

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 :

۱. محاسبات مربوط به رسم دیاگرام

۲. تشکیل جدول سیم بندی

۳. رسم دیاگرام

۴. سربندی و تشکیل قطب های سیم پیچی

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

شکل ۱-۲۰- تشکیل جدول سیم بندی

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.

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).

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

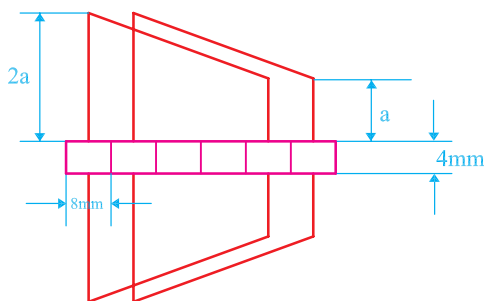
شکل ۱-۲۱- تقسیم ستون های هر فاز به  $q$  قسمت

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

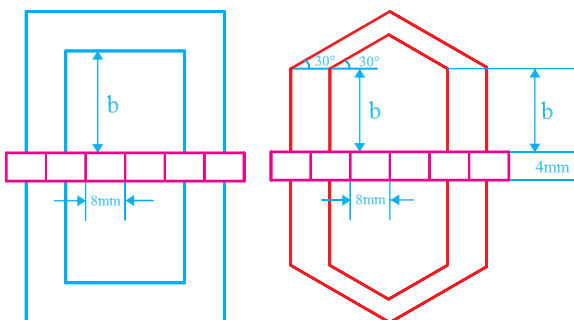
شکل ۱-۲۲- تعیین شیارهای شروع فازها

$\frac{2m}{2p}$	$U_1$ $U_2$			$V_1$ $V_2$			$W_1$ $W_2$		
	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:

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

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

$U_1$  شروع فاز  $\rightarrow 1$

$$V_1 \text{ شروع فاز} \rightarrow 1 + \frac{120}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{120}{2} = 7$$

$$W_1 \text{ شروع فاز} \rightarrow 1 + \frac{240}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{240}{2} = 13$$

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

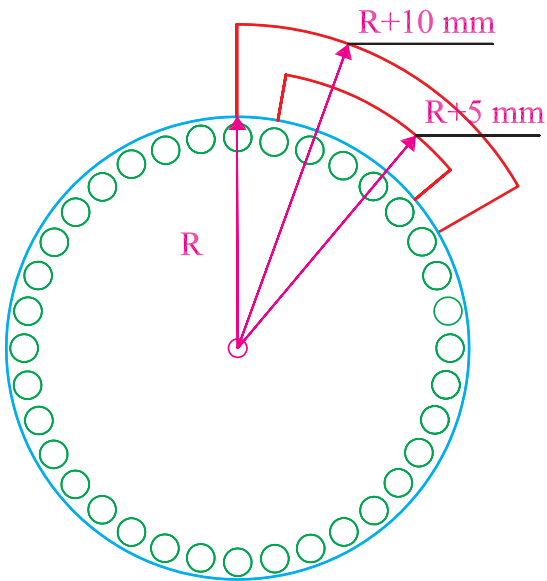
گام قطبی موتوری با مشخصات جدول (شکل ۱-۲۳) را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد و جدول را کامل کرد.

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

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.

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

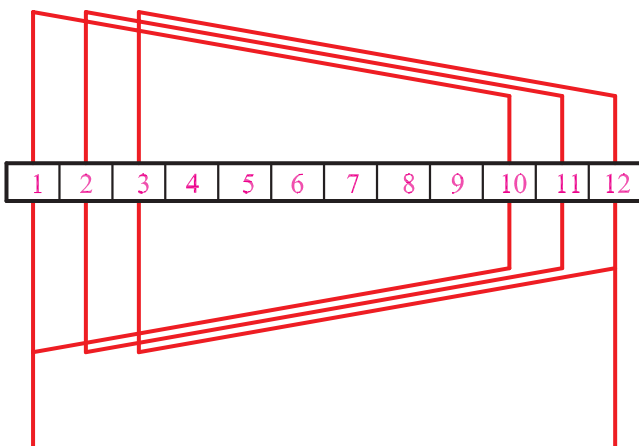


شکل ۱-۲۶- ابعاد پیشنهادی دیاگرام مدور

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

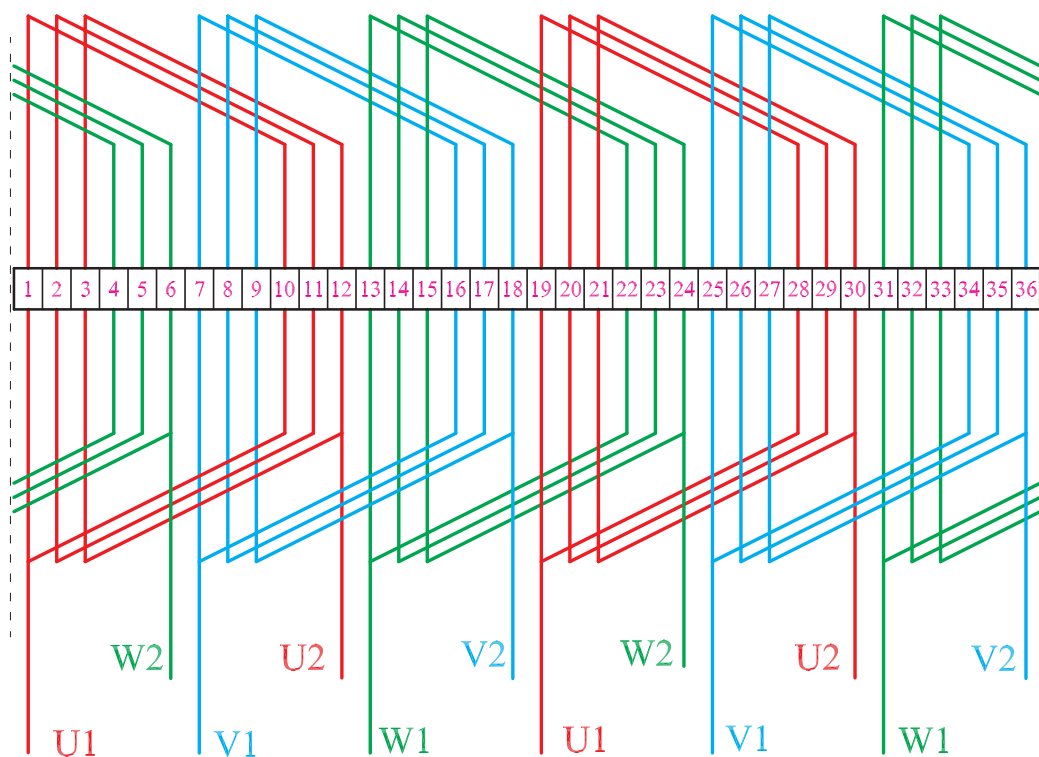
شکل ۱-۲۷

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 ۲۰، ۲۸ به ۲۹، ۲۰ به ۲۱ و ۲۱ به ۲۲ 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

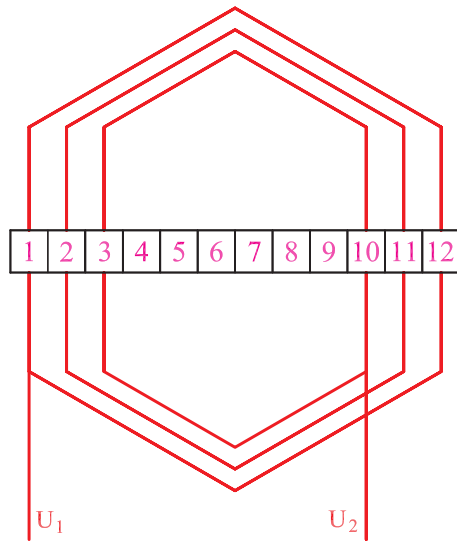
شکل ۱-۲۸- دیاگرام سیم‌بندی کلاف مساوی

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

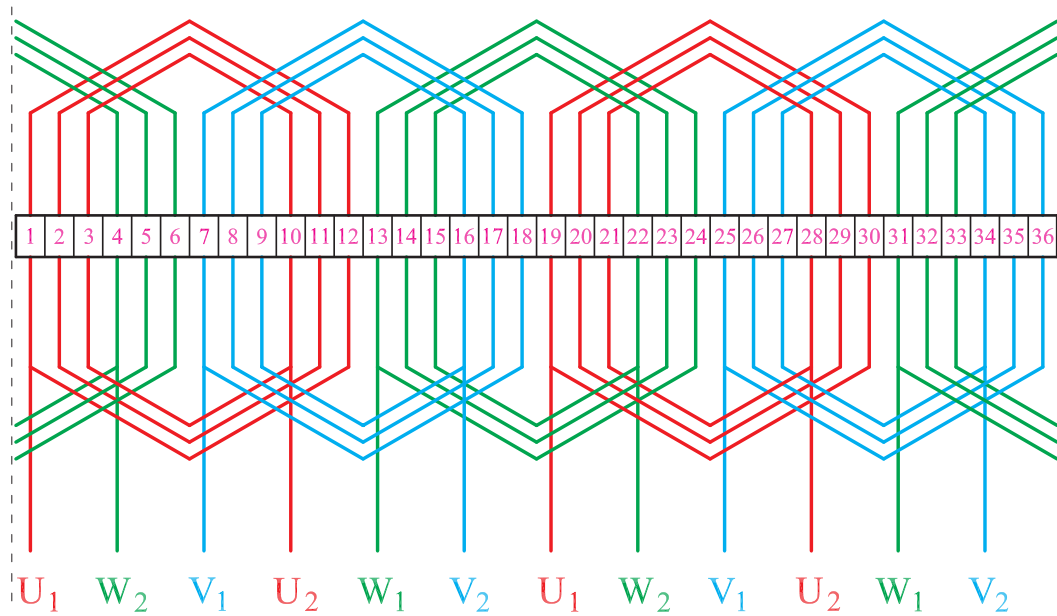
شکل ۱-۲۹

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 به 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.

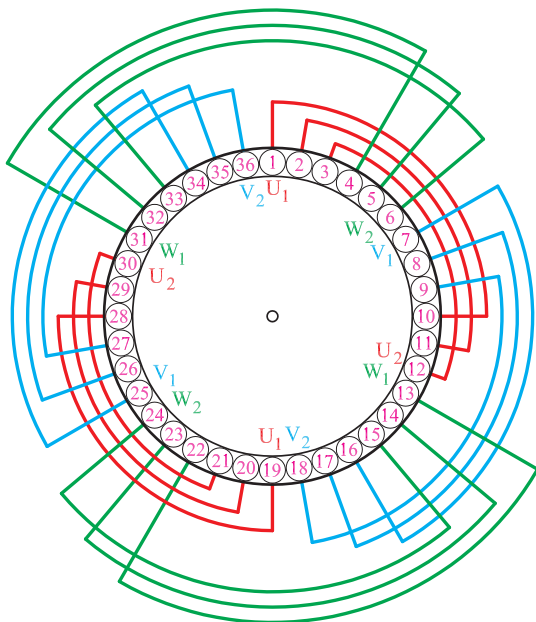
با در نظر گرفتن جدول شکل ۱-۲۹ موقعیت بازوی کلاف‌ها در هر سه فاز مطابق با شکل ۱-۳۰- ب خواهد شد.



شکل ۱-۳۰- الف - یک گروه کلاف



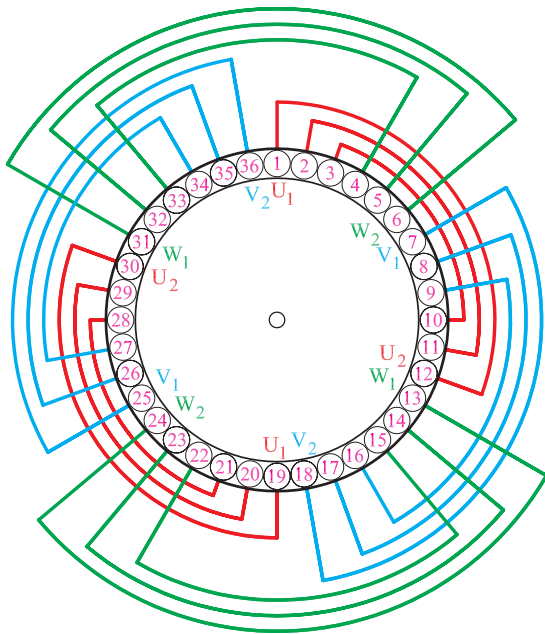
شکل ۱-۳۰- ب - تمام کلاف‌های دیاگرام مدور سیم‌بندی کلاف متحد‌المركز



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 می‌شود.

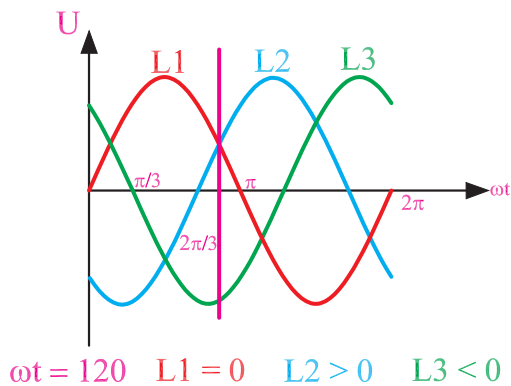


شکل ۱-۳۲- دیاگرام مدور کلاف متحدالمرکز

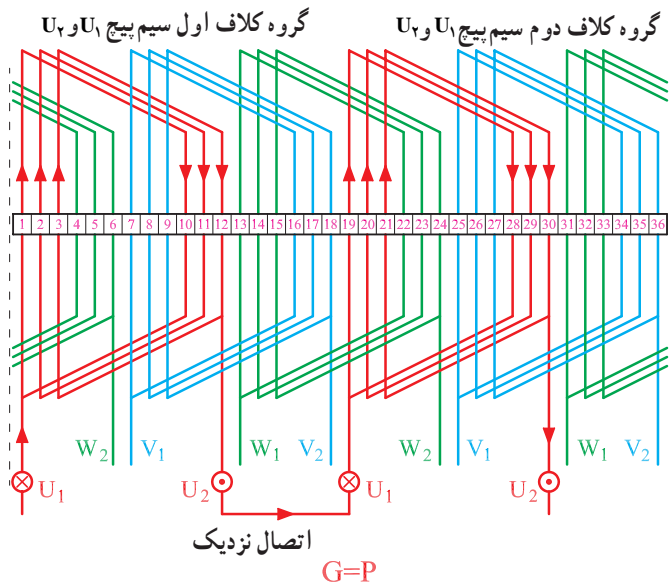
#### ۴-۶-۱- سربندی و تشکیل قطب‌ها: برای سربندی

گروه کلاف‌های هر فاز، به تعداد گروه کلاف‌ها در هر فاز مراجعه می‌کنیم و اگر  $G = P$  باشد، از اتصال نزدیک استفاده می‌کنیم. 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 قطب‌سازی، معمولاً یک لحظه از منحنی سه فاز را که تغذیه‌کننده موتور است، در نظر می‌گیرند و با توجه به موقعیت فازها، جریان‌های مثبت را ورودی (درونسو) با علامت  $\otimes$  و جریان‌های منفی را خروجی (برونسو) با علامت  $\odot$  منظور می‌کنیم. فرض می‌کنیم در موقعیت  $\omega t = 120^\circ$ ، منحنی سه فاز قرار گرفته‌ایم که فاز  $L_1$  و  $L_2$  در نیم‌سیکل مثبت قرار گرفته و جریان‌های درونسو تولید می‌کنند و فاز  $L_3$  نیز در نیم‌سیکل منفی قرار دارد و جریان برونسو برقرار می‌کند (شکل ۱-۳۳).

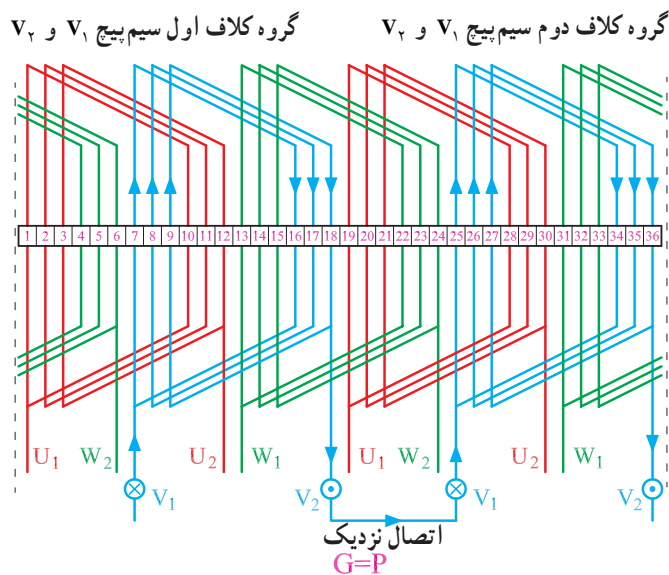


شکل ۱-۳۳



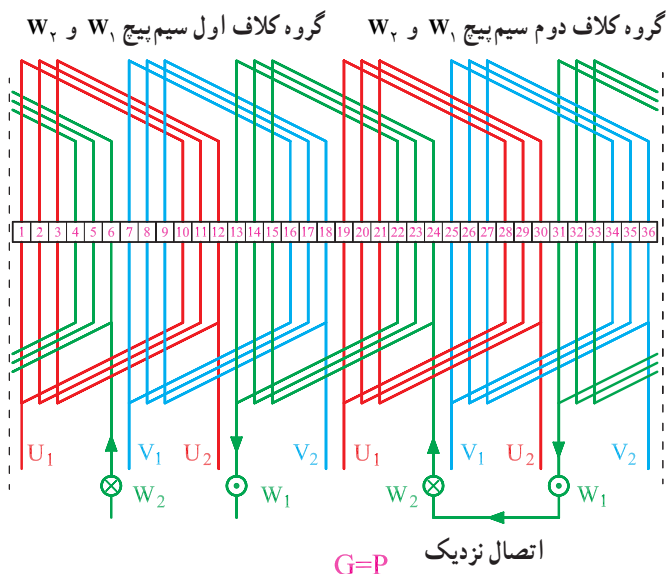
شکل ۱-۳۴ - سربندی و قطب‌سازی سیم پیچ  $U_1$  و  $U_2$

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



شکل ۱-۳۵ - سربندی و قطب‌سازی سیم پیچ  $V_1$  و  $V_2$

سربندی گروه کلاف‌های سیم پیچ  $V_1$  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 سیم پیچ  $V_1$  و  $V_2$  وصل می‌شوند. در نهایت ورودی سیم پیچ  $V_1$  و  $V_2$  از شیار ۷ شروع شده و خروجی آن از شیار ۳۶ بیرون می‌آید.

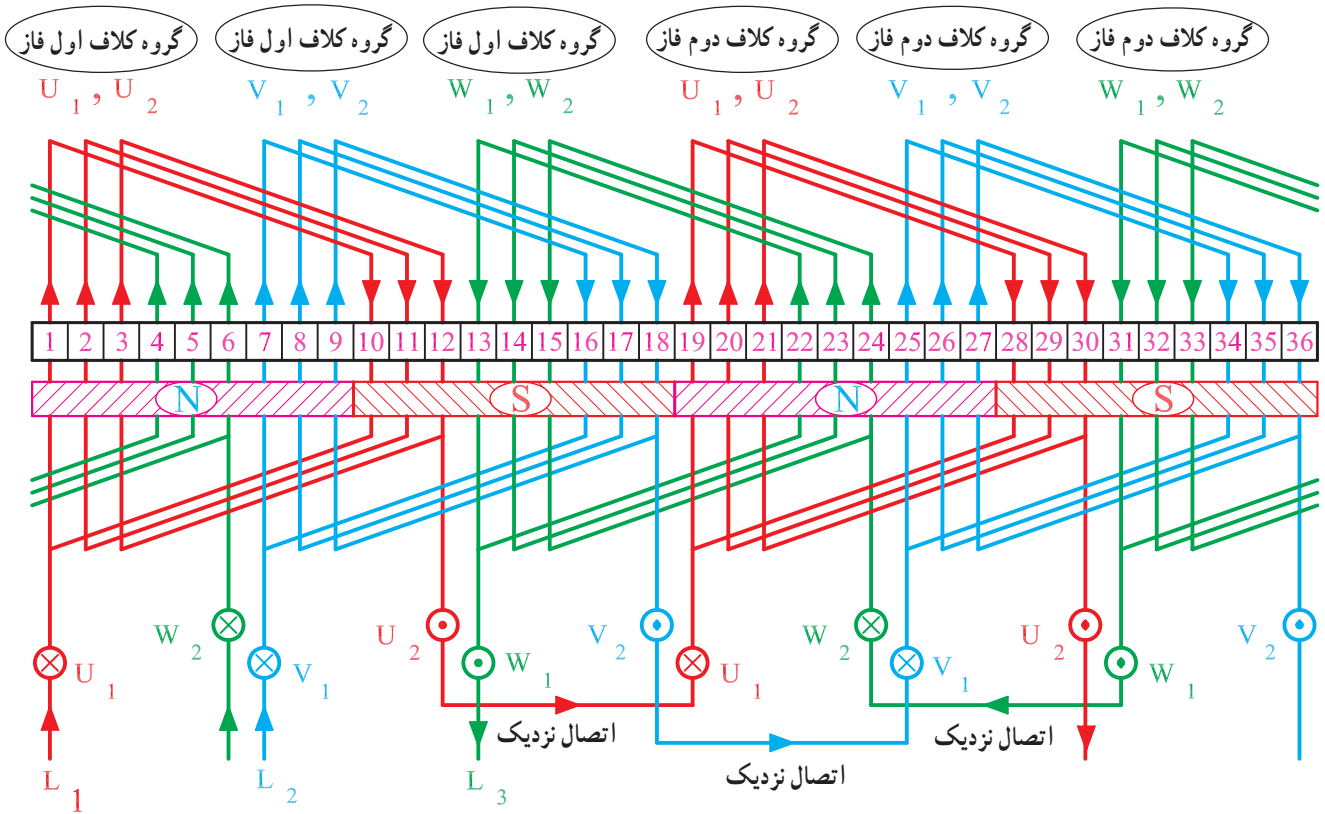


شکل ۱-۳۶ - سربندی و قطب‌سازی سیم پیچ  $W_1$  و  $W_2$

سربندی گروه کلاف‌های سیم پیچ  $W_1$  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 سیم پیچ  $W_1$  و  $W_2$  وصل می‌شود. در نهایت، ورودی سیم پیچ  $W_1$  و  $W_2$  از شیار ۱۳ شروع شده و خروجی آن از شیار ۶ بیرون می‌آید.

در شکل ۱-۳۷ سربندی کامل سیم پیچی موتور به صورت کلاف مساوی نشان داده شده است. در این شکل، ارتباط گروه کلاف‌های 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 می‌سازند به این ترتیب، بازوهای شیارهای ۱۰ تا ۱۸ و ۱۹ تا ۲۷ و ۲۸ تا ۳۶ نیز در تشکیل قطب‌ها شرکت می‌کنند و در مجموع ۴ قطب در سطح استاتور ایجاد می‌شود که ۲ برابر تعداد گروه کلاف‌ها در هر فاز است.

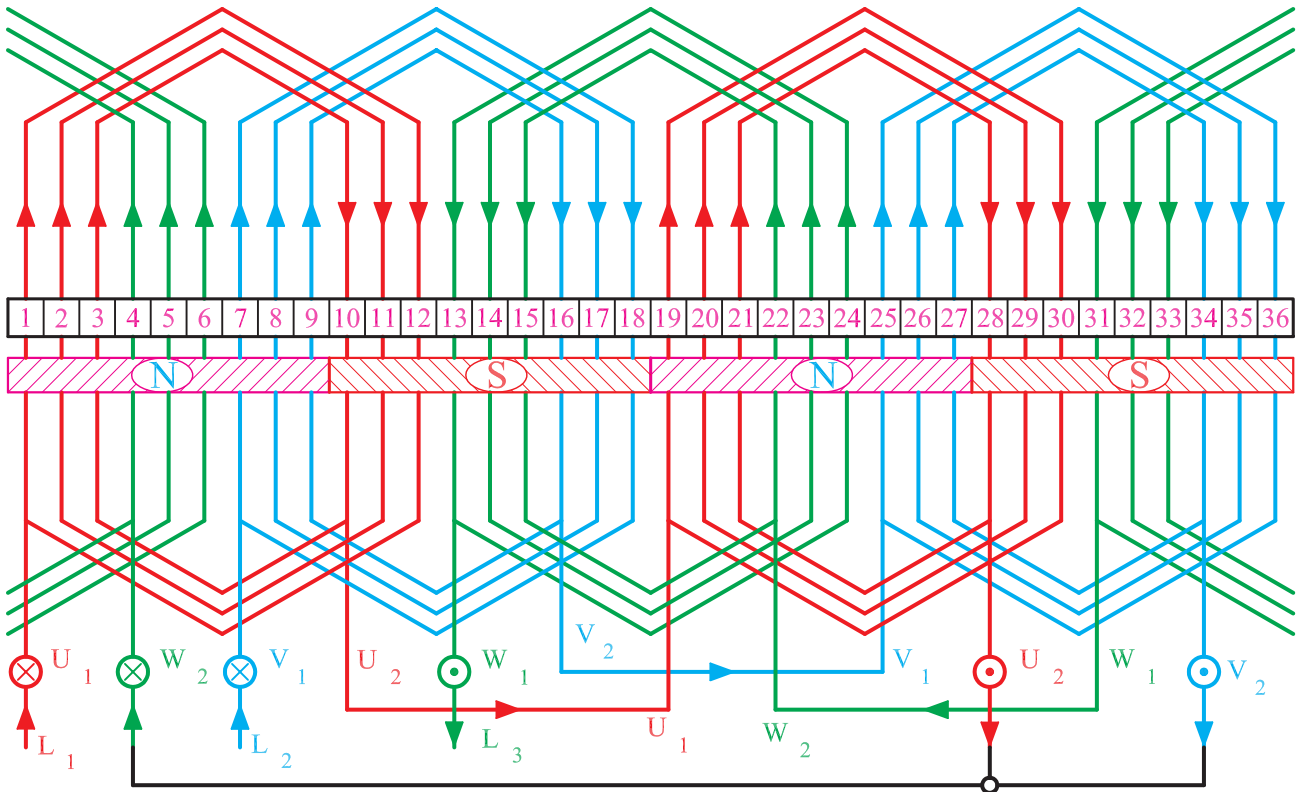
نکته: هنگام سیم‌بندی به گروه‌های کلاف توجه کنید



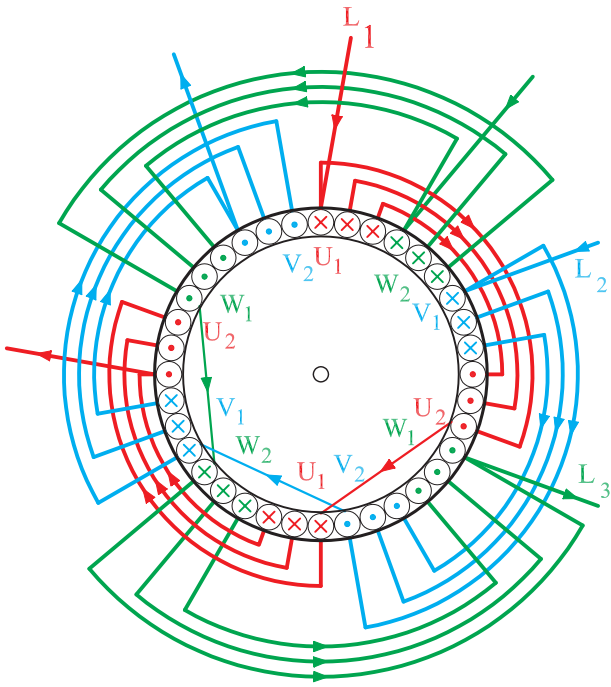
شکل ۱-۳۷- سربندی و قطب‌سازی کامل سه‌فاز یک موتور ۳۶ شیار ۴ قطب با سیم‌پیچ‌های گام مساوی



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.

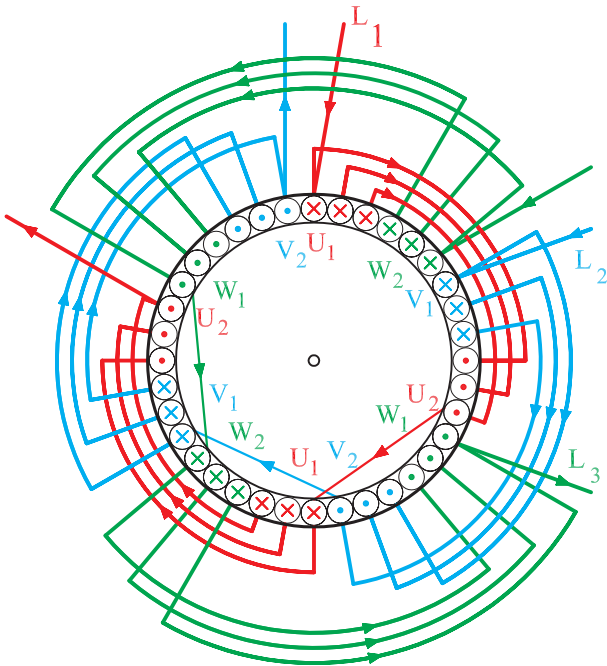


شکل ۳۸-۱- سربندی و قطب‌سازی کامل سه‌فاز یک موتور ۴ قطب ۳۶ شیار با سیم‌پیچی متحد‌المركز (گام نامساوی).



شکل ۳۹-۱

شکل ۳۹-۱ 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 ۴۰-۱

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

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

(الف)

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

(ب)

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

(ج)

شکل ۱-۴۱

حل:

محاسبات  $Z=24$  ,  $m=3$  ,  $2P=4$

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

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

شروع فاز  $U_1 = 1$

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

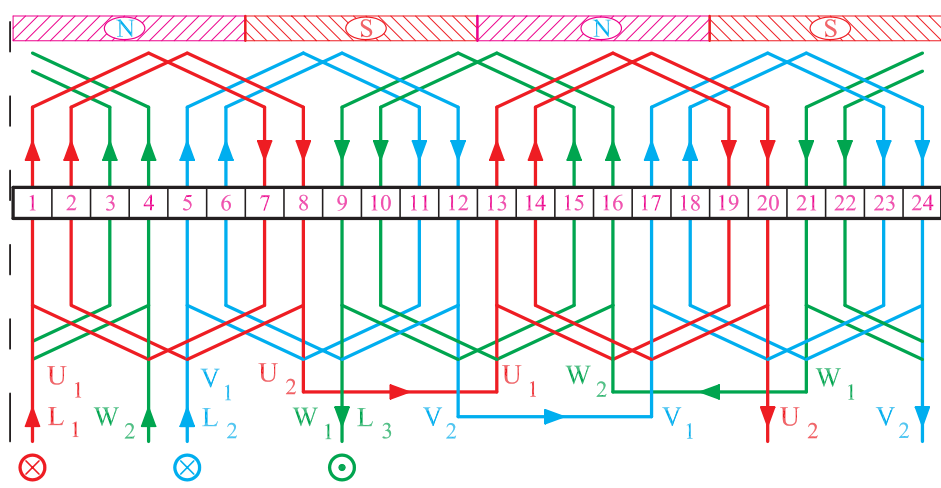
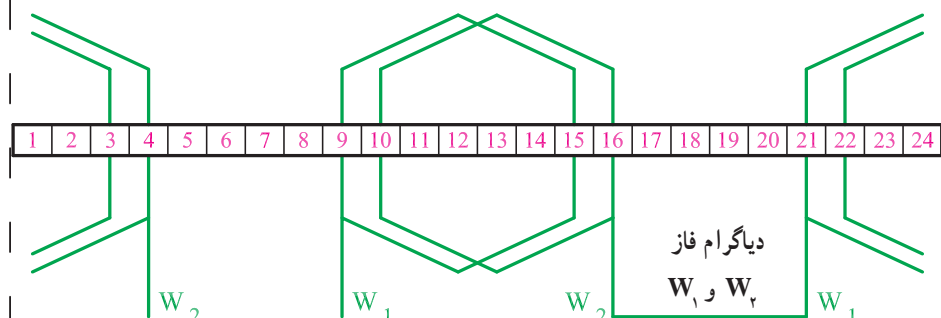
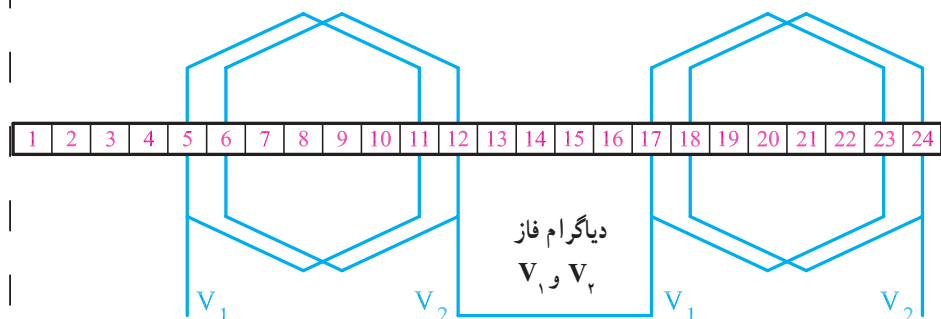
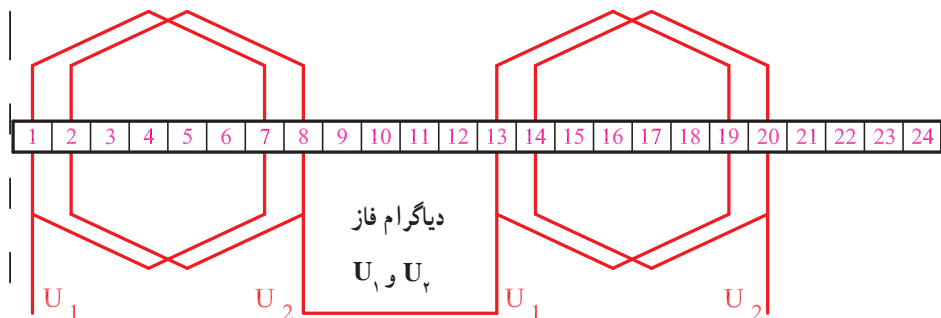
شروع فاز  $W_1 = 1 + \frac{24^\circ}{3^\circ} = 9$

### 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  $U_2$  و جدول ب شکل ۱-۴۱ ارتباط گروه کلاف‌های فاز  $V_1$  و  $V_2$  و جدول ج شکل ۱-۴۱ ارتباط گروه کلاف‌های فاز  $W_1$  و  $W_2$  را نشان می‌دهد.

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

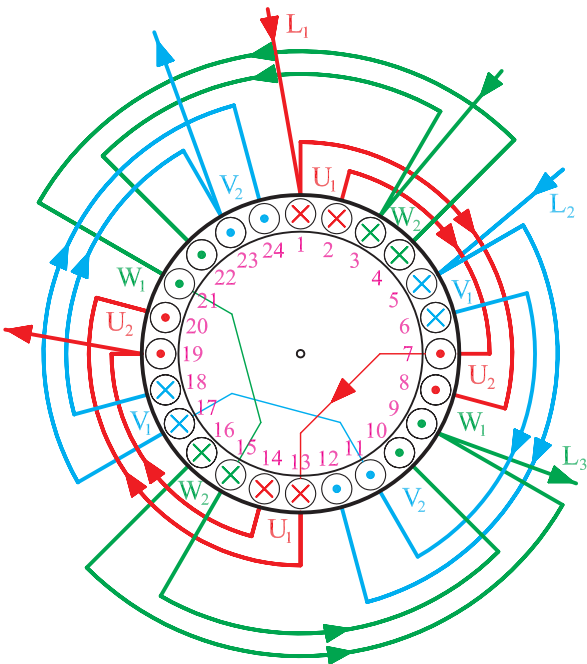


شکل ۱-۴۲

$\frac{2m}{2p}$	$U_1$	$U_2$	$V_1$	$V_2$	$W_1$	$W_2$
	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، ۳ به ۶ و ۴ به ۵ و در فازهای بعدی مطابق جدول شکل ۱-۴۳ انجام دهیم، سیم‌بندی به صورت متحدالمركز انجام می‌شود.

شکل ۱-۴۳- جدول سیم‌بندی موتور سه‌فاز ۲۴ شیپار ۴ قطب متحدالمركز



دیاگرام مدور سیم‌بندی متحدالمركز به صورت شکل ۱-۴۴  
 ترسیم می‌شود.

شکل ۱-۴۴- دیاگرام مدور موتور سه‌فاز ۲۴ شیپار 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 سیم‌بیچ 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.

$\frac{2m}{2P}$	$U_1$	$U_2$	$V_1$	$V_2$	$W_1$	$W_2$

هر ستون را به دو ستون فرعی تقسیم می‌کنیم.

$\frac{2m}{2P}$	$U_1$	$U_2$	$V_1$	$V_2$	$W_1$	$W_2$

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

$\frac{2m}{2P}$	$U_1$	$U_2$	$V_1$	$V_2$	$W_1$	$W_2$

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

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

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

$\frac{2m}{2P}$	$U_1$	$U_2$	$V_1$	$V_2$	$W_1$	$W_2$
	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:

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

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

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times 36^\circ}{Z} = \frac{1 \times 36^\circ}{24} = 1.5^\circ$$

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

$$U_1 \text{ شروع فاز}$$

$$V_1 \text{ شروع فاز} = 1 + \frac{12^\circ}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{12^\circ}{1.5} = 9$$

$$W_1 \text{ شروع فاز} = 1 + \frac{24^\circ}{\alpha_{ez}} = 1 + \frac{24^\circ}{1.5} = 17$$

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

بنابراین، می توان نوشت :

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

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

m 2P	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>
	1 2	23 24
	13 14	11 12

الف - هدایت بازوی کلاف ها در شیارهای مربوط به فاز U<sub>1</sub> و U<sub>2</sub>

m 2P	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>
	9 10	7 8
	21 22	19 20

ب - هدایت بازوی کلاف ها در شیارهای مربوط به فاز V<sub>1</sub> و V<sub>2</sub>

m 2P	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>
	17 18	15 16
	5 6	3 4

ج - هدایت بازوی کلاف ها در شیارهای مربوط به فاز W<sub>1</sub> و W<sub>2</sub>

شکل ۱-۴۵

برای تکمیل جدول، ستون فرعی سمت راست هر فاز را به

کمک گام سیم بندی و سطرهای فرعی هر فاز را با گام قطبی

تکمیل می کنیم. مثلاً، برای فاز U<sub>1</sub> و U<sub>2</sub> می توانیم به ترتیب زیر

عمل کنیم :

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

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

به همین ترتیب می توان جداول را برای تمام سیم پیچ ها تکمیل

کرد. محل بازوهای سیم پیچ های U<sub>1</sub> و U<sub>2</sub> ، V<sub>1</sub> و V<sub>2</sub> ، W<sub>1</sub> و W<sub>2</sub>

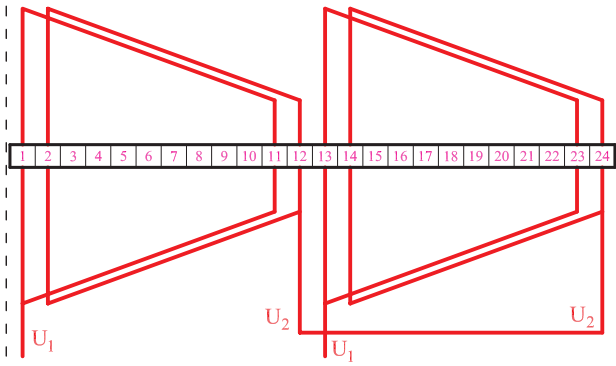
در جداول الف تا ج شکل ۱-۴۵ به طور کامل نشان داده

شده است.

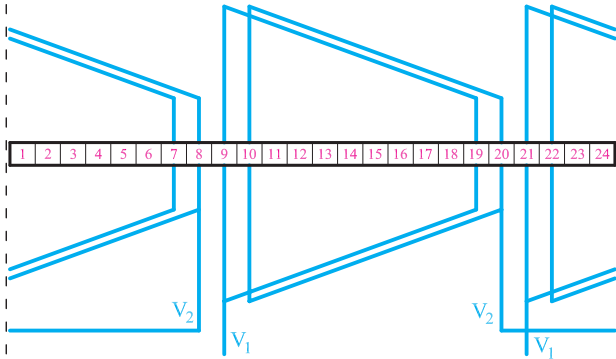
### رسم دیاگرام سیم‌بندی

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.

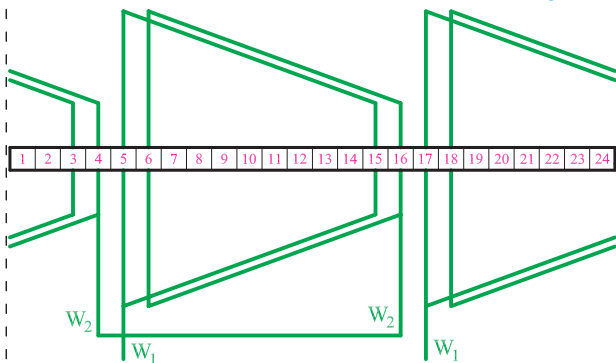
الف - کلاف‌های فاز اول



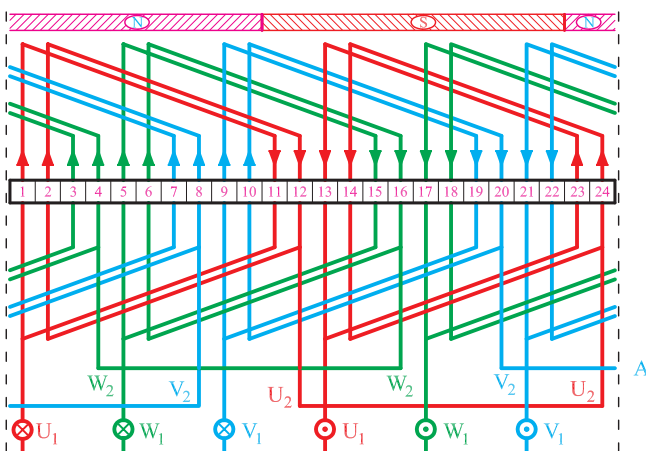
ب - کلاف‌های فاز دوم



ج - کلاف‌های فاز سوم



د - سیم‌بندی کامل موتور

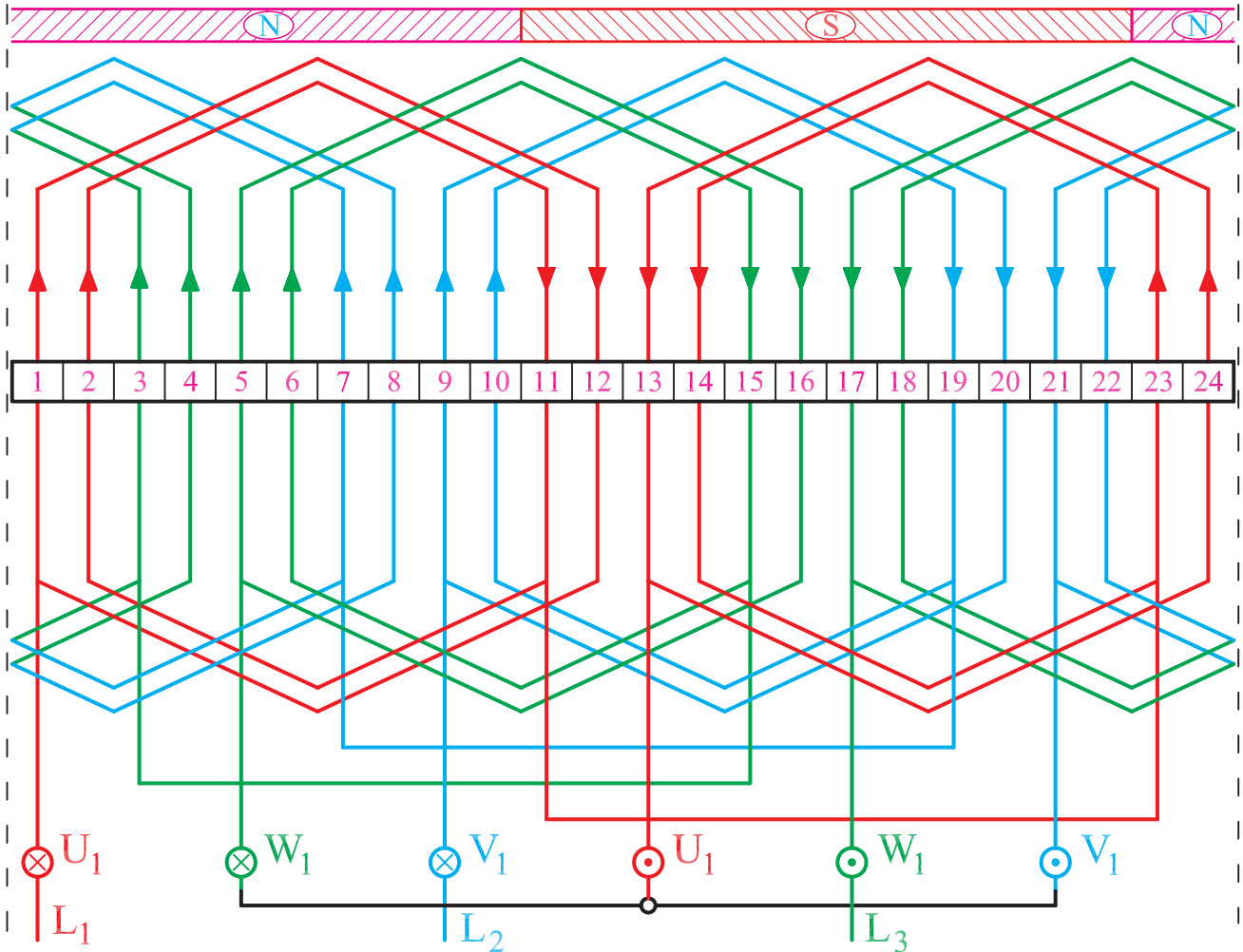


شکل ۱-۴۶ - دیاگرام سیم‌بندی موتور سه فاز ۲۴ شییار یک طبقه ۲ قطب به ازای قطب اتصال دور



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. مدادتراش 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 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.  $Z = 2p = 2m = G = P = 24$
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.

محل رسم کار عملی

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

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

بالتر 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  $L_3 < 0^\circ$ ،  $L_1 > 0^\circ$  و  $L_2 > 0^\circ$  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. مدادتراش 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 شیپارهای هر فاز زیر هر قطب را تعیین کنید.

۵. شیپارهای 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  $L_1 > 0^\circ$ ، 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  $L_1 > 0^\circ$ ، 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  $L_1 < 0^\circ$  تعیین کنید. با توجه به جهت جریان‌های یکسان در بازوهای مجاور قطب‌سازی را انجام دهید.



## ۳-۸-۱- کار عملی ۳

زمان: ۱۰ ساعت

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 A4 سفید یا شطرنجی (یک برگ)

۳. خط‌کش Cm ۳۰ یک عدد

۴. مداد در چهار رنگ

۵. مدادتراش 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  $q = 2$  ستون فرعی و هر ستون فرعی را به  $\frac{q}{4} = 1$  ستون کوچک تقسیم کنید.

محل رسم کار عملی

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

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

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

۷۵ درصد از طول کاغذ را پوشش دهند.

محل رسم کار عملی

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.

### محل رسم کار عملی

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 سه‌فاز ۴ قطب ۲۴ شیار به ازای قطب را رسم کنید. براساس موقعیت  $L_1 < 0^\circ$  و  $L_2 > 0^\circ$  و  $L_3 > 0^\circ$  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 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  $A_4$  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 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.

محل رسم کار عملی

۳- زاویه الکتریکی را به دست آورید.

۴- تعداد شیارهای زیرقطب هر فاز را تعیین کنید.

۵- شیارهای شروع هر فاز 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  $\frac{q}{4}=1$  ستون کوچک تقسیم کنید.

۸- در هر ردیف، در ستون‌های سمت چپ شیار شروع هر فاز در نظر بگیرید و  $\frac{q}{4}=1$  عدد متوالی را در جدول بنویسید.



محل رسم کار عملی

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.  $Y_Z = Y_p - \frac{q}{p} = 6 - 1 = 5$

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

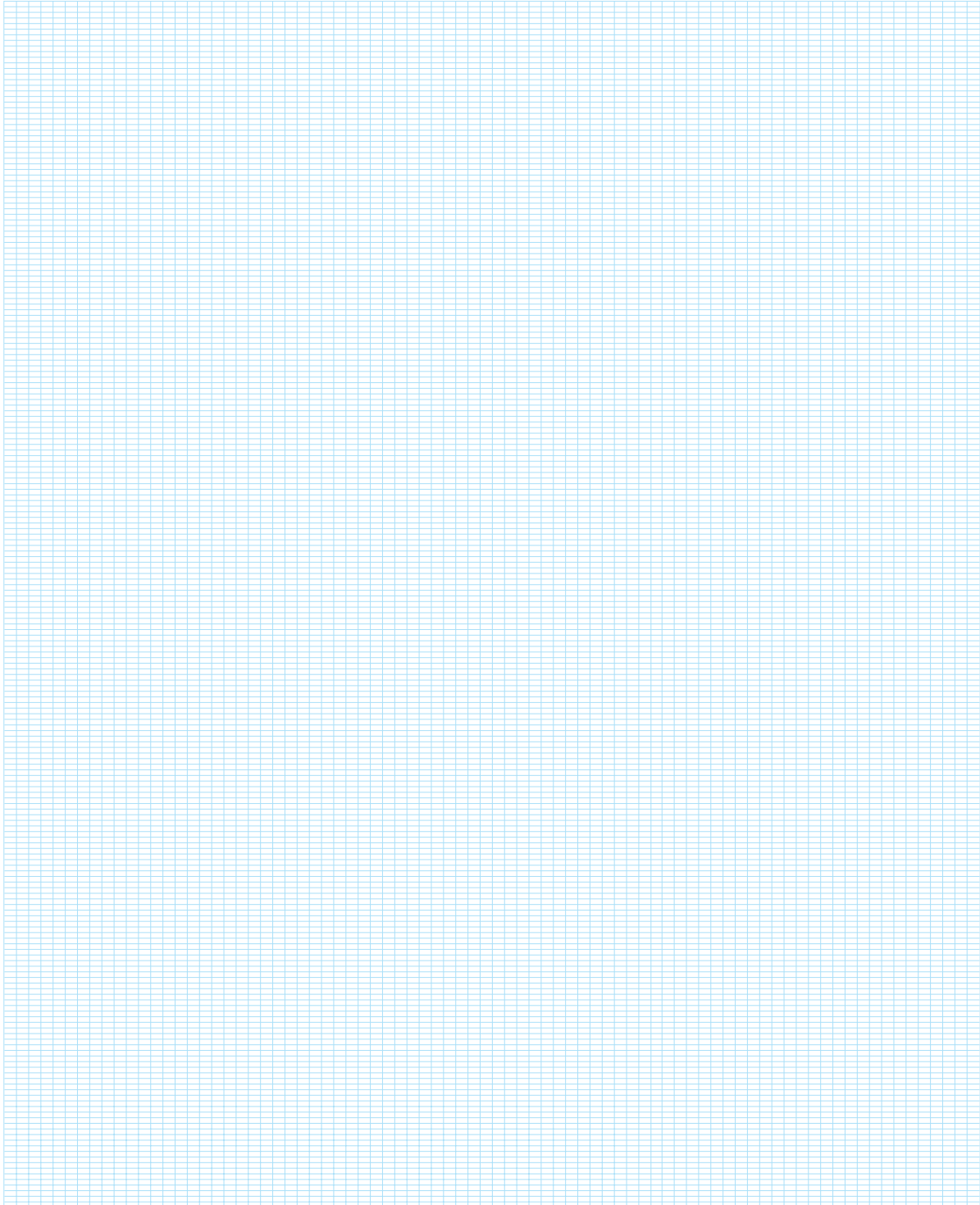
محل رسم کار عملی

۱۲- دیاگرام سیم‌بندی فاز  $U_1$ ،  $U_2$  را رسم کرده و مسیر جریان را بر اساس  $L_1 > 0^\circ$  مشخص کنید.

۱۳- دیاگرام سیم‌بندی فاز  $V_1$ ،  $V_2$  را در کنار فاز  $U_2$ ،  $U_1$  رسم کنید. بر اساس  $L_2 > 0^\circ$ ، 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.

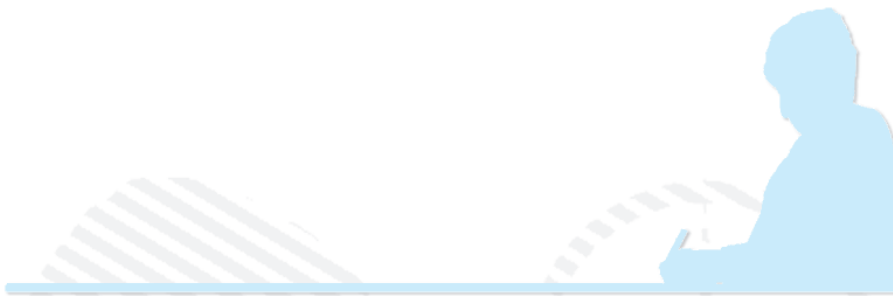
محل رسم کار عملی



## 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 راست 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،  $30^\circ$  درجه است. زاویه مکانیکی بین شیارهای آن چند درجه است؟

(د)  $90^\circ$

(ج)  $60^\circ$

(ب)  $10^\circ$

(الف)  $20^\circ$

۲۳- لغزش در موتورهای آسنکرون، کوچکتر از ..... و در موتورهای سنکرون، برابر با ..... است.