

УДК 621.327

А. Лупенко, д-р. техн. наук, Т. Чомко

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## М'ЯКА КОМУТАЦІЯ ТРАНЗИСТРІВ В ДВОСЕКЦІЙНОМУ РЕЗОНАНСНОМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ НАПРУГИ З ФАЗОВИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ПОТУЖНОСТІ

A. Lupenko, Dr., Prof., T. Chomko

### SOFT COMMUTATION OF TRANSISTORS IN RESONANT VOLTAGE CONVERTER WITH PHASE POWER CONTROL

Двосекційний резонансний перетворювач постійної напруги з фазовим регулюванням потужності має високий ККД (0,95-0,99), завдячуючи малим комутаційним втратам в силових ключах («м'якій» комутації) та малим кондуктивним втратам сучасних електронних ключів. Схема такого перетворювача подана на рис.1. Кожна його секція складається з напівмостового інвертора на транзисторах  $VT1, VT2$  ( $VT3, VT4$ ), виходи яких через роздільні конденсатори  $C_s$  та дроселі  $L$  під'єднано до паралельного ввімкнених резонансного конденсатора  $C$  та первинної обвитки трансформатора  $T$ . Напруги в точках  $A_1$  і  $A_2$  є періодичними прямокутними імпульсами (рис. 2), зсувеними між собою на кут  $\varphi = 0 \div \pi$  рад. Амплітуда цих імпульсів дорівнює напрузі живлення  $E$ , а коефіцієнт заповнення близький до 0,5. Напряга резонансного конденсатора  $C$  через трансформатор  $T$  передається на випрямляч, вихідна напруга якого через фільтр  $L_\phi C_\phi$  подається на навантаження  $R_o$ .

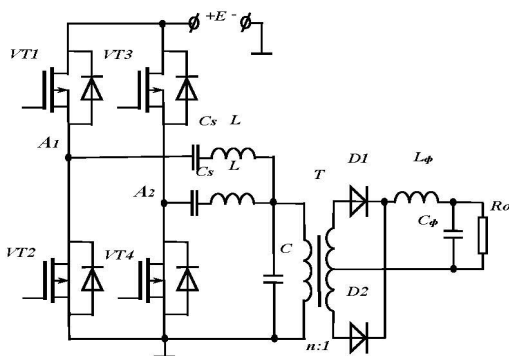


Рис.1

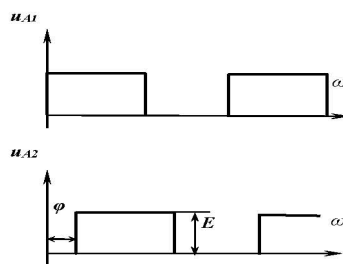


Рис.2.

М'яка комутація транзисторів в усьому діапазоні його робочих потужностей є важливою вимогою щодо забезпечення малих комутаційних втрат інвертора та високої електромагнітної сумісності. Для цього робоча частота інвертора повинна бути вищою від його резонансної частоти. Крім того, важливу роль відіграє часова затримка  $T_d$  між відкритими станами транзисторних ключів. Вона, з одного боку, усуває протікання наскрізних струмів через ключі, а з іншого боку, забезпечує комутацію транзисторів при нульовій напрузі на них. Для гарантування нульової напруги на транзисторах на інтервалі їх комутації необхідно забезпечити відкритий стан антипаралельних діодів  $V_{D1}$  (або  $V_{D2}$ ). Відкривання діодів починається після повного розряду паразитних (або демпфуючих) ємностей стік-витік транзисторів. Тому мінімальна часова затримка  $T_{d \min}$  визначається, виходячи із цієї умови. Максимальна ж часова затримка  $T_{d \max}$  визначається як інтервал часу між моментом початку чергової комутації та моментом переходу струму в індуктивності через нуль. Перевищення цього інтервалу затримкою  $T_{d \max}$  призводить до врати режиму м'якої комутації та суттєвому зростанню комутаційних втрат.

Для аналізу введено позначення:  $\omega$ ,  $\omega_0 = \sqrt{\frac{2}{LC}}$ ,  $Z_0 = \frac{2}{\omega_0 C}$ ,  $Q = \frac{2R_i}{Z_0}$ ,  $\Omega$  – відповідно

робоча та резонансна частота, характеристичний опір, добротність, відносна робоча частота ( $\omega/\omega_0$ ).

За результатами аналізу отримано вирази для зсувів фаз  $\varphi_0$  та  $\varphi_\varphi$  між напругами і струмами, відповідно, нерегульованої та регульовальної секцій:

$$\varphi_0 = \operatorname{arctg} \frac{(1 - \Omega^2)(1 - \cos \varphi - 2\Omega^2) + \frac{\Omega}{Q} \left( \sin \varphi + 2 \frac{\Omega}{Q} \right)}{(1 - \Omega^2) \left( \sin \varphi + 2 \frac{\Omega}{Q} \right) - \frac{\Omega}{Q} (1 - \cos \varphi - 2\Omega^2)},$$

$$\varphi_\varphi = \operatorname{arctg} \frac{(1 - \Omega^2)(1 - \cos \varphi - 2\Omega^2) + \frac{\Omega}{Q} \left( 2 \frac{\Omega}{Q} - \sin \varphi \right)}{-\frac{\Omega}{Q} (1 - \cos \varphi - 2\Omega^2) + (1 - \Omega^2) 2 \frac{\Omega}{Q} - \sin \varphi}.$$

Ці зсуви фаз повинні забезпечувати максимальну часову затримку  $T_{d \max}$ . Графіки залежностей  $\varphi_0$  та  $\varphi_\varphi$  від зсуву фаз  $\varphi$  між секціями інвертора (а отже від потужності) для робочої частоти  $\Omega=1,07$  та значень добротності  $Q=1, Q=3, Q=5$  наведено на рис.3. Такі ж графіки, але для  $\Omega=1,06$  наведено на рис.4.

Шляхом аналізу залежностей для різних значень робочої частоти  $\Omega$  встановлено, що фазовий зсув у регульовальній секції суттєво залежить від співвідношення між робочою і резонансною частотами і при  $\Omega < 1,65$  стає від'ємним (при  $Q=5$ ), а це

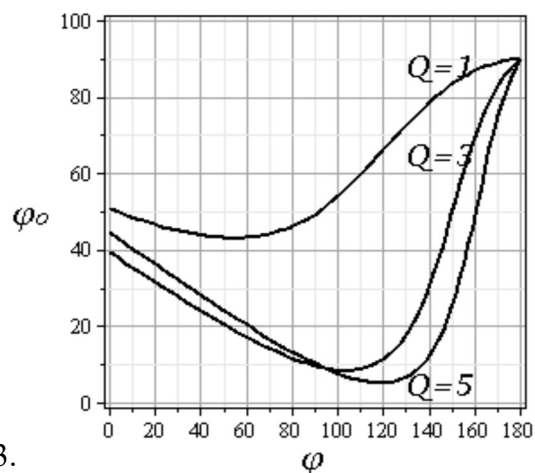
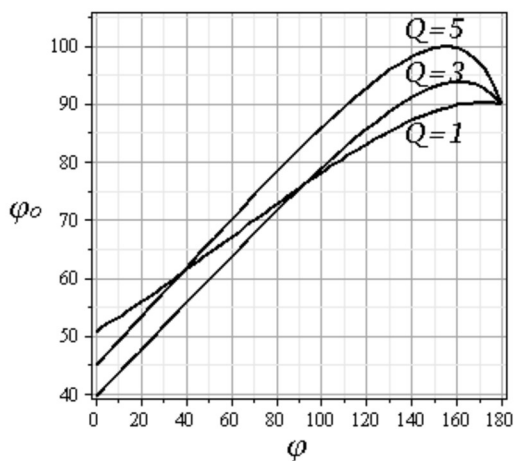


Рис. 3.

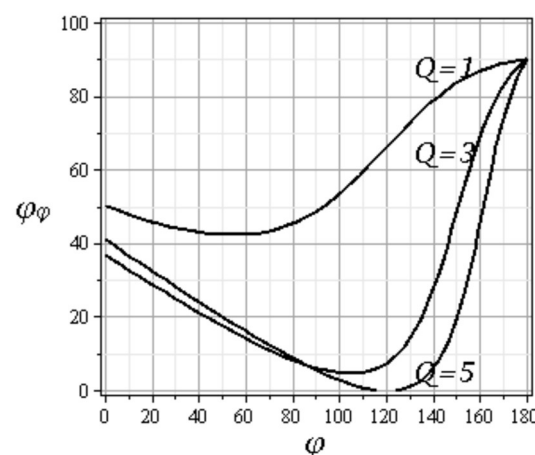
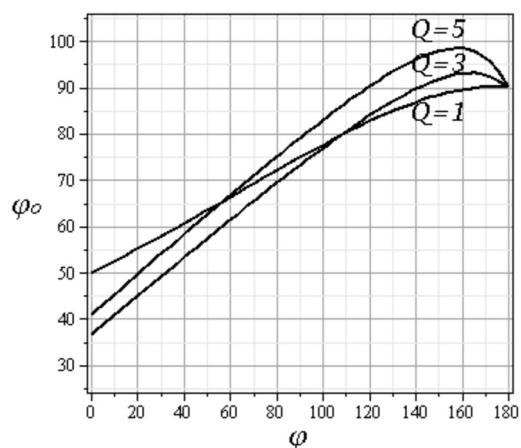


Рис. 4.

призводить до втрати комутації при нульовій напрузі. Тому при проектуванні таких перетворювачів необхідно вибирати їх робочу частоту на основі аналізу фазового зсуву в регульовальній секції у всьому діапазоні потужностей.