

А. М. МУХА, канд. техн. наук. (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

ВИЗНАЧЕННЯ СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ ВАРТІСТЮ ТА ПАРАМЕТРАМИ СИЛОВИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИЛАДІВ ТЯГОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ БАГАТОСИСТЕМНИХ ЕЛЕКТРОВІЗІВ

В статті наведені результати визначення залежності між вартістю силових напівпровідникових приладів та їх параметрами (прямий струм та клас приладу), які пропонується представити у вигляді показника «струм/клас». Отримані аналітичні залежності можуть бути використані для знаходження оптимальних структур статичних перетворювачів для тягового приводу багатосистемних електровізів.

In article are presented results of the determination to dependencies between cost power semiconductor instrument and their parameter (the direct current and class), which is offered present in the manner of factor "current/class". Got analytical dependencies can be used for finding of the optimum structures of the steady-state converters for traction drive much systems electric locomotive.

Вступ. У теперішній час рівень розвитку силової електроніки дозволяє створювати перетворювачі з будь-якою потрібною структурою. Наявність повністю керованих силових напівпровідникових приладів (СНП) забезпечує можливість побудови відносно простих перетворювачів з покращеними енергетичними показниками у порівнянні з системами які використовувались раніш [1,2].

Але потужні високовольні СНП мають відносно високу вартість. Тому постає питання, щодо визначення перетворювальних структур, які б були оптимальні саме за вартісними показниками (капітальні та експлуатаційними витрати), що може бути здійснено за допомогою так званої цільової функції \dot{O}_N [3].

Мета роботи. Провести дослідження, метою яких є визначення співвідношення між вартістю та параметрами силових напівпровідникових приладів, що дозволить визначити функцію затрат $\zeta^c(U)$ цільової функції \dot{O}_N для подальшого пошуку оптимальних перетворювальних структур тягового приводу багатосистемних електровізів.

Матеріал і результати дослідження.

Умовно приймаємо, що вартість складових частин тягового перетворювача пристрою пропорційна вартості напівпровідникових вентилів, з яких вони зібрані. Абсолютна вартість пристрою не має значення, так як для визначення оптимального параметричного ряду пристроїв потрібно знайти мінімальне відносне значення цільової функції [3].

До складу виразу цільової функції входять капітальні витрати на закупівлю напівпровідникових приладів та інших компонентів перетворювача. Аналіз технічної літератури та інших джерел показав, що вартість напівпровідникових перетворювачів залежить насамперед від виду та типу силових напівпровідникових приладів, які є основою будь-якого перетворювача. Тому в даних дослідженнях приймаємо, що функція капітальних витрат на виробництво складових частин перетворювача визначається саме вартістю силових напівпровідникових приладів. Проведений аналіз російського ринку напівпровідникових приладів (станом на 2007 рік) дозволяє визначити характерну залежність вартості СНП від класу приладу та його номінального струму, тобто від параметрів напівпровідникових приладів. Як відомо, саме параметри СНП визнають можливість технічної реалізації будь-якої структури напівпровідникового перетворювача.

На вартість СНП впливають об'єктивні (вид, тип приладу та його технічні параметри та характеристики) та суб'єктивні фактори (розвинення ринку, наявність конкуренції та інш.), які в дослідженнях намагалися виключити за рахунок дослідження ринку Росії, як більш розвиненого, але такого, що пропонує такі ж самі прилади, що і в Україні.

Пропонується ввести показник $\tilde{N}\hat{E} = \frac{\tilde{N}\delta\hat{o}\hat{i}}{\hat{E}\hat{e}\hat{a}\hat{n}}$, який на думку автора, найбільш повно характеризує основні параметри силових напівпровідникових приладів.

Пропонується використовувати залежність відносної вартості приладу \hat{A}^* від відношення «струм/клас», тобто досліджувана функція має вигляд $\hat{A}^* = f(CK)$.

Вартість приладу визначимо у відносних одиницях, тобто вартість кожної позиції у загальному переліку СНП, який складено за даними [3,4,5],

розраховується як $B^* = \frac{B}{B_{\min}}$, де B вартість одного СНП, B_{\min} - найменша

вартість серед усього переліку СНП даного виду. За «видом» СНП, які розглядаються, розподілено на: діоди випрямні (найменша вартість 39,26 руб.), діоди лавини (найменша вартість 81,6 руб.), тиристори низькочастотні (найменша вартість 42,83 руб) [3,4,5].

На рис. 1 представлена залежність $\hat{A}^* = f(CK)$ для випрямних діодів, маркування яких відповідає діючим стандартам в Україні.

Пропонується провести апроксимацію залежності $\hat{A}^* = f(CK)$ для приладів, які згруповано по класам, а саме в діапазонах: [0;10), [10;20); [20;30); [30;40); [40;50].

Апроксимація залежності $\hat{A}^* = f(CK)$ проводимо за наступним виразом (у загальному вигляді): $y(x) = y_0 + A_1 e^{\left(\frac{-x}{t_1}\right)}$ (експоненціальна першого порядку).

Для розглянутої залежності $\hat{A}^* = f(CK)$ СНП коефіцієнти апроксимації мають наступні значення: $y_0 = 172,91173$, $A_1 = -164,73039$, $t_1 = 257,811$. Тоді вираз для апроксимованої залежності $\hat{A}^* = f(CK)$ приймає вигляд:

$$V^*(CK) = 172,91173 - 164,73039 \cdot e^{\left(\frac{-CK}{257,811}\right)}.$$

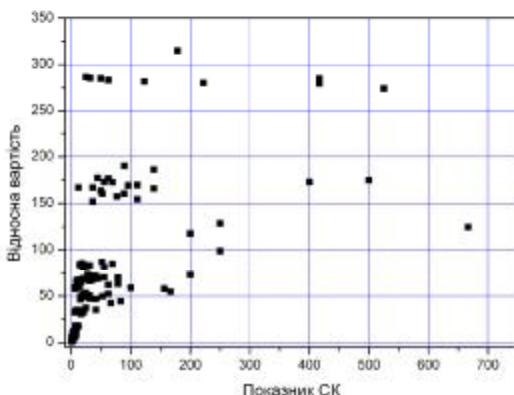


Рисунок 1 – Залежність $\hat{A}^* = f(CK)$ для випрямних діодів всіх класів.

На рис. 2 представлена експериментальна та апроксимована залежність $\hat{A}^* = f(CK)$ для випрямних діодів діапазону класів $\hat{E} = [0;10)$.

Використання інших аналітичних виразів для апроксимації залежності $\hat{A}^* = f(CK)$ не дозволило побудувати апроксимовану залежність, яка б відповідала характеру поведінки експериментальної залежності $\hat{A}^* = f(CK)$. Тому приймаємо, що для апроксимації експериментальної залежності $\hat{A}^* = f(CK)$ розглянутих в роботі СНП, використовуємо експоненціальну залежність першого порядку.

Для перевірки узгодженості теоретичних значень функції $\hat{A}^* = f(CK)$ з експериментальним використаємо критерій χ^2 (хі-квадрат) Пірсона [7].

Критерій узгодженості χ^2 у нашому випадку запишеться:

$$c_{\text{нн } \delta \text{нн}}^2 = \sum_1^S \frac{(B_A^* - B_O^*)^2}{B_O^*},$$

де $c_{\text{нн } \delta \text{нн}}$ - критерій узгодженості, що спостерігається;

B_E^* - емпірична відносна вартість СНП, яка визначається по експериментальним даним;

B_T^* - теоретичне значення відносної вартості СНП, яка визначається за допомогою апроксимованої функції.

S - кількість інтервалів групування відносної вартості СНП.

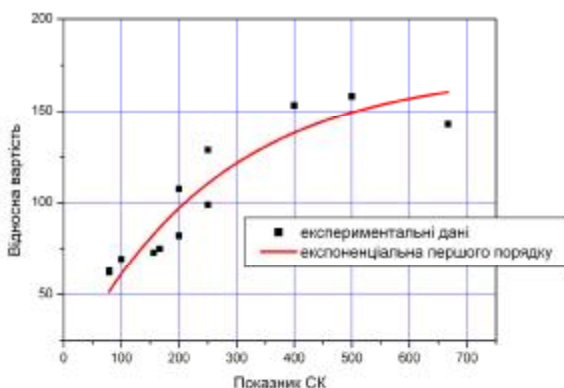


Рисунок 2 – Апроксимована залежність $\hat{A}^* = f(CK)$ для випрямних діодів, діапазон класів $\hat{E} = [0;10)$.

Теоретична $B^*(CK)$ узгоджується з експериментальним значенням якщо:

$$c_{\text{нн } \delta \text{нн}}^2 < c_{\delta \delta}^2,$$

де: $c_{\delta \delta}^2$ - критерій Пірсона, який визначається по спеціальним таблицям [7], для цього потрібно визначити кількість ступенів свободи розподілення $k = S - n$; n - кількість незалежних умов розподілення.

В нашому випадку при визначенні ступені узгодженості теоретичних та експериментальних значень $B^*(CK)$ задано дві умови: середні значення розподілення повинні співпадати; дисперсії розподілення також повинні співпадати, тобто $n = 2$.

Рівень значимості приймаємо $\alpha = 0,05$.

Представимо результати перевірки узгодженості емпіричних та теоретичних залежностей $\hat{A}^* = f(CK)$ для випрямних діодів (діапазон класів $[0;10)$) у табличному вигляді (табл. 1).

Використовуючи аналогічну методику представимо на рис. 3 та результати апроксимації залежностей $\hat{A}^* = f(CK)$ для випрямних діодів інших діапазонів класів, що розглядаються.

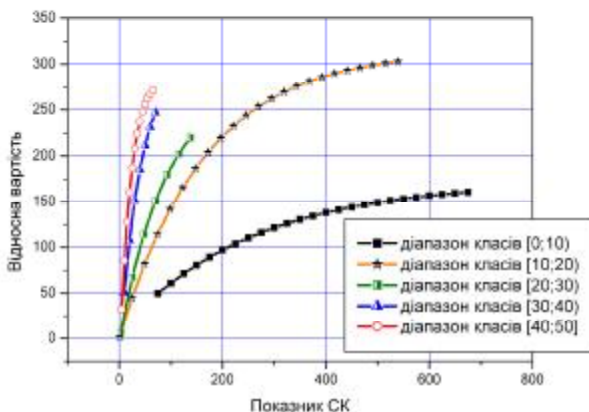


Рисунок 3 – Апроксимовані залежності $\hat{A}^* = f(CK)$ для всіх діапазонів класів випрямних діодів.

Отримана аналітична залежність $\hat{A}^* = f(CK)$ для випрямних діодів всіх діапазонів класів, що розглядаються, запишеться як:

$$B^*(CK) = \begin{cases} 172,91173 - 164,73039 \cdot e^{\left(-\frac{CK}{257,811}\right)}, \hat{E} = [0,10), CK = [78,75; 666,67] \\ 314,78 - 314,12736 \cdot e^{\left(-\frac{CK}{164,88305}\right)}, \hat{E} = [10,20), CK = [0,56; 525] \\ 281,84 - 283,11551 \cdot e^{\left(-\frac{CK}{90,49054}\right)}, \hat{E} = [20,30), CK = [2,5; 123,08] \\ 298,52041 - 321,76063 \cdot e^{\left(-\frac{CK}{38,25211}\right)}, \hat{E} = [30,40), CK = [11,11; 69,44] \\ 286,87 - 321,25566 \cdot e^{\left(-\frac{CK}{21,38554}\right)}, \hat{E} = [40,50), CK = [5,68; 62,5] \end{cases}$$

За аналогічною методикою можливо визначити відносну вартість будь-якого СНП.

Представимо результати визначення залежності $\hat{A}^* = f(CK)$ для лавинних діодів (рис. 4) та тиристорів низькочастотних (рис. 5).

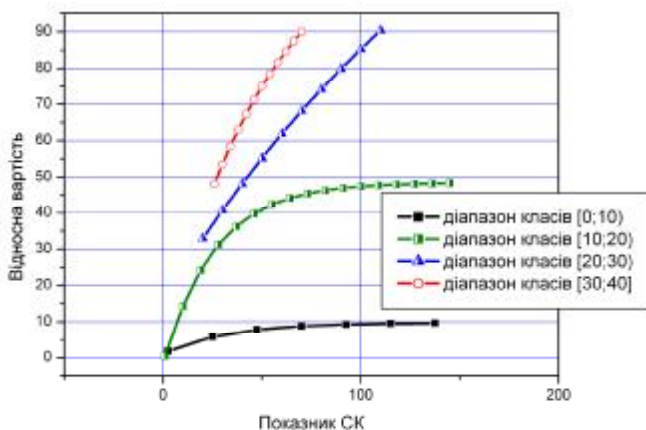


Рисунок 4 – Апроксимовані залежності $\hat{A}^* = f(CK)$ для всіх діапазонів класів лавинних діодів.

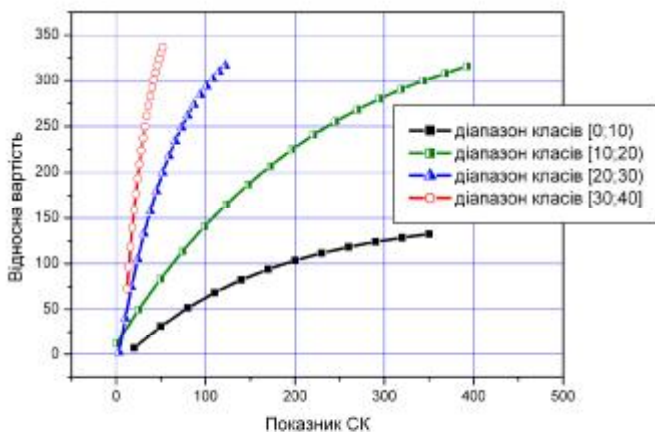


Рисунок 5 – Апроксимовані залежності $\hat{A}^* = f(CK)$ для всіх діапазонів класів низькочастотних тиристорів

Таблиця 1

Результати перевірки узгодженості емпіричних та теоретичних залежностей

$$\hat{A}^* = f(CK) \text{ для СНП}$$

СНП	Діапазон класів	$k = S - n$	$c_{\text{н і н}0}^2$	$c_{\text{ед}}^2$	$c_{\text{н і н}0}^2 < c_{\text{ед}}^2$
Випрямні діоди	[0...10)	$7 - 2 = 5$	6,85	11,1	Так
	[10...20)	$11 - 2 = 9$	14,07	16,9	Так
	[20...30)	$13 - 2 = 11$	16,59	19,7	Так
	[30...40)	$6 - 2 = 4$	0,62	9,5	Так
	[40...50]	$7 - 2 = 5$	10,33	11,1	Так
Лавинні діоди	[0...10)	$13 - 2 = 11$	0,101	19,7	Так
	[10...20)	$14 - 2 = 12$	15,25	21,0	Так
	[20...30)	$9 - 2 = 7$	13,25	14,1	Так
	[30...40]	$5 - 2 = 3$	1,006	7,8	Так
Тиристори низькочастотні	[0...10)	$17 - 2 = 15$	24,289	25,0	Так
	[10...20)	$20 - 2 = 18$	23,26	28,9	Так
	[20...30)	$13 - 2 = 11$	18,142	19,7	Так
	[30...40]	$5 - 2 = 3$	1,595	7,8	Так

Таблиця 2

Результати розрахунку допустимої похибки об'ємів репрезентативних вибірок n по кожному з видів СНП

Вид СНП	Репрезентативна вибірка, n	Допустима похибка, d
Випрямні діоди	143	7,00%
Лавинні діоди	65	11,53%
Тиристори низькочастотні	270	4,01%
Генеральна сукупність N	478	-

Допустима похибка d при апроксимації залежності $\hat{A}^* = f(CK)$ представлених об'ємів репрезентативних вибірок n по кожному з видів СНП (випрямні діоди, лавинні діоди та низькочастотні тиристори), при умові обмеженої генеральної сукупності N (загальна кількість СНП) та забезпечені рівня довірчої вірогідності $S = 0,95$, може бути визначена з наступного виразу [8]:

$$n = \frac{N}{(1 + d^2 N)},$$

Звідки:

$$d = \sqrt{\frac{N-n}{Nn}}.$$

Результати визначення допустимої похибки представлені у табл. 2. Оскільки допустима похибка репрезентативної вибірки «лавинні діоди» перевищує 10% (що є нормальним показником в галузі технічних наук), тому використовувати отримані, при апроксимації експериментальних значень, співвідношення за цим видом напівпровідникових приладів (табл. 2), є недоцільним.

Загальні висновки. Проведені дослідження дозволили визначити аналітичні вирази для співвідношення між вартістю та параметрами силових напівпровідникових приладів різних видів. Отримані, за допомогою апроксимації емпіричних даних, аналітичні залежності, узгоджуються з вихідними даними. На підставі цих аналітичних залежностей можуть бути розраховані затратні функції, які дозволять вирішити задачу оптимального вибору перетворювальної структури для тягового приводу багатосистемних електровозів.

Список літератури 1. Преобразовательные устройства электропоездов с асинхронными тяговыми двигателями. [Текст]. / *А. М. Солодунов, Ю. М. Иньков, Г. Н. Коваливкер, В. В. Литовченко.* // под ред. *А. М. Солодунова.* – Рига: Зинантне, 1991. – 351 с. **2.** Справочник по преобразовательной технике [Текст]. / *И. М. Чиженко, П. Д. Андриенко* / под ред. *И. М. Чиженко.* – К.: Техніка, 1978. – 447 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 - Днепропетровск, 1991. – 356 с. **4.** Силовые полупроводниковые приборы и агрегаты. Прайс-лист ЗАО «Производственное объединение электрических машин» «Электромаш», г. Челябинск, от 01 апреля 2006. [електронний ресурс] <http://www.poelectromash.ru>. **5.** Ценник реализуемой продукции ООО «Элемент преобразователь» (г. Санкт-Петербург, Россия) от 07 сентября 2006 г. [електронний ресурс] <http://www.preobraz.ru>. **6.** Прейскурант договорных оптовых цен на силовые полупроводниковые приборы и охладители ОАО «Электровыпрямитель» (г. Саранск, Россия) от 01 июля 2007 г. [електронний ресурс] <http://www.elvpr.ru>. **7.** *Гмурман, В.Е.* Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. [Текст] / *В.Е. Гмурман* – М.: Высшая школа, 1975. – 146 с. **8.** *Зекцер, Д.М.* Особенности маркетинга низковольтных электрических аппаратов. [Текст] / *Д.М. Зекцер* – Х.: РЦНИТ, 2006. - 84 с.

Надійшла до редколегії 25.11.2009