

А.М. Муха, канд. техн. наук

(Україна, Дніпропетровськ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна)

ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЇ ПОПИТУ В ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО ВИБОРУ СТРУКТУРИ ТЯГОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА БАГАТОСИСТЕМНОГО ЕЛЕКТРОВОЗУ

Вступ. Залізничний транспорт України займає одне з провідних місць серед країн Європи та Азії за обсягом перевезень пасажирів та вантажів.

Сьогодні тяговий рухомий склад залізниць України, зокрема електровози, потребує оновлення. Саме в цих умовах є доцільним одночасно з оновленням електровозного парку провести модернізацію системи тягового енергопостачання на залізницях електрифікованих постійним струмом напругою 3 кВ, шляхом збільшення напруги до 6, 12 або 24 кВ, що дозволить підвищити пропускну здатність модернізованих ділянок залізниць з одночасним зменшенням втрат у контактній мережі [1-3]. Але така модернізація вимагає наявності і електровозів, які можуть працювати при підвищеній напрузі у контактній мережі постійного струму, тобто необхідні багатосистемні електровози (маються на увазі електровози, які зможуть працювати при різних рівнях напруги у контактній мережі як при постійному, так і змінному струмах) [4,5].

Основою тягового приводу сучасних електровозів (у тому числі і багатосистемних) є статичний перетворювач.

Існує значна кількість схемних рішень статичних перетворювачів для багатосистемних електровозів, які експлуатуються на залізницях Європи [5].

Автором у роботі [6] запропоновано використовувати багатоланковий тяговий перетворювач з трансформатором підвищеної частоти. Загалом розглядається понад п'ятдесяті варіантів побудови такого тягового перетворювача. Для визначення оптимальної структури за умов різних значень напруги у контактній мережі та при різних потужностях перетворювачів пропонується застосовувати теорію уніфікації, а саме: використання цільової функції C .

Мета роботи. Визначити функцію попиту на пристрої з напівпровідниковими вентилями різних класів у задачі оптимального вибору структури тягового перетворювача багатосистемного електровоза.

Матеріал і результати дослідження.

Складовою частиною багатоланкового тягового перетворювача підвищеної частоти, яка відповідає за реалізацію його багатосистемності є так званий мережевий випрямляч (МВ). Нехай на множині X пристроїв МВ з різним класом вентилів задана функція попиту $j(I)$ на кожний тип $I \in X$. Функція попиту чисельно дорівнює кількості пристроїв певного типу у загальному об'ємі пристроїв перетворювальних структур.

Попит на пристрої повинен бути задовільнений за допомогою деякої сукупності їх параметричних рядів. Ці пристрої мають N наступних значень головного параметра:

$$U_1, U_2, \dots, U_N. \quad (1)$$

Позначимо параметричний ряд як

$$U^N = (U_1, U_2, \dots, U_K, \dots, U_N), \quad (2)$$

де N – кількість типів пристроїв у ряді, що досліджується; U_K – значення головного параметра K -го пристрою.

Значення U_K , $K = 1, 2, \dots, N$ вибираємо з деякої множини можливих значень головного параметра. За головний параметр приймаємо клас напівпровідникових приладів, з яких складається МВ.

Нехай N , дорівнює п'яти (оскільки розглядається п'ять систем енергопостачання електрифікованих залізниць: 3, 6, 12, 24 кВ постійного струму та 25 кВ змінного струму частотою 50 Гц), тоді приймаємо його за обмеження цільової функції C , яку розглядаємо як математичну модель оптимізації параметричних рядів пристроїв.

Цільова функція визначається за життєвий цикл заходу, який називається розрахунковим періодом. За початковий рік розрахункового періоду приймаємо рік уведення параметричного ряду в експлуатацію. Кінцевий рік розрахункового періоду визначається моментом завершення життєвого циклу заходу. Вираз для цільової функції запишемо таким чином [7]:

$$C(U^N) = \sum_{U \in U^N} Z^0(U) + \sum_{I \in X}^1 j(I) \min_{U \in U^N} Z(U, I) (1 + E_H)^{t_p - t}, \quad (3)$$

де $Z^0(U)$ – постійні витрати на виготовлення пристрою одного типу, які не залежать від їх кількості в експлуатації, тобто $Z^0(U)$ – вартість виробництва одного пристрою даного типу (капітальні витрати); $\sum_{U \in U^N} Z^0(U)$ – вартість виробництва усіх типів пристроїв даного виду; $Z(U, I)$ – витрати на задовільнення потреб на пристрої з головним параметром I за допомогою пристрою з головним параметром U , який відноситься до параметричного ряду пристроїв, тобто, $Z(U, I)$ – це поточні (експлуатаційні) витрати. Співмножник $\min_{U \in U^N} Z(U, I)$ – це мінімальні витрати на виготовлення пристрою при задовільненні попиту на нього з параметром I за допомогою інших пристроїв із параметричного ряду. Поточні витрати мають місце щорічно протягом усього розрахункового періоду.

При зазначених умовах для поточних витрат потрібно врахувати фактор час, що змінюється шляхом зведення до початку розрахункового періоду щорічних поточних витрат. Для чого у формулі (3) вводиться коефіцієнт зведення, який визначається так: $(1 + E_H)^{t_p - t}$, де E_H – норматив зведення різночасових витрат до розрахункового року, $E_H = 0,1$; t_p – порядковий номер розрахункового періоду; t – порядковий номер t -го року експлуатації параметричного ряду пристроїв, починаючи від початкового розрахункового періоду. У нашому випадку розрахунковий і початковий роки збігаються. Тому $t_p = 1$. Відомо, що зведення витрат до початку розрахункового року здійснюється діленням витрат на коефіцієнт зведення, що у нашому випадку забезпечується від'ємним значенням різниці $(t_p - t)$, так як $t \geq t_p = 1$; t_c – термін служби пристрою у роках.

Виходячи з досвіду експлуатації силових напівпровідникових пристроїв, приймаємо термін служби перетворювача, до складу якого входить мережевий випрямляч МВ, 10 років.

Як видно із формули (3), результати оптимізації параметричних рядів МВ залежать від точності визначення функції попиту $j(I)$ і функцій витрат $Z^o(U)$ та $Z(U, I)$.

Для визначення функції попиту $j(I)$ пропонуємо застосувати обробку статистики попиту, яка дозволяє визначити функцію $j(I)$ найбільш наближеною до її реального вигляду, так як при цьому є можливість використати реальну інформацію про потребу у пристроях з різною структурою за показником a (кількість послідовно з'єднаних МВ) у загальному масиві запропонованих структур тягових перетворювачів для багатосистемних електровозів, тобто функція попиту відповідає такому показнику уніфікації як «частість використання функціонального вузла у складі перетворювальної структури» [8].

Частість використання функціонального вузла у складі перетворювальної структури $K_N = \frac{N_j}{N_\Sigma}$, де N_Σ та N_j – відповідно загальна кількість функціональних вузлів у всіх розглянутих перетворювальних структурах та кількість функціональних вузлів, рівень уніфікації яких розглядається.

У табл. 1 наведені середні показники уніфікації пристроїв МВ типів 1а, 3а, ба, які входять до складу відібраних перетворювальних структур незалежно від виду тягового двигуна.

Функція попиту $j(I)$ на кожен тип МВ з головним параметром K (клас приладу), з яких складаються параметричні ряди, враховує не тільки попит на тип МВ у об'ємі відібраних перетворювальних структур (табл. 1), а і необхідність використання у складі перетворювальної структури МВ того або іншого класу при різних напругах контактної мережі та при заданій потужності перетворювача. Наприклад, для структури 4м3а можна сформулювати такі параметрич-

ні ряди U^N (табл. 2), які відповідають одному із можливих режимів роботи, за напругою у контактній мережі, перетворювача багатосистемного електровоза. Приймаючи, що загальний попит на пристрої МВ, які формують представлені у табл. 2 параметричні ряди, дорівнює 100%, визначимо розрахункову функцію попиту $j_{роз}(I)$ для пристрою K -го класу. Для цього використовуємо поняття «частіть використання пристрою K -го класу» (табл. 1) та відповідну методику розрахунків, яка ілюструється в табл. 3.

Наведені значення функцій попиту для пристрою K -го класу серед параметричних рядів для перетворювальної структури 4м3а (табл. 3) не враховують загальний попит на пристрої такої структури серед інших структур (табл. 1). Враховуючи це, представимо відкориговані значення функцій попиту пристрою K -го класу для перетворювальної структури 4м3а (табл. 4).

Слід відзначити: оскільки значення головного параметра різних структур МВ є однаковими для структур типу 3а, а розрахункова функція попиту відображає можливі варіації різних значень напруги у контактній мережі, то

Таблиця 1

**Середні показники уніфікації функціональних вузлів МВ
відібраних перетворювальних структур**

Структура МВ	Кількість функціональних вузлів за показником a		
	1а	3а	6а
4м3а		4	
12м1а	12		
6м1а	6		
18м1а	18		
3м6а			3
6м3а		6	
3м3а		3	
9м1а	9		
2м3а		2	
Кількість функціональних вузлів за показником a N_j	45	15	3
Загальна кількість функціональних вузлів, N_Σ	63		
Частість використання функціонального вузла, K_N	0,7143	0,2381	0,0476

Таблиця 2

**Параметричні ряди для пристроїв зі структурою 4м3а
при різній напрузі у контактній мережі**

Параметричний ряд	Напруга у контактній мережі, кВ
$U_1^N = 10$	3
$U_2^N = 10; 20$	3; 6
$U_3^N = 10; 40$	3; 12
$U_4^N = 10; 80$	3; 24
$U_5^N = 10; 118$	3; 25 (50 Гц)

$U_6^N = 10; 20; 118$	3; 6; 25 (50 Гц)
$U_7^N = 10; 40; 118$	3; 12; 25 (50 Гц)
$U_8^N = 10; 80; 118$	3; 24; 25 (50 Гц)

Таблиця 3

Розрахункова функція попиту $j_{роз}(I)$ для пристрою K -го класу серед параметричних рядів для перетворювальної структури 4м3а

Головний параметр I	Кількість пристроїв K -го класу	Загальна кількість пристроїв з різним значенням головного параметру	Розрахункова функція попиту $j_{роз}(I)$
10	8	18	$8/18 = 0,445$
20	2		$2/18 = 0,1111$
40	2		$2/18 = 0,1111$
80	2		$2/18 = 0,1111$
118	4		$4/18 = 0,2222$

Таблиця 4

Відкориговані значення функцій попиту пристрою K -го класу для перетворювальної структури 4м3а, 6м3а, 3м3а, 2м3а

I	$j(I)$
$I_0 = 10$	$j(I_0) = 0,445 \cdot 0,2381 = 0,106$
$I_1 = 20$	$j(I_1) = 0,1111 \cdot 0,2381 = 0,0264$
$I_2 = 40$	$j(I_2) = 0,1111 \cdot 0,2381 = 0,0264$
$I_3 = 80$	$j(I_3) = 0,1111 \cdot 0,2381 = 0,0264$
$I_4 = 118$	$j(I_4) = 0,2222 \cdot 0,2381 = 0,0529$

приймаємо, що відкориговані значення функції попиту та параметричні ряди є однаковими для пристроїв типів 4м3а, 6м3а, 3м3а, 2м3а.

Враховуючи дані табл. 2 та 4 параметричні ряди для пристроїв зі структурою 4м3а, 6м3а, 3м3а, 2м3а при різній напрузі у контактній мережі приймають такий вигляд:

$U_1^N = 10$	$j(I) = 0,106$
$U_2^N = 10; 20$	$j(I) = 0,106; 0,0264$
$U_3^N = 10; 40$	$j(I) = 0,106; 0,0264$
$U_4^N = 10; 80$	$j(I) = 0,106; 0,0264$
$U_5^N = 10; 118$	$j(I) = 0,106; 0,0529$
$U_6^N = 10; 20; 118$	$j(I) = 0,106; 0,0264; 0,0529$
$U_7^N = 10; 40; 118$	$j(I) = 0,106; 0,0264; 0,0529$
$U_8^N = 10; 80; 118$	$j(I) = 0,106; 0,0264; 0,0529$

Аналогічно до вищевикладеної методики формування параметричних рядів, для пристрою зі структурою 4м3а представимо функції попиту інших відіб-

раних пристроїв МВ типів 1а (12м1а, 6м1а, 18м1а, 9м1а) – табл. 5 та 6а (3мба) – табл. 6.

Таблиця 5

Відкориговані значення функцій попиту пристрою *K*-го класу для перетворювальної структури 12м1а, 6м1а, 18м1а, 9м1а

<i>I</i>	<i>j</i> (<i>I</i>)
$I_0 = 30$	$j(I_0) = 0,445 \cdot 0,7143 = 0,3179$
$I_1 = 60$	$j(I_1) = 0,1111 \cdot 0,7143 = 0,0794$
$I_2 = 120$	$j(I_2) = 0,1111 \cdot 0,7143 = 0,0794$
$I_3 = 240$	$j(I_3) = 0,1111 \cdot 0,7143 = 0,0794$
$I_4 = 353$	$j(I_4) = 0,2222 \cdot 0,7143 = 0,1588$

Таблиця 6

Відкориговані значення функцій попиту пристрою *K*-го класу для перетворювальної структури 3мба

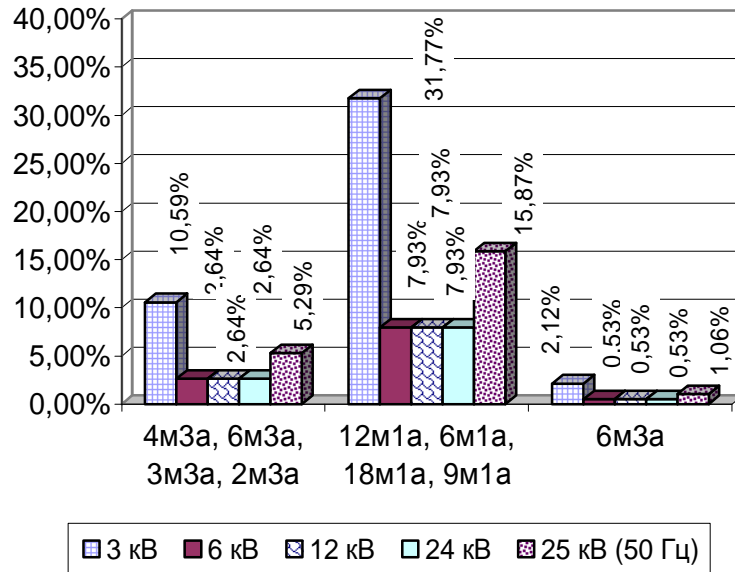
<i>I</i>	<i>j</i> (<i>I</i>)
$I_0 = 5$	$j(I_0) = 0,445 \cdot 0,0476 = 0,0212$
$I_1 = 10$	$j(I_1) = 0,1111 \cdot 0,0476 = 0,0053$
$I_2 = 20$	$j(I_2) = 0,1111 \cdot 0,0476 = 0,0053$
$I_3 = 40$	$j(I_3) = 0,1111 \cdot 0,0476 = 0,0053$
$I_4 = 59$	$j(I_4) = 0,2222 \cdot 0,0476 = 0,0106$

Проведемо перевірку отриманих значень функцій попиту (табл. 4-6) додаванням одне до одного значень функцій попиту різних перетворювальних структур (за показником *a*):

$$\begin{aligned} \Sigma j(I) = & (0,106 + 0,0264 + 0,0264 + 0,0264 + 0,0529) + \\ & + (0,3179 + 0,0794 + 0,0794 + 0,0794 + 0,1588) + \\ & + (0,0212 + 0,0053 + 0,0053 + 0,0053 + 0,0106) = 1. \end{aligned} \quad (4)$$

Таким чином, загальна функція попиту на пристрої з різною перетворювальною структурою дорівнює 100%, тобто функції попиту визначені вірно. У відсотковому співвідношенні вираз (4) представимо графічно (рисунок), що і буде відображенням функції попиту на кожен із типів пристроїв МВ.

Загальні висновки. Отримані значення функцій попиту на пристрої МВ, які побудовані з приладів різного класу, дозволяють скласти параметричні ряди на ці пристрої, кожен з яких є вихідним в подальшій задачі оптимального вибору структури тягового перетворювача багатосистемного електровоза.



Функція попиту на кожен з типів пристроїв МВ

Список літератури

1. Котельников А.В. Электрификация железных дорог. Мировые тенденции и перспективы. –М.: Интескт, 2002. – 104 с.
2. Корниенко В.В., Доманская Г.А. Существующие и перспективные технологии электроснабжения железных дорог. // Залізничний транспорт України. – 2008. – №4. – С.3–6.
3. Хворост Н.В., Гончаров Ю.П., Панасенко Н.В., Панасенко Н.Н. Совершенствование электрической тяги постоянного тока железных дорог Украины для скоростного пассажирского движения. // Залізничний транспорт України. – 2003. – №6. – С.25–31.
4. Феоктистов В.П., Литовченко В.В., Баранцев О.Б. Нужны многосистемные электровозы. // Локомотив. – 2002. – №1. – С.4-5.
5. Литовченко В.В., Баранцев О.Б. Современные многосистемные электровозы. // Локомотив. – 2000. – №9. – С.45–46.
6. Дубинець Л. В., Чілікін Г. М., Муха А. М.. Структурна схема перспективного електровозу подвійного живлення // Зб. Наук. праць Дніпродзержин. держ. техн. ун-ту (технічні науки). Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика.» – Дніпродзержинськ. – 2007. – С.356–357.
7. Дубинець Л. В. Научное обоснование и разработка систем управления электроподвижным составом на основе применения герконовых устройств. / Дис. докт. техн. наук: 05.09.03 – Днепропетровск, 1991. – 356 с.
8. Муха А.М. Уніфікація як критерій порівняльної оцінки структурних схем тягового перетворювача для багатосистемного електровоза. //Вісник. Дніпропетров. нац. ун-ту залізн. тран. ім. акад. В.Лазаряна. – 2009. – №. 29. – С. 66 – 70.