

## Одношарові двошвидкісні обмотки для асинхронного двигуна

Л. Я. Белікова, В. П. Шевченко, А. М. Якімець  
Національний університет «Одеська політехніка»

**Анотація.** Проведений синтез трифазних двошвидкісних полюсопереміємих обмоток (ППО) зі співвідношенням полюсів  $2p_1:2p_2 = 8:6$  та схемою комутації УУУ/УУУ у 54 пазах статора. Для синтезу ППО використаний таблично-векторний спосіб. Основна увага приділена до синтезу одношарових двошвидкісних обмоток. За результати розрахунків рекомендована до використання у двигунах з 54 пазами на статорі нова одношарова двошвидкісна схема обмотки  $2p_1:2p_2 = 8:6$  зі схемою комутації УУУ/УУУ.

**Ключові слова:** схема обмотки, число фаз, схема комутації, зрівнювальні ЕРС.

### Вступ

У ряді випадків виникає необхідність у роботі асинхронної машини при різних фіксованих частотах обертання. З цією метою використовують двигуни з багатошвидкісними обмотками. Це дозволяє підвищити економічність роботи приводного механізму без використання досить коштовного перетворювача частоти.

Багатошвидкісні двигуни застосовуються в металорізальних і деревообробних верстатах, у вантажних і пасажирських ліфтах, для приводів вентиляторів і насосів і в ряді інших випадків.

Одним з найважливіших напрямків науково технічного прогресу в сучасному машинобудуванні є зниження питомих трудових і матеріальних витрат у процесі виробництва як електричних машин так і приводів в цілому.

### 1 Постановка задач дослідження

Дана робота присвячена синтезу двошвидкісних одношарових полюсопереміємих обмоток зі співвідношенням полюсів 8:6 та схемою комутації УУУ/УУУ із застосуванням таблично-векторного методу.

Крім того треба провести симетрування отриманих ППО шляхом зменшення зрівнювальних ЕРС, а також розрахувати їх. Схема комутації обмотки показана на рис. 1.

При перемиканні обмотки з одного числа пар полюсів на інше відбувається зміна фази струму без зміни напрямку струму. Синтез

обмоток здійснюватимемо за допомогою таблично-векторного способу (ТВС), який заснований на використанні векторних діаграм пазових ЕРС, записаних в табличній формі.

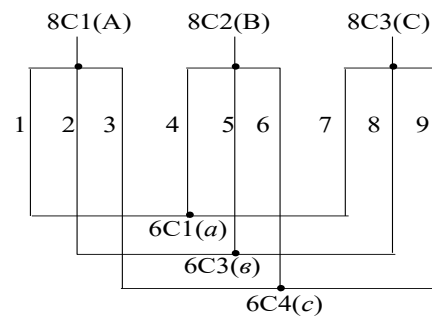


Рис. 1 - Схема комутації УУУ/УУУ

Початковими даними для побудови таблиць активних котушкових сторін (АКС) обмотки є числа пазів статора  $Z_1$ , фаз і пар полюсів.

Основним завданням синтезу ППО є пошук раціонального розподілу АКС по розточуванню статора і гілок схеми зовнішньої комутації. Розглянемо синтез двошвидкісної ППО зі співвідношенням полюсів  $2p_1:2p_2=8:6$  у  $Z_1=54$  та схемою комутації УУУ/УУУ.

Для цього побудуємо зірки пазових ЕРС для чисел полюсів  $2p_1=8$ ,  $2p_2=6$  у третині пазів  $Z_1/3$  (рис. 2.). Визначаємо кути зрушення між ЕРС сусідніх пазів в електричних градусах

- при  $2p_2=6$ :

$$\alpha_{(2p_2=6)} = \frac{360 \cdot p}{Z_1} = \frac{360 \cdot 3}{54} = 20^\circ;$$

- при  $2p_1=8$ :

$$\alpha_{(2p_1=8)} = \frac{360 \cdot p}{Z_1} = \frac{360 \cdot 4}{54} = 26,66^\circ.$$

На зірках пазових ЕРС проводимо осі, що розділяють обмотку на 120 градусні фазні зони.  
 Номери АКС, що входять в 120° фазні зони, записуємо у вигляді таблиці. У перший рядок записуються номери АКС 120° ФЗ фази А.

У наступні рядки фази А записуються номери АКС, що мають однакову фазу, або зрушених на 180° стосовно них. Останнім АКС необхідно привласнити знак «-».

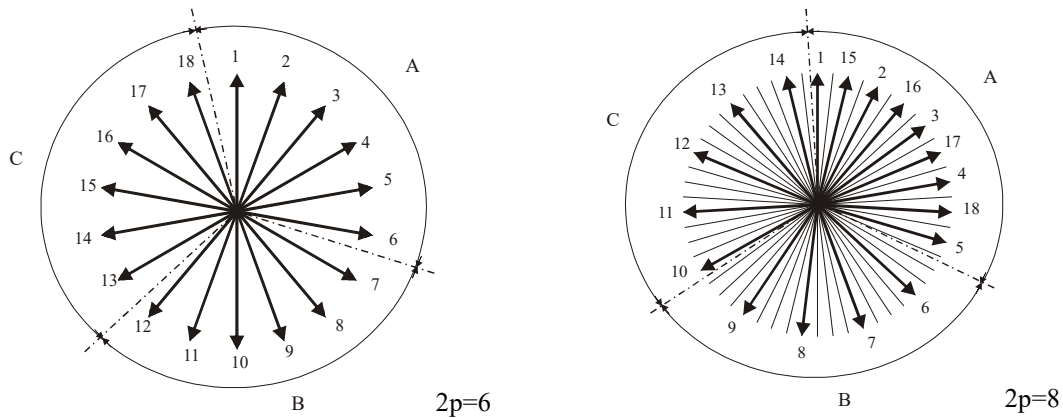


Рис. 2 - Векторні діаграми пазових ЕРС

**2 Синтез обмоток**

Синтез обмоток за допомогою ТВС при схемі комутації УУУ/УУУ можна здійснити в межах 1/3 числа пазів статора. Це дозволяє скоротити число елементів таблиці при визначенні розподілу АКС обмотки.

Для формування варіантів ППО насамперед проектується симетричні розподіли обмотки зі 120° ФЗ при 2p2=6. У табл. 1 представлені номери АКС для однієї третини пазів Z1/3=18 обмотки зі співвідношенням полюсів 2p1:2p2=8:6.

Таблиця 1

Синтез ППО 2p1 : 2p2 = 8 : 6, УУУ/УУУ, Z1 = 54, вар.1

2p2 = 6		2p1 = 8																																																																																																														
A	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>-10</td><td>-11</td><td>-12</td><td>-13</td><td>-14</td><td>-15</td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6	-10	-11	-12	-13	-14	-15	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td></tr> <tr><td>-8</td><td>-9</td><td>-10</td><td>-11</td><td>-12</td><td>-13</td><td>-14</td><td>-15</td><td>-16</td><td>-17</td><td>-18</td><td>-19</td><td>-20</td><td>-21</td><td>-22</td><td>-23</td><td>-24</td><td>-25</td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22	-23	-24	-25	a																																																													
	1	2	3	4	5	6																																																																																																										
	-10	-11	-12	-13	-14	-15																																																																																																										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18																																																																																															
-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22	-23	-24	-25																																																																																															
B	<table border="1"> <tr><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td></tr> <tr><td>-16</td><td>-17</td><td>-18</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-3</td></tr> </table>	7	8	9	10	11	12	-16	-17	-18	-1	-2	-3	<table border="1"> <tr><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td>32</td><td>33</td><td>34</td><td>35</td><td>36</td><td>37</td><td>38</td><td>39</td><td>40</td><td>41</td><td>42</td><td>43</td><td>44</td><td>45</td><td>46</td><td>47</td><td>48</td><td>49</td><td>50</td><td>51</td><td>52</td><td>53</td><td>54</td></tr> <tr><td>-12</td><td>-13</td><td>-14</td><td>-15</td><td>-16</td><td>-17</td><td>-18</td><td>-19</td><td>-20</td><td>-21</td><td>-22</td><td>-23</td><td>-24</td><td>-25</td><td>-26</td><td>-27</td><td>-28</td><td>-29</td><td>-30</td><td>-31</td><td>-32</td><td>-33</td><td>-34</td><td>-35</td><td>-36</td><td>-37</td><td>-38</td><td>-39</td><td>-40</td><td>-41</td><td>-42</td><td>-43</td><td>-44</td><td>-45</td><td>-46</td><td>-47</td><td>-48</td><td>-49</td><td>-50</td><td>-51</td><td>-52</td><td>-53</td><td>-54</td></tr> </table>	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22	-23	-24	-25	-26	-27	-28	-29	-30	-31	-32	-33	-34	-35	-36	-37	-38	-39	-40	-41	-42	-43	-44	-45	-46	-47	-48	-49	-50	-51	-52	-53	-54	b					
	7	8	9	10	11	12																																																																																																										
-16	-17	-18	-1	-2	-3																																																																																																											
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																																																																
-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22	-23	-24	-25	-26	-27	-28	-29	-30	-31	-32	-33	-34	-35	-36	-37	-38	-39	-40	-41	-42	-43	-44	-45	-46	-47	-48	-49	-50	-51	-52	-53	-54																																																																						
C	<table border="1"> <tr><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td></tr> <tr><td>-4</td><td>-5</td><td>-6</td><td>-7</td><td>-8</td><td>-9</td></tr> </table>	13	14	15	16	17	18	-4	-5	-6	-7	-8	-9	<table border="1"> <tr><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td>32</td><td>33</td><td>34</td><td>35</td><td>36</td><td>37</td><td>38</td><td>39</td><td>40</td><td>41</td><td>42</td><td>43</td><td>44</td><td>45</td><td>46</td><td>47</td><td>48</td><td>49</td><td>50</td><td>51</td><td>52</td><td>53</td><td>54</td></tr> <tr><td>-3</td><td>-4</td><td>-5</td><td>-6</td><td>-7</td><td>-8</td><td>-9</td><td>-10</td><td>-11</td><td>-12</td><td>-13</td><td>-14</td><td>-15</td><td>-16</td><td>-17</td><td>-18</td><td>-19</td><td>-20</td><td>-21</td><td>-22</td><td>-23</td><td>-24</td><td>-25</td><td>-26</td><td>-27</td><td>-28</td><td>-29</td><td>-30</td><td>-31</td><td>-32</td><td>-33</td><td>-34</td><td>-35</td><td>-36</td><td>-37</td><td>-38</td><td>-39</td><td>-40</td><td>-41</td><td>-42</td><td>-43</td><td>-44</td><td>-45</td><td>-46</td><td>-47</td><td>-48</td><td>-49</td><td>-50</td><td>-51</td><td>-52</td><td>-53</td><td>-54</td></tr> </table>	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22	-23	-24	-25	-26	-27	-28	-29	-30	-31	-32	-33	-34	-35	-36	-37	-38	-39	-40	-41	-42	-43	-44	-45	-46	-47	-48	-49	-50	-51	-52	-53	-54	c
	13	14	15	16	17	18																																																																																																										
-4	-5	-6	-7	-8	-9																																																																																																											
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																																																																				
-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22	-23	-24	-25	-26	-27	-28	-29	-30	-31	-32	-33	-34	-35	-36	-37	-38	-39	-40	-41	-42	-43	-44	-45	-46	-47	-48	-49	-50	-51	-52	-53	-54																																																													

У табл. 2. показаний розподіл отриманої двошвидкісної обмотки в повнім числі пазів. При 2p2 = 6 розподіл АКС по фазах у кожній третині пазів повторюється, а при 2p1 = 8 відрізняється на 120° і 240°, що еквівалентно додаванню цифр 2 і 4.

По отриманому розподілу формуються номери АКС по дев'ятох гілках схеми комутації УУУ/УУУ (табл. 3).

У табл. 4 наведений синтез другого варіанта ППО з іншим розподілом АКС при 2p2 = 6.

Таблиця 2

Розподіл пазів по фазах ППО з  $2p_1 : 2p_2 = 8 : 6$ ,  $Z_1 = 54$ , УУУ/УУУ, вар.1

$Z_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$2p_1 = 8$	5	0			1	2	3	2	3	4	5	4	5	0	1			
$2p_2 = 6$	5	0			1	2	1	2	3	2	3	4	3	4	5			
$Z_1$	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
$2p_1 = 8$	1	2			3	4	5	4	5	0	1	0	1	2	3			
$2p_2 = 6$	5	0			1	2	1	2	3	2	3	4	3	4	5			
$Z_1$	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
$2p_1 = 8$	3	4			5	0	1	0	1	2	3	2	3	4	5			
$2p_2 = 6$	5	0			1	2	1	2	3	2	3	4	3	4	5			

Таблиця 3

Номери АКС по гілках схеми УУУ/УУУ для ППО 8:6,  $Z_1 = 54$ , вар.1

№ гілки	Закон перемикання	Номери АКС					
1	<i>A-a</i> (0-0 або 3-3)	2	3	4	-10	-48	-50
2	<i>A-в</i> (0-2 або 3-5)	29	-35	-36	-37	43	45
3	<i>A-c</i> (0-4 або 3-1)	-8	15	16	-23	-24	-31
4	<i>B-a</i> (2-0 або 5-3)	-12	-14	20	21	22	-28
5	<i>B-в</i> (2-2 або 5-5)	-1	7	9	47	-53	-54
6	<i>B-c</i> (2-4 або 5-1)	-26	33	34	-41	-42	49
7	<i>C-a</i> (4-0 або 1-3)	-30	-32	38	39	40	-46
8	<i>C-в</i> (4-2 або 1-5)	11	-17	-18	-19	25	27
9	<i>C-c</i> (4-4 або 1-1)	-5	-6	13	-44	51	52

Таблиця 4

Синтез одношарової ППО  $2p_1 : 2p_2 = 8 : 6$ , УУУ/УУУ,  $Z_1 = 54$ , вар. 2

$2p_2 = 6$						$2p_1 = 8$							
A	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5		a
	-10	-11	-12	-13	-14	-15	15	16	17	18			
							-8	-9	-10	-11	-12		
B	7	8	9	10	11	12	6	7	8	9			в
	-16	-17	-18	-1	-2	-3	-12	-13	-14	-15	-16		
									-1	-2			
C	13	14	15	16	17	18	10	11	12	13	14		c
	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-3	-4	-5	-6	-7		
							-17	-18					

Аналогічно формується розподіл АКС розподілі формуються номери АКС по дев'ятох другого варіанту двошвидкісної обмотки в гілках схеми комутації УУУ/УУУ (табл. 6). повнім числі пазів (табл. 5), а по отриманому

Таблиця 5

Розподіл пазів по фазах ППО з  $2p_1 : 2p_2 = 8 : 6$ ,  $Z_1 = 54$ , УУУ/УУУ, вар. 2

$Z_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$p_2=3$	0	5	0	1	0	1	2	1	3	3	2	4	3	5	4	5		
$p_1=4$	0	1	0	5	0	5	4	3	3	3	2	2	1	1	0	5		
$Z_1$	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
$p_2=3$	0	5	0	1	0	1	2	1	3	3	2	4	3	5	4	5		
$p_1=4$	2	3	2	1	2	1	0	5	5	5	4	4	3	3	2	1		
$Z_1$	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
$p_2=3$	0	5	0	1	0	1	2	1	3	3	2	4	3	5	4	5		
$p_1=4$	4	5	4	3	4	3	2	1	1	1	0	0	5	5	4	3		

Таблиця 6

Номери АКС по гілках схеми, УУУ/УУУ  $Z_1 = 54$  для ППО 8:6, вар. 2

№ гілки	Закон перемикання	Номери АКС					
1	<i>A-a</i> (0-0 або 3-3)	+1	+3	+5	-10	-11	-33
2	<i>A-в</i> (0-2 або 3-5)	+19	+21	+23	-28	-29	-51
3	<i>A-c</i> (0-4 або 3-1)	+37	+39	+41	-15	-46	-47
4	<i>B-a</i> (2-0 або 5-3)	+25	+26	+48	-20	-34	-54
5	<i>B-в</i> (2-2 або 5-5)	+12	+43	+44	-18	-38	-52
6	<i>B-c</i> (2-4 або 5-1)	+7	+8	+30	-2	-16	-36
7	<i>C-a</i> (4-0 або 1-3)	+17	+31	+32	-9	-22	-24
8	<i>C-в</i> (4-2 або 1-5)	+13	+14	+35	-4	-6	-27
9	<i>C-c</i> (4-4 або 1-1)	+31	+32	+53	-22	-24	-45

У табл. 7 наведені результати розрахунків по програмі «ДЕЕ» обмотувальних коефіцієнтів і різницевої ЕРС для отриманих варіантів ППО.

Кращим є варіант ППО №1. Обмотка характеризується великими значеннями обмоткових коефіцієнтів на обох числах пар полюсів

$$k_{w2p=6} = 0,902, \quad k_{w2p=8} = 0,89.$$

У цьому варіанті при  $2p=8$  зрівнювальні ЕРС практично відсутні

$$\Delta E^* = 0,01.$$

Для цього варіанту на рис. 3 показана схема з'єднання АКС обмотки 8:6 по схемі комутації УУУ/УУУ з шістьма вивідними кінцями: 8С1, 8С2, 8С3, 6С1, 6С2, 6С3. На рис. 4 показана схема-розгортка цієї одношарової ППО.

Таблиця 7

Дані розрахунків обмотувальних коефіцієнтів і  $\Delta E$  варіантів ППО  $2p_1 : 2p_2 = 8 : 6$ ,  $Z_1 = 54$ , УУУ/УУУ

№ вар.	2p	$k_R$	$\Delta E^*_{np}$	$\Delta E^*_{звop}$	$\Delta E^*$	$k_w$	$k_{wcp}$	$B_{\delta(2p=8)} / B_{\delta(2p=6)}$
1	8	0,890	0,007	0,006	0,010	0,890	0,896	1,36
	6	0,902				0,902		
2	8	0,877	0,027	0,022	0,035	0,877	0,809	1,13
	6	0,742				0,742		

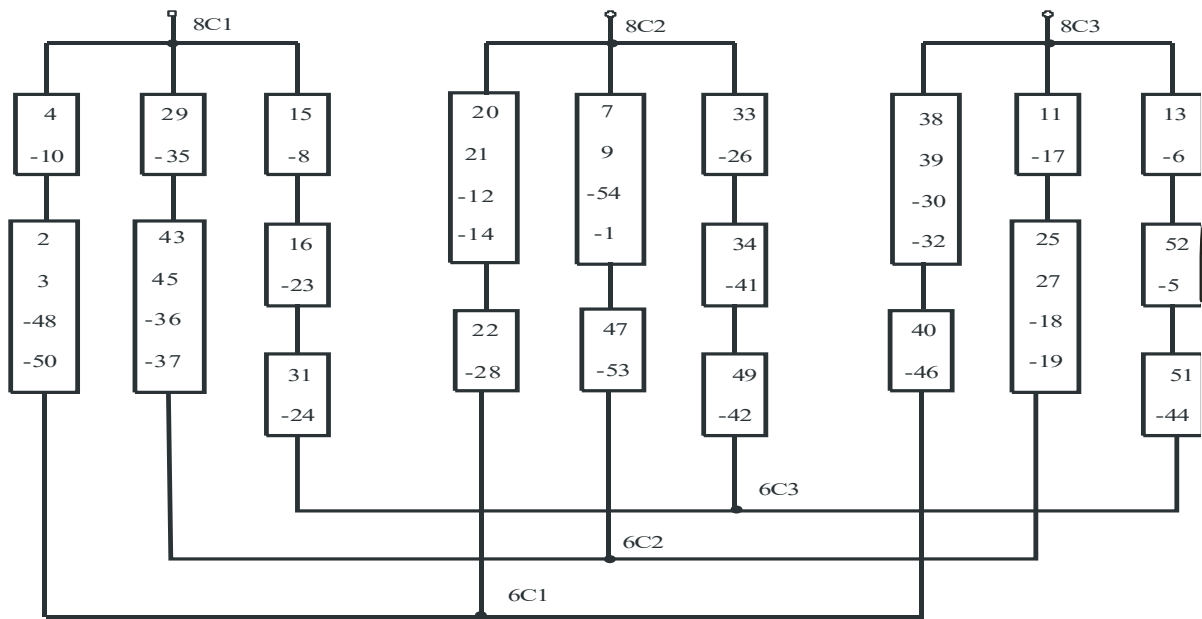


Рис. 3 - Схема комутації УУУ/УУУ ППО  $2p_1 : 2p_2 = 8 : 6$ ,  $Z_1 = 54$ , вар.1

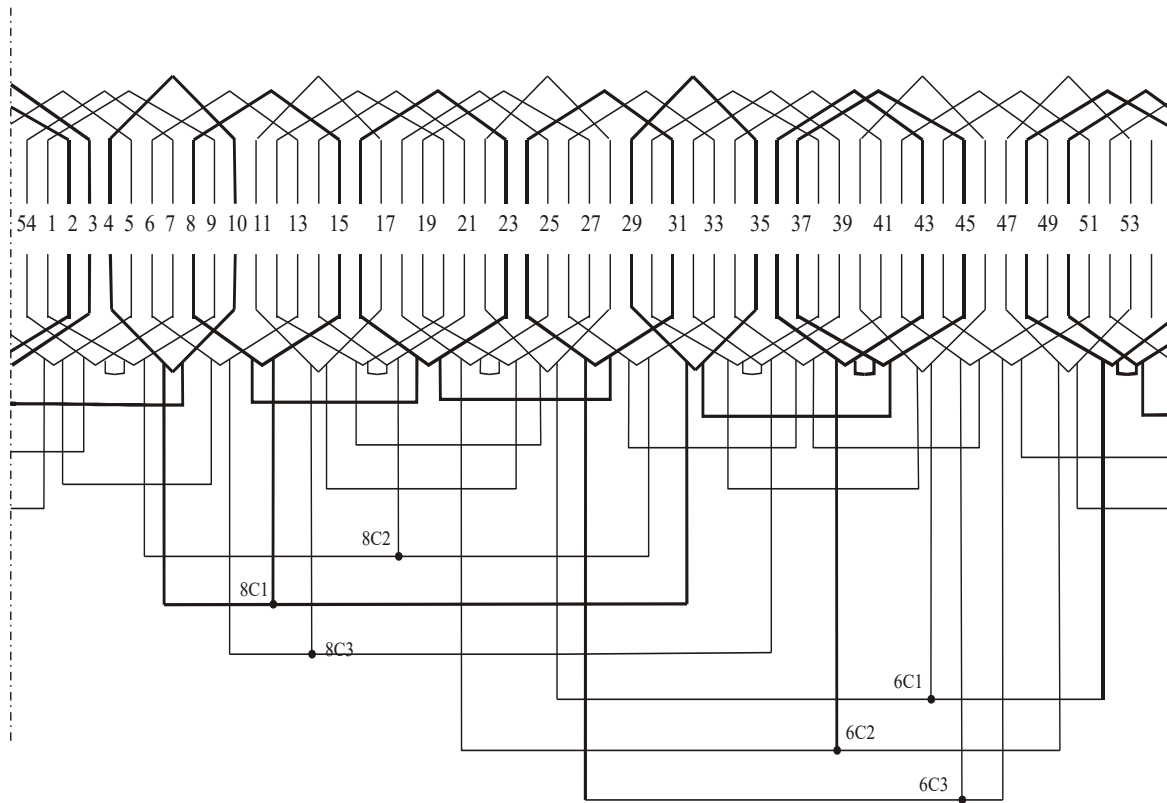


Рис. 4 - Схема-розгортка одношарової ППО зі схемою комутації, УУУ/УУУ  $2p_1 : 2p_2 = 8 : 6$ ,  $Z_1 = 54$ , вар.1

### Висновки

Проведений синтез трифазних двошвидкісних полюсоперемикальних обмоток (ППО) зі співвідношенням чисел полюсів  $2p_1 : 2p_2 = 8 : 6$  та схемою комутації УУУ/УУУ у 54 пазах статора із використанням таблично-векторного способу (ТВС). Зроблений гармонічний аналіз 2-х варіантів одношарових ППО.

За результатами розрахунків та аналізу, для подальшого використання обраний 1-й варіант ППО у якого найменша зрівнювальна ЕРС при  $2p=8$  та досить високі значення обмоткових коефіцієнтів на обох числах пар полюсів. Дана обмотка буде використана у двошвидкісних асинхронних двигунах з 54 пазами на статорі.

## Список використаної літератури

1. Белікова Л. Я., Чайковський В. П. Синтез та симетрування полюсо-перемикальних обмоток 6:4 зі схемою УУУ/УУУ таблично-векторним способом // «Електротехнічні та комп'ютерні системи». Науково-технічний журнал 2022, №36(112), – с. 40-47. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.36.112.2022.02>  
<https://eltecs.op.edu.ua/index.php/journal/article/view/3225/1138>
2. Белікова Л. Я. Спеціальні обмотки асинхронних двигунів. Монографія. С-167, 2024р. <http://dspace.opu.ua/jspus/handle/123456789/14545>

## References

1. Bielikova L. Ya., Chaikovskiy V. P. Synthesis and symmetrization of pole-switching windings 6:4 with the UUU/UUU scheme by the tabular-vector method // «Electrical and computer systems». Scientific and Technical Journal 2022, No. 36(112), – pp. 40-47. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.36.112.2022.02>  
<https://eltecs.op.edu.ua/index.php/journal/article/view/3225/1138>
2. Bielikova L. Ya., Special windings of induction motors. Monograph. C-167, 2024. <http://dspace.opu.ua/jspus/handle/123456789/14545>

## Single-Layer Two-Speed Windings for an Induction Motor

L. Ya. Belikova, V. P. Shevchenko, A. M. Yakimets  
Odesa Polytechnic National University

**Abstract.** The synthesis of three-phase two-speed pole-changing windings (PCW) with a pole ratio of  $2p_1:2p_2 = 8:6$  and a commutation scheme UUU/UUU in 54 stator slots was carried out. The table-vector method was used for the synthesis of PCW. The main attention is paid to the synthesis of single-layer two-speed windings. According to the results of the calculations, a new single-layer two-speed winding scheme  $2p_1:2p_2 = 8:6$  with a commutation scheme VVV/VVV is recommended for use in motors with 54 stator slots.

**Keywords:** winding diagram, number of phases, commutation diagram, equalizing EMF.

Отримано 28.10.2025



**Белікова Людмила Яківна**, к. т. н., доцент, доцент кафедри електромеханічної інженерії, Національний університет «Одеська політехніка»; проспект Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна. E-mail: [conda@ukr.net](mailto:conda@ukr.net); тел.: +38 066 699 3342

**Liudmyla Ya. Bielikova**, PhD., Associate Professor, Associate Professor of the Department Electromechanical Engineering, Odesa Polytechnic National University; 1, Shevchenko Avenue, Odesa, 65044, Ukraine. E-mail: [conda@ukr.net](mailto:conda@ukr.net); ph.: +38 066 699 3342

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0001-5999-8205>



**Якімець Андрій Миронович**, к. т. н., доцент, завідувач кафедри електромеханічної інженерії, Національний університет «Одеська політехніка»; проспект Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна. E-mail: [a.m.yakimets@op.edu.ua](mailto:a.m.yakimets@op.edu.ua); тел.: +38 097 219 6702

**Andrii M. Yakimets**, PhD, Associate Professor, Head of the Department of Electromechanical Engineering, Odesa Polytechnic National University; 1, Shevchenko Avenue, Odesa, 65044, Ukraine. E-mail: [a.m.yakimets@op.edu.ua](mailto:a.m.yakimets@op.edu.ua); ph.: +38 097 219 6702

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0002-0588-8606>



**Шевченко Володимир Петрович**, к. т. н., доцент, доцент кафедри електромеханічної інженерії, Національний університет «Одеська політехніка»; проспект Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна. E-mail: [shevospu@gmail.com](mailto:shevospu@gmail.com); тел.: +38 067 798 2717

**Volodymyr P. Shevchenko**, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department Electromechanical Engineering, Odesa Polytechnic National University; 1, Shevchenko Avenue, Odesa, 65044, Ukraine. E-mail: [shevospu@gmail.com](mailto:shevospu@gmail.com); ph.: +38 067 798 2717

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0002-5679-3607>