

2. Cesar Silva. Control of an Hybrid Multilevel Inverter for Current Waveform Improvement / Cesar Silva, Samir Kouro, Julio Soto, Pablo Lezana // IEEE Cambridge Symposium on Industrial Electronics. – 2008. – P. 2329–2335.
3. Corzine K. A. Operation and Design of Multilevel Inverters / K. A. Corzine // University of Missouri. – Rolla. Copyright. – 2005. – 79 p.
4. Шавёлкин А. А. Несимметричный гибридный многоуровневый преобразователь частоты / А. А. Шавёлкин // Технічна електродинаміка. Тем. вип. Силовa електроніка і енергоефективність. Інститут електродинаміки НАН України. Київ. – 2008. – Ч. 2. – С. 21–26.
5. Шавёлкин А. А. Принципы реализации «реактивной ячейки» в гибридных многоуровневых преобразователях частоты/ А. А. Шавёлкин // Тем. вип. «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика» н.-т. журналу «Електроінформ». – Львів : ЕКОінформ, 2009. – С. 325–326.
6. Шавьолкін О. О. Перетворювальна техніка: навчальний посібник/ О. О. Шавьолкін, О. М. Наливайко. – Краматорськ : ДДМА, 2008. – 326 с.
7. Пронин М. В. Силовые полностью управляемые полупроводниковые преобразователи (моделирование и расчет) / М. В. Пронин, А. Г. Воронцов ; под ред. Крутякова Е. А. // СПб : «Электросила», 2003. – 172 с.

Стаття надійшла до редакції 16.02.2010 р.
Після доробки 30.09.2010

Шавьолкін О. О. Гібридний багаторівневий перетворювач частоти на базі чотирирівневого інвертора напруги

Розглянуто основні принципи реалізації гібридного багаторівневого перетворювача частоти на базі чотирирівневого інвертора напруги з «реактивною коміркою» у вихідних фазах при співвідношенні рівня напруги у ланці постійного струму базового інвертору і «реактивної комірки» 3:1. Приведені результати моделювання запропонованих рішень.

Ключові слова: Несиметричний гібридний багаторівневий інвертор, релейний регулятор, реактивна комірка, попередня модуляція

Shavolkin A. The hybrid multilevel converter of frequency on the basis of the inverter of voltage with four levels

Main principles of realization of the hybrid multilevel converter of frequency on the basis of inverter of a voltage with the four levels of voltages with «a reactive cell» in output phases are considered at a ratio of a level of a voltage in a link of a direct current of the base inverter and «a reactive cell» 3:1. Results of modeling of the offered decisions are brought.

Key words: the asymmetric hybrid multilevel inverter, relay control, a reactive cell, preliminary modulation.

УДК 621.314.63

В. С. Остренко канд. техн. наук

Запорізька державна інженерна академія

ВИЗНАЧЕННЯ ДОДАТКУ ДО ЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВОГО ОПОРУ СИЛОВИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИЛАДІВ

Ця стаття присвячена обґрунтуванню методики визначення додатку до значення теплового опору напівпровідникового приладу для постійного струму, який дає можливість визначити максимальну температуру напівпровідникової структури приладу при навантаженні імпульсами струму.

Ключові слова: силовий напівпровідниковий прилад, імпульсний режим, тепловий опір, визначення додатку, температура структури.

Визначення значення максимальної температури напівпровідникової структури силових діодів та тиристорів у заданому струмі навантаження є завжди актуальним, бо надійність роботи цих приладів в значній

мірі залежить від значення цієї температури.

При роботі діодів і тиристорів в режимі випрямляча (тобто при навантаженні імпульсами струму) на відносно низькій частоті (на частоті 50 Гц та нижче), темпе-

ратура напівпровідникової структури приладу зазнає значних коливань. Ці коливання температури напівпровідникової структури приладу відбуваються на фоні сталого значення температури. При цьому, як запропоновано у [1], значення максимальної температури напівпровідникової структури приладу визначається за формулою:

$$T_{j\max} = P[R_{thja} + add R_{thjC}(t_p)] + T_{amb}, \quad (1)$$

де $T_{j\max}$ – максимальне значення температури напівпровідникової структури; P – середнє значення втрат потужності у приладі; R_{thja} – тепловий опір структура – охолоджуюче середовище; $add R_{thjC}(t_p)$ – додатковий тепловий опір структура – корпус (основа) приладу, який залежить від форми та тривалості імпульсу струму навантаження і приводиться у інформаційних матеріалах на прилади [2], [3]; T_{amb} – температура охолоджуючого середовища.

Слід відзначити, не усі виробники силових напівпровідникових приладів для своїх приладів надають значення $add R_{thjC}(t_p)$, а ті що надають, то лише для кутів провідності 180°, 120°, 60° для роботи на частоті 50 Гц. Між тим, може виникнути потреба застосування приладів, на які не надано цей додаток, або у спеціальних перетворювачах застосовані інші кути провідності і/або знижена частота. Ось чому розробка методики визначення додаткової частини теплового опору приладу при імпульсному навантаженні є актуальним.

Середнє значення втрат потужності у приладі є наслідок протікання через прилад послідовності імпульсів струму, які приводять до імпульсів втрат потужності в приладі з амплітудою P_m . Співвідношення між середнім та амплітудним значенням втрат потужності залежить від відносної тривалості робочого циклу:

$$P = P_m D, \quad (2)$$

де $D = (t_p/t_c)$ – коефіцієнт заповнення циклу імпульсами; t_p – тривалість імпульсу потужності; t_c – період повторення імпульсів потужності.

Тривалість протікання струму у відкритому стані приладу достатньо велика, щоб суттєво нагріти напівпровідникову структуру вище середнього значення температури, а пауза між імпульсами струму достатньо велика, щоб вона встигла охолотитися нижче середнього рівня температури, рисунок 1. В зв'язку з цим, є певний інтерес до визначення додатку для корегування теплового опору, за допомогою якого, знаючи значення середньої температури напівпровідникової структури, можна визначити максимальне значення температури.

Для спрощення процедури визначення співвідношення між максимальним та середнім значеннями температури напівпровідникової структури приймаємо, що її нагрів та охолодження відбувається по прямим лініям AB і BC , відповідно, рисунок 1.

При тривалому режимі навантаження приладу, коли середнє значення температури напівпровідникової

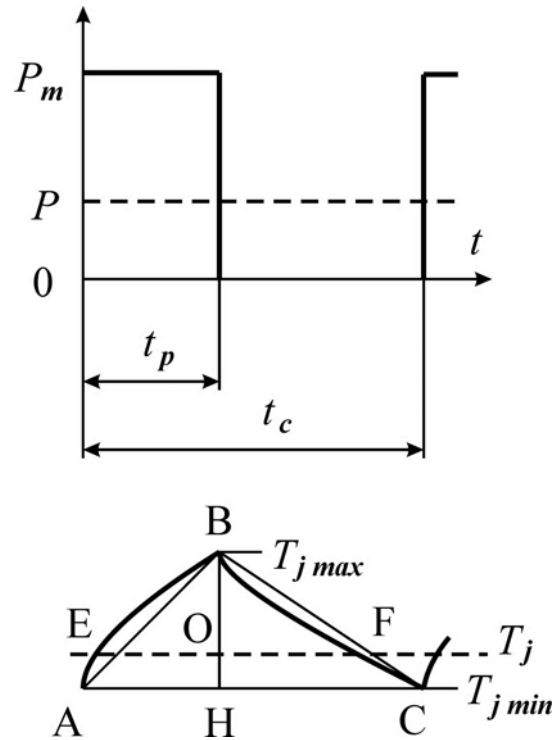


Рис. 1. Зміна температури структури при імпульсному навантаженні струмом

структури має постійну величину, площа трикутника EBF дорівнює площі трапеції $AEFC$, тобто:

$$\frac{1}{2} (BO \cdot EF) = \frac{1}{2} (AC + EF)OH. \quad (3)$$

З урахуванням того, що $OH = BH - BO$, рівняння (3) приймає такий вигляд:

$$EF(2BO - BH) = (AC \cdot BH) - (AC \cdot BO). \quad (4)$$

Так як трикутник EBF подібний до трикутника ABC , то:

$$\frac{EF}{AC} = \frac{BO}{BH} \text{ та } EF = \frac{AC \cdot BO}{BH}. \quad (5)$$

Згідно рисунку 1 $BO = T_{j\max} - T_j$, а $BH = P_m Z_{thjC}(t_p)$ згідно з визначенням поняття перехідного теплового опору; $Z_{thjC}(t_p)$ – перехідний тепловий опір приладу для моменту часу t_p , при цьому рівняння (6) приймає вигляд:

$$T_{j\max} - T_j = P_m Z_{thjC}(t_p). \quad (7)$$

З урахуванням (1) та (2) отримуємо:

$$T_{j\max} = P \left[R_{thja} + \frac{Z_{thjC}(t_p)}{D \cdot \sqrt{2}} \right] + T_{amb}. \quad (8)$$

Рівняння (8) можна спростити таким чином:

$$T_{j\max} = P[R_{thja} + Z_{th\,add}(t_p)] + T_{amb} \quad (9)$$

де $Z_{th\,add}(t_p)$ – додаток до теплового опору при визначенні максимальної температури напівпровідникової структури приладу;

$$Z_{th\,add}(t_p) = \frac{Z_{thjC}(t_p)}{D \cdot \sqrt{2}}, \quad (10)$$

який чисельно має дорівнювати значенню $add R_{thjC}(t_p)$ у рівнянні (1).

Таким чином, отримано формулу додатку (9) до теплового опору для визначення максимальної температури напівпровідникової структури приладу.

В залежності від схеми, у якій включено напівпровідниковий прилад, імпульси струму можуть різнитися за формою та за тривалістю протікання. У таблиці 1 наведені значення множників до значення $Z_{thjC}(t_p)$ для найбільш поширених схем перетворення енергії.

Таблиця 1 – Значення множників до значення $Z_{thjC}(t_p)$

Форма імпульсів	Синусоїдальна	Прямокутна		
		180°	120°	60°
Кут провідності	180°	180°	120°	60°
Коефіцієнт заповнення циклу імпульсами, D	0,5	0,5	0,333	0,166
Значення $1 / (D \sqrt{2})$	1 ²⁾	1,41	2,12	4,26
Тривалість імпульсу t_p ¹⁾ , мс	10	10	6,7	3,33

Примітки:

- 1) На частоті 50 Гц.
- 2) Значення отримане з урахуванням множника 0,707.

Для визначення значення $Z_{thjC}(t_p)$ краще всього використовувати аналітичну форму представлення пере-

хідного теплового опору приладу, яку надає виробник приладів у вигляді параметрів суми експонент:

$$Z_{thjC}(t) = \sum_{i=1}^n R_i (1 - \exp(-t/\phi_i)), \quad (11)$$

де R_i, ϕ_i – параметри експонент.

Як приклад наведемо розрахунки по визначенню додатків для корегування теплового опору тиристора T253-1250 [2], параметри експонент якого наведені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Параметри експонент, що апроксимують перехідний тепловий опір тиристора T253-1250

i	1	2	3	4
$R_i, \text{°C} / \text{Вт}$	0,0008	0,0016	0,0037	0,0139
$\tau, \text{с}$	0,0001	0,0013	0,0298	0,9313

Значення $Z_{thjC}(t_p)$ та значення додатків для тиристора T253-1250 наведені у таблиці 3.

Слід відмітити, що визначені додатки $Z_{th\,add}(t_p)$ дійсні не тільки в режимі тривалого навантаження системи прилад – охолоджувач, а і в режимі циклічного навантаження з тривалістю навантаження приладу більшою ніж час установлення постійного градієнта температури у внутрішніх елементах конструкції приладу, тобто 5 с та більше. Це означає, що при визначенні максимальної температури напівпровідникової структури приладу у нестационарному або квазістационарному (циклічному) режимі навантаження до значень перехідного теплового опору, які визначені при навантаженні постійним струмом, для часу 5 с та більше необхідно додавати додаток $Z_{th\,add}(t_p)$.

Слід відзначити, що значення додатків, які визначені за формулою (10), є більшими у 1,5–4 рази ніж ті, що наведені в каталогах на прилади ВАТ «Електровипрямитель» [2] та фірми АВВ [3], які наведені у таблиці 4.

Таблиця 3 – Значення додатків для тиристора T253-1250

Форма імпульсів	Синусоїдальна	Прямокутна		
		180°	120°	60°
Кут провідності	180°	180°	120°	60°
Тривалість імпульсу t_p , мс	10	10	6,7	3,33
Значення $Z_{thjC}(t_p), \text{°C} / \text{Вт}$	0,0036	0,0036	0,0032	0,0027
Значення додатків $Z_{th\,add}(t_p), \text{°C} / \text{Вт}$	$0,0036 \cdot 1 = 0,0036$	$0,0036 \cdot 1,41 = 0,0051$	$0,0032 \cdot 2,12 = 0,0068$	$0,0027 \cdot 4,26 = 0,0115$

Таблиця 4 – Значення додатків до теплового опору приладу для визначення значення максимальної температури напівпровідникової структури

Тип приладу	Форма імпульсів Кут провідності	Синусоїдальна		Прямокутна	
		180°	180°	120°	60°
	Тривалість імпульсу t_p , мс	10	10	6,7	3,33
T233-400	Значення $Z_{thjC}(t_p)$, °C / Вт	0,0075	0,0075	0,0068	0,0060
	Значення додатків розрахованих $Z_{thadd}(t_p)$, °C / Вт (з каталогу)	0,0075 (0,006)	0,0106 (0,006)	0,0144 (0,008)	0,0256 (0,014)
T143-800	Значення $Z_{thjC}(t_p)$, °C / Вт	0,0054	0,0054	0,0047	0,0039
	Значення додатків розрахованих $Z_{thadd}(t_p)$, °C / Вт (з каталогу)	0,0054 (0,003)	0,0076 (0,0035)	0,01 (0,0055)	0,0166 (0,0105)
T253-1250	Значення $Z_{thjC}(t_p)$, °C / Вт	0,0036	0,0036	0,0032	0,0027
	Значення додатків розрахованих $Z_{thadd}(t_p)$, °C / Вт (з каталогу)	0,0036 (0,0015)	0,0051 (0,002)	0,0068 (0,003)	0,0115 (0,005)
T183-1600	Значення $Z_{thjC}(t_p)$, °C / Вт	0,0010	0,0010	0,0008	0,0005
	Значення додатків розрахованих $Z_{thadd}(t_p)$, °C / Вт (з каталогу)	0,0010 (0,0008)	0,00141 (0,0008)	0,0017 (0,001)	0,00213 (0,002)
T163-2000	Значення $Z_{thjC}(t_p)$, °C / Вт	0,0025	0,0025	0,0022	0,0018
	Значення додатків розрахованих $Z_{thadd}(t_p)$, °C / Вт (з каталогу)	0,0025 (0,0015)	0,00352 (0,002)	0,0047 (0,003)	0,0077 (0,005)
T173-2500	Значення $Z_{thjC}(t_p)$, °C / Вт	0,0011	0,0011	0,0009	0,0005
	Значення додатків розрахованих $Z_{thadd}(t_p)$, °C / Вт (з каталогу)	0,0011 (0,0008)	0,00155 (0,0008)	0,0019 (0,001)	0,0021 (0,002)
5STP 45N2800	Значення $Z_{thjC}(t_p)$, К / кВт	0,687	0,687	0,4597	0,2570
	Значення додатків розрахованих $Z_{thadd}(t_p)$, К / кВт (з каталогу)	0,687 (0,5)	0,969 (0,5)	0,974 (0,8)	1,095 (1,5)
5STP 21F1400	Значення $Z_{thjC}(t_p)$, К / кВт	0,6187	0,6187	2,8518	1,8490
	Значення додатків розрахованих $Z_{thadd}(t_p)$, К / кВт (з каталогу)	0,6187 (1,5)	0,8724 (2)	6,046 (3)	7,877 (5)

Висновок

Розроблено методику визначення додатку до значення теплового опору напівпровідникового приладу для постійного струму, який дає можливість визначити максимальну температуру напівпровідникової структури приладу при навантаженні імпульсами змінного струму.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Phase Control Thyristors. Databook. Data Sheet. User's Guide [Електронний ресурс]: пояснення до параметрів та характеристик тиристорів. ABB Semiconductors AG, корегування 01.03.1999 – Електронні данні (1 файл: 1,06 МБ). – Lenzburg, ABB Switzerland, 1998. Режим доступу: <http://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=pctsek3&LanguageCode=en&DocumentPartID=&Action=Launch>, вільний, – Загол. з екрану. – Англ.
2. Тиристоры низкочастотные таблеточного исполнения. [Електронний ресурс]: технические данные тиристоров / ОАО «Электровыпрямитель». – Электрон. дан. (1 файл). – Россия, Саранск, «Электровыпрямитель», 2009. – Режим доступа: http://www.elvpr.ru/poluprovodnikprib/tiristory/nizkochast_tabl.php (свободный). – Загл. с экрана.
3. Phase Control Thyristors. Data Sheet. [Електронний ресурс]: параметри та характеристики тиристорів. ABB Semiconductors AG. – Електронні данні (1 файл). – Lenzburg, ABB Switzerland, 1998. Режим доступу: <http://www.abb.com/product/db0003db004291/c12573e7003304adc1256b820064c0b3.aspx?productLanguage=ru&country=UA&tabKey=2>, вільний, – Загол. з екрану. – Англ.

Стаття надійшла до редакції 03.08.2010 р.
Після доробки 07.10.2010

Остренко В. С. Определение дополнения к значению теплового сопротивления силовых полупроводниковых приборов

Эта статья посвящена обоснованию методики определения дополнения к значению теплового сопротивления полупроводникового прибора для постоянного тока, которое дает возможность определить максимальную температуру полупроводниковой структуры прибора при нагружении импульсами тока.

Ключевые слова: силовой полупроводниковый прибор, импульсный режим, тепловое сопротивление, определение дополнения, температура структуры.

Ostrenko V. Determination of complement to the value of thermal resistance of power semiconductor devices

The author justifies the procedure for determining a complement to the value of thermal resistance of a direct current semiconductor device which permits to determine a maximum temperature of the device junction when loaded by current pulses.

Key words: power semiconductor device, pulse mode, thermal resistance, determination of complement, junction temperature.

УДК 537.523.5

А. В. Єршов д-р техн. наук, Г. І. Камель д-р техн. наук, І. М. Коцур канд. техн. наук

Запорізький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ХАОТИЧНОГО СТРУМУ ЕЛЕКТРОНІВ НА ПАРАМЕТРИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ У ПРИАНОДНІЙ ЗОНІ РОЗРЯДУ

Розглянуто вплив співвідношення густини розрядного та хаотичного електронних струмів на падіння потенціалу у дифузійній зоні прианодної області. Виконано аналіз впливу вимушеної конвекції на умови існування стійкого дифузного розряду на поверхні анода.

Ключові слова: електрон, іон, анод, падіння потенціалу, густина струму, розрядний струм, хаотичний струм, дифузійна зона, вимушена конвекція, дифузний розряд.

Проблема реалізації стійкого дифузного розряду на електродах технологічних пристроїв має значний науковий і практичний інтерес. Організація такого розряду дозволить знизити теплове навантаження й ерозію поверхні електродів, підвищити стабільність параметрів електродугових пристроїв і поліпшити якість процесів зварювання, наплавлення і плазмового напилювання.

Існуючі підходи для визначення умов переходу дифузного розряду в контрагований зв'язані з наявністю мінімуму електродного падіння потенціалу в залежності від щільності струму [1–7].

Однак складності теоретичного аналізу і недостатня точність експериментальних досліджень стримують одержання практичних рекомендацій. Сказане відноситься, насамперед, до вивчення прианодної зони розряду, де зміна потенціалу має не стрибкоподібний, а розподілений характер, що не враховано в приведених роботах. Тому, можна припустити, що існуючі методи теоретичної оцінки некоректні і вимагають подальшої розробки.

Ідея поліпшення теоретичного методу полягає в обліку сталості температури стовпа плазми при можливій зміні щільності струму в перехідній зоні. Завдання роботи полягає в розробці теоретичного методу розрахунку розподілу потенціалу у стовпі плазми перед анодом.

Дифузійна зона приелектродної області характеризується значною зміною температури і концентрації заряджених часток. Вона відділена від електрода шаром об'ємного заряду і є квазінейтральною. Причиною виникнення напруженості електричного поля є опір плазми, що зростає в приелектродній зоні, і існуючі градієнти концентрації заряджених часток. Розподіл потенціалу в дифузійній зоні знаходиться з рівнянь потоків дифузії заряджених часток у неоднорідній плазмі, а саме,

$$j_e = \frac{eD_e \cdot dn_e}{dy} - \frac{\sigma_e d\phi}{dy}, \quad (1)$$

$$j_i = -\frac{eD_i \cdot dn_i}{dy} - \frac{\sigma_i d\phi}{dy}, \quad (2)$$