

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ КОНДЕНСАТОРІВ

Досліджуються особливості роботи конденсаторів тиристорних перетворювачів енергії в імпульсних режимах. Для розрахунку нестационарного температурного поля конденсатора використовується метод електротеплової аналогії. Пропонується методика визначення внутрішнього теплового опору конденсатора.

Ключові слова: тиристорні перетворювачі електричної енергії, тепла схема конденсатора, температурне поле.

V. E. GAVRONSKIY, N. M. GAVRONSKAYA

Khmelnitsky Polytechnic College

RESEARCH OF THERMAL MODE OF CAPACITORS

Abstract. The article is devoted the decision of important technological task, which arises up during exploitation of condensers in the pulse-mode for the thyristor transformers of electric energy (TTE), as high technical-economical indexes of TTE are largely determined the capacity of condensers which are used in them in quality commutative, filter, compensating and anti vibration devices. Specific gravity of condensers in TTE arrives at 30 - 40%, thus there is a tendency to yet greater growth of this number taking into account the prospect of miniature of TTE. For the calculation of unsteady temperature field condenser using electro thermal analogy method. The method for determining the internal thermal resistance of the capacitor.

Keywords: thyristor converters of electrical energy, thermal circuit of capacitor, temperature field.

Вступ

Високі техніко-економічні показники тиристорних перетворювачів електричної енергії (ТПЕ) в значній мірі визначаються працездатністю конденсаторів, що використовуються в них в якості комутуючих, фільтрових, компенсуючих і демпфуючих пристроїв. Питома вага конденсаторів в ТПЕ досягає 30–40%, причому є тенденція до ще більшого зростання цієї цифри з урахуванням перспективи мініатюризації ТПЕ.

В апаратурі як спеціального призначення, так і широкого застосування (в імпульсній електроніці, побутовій техніці тощо) такі пристрої можуть працювати не тільки в безперервному, але і в імпульсному режимі. У зв'язку з цим представляє інтерес дослідження особливостей застосування конденсаторів в імпульсному режимі.

Працездатність конденсаторів за змінної напруги визначається цілим рядом чинників: інтегральним і локальним тепловиділенням, електричним старінням ізоляції, величиною імпульсного і ефективного струмів, температурою навколишнього середовища. Ступінь впливу цих чинників на працездатність конденсатора залежить від режиму і умов експлуатації, а також від його конструктивних даних. З урахуванням особливостей імпульсних режимів розглянемо основні чинники, які можуть виявитися лімітуючими при виборі конденсаторів для ТПЕ.

Виклад основного матеріалу

Оскільки мова йде про застосування конденсаторів при змінній напрузі, то тепловиділення в них може бути одним з основних лімітуючих чинників. При повторно-короткочасному електричному навантаженні, коли час паузи між «пачками» імпульсів або загальний час роботи конденсатора співрозмірний з його тепловою постійною, тепловий режим конденсатора виявляється нестационарним. В ході дослідження стаціонарних і нестационарних температурних полів найбільш поширеною є аналогія між теплопровідністю і електропровідністю. Скористаємося методом електротеплової аналогії для дослідження теплового режиму конденсатора.

Відповідно до цього методу теплової схеми конденсатора можна представити за допомогою її електричного аналога. Теплоємність аналогічна електричній ємності, тепловий опір – електричному опору, потужність тепловиділення – електричному струму, температура – напрузі. Аналогічно скористаємося методами аналізу електричних кіл з RC-елементами [1].

Для пристрою, що розсіює тепло, наприклад для конденсатора, що знаходиться в стані спокою, часова залежність температури на вході у відповідь на подачу одиничного стрибка потужності визначається перехідним тепловим імпедансом $R_m(t)$. Отже, якщо на вхід такої схеми поданий стрибок потужності, то зростання температури можна виразити формулою

$$\Delta T(t) = P_{\max} \cdot R_m(t), \quad (1)$$

де $\Delta T(t)$ – різниця температури найбільш нагрітої точки конденсатора та температури навколишнього середовища T_c ;

P_{\max} – потужність ступінчатого імпульсу.

При постійній потужності перехідний тепловий опір досягає постійного значення – сталого

теплового опору R_m , тобто $\lim_{t \rightarrow \infty} R_m(t) = R_m(\infty)$.

Використовуючи перехідний тепловий опір і принцип суперпозиції, можна знайти максимальну температуру нагріву конденсатора при подачі імпульсу або послідовності імпульсів потужності довільної форми. Розглянемо характерний випадок. Нехай тепла потужність $P(t)$ змінюється в часі за періодичним законом (рис. 1).

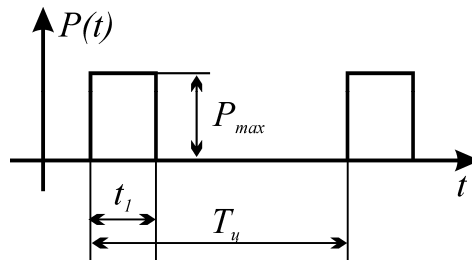


Рис. 1. Періодична послідовність прямокутних імпульсів потужності

$$P(t) = \begin{cases} P_{\max} & \text{при } t \leq t_1 \\ 0 & \text{при } T_u \geq t \geq t_1 \\ P_{\max} & \text{при } T_u + t_1 \geq t \geq T_u \\ 0 & \text{при } 2T_u > t > T_u + t_1 \end{cases}$$

де t_1 – тривалість «пачки» імпульсів;
 T_u – тривалість циклу повторно-короткочасної дії імпульсів.
 Для отримання якісної картини температурного поля прийнемо, що

$$R_m(t) = R_m(1 - e^{-t/\tau_m}),$$

де $\tau_m = R_m C_m$ – тепла постійна конденсатора;
 C_m – теплоємність конденсатора.

Такий закон зміни перехідного теплового опору $R_m(t)$ правомірний лише з моменту настання регулярного теплового режиму нагрівання або охолодження конденсатора [2].

У стадії регулярного теплового режиму температурне поле в усіх точках тіла змінюється за експоненціальним законом. У багатьох практичних випадках, для наближених розрахунків нестационарних температурних полів конденсаторів, можна прийняти, що температурне поле тіла входить в стадію регулярного режиму з самого початку даного процесу [3]. За такого припущення електричний аналог теплової схеми має вигляд (рис. 2).

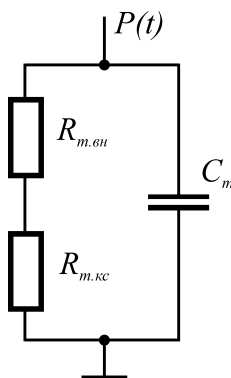


Рис. 2. Теплова схема конденсатора:

$R_{m,вн}$ – внутрішній тепловий опір конденсатора; $R_{m,кв}$ – зовнішній тепловий опір конденсатора (опір корпус – середовище); C_m – теплоємність конденсатора

Застосовуючи принцип суперпозиції, можна знайти відповідно до (1) залежність температури нагріву конденсатора від часу. Для проміжку часу $t \leq t_1$

$$\Delta T_1(t) = P_{\max} R_m (1 - e^{-t/\tau_m})$$

для $T_u \geq t \geq t_1$

$$\Delta T_2(t) = P_{\max} R_m (e^{-t/\tau_m} - 1) e^{-t/\tau_m}.$$

У квазістационарному режимі, коли діє $n+1$ імпульс потужності при $n \rightarrow \infty$, для проміжку часу

$t \leq t_1$ маємо

$$\Delta T_I(t) = P_{\max} R_m \left[\frac{e^{t_1/\tau_m} - e^{T_u/\tau_m}}{e^{T_u/\tau_m} - 1} e^{-t/\tau_m} + 1 \right] \quad (2)$$

для

$$\Delta T_{II}(t) = \frac{P_{\max} R_m (e^{t_1/\tau_m} - 1) e^{T_u/\tau_m}}{e^{T_u/\tau_m} - 1} e^{-t/\tau_m}, \quad (3)$$

де t – час відліку від початку $n+1$ імпульсу напруги.

Проаналізуємо ці вирази. Визначимо з них максимальне і мінімальне перевищення температури найбільш нагрітої точки конденсатора над температурою навколишнього середовища.

З виразу (2) при $t=t_1$ отримаємо

$$\Delta T_{\max} = P_{\max} R_m \frac{1 - e^{-t_1/\tau_m}}{1 - e^{-T_u/\tau_m}} \quad (4)$$

Відповідно з виразу (3) при $t=T_u$ маємо

$$\Delta T_{\min} = P_{\max} R_m \frac{1 - e^{-t_1/\tau_m}}{1 - e^{-T_u/\tau_m}} e^{-(T_u - t_1)/\tau_m}. \quad (5)$$

Отримані формули встановлюють зв'язок температури нагріву конденсатора з його теплофізичними постійними і тепловою потужністю. З цих формул виходить, що в імпульсному режимі при малій тривалості дії теплової потужності ($t_1 < \tau_m$) і великій паузі між імпульсами потужності ($T_u - t_1 > \tau_m$) навантаження конденсатора при заданій величині ΔT_{\max} може бути значно збільшене.

Висновки

1. Працездатність конденсаторів в тиристорних перетворювачах енергії обмежується режимними і експлуатаційними чинниками.
2. Використання методу електротеплової аналогії на тепловій моделі конденсатора дозволяє проводити оцінку нестационарного теплового режиму конденсаторів.
3. Метод визначення внутрішнього перегріву конденсаторів дозволяє кількісно оцінити їх теплофізичні характеристики.
4. Питомі енергетичні і масогабаритні характеристики конденсаторів в імпульсному режимі в кілька разів вищі, ніж в стаціонарних режимах.

Література

1. Готра З.Ю. Принципи електротеплового моделювання електронних схем з динамічним саморозігрівом елементів / З.Ю. Готра, Р.Л. Голяка, С.В. Павлов, С.С. Куленко // Електроніка – Л. : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2009. – 228 с.
2. Исследование тепловых режимов работы высоковольтных импульсных конденсаторов для погружных электроразрядных комплексов / А.Я. Дмитришин, В.И. Гунько, С.О. Топоров, Е.Н. Слепец // Вісник НТУ «ХП». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х. : НТУ «ХП», 2012. – № 52 (958). – С. 71–76.
3. Матюхин С.И. Моделирование нестационарных тепловых процессов и расчет допустимых токов перегрузки силовых полупроводниковых приборов / С.И. Матюхин, А.В. Ставцев // Силовая электроника. – 2011. – № 1. – С. 36–42.

References

1. Hotra Z. Principy elektrotoplowogo modeluvannia elektronnykh schem z dynamichnym samorozigrivom elementiv / Z. Hotra, R. Holyaka, S. Pavlov, S. Kulenko // Elektronika – L.: Vydavnicтво Nacionalnogo universytetu "Lvivska politechnika", 2009. – 228 p.
2. Issliedovanie teplovykh rezhymov raboty vysokovoltnykh impulsnykh kondensatorov dla pogruzhnykh elektrorazriadnykh kompleksov / A. Dmitrishin, V. Gunko, S. Toporov, E. Slepec // Visnyk NTU "ChPI". Serija: Technika ta elektrofizika vysokich naprug. – Ch.: NTU "ChPI", 2012. – № 52 (958). – P. 71–76.
3. Matiuchin S., Stavcev A. Modelirovanie nestacionarnykh teplovykh processov i rasczot dopustimykh tokov peregruzki silovykh poluprovodnikovyykh priborov // Silovaja elektronika. – 2011. – № 1. P. 36–42.

Рецензія/Peer review : 18.10.2014 р.

Надрукована/Printed :29.11.2014 р.

Стаття рецензована редакційною колегією