------------|
| | 1 2 3 | 7 8 9 | 13 14 15 |
| | 10 11 12 | 16 17 19 | 22 23 24 |
| | 19 20 21 | 25 26 27 | 31 32 33 |
| | 28 29 30 | 34 35 36 | 4 5 6 |

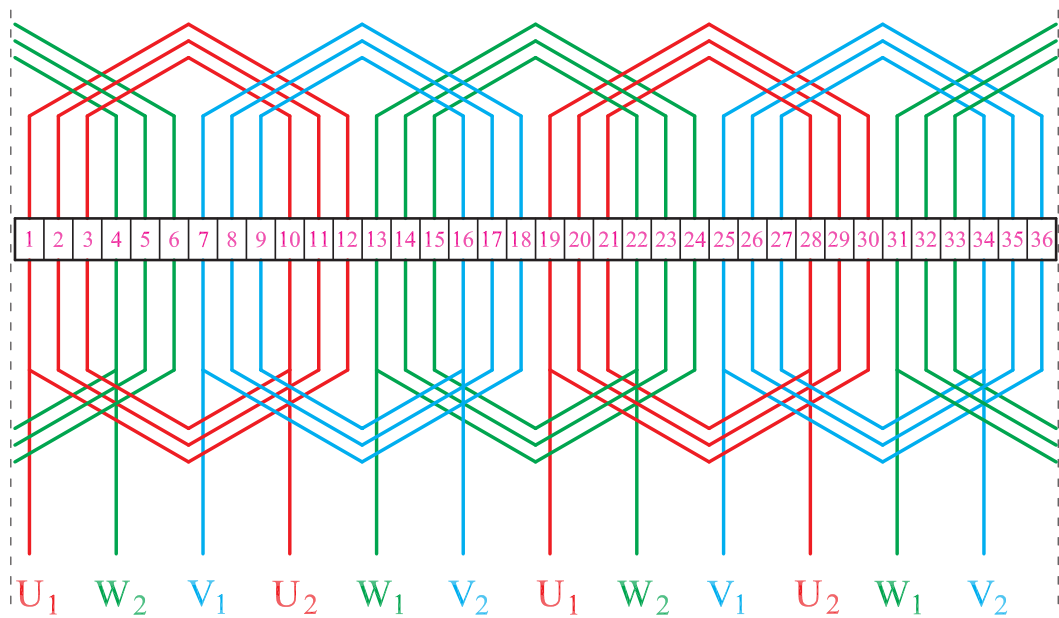
شکل ۱-۲۹

اگر مطابق جدول شکل ۱-۲۹ بازوی کلاف‌های سیم‌پیچ U_1 و U_2 را از ۱ به ۲، ۱۲ به ۲، ۱۱ به ۳، ۱۰ به ۱۹، ۳۰ به ۲۰ و ۲۹ و ۲۱ به ۲۸ هدایت کنیم، گام کلاف‌ها در سیم‌پیچی مساوی نبوده، ولی مرکز هر گروه کلاف یکی می‌شود و در واقع سیم‌پیچی متحدالمرکز خواهیم داشت. شکل ۱-۳۰ - الف یک گروه کلاف از سیم‌پیچ U_1 و U_2 در سیم‌بندی متحدالمرکز را نشان می‌دهد.

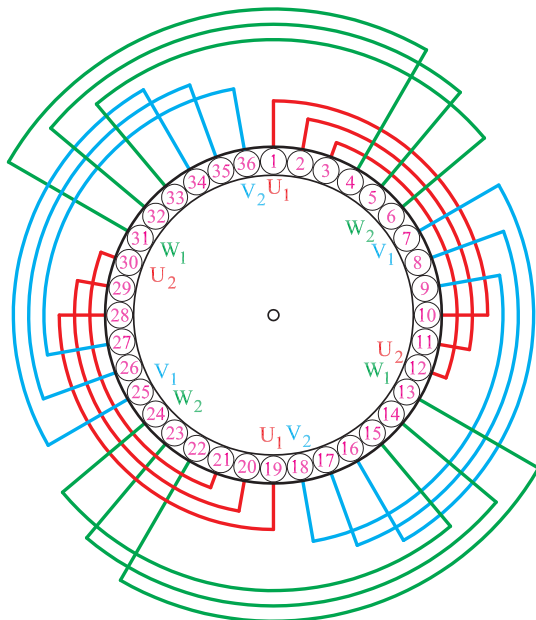
با در نظر گرفتن جدول شکل ۱-۲۹ موقعیت بازوی کلاف‌ها در هر سه فاز مطابق با شکل ۱-۳۰ ب خواهد شد.



شکل ۱-۳۰ الف - یک گروه کلاف



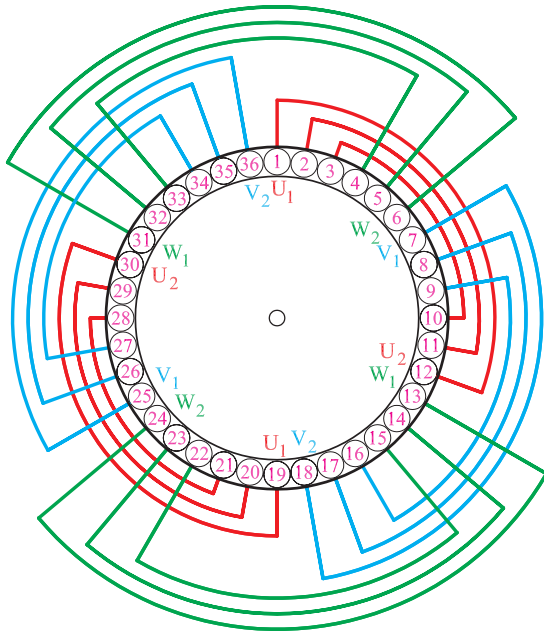
شکل ۱-۳۰ ب - تمام کلاف‌های دیاگرام مدور سیم‌بندی کلاف متحدالمرکز



موقعیت بازوهای کلاف‌ها در داخل شیارها را می‌توان به صورت دیاگرام مدور نشان داد. در شکل ۱-۳۱ دیاگرام مدور سیم‌بندی کلاف مساوی مربوط به شکل ۱-۲۸ مشاهده می‌شود.

شکل ۱-۳۱ دیاگرام مدور کلاف مساوی

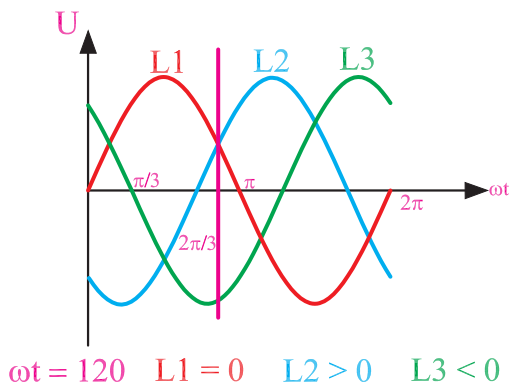
دیاگرام مدور سیم پیچی کلاف متحدالمرکز مربوط به شکل ۱-۳۰ به صورت شکل ۱-۳۲ رسم می شود.



شکل ۱-۳۲- دیاگرام مدور کلاف متحدالمرکز

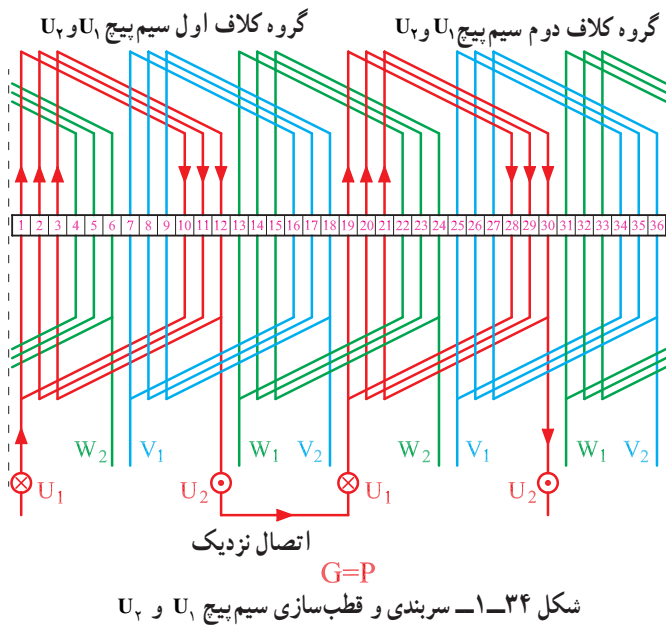
۴-۶-۱- سربندی و تشکیل قطبها: برای سربندی گروه کلافهای هر فاز، به تعداد گروه کلافها در هر فاز مراجعه می کنیم و اگر $G = P$ باشد، از اتصال نزدیک استفاده می کنیم. در این مثال، برای ۴ قطب در هر فاز، ۲ گروه کلاف وجود دارد. بنابراین تعداد گروه کلافها برابر با نصف تعداد قطبهاست و اتصال گروه کلافها از نوع نزدیک است ($G = P$).

برای قطب سازی، معمولاً یک لحظه از منحنی سه فاز را که تغذیه کننده موتور است، در نظر می گیرند و با توجه به موقعیت فازها، جریانهای مثبت را ورودی (درونسو) با علامت \otimes و جریانهای منفی را خروجی (برونسو) با علامت \odot منظور می کنیم. فرض می کنیم در موقعیت $\omega t = 120^\circ$ ، منحنی سه فاز قرار گرفته ایم که فاز L_1 و L_2 در نیم سیکل مثبت قرار گرفته و جریانهای درونسو تولید می کنند و فاز L_3 نیز در نیم سیکل منفی قرار دارد و جریان برونسو برقرار می کند (شکل ۱-۳۳).

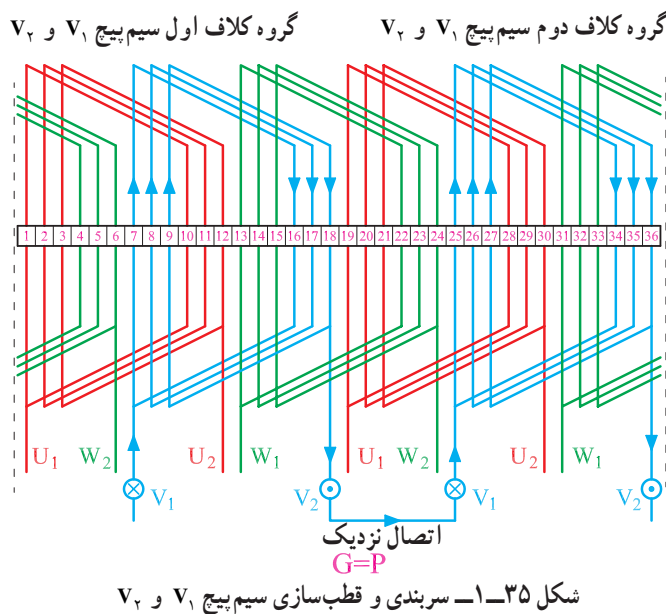


شکل ۱-۳۳

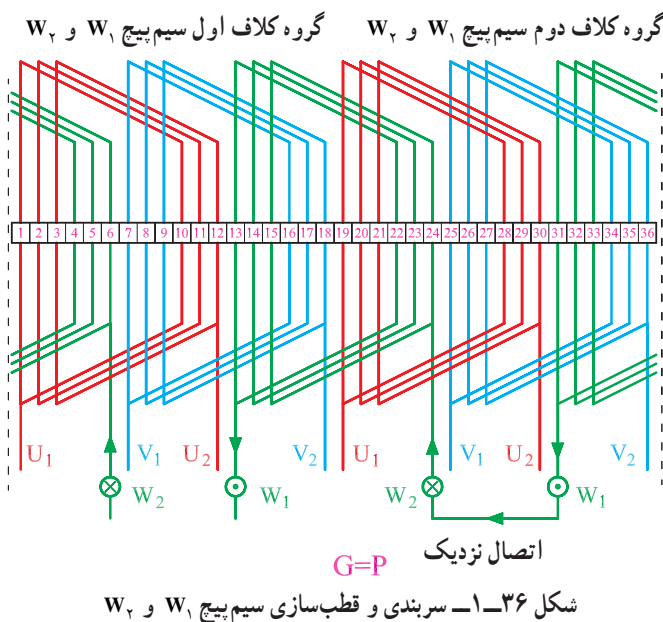
سربندی گروه کلاف‌های سیم‌پیچ U_1 و U_2 با اتصال نزدیک در سیم‌بندی کلاف مساوی، مطابق شکل ۱-۳۴ است. مشاهده می‌شود که انتهای گروه کلاف اول سیم‌پیچ U_1 و U_2 که از شیار ۱۲ خارج شده است، به ابتدای گروه کلاف دوم این سیم‌پیچ که از شیار شماره ۱۹ وارد می‌شود، وصل شده است. در واقع، اتصال ته به سر صورت گرفته که آن را اتصال نزدیک می‌نامیم.



سربندی گروه کلاف‌های سیم‌پیچ V_1 و V_2 به صورت شکل ۱-۳۵ انجام می‌شود. گروه اول، از شیار ۷ وارد شده، از شیار ۱۹ خارج می‌شوند و در شیار ۲۵ به ابتدای گروه کلاف دوم سیم‌پیچ V_1 و V_2 وصل می‌شوند. در نهایت ورودی سیم‌پیچ V_1 و V_2 از شیار ۷ شروع شده و خروجی آن از شیار ۳۶ بیرون می‌آید.

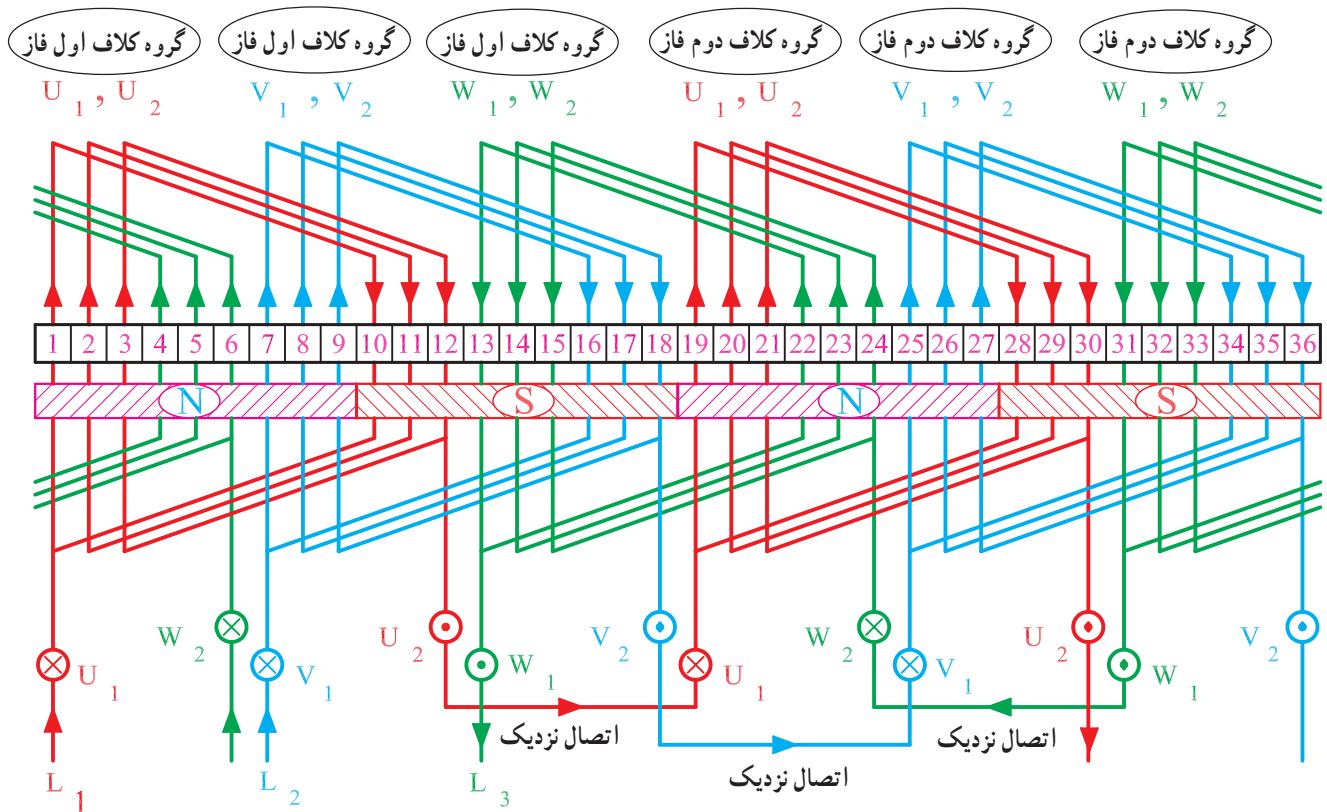


سربندی گروه کلاف‌های سیم‌پیچ W_1 و W_2 به صورت شکل ۱-۳۶ انجام می‌شود. گروه اول از شیار ۱۳ وارد شده از شیار ۲۴ خارج می‌شود و در شیار ۳۳ به ابتدای گروه کلاف دوم سریچ W_1 و W_2 وصل می‌شود. در نهایت، ورودی سیم‌پیچ W_1 و W_2 از شیار ۱۳ شروع شده و خروجی آن از شیار ۶ بیرون می‌آید.



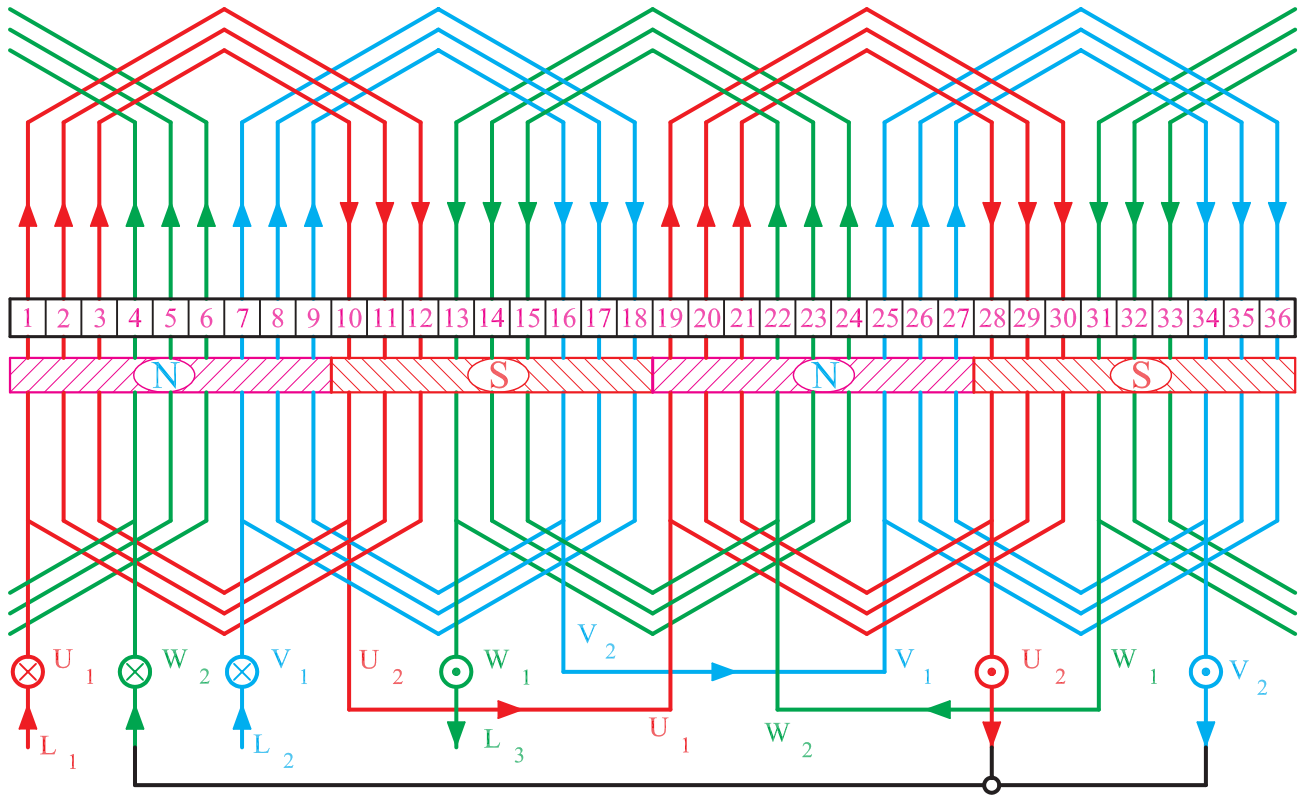
در شکل ۳۷-۱ سربندی کامل سیم پیچی موتور به صورت کلاف مساوی نشان داده شده است. در این شکل، ارتباط گروه کلاف های سه فاز در یک جا نشان داده است. ورودی برق سه فاز L_1, L_2, L_3 به U_1, V_1, W_1 متصل شده است. در این شکل، موقعیت $L_3 < 0^\circ$ ، $L_2 > 0^\circ$ و $L_1 > 0^\circ$ است و از آنجا که جهت جریان بازوها در شیارها ۱ تا ۹ یکی است یک قطب را می سازند به این ترتیب، بازوهای شیارهای ۱۰ تا ۱۸ و ۱۹ تا ۲۷ و ۲۸ تا ۳۶ نیز در تشکیل قطب ها شرکت می کنند و در مجموع ۴ قطب در سطح استاتور ایجاد می شود که ۲ برابر تعداد گروه کلاف ها در هر فاز است.

نکته: هنگام سیم بندی به گروه های کلاف توجه کنید

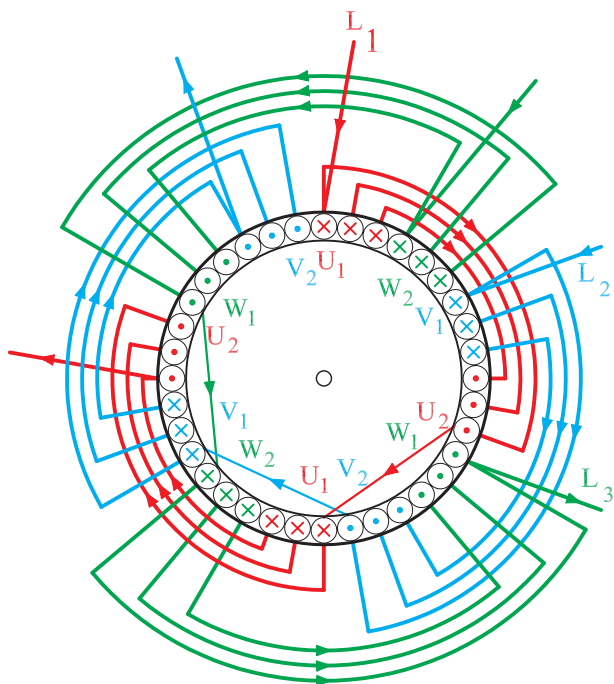


شکل ۳۷-۱ سربندی و قطب سازی کامل سه فاز یک موتور ۳۶ شیار ۴ قطب با سیم پیچ های گام مساوی

شکل ۳۸-۱ سربندی و قطب‌سازی کامل موتور سه‌فاز
 ۳۶ شیار ۴ قطب با اتصال نزدیک به روش ترسیم ۶ ضلعی را با
 سیم‌پیچی کلاف متحد‌المركز نشان می‌دهد. در این شکل، بازوهای
 موجود در شیارهای ۱ تا ۹ قطب N، ۱۰ تا ۱۸ قطب S، ۱۹ تا
 ۲۷ قطب N و شیارهای ۲۷ تا ۳۶ قطب S را تشکیل می‌دهند.
 در مجموع، ۴ قطب در سطح استاتور تشکیل می‌شود.

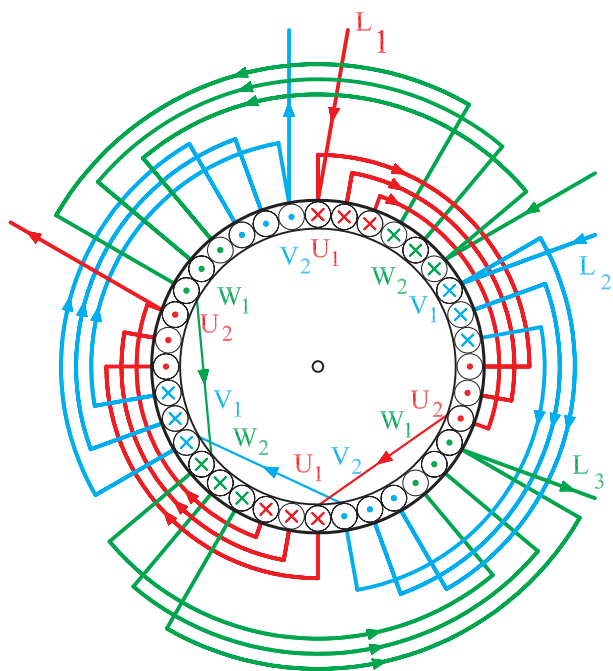


شکل ۳۸-۱- سربندی و قطب‌سازی کامل سه‌فاز یک موتور ۴ قطب ۳۶ شیار با سیم‌پیچ‌های متحد‌المركز (گام نامساوی)



شکل ۱-۳۹

شکل ۱-۳۹ دیاگرام کامل سیم‌بندی موتور سه‌فاز ۳۶
شیار ۴ قطب را با اتصال نزدیک به روش دیاگرام مدور کلاف
مساوی نشان می‌دهد. جریان ورودی یا درون‌سو با علامت \otimes و
جریان‌های برون‌سو با علامت \odot نشان داده شده است.



شکل ۱-۴۰

شکل ۱-۴۰ دیاگرام کامل سیم‌بندی موتور سه‌فاز ۳۶
شیار ۴ قطب را با اتصال نزدیک به روش دیاگرام مدور با کلاف
متحدالمرکز نشان می‌دهد.

مثال: موتوری سه فاز ۲۴ شیار و ۴ قطب مفروض است.
دیاگرام سیم‌بندی این موتور را برای حالت‌های کلاف مساوی
۶ ضلعی و متحد‌المركز مدور رسم کنید.

حل:

— محاسبات $Z=24$, $m=3$, $2P=4$

$$Y_P = \frac{Z}{2P} = \frac{24}{4} = 6 , \quad q = \frac{Z}{2P \cdot m} = \frac{24}{4 \times 3} = 2$$

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times 36^\circ}{Z} = \frac{2 \times 36^\circ}{24} = 3^\circ$$

$U_1 = 1$ شروع فاز

$V_1 = 1 + \frac{12^\circ}{3^\circ} = 5$ شروع فاز

$W_1 = 1 + \frac{24^\circ}{3^\circ} = 9$ شروع فاز

| $\frac{2m}{2p}$ | U_1 | U_2 | V_1 | V_2 | W_1 | W_2 |
|-----------------|---------------|---------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 ↓ 7 | 2 ↓ 8 | 5 | 6 | 9 | 10 |
| | | | 11 | 12 | 15 | 16 |
| | 13 ↓ 19 | 14 ↓ 20 | 17 | 18 | 21 | 22 |
| | | | 23 | 24 | 3 | 4 |

(الف)

| $\frac{2m}{2p}$ | U_1 | U_2 | V_1 | V_2 | W_1 | W_2 |
|-----------------|-------|-------|---------------|---------------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 5 ↓ 11 | 6 ↓ 12 | 9 | 10 |
| | 7 | 8 | | | 15 | 16 |
| | 13 | 14 | 17 ↓ 23 | 18 ↓ 24 | 21 | 22 |
| | 19 | 20 | | | 3 | 4 |

(ب)

تشکیل جدول

چون $q=2$ است، هر فاز دو ستون خواهد داشت و
چون $Y_P=6$ است هر ردیف از ردیف بالایی ۶ شیار فاصله
دارد.

جدول الف (شکل ۱-۴۱) ارتباط گروه کلاف‌های فاز
 U_1 و $6U_2$ جدول ب شکل ۱-۴۱ ارتباط گروه کلاف‌های فاز
 V_1 و $6V_2$ و جدول ج شکل ۱-۴۱ ارتباط گروه کلاف‌های فاز
 W_1 و $6W_2$ را نشان می‌دهد.

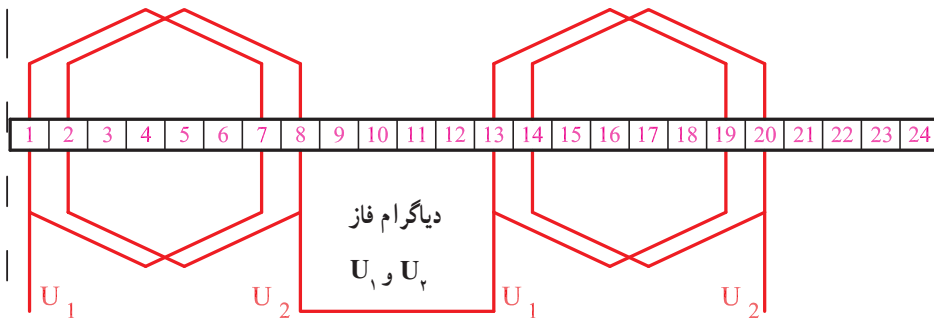
| $\frac{2m}{2p}$ | U_1 | U_2 | V_1 | V_2 | W_1 | W_2 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|--------------|---------------|
| | 1 | 2 | 5 | 6 | 9 ↓ 15 | 10 ↓ 16 |
| | 7 | 8 | 11 | 12 | | |
| | 13 | 14 | 17 | 18 | 21 ↓ 3 | 22 ↓ 4 |
| | 19 | 20 | 23 | 24 | | |

(ج)

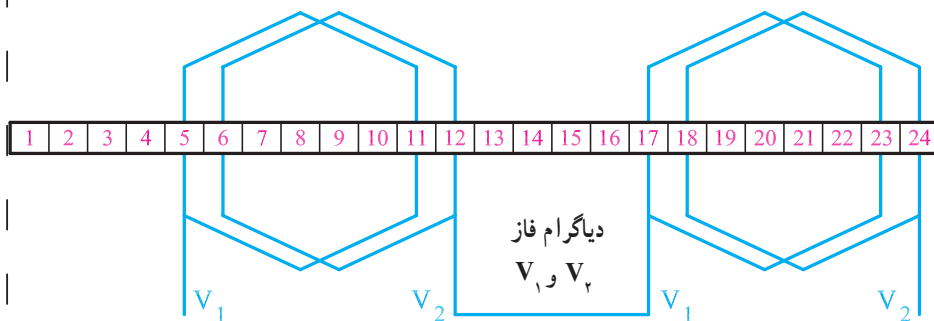
شکل ۱-۴۱

رسم دیاگرام سیم پیچی
 دیاگرام فازها، به تنهایی و یکجا در قسمت الف تا د شکل
 ۱-۴۲ نشان داده شده است.

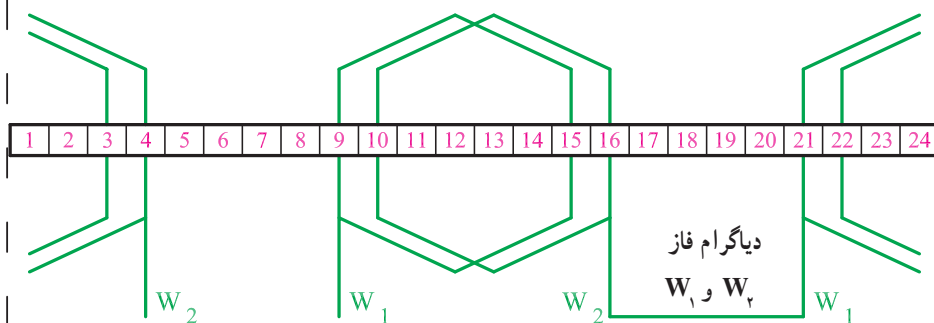
الف- دیاگرام سیم پیچ U_1 و U_2
 (فاز اول)



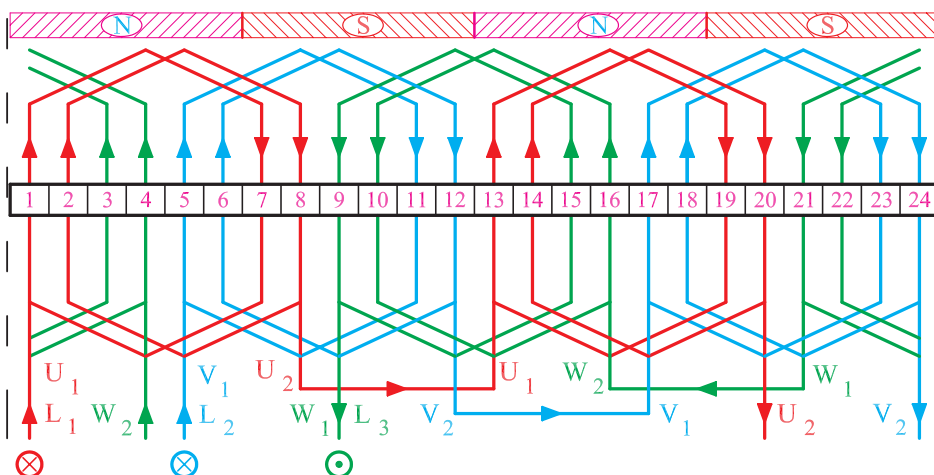
ب- دیاگرام سیم پیچ V_1 و V_2 (فاز دوم)



ج- دیاگرام سیم پیچ W_1 و W_2 (فاز سوم)



د- دیاگرام کامل موتور سه فاز ۲۴ شیار
 یک طبقه با سیم پیچی کلاف مساوی با
 ترسیم ۶ ضلعی



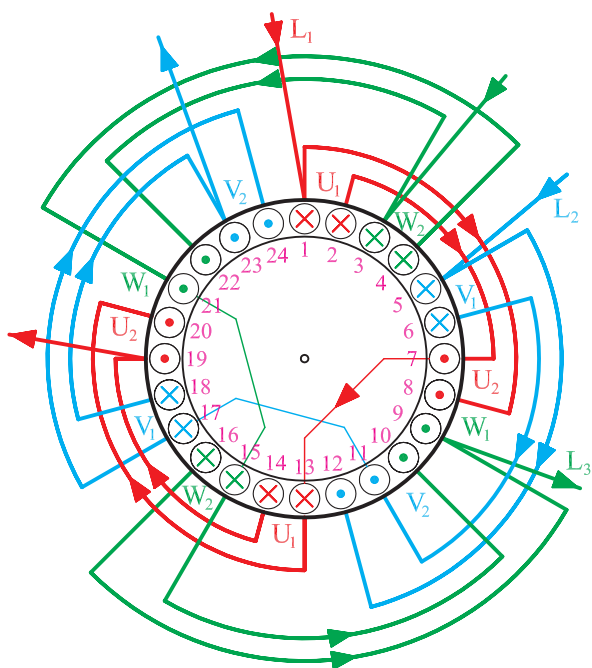
شکل ۱-۴۲

| $\begin{smallmatrix} 2m \\ 2p \end{smallmatrix}$ | U_1 | U_2 | V_1 | V_2 | W_1 | W_2 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 5 | 6 | 9 | 10 |
| | 7 | 8 | 11 | 12 | 15 | 16 |
| | 13 | 14 | 17 | 18 | 21 | 22 |
| | 19 | 20 | 23 | 24 | 3 | 4 |

رسم دیاگرام مدور متحدالمركز

اگر هدایت بازوی کلاف‌ها را در فاز U_1 و U_2 ، از ۱ به ۸، ۲ به ۷، ۱۳ به ۲۰ و ۱۴ به ۱۹ و در فازهای بعدی مطابق جدول شکل ۱-۴۳ انجام دهیم، سیم‌بندی به صورت متحدالمركز انجام می‌شود.

شکل ۱-۴۳- جدول سیم‌بندی موتور سه فاز ۲۴ شیار ۴ قطب متحدالمركز



دیاگرام مدور سیم‌بندی متحدالمركز به صورت شکل ۱-۴۴

ترسیم می‌شود.

شکل ۱-۴۴- دیاگرام مدور موتور سه فاز ۲۴ شیار ۴ قطب متحدالمركز

۷-۱- سیم‌بندی یک طبقه با گام کسری (سیم‌بندی به ازای قطب)

سیم‌بندی به ازای قطب، تعداد گروه کلاف‌ها برابر تعداد قطب‌هاست. در این نوع سیم‌بندی، گرچه گام سیم‌بندی کسری بوده و مقدار کسری گام، به اندازه $\frac{q}{p}$ است، اما هدف اصلی توزیع سیم‌پیچ مربوط به هر فاز در سطح استاتور است تا بهتر تهویه شود. این نوع سیم‌بندی، بیشتر مزایای سیم‌بندی گام کسری را دارد. از این نوع سیم‌بندی بیشتر در موتورهای ۲ قطب و q های زوج استفاده می‌شود. طراحی با q های فرد، خارج از بحث ماست. به این طریق، گام سیم‌بندی کوتاه شده و فرم آن شکل‌تر می‌شود و از تلفات اهمی بیشتر، جلوگیری می‌شود. مراحل رسم دیاگرام نظیر مراحل سیم‌بندی به ازای جفت قطب‌هاست.

تشکیل جدول:

به تعداد فازها، ستون و به تعداد قطب‌ها، ردیف باز می‌کنیم.

| $\begin{smallmatrix} 2m \\ 2P \end{smallmatrix}$ | U_1 | U_2 | V_1 | V_2 | W_1 | W_2 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | | | |
| | | | | | | |

هر ستون را به دو ستون فرعی تقسیم می‌کنیم.

| $\begin{smallmatrix} 2m \\ 2P \end{smallmatrix}$ | U_1 | U_2 | V_1 | V_2 | W_1 | W_2 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | | | |
| | | | | | | |

هر ستون فرعی را به $\frac{q}{p}$ ستون کوچک تقسیم می‌کنیم.

| $\begin{smallmatrix} 2m \\ 2P \end{smallmatrix}$ | U_1 | U_2 | V_1 | V_2 | W_1 | W_2 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | | | |
| | | | | | | |

$$\frac{q}{2} = 2$$

در ستون فرعی سمت چپ هر فاز، از شروع فازها به

تعداد $\frac{q}{p}$ عدد متوالی می‌نویسیم.

| $\begin{smallmatrix} 2m \\ 2P \end{smallmatrix}$ | U_1 | U_2 | V_1 | V_2 | W_1 | W_2 |
|--|-------|-------|--------|-------|---------|-------|
| | 1 2 | | 9 10 | | 17 18 | |
| | | | | | | |

مثال: دیاگرام سیم‌بندی الکتروموتور ۲۴ شیار ۲ قطب سه فاز را به ازای قطب طرح و رسم کنید.
محاسبات:

$$Z = 24, \quad 2P = 2, \quad m = 3$$

$$Y_Z = \frac{Z}{2P} = \frac{24}{2} = 12$$

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times 360}{Z} = \frac{1 \times 360}{24} = 15^\circ$$

$$q = \frac{Z}{2P \cdot m} = \frac{24}{2 \times 3} = 4$$

$$U_1 = 1 \text{ شروع فاز}$$

$$V_1 = 1 + \frac{12^\circ}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{12^\circ}{15} = 9 \text{ شروع فاز}$$

$$W_1 = 1 + \frac{24^\circ}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{12^\circ}{15} = 17 \text{ شروع فاز}$$

کسری گام، به اندازه $\frac{q}{p} = \frac{4}{2} = 2$ شیار خواهد بود.

بنابراین، می‌توان نوشت:

$$Y_Z = Y_P - \frac{q}{p} = 12 - 2 = 10 \quad \text{گام سیم‌بندی:}$$

$$Y_P = \frac{Z}{2P} = \frac{24}{2} = 12 \quad \text{گام قطبی:}$$

| $\begin{smallmatrix} m \\ 2P \end{smallmatrix}$ | U_1 | U_2 |
|---|-------|-------|
| | 1 2 | 23 24 |
| | 13 14 | 11 12 |

الف — هدایت بازوی کلاف‌ها در شیارهای مربوط به فاز U_1 و U_2

| $\begin{smallmatrix} m \\ 2P \end{smallmatrix}$ | V_1 | V_2 |
|---|-------|-------|
| | 9 10 | 7 8 |
| | 21 22 | 19 20 |

ب — هدایت بازوی کلاف‌ها در شیارهای مربوط به فاز V_1 و V_2

| $\begin{smallmatrix} m \\ 2P \end{smallmatrix}$ | W_1 | W_2 |
|---|-------|-------|
| | 17 18 | 15 16 |
| | 5 6 | 3 4 |

ج — هدایت بازوی کلاف‌ها در شیارهای مربوط به فاز W_1 و W_2

شکل ۴۵-۱

برای تکمیل جدول، ستون فرعی سمت راست هر فاز را به کمک گام سیم‌بندی و سطرهای فرعی هر فاز را با گام قطبی تکمیل می‌کنیم. مثلاً، برای فاز U_1 و U_2 می‌توانیم به ترتیب زیر عمل کنیم:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ستون اول} \quad 1+12=13 \\ \text{ستون دوم} \quad 2+12=14 \end{array} \right. \quad \text{سطر فرعی سمت چپ}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ستون اول} \quad 1+10=11 \\ \text{ستون دوم} \quad 2+10=12 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{ستون فرعی} \\ \text{سمت راست سطر دوم} \end{array}$$

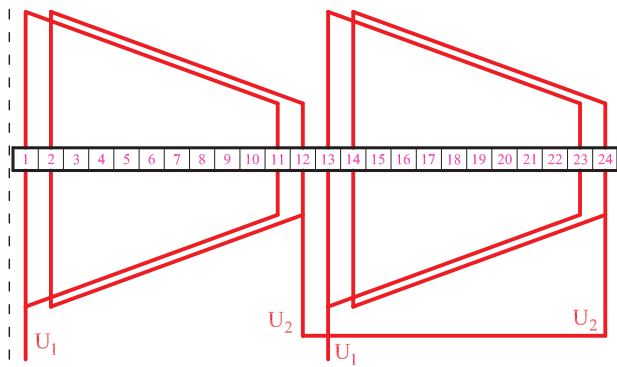
به همین ترتیب می‌توان جداول را برای تمام سیم‌پیچ‌ها تکمیل

کرد. محل بازوهای سیم‌پیچ‌های U_1 و U_2 ، V_1 و V_2 ، W_1 و W_2 در جداول الف تا ج شکل ۴۵-۱ به‌طور کامل نشان داده شده است.

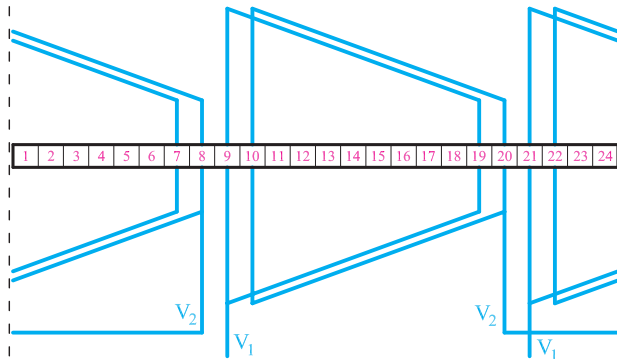
رسم دیاگرام سیم‌بندی

در شکل ۱-۴۶ دیاگرام سیم‌بندی کلاف مساوی این موتور، به روش ذوزنقه‌ای رسم شده است. در این شکل ابتدا کلاف‌های مربوط به هر فاز به‌طور جداگانه و سپس کلاف‌های هر سه فاز همراه با قطب‌بندی به‌طور کامل رسم شده است.

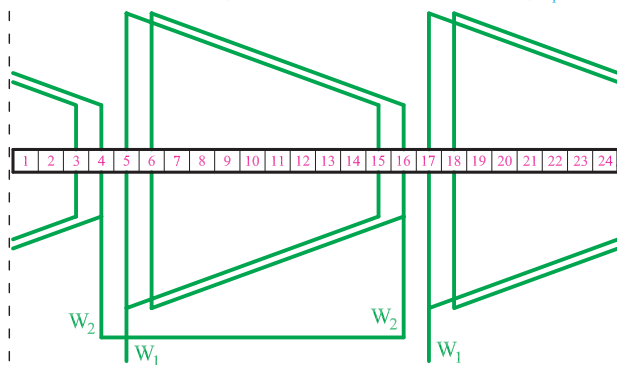
الف - کلاف‌های فاز اول



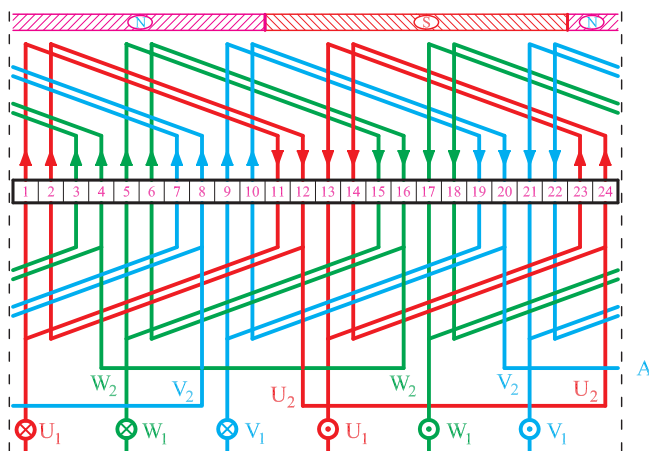
ب - کلاف‌های فاز دوم



ج - کلاف‌های فاز سوم



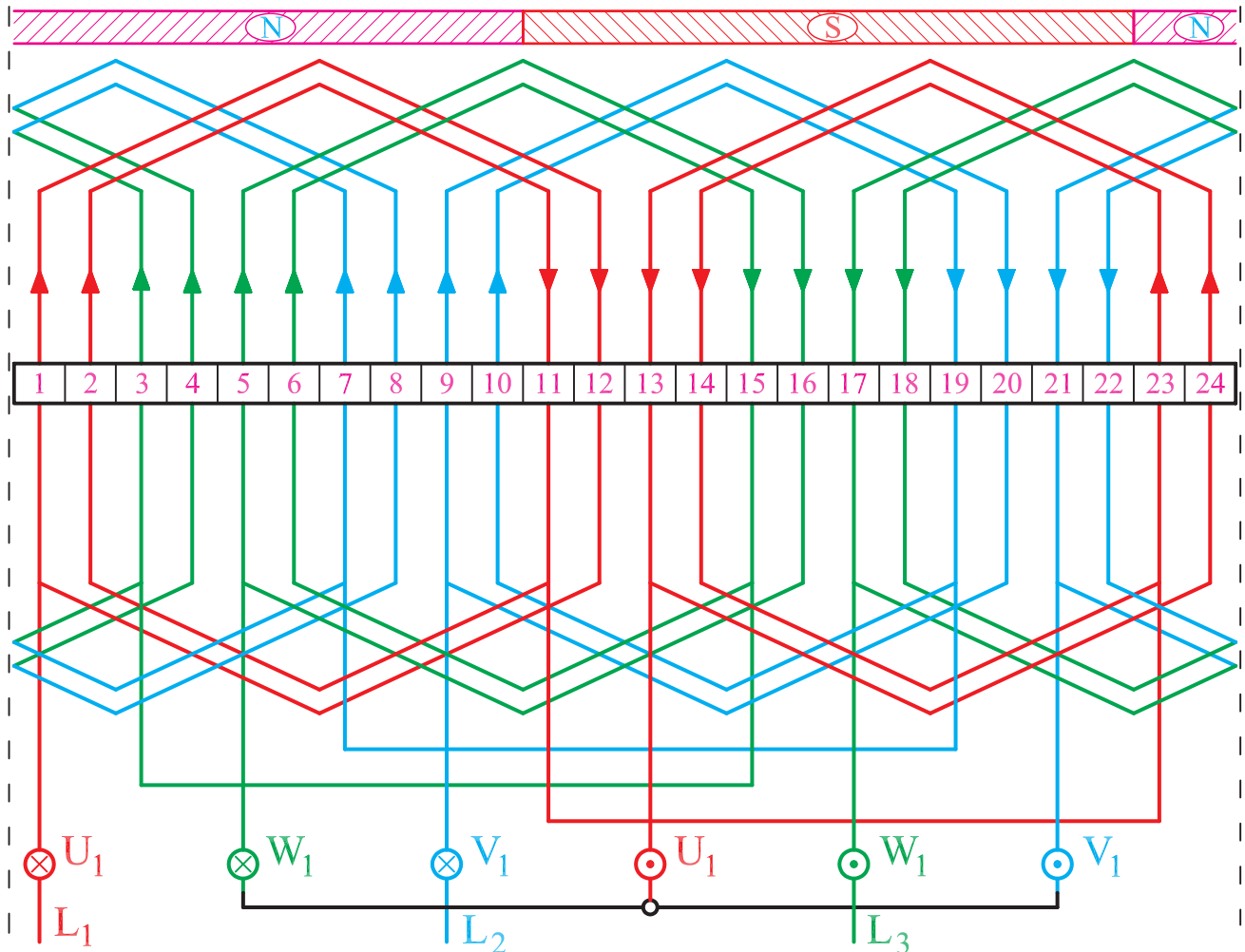
د - سیم‌بندی کامل موتور



شکل ۱-۴۶- دیاگرام سیم‌بندی موتور سه فاز ۲۴ شیار یک طبقه ۲ قطب به ازای قطب اتصال دور

برای تعیین قطبها، لحظه‌ای در نظر گرفته شده که در آن $L_1 > 0$ ، $L_2 > 0$ و $L_3 < 0$ است.

سیم‌بندی موتور ۲۴ شیار ۲ قطب را می‌توان به صورت متحدالمرکز نیز انجام داد. شکل ۱-۴۷ دیاگرام سیم‌بندی این موتور را به صورت متحدالمرکز نشان می‌دهد. کلاف‌ها به شکل ۶ ضلعی رسم شده‌اند. عملکرد این موتور با موتور دارای سیم‌بندی کلاف مساوی شکل ۱-۴۷ تفاوتی ندارد.



شکل ۱-۴۷- دیاگرام سیم‌بندی موتور ۲۴ شیار ۲ قطب به ازای قطب متحدالمرکز به روش ترسیم ۶ ضلعی

۸-۱- کارهای عملی ۱

۱-۸-۱- کار عملی ۱

زمان: ۱۰ ساعت (زمان اختصاص داده شده برای انجام تمرین‌های اضافی و کسب مهارت بیشتر است)

هدف: محاسبه و ترسیم دیاگرام سیم‌بندی موتور سه‌فاز یک طبقه یک سرعته

نکات ایمنی: روشنایی مناسب را روی میز کار فراهم کنید (شدت روشنایی ۳۰۰ تا ۵۰۰ لوکس مناسب است). از میز و صندلی استاندارد نقشه‌کشی استفاده کنید.

وسایل و ابزار مورد نیاز

۱. کاغذ معمولی برای محاسبات و جداول (۲ برگ)
۲. کاغذ A سفید یا شطرنجی (یک برگ)
۳. خط‌کش ۳۰ Cm یک عدد
۴. مداد در چهار رنگ
۵. مداد تراش و پاک‌کن یک عدد
۶. پرگار یک عدد
۷. شابلون دایره و شابلون حروف انگلیسی هر کدام یک عدد

۸. گونیا یک عدد

۹. نقاله یک عدد

۱۰. میز کار یک عدد

دیاگرام سیم‌بندی استاتور موتور سه‌فاز ۲۴ شیار ۸ قطب را به صورت یک طبقه به ازای جفت قطب ($G = P$) محاسبه و رسم کنید.

مراحل کار

۱. مشخصات موتور را از صورت مسئله استخراج کرده و آن‌ها را با روابط مربوطه بنویسید. $Z = ۲p = ۲m = G = P$
۲. گام قطبی را به دست آورید.

$$Y_P = \frac{Z}{2P}$$

۳. زاویه الکتریکی را به دست آورید.

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times 360}{Z}$$

۴. تعداد شیارهای هر فاز زیر هر قطب را تعیین کنید.

$$q = \frac{Z}{2p.m}$$

۵. شیارهای شروع هر فاز را مشخص کنید.

$$U_1 = 1$$

$$V_1 = 1 + \frac{12^\circ}{\alpha_{ez}}$$

$$W_1 = 1 + \frac{24^\circ}{\alpha_{ez}}$$

۶. جدولی تشکیل دهید که سه ستون و ۸ ردیف داشته

باشد.

۷. شماره‌های شروع هر فاز را در جدول بنویسید.

۸. ردیف‌های بعدی را با افزودن یک گام قطبی به مقدار

بالا تر خود کامل کنید.

۹. ۲۴ خانه به ابعاد $7 \times 1 \text{ cm}$ در کنار هم رسم کنید.

۱۰. دیاگرام فاز U_1 و U_2 را رسم کرده و سربندی آن را انجام دهید.

۱۱. دیاگرام فاز V_1 و V_2 را در کنار فاز L_1 و L_2 کامل کنید.

۱۲. دیاگرام فاز W_1 و W_2 را در کنار فازهای U_1 و U_2 رسم کنید. فازها را در موقعیت $L_3 < 0^\circ$ ، $L_3 > 0^\circ$ و $L_3 = 0^\circ$ قرار دهید. دیاگرام را تکمیل کنید و قطب‌های آن را مشخص کنید.

۲-۸-۱- کار عملی ۲

زمان: ۱۰ ساعت

هدف: محاسبه و ترسیم دیاگرام سیم‌بندی موتور سه‌فاز

یک طبقه یک سرعت

نکات ایمنی: روشنایی مناسب را روی میز کار فراهم

کنید (شدت روشنایی ۳۰۰ تا ۵۰۰ لوکس مناسب است). از میز و صندلی استاندارد نقشه‌کشی استفاده کنید.

وسایل و ابزار مورد نیاز

۱. کاغذ معمولی برای محاسبات و جداول (۲ برگ)

۲. کاغذ A4 سفید یا شطرنجی (یک برگ)

۳. خط‌کش ۳۰ Cm یک عدد

۴. مداد در چهار رنگ

۵. مداد تراش و پاک‌کن یک عدد

۶. پرگار یک عدد

۷. شابلون دایره و شابلون حروف انگلیسی، هر کدام یک

عدد

۸. گونیا یک عدد

۹. نقاله یک عدد

۱۰. میزکار یک عدد

دیاگرام سیم‌بندی استاتور موتور سه‌فاز ۳۶ شیار ۶ قطب

را به صورت یک طبقه به ازای جفت قطب ($G = P$) محاسبه و رسم کنید.

مراحل کار

۱. مشخصات موتور را از صورت مسئله استخراج کرده

و آن‌ها را با روابط مربوطه بنویسید.

۲. گام قطبی را به دست آورید.

۳. زاویه الکتریکی را به دست آورید.

۴. تعداد شیارهای هر فاز زیر هر قطب را تعیین کنید.

۵. شیارهای شروع هر فاز را مشخص کنید.

۶. جدولی تشکیل دهید که سه ستون و ۶ ردیف داشته باشد.

۷. هر ستون را به اندازه $q = 2$ ستون فرعی تقسیم کنید.

۸. با توجه به شروع فازها و گام قطبی، جدول سیم‌بندی را کامل کنید.

۹. سیم‌بندی را از نوع کلاف متحدالمرکز با روش ۶ ضلعی در نظر بگیرید. هدایت بازوها را در شیارهای هر فاز مشخص کنید.

۱۰. در طول ورق A4، ۳۶ خانه $7 \times 10 \text{ mm}$ در نظر بگیرید و دو خط برش در انتهای آن‌ها رسم کنید.

۱۱. دیاگرام فاز U_1 و U_2 را رسم کنید. با توجه به موقعیت $L_1 > 0$ ، جهت جریان در بازوهای کلاف‌ها را مشخص کنید.

۱۲. دیاگرام فاز V_1 و V_2 را در کنار فاز U_1 و U_2 رسم کنید و با توجه به موقعیت $L_2 > 0$ ، جهت جریان بازوهای فاز V_1 و V_2 را مشخص کنید.

۱۳. دیاگرام فاز W_1 و W_2 را در کنار ۲ فاز دیگر رسم کنید. مسیر جریان‌های فاز W_1 و W_2 را در موقعیت $L_3 < 0$ تعیین کنید. با توجه به جهت جریان‌های یکسان در بازوهای مجاور قطب‌سازی را انجام دهید.

هدف: محاسبه و ترسیم دیاگرام سیم‌بندی موتور سه‌فاز

یک طبقه یک سرعت

نکات ایمنی: روشنایی مناسب را روی میز کار فراهم

کنید (شدت روشنایی ۳۰۰ تا ۵۰۰ لوکس مناسب است). از میز و صندلی استاندارد نقشه‌کشی استفاده کنید.

وسایل و ابزار مورد نیاز

۱. کاغذ معمولی برای محاسبات و جداول (۲ برگ)

۲. کاغذ A4 سفید یا شطرنجی (یک برگ)

۳. خط‌کش ۳۰ Cm یک عدد

۴. مداد در چهار رنگ

۵. مداد تراش و پاک‌کن یک عدد

۶. پرگار یک عدد

۷. شابلون دایره و شابلون حروف انگلیسی، هر کدام یک

عدد

۸. گونیا یک عدد

۹. نقاله یک عدد

۱۰. میزکار یک عدد

دیاگرام سیم‌بندی استاتور موتور سه‌فاز ۲۴ شیار ۴ قطب

را به صورت یک طبقه به ازای قطب ($G = 2P$) محاسبه و رسم کنید.

مراحل کار

۱. مشخصات موتور را از صورت مسئله استخراج کرده

و آن‌ها را با روابط مربوطه بنویسید.

۲. گام قطبی را به دست آورید.

۳. زاویه الکتریکی را به دست آورید.

۴. تعداد شیارهای زیر هر قطب هر فاز را تعیین کنید.

۵. شیارهای شروع هر فاز را مشخص کنید.

۶. جدولی تشکیل دهید که ۳ ستون و ۴ ردیف داشته باشد.

۷. هر ستون را به $q = ۲$ ستون فرعی و هر ستون فرعی را به $\frac{q}{۲} = ۱$ ستون کوچک تقسیم کنید.

۸. در هر ردیف، در ستون‌های سمت چپ شیار شروع فاز

در نظر بگیرید و $\frac{q}{p} = 1$ عدد متوالی را در جدول بنویسید.

۹. بقیه ستون‌های سمت چپ هر فاز را با فاصله یک گام

قطبی کامل کنید.

۱۰. ستون‌های سمت راست هر فاز را با گام سیم‌بندی

$$Y_z = Y_p - \frac{q}{p} = 6 - 1 = 5 \text{ کامل کنید.}$$

۱۱. در طول کاغذ A4، ۲۴ خانه رسم کنید به طوری که

۷۵ درصد از طول کاغذ را پوشش دهند.

۱۲. دیاگرام فاز U_1 و U_2 را رسم کنید. با توجه به موقعیت $L_1 > 0$ ، جهت جریان در بازوهای کلاف‌ها را مشخص کنید.

۱۳. دیاگرام فاز V_1 و V_2 را در کنار فاز U_1 و U_2 رسم کنید. با توجه به موقعیت $L_2 > 0$ ، جهت جریان بازوهای فاز V_1 و V_2 را مشخص کنید.

۱۴. دیاگرام فاز W_1 و W_2 را در کنار ۲ فاز دیگر رسم کنید. مسیر جریان‌های فاز W_1 و W_2 را در موقعیت $L_3 < 0^\circ$ تعیین کنید. با توجه به جهت جریان‌های یکسان در بازوهای مجاور، قطب‌سازی را انجام دهید.

۱۵. دیاگرام مدور موتور سه فاز ۴ قطب ۲۴ شیار به ازای قطب را رسم کنید. براساس موقعیت $L_2 < 0^\circ$ و $L_2 > 0^\circ$ و $L_1 > 0^\circ$ مسیر جریان‌ها را تعیین کرده و قطب‌های سیم‌بندی را مشخص کنید.

۴-۸-۱- کار عملی ۴

زمان: ۱۰ ساعت

هدف: محاسبه و ترسیم دیاگرام سیم‌بندی موتور سه فاز یک طبقه یک سرعت

نکات ایمنی: روشنایی مناسب را روی میز کار فراهم کنید (شدت روشنایی ۳۰۰ تا ۵۰۰ لوکس مناسب است). از میز و صندلی استاندارد نقشه‌کشی استفاده کنید.

وسایل و ابزار مورد نیاز

- ۱- کاغذ معمولی برای محاسبات و جداول (۲ برگ)
- ۲- کاغذ A_4 سفید یا شطرنجی (یک برگ)
- ۳- خط‌کش ۳۰cm یک عدد
- ۴- مداد در چهار رنگ
- ۵- مداد تراش و پاک‌کن یک عدد
- ۶- پرگار یک عدد
- ۷- شابلون دایره و شابلون حروف انگلیسی، هر کدام یک عدد

۸- گونیا یک عدد

۹- نقاله یک عدد

۱۰- میز کار یک عدد.

دیاگرام سیم‌بندی استاتور موتور سه فاز ۳۶ شیار ۶ قطب را به صورت یک طبقه به ازای قطب ($G = 2P$) محاسبه و رسم کنید.

مراحل کار

- ۱- مشخصات موتور را از صورت مسئله استخراج کرده و آن‌ها را با روابط مربوطه بنویسید.
- ۲- گام قطبی را به دست آورید.

۳- زاویه الکتریکی را به دست آورید.

۴- تعداد شیارهای زیرقطب هرفاز را تعیین کنید.

۵- شیارهای شروع هرفاز را مشخص کنید.

۶- جدولی تشکیل دهید که ۳ ستون و ۶ ردیف داشته باشد.

۷- هر ستون را به $q = 2$ ستون فرعی تقسیم کرده و هر ستون فرعی را به $\frac{q}{p} = 1$ ستون کوچک تقسیم کنید.

۸- در هر ردیف، در ستون‌های سمت چپ شیار شروع هر فاز در نظر بگیرید و $\frac{q}{p} = 1$ عدد متوالی را در جدول بنویسید.

۹- بقیه ستون‌های سمت چپ هر فاز را با فاصله یک گام قطبی کامل کنید.

۱۰- ستون‌های سمت راست هر فاز را با گام سیم‌بندی کامل کنید. $Y_Z = Y_p - \frac{q}{4} = 6 - 1 = 5$

۱۱- در طول کاغذ A_4 ، ۳۶ خانه رسم کنید به طوری که ۷۵ درصد از طول کاغذ را پوشش دهد.

۱۲- دیاگرام سیم‌بندی فاز U_1 ، U_2 را رسم کرده و مسیر جریان را براساس $L_1 > 0$ مشخص کنید.

۱۳- دیاگرام سیم‌بندی فاز V_1 ، V_2 را در کنار فاز U_2 ، U_1 رسم کنید. براساس $L_2 > 0$ ، مسیر جریان را در فاز V_2 ، V_1 مشخص کنید.

۱۴- دیاگرام سیم‌بندی فاز W_1 ، W_2 را رسم کرده و قطب بندی موتور را کامل کنید.

محل رسم کار عملی



آزمون پایانی (۱)



- ۱- چگونه می‌توان تعداد طبقات سیم‌بندی استاتور یک الکتروموتور را تشخیص داد؟
- ۲- قاعده «دست راست» در زمینه تعیین جهت خطوط میدان مغناطیسی اطراف یک سیم جریان‌دار را بیان کنید.
- ۳- جریان برق متناوب سه فاز، چگونه در سطح استاتور حوزه دوار مغناطیسی ایجاد می‌کند.
- ۴- ارتباط سرعت حوزه دوار مغناطیسی در سطح استاتور با فرکانس جریان متناوب و تعداد قطب‌های موتور چگونه است؟
- ۵- از چه طریقی می‌توان در استاتور یک موتور سه فاز، میدان‌های ۲ قطبی، ۴ قطبی و ۶ قطبی ایجاد کرد؟
- ۶- سرعت گردش یک موتور ۶ قطب که با فرکانس ۵۰ هرتز و با لغزش ۸ درصد کار می‌کند چند دور در دقیقه است؟
- ۷- اصطلاحات: گام قطبی، محور قطبی، گام سیم‌بندی، زاویه الکتریکی شیارها را تعریف کرده و رابطه آنها را بنویسید.
- ۸- تعداد شیارهای زیر هر قطب هر فاز یک الکتروموتور ۴۸ شیار سه فاز ۴ قطب را به دست آورید.
- ۹- زاویه الکتریکی شیارهای پرسش شماره ۸ را به دست آورید.
- ۱۰- رابطه گام قطبی با گام سیم‌بندی در موتورهای الکتریکی دارای سیم‌بندی گام کامل و گام کسری را بیان کنید.
- ۱۱- شماره شروع فازهای یک موتور سه فاز ۴۸ شیار ۶ قطب را مشخص کنید.
- ۱۲- موارد کاربرد سیم‌بندی کلاف مساوی و کلاف متحدالمرکز را در موتورهای الکتریکی بیان کنید.
- ۱۳- سیم‌بندی به ازای جفت قطب و به ازای قطب را شرح دهید.
- ۱۴- اتصال کلاف‌های هر فاز در سیم‌بندی به ازای قطب و به ازای جفت قطب، چگونه است؟
- ۱۵- مزایا و کمبودهای سیم‌بندی گام کسری را بیان کنید.
- ۱۶- مراحل ترسیم دیاگرام سیم‌بندی استاتور یک موتور الکتریکی را بیان کنید.
- ۱۷- دیاگرام سیم‌بندی استاتور یک موتور ۳۶ شیار ۶ قطب سه فاز را به ازای جفت قطب، طرح و رسم کنید.
- ۱۸- دیاگرام سیم‌بندی استاتور یک موتور ۴۸ شیار ۴ قطب سه فاز را به ازای جفت قطب، طرح و رسم کنید.
- ۱۹- دیاگرام سیم‌بندی استاتور یک موتور ۴۸ شیار ۸ قطب سه فاز را به ازای قطب، طرح و رسم کنید.
- ۲۰- گام قطبی از تقسیم بر به دست می‌آید.
- ۲۱- دور یک موتور ۴ قطب با لغزش ۴ درصد در یک دقیقه کدام است؟
الف) ۱۵۰۰ (ب) ۱۴۶۰ (ج) ۱۱۴۰ (د) ۱۴۴۰



- ۲۲- زاویه الکتریکی بین شیارهای یک موتور ۶ قطب، 30° درجه است. زاویه مکانیکی بین شیارهای آن چند درجه است؟
- الف) 20° ب) 10° ج) 60° د) 90°
- ۲۳- لغزش در موتورهای آسنکرون، کوچکتر از و در موتورهای سنکرون، برابر با است.