

## УНІФІКАЦІЯ ЯК КРИТЕРІЙ ПОРІВНЯЛЬНОЇ ОЦІНКИ СТРУКТУРНИХ СХЕМ ТЯГОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ БАГАТОСИСТЕМНОГО ЕЛЕКТРОВОЗА

У статті проведено порівняльний аналіз різних варіантів структурних схем статичного перетворювача для тягового привода перспективних багатосистемних електровозів. В якості критерію порівняльної оцінки запропоновано використовувати значення основних показників уніфікації функціональних вузлів, які входять до складу перетворювача.

В статье проведен сравнительный анализ различных вариантов структурных схем статического преобразователя для тягового привода перспективных многосистемных электровозов. В качестве критерия сравнительной оценки предлагается использовать значения основных показателей унификации функциональных узлов, входящих в состав преобразователя.

In the article a comparative analysis of different variants of structured schemes of static converters for traction drive of the promising multi-system electric locomotive is performed. As a criterion of comparison estimation it is offered to use the values of main parameters of unification of functional units included in the converter.

### Вступ

В наш час електрорухомий склад залізниць, що експлуатується, та система тягового електропостачання знаходяться не у кращому стані, необхідна їхня повномасштабна модернізація. Особливо гостро стоїть питання підвищення пропускної спроможності ділянок залізниць, електрифікованих постійним струмом. Вирішити цю задачу можливо за рахунок переведення електричної тяги всіх залізниць України на змінний струм (що потребує значних коштів) або підвищення напруги у контактній мережі постійного струму (враховуючі наявний запас по електричній міцності ізоляції). При цьому буде необхідно вводити в експлуатацію електровози, які можуть працювати як при постійному, так і змінному струмах, при різних рівнях напруги у контактній мережі – це так званий багатосистемний електрорухомий склад. Введення в експлуатацію цих електровозів дозволить вирішити проблему оновлення тягового рухомого складу з одночасним збільшенням пропускної спроможності електрифікованих постійним струмом ділянок.

Аналіз літературних джерел показав, що основою тягового привода сучасних одно-, двох- та багатосистемних електровозів є статичний перетворювач. Існують різні варіанти схемної реалізації тягових статичних перетворювачів електровозів, аналіз яких дозволяє визначитись з їх загальною структурою [1, 2 та ін.].

Вибір раціональної структури, розробка схем та конструкцій статичних перетворювачів

для тягового привода багатосистемних електровозів не можуть бути виконані в повному обсязі без оцінювання різних варіантів структурних схем, з точки зору уніфікації перетворювачів.

### Мета роботи

Визначення функціональних вузлів, на базі яких доцільним є будувати статичний перетворювач для тягового привода багатосистемного електровозу.

### Матеріал і результати дослідження

Уніфікація – одна з найбільш поширених і ефективних різновидів стандартизації.

Стандартизація – встановлення та використання правил з метою упорядкування діяльності у визначеній області на користь та за участі всіх зацікавлених сторін, зокрема для досягнення загальної економії при дотриманні умов експлуатації та вимог безпеки [3].

Уніфікація складових частин статичних перетворювачів для тягового привода багатосистемних електровозів дозволить зменшити витрати часу та коштів по створенню нових типів перетворювачів за рахунок використання модульності конструкції. Так, відпрацювання схемного та конструктивного рішення модуля тягового інвертора для чотирьохвісного електровозу з АТД дозволить його використовувати в складі тягового привода шестивісного електровозу з АТД.

Уніфікацію, в даному випадку, розглядаємо як задачу, метою якої є визначення функціональних вузлів перетворювача, які доцільно використовувати у складі тягового перетворювача, незалежно від виду тягового двигуна, роду струму та рівня напруги у контактній мережі.

Оцінювати рівень уніфікації функціональних вузлів перетворювальної структури пропонується за наступними показниками.

Частість використання функціонального вузла у складі перетворювальної структури

$$K_N = \frac{N_j}{N}, \text{ де } N \text{ та } N_j, \text{ відповідно, - загальна}$$

кількість функціональних вузлів у всіх розглянутих перетворювальних структурах та кількість функціональних вузлів, рівень уніфікації яких розглядається.

Частість використання функціонального вузла у складі перетворювальної структури, з урахуванням кількості типів функціональних вузлів

$$K_M = \frac{1}{M}, \text{ де } M \text{ - кількість типів функціональних}$$

вузлів.

Залежно від структури перетворювача тягового привода багатосистемних електровозів пропонується наступна їх класифікація, яка враховує:

1) кількість та вид тягового двигуна: 4А – чотири асинхронних тягових двигуна (АТД); 6А – шість АТД; 4Т – чотири двигуна постійного струму (ТДПС); 6Т – шість ТДПС;

2) тип силового модуля: М1, М2, М3, М4, М5 або М6;

3) тип трансформатора підвищеної частоти: 1Ф – однофазний; 3Ф – трифазний;

4) схему з'єднання вхідних випрямлячів мережевого контуру за формулою  $t \times a$ , де  $t$  – кількість паралельних груп послідовно з'єднаних мережевих випрямлячів;  $a$  – кількість послідовно з'єднаних мережевих випрямлячів.

Наприклад, тяговий статичний перетворювач для живлення чотирьох асинхронних тягових двигунів, побудований з силових модулів типу М2 (тобто два тягових двигуна на один силовий модуль) з використанням трифазних трансформаторів підвищеної частоти, в складі якого використовуються шість мережевих випрямлячів, буде класифіковано як: 4А-М2-3Ф-2м3а (рис. 1).

На рис. 2 представлено розгорнуту структуру тягового перетворювача 6Т-М1-1Ф-6м1а, призначеного для живлення шести тягових двигунів постійного струму.

На рис. 1 та 2 прийняті наступні скорочення: ПР – перемикач режимів (змінний або постійний струм); МВ – випрямляч мережевого

контуру; ФН – фільтр-накопичувач; МІ – інвертор мережевого контуру; ТТПЧ – трифазний трансформатор підвищеної частоти; ТПЧ – однофазний трансформатор підвищеної частоти; ТВ – випрямляч тягового контуру; ТІ – тяговий інвертор; АТД – асинхронний тяговий двигун; ТДПС – тяговий двигун постійного струму.

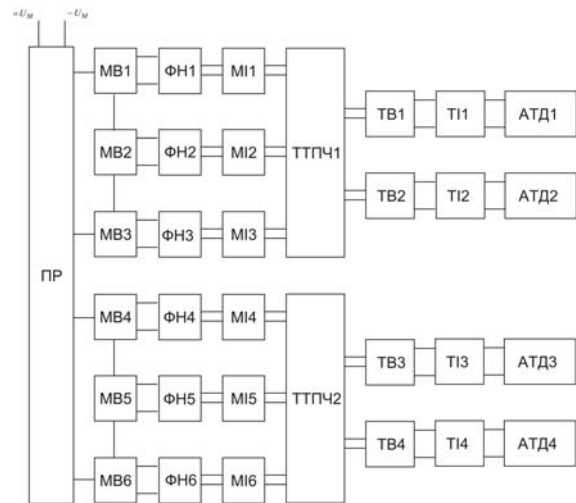


Рис. 1. Розгорнута структура тягового перетворювача 4А-М2-3Ф-2м3а

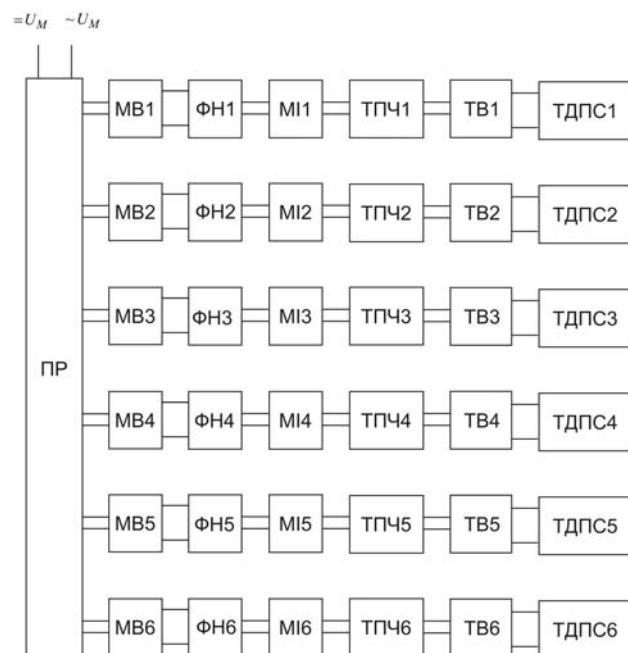


Рис. 2. Розгорнута структура тягового перетворювача 6Т-М1-1Ф-6м1а

Аналіз розроблених структурних схем перетворювачів для багатосистемних електровозів з АТД (наприклад, рис. 1) та ТДПС (наприклад, рис. 2) дозволяє визначити функціональні вузли, які є доцільним розглядати з точки зору уніфікації:

- 1) тяговий інвертор ТІ;
- 2) тяговий випрямляч ТВ;

3) однофазний інвертор підвищеної частоти, позначимо як МІ. До складу схем з трифазними інверторами підвищеної частоти, входять три однакових ланки МІ, кожна з яких підключена до однієї з первинних обмоток трифазного трансформатора підвищеної частоти ТППЧ;

5) однофазний трансформатор підвищеної частоти ТПЧ;

6) трифазний трансформатор підвищеної частоти ТППЧ;

7) фільтр-накопичувач ФН;

8) модуль мережевого випрямляча ММВ, до складу якого входять  $m$  однакових паралельних груп з  $a$  послідовно з'єднаних мережевих випрямлячів МВ, тому класифікувати модуль є доцільним за кількістю послідовно з'єднаних мережевих випрямлячів (наприклад, 1а, 2а, 3а і т.д.);

9) перемикач режимів ПР.

Таблиця 1

**Показники уніфікації функціональних вузлів запропонованих перетворювальних структур для асинхронного тягового привода**

Перетворювальна структура	Кількість функціональних вузлів														
	ПР	Модуль МВ								ФН	МІ	ТПЧ	ТПЧ	ТВ	ТІ
		1а	2а	3а	4а	6а	9а	12а	18а						
4А-М1-1Ф-1м4а	1				1					4	4	4		4	4
4А-М1-1Ф-4м1а	1	4								4	4	4		4	4
4А-М1-1Ф-2м2а	1		2							4	4	4		4	4
4А-М1-3Ф-4м3а	1			4						12	12		4	4	4
4А-М1-3Ф-12м1а	1	12								12	12		4	4	4
4А-М1-3Ф-1м12а	1							1		12	12		4	4	4
4А-М2-1Ф-1м2а	1		1							2	2	2		4	4
4А-М2-1Ф-2м1а	1	2								2	2	2		4	4
4А-М2-3Ф-2м3а	1			2						6	6		2	4	4
4А-М2-3Ф-1м6а	1					1				6	6		2	4	4
4А-М2-3Ф-6м1а	1	6								6	6		2	4	4
6А-М1-1Ф-1м6а	1					1				6	6	6		6	6
6А-М1-1Ф-6м1а	1	6								6	6	6		6	6
6А-М1-1Ф-3м2а	1		3							6	6	6		6	6
6А-М1-1Ф-2м3а	1			2						6	6	6		6	6
6А-М1-3Ф-1м18а	1								1	18	18		6	6	6
6А-М1-3Ф-18м1а	1	18								18	18		6	6	6
6А-М1-3Ф-3м6а	1					3				18	18		6	6	6
6А-М1-3Ф-6м3а	1			6						18	18		6	6	6
6А-М2-1Ф-1м3а	1			1						3	3	3		6	6
6А-М2-1Ф-3м1а	1	3								3	3	3		6	6
6А-М2-3Ф-1м9а	1							1		9	9		3	6	6
6А-М2-3Ф-3м3а	1			3						9	9		3	6	6
6А-М2-3Ф-9м1а	1	9								9	9		3	6	6
6А-М3-1Ф-1м2а	1		1							2	2	2		6	6
6А-М3-1Ф-2м1а	1	2								2	2	2		6	6
6А-М3-3Ф-1м6а	1					1				6	6		2	6	6
6А-М3-3Ф-2м3а	1			2						6	6		2	6	6
6А-М3-3Ф-6м1а	1	6								6	6		2	6	6
Кількість функціональних вузлів, $N_j$	29	68	7	20	1	6	1	1	1	221	221	50	57	152	152
Загальна кількість функціональних вузлів, $N$	987														
Частість використання функціонального вузла, $K_N$	0,02938	0,06890	0,00709	0,02026	0,00101	0,00608	0,00101	0,00101	0,00101	0,22391	0,22391	0,05066	0,05775	0,15400	0,15400

**Показники уніфікації функціональних вузлів запропонованих перетворювальних структур для тягового привода з двигунами постійного струму**

Перетворювальна структура	Кількість функціональних вузлів													
	ПР	Модуль МВ								ФН	МІ	ТПЧ	ТПЧ	ТВ
		1а	2а	3а	4а	6а	9а	12а	18а					
4Т-М1-1Ф-1м4а	1			4						4	4	4		4
4Т-М1-1Ф-4м1а	1	4		4						4	4	4		4
4Т-М1-1Ф-2м2а	1		2	4						4	4	4		4
4Т-М1-3Ф-4м3а	1				4					12	12		4	4
4Т-М1-3Ф-12м1а	1	12			4					12	12		4	4
4Т-М1-3Ф-1м12а	1				4			1		12	12		4	4
4Т-М2-1Ф-1м2а	1		1	2						2	2	2		4
4Т-М2-1Ф-2м1а	1	2		2						2	2	2		4
4Т-М2-3Ф-2м3а	1				2					6	6		2	4
4Т-М2-3Ф-1м6а	1				2	1				6	6		2	4
4Т-М2-3Ф-6м1а	1	6			2					6	6		2	4
6Т-М1-1Ф-1м6а	1			6		1				6	6	6		6
6Т-М1-1Ф-6м1а	1	6		6						6	6	6		6
6Т-М1-1Ф-3м2а	1		3	6						6	6	6		6
6Т-М1-1Ф-2м3а	1			6						6	6	6		6
6Т-М1-3Ф-1м18а	1				6				1	18	18		6	6
6Т-М1-3Ф-18м1а	1	18			6					18	18		6	6
6Т-М1-3Ф-3м6а	1				6	3				18	18		6	6
6Т-М1-3Ф-6м3а	1				6					18	18		6	6
6Т-М2-1Ф-1м3а	1			3						3	3	3		6
6Т-М2-1Ф-3м1а	1	3		3						3	3	3		6
6Т-М2-3Ф-1м9а	1				3		1			9	9		3	6
6Т-М2-3Ф-3м3а	1				3					9	9		3	6
6Т-М2-3Ф-9м1а	1	9			3					9	9		3	6
6Т-М3-1Ф-1м2а	1		1	2						2	2	2		6
6Т-М3-1Ф-2м1а	1	2		2						2	2	2		6
6Т-М3-3Ф-1м6а	1				2	1				6	6		2	6
6Т-М3-3Ф-2м3а	1				2					6	6		2	6
6Т-М3-3Ф-6м1а	1	6			2					6	6		2	6
Кількість функціональних вузлів, $N_j$	29	68	7	50	57	6	1	1	1	221	221	50	57	152
Загальна кількість функціональних вузлів, $N$	835													
Частість використання функціонального вузла, $K_N$	0,03473	0,08144	0,00838	0,02395	0,00120	0,00719	0,00120	0,00120	0,00120	0,26467	0,26467	0,05988	0,06826	0,18204

Тяговий двигун при розгляді уніфікації складових частин статичного перетворювача тягового привода багатосистемного електровозу не враховуємо.

Показники уніфікації функціональних вузлів у складі запропонованих перетворювальних структур представлені у табл. 1 (перетворювачі з АТД) та табл. 2 (перетворювачі з ТДПС).

Середні показники уніфікації функціональних вузлів запропонованих перетворювальних структур, розраховані за даними табл. 1 та 2, представлені у табл. 3.

Не потребує доказу той факт, що статичний перетворювач тягового привода багатосистемного електровозу повинен складатися з функціональних вузлів з максимальним рівнем уніфікації. Представлений варіаційний аналіз перетворювальних структур дозволяє встановити наступне: на рівень уніфікації перетворювача, за прийнятими показниками, не впливають такі функціональні вузли як: перемикач режимів (ПР), фільтр-накопичувач (ФН), тяговий інвертор (ТІ) та тяговий випрямляч (ТВ), оскільки ці функціональні вузли в представлених дослі-

дженнях прийняті однотипними та вони входять до складу всіх розглянутих варіантів побудови статичного перетворювача тягового привода електровозів. Частість використання цих функціональних вузлів у складі досліджу-

ваних перетворювальних структури, з урахуванням кількості типів функціональних вузлів, дорівнює  $K_M = 1$  (табл. 3).

Таблиця 3

**Середні показники уніфікації функціональних вузлів запропонованих перетворювальних структур**

Функціональний вузол		$N_j$	$M$	$N$	$K_N = \frac{N_j}{N}$	$K_M = \frac{1}{M}$
ПР		58	1	1822	0,03183	1
Модуль МВ	1а	136	8		0,07464	0,125
	2а	14			0,00768	
	3а	40			0,02195	
	4а	2			0,00110	
	6а	12			0,00659	
	9а	2			0,00110	
	12а	2			0,00110	
	18а	2			0,00110	
ФН		442	1		0,24259	1
МІ		442	1		0,24259	1
ТПЧ		100	2		0,05488	0,5
ТТПЧ		114			0,06257	
ТВ		304	1		0,16685	1
ТІ		152	1	0,08342	1	

Серед розглянутих варіантів побудови статичного перетворювача для тягового привода більшість структур має у своєму складі однофазні мережеві інвертори ( $K_N = 0,24259$ ) та трифазні трансформатори підвищеної частоти ( $K_N = 0,06257$ ), але не слід виключити з подальших досліджень однофазні мережеві перетворювачі, частість використання яких теж досить висока ( $K_N = 0,05488$ ).

**Загальні висновки**

Аналіз середніх показників уніфікації (див. табл. 3) показав, що самий низький рівень уніфікації ( $K_N = 0,00110$ ) мають модулі мережевих випрямлячів типу 4а, 9а, 12а та 18а. Тому в подальших дослідженнях розглядати перетворювачі з цими модулями немає сенсу, оскільки ці варіанти є одиничними. Самий високий рівень уніфікації мають модулі типу 1а ( $K_N = 0,07464$ ) та 3а ( $K_N = 0,02195$ ), тобто ці варіанти побудови модуля мережевих випрямлячів

зустрічаються найчастіше, і тому перетворювальні структури, які мають у своєму складі мережеві випрямлячі цих типів, доцільно досліджувати надалі.

**БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК**

1. Литовченко, В. В. Современные многосистемные электровозы. [Текст] / В. В. Литовченко, О. Б. Баранцев. // Локомотив. – 2000. – № 10. – С. 44-48.
2. Преобразовательные устройства электропоездов с асинхронными тяговими двигателями. [Текст] / А. М. Солодунов и др.; под ред. А. М. Солодунова. – Рига: Зинантне, 1991. – 351 с.
3. Дубинец, Л. В. Научное обоснование и разработка систем управления электроподвижным составом на основе применения герконовых устройств [Текст] : дис. ... докт. техн. наук : 05.09.03 / Дубинец Леонид Викторович. – Д., 1991. – 356 с.

Надійшла до редколегії 24.03.2009.  
Прийнята до друку 01.04.2009.