

ФОРМА КРИВОЇ КОМУТАЦІЙНОЇ НАПРУГИ

Бойко В.С., д.т.н., проф., Шуляк А.А., ст. викл.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки

Майкович І.В., Наухацька Т.А., студентки 4 курсу ФЕА

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. В усіх відомих на сьогодні компенсаційних перетворювальних системах (КПС) вентиля увімкнені в фази обмоток перетворювального трансформатора. Тож струм вентиля i є струмом його вторинної обмотки. З цього випливає, що в інтервалі комутації струму вентилями на індуктивностях розсіяння кола змінного струму будуть виникати спади напруги, які називаються комутаційними.

Як показано в [1], струм комутації i_k некомпенсаційного випрямляча за нульовою схемою при діодній реалізації останнього записується наступним рівнянням:

$$i_k = \frac{\sqrt{3}E_m}{2x_\gamma}(1 - \cos \vartheta) \quad (1)$$

де E_m - амплітудне значення фазної ЕРС вторинної обмотки перетворювального трансформатора, ϑ - поточна змінна x_γ - значення індуктивного опору контуру комутації.

Такій закономірності зміни струму комутації відповідає комутаційна напруга:

$$u_x = x_\gamma \frac{di_k}{d\vartheta_\gamma} = 0.5\sqrt{3}E_m \sin \vartheta, \text{ чи у відносних одиницях } u_{x^*} = 0.5 \sin \vartheta. \quad (2)$$

У компенсаційних перетворювальних системах електромагнітні процеси мають більш складний характер і аналіз комутаційної напруги потребує більш ґрунтовного аналізу.

Мета роботи. Дослідити характер зміни комутаційної напруги у різних режимах роботи діодної компенсаційної перетворювальної системи та зробити висновки стосовно залежності її форми від параметрів елементів КПС.

Результати досліджень. Запишемо рівняння для контуру комутації компенсаційної перетворювальної системи (рис. 1):

$$2x_\gamma \frac{di_k}{d\vartheta_\gamma} - u_c = \sqrt{3}E_m \sin(\vartheta + \psi) \quad (3)$$

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

рівнянні (3) та здійснивши низку алгебричних і тригонометричних перетворень, отримаємо рівняння струму комутації компенсаційної перетворювальної системи, яке відповідає режиму роботи, що характеризується відсутністю накладання комутацій через комутуючі конденсатори:

$$i_k = 0.5I_d + \frac{\sqrt{3}E_m \cos(\vartheta - \alpha)}{2/3\omega C - 2\omega L} - \left(0.5I_d + \frac{\sqrt{3}E_m \cos \alpha}{2/3\omega C - 2\omega L} \right) \cos \frac{\omega_0}{\omega} \vartheta - \frac{\omega}{\omega_0} \frac{\sqrt{3}E_m \sin \alpha}{2/3\omega C - 2\omega L} \sin \frac{\omega_0}{\omega} \vartheta.$$

Для отримання відносного значення наведеного вище виразу струму комутації, скористаємось наступною системою базисних величин [4]:

- 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: $x_\sigma = \sqrt{3}E_m / 2I_d$.

З урахуванням останнього, вираз відносного значення струму комутації будь-якого компенсаційного перетворювача є таким:

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

де α - кут керування, що у діодному перетворювачі встановлюється вільно, ω_{0*} - відносне значення власної частоти контуру комутації, $x_{\gamma*}$ - відносне значення індуктивного опору контуру комутації.

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

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

Застосуємо останній вираз для фізичного аналізу кривої комутаційної напруги у паралельному блоці (рис. 1). Цю схему також називають схемою нульового компенсаційного випрямляча.

Змоделюємо один з режимів роботи перетворювача електричної енергії, реалізованого за наведеною схемою, при наступних числових значеннях параметрів режиму: $x_{\gamma*} = 0.2$, $\omega_{0*} = 3$, $\alpha = 19.57^\circ$, $\gamma = 29.18^\circ$ чи 0.51 рад.

Цей проміжок на осі абсцис рис. 2, який є функцією комутаційної напруги за співвідношенням (5), відповідає комутаційній напрузі у паралельному блоці за наведеними вище параметрами режиму.

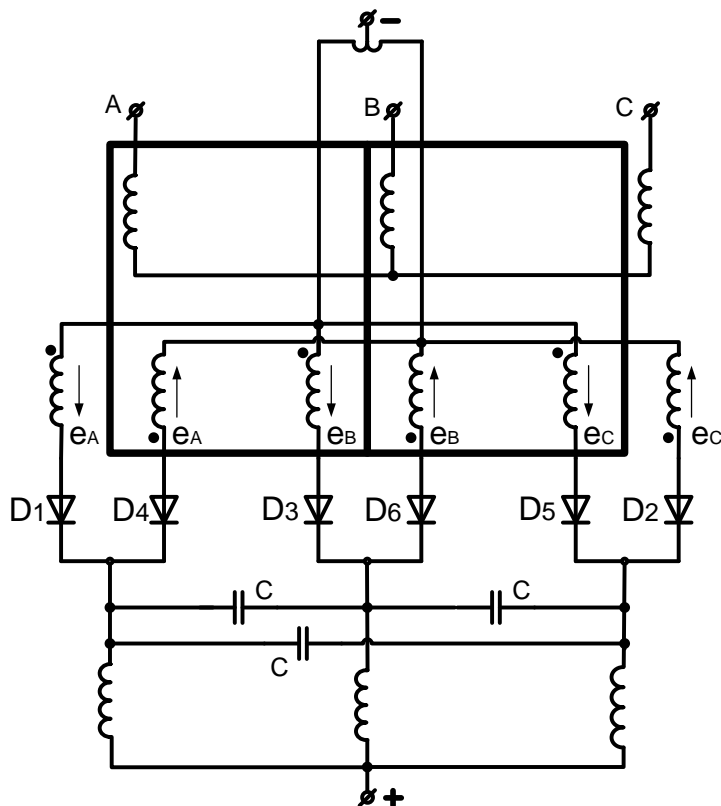


Рисунок 1 – Схема паралельного блоку

Сама комутаційна напруга є частиною кривої, зображеної на рис. 2 в інтервалі від нуля до 0.51 радіан. Оскільки моделюється режим з відносним значенням власної частоти контуру комутації $\omega_{0*} = 3$, то цей проміжок практично є чвертю періоду функції, тож комутаційна напруга за формою може вважатися близькою до трикутника.

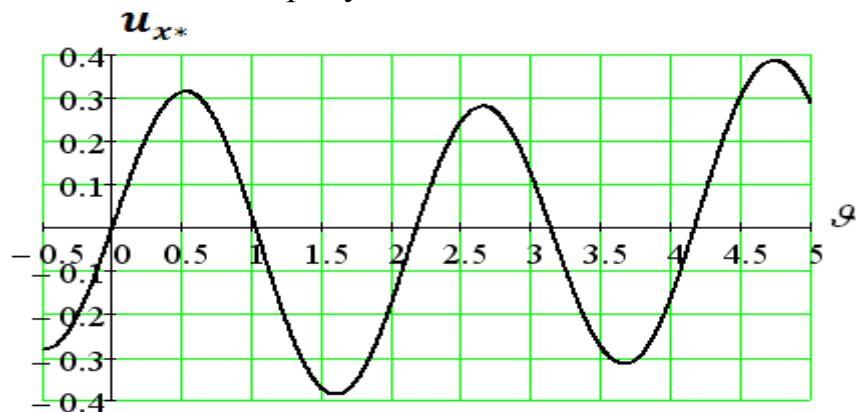


Рисунок 2 – Функція комутаційної напруги у паралельному блоці

На рис. 3 наведена крива за функцією комутаційної напруги у 12-пульсному нульовому компенсаційному перетворювачі, який складається з

двох паралельно з'єднаних паралельних блоків, за такими параметрами режиму: $x_{\gamma^*} = 0.28$, $\omega_{0^*} = 5$, $\alpha = 17.00^\circ$, $\gamma = 24.80^\circ$ чи 0.43 рад.

Основна частота кривої рис. 3 відповідає власній частоті контуру комутації $\omega_{0^*} = 5$. Період такої кривої складає 1.256 радіан. Протяжність інтервалу комутації 0.43 рад. є третиною періоду, тому крива комутаційної напруги відрізняється за формою від трикутної.

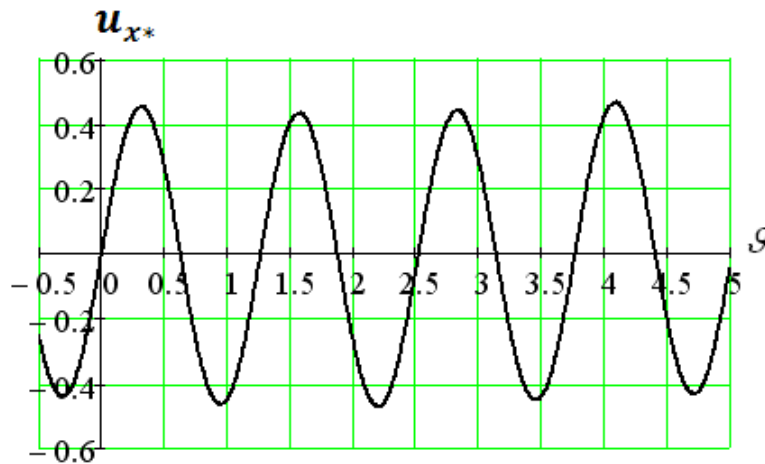


Рисунок 3 – Функція комутаційної напруги у 12-пульсному нульовому компенсаційному перетворювачі

Застосований спосіб аналізу [3], [4] пояснює фізичну сутність комутаційного процесу у компенсаційній перетворювальній системі і дозволяє зробити наступні висновки.

Висновки. 1. У компенсаційній перетворювальній системі крива $u_{x^*}(\vartheta)$ апроксимується кривою, близькою до синусоїди з частотою, що дорівнює власній частоті контуру комутації і нульовою початковою фазою.

2. Амплітудне значення кривої $u_{x^*}(\vartheta)$ розраховується за співвідношенням $U_{x^*} = \frac{\omega_{0^*} \cos \alpha - \sin(\pi / 2\omega_{0^*} - \alpha)}{2(\omega_{0^*}^2 - 1)} - \frac{\omega_{0^*} x_{\gamma^*}}{4}$.

3. Комутаційна напруга є початковою частиною кривої $u_{x^*}(\vartheta)$ в інтервалі $0 \leq \vartheta \leq \gamma$ і її форма залежить від величини струму навантаження і власної частоти контуру комутації.

Перелік посилань

1 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.

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. 3 – 42.

4. Бойко В.С. Преобразовательные системы с одноступенчатой емкостной коммутацией: Автореф. дис. ... докт.наук: / ИЭД НАНУ. – К., 1993. – 38 с.