

Изследване на понижаващо-повишаващ AC/DC преобразувател с подобрен фактор на мощността

доц. д-р Михаил Х. Анчев ТУ-София катедра Силова електроника
гл.ас. Георги Ц. Кънов ТУ-София катедра Силова електроника
инж. Георги П. Стайчев РОЕ Автоматизация ООД
доц. д-р Елисавета Д. Гаджева ТУ-София катедра Електронна техника

Investigation of step up/step down ac/dc converter with improved power factor
Object of the research in this work is AC/DC converter with power factor correction (PFC) in respect of the voltage line. A specific feature of the converter is the possibility of working as a step-up or step-down, which makes it appropriate for a number of electro-technological applications. Using subsidiary transistors with resonant commutation improves the electromagnetic compatibility with the alimentation line and increases the efficiency. An analysis has been made by using computer simulation and waveforms illustrating the electro-magnetic processes are shown.

I. Увод

През последните години интересът към AC/DC преобразуватели с подобрен фактор на мощността (PF) е чувствителен. Този факт е продиктуван от повишените изисквания относно хармоничния състав и електромагнитните излъчвания по захранващата променливотокова мрежа [Л1], регламентирани в съответни международни стандарти, като EN6100-3-2 и IEC1000-3-2.

Преобладаващата част от научните изследвания, разработки и публикации на водещите фирми [Л3, Л4, Л5], са посветени на повишаващ AC/DC стабилизиращ преобразувател с подобрен фактор на мощността. Тези преобразуватели, с мощност до 1 kW са намерили най-масово приложение като постояннооточково (DC) захранване на редица електронни устройства.

Редица електронно-технологични устройства изискват регулируемо DC захранване. В съчетание с подобрен фактор на мощността то може да бъде реализирано посредством понижаващо-повишаващ AC/DC преобразувател. Последният се описва в литературата, но при захранване с постоянно напрежение. В настоящата работа се разглеждат основните зависимости, позволяващи проектирането на преобразуватели, работещи в режим с корекция на PF.

II. Схема и принцип на действие

Принципната схема на понижаващо-повишаващ AC/DC преобразувател с подобрен PF е показана на *фигура 1a*. Към класическата базова схема, състояща се от транзисторите Q1H, Q1L, диодите D1H, D1L и индуктивността L, са добавени и следните спомагателни елементи - транзисторите Q2H, Q2L, диодите

D2H, D2L, D3H, D3L, резисторите $R_{H,RL}$, индуктивностите $L_{rH}, L_{rH}, L_{rL}, L_{rL}$ и кондензаторите C_{rH} и C_{rL} . Спомагателните елементи позволяват комутация при нулево напрежение на основните транзистори (ZVS). Тази конфигурация, използвана в [J3 и J4] за повишаващия преобразувател, довежда до намаляване на комутационните загуби върху основните транзистори. Това от своя страна позволява при запазване на висок коефициент на полезно действие да се повиши честотата на комутация на основните транзистори. Следователно показателя Ll^2 на акумулиращата индуктивност намалява, а оттук намаляват и нейните маса и размери и тези на устройството като цяло.

Методът на ZVS се илюстрира посредством времедиagramите, показани на *фигура 16*. До момента t_0 акумулираната в индуктивността L енергия, през диодите D1H и D1L се прехвърля в изходния кондензатор C_{out} . В момента t_0 се отпушват спомагателните транзистори Q2H и Q2L. В интервала t_0-t_1 токът I_L се комутира от диодите D1 към спомагателните транзистори, изменяйки се по линеен закон. Продължителността на този времеинтервал може да се определи посредством равенството:

След нулирането на тока през диодите D1H и D1L започва резонансен процес на прехвърляне на енергията на резонансните кондензатори C_{rH} и C_{rL} към индуктивностите L_{rH} и L_{rL} . Продължителността на интервала t_1-t_2 се определя от зависимостта [5]:

$$(1) \quad t_{01} = \frac{I_L L_r}{U_{out}}$$

$$(2) \quad t_{12} = \frac{\pi}{2} \sqrt{L_r C_r}$$

$$(3) \quad I_{lm} = \frac{U_{cr}}{\sqrt{C_r L_r}}$$

В момента t_2 напрежението върху кондензаторите V_{cr} (съответно и напрежението U_{ds} върху основните транзистори) е нула, а резонансният ток е максимален. Неговата стойност е [5]:

Времето t_2-t_3 е време на реакция на системата ZVS, следяща напрежението U_{ds} на транзисторите Q1H и Q1L. В този интервал, съгласно първия закон на Кирхоф, токът през L_r и Q2 е $I_L + I_{L,lm}$, а през обратния диод на транзисторите Q1 е само $I_{L,lm}$.

В момента t_3 транзисторите Q1 се отпушват, а Q2 се запушват. В интервала t_3-t_4 тока през основните транзистори нараства до I_L . Токът през индуктивностите L_r протича през транзисторите Q1 и диодите D3. Той спада до нула, отдавайки натрупаната енергия в индуктивностите L_r на кондензаторите C_{out} и C_r .

В интервала t_4-t_5 се осъществява поредното натрупване на енергия в основната индуктивност L . След момента t_5 , преди прехвърлянето на поредната порция енергия от L към C_{out} , следва интервала t_5-t_6 . В този интервал, със запушването на основните транзистори, напрежението им U_{ds1} нараства по линеен закон. Този факт е следствие на заряда на C_r от тока I_L . скоростта на нарастване на напрежението U_{ds1} се дава от зависимостта:

Предназначението на дроселът с насищане L_S е по време на интервала на прехвърляне на енергия от L към C_{out} да ограничи до минимум тока през диодите D3 за смет-

$$(4) \quad \frac{dU_{ds1}}{dt} = \frac{I_L}{C_r}$$

ка на този през диодите D1.

Резисторите R_H и R_L демпфират паразитните разколебавания предизвикани от бариерния капацитет на диодите D3 в момента на прекратяване на тяхната проводимост t_d .

III. Основни енергийни съотношения

От специализираната литература за понижаващо-повишаващите DC/DC преобразуватели е известна зависимостта:

$$(5) \quad U_o = \frac{D}{1-D} U_{in}$$

където:

$$D = \frac{t_{on}}{T_{sw}}$$

U_o - изходното напрежение;
 U_{in} - входното напрежение;
 D - коефициент на запълване;
 t_{on} - време на натрупване на енергия в L;
 T_{sw} - период на комутация на транзисторите;

От (5) може да се определи изменението на коефициента на запълване в рамките на един полупериод за захранващата мрежа D(θ):

Тук U_{ac} е ефективната стойност на входното напрежение.

$$(6) \quad D(\theta) = 1 + \frac{\sqrt{2} \cdot U_{ac}}{U_o} \cdot \sin \theta$$

Токът през акумулиращата индуктивност е:

$$(7) \quad I_{pk}(\theta) = I_{pk} \cdot \sin \theta$$

където: I_{pk} - максималната му стойност в момента на максимум на U_{acm} ;

Моментната стойност на тока през основните транзистори е:

$$(8) \quad i_{Q1}(\theta) = D(\theta) I_{pk}(\theta) = I_{pk} \sin \theta + I_{pk} \frac{\sqrt{2} \cdot U_{ac}}{U_o} \sin^2 \theta$$

Средната му стойност се определя като:

$$(9) \quad I_{Q1(AV)} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} i_{Q1}(\theta) d\theta = \frac{2}{\pi} I_{pk} + \frac{I_{pk}}{2} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot U_{ac}}{U_o}$$

Аналогично, токът през основните диоди D1 е:

$$(10) \quad i_{D1}(\theta) = (1 - D(\theta)) I_{pk}(\theta) = -I_{pk} \frac{\sqrt{2} \cdot U_{ac}}{U_o} \sin^2 \theta$$

$$(11) \quad I_{D1(AV)} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} i_{D1}(\theta) d\theta = -\frac{I_{pk}}{2} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot U_{ac}}{U_o}$$

Знака "-" отчита реактивния характер на този ток.

$$(12) \quad I_{L(AV)} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_{pk}(\theta) d\theta = \frac{2}{\pi} I_{pk}$$

От [9], [11] и [12] е ясно, че:

$$(13) \quad I_{pk(AV)} = I_{Q1(AV)} + I_{D1(AV)}$$

което следва и от принципа на действие.

Като се вземат предвид зависимостите [Л6]:

$$(14) \quad P_o = U_o \cdot I_o \quad \text{и} \quad I_o = I_{D1(AV)}$$

и използвайки (11) следва, че:

$$(15) \quad I_o = \frac{I_{pk}}{2} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot U_{ac}}{U_o}$$

откъдето

$$(16) \quad I_{pk} = 2 \cdot I_o \cdot \frac{U_o}{\sqrt{2}} \cdot U_{ac}$$

I_{pk} е максималния ток през основните транзистори Q1, диоди D1 и дросела L.

От съотношенията [Л6]

$$(17) \quad t_{on} = \frac{L \cdot \Delta I_L}{U_{ac}}; \quad t_{off} = \frac{L \cdot \Delta I_L}{U_o} \quad \text{и} \quad T_{sw} = t_{on} + t_{off} = L \cdot \Delta I_L \cdot \frac{U_{ac} + U_o}{U_{ac} \cdot U_o}$$

следва, че

$$(18) \quad \Delta I_L = \frac{U_{ac} \cdot U_o}{f_{sw} \cdot L (U_{ac} + U_o)}$$

На практика обикновено се приема $\Delta I_L = 0,2 I_{pk}$. Така използвайки израз (18) можем да запишем израз за проектиране на индуктивността L:

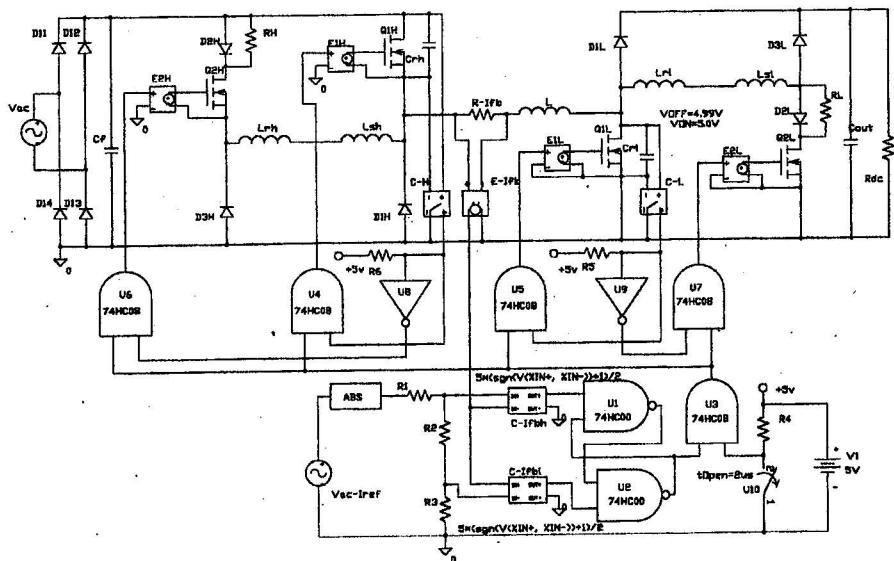
$$(19) \quad L = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{ac} \cdot U_o}{f_{sw} \cdot 0,2 \cdot I_{pk} (\sqrt{2} \cdot U_{ac} + U_o)}$$

IV. Резултати от симулацията

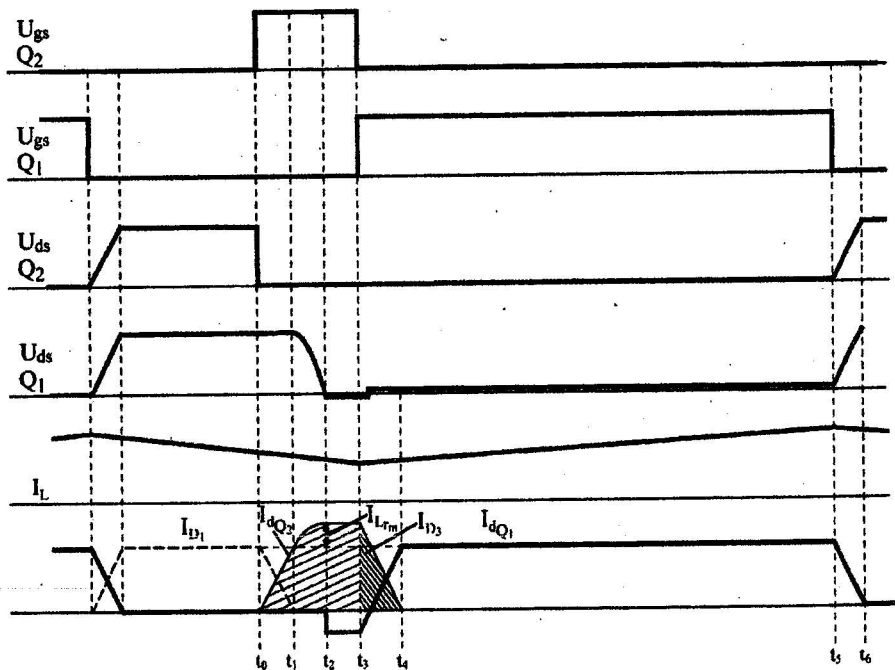
Резултатите от симулацията на силовата схема, със съответната ѝ система за управление от фиг.1а, са показани на фиг.2. Резултатите от симулацията показват съпадение с аналитичния анализ.

V. Заключение

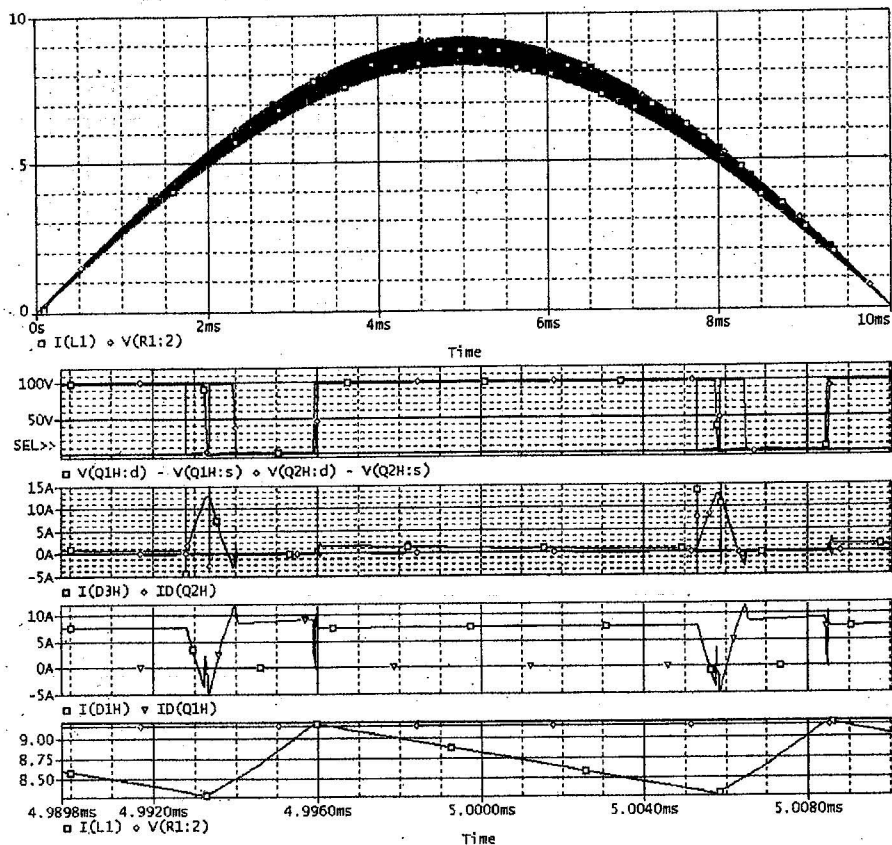
Предложен е понижаващо-повишаващ AC/DC преобразувател с подобрен фактор на мощността и намалени загуби вследствие работа в режим на комутация при нулево напрежение (ZVS). Извършено е изследване посредством компютърна симулация, потвърждаващо резултатите от анализа. Преобразувателят е подходящ за работа в електротехнически съоръжения изискващи регулиране на постоянното напрежение при запазване на висок PF.



Фиг. 2а



Фиг. 16



Фиг. 2

Използвана литература

1. Анчев М. Кр., Енергийна ефективност на силови електронни устройства, С., изд. на ТУ, 2000.
2. Анчев М. Кр., Петкова Д. С., Корекция на фактора на мощност на неуправляеми токоизправители, сп. Електротехника и електроника 9-10, 1999.
3. FAIRCHILD, Application Note 42032, FAN4822 Power Factor Correction With Zero Voltage Resonant Switching, 2001.
4. FAIRCHILD, FAN4822, ZVS Average Current PFC Controller, 2001.
5. UNITRODE Corp., UC3855A/B High Performance Power Factor Preregulator, Appl. No U-153.
6. Power Electronics, Mohan, Underland, Robbins, 1989 John Wiley&Sons Inc.