

УДК 621.314

А. Лупенко, докт. техн. наук, Д. Чаплій

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

## ЗНИЖУВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ НАПРУГИ ІЗ МАГНІТНО-ЗВ'ЯЗАНИМИ ІНДУКТИВНОСТЯМИ

А. Lupenko, D.E.Sc., D. Chapliy

### BUCK CONVERTER WITH MAGNETIC-COUPLED INDUCTORS

Застосування знижувального перетворювача напруги (ЗПН) як коректора коефіцієнта потужності (ККП) при живленні низьковольтних навантажень має переваги над підвищувальним перетворювачем напруги, а саме, менші комутаційні втрати, використання транзисторів із малими робочими напругами, які мають менший опір у замкненому стані, відсутність додаткового вузла зниження напруги, що підвищує загальний ККД. Відомо, що коефіцієнт гармонік ККП із ЗПН є тим меншим, а КП є тим ближчий до одиниці, чим нижчою є його вихідна напруга в порівнянні з амплітудою вхідної напруги. Форма струму мережі є тим ближчою до синусоїдної, чим ближчим до  $\pi$  є кут провідності  $\theta$  ЗПН, який залежить від відношення вихідної напруги ЗПН  $V_0$  до амплітуди напруги мережі  $V_m$ :

$$\theta = 2 \arccos \frac{V_0}{V_m}. \quad (1)$$

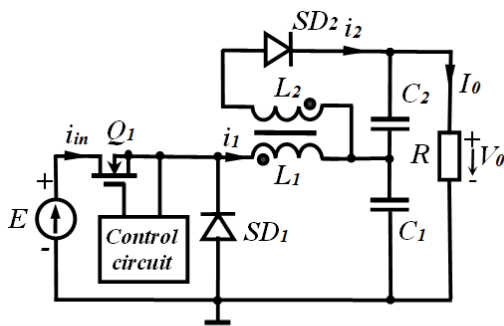


Рисунок 1. Схема МЗПН

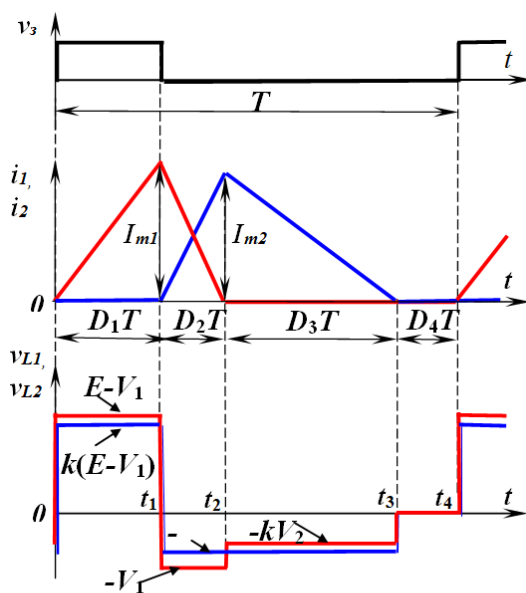


Рисунок 2. Часові діаграми

Аналіз гармонічного складу струму мережі в ККП із ЗПН, показує, що мінімальне значення кута  $\theta$ , при якому ще дотримуються вимоги стандартів, становить близько  $130^\circ$ , коефіцієнт гармонік (Кг) – біля 29%, а коефіцієнт потужності (КП) дорівнює 0.96, а максимальна вихідна напруга ККП становить біля 42% від амплітуди напруги мережі.

Для зменшенні рівня гармонік гармонік та підвищення КП пропонується ЗПН із магнітно-зв'язаними індуктивностями (МЗПН), у якому з напругою мережі взаємодіє не вся вихідна напруга  $V_0$ , як у ЗПН, а лише її частина. Тому кут провідності  $\theta$  у МЗПН відповідно до (1) є більшим, ніж в ЗПН з тією ж напругою  $V_0$ . Відмінність МЗПН від ЗПН полягає в тому, що в ньому замість одного накопичувального дроселя використано дві однакові магнітно-зв'язані індуктивності, кожна з яких передає енергію в окремий конденсатор, які з'єднані послідовно, причому одна з індуктивностей підключена до конденсатора через додатковий діод. Схема МЗПН зображена на рис.1. Із мережею через транзистор VT та індуктивність  $L_1$  взаємодіє не вся напруга навантаження  $V_0$ , а лише її частина, якою є напруга  $V_1$  конденсатора  $C_1$ .

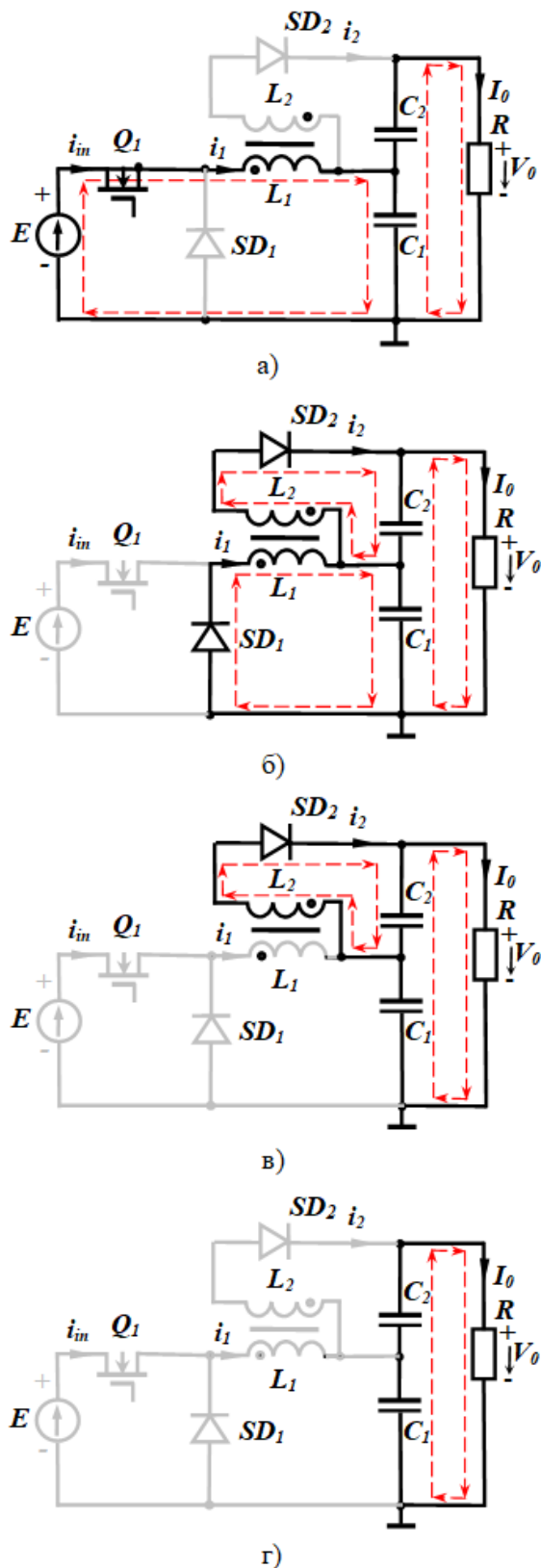


Рисунок 3. Топологічні стани МЗПН на часових інтервалах впродовж одного періоду комутації

МЗПН працює у режимі *переривчастих струмів*. На рис. 2 зображено часові діаграми керуючого сигналу  $v_3$  на затворі транзистора  $VT$ , струмів  $i_1$ ,  $i_2$  індуктивностей  $L_1$ ,  $L_2$  та їх напруг  $v_{L1}$ ,  $v_{L2}$ . Кожен період комутації  $T$  складається з чотирьох часових інтервалів тривалістю відповідно  $D_1T$ ,  $D_2T$ ,  $D_3T$ ,  $D_4T$ , де  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ,  $D_4$  - коефіцієнти, які визначають тривалості відповідних інтервалів, причому  $D_1$ - це коефіцієнт заповнення, який є керуючим сигналом МЗПН.

На першому інтервалі  $(0-t_1)$  (рисунок 3,а) ключ  $VT$  перебуває у замкненому стані, а діоди  $VD_1$ ,  $VD_2$  - у розімкненому стані. До індуктивності  $L_1$  прикладена різниця вхідної напруги  $E$  і напруги  $V_1$ . Тому струм  $i_1$  індуктивності  $L_1$  зростає майже лінійно від нуля, підзаряджаючи конденсатор  $C_1$  та підтримуючи струм навантаження  $I_0$ . Струм  $i_2$  індуктивності  $L_2$  дорівнює нулю.

На другому інтервалі  $(t_1-t_2)$  (рисунок 3,б) ключ  $VT$  перебуває у розімкненому стані, а діоди  $VD_1$  та  $VD_2$  у замкнених станах. Індуктивність  $L_1$  передає енергію, накопичену на першому інтервалі, в конденсатор  $C_1$  та через індуктивність  $L_2$  - в конденсатор  $C_2$  та навантаження  $R$ . Струм  $i_1$  зменшується від максимального значення  $I_{m1}$  до нуля, протікаючи через діод  $VD_1$  та конденсатор  $C_1$ . Струм  $i_2$  зростає від нуля до свого максимуму  $I_{m2}$ , протікаючи через діод  $VD_2$  та конденсатор  $C_2$ . Обидва струми підзаряджають відповідно конденсатори  $C_1$  і  $C_2$  та підтримують струм навантаження  $I_0$ . Напруги на індуктивностях  $L_1$  та  $L_2$  відповідно дорівнюють  $v_{L1}=-V_1$  та  $v_{L2}=-V_2$ . Другий інтервал завершується в момент часу, коли струм  $i_1$  досягає нуля.

На третьому інтервалі  $(t_2-t_3)$  (рисунок 3,в) ключ  $VT$  та діод  $VD_1$  перебувають у розімкнених станах, а діод  $VD_2$  - у замкненому стані. Індуктивність  $L_2$  передає енергію, накопичену на другому інтервалі, в конденсатор  $C_2$  та навантаження. Напруги на індуктивностях  $L_1$  та  $L_2$  відповідно дорівнюють  $v_{L1}=-kV_2$  та

$v_{L2} = -V_2$ . Струм  $i_2$ , досягає нуля в кінці третього інтервалу.

На четвертому інтервалі ( $t_3$ -  $t_4$ ) (рисунок 3,г) ключ VT та обидва діоди перебувають у розімкнених станах. Струми та напруги обох індуктивностей дорівнюють нулю. Конденсатори  $C_1$  і  $C_2$  підтримують струм навантаження  $I_0$ .

Результати порівняльного моделювання МЗПН та ЗПН при напрузі мережі 220 В показують: 1) Максимальна вихідна напруга МЗПН, при якій ще задовільняються вимоги стандартів становить 238 В,  $K_\Gamma=27\%$ ,  $KП=0.97$ , що суттєво краще, ніж для ЗПН, для якого  $K_\Gamma=71\%$ ,  $KП=0.81$ ; 2) при  $V_0=130$  В  $K_\Gamma=15\%$ , а  $KП=0.99$  для МЗПН на відміну від  $K_\Gamma=29\%$ ,  $KП=0.96$  для ЗПН. Також пікове значення струму мережі МЗПН є меншим, ніж у ЗПН. Аналіз показує, що максимальна вихідна напруга МЗПН теоретично може досягати 84% від амплітуди напруги мережі, що є удвічі більше, ніж у ЗПН.

Отже, ККП на базі МЗПН має суттєво вищу вихідну напругу при дотриманні вимог чинних стандартів, у порівнянні з ККП із базовим ЗПН, або ж забезпечує менший коефіцієнт гармонік при однакових вихідних напругах ККП.