

РОЗДІЛ 8. ТЕОРЕТИЧНА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

ВПЛИВ АКТИВНОГО ОПОРУ НА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ПРОЦЕС У ТРИФАЗНОМУ ВИПРЯМЛЯЧІ З СЕРЕДНЬОЮ ТОЧКОЮ

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

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки

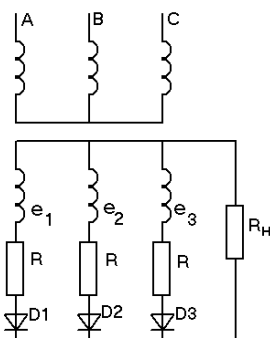
Ладиженський О.В., Погорєлова О.В., студенти

КПІ ім. Ігоря Сікорського», кафедра приладів і систем неруйнівного контролю

Вступ. На рис. 1 наведена схема трифазного випрямляча з середньою точкою. Результати дослідження електромагнітних процесів у перетворювачі електричної енергії, реалізованому за зазначеною схемою, опубліковані у технічній літературі [1,2] і стосуються різних режимів його роботи. Одним із припущень при аналізі електромагнітних процесів було нехтування активним опором і індуктивністю фаз перетворювача ($R = 0; L = 0$), що відповідало випадку ідеалізованого режиму роботи, при якому кожний діод схеми вступає в роботу один раз за період і проводить струм протягом його третини. Перехід струму з попереднього діода на наступний здійснюється миттєво в моменти часу, які відповідають точкам перетину синусоїд фазної напруги. Звідси випливає, що крива випрямленої напруги u_d є огинаючою синусоїд фазної напруги вторинних обмоток перетворювального трансформатора і має три пульсації за період. Іншим припущенням було нехтування лише активним опором фаз, що є прийнятним для перетворювачів великої потужності. Разом з тим дослідження електромагнітних процесів у такій схемі, які б враховували наявність суттєвих опорів у фазах перетворювача, є недостатніми.

Мета роботи. Довести вплив величини активного опору фаз перетворювача електричної енергії за трифазною схемою з нулевою точкою на протяжність спільної роботи вентилів сусідніх фаз залежно від величини струму навантаження.

Результати досліджень. При аналізі електромагнітних процесів у перетворювачі за схемою рис. 1 важалося, що джерело живлення створює симетричну систему трифазних напруг прямого чергування фаз (1):



$$\left. \begin{aligned} e_1 &= E_m \sin(\vartheta + \pi / 6); \\ e_2 &= E_m \sin(\vartheta - \pi / 2); \\ e_3 &= E_m \sin(\vartheta + 5\pi / 6). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Рисунок 1 – Схема трифазного випрямляча з середньою точкою

Активний опір фаз R враховується, а індуктивністю нехтується ($R \neq 0$, $L = 0$).

Розрахуємо схему рис. 1 за методом вузлової напруги, враховуючи, що, навіть при відсутності у ній індуктивностей, діоди сусідніх фаз деякий час працюють спільно. За зазначених умов момент вступу діода в роботу невідомий.

Виходячи з методу вузлової напруги, співвідношення, за яким змінюється випрямлена напруга перетворювача у випадку спільної роботи діодів D1 та D3, запишеться так [3]:

$$\dot{U}_{d(1)} = \frac{\dot{E}_1 / R + \dot{E}_3 / R}{1 / R + 1 / R_H + 1 / R} = \frac{-\dot{E}_2}{2 + R / R_H} . \quad (2)$$

При цьому отримаємо вирази струмів діодів D1 та D3 у комплексній формі:

$$\overset{\square}{I}_{(1)} = \frac{\overset{\square}{E}_1 - \overset{\square}{U}_d}{R} = \frac{\overset{\square}{E}_1}{R} + \frac{\overset{\square}{E}_2}{R(2 + R / R_H)} ; \quad (3)$$

$$\overset{\square}{I}_{(3)} = \frac{\overset{\square}{E}_3 - \overset{\square}{U}_d}{R} = \frac{\overset{\square}{E}_3}{R} + \frac{\overset{\square}{E}_2}{R(2 + R / R_H)} . \quad (4)$$

Як зазначалося вище, момент вступу в роботу діода D1 невідомий, однак його можна розрахувати з умови, що в момент вступу його в роботу $i_{(1)} = 0$. Перетворимо вираз (3) і розглянемо його з урахуванням вищевикладеного:

$$\overset{\square}{I}_{(1)} = \frac{\overset{\square}{E}_1 (2 + R / R_H) + \overset{\square}{E}_2}{R(2 + R / R_H)} . \quad (5)$$

Струм дорівнюватиме нулю, якщо вираз його чисельника дорівнюватиме нулю, тож для миттєвих значень отримаємо:

$$E_m \sin(\vartheta + 30^\circ) \cdot [2 + R / R_H] = -E_m \sin(\vartheta - 90^\circ) ,$$

або $(2 + R / R_H) \sin(\vartheta + 30^\circ) = \sin(\vartheta + 90^\circ) .$

Останнє є рівнянням, з якого розраховується момент початку комутації діода D1 і період спільної роботи сусідніх діодів:

$$\frac{\sin(\vartheta + 90^\circ)}{\sin(\vartheta + 30^\circ)} = 2 + R / R_H . \quad (6)$$

З виразу (6) випливає:

а) за умови $R = 0$ рівність забезпечується при $\vartheta = 0$, тобто комутація є миттєвою і збігається з моментом перетину фазних синусоїд e_1 та e_3 ;

б) за умови $R \neq 0$ зсув початку вступу діода в роботу ψ_n , а також і період спільної роботи сусідніх діодів залежить від співвідношення R/R_H .

Наприклад, якщо $R/R_H = 0,2$, то розрахунок за формулою (6) дає значення $\psi_n = -3^\circ$, тобто діод вступає в роботу на $\vartheta = 3^\circ$ раніше моменту миттєвої комутації. При $R/R_H = 1,0$ ($\psi_n = -10,8^\circ$) випереджаючий зсув моменту вступу в роботу діода D1 відносно моменту миттєвої комутації збільшується до $\vartheta = 10,8^\circ$. Залежність кута $\psi_n = f(R/R_H)$ наведена на рис. 2.

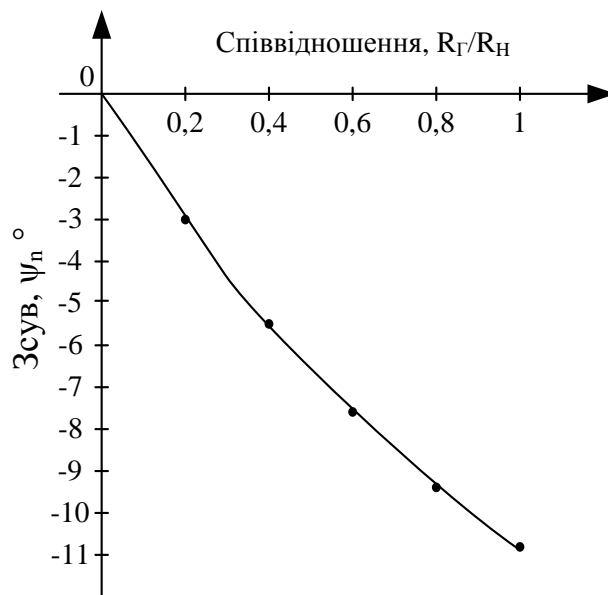


Рисунок 2 – Графік залежності кута ψ_n від співвідношення R/R_H

Період спільної роботи сусідніх діодів вдвічі більший за розрахований вище зсув початку їх вступу в роботу. Це підтверджується і виразом (4), який відповідає зміні струму діода D3, величина якого у момент припинення спільної роботи діодів дорівнює нулю. Розглядаючи (4) у зазначеному контексті, отримаємо:

$$E_3(2 + R / R_H) + E_2 = 0 ,$$

чи для миттєвих значень

$$(2 + R / R_H) \sin(\vartheta + 150^\circ) = \sin(\vartheta + 90^\circ).$$

Останнє є рівнянням, з якого розраховується момент припинення струму діода D3:

$$\frac{\sin(\vartheta + 90^\circ)}{\sin(\vartheta + 150^\circ)} = 2 + R / R_H \quad (7)$$

Якщо $R/R_H = 0,2$, то розрахунок за формулою (7) дає $\psi_k = 3^\circ$, тобто $|\psi_n| = |\psi_k|$.

Враховуючи викладене, співвідношення (2), (3) і (4) справедливі для діапазону спільної роботи двох сусідніх діодів, коли $\psi_n \leq \vartheta \leq \psi_k$.

Висновок. Проведені дослідження показують, що причиною спільної роботи діодів сусідніх фаз перетворювача електричної енергії може бути не лише наявність індуктивності у контурі комутації, що відповідає першому закону комутації для електричних кіл, а й наявність у цьому контурі активних опорів. За рахунок наявності останніх вступ наступного діода в роботу відбувається раніше за момент миттєвої комутації, а момент виходу попереднього вентиля з роботи - пізніше моменту миттєвої комутації. Обидва проміжки (інтервали зміщення вперед і затримки) мають однакові абсолютні значення і залежать від величини активного опору контуру комутації та струму навантаження.

Перелік посилань

1. Размадзе Ш.М. Преобразовательные схемы и системы / Ш.М. Размадзе, - М.: Изд-во "Высшая школа", 1987. - 527 с.
2. Руденко В.С. Основы преобразовательной техники/ В.С. Руденко, В.И. Сенько, И.М. Чиженко - М.: Изд-во "Высшая школа", 1980. - 423 с.
3. Сотник М.І. Енергетичні процеси в електромеханічних системах мереж водопостачання: Автореф. дис. ..докт. наук: ІЕД НАНУ. - К., 2015.- 36 с.