

РОЗДІЛ 8. ТЕОРЕТИЧНА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

ФОРМУВАННЯ КРИВОЇ СТРУМУ КОМУТАЦІЇ У КОМПЕНСАЦІЙНІЙ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНІЙ СИСТЕМІ

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

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки

Майкович І.В., Наухацька Т.А., студенти

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. Робота усіх сучасних потужних випрямних пристроїв базується на трифазній системі напруг і основу їх схемного рішення складає елементарна трифазна схема [1]. В основі аналізу робочих режимів перетворювачів електричної енергії лежить дослідження електромагнітних процесів в інтервалі комутації струму вентилями. Виходячи зі складності останніх, при дослідженнях приймалися різного роду припущення. Найбільш уживаними припущеннями були квадратична апроксимація струму комутації у діодному перетворювачі, та лінійна - у тиристорному.

Мета роботи. Дослідити фізичний процес формування кривої струму комутації діодної і тиристорної компенсаційних перетворювальних систем у разі застосування точного розрахунку комутаційного процесу.

Результати досліджень. У контурі комутації будь-якої компенсаційної перетворювальної системи (КПС) діють ЕРС вентильних обмоток перетворювального трансформатора і напруга комутуючих конденсаторів. За складом елементів контур комутації - LC-контур, і перехідний процес у ньому в інтервалі комутації має коливальний характер [2], а закон зміни струму комутації i_{k*} , за відсутності накладання комутацій, подається наступним рівнянням:

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

де ϑ - поточна змінна, α - кут керування, що встановлюється вільно, ω_{0*} - відносне значення власної частоти контуру комутації, $x_{\gamma*}$ - відносне значення індуктивного опору контуру комутації, K_{1*} і K_{2*} - сталі інтегрування.

Якщо компенсаційна перетворювальна система має діодну реалізацію, сталі інтегрування розраховуються за наступними співвідношеннями:

$$K_{1*}' = -\left[0.5 + \frac{\cos \alpha}{x_{\gamma*}(\omega_{0*}^2 - 1)}\right], \quad K_{2*}' = -\frac{\sin \alpha}{\omega_{0*} x_{\gamma*}(\omega_{0*}^2 - 1)}. \quad (2)$$

У разі, коли перетворювальна система має тиристорну реалізацію, сталі інтегрування у співвідношенні (1) розраховуються так:

$$K_{1*}'' = -\left[0.5 + \frac{\cos \alpha_o}{x_{\gamma*}(\omega_{0*}^2 - 1)}\right], \quad (3)$$

$$K_{2*}'' = \frac{\omega_{0*}}{1 + \cos \omega_{0*}\gamma} \left[\frac{2\pi}{S_K} - \frac{\gamma_*}{2} + \frac{\sin(\gamma - \alpha_o) - \sin \alpha_o}{x_{\gamma*}(\omega_{0*}^2 - 1)} \right] - \left[\frac{1}{2} + \frac{\cos \alpha_o}{x_{\gamma*}(\omega_{0*}^2 - 1)} \right] \frac{\sin \omega_{0*}\gamma}{1 + \cos \omega_{0*}\gamma},$$

де α_o - кут керування тиристором, S_K - схемний коефіцієнт.

При аналізі комутаційних процесів у компенсаційних перетворювальних системах співвідношення (1), (2), (3), як правило, розглядаються в інтервалі $0 \leq \vartheta \leq \gamma$, якому і відповідають. Суттєвим недоліком такого підходу, як і застосування будь-яких апроксимацій, є те, що при цьому немає відповіді на запитання, яким чином формується крива струму комутації.

Авторами застосовується підхід, при якому крива струму комутації розглядається як початкова частина кривої, побудованої за співвідношенням (1), (2), (3), і здійснюється її гармонічний аналіз [3], [4]. Графічне зображення такої функції для нульового компенсаційного перетворювача наведено на рис 1. Причому, рис. 1а відповідає діодній реалізації перетворювача, режим роботи якого характеризується наступними даними: $x_{\gamma*} = 0.3$, $\omega_{0*} = 3$, $\alpha = 26.62^\circ$.

Рис. 1б відповідає тиристорній реалізації компенсаційної перетворювальної системи, режим роботи якої характеризується наступними даними: $x_{\gamma*} = 0.3$, $\omega_{0*} = 3$, $\alpha_o = 10^\circ$, $\gamma = 21.79^\circ$.

Відповідно, результати гармонічного аналізу наведених кривих подаються табл. 1 і табл. 2.

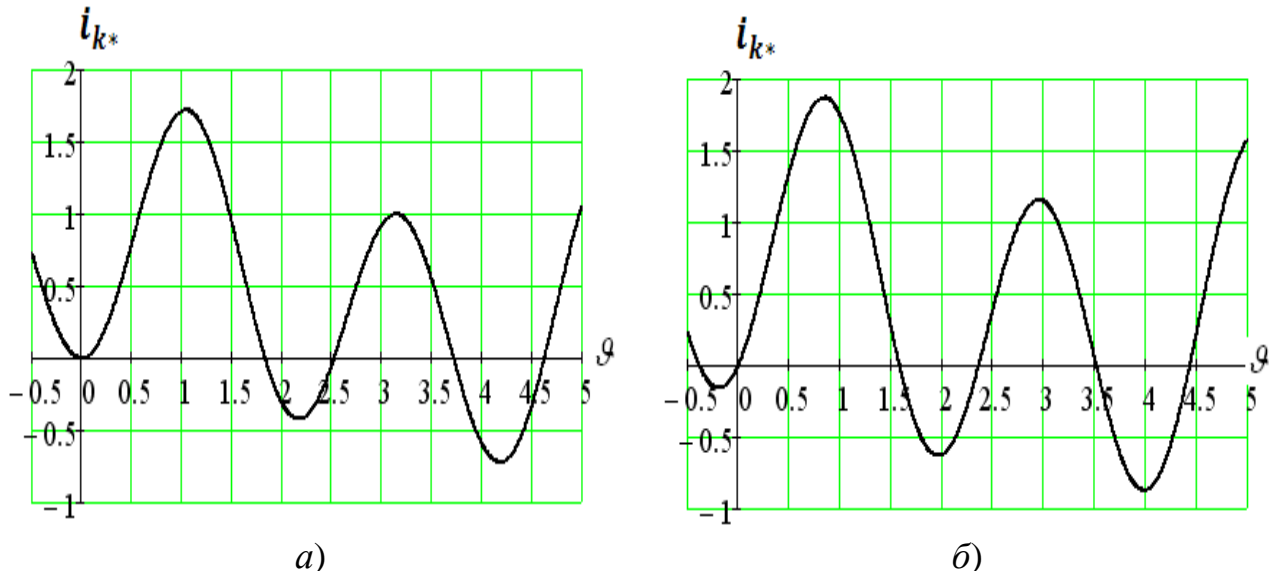


Рисунок 1 – Вигляд комутаційної функції в одному з режимів роботи нульової компенсаційної перетворювальної системи при $\omega_{0*} = 3.0$

Спираючись на форму кривих і їх гармонічний склад, можна стверджувати, що у разі, коли власна частота контуру комутації є цілим числом, то, незалежно від типу перетворювальної системи:

1. Відносне значення постійної складової дорівнює 0.5, що відповідає виразам (1), (2), (3).

2. Відносне значення амплітуди першої гармоніки збігається з $I_{m(1)} = 1 / x_{\gamma^*} (\omega_{0^*}^2 - 1)$, що також відповідає (1), (2), (3).

3. Початкова фаза першої гармоніки залежить від випереджаючого кута керування, який довільно встановлюється у діодній КПС, чи кута керування, що задається системою керування тиристорної КПС.

Таблиця 1 – Гармонічний склад кривої рис. 1 а

К	A_{K^*}	Ψ_K
0	0.500	-
1	0.41(6)	63.38^0
2	-	-
3	-0.8747	85.92^0
4	-	-
5	-	-
6	-	-

Таблиця 2 – Гармонічний склад кривої рис. 1 б

К	A_{K^*}	Ψ_K
0	0.500	-
1	0.41(6)	80.00^0
2	-	-
3	1.0477	-60.33^0
4	-	-
5	-	-
6	-	-

На рис. 2 зображені криві, побудовані для тієї ж нульової компенсаційної перетворювальної системи з відносним значенням власної частоти контуру комутації $\omega_{0^*} = 4.5$. Оскільки відносне значення власної частоти контуру комутації не є цілим числом, гармонічний склад кривих містить увесь спектр гармонік, що ілюструють табл. 3 і табл. 4.

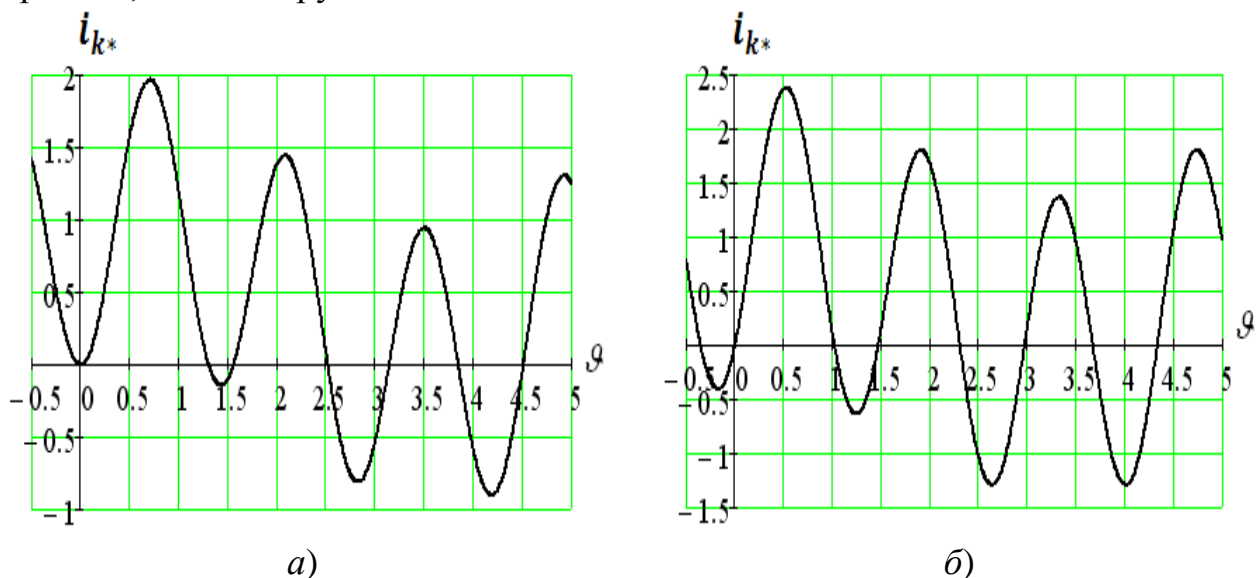


Рисунок 2 – Вигляд комутаційної функції в одному з режимів роботи нульової компенсаційної перетворювальної системи при $\omega_{0^*} = 4.5$

Такий спосіб аналізу пояснює фізичну сутність комутаційного процесу у компенсаційній перетворювальній системі, встановлюючи декілька важливих положень.

Таблиця 3 – Гармонічний склад кривої
рис. 2 а

К	A_{K*}	Ψ_K
0	0.4967	-
1	0.5294	58.23^0
2	0.0754	-6.35^0
3	0.1629	4.45^0
4	0.5745	-3.56^0
5	-0.6422	-3.07^0
6	-0.2323	-2.79^0
7	-0.1484	-2.62^0
8	-0.1115	-2.53

Таблиця 4 – Гармонічний склад кривої
рис. 2 б

К	A_{K*}	Ψ_K
0	0.5681	-
1	0.6664	79.30^0
2	0.1870	64.93^0
3	0.2985	54.88^0
4	0.8844	46.73^0
5	-0.8888	40.23^0
6	-0.2996	35.03^0
7	-0.1826	30.83^0
8	-0.1326	27.39^0

Висновки:

1. У кривих, що є функцією стуму комутації, у разі, коли власна частота контуру комутації є цілим числом, з вищих гармонік присутня лише одна, номер якої дорівнює власній частоті контуру комутації. Якщо власна частота контуру комутації не є цілим числом, гармонічний склад кривих містить увесь спектр гармонік, однак, найбільшу амплітуду мають гармоніки, близькі до значення ω_{0*} .

2. За однакових умов амплітуда вищої гармоніки у тиристорній компенсаційній перетворювальній системі більша, ніж у діодній, що пояснюється затримкою комутації.

3. У діодній компенсаційній перетворювальній системі крива $i_{k*}(\vartheta)$ при $\vartheta = 0$ проходить через нульове значення і починає зростати.

4. У тиристорній КПС, точка, де функція, що представляє струм комутації, змінює знак свого прирощення, зміщена вперед, і при $\vartheta = 0$ крива $i_{k*}(\vartheta)$ вже зростає.

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. Преобразовательные системы с одноступенчатой емкостной коммутацией: Автореф. дис. ... докт.наук: / ИЭД НАНУ. – К., 1993. – 38 с.
3. Бойко В.С., Потяженко И.А., Сотник Н.И., Шуляк А.А. Сложная коммутация в компенсационных преобразовательных системах // Техн. электродинамика. - 2001. - №2. - с. 30-35.
4. 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. 33-38.