

УДК 621.376

КОВЗНИЙ РЕЖИМ В DC/DC КОНВЕРТОРАХ

І. Романів, Л. Синицький, М.Жовтанецький.

Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. генерала Тарнавського, 107, Львів 79017, Україна
пр. Свободи, 18, Львів 79008, Україна
romaniv_neo@ukr.net

Побудовано математичну модель перетворювача постійної напруги в постійну типу DC/DC конвертора. Зроблено дослідження цієї моделі в ковзному режимі. Оцінено вплив параметрів схеми на ковзний рух.

Ключові слова: DC/DC конвертор, математична модель, ковзний режим.

Вивченню ковзних режимів у DC/DC конверторах присвячена значна кількість досліджень. Проте ідеалізація їх схем при вивченні умов виникнення подібних режимів не дозволяє встановити реальні властивості процесів. Так для DC/DC конвертора (рис.1), якщо нехтувати опором індуктивності і вважати характеристику діода ідеальною, ковзний режим існує для всіх можливих значень напруги U під час перехідного процесу. Це впливає з відомих співвідношень, котрі наведені в [1]. Крім того аналіз ковзного режиму, при застосовуванні на практиці параметрів, майже не залежить від опору навантаження. Нижче аналіз DC/DC конвертора виконується при врахуванні реальної характеристики діода, а також з врахуванням інерційності системи керування. Далі аналіз роботи виконується таким чином, що зроблені вище зауваження відносно недоліків спрощеної схеми, впливають при нехтуванні вказаними ефектами.

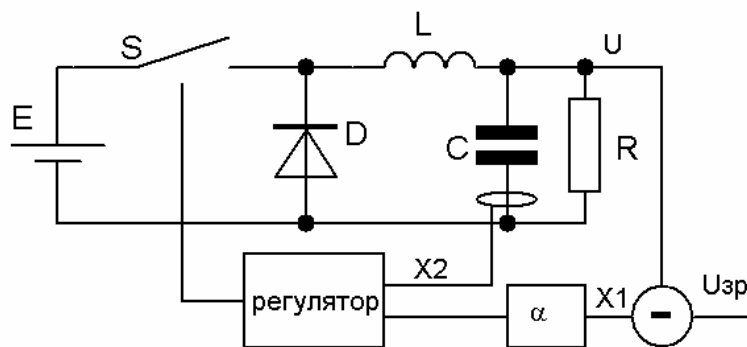


Рис. 1. Схема DC/DC конвертора

Модель DC/DC конвертора в цьому випадку описується наступною системою рівнянь:

$$\begin{aligned} C \frac{dU}{dt} + \frac{U}{R} &= i, \\ L \frac{di}{dt} + U + (1-k)f(i) &= kE, \end{aligned} \quad (1)$$

де E - напруга на вході схеми; U, i - напруга на конденсаторі і струм через індуктивність відповідно; $f(i)$ - рівняння вольтамперної характеристики діода, яка враховується при $k=1$, де $k=1$ при замкненому ключі S1, а при розімкненому ключі S1 - $k=0$.

В загальному вигляді математичну модель блоку керування можна записати як

$$\tau \frac{dS}{dt} + S = \alpha \cdot x_1 + x_2, \quad (2)$$

де S - сигнал на виході регулятора; τ - постійна часу блоку керування; α - емпірично вибраний параметр, а $x_1 = U_{sp} - U$, $x_2 = \frac{dx_1}{dt} = -\frac{dU}{dt}$ і

$$k = \begin{cases} 1, npuS > 0 \\ 0, npuS < 0 \end{cases}$$

Зрозуміло, що у випадку, якщо $f(i)=0$, $i > 0$ та $i=0$ при $f(i) < 0$ та $\tau=0$ маємо рівняння системи, які співпадають з виконаними раніше розрахунками [2] і підтверджують вказані вище недоліки.

Для визначення умов існування ковзного режиму знову звертаємося до значення похідної $\frac{dS}{dt}$ в області $S > 0$ та $S < 0$. Ці похідні в точках $S=+0$ та $S=-0$ визначають можливість існування ковзного режиму та границі, де він відбувається.

Зрозуміло, що ковзний режим у чистому вигляді не реалізується. Завжди відбувається деяке відхилення від лінії $\alpha \cdot x_1 + x_2 = 0$ за рахунок декількох малих параметрів, що не враховуються. Наприклад, немає підстав вважати блок керування безінерційним. Більш суттєвим є врахування того факту, що напруга живлення при замиканні ключа миттєво встановлюється на діоді і його закривання теж відбувається миттєво. Це обумовлено малою індуктивністю в колі джерела і власною ємністю діода. З врахуванням цих факторів рівняння системи (1) можна доповнити співвідношенням

$$\tau \cdot \frac{dV}{dt} + V = k \cdot E. \quad (3)$$

Сама ж схема конвертора матиме наступний вигляд (рис. 2)

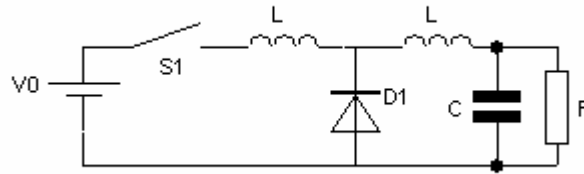


Рис. 2. Схема DC/DC конвертора з врахуванням співвідношення (3).

Значення параметрів схеми конвертора є такими, що границі існування ковзного режиму майже не залежать від опору навантаження. Це підтверджується розрахунками в [2], і тому є незрозумілим введення адаптивного режиму для забезпечення ковзного руху.

Дійсно з виразів для значень \dot{S}_1 та \dot{S}_2 в (2) отримаємо вирази

$$\begin{aligned}\dot{S}_1 &= \left(\alpha - \frac{1}{RC}\right)x_2 - \frac{1}{LC}x_1 + \frac{U_{zp}}{LC} - \frac{E}{RC}, \\ \dot{S}_2 &= \left(\alpha - \frac{1}{RC}\right)x_2 - \frac{1}{LC}x_1 + \frac{U_{zp}}{LC}.\end{aligned}\quad (4)$$

Зразу стає очевидним, що при $\alpha = \frac{1}{RC}$ вплив опору навантаження на умови існування ковзного режиму є відсутнім. Навіть якщо ця умова дуже сильно порушується, виконані в [2] числові експерименти свідчать про дуже слабку залежність точності керування від опору навантаження. Це можна підтвердити елементарними розрахунками. На границі ковзного режиму $\alpha \cdot x_1 + x_2 = 0$. Виключення змінної в (4) приводить до наступних співвідношень

$$\begin{aligned}\dot{S}_2 &= \frac{U_{zp}}{LC} - \left[\alpha \cdot \left(\alpha - \frac{1}{RC}\right) + \frac{1}{LC}\right]x_1, \\ \dot{S}_1 &= \dot{S}_2 - \frac{E}{LC}.\end{aligned}\quad (5)$$

Для ковзного режиму повинні виконуватись нерівності

$$\dot{S}_2 > 0, \quad \dot{S}_1 < 0.$$

Оцінемо доданок $\alpha \cdot \left(\alpha - \frac{1}{RC}\right)$ у випадку коли $\alpha \neq \frac{1}{RC}$. В [2] порядок величин є таким, що $\alpha \cdot \left(\alpha - \frac{1}{RC}\right) \ll \frac{1}{LC}$. Тому вплив опору навантаження є незначним і адаптація не є необхідною.

Ситуація може суттєво змінитися при врахуванні інших параметрів. Врахуємо спочатку опір котушки та опір діода в режимі, коли $k = 0$. При

$k = 1$ джерело живлення тримає діод закритим. При кусково-лінійній апроксимації характеристики діода, значення \dot{S}_2 приймає вигляд

$$\dot{S}_2 = \left(\alpha - \frac{1}{RC} - \frac{r_g}{L} \right) x_2 - \frac{1}{LC} \left(1 + \frac{r_g}{R} \right) x_1 + \frac{U_{zp}}{LC}. \quad (6)$$

На прямій $x_2 = \alpha \cdot x_1$ маємо

$$\dot{S}_2 = \left[\alpha \left(\frac{1}{RC} + \frac{r_g}{L} - \alpha \right) - \frac{1}{LC} \left(1 + \frac{r_g}{R} \right) \right] x_1 + \frac{U_{zp}}{LC}. \quad (7)$$

Умова існування ковзного режиму – це виконання нерівностей $\dot{S}_2 > 0$, $\dot{S}_1 < 0$ на лінії $x_2 = \alpha \cdot x_1$.

Тоді маємо, з врахуванням рівності(7), нерівність

$$(U_{zp} - E) \cdot g < x_1 < U_{zp} \cdot g, \quad \text{де} \quad g = \frac{1/LC}{\alpha \left(\frac{1}{RC} + \frac{r_g}{L} - \alpha \right) - \frac{1}{LC} \left(1 + \frac{r_g}{R} \right)}.$$

Таким чином, ми отримали область значень для змінних x_1 та x_2 при яких виконуються умови існування ковзного режиму для системи, що описується рівняннями (1).

1. *M.S. Al-Numay, D.G. Taylor.* Digital Tracking control for PWM System with Unacceptable Zeros.// IEEE Transactions on Circuits and Systems. April 1998 Volume 45 Numer 4. pp. 397-408
2. *I. Trushev, I. Tabahnev, G. Toshev, and V. Mladenov.* On the adaptive Sliding Mode control for DC/DC buck Converters. XIII International Symposium on Theoretical Electrical Engineering ISTET'05. pp. 401-404.

SLIDING MODE FOR DC/DC CONVERTERS

I. Romaniv, L. Sinitsky, M. Zhovtanets'ky

*Ivan Franko National University of Lviv
Tarnavsky Str. 107, UA-79017 Lviv, Ukraine, Svoboda av., 18, Lviv 79008, Ukraine
e-mail: romaniv@rd.wups.lviv.ua*

The mathematical model of DC/DC converter is constructed. This model has been studied for sliding mode. The influence of the system parameters on the sliding mode is estimated.

Key words: DC/DC converter, mathematical model, sliding mode.

Стаття надійшла до редколегії 23.03.2007
Прийнята до друку 12.07.2007