

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

# **ПОБУДОВА СХЕМ-РОЗГОРТОК ОБМОТОК ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН**

Методичні вказівки до виконання розрахункового завдання  
з дисципліни «Загальна теорія електричних машин»  
для студентів всіх форм навчання  
спеціальності 141 «Електротехніка, електроенергетика та  
електромеханіка»

Затверджено  
редакційно-видавничою  
радою НТУ «ХПІ»,  
протокол № 3 від 24.10.24

Харків  
НТУ «ХПІ»  
2024

Побудова схем-розгорток обмоток електричних машин : методичні вказівки до виконання розрахункового завдання з дисципліни «Загальна теорія електричних машин» для студентів всіх форм навчання спеціальності 141 «Електротехніка, електроенергетика та електромеханіка» / Уклад. О. Ю. Юр'єва. – Харків : НТУ «ХП», 2024. - 28 с.

Укладач: О. Ю. ЮР'ЄВА

Рецензент В. В. Шевченко

Кафедра електричних машин

## ВСТУП

Дисципліна «Загальна теорія електричних машин» вивчає різноманітні електричні машини, що забезпечують роботу сучасних механізмів, а також силові трансформатори, електромагнітні процеси в яких схожі з електромагнітними процесами в електричних машинах.

Одним зі особливих завдань теорії електричних машин є побудова схем-розгорток розподілених обмоток електричних машин постійного та змінного струму. Навички у побудові та користуванні такими схемами знадобляться у подальшому при проектуванні, виробництві, ремонті електричних машин.

Обмотки є найвідповідальнішою частиною електричної машини. Для їхнього проектування, виготовлення та ремонту необхідно знати принципи вкладання провідників обмотки в пази осердь статора або якоря.

В розділах цього видання розглядається побудова схем-розгорток одношарової та двошарової обмоток статора машин змінного струму та обмотки якоря машини постійного струму, наведено порядок їхньої побудови та приклади. Для самостійного опрацювання матеріалу наведено обмоткові дані існуючих електричних машин.

Додаткову інформацію щодо побудов схем-розгорток електричних машин можна отримати за посиланнями [1–8].

Схема-розгортка обмотки електричної машини повинна бути оформлена ручним або машинним способом відповідно до вимог стандартів [9]. Схема-розгортка обмотки електричної машини креслиться на папері формату А4×2 або А5×2. Схема-розгортка розташовується ближче до лівого поля аркуша та приблизно по центру між верхнім та нижнім полем. У правому верхньому кутку аркуша розташовуються обмоткові дані – вихідні та розрахункові.

За можливості трифазні схеми-розгортки виконуються кольоровими, кожній фазі відповідає свій колір. Для двошарових обмоток верхній шар виконується суцільною лінією, нижній – пунктирною.

# 1. ПОБУДОВА СХЕМИ-РОЗГОРТКИ ТРИФАЗНОЇ ОДНОШАРОВОЇ ОБМОТКИ СТАТОРА МАШИНИ ЗМІННОГО СТРУМУ

## 1.1. Вихідні дані

Для побудови трифазної одношарової обмотки статора машини змінного струму необхідно знати:

- кількість фаз  $m_s = 3$ ;
- кількість полюсів  $2p$ ;
- кількість пазів на полюс і фазу  $q_s$ ;
- кількість паралельних віток  $a$ ;
- тип обмотки: шаблонна або концентрична;
- схема з'єднання фазних обмоток  $Y$  або  $\Delta$ .

Вихідні дані трифазних одношарових обмоток зазначено в табл. 1 за варіантами.

Таблиця 1 – Вихідні дані для побудови трифазних одношарових обмоток статора машин змінного струму

Номер варіанту	Кількість полюсів $2p$	Кількість пазів на полюс і фазу $q_s$	Кількість паралельних віток $a$	Тип обмотки
1	4	3	1	концентрична двоплощинна
2	4	3	1	шаблонна
3	4	4	1	концентрична двоплощинна
4	6	4	1	шаблонна
5	4	5	1	концентрична двоплощинна
6	8	2	1	концентрична двоплощинна
7	8	2	1	шаблонна
8	6	3	1	шаблонна
9	4	4	2	шаблонна
10	2	8	1	концентрична триплощинна врозвал
11	6	2	1	шаблонна
12	8	2	2	концентрична двоплощинна
13	4	3	2	концентрична двоплощинна
14	4	3	2	шаблонна
15	8	3	4	шаблонна
16	4	4	1	шаблонна

Кінець табл. 1

Номер варіанту	Кількість полюсів $2p$	Кількість пазів на полюс і фазу $q_s$	Кількість паралельних віток $a$	Тип обмотки
17	6	4	3	концентрична двоплощинна
18	6	4	1	концентрична двоплощинна
19	6	4	3	шаблонна
20	4	5	2	шаблонна
21	4	5	1	шаблонна
22	2	6	1	шаблонна
23	2	6	1	концентрична триплощинна врозвал
24	2	6	2	концентрична триплощинна врозвал
25	4	6	1	шаблонна

## 1.2. Виконання схеми-розгортки

1.2.1. Кількість пазів статора  $Q_s = 2p \cdot m_s \cdot q_s$ .

1.2.2. Кроки обмотки:

- для шаблонної обмотки  $y = \frac{Q_s}{2p}$ ;

- для дво- та триплощинних концентричних обмоток (кількість кроків становить  $q_s$ )

$$y_1 = 2q_s + 1,$$

$$y_2 = 2q_s + 3,$$

$$y_3 = 2q_s + 5,$$

...

$$y_{q_s} = 2q_s + (2q_s - 1);$$

- для дво- та триплощинних концентричних обмоток врозвал (кількість кроків становить  $\frac{q_s}{2}$ )

$$y_1 = 2q_s + 1,$$

$$y_2 = 2q_s + 3,$$

$$y_3 = 2q_s + 5,$$

...

$$y_{\frac{q_s}{2}} = 2q_s + (2q_s - 1);$$

### 1.2.3. Побудова схеми розгортки

Схема-розгортка будується в такому порядку.

1. Накреслити пази прямими лініями по  $q_s$  пазів одного кольору (зазвичай червоний, зелений, синій) або різного способу накреслення (суцільна, пунктирна, штрих-пунктирна лінія) (рис. 1.1).

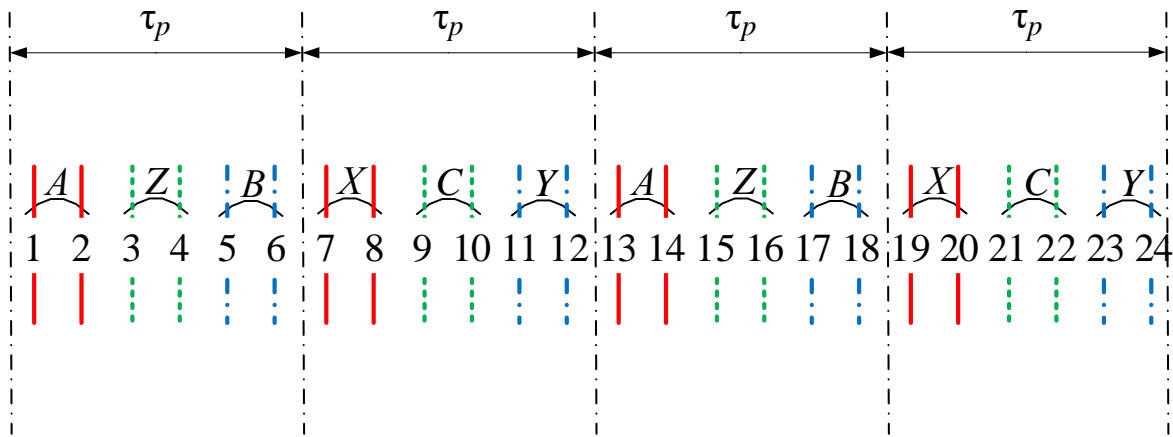


Рисунок 1.1 – Розподіл пазів за фазними зонами на схемі-розгортці обмотки

2. Пронумерувати пази. Номери пазів ставляться по центру прямої лінії.

3. Пази рівномірно поділити на полюсні кроки  $\tau_p$  штрих-пунктирними лініями, які мають проходити по середині між суцільними пазовими лініями. Кількість полюсних кроків дорівнює кількості полюсів  $2p$ .

4. Поділити пази на фазні зони відповідно до чергування фазних зон A-Z-B-X-C-Y та величини  $q_s$  (фазні зони позначаються дугами та літерами). Кількість пазів, які з'єднуються однією дугою дорівнює величині  $q_s$ .

5. Відповідно до розбивки пазів та кроків обмоток накреслити секції фази AX відповідної форми (рис. 1.2–1.4). На схемі-розгортці секції шаблонної обмотки зображуються однаковими трапеціями (див. рис. 1.2), концентричної – концентричними прямокутниками (див. рис. 1.3 та 1.4).

Для шаблонної обмотки на рис. 1.2 з кроком  $y = 6$  перша секція складається з провідників першого та сьомого пазів, друга секція – другого та восьмого.

Для концентричної обмотки на рис. 1.3 для  $q_s = 2$  з двома кроками  $y_1 = 2q_s + 1 = 2 \cdot 2 + 1 = 5$  та  $y_2 = 2q_s + 3 = 2 \cdot 2 + 3 = 7$  одна секція складається з провідників другого та сьомого пазів, друга секція – першого та восьмого.

Для вирівнювання довжини провідників в секціях різних фаз лобові частини секційних груп виконуються різного розміру. Лобові частини довгих та коротких секцій розташовуються в різних площинах. Лобові частини довгих секцій відгинаються під більшим кутом до осі осердя статора, а коротких секцій – під меншим. Такі обмотки називаються двоплощинними.

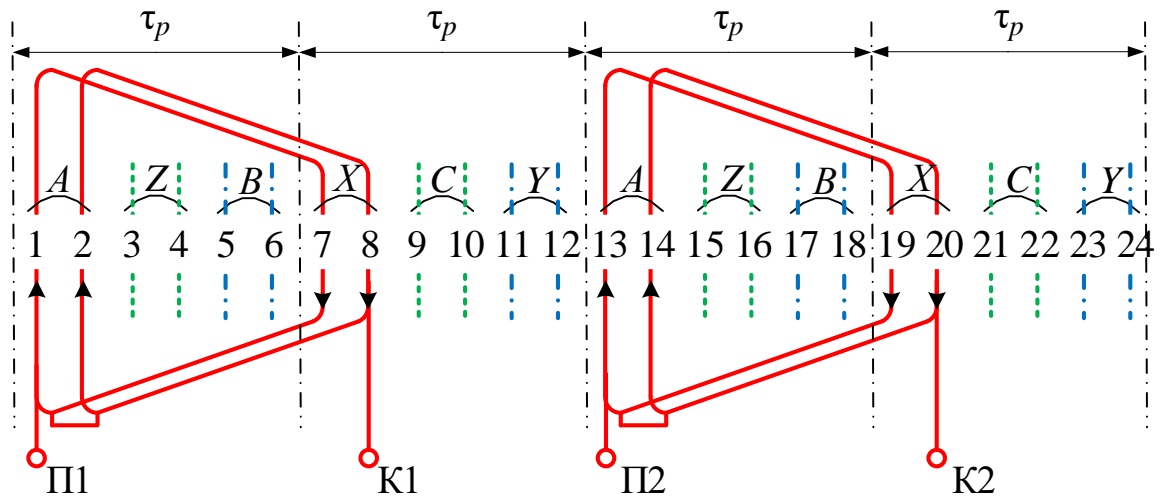


Рисунок 1.2 – Секційні групи шаблонної обмотки

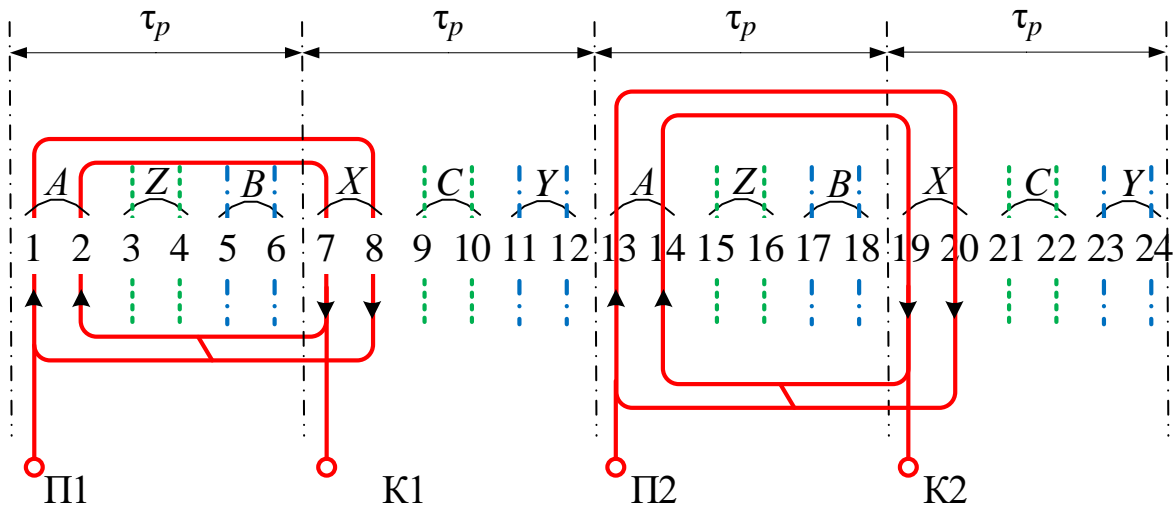


Рисунок 1.3 – Секційні групи концентричної двошарової обмотки

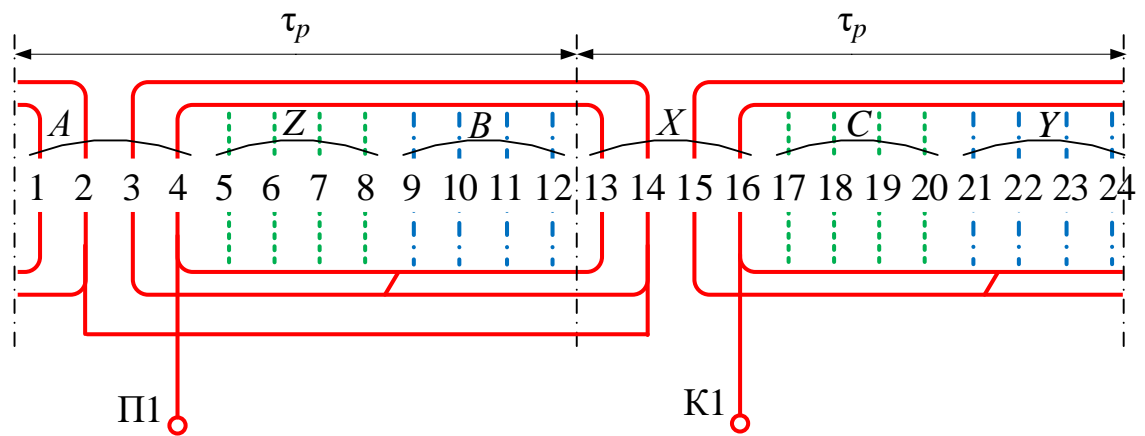


Рисунок 1.4 – Секційні групи концентричної тришарової обмотки  
врозвал

Для концентричної обмотки на рис. 1.4 для  $q_s = 4$  секційна група складається з чотирьох секцій. Для скорочення довжини лобових частин одна половина секцій відгинається в один бік, друга – в інший. Таке розташування секцій в секційній групі отримало назву «врозвал». Обмотка на рис. 1.4 має два кроки:  $y_1 = 2q_s + 1 = 2 \cdot 4 + 1 = 9$  та  $y_2 = 2q_s + 1 = 2 \cdot 4 + 3 = 11$ . Перша секція фазної зони  $AX$  з кроком  $y_1 = 9$  складається з провідників першого та шістнадцятого пазів (крок відлічується справа наліво), друга секція з кроком  $y_2 = 11$  – другого та п'ятнадцятого (крок відлічується справа наліво), третя секція з кроком  $y_2 = 11$  – третього та чотирнадцятого (крок відлічується зліва направо), четверта секція з кроком  $y_1 = 9$  – четвертого та тринадцятого (крок відлічується зліва направо).

6. З'єднати секції в секційні групи.

Секції завжди з'єднуються послідовно. З'єднання секцій однієї секційної групи зображується короткими відрізками між секціями. При з'єднанні секцій в секційну групу треба звертати на напрям струму в провідниках обмотки.

На рис. 1.2 та 1.3 секції, які лівими сторонами лежать в першому та другому пазах, створюють першу секційну групу фази  $AX$  обмоток.

Секції на наступній парі полюсних кроків будуються аналогічно. На рис. 1.2 та 1.3 секції, які лівими сторонами лежать в тринадцятому та чотирнадцятому пазах, створюють другу секційну групу фази  $AX$  обмоток.

Обмотка на рис. 1.4 має одну секційну групу.

Для зручності подальшої роботи рекомендується позначати початки та кінці секційних груп.  $П1, К1$  – початок та кінець першої секційної групи,  $П2, К2$  – другої.

7. З'єднати секційні групи у фазну обмотку  $AX$  згідно кількості паралельних віток  $a$ .

При одній паралельній вітці, коли  $a = 1$ , всі секційні групи з'єднуються послідовно. При паралельному або змішаному з'єднанні секційних груп можна отримати кількість паралельних віток більшу за 1.

При послідовному з'єднанні секційних груп кінець першої секційної групи з'єднується з початком наступної, тобто  $К1$  з'єднується з  $П2$ . Вільні кінці, що залишилися,  $П1$  та  $К2$  будуть початком та кінцем фази  $AX$  (рис. 1.5).

При паралельному з'єднанні секційних груп початки та кінці секційних груп відповідно з'єднуються, тобто  $П1$  з'єднується з  $П2$ , а  $К1$  з  $К2$ . Виведення з точок з'єднання початків та кінців секційних груп будуть початком та кінцем фазної обмотки  $AX$  (рис. 1.6).

Обмотка на рис. 1.4 має одну паралельну вітку.

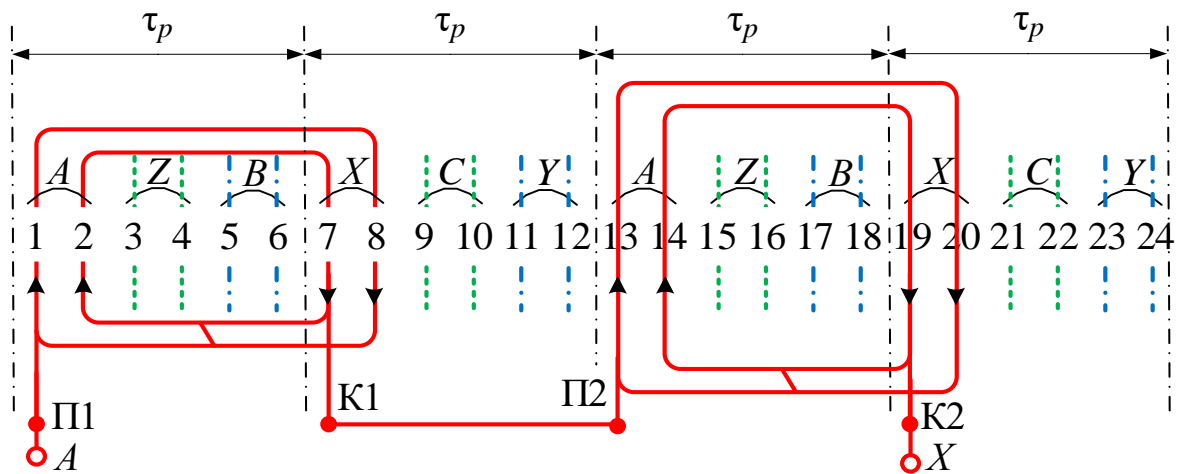


Рисунок 1.5 – Фазна обмотка  $AХ$  концентричної обмотки з однією паралельною віткою

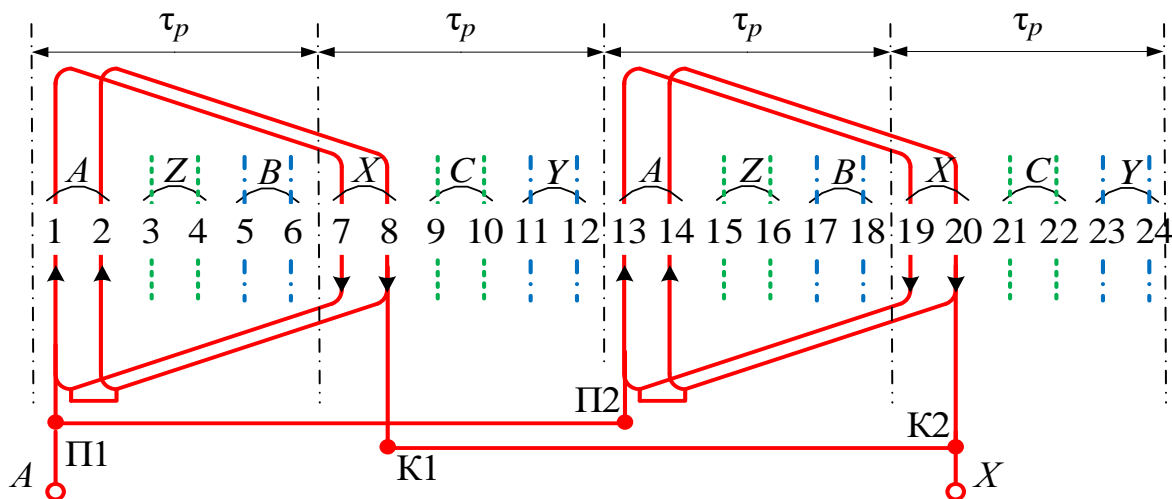


Рисунок 1.6 – Фазна обмотка  $AХ$  шаблонної концентричної обмотки з двома паралельними вітками

8. Виконати фазні обмотки  $ВУ$  та  $СZ$  аналогічно п. 5–7.

Секції обмотки фазної обмотки  $СZ$  потрапляють на лінію розрізу. Перенесення точок розрізу секцій має відбуватися по одній горизонтальній лінії (рис. 1.7). Лінії, які показують з'єднання секційних груп, паралельних віток або фазних обмоток мають знаходитися на одному рівні.

При побудові фазних обмоток  $ВУ$  та  $СZ$  треба звертати увагу на розташування ліній, які зображують лобові частини, – не має бути накладання цих ліній одна на одну.

На схемах-розгортках триплощинних обмоток для запобігання накладанню ліній лобових частин секції фазних обмоток виконуються різні заввишки. Хоча при виготовленні довжина секцій однакова, а при вкладанні обмотки в пази осердя статора лобові частини кожної фазної обмотки відгинаються на три

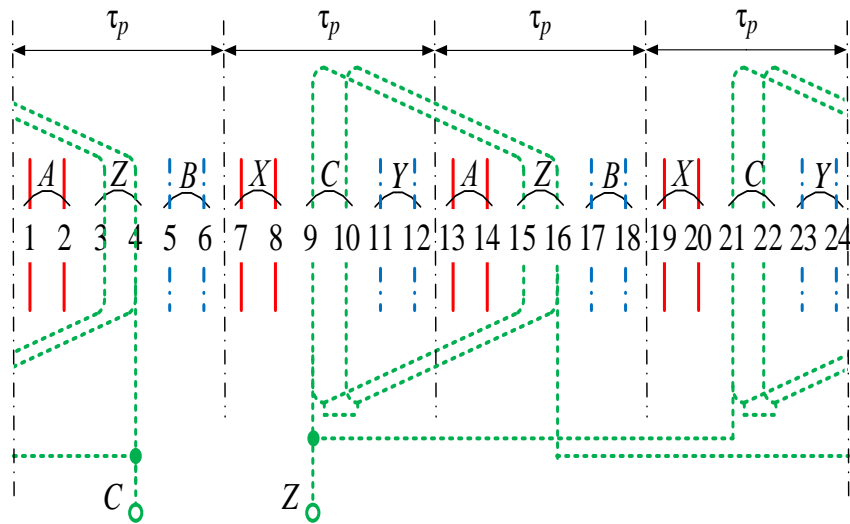


Рисунок 1.7 – Фазна обмотка CZ шаблонної обмотки з двома паралельними вітками

різних кути відносно осі осердя статора. Приклад трифазної одношарової концентричної триплощинної обмотки наведено на рис. 1.8.

9. Промаркувати виведення обмотки. Початки та кінці фазних обмоток AX, BY, CZ згідно ДСТУ EN 60034-8 позначаються  $U1U2$ ,  $V1V2$ ,  $W1W2$  відповідно.

10. З'єднати виведення обмотки згідно схеми з'єднання фазних обмоток.

При з'єднанні фазних обмоток за схемою Y в одну точку з'єднуються виведення  $U2$ ,  $V2$  та  $W2$  (див. рис. 1.8). При з'єднанні фазних обмоток за схемою  $\Delta$  попарно з'єднуються виведення  $U2$  з  $V1$ ,  $V2$  з  $W1$ ,  $W2$  з  $U1$ .

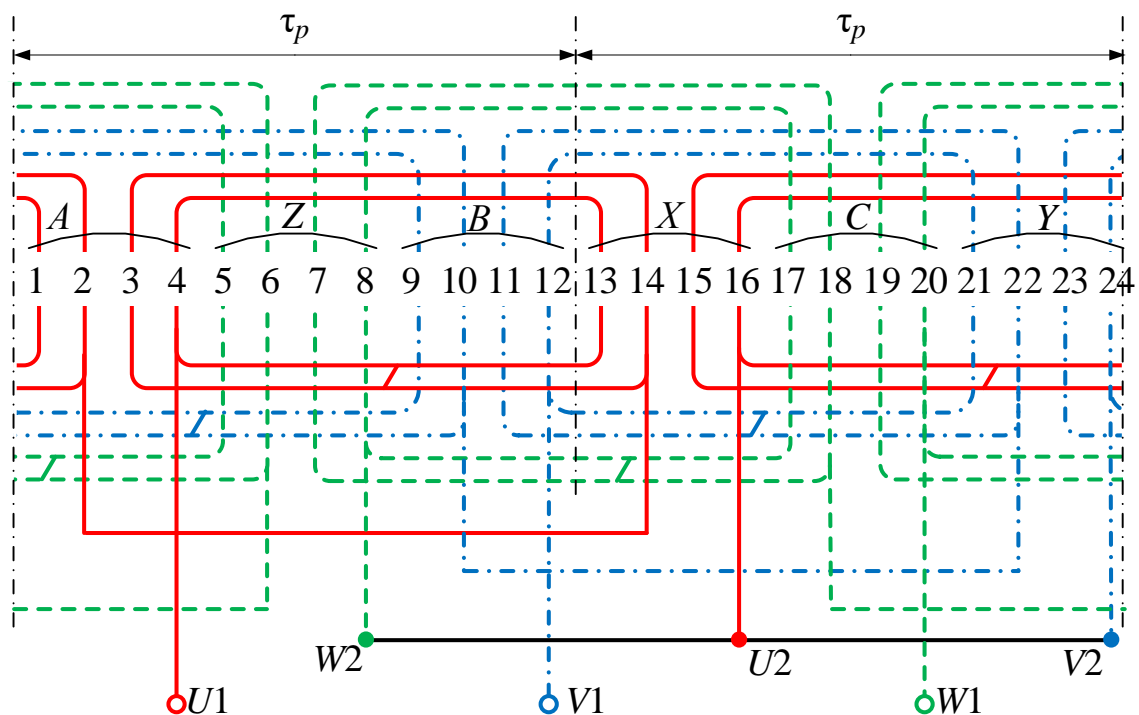


Рисунок 1.8 – Схема-розгортка трифазної одношарової концентричної триплощинної обмотки в розвал

## 2. ПОБУДОВА СХЕМИ-РОЗГОРТКИ ДВОШАРОВОЇ ОБМОТКИ СТАТОРА МАШИНИ ЗМІННОГО СТРУМУ

### 2.1. Вихідні дані

Для побудови трифазної двошарової обмотки статора машини змінного струму необхідно знати:

- кількість фаз  $m_s = 3$ ;
- кількість полюсів  $2p$ ;
- кількість пазів на полюс і фазу  $q_s$ ;
- кількість паралельних віток  $a$ ;
- схема з'єднання фазних обмоток  $Y$ .

Вихідні дані трифазних двошарових обмоток зазначено в табл. 2 за варіантами.

Таблиця 2 – Вихідні дані для побудови трифазних двошарових обмоток статора машин змінного струму

Номер варіанту	Кількість полюсів $2p$	Кількість пазів на полюс і фазу $q_s$	Кількість паралельних віток $a$
1	4	5	2
2	4	5	1
3	8	2	2
4	2	4	1
5	6	2	3
6	6	3	2
7	6	3	2
8	4	4	2
9	6	3	1
10	6	3	1
11	6	4	3
12	10	2	1
13	6	4	2
14	12	2	1
15	6	2	1
16	4	5	1
17	4	3	1
18	6	2	4
19	6	2	5

Кінець табл. 2

Номер варіанту	Кількість полюсів $2p$	Кількість пазів на полюс і фазу $q_s$	Кількість паралельних віток $a$
20	4	4	1
21	4	4	4
22	6	4	1
23	8	3	2
24	8	3	1
25	4	3	2

## 2.2. Виконання схеми-розгортки

### 2.2.1. Кількість пазів статора

$$Q_s = 2p \cdot m_s \cdot q_s.$$

### 2.2.2. Полісний крок

$$\tau_p = \frac{Q_s}{2p}.$$

### 2.2.3. Крок обмотки

$$y = \beta \cdot \tau_p,$$

де  $\beta$  – коефіцієнт відносного укорочення кроку,  $\beta \approx 0,8$ .

Отримане значення кроку обмотки  $y$  заокруглюється до найближчого цілого числа.

### 2.2.4. Побудова схеми розгортки

Схема-розгортка будується в такому порядку.

1. Накреслити пази прямими суцільними лініями по  $q_s$  пазів одного кольору (зазвичай червоний, зелений, синій) (рис. 2.1).

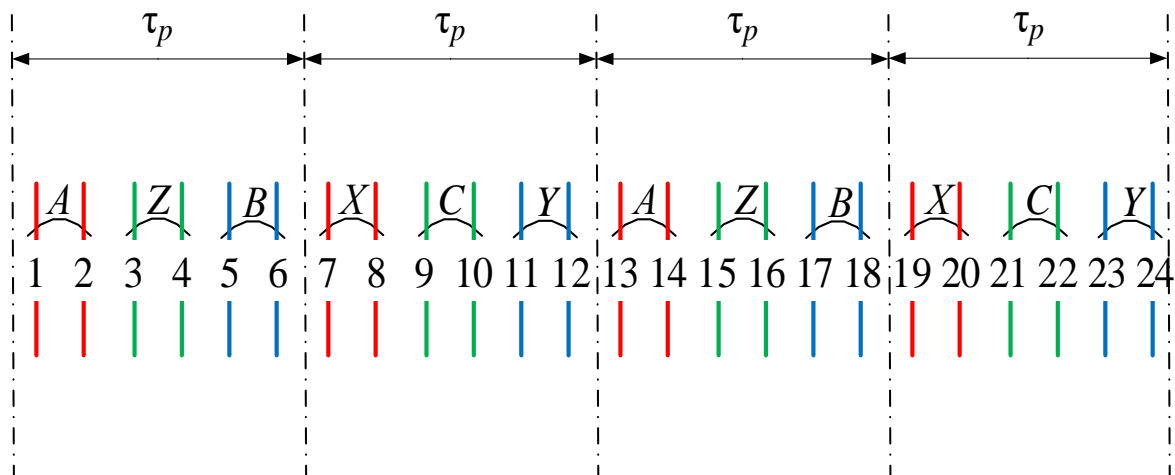


Рисунок 2.1 – Розподіл пазів за фазними зонами на схемі-розгортці обмотки

2. Пронумерувати пази. Номери пазів ставляться по центру суцільної лінії.

3. Пази рівномірно поділити на полюсні кроки  $\tau_p$  штрих-пунктирними лініями, які мають проходити по середині між суцільними пазовими лініями. Кількість полюсних кроків дорівнює кількості полюсів  $2p$ .

4. Поділити пази на фазні зони відповідно до чергування фазних зон  $A-Z-B-X-C-Y$  та величини  $q_s$  (фазні зони позначаються дугами та літерами). Кількість пазів, які з'єднуються однією дугою дорівнює величині  $q_s$ . Розбивка на фазні зони виконується для провідників верхнього шару. Розбивка провідників нижнього шару проводиться автоматично згідно з кроком обмотки  $y$ .

5. Накреслити секційну групу фазної зони  $A$ .

Для чотиріполюсної ( $2p = 4$ ) трифазної ( $m_s = 3$ ) обмотки з кількістю пазів на полюс і фазу  $q_s = 2$  кількість пазів  $Q_s = 2p \cdot m_s \cdot q_s = 4 \cdot 3 \cdot 2 = 24$  (див. рис. 2.1). Полюсний крок  $\tau_p = m_s \cdot q_s = 3 \cdot 2 = 6$ . Крок обмотки  $y = \beta \cdot \tau_p = 0,8 \cdot 6 = 5$ .

Від першого пазу відлічити кількість пазів, яка дорівнює кроку обмотки  $y$ . Ліва сторона кожної секції розташовується у верхньому шарі, права – у нижньому. Для зазначеного прикладу провідники секції верхнього шару обмотки розташовуються у першому пазі, нижнього – у шостому ( $1 + 5 = 6$ ) (рис. 2.2). Фазні зони у верхньому та нижньому шарах зсунуті одна відносно одної на величину укорочення кроку (у прикладі – на один паз).

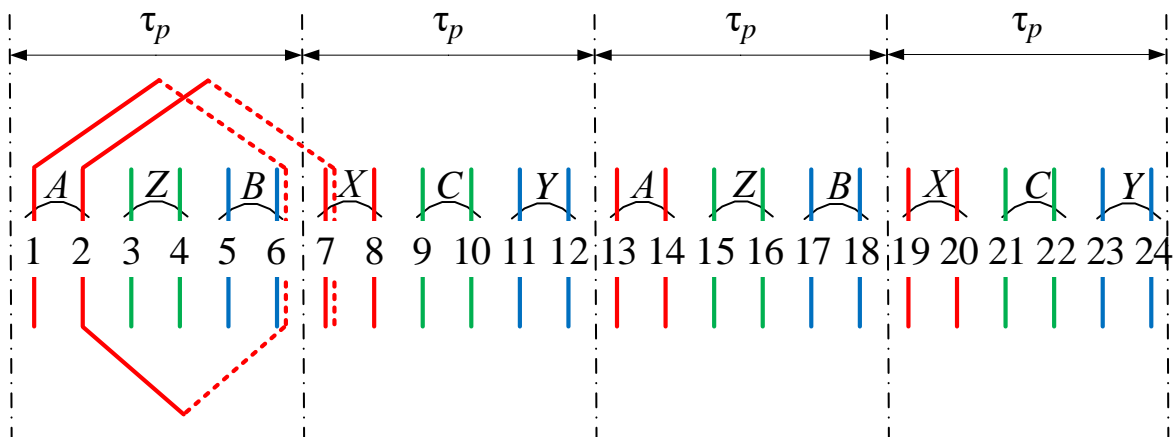


Рисунок 2.2 – Секції фазної зони  $A$  двошарової обмотки на першому полюсному кроці

Повести пунктирну лінію, яка відображає провідники нижнього шару обмотки, якомога ближче до суцільної лінії, яка відображає провідники верхнього шару обмотки. Згори з'єднати симетричною ламаною лінією ліву та праву сторони секції. Знизу з'єднати симетричною ламаною лінією праву сторону першої секції нижнього шару з лівою стороною другої секції верхнього шару, яка розташована у другому пазу. Ліва сторона ламаної лінії, яка йде від

провідника верхнього шару, креслиться суцільною лінією. Права сторона ламаної лінії, які йде від провідника нижнього шару, креслиться пунктирною лінією.

З'єднати  $q_s$  пазів.

Накреслити лінії, які показують вивідні кінці секційної групи, паралельно до сторін ламаної лінії. Для зручності подальшої роботи рекомендується довжину лінії, яка позначає вивідні кінці секції, креслити меншої довжини. Провести вертикальні лінії та позначити початок П1 та кінець К1 першої секційної групи (рис. 2.3).

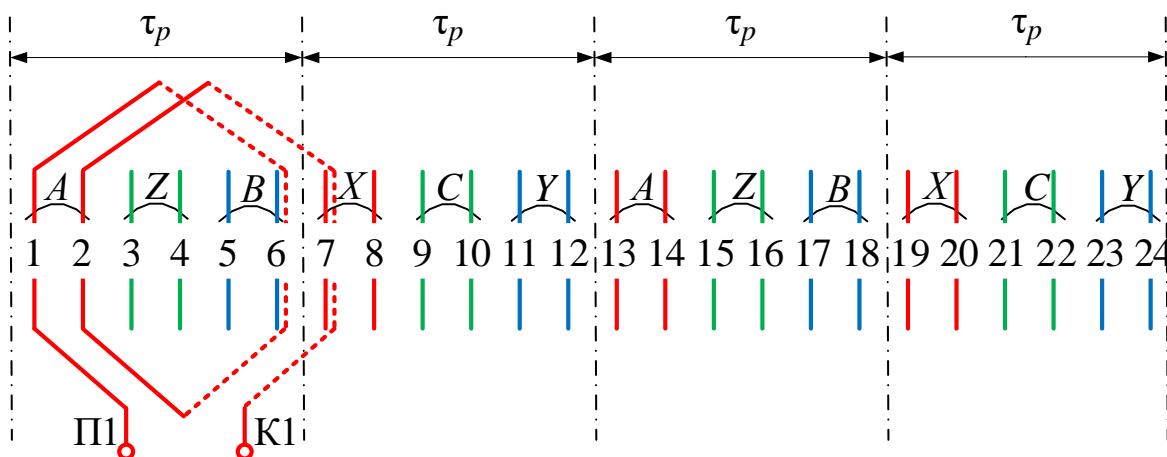


Рисунок 2.3 – Перша секційна група фазної зони  $A$  двошарової обмотки

6. Накреслити секційну групу фазної зони  $X$ .

На другому полюсному кроці у верхньому шарі обмотки (суцільна лінія) знаходяться ліві сторони секцій, які належать до фазної зони  $X$ . Для зазначеного прикладу це пази 7 та 8. Розташування правих сторін секцій в нижньому шарі визначається кроком обмотки. Для зазначеного прикладу це пази 12 та 13 (рис. 2.4).

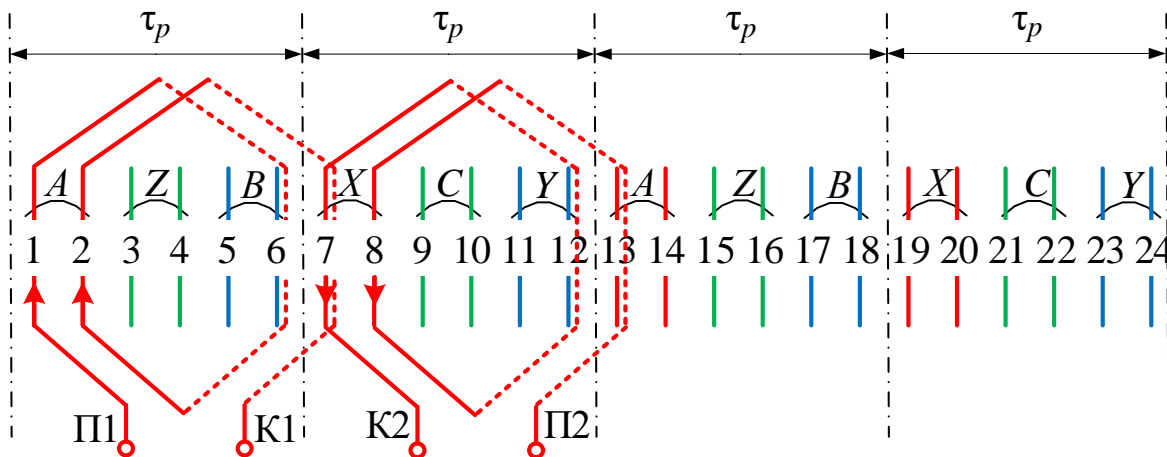


Рисунок 2.4 – Дві секційні групи фазних зон  $A$  та  $X$  двошарової обмотки

Початок та кінець секційної групи фазної зони  $X$  треба узгоджувати за напрямком струму в секціях.

7. Повторити побудову секційних груп фазних зон  $A$  та  $X$  на подальших полюсних кроках (рис. 2.5).

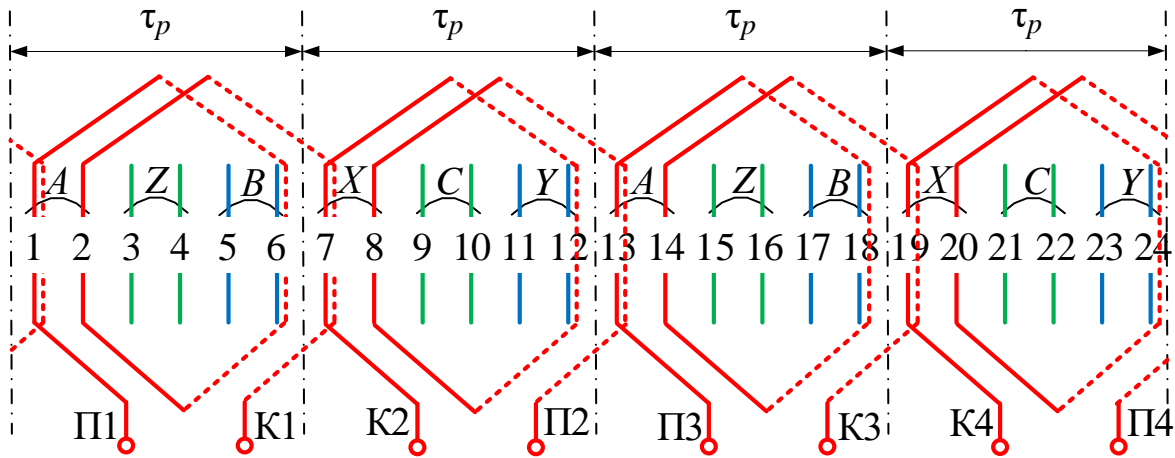


Рисунок 2.5 – Секційні групи фазних зон  $A$  та  $X$  двошарової обмотки

Треба звернути увагу на провідники, які потрапляють на лінію розрізу схеми-розгортки. Ці лінії мають доходити до лінії розрізу з одного боку і продовжуватися на одному горизонтальному рівні з іншого боку.

8. З'єднати секційні групи.

З'єднання секційних груп визначає кількість паралельних віток фазної обмотки. Якщо всі секційні групи з'єднано послідовно, то обмотка має одну паралельну вітку,  $a = 1$  (рис. 2.6).

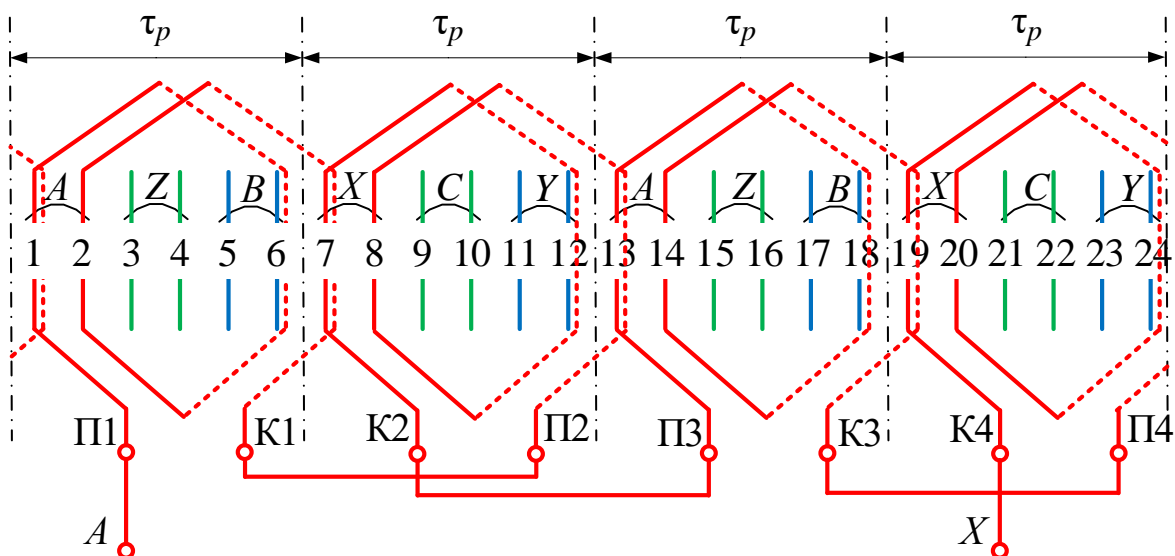


Рисунок 2.6 – Фазна обмотка  $AX$  з послідовним з'єднанням секційних груп (кількість паралельних віток  $a = 1$ )

Якщо всі секційні групи з'єднано паралельно, то кількість паралельних віток  $a = 2p$  (рис. 2.7).

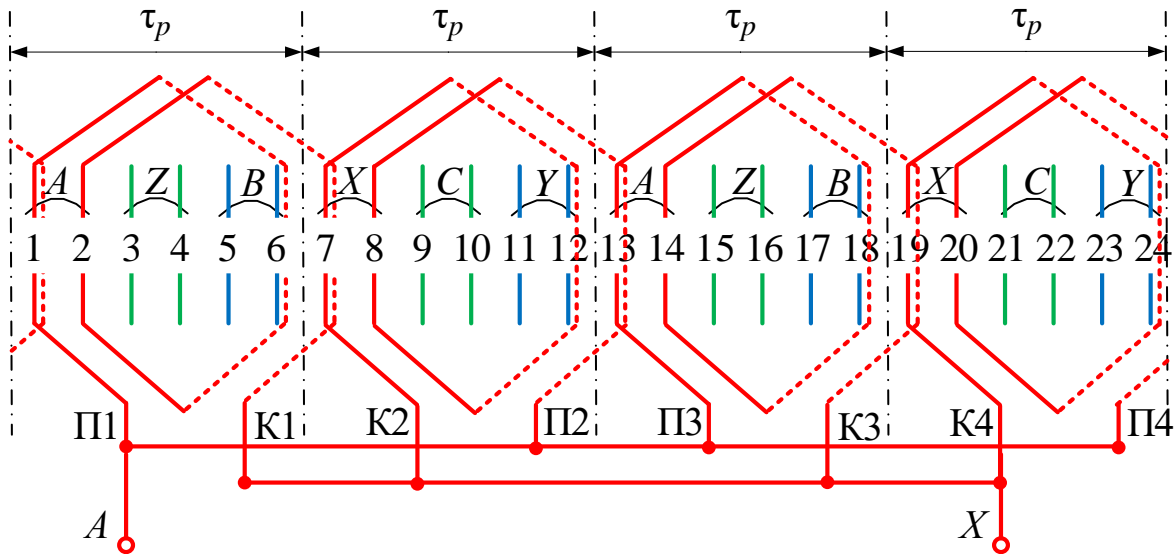


Рисунок 2.7 – Фазна обмотка  $AX$  з паралельним з'єднанням секційних груп (кількість паралельних віток  $a = 2p$ )

При змішаному з'єднанні можна отримати проміжну кількість паралельних віток (рис. 2.8).

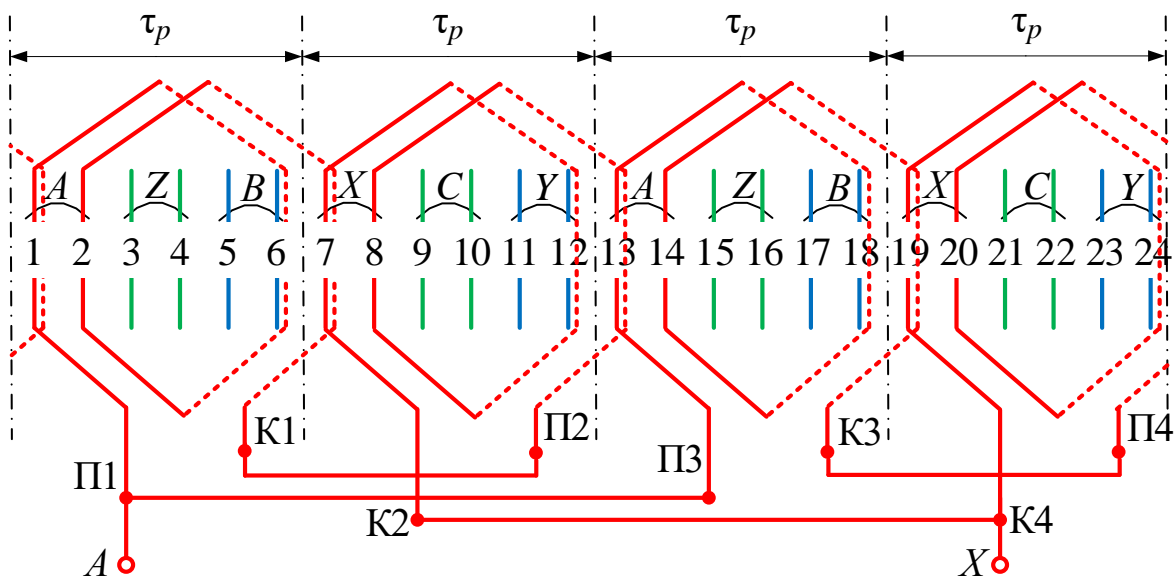


Рисунок 2.8 – Фазна обмотка  $AX$  зі змішаним з'єднанням секційних груп (кількість паралельних віток  $a = 2$ )

9. Фазні обмотки  $BY$  і  $CZ$  виконуються аналогічно фазній обмотці  $AX$ .

Приклад побудови фазних обмоток  $AX$ ,  $BY$  і  $CZ$  при одній паралельній вітці наведено на рис. 2.9.

У кінцевому вигляді схеми-розгортки початки та кінці секційних груп не проставляються.

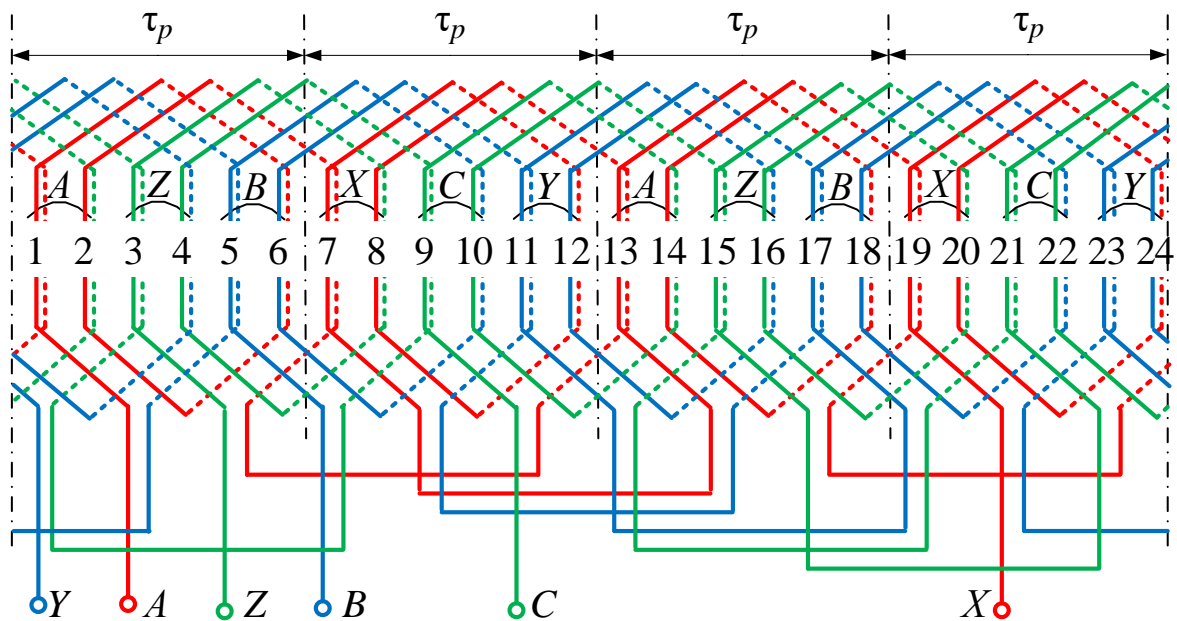


Рисунок 2.9 – Фазні обмотки AX, BY і CZ

10. Промаркувати виведення обмотки. Початки та кінці фазних обмоток AX, BY, CZ згідно ДСТУ EN 60034-8 позначаються  $U_1U_2$ ,  $V_1V_2$ ,  $W_1W_2$  відповідно.

11. З'єднати виведення обмотки згідно схеми з'єднання фазних обмоток.

При з'єднанні фазних обмоток за схемою Y в одну точку з'єднуються виведення  $U_2$ ,  $V_2$  та  $W_2$  (рис. 2.10). При з'єднанні фазних обмоток за схемою  $\Delta$  попарно з'єднуються виведення  $U_2$  з  $V_1$ ,  $V_2$  з  $W_1$ ,  $W_2$  з  $U_1$ .

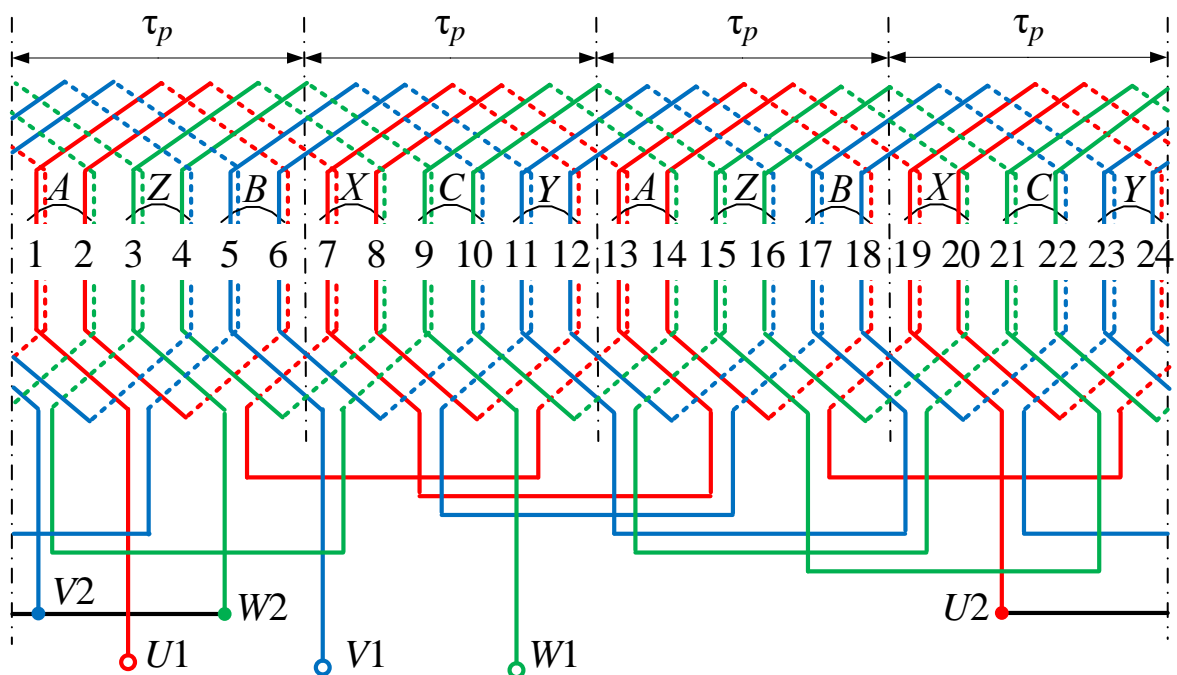


Рисунок 2.10 – Схема-розгортка трифазної двошарової обмотки з однією паралельною віткою, з'єднаною за схемою Y

### 3. ПОБУДОВА СХЕМИ-РОЗГОРТКИ ПЕТЛЬОВОЇ ОБМОТКИ ЯКОРЯ МАШИНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

#### 3.1. Вихідні дані

Для побудови петльової обмотки якоря машини змінного струму необхідно знати:

- кількість полюсів  $2p$ ;
- кількість пазів якоря  $Q$ ;
- кількість секцій по ширині паза в одному шарі  $u$ .

Вихідні дані петльових обмоток зазначено в табл. 3 за варіантами.

Таблиця 3 – Вихідні дані для побудови петльових обмоток якоря машин постійного струму

Номер варіанту	Кількість полюсів $2p$	Кількість пазів якоря $Q$	Кількість секцій по ширині паза в одному шарі $u$
1	4	20	2
2	4	24	2
3	4	26	2
4	4	28	4
5	4	15	4
6	4	32	2
7	4	22	2
8	4	42	2
9	4	19	2
10	4	36	2
11	4	14	4
12	4	28	2
13	4	38	2
14	4	18	4
15	4	21	2
16	4	24	4
17	4	27	2
18	4	21	4
19	4	33	2
20	4	18	2
21	4	39	2
22	4	16	2

Кінець табл. 3

Номер варіанту	Кількість полюсів $2p$	Кількість пазів якоря $Q$	Кількість секцій по ширині паза в одному шарі $u$
23	4	32	2
24	4	16	4
25	4	34	2

### 3.2. Виконання схеми-розгортки

3.2.1. Кількість елементарних пазів статора

$$Q_e = u \cdot Q.$$

3.2.2. Перший частковий крок

$$y_1 = \frac{Q}{2p} \mp \varepsilon,$$

де  $\varepsilon$  – правильний дріб, який робить  $y_1$  цілим числом.

Знак « $\mp$ » переважніше, тому що при цьому скорочується довжина лобової частини.

3.2.3. Результуючий крок петльової обмотки завжди дорівнює 1,  $y = 1$ .

3.2.4. Другий частковий крок петльової обмотки

$$y_2 = y_1 - y.$$

3.2.5. Побудова схеми розгортки

Схема-розгортка будується в такому порядку.

1. Накреслити  $Q_e$  прямих суцільних ліній (рис. 3.1).

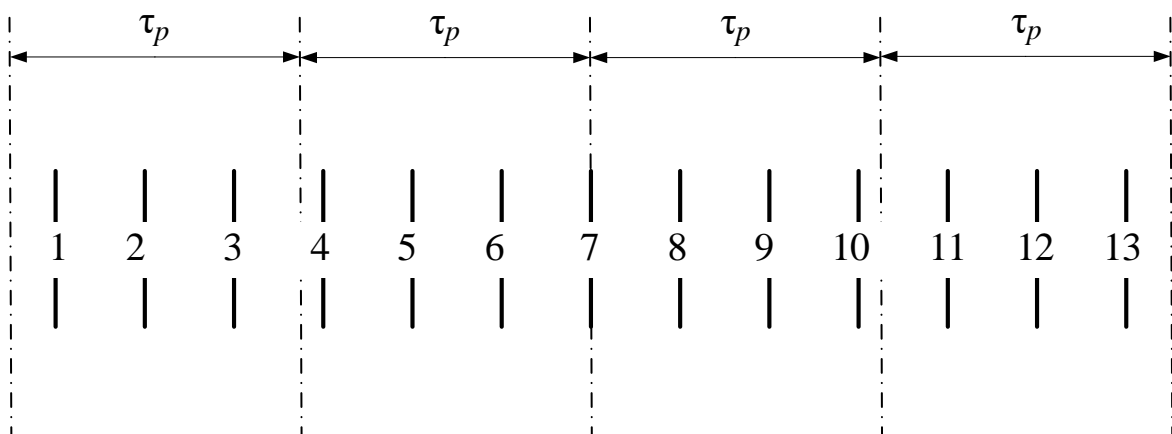


Рисунок 3.1 – Розподіл пазів за полюсними кроками на схемі-розгортці обмотки

2. Пронумерувати пази. Номери пазів ставляться по центру прямої лінії.

3. Пази рівномірно поділити на полюсні кроки  $\tau_p$  штрих-пунктирними

лініями. Ліва та права штрих-пунктирні лінії мають проходити від першого та останнього паза на відстані, що дорівнює половині відстані між двома сусідніми пазами. Кількість полюсних кроків дорівнює кількості полюсів  $2p$ .

4. Побудувати секції обмотки за першим, другим та результируючим кроками.

Від першого паза відлічити кількість пазів, яка дорівнює першому частковому кроку обмотки  $y_1$ . Ліва сторона кожної секції розташовується у верхньому шарі, права – у нижньому. Для зазначеного прикладу перший частковий крок  $y_1 = \frac{Q}{2p} \mp \varepsilon = \frac{13}{4} \mp \frac{1}{4} = 3$ . Провідники секції верхнього шару обмотки розташовуються у першому пазі, нижнього – у четвертому ( $1 + 3 = 4$ ) (рис. 3.2).

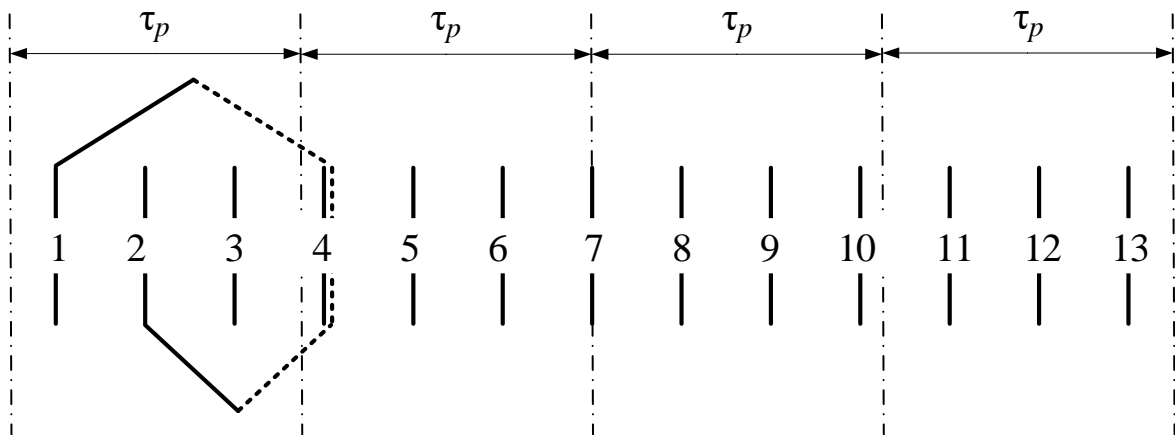


Рисунок 3.2 – Побудова першої секції обмотки

Згори з'єднати симетричною ламаною лінією ліву та праву сторони секції. Ліва сторона ламаної лінії, яка йде від провідника верхнього шару, креслиться суцільною лінією. Права сторона ламаної лінії, які йде від провідника нижнього шару, креслиться пунктирною лінією.

Від провідника нижнього шару обмотки відлічити вліво  $y_2$  пазів. Маємо потрапити в другий паз (для будь-якого варіанту). Знизу з'єднати симетричною ламаною лінією праву сторону першої секції нижнього шару з лівою стороною другої секції верхнього шару, яка розташована у другому пазу. Для зазначеного прикладу другий частковий крок  $y_2 = y_1 - y = 3 - 1 = 2$ . Тому треба з'єднати ламаною лінією четвертий та другий пази.

Продовжити з'єднання провідників верхнього та нижнього шарів обмотки за зазначеним порядком. Треба звернути увагу на провідники, які потрапляють на лінію розрізу схеми-розгортки. Ці лінії мають доходити до лінії розрізу з одного боку і продовжуватися на одному горизонтальному рівні з іншого боку.

Перевіркою правильності з'єднання є потрапляння в перший паз.

5. З'єднати обмотку з колектором.

Колектор зображується смугою, поділеною на колекторні пластини (рис. 3.3). Ширина колекторної пластини дорівнює відстані між двома сусідніми пазами. Середина колекторної пластини має розташовуватися під точкою перелому нижньої ламаної лінії.

Перша колекторна пластина з'єднується з провідником верхнього шару першого паза.

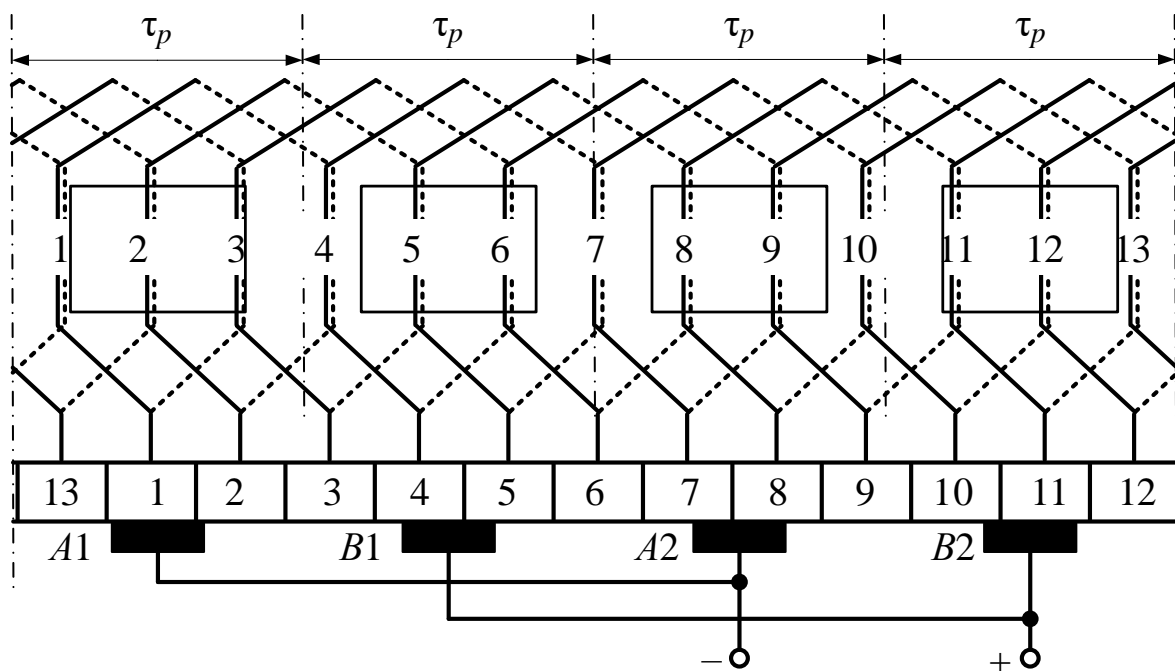


Рисунок 3.3 – Схема-розгортка петльової обмотки якоря машини постійного струму

6. Накреслити полюси.

Полюси зображуються прямокутниками шириною 0,6–0,7 від ширини полюсного кроку та розташовуються по середині полюсного кроку.

7. Розставити щітки та з'єднати щітки.

Щітки зображуються затемненими прямокутниками шириною, що дорівнює ширині колекторної пластини, і розташовуються по середині полюсів (див. рис. 3.3).

Промаркувати щітки. Згідно ДСТУ EN 60034-8 щітки позначаються A1–A2 та B1–B2. Щітки, позначені однаковими літерами, з'єднуються. З кожного з'єднання провести вивідні кінці та промаркувати – та +.

## 4. ПОБУДОВА СХЕМИ-РОЗГОРТКИ ХВИЛЬОВОЇ ОБМОТКИ ЯКОРЯ МАШИНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

### 4.1. Вихідні дані

Для побудови хвильової обмотки якоря машини змінного струму необхідно знати:

- кількість полюсів  $2p$ ;
- кількість пазів якоря  $Q$ ;
- кількість секцій по ширині паза в одному шарі  $u$ .

Вихідні дані хвильових обмоток зазначено в табл. 4 за варіантами.

Таблиця 4 – Вихідні дані для побудови хвильових обмоток якоря машин постійного струму

Номер варіанту	Кількість полюсів $2p$	Кількість пазів якоря $Q$	Кількість секцій по ширині паза в одному шарі $u$
1	4	19	3
2	4	13	5
3	4	13	3
4	4	23	1
5	4	27	1
6	4	17	3
7	4	17	5
8	4	19	1
9	6	22	4
10	4	21	3
11	4	15	3
12	4	23	3
13	4	29	1
14	4	25	1
15	4	15	5
16	4	21	1
17	4	29	1
18	4	23	1
19	4	31	1
20	4	31	3
21	6	20	2
22	6	38	2

Кінець табл. 4

Номер варіанту	Кількість полюсів $2p$	Кількість пазів якоря $Q$	Кількість секцій по ширині паза в одному шарі $u$
23	6	32	2
24	4	27	1
25	6	26	2

## 4.2. Виконання схеми-розгортки

### 4.2.1. Кількість елементарних пазів статора

$$Q_e = u \cdot Q.$$

### 4.2.2. Перший частковий крок

$$y_1 = \frac{Q}{2p} \mp \varepsilon,$$

де  $\varepsilon$  – правильний дріб, який робить  $y_1$  цілим числом.

Знак « $\rightarrow$ » переважніше, тому що при цьому скорочується довжина лобової частини.

### 4.2.3. Результуючий крок хвильової обмотки

$$y = \frac{Q_e - 1}{p}.$$

### 4.2.4. Другий частковий крок хвильової обмотки

$$y_2 = y - y_1.$$

### 4.2.5. Побудова схеми розгортки

Схема-розгортка будується в такому порядку.

1. Накреслити  $Q_e$  прямих суцільних ліній (рис. 4.1).

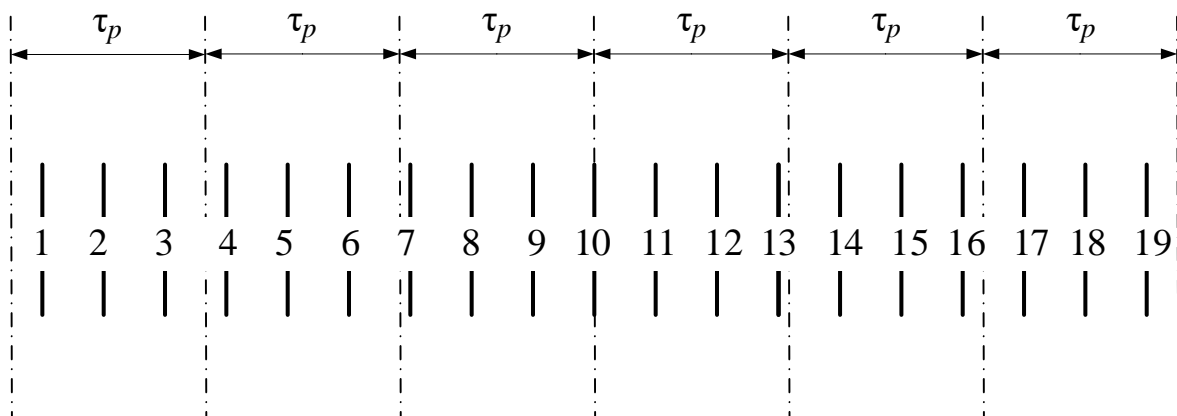


Рисунок 4.1 – Розподіл пазів за полюсними кроками на схемі-розгортці обмотки

2. Пронумерувати пази. Номери пазів ставляться по центру прямої лінії.

3. Пази рівномірно поділити на полюсні кроки  $\tau_p$  штрих-пунктирними лініями. Ліва та права штрих-пунктирні лінії мають проходити від першого та останнього паза на відстані, що дорівнює половині відстані між двома сусідніми пазами. Кількість полюсних кроків дорівнює кількості полюсів  $2p$ .

4. Побудувати секції обмотки за першим, другим та результируючим кроками.

Від першого паза відлічити кількість пазів, яка дорівнює першому частковому кроку обмотки  $y_1$ . Ліва сторона кожної секції розташовується у верхньому шарі, права – у нижньому. Для зазначеного прикладу перший частковий крок  $y_1 = \frac{Q}{2p} \mp \varepsilon = \frac{19}{6} \mp \frac{1}{6} = 3$ . Провідники секції верхнього шару обмотки розташовуються у першому пазі, нижнього – у четвертому ( $1 + 3 = 4$ ) (рис. 4.2).

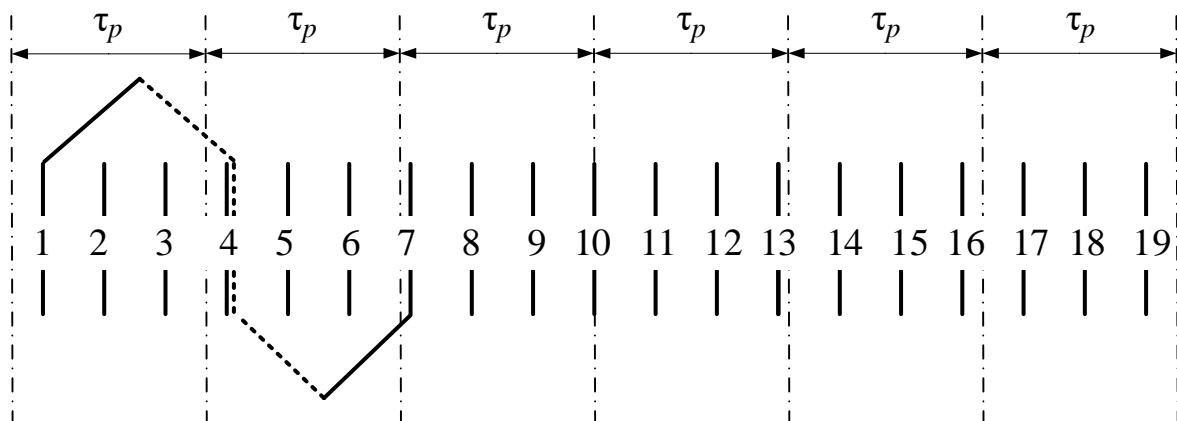


Рисунок 4.2 – Побудова першої секції обмотки

Згори з'єднати симетричною ламаною лінією ліву та праву сторони секції. Ліва сторона ламаної лінії, яка йде від провідника верхнього шару, креслиться суцільною лінією. Права сторона ламаної лінії, яка йде від провідника нижнього шару, креслиться пунктирною лінією.

Від провідника нижнього шару обмотки відлічити вправо  $y_2$  пазів. Для зазначеного прикладу результируючий крок  $y = \frac{Q_e - 1}{p} = \frac{19 - 1}{3} = 6$ , другий частковий крок хвильової обмотки  $y_2 = y - y_1 = 6 - 1 = 3$ . Маємо потрапити в сьомий паз. Знизу з'єднати симетричною ламаною лінією праву сторону першої секції нижнього шару з лівою стороною другої секції верхнього шару, яка розташована сьомому пазу.

Від провідника верхнього шару другої секції відлічити вправо  $y_1$  пазів. Продовжити з'єднання провідників верхнього та нижнього шарів обмотки за

зазначеним порядком. Треба звернути увагу на провідники, які потрапляють на лінію розрізу схеми-розгортки. Ці лінії мають доходити до лінії розрізу з одного боку і продовжуватися на одному горизонтальному рівні з іншого боку.

Перевіркою правильності з'єднання є потрапляння в перший паз.

5. З'єднати обмотку з колектором.

Колектор зображується смугою, поділеною на колекторні пластини (рис. 4.3). Ширина колекторної пластини дорівнює відстані між двома сусідніми пазами. Середина колекторної пластини має розташовуватися під точкою перелому нижньої ламаної лінії.

Перша колекторна пластина з'єднується з провідником верхнього шару першого паза.

6. Накреслити полюси.

Полюси зображуються прямокутниками шириною 0,6–0,7 від ширини полюсного кроку та розташовуються по середині полюсного кроку.

7. Розставити щітки та з'єднати щітки.

Щітки зображуються затемненими прямокутниками шириною, що дорівнює ширині колекторної пластини, і розташовуються по середині полюсів (див. рис. 4.3).

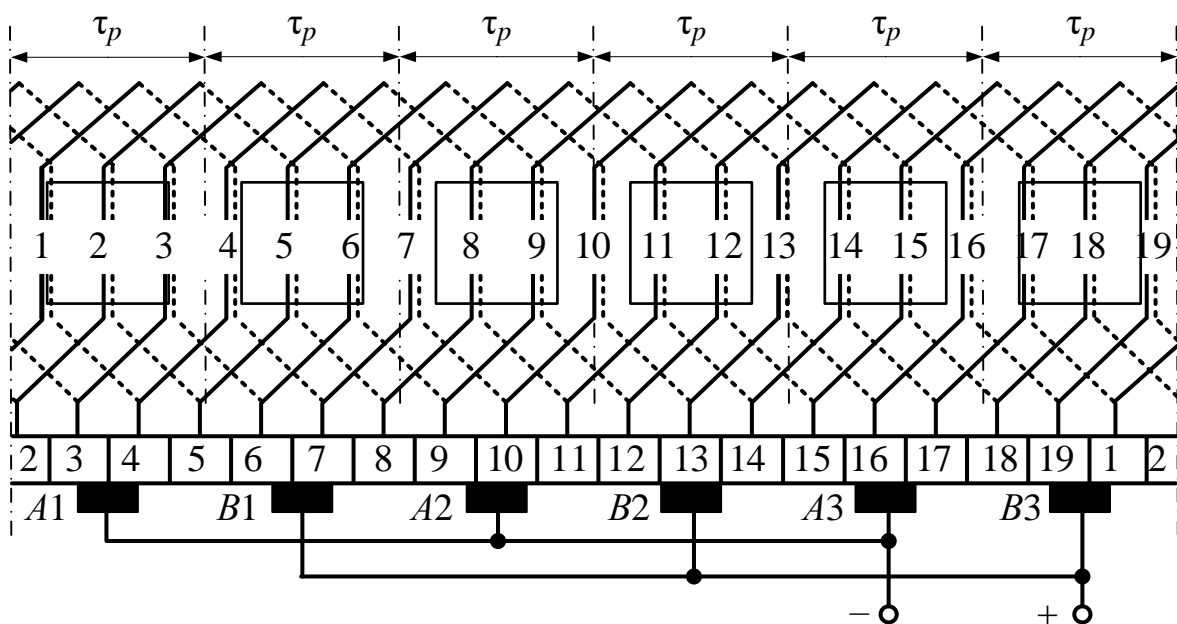


Рисунок 4.3 – Схема-розгортка хвильової обмотки якоря машини постійного струму

Промаркувати щітки. Згідно ДСТУ EN 60034-8 щітки позначаються  $A1$ – $A2$ – $A3$  та  $B1$ – $B2$ – $B3$ . Щітки, позначені однаковими літерами, з'єднуються. З кожного з'єднання провести вивідні кінці та промаркувати – та +.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Мілих В.І. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : підручник / В.І. Мілих, О.О. Шавьолкін; за ред. В.І.Мілих. – Київ : Каравела, 2012. – 688 с.
2. Мілих В.І. Електротехніка та електромеханіка / В.І. Мілих. – Київ : Каравела, 2006. – 376 с.
3. Андрієнко В.М. Електричні машини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напрямом підгот. «Електротехніка та електротехнології» / В.М. Андрієнко, В.П. Куєвда. – К. : НУХТ, 2010. – 366 с.
4. Белікова Л.Я. Електричні машини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Л.Я. Белікова, В.П. Шевченко. – Одеса : Наука і техніка, 2012. – 478 с.
5. Загірняк М.В. Електричні машини : підручник / М. В. Загірняк, Б. І. Невзлін. – Київ : Знання, 2009. – 399 с.
6. Електричні машини : підручник / Б.Т. Кононов, Г.І. Лагутін, О.Б. Котов та ін.; за заг. ред. Б.Т. Кононова. – Харків : ХУПС, 2015. – 493 с.
7. Яцун М.А. Електричні машини : навч. посіб. для студ. базового напрямку «Електромеханіка» / М.А. Яцун – 2-ге вид., стер. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2004. – 440 с.
8. Мілих В.І. Літерні позначення величин та параметрів електричних машин: методичні вказівки до використання в навчальному процесі кафедри «Електричні машини» для студентів і викладачів електротехнічних спеціальностей / Укладач В.І. Мілих. – Харків: НТУ «ХП», 2007. – 34 с.
9. СТЗВО-ХП-3.01-2021. Текстові документи у сфері навчального процесу. – [Діє від 09.12.2021]. – Харків: НТУ «ХП», 2021. – 48 с.
10. Офіційна сторінка кафедри «Електричні машини» НТУ «ХП». – Режим доступу : <http://web.kpi.kharkov.ua/elmash/>.

Навчальне видання

## ПОБУДОВА СХЕМ-РОЗГОРТОК ОБМОТОК ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

Методичні вказівки до виконання розрахункового завдання  
з дисципліни «Загальна теорія електричних машин»  
для студентів всіх форм навчання  
спеціальності 141 «Електротехніка, електроенергетика та електромеханіка»

Укладач: ЮР'ЄВА Олена Юріївна

Відповідальний за випуск А. В. Єгоров

Роботу до видання рекомендував Б. Г. Любарський

В авторській редакції

План 2024 р. п. 810

Підписано до друку . Гарнітура Times New Roman.

---

Видавничий центр НТУ «ХП»,  
вул. Кирпичова, 2, Харків, 61002  
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

---

Електронна версія