

НАПРУГА НА ВЕНТИЛЯХ НУЛЬОВОГО КОМПЕНСАЦІЙНОГО ВИПРЯМЛЯЧА

Бойко В.С., д.т.н., проф., Кудря Є.А., к.т.н., доц.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки

Мудрик В.І., Паканич С.І., студенти

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. У компенсаційному випрямлячі за нульовою схемою (рис. 1) контур комутації складається з обмоток фаз перетворювального трансформатора, вентилів, які до них підімкнені, та фази батареї комутуючих конденсаторів, з'єднаної за схемою трикутника.

При аналізі електромагнітних процесів умовним початком відліку приймемо початок комутації у вентилі V_1 при переході струму з вентиля V_5 на вентиль V_1 . При цьому трифазну напругу вторинних обмоток перетворювального трансформатора запишемо так:

$$\begin{aligned} e_A &= E_m \sin(\vartheta + \pi / 6 + \psi); \\ e_B &= E_m \sin(\vartheta - \pi / 2 + \psi); \\ e_C &= E_m \sin(\vartheta + 5\pi / 6 + \psi), \end{aligned} \quad (1)$$

де E_m - амплітуда вторинної фазної напруги перетворювального трансформатора; ϑ - поточна змінна, ψ - початкова фаза напруги при включенні вентиля.

Окрім того врахуємо, що система трифазних напруг однієї вторинної обмотки перетворювального трансформатора зміщена на π відносно іншої, що на схемі (рис. 1) показано відповідним напрямом ЕРС вторинних обмоток.

Дослідження проведене у відносних одиницях за наступною системою базисних величин [1]:

- базисна напруга : $U_{\sigma} = \sqrt{3}E_m$;
- базисний струм: $I_{\sigma} = \sqrt{3}E_m / 2x_{\gamma}$, де x_{γ} - індуктивний опір фази

перетворювального трансформатора, зведений до його вторинної обмотки;

- базисна частота: $\omega_{\sigma} = \omega = 314$;
- базисна реактивність кола змінного струму: $x_{\sigma} = \sqrt{3}E_m / 2I_{\sigma}$.

Мета роботи. Дослідити характер зміни напруги на вентилях у різних режимах роботи діодного компенсаційного перетворювача та зробити висновки стосовно залежності її форми від параметрів елементів перетворювача та режиму його роботи.

Результати досліджень. Запишемо рівняння по контурам працюючих вентилів схеми (рис. 1):

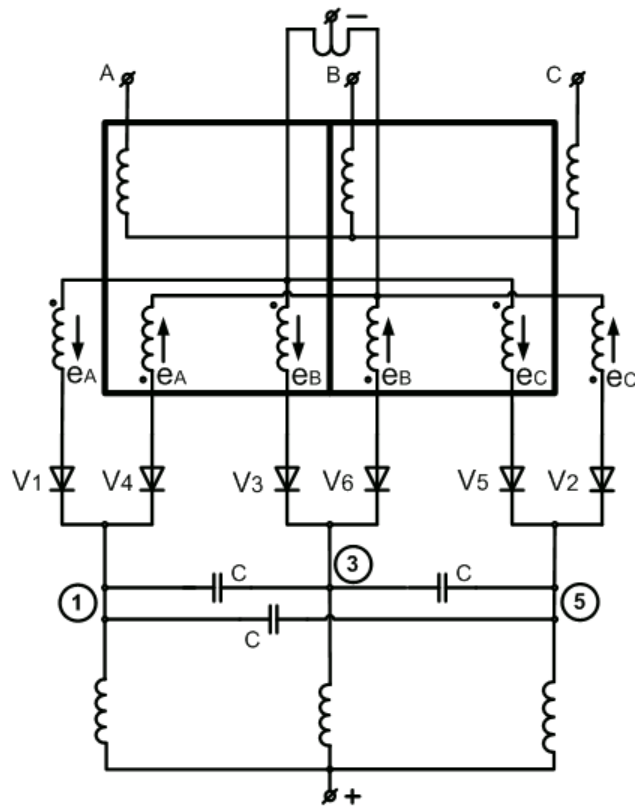


Рисунок 1 – Схема шестипульсного нульового компенсаційного випрямляча

$$\begin{aligned}
 (V_6 - V_1) \quad e_A + e_B &= x_\gamma \frac{d}{d\vartheta} (i_a - i'_b) - u_6 + u_1 + u_{C13} + u_k^{(2)}; \\
 (V_1 - V_2) \quad e_A + e_C &= x_\gamma \frac{d}{d\vartheta} (i_a - i'_c) + u_1 - u_2 - u_{C51} + u_k^{(2)}; \\
 (V_2 - V_3) \quad e_B + e_C &= x_\gamma \frac{d}{d\vartheta} (i_b - i'_c) - u_2 + u_3 + u_{C35} + u_k^{(2)}; \\
 (V_3 - V_4) \quad e_A + e_B &= x_\gamma \frac{d}{d\vartheta} (i_b - i'_a) + u_3 - u_4 - u_{C13} + u_k^{(2)}; \\
 (V_4 - V_5) \quad e_C + e_A &= x_\gamma \frac{d}{d\vartheta} (i_c - i'_a) - u_4 + u_5 + u_{C51} + u_k^{(2)}; \\
 (V_5 - V_6) \quad e_C + e_B &= x_\gamma \frac{d}{d\vartheta} (i_c - i'_b) + u_5 - u_6 - u_{C35} + u_k^{(2)}.
 \end{aligned} \tag{2}$$

У наведеній системі рівнянь із штрихом позначені струми відповідних фаз, які проводять діоди з парною нумерацією, $u_1 \dots u_6$ - напруга на діодах, u_C - напруга фази комутуючих конденсаторів, $u_k^{(2)}$ - напруга на двофазному зрівноважувальному реакторі.

Розрахуємо напругу на діоді V_1 . Для цього з системи (2) використаємо рівняння, які дозволяють найбільш просто розрахувати u_1 при наступних парах працюючих вентилів: $V_2 - V_3$, $V_3 - V_4$, $V_4 - V_5$, $V_5 - V_6$.

Нехай працюють діоди V_2 та V_3 . При цьому $i_b \neq 0$, $i_c \neq 0$, $u_2 = 0$, $u_3 = 0$. Віднімемо від другого рівняння системи (2) третє і отримуємо:

$$e_A - e_B = -x_\gamma \frac{di_b}{d\vartheta} + u_1 - u_{C51} - u_{C35}.$$

Врахуємо, що у схемі (рис. 1) трифазна батарея комутуючих конденсаторів з'єднана трикутником, тож геометрична сума напруг усіх фаз дорівнює нулю. Тож вираз миттєвого значення напруги на вентилі V_1 на першому інтервалі запишеться наступним чином:

$$u_1 = e_A - e_B + x_\gamma \frac{di_b}{d\vartheta} - u_{C13}.$$

Усіх інтервалів в кривій напруги на вентилі - сім. Оскільки розрахунок на інших інтервалах здійснюється подібним чином, за браком обсягу статті він не наводиться.

В результаті проведених досліджень, низки алгебричних перетворень та переходу до відносних величин, отримано наступні вирази напруги на діоді V_1 на усіх семи інтервалах:

$$\begin{aligned} u_{1*I} &= -\sin(\vartheta - \alpha + \gamma) - u_{C*II}; \\ u_{1*II} &= -\sin(\vartheta + \pi / 3 - \alpha) + u_{x*} - u_{C*III}; \\ u_{1*III} &= -\sin(\vartheta + \pi / 3 - \alpha + \gamma) - u_{C*IV}; \\ u_{1*IV} &= -\sin(\vartheta + 2\pi / 3 - \alpha) - u_{x*} - u_{C*V}; \\ u_{1*V} &= -\sin(\vartheta + \pi / 3 - \alpha + \gamma) + u_{x*} - u_{C*IV}; \\ u_{1*VI} &= -\sin(\vartheta + 2\pi / 3 - \alpha) + u_{x*} - u_{C*V}; \\ u_{1*VII} &= -\sin(\vartheta + 2\pi / 3 - \alpha + \gamma) + u_{C*VI}. \end{aligned} \quad (3)$$

Напруга комутуючих конденсаторів u_{C*} створюється сукупністю струмів навантаження і комутації і розраховується як різниця між третиною струму навантаження $2I_d$ і двох третин струму комутації [2], [3]. Врахувавши це у [3] наведено рівняння струму комутації шестипульсного компенсаційного перетворювача за нульовою схемою, яке відповідає режиму роботи, що характеризується відсутністю накладання комутацій через комутуючі конденсатори:

$$i_{k*} = 0.5 + \frac{\cos(\vartheta - \alpha)}{x_{\gamma*}(\omega_{0*}^2 - 1)} + K_{1*} \cos \omega_{0*} \vartheta + K_{2*} \sin \omega_{0*} \vartheta, \quad (4)$$

де $K_{1*} = -(0.5 + \frac{\cos \alpha}{x_{\gamma*}(\omega_{0*}^2 - 1)})$; $K_{2*} = \frac{\sin \alpha}{\omega_{0*} x_{\gamma*}(\omega_{0*}^2 - 1)}$; α - кут керування, що у діодному перетворювачі встановлюється вільно, ω_{0*} - відносне значення

власної частоти контуру комутації, x_{γ^*} - відносне значення індуктивного опору контуру комутації.

Такій закономірності зміни струму комутації відповідає вираз відносного значення комутаційної напруги:

$$u_{x^*} = -\frac{\sin(\vartheta - \alpha)}{2(\omega_{0^*}^2 - 1)} + \frac{\omega_{0^*} x_{\gamma^*}}{2} (-K_{1^*} \sin \omega_{0^*} \vartheta + K_{2^*} \cos \omega_{0^*} \vartheta) \quad (5)$$

Як показують дослідження, найбільше миттєве значення кривої напруги на діоді буде на шостому інтервалі (3). Розрахуємо його величину з урахуванням викладеного вище, при наступних числових значеннях параметрів режиму: $x_{\gamma^*} = 0.335$, $\omega_{0^*} = 2.9$, $\alpha = 26.51^\circ$, $\gamma = 34.85^\circ$. Аналітичний розрахунок максимального значення кривої зворотної напруги дає числове значення - 267 В.

Висновки. 1. Як впливає з результатів досліджень, проведених стосовно кривої зворотної напруги на діодах, аналітичний аналіз електромагнітних процесів у компенсаційному перетворювачі і розрахунок параметрів його основних складових, є досить складним завданням. Це ж стосується і розрахунку миттєвих значень кривих струмів і напруг елементів перетворювача у різних режимах його роботи. Такі дослідження вимагають від дослідника знання методів аналізу процесів у пристроях енергетичної електроніки [4]: та володіння математичним апаратом.

2. Більш простим і наочним є схемотехнічне моделювання процесів у компенсаційному випрямлячі. Однак це не заперечує необхідності проведення аналітичних досліджень, оскільки їх результати використовуються для налаштування схемотехнічної моделі перетворювача і підтвердження адекватності результатів самого моделювання.

Перелік посилань

1. Бойко В.С. Преобразовательные системы с одноступенчатой емкостной коммутацией: Автореф. дис. ... докт.наук: / ИЭД НАНУ. – К., 1993. – 38 с.
2. Бойко В.С., Гладкий В.Н., Потяженко И.А., Сотник Н.И., Бойко В.В. Расчет углов регулирования и коммутации в сложных компенсационных преобразовательных системах // Техн. электродинамика. - 2001. - №3. - с. 33-384.
3. Бойко В.С., Кудря Е.А., Потяженко И.А., Шуляк А.А. Электромагнитный процесс в компенсационной преобразовательной системе с регулируемым коммутирующим устройством // Техн. электродинамика. – 2008. - № 3. – С. 37- 42.
4. Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И.М. Основы преобразовательной техники: Учебник для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. школа, 1980. - 424 с., ил.