

10. Трифазно-однофазний БПЧПМ при управлінні по частоті биття напруг та по частоті заповнення

На рис. 1,а показана електрична схема моделі трифазно-однофазного безпосереднього перетворювача частоти з природною комутацією та модульованою напругою (БПЧПМ) в програмі Micro-Cap. В схемі два трифазні джерела живлення (V_{a1}, V_{b1}, V_{c1} та V_{a2}, V_{b2}, V_{c2}):

$$\begin{aligned}e_{a1} &= A_1 \sin(\omega_1 t) & e_{a2} &= A_2 \sin(\omega_2 t) \\e_{b1} &= A_1 \sin(\omega_1 t - 120) & e_{b2} &= A_2 \sin(\omega_2 t - 120) \\e_{c1} &= A_1 \sin(\omega_1 t + 120) & e_{c2} &= A_2 \sin(\omega_2 t + 120),\end{aligned}$$

де $A_1 = A_2 = 55$ В, $f_1 = 134$ Гц, $f_2 = 142$ Гц, $\omega_1 = 2\pi \cdot f_1$, $\omega_2 = 2\pi \cdot f_2$. Однойменні фази двох трифазних джерел живлення (джерел) сполучені послідовно та підключені до входу тиристорного перетворювача (ТП). Результуючі фазні ЕРС джерела живлення:

$$\begin{aligned}e_{aa} &= e_{a1} + e_{a2} = A \sin(\omega_3 t) \cdot \cos(\omega_6 t) \\e_{bb} &= e_{b1} + e_{b2} = A \sin(\omega_3 t - 120) \cdot \cos(\omega_6 t) \\e_{cc} &= e_{c1} + e_{c2} = A \sin(\omega_3 t + 120) \cdot \cos(\omega_6 t),\end{aligned}$$

де $A = A_1 + A_2 = 55 + 55 = 110$ В, частота заповнення $f_3 = (f_1 + f_2)/2 = (134 + 142)/2 = 138$ Гц, частота биття (частота навантаження) $f_6 = f_n = (f_2 - f_1)/2 = (142 - 134)/2 = 4$ Гц, $\omega_6 = 2\pi \cdot f_6$, $\omega_3 = 2\pi \cdot f_3$. Повний опір джерела живлення $z_i = 3$ Ом, відносна величина активного опору джерела $k_r = r_i/x_i = 0.5$ Ом. Застосовані тиристори типу B25RIA120. Опір навантаження $z_n = 14$ Ом.

На рис. 2 показані почасові діаграми струмів і напруг БПЧПМ при управлінні тиристорами по частотах f_6 та f_3 . Позначення: $e_{aa}, e_{bb}, e_{cc}, i_a, i_b, i_c$ – результуючі фазні ЕРС та струми джерела; u_d, i_d – напруга та струм навантаження; su – сигнали управління тиристорами.

На рис. 2,а та рис. 2,б показані діаграми напруг та струмів БПЧПМ при управлінні тиристорами по частоті биття напруг $f_u = f_6 = 4$ Гц. Сигнали управління подаються одночасно на всі тиристори прямого ($T_1 \div T_6$) або зворотного блоку ($T_7 \div T_{12}$). На рис. 2,а показані діаграми при $\cos \varphi_n = 1$, тривалість сигналів управління (su) $T_{su} = 180^\circ$. $T_{su} = 180/(360 \cdot f_u) = 1/(2 \cdot 4) = 1/8$ с. БПЧПМ має високу якість вихідної напруги та струму.

На рис. 2,б – діаграми напруг і струмів БПЧПМ при $\cos \varphi_n = 0.707$ і укорочених сигналах управління: $T_{su} = 135^\circ$, $T_{su} = 135/(360 \cdot 4) = 3/32$ с. Кут управління $\alpha_u = 45^\circ$ ($\alpha_u = 1/32$ с). У вузлі биття напруг настає режим короткого замикання (КЗ) джерела та навантаження. Далі слідує режим однофазного перекидання інвертора та режим КЗ по «по третій фазі». При переході струму навантаження через нуль наявні зовнішні комутаційні перенапруги.

На рис. 1,б показана еквівалентна схема БПЧПМ при протіканні струмів через тиристори прямого блоку T_1 і T_5 (фази «А» та «В»). При подачі su на зворотний блок ТП тиристори T_7, T_8, T_{10} і T_{11} не можуть включитися в роботу із-за продовження роботи тиристорів T_1 і T_5 . Періодично підключаються в роботу тільки тиристори T_9 і T_{12} , викликаючи трифазне КЗ джерела «по третій фазі» (фаза С). При цьому напруга навантаження рівна нулю. Трифазне КЗ джерела існує одночасно з режимом перекидання інвертора.

На рис. 2,в та рис. 2,г приведені діаграми напруг та струмів БПЧПМ при сумісному управлінні зустрічно включеними тиристорами по частоті заповнення, $f_u = f_3 = 138$ Гц, $\cos \varphi_n = 1$. Тривалість сигналів управління: $T_{su} = 120^\circ$; $T_{su} = 120/(360 \cdot f_u) = 1/(3 \cdot 138) = 1/414$ с. При куті управління тиристорами $\alpha_u = 0^\circ$ спостерігається висока якість форми вихідної напруги та струму навантаження (рис. 2,в). При випереджаючому куті управління $\alpha_u = -20^\circ$ наявні ділянки КЗ джерела, на яких напруга та струм навантаження рівні нулю (рис. 2,г). Короткі замикання джерела живлення відсутні при умові: $\alpha_u < \pi/3 - \gamma$, де γ – кут комутації.

Висновки.

1. При управлінні по частоті биття напруг БПЧПМ забезпечує хорошу форму напруги та струму навантаження тільки при $\cos \varphi_n = 1$.

2. При сумісному управлінні по частоті заповнення БПЧПМ забезпечує хорошу форму напруги та струму навантаження при обмеженій величині випереджаючого кута управління.

3. Трифазно-однофазні БПЧПМ з управлінням по частоті заповнення або по частоті биття напруг не можуть застосовуватись в збудниках БАСМ.