

УПРАВЛЕНИЕ НА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ПОСТОЯННО НАПРЕЖЕНИЕ

Петър Иванов
Lz1pgi@gmail.com

**Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”
гр. София, ул. „Гео Милев” 158
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ**

Ключови думи: преобразуватели на постоянно напрежение; математичен модел; управление.

Резюме: Преобразувателите на постоянно напрежение (DC/DC converters) са съставна част от различни захранващи блокове. Те преобразуват постоянно напрежение в друго по големина постоянно напрежение. Основна съставна част на схемите им са ключовите елементи, които се реализират чрез съвременни полупроводникови елементи (MOS или IGBT транзистори, GTO тиристори и др).

Стабилността на изходното напрежение се осигурява от система за управление чрез непрекъсната промяна на съотношението между времената на отворения и затворения ключ, което количествено се изразява чрез коефициента на запълване на управляващите го импулси. Най-разпространеният начин за това е при неизменна стойност на периода да се изменя продължителността на времето на включване. Това е добре известната широчинноимпулсна модулация (ШИМ). Възможна е и честотноимпулсна модулация (ЧИМ), при която стабилизацията се осигурява чрез промяна на периода на превключване. И двата начина изискват в системата за управление да има генератор. Известни са и други методи за управление, които не изискват генератор (управление с програмиран ток, управление чрез хистерезис и др.)

В настоящия доклад са разгледани основни методи за управление на примера, на понижаващ преобразувател на постоянно напрежение. На база на сравнителния анализ на предимствата и недостатъците на различните методи, са направени изводи относно най-перспективния тип управление. Представен е симулационен модел на понижаващия преобразувател в Simulink/Matlab, чрез който се изследват процесите в него.

1. Въведение.

Превключваемите преобразуватели на постоянно напрежение са нелинейни системи с променлива структура, поради специфичния характер на принципа им на действие.

Управлението на превключваемите преобразуватели на постоянно напрежение е обект на много публикации [1,2,3]. Известни са няколко често използвани типове управление: широчинноимпулсна модулация [1,6], честотноимпулсна модулация [2],

управление с програмиран ток [3], управление чрез хистерезис [4], управление по повърхнина на хлъзгане [5], както и комбинации от тези методи.

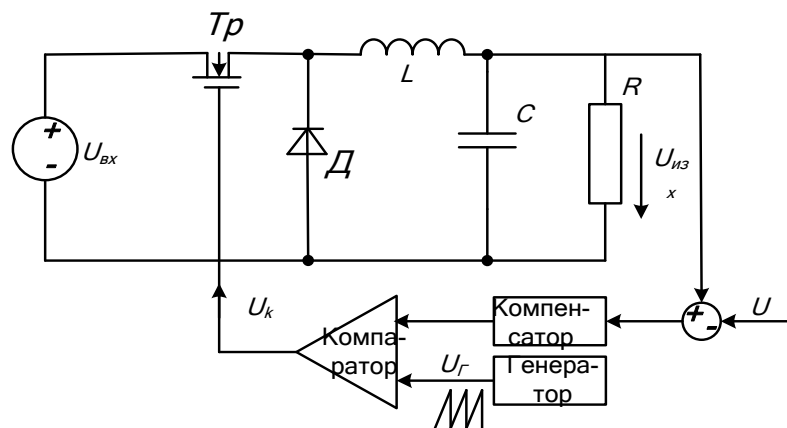
В настоящия доклад са разгледани основните методи за управление на примера на понижаващ преобразувател на постоянно напрежение. На база на сравнителния анализ на предимствата и недостатъците на различните методи, са направени изводи относно най- перспективния тип управление. Представен е симулационен модел на понижаващия преобразувател в Simulink/Matlab, чрез който се изследват процесите в него.

2. Теоретична част.

В литературата има много изследвания, свързани с управлението на DC/DC преобразувателите. Прегледът на тези публикации показва, че от типа управление зависи в голяма степен коефициентът на полезно действие (кпд) на преобразувателя.

Както е известно [1,2,3], системата за управление командва положението на ключовите елементи в схемата, т.е. съотношението между времената на отворения и затворения ключ.

Разглежда се понижаващ преобразувател на постоянно напрежение, ключовете на който са изпълнени със силови полупроводникови елементи (Фиг. 1.).



Фиг. 1. Схема на понижаващ преобразувател с ШИМ.

Управлението с широчинноимпулсна модулация (ШИМ) се базира на сравнението на сигнала:

$$(1) \quad U_{изx} - U,$$

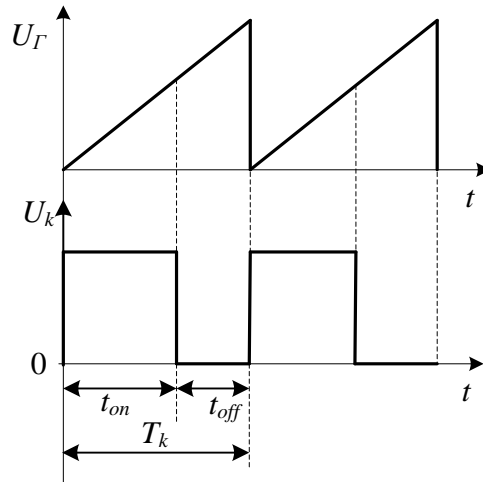
където $U_{изx}$ е действителното изходно напрежение на преобразувателя, а U е неговата желана стойност (еталонно напрежение), с периодичното тригонообразно напрежение U_r , което се генерира от генератора.

В резултат се формира управляващия сигнал U_k , който е последователност от правоъгълни импулси (фиг.2).

За него:

$$(2) \quad \delta = \frac{t_{on}}{T_k},$$

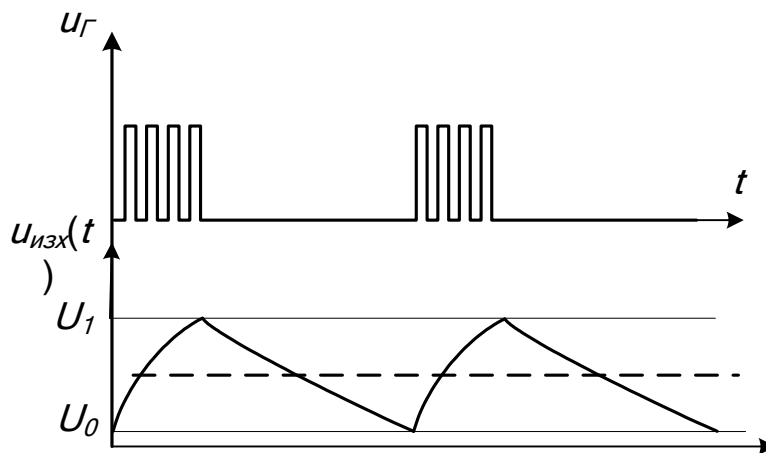
където t_{on} е времето на включено, t_{off} - времето на изключено състояние на ключа, а $T_k = t_{on} + t_{off}$ е период на превключване, който е постоянен.



Фиг. 2. Управляващ сигнал при ШИМ.

Недостатък на управлението с ШИМ е ниският КПД при малки товари. Предимството се състои в постоянната честотата на превключване, което позволява да се контролират пулсациите на изходния сигнал.

Ако генераторът на трионообразно напрежение се замени с генератор на правоъгълни импулси, които се подават на серии (фиг.3), може да се реализира управление с честотноимпулсна модулация (ЧИМ).



Фиг. 3. Управление с ЧИМ

В този случай между отделните серии импулси ключовете на преобразувателя са изключени. Токът през бобината е 0 и схемата е в режим на изчакване. Тогава кондензаторът захранва товара. Когато изходното напрежение $u_{изх}$ стигне до определена стойност U_0 , преобразувателят се задейства и кондензаторът започва да се зарежда. Предимство на управлението с ЧИМ е сравнително високият КПД. Недостатък е, че периодът на превключване зависи от големината на товара.

Управление, което не изисква генератор, е това чрез хистерезис. При него се използва компаратор с хистерезис, който следи напрежението. При намаляването му под долния праг на компаратора, ключът се затваря и токът през бобината заедно с изходното напрежение започват да нарастват. Това продължава до достигане на горния праг U_1 , когато компараторът отваря ключа. Големината на пулсациите на напрежението е равна на напрежението на хистерезис.

Друг вид управление се реализира с програмиран ток. Тогава изхода на преобразувателя се контролира чрез подходящ избор на пиковия ток на транзисторния ключ. Принципът на действие е следният.

Когато транзисторът е отпушен, неговия ток е равен на тока през бобината. Той се увеличава в положителна посока с определен наклон, който зависи от стойността на индуктивността L и от напрежението на преобразувателя. В момента когато токът през транзистора стане равен на тока през кондензатора, управляващата схема изработва сигнал, който запуща транзистора. Токът през бобината намалява през останалата част от периода на превключване. Главното предимство на този вид управление е опростената динамика на схемата, а недостатък е чувствителността на тока на транзистора към шумове.

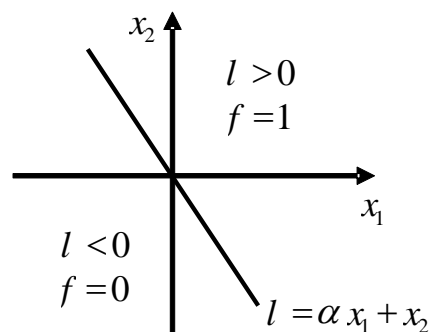
Един по-съвременен метод на управление е този, който се реализира по повърхнината на хлъзгане [5,7]. При него се наблюдава разделяне на пространството на състоянията на области, отделени помежду си с повърхнината (при тримерно пространство), или линия (при двумерно пространство) на превключване. В зависимост от това в коя област попадат фазовите траектории на процеса, се определя съответният режим на ключа. Линията на превключване (фиг.4) се определя с уравнение от вида

$$(3) \quad l = \alpha x_1 + x_2,$$

където

$$(4) \quad \alpha = \frac{1}{R_L C}$$

е коефициент на сходимост, а x_1 и x_2 са променливи на състоянието.



Фиг.4. Линия на превключване в режим на хлъзгане

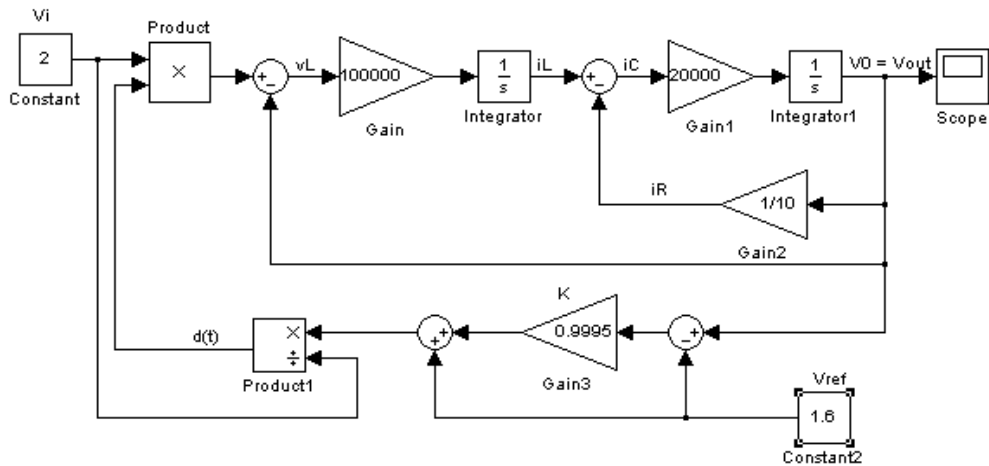
В този случай законът на управление може да се даде с уравнението:

$$(5) \quad f = \begin{cases} 1 = \text{включен} & \text{при } l > 0 \\ 0 = \text{изключен} & \text{при } l < 0 \end{cases}$$

За разлика от управлението с ШИМ, в този случай честотата на превключване не е точно определена, а е функция на зададеното напрежение U . Освен това, за разлика от разгледаните вече типове управления, този режим е силно нелинеен.

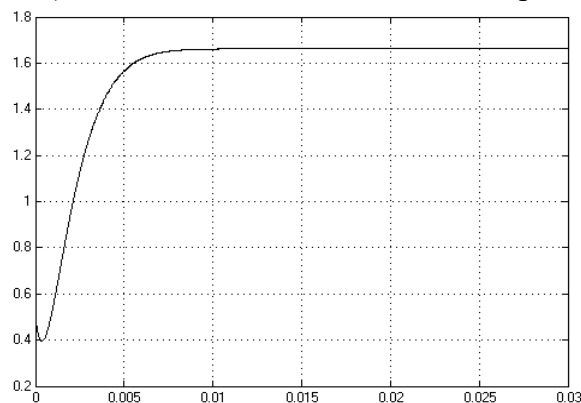
3. Симуляционен модел.

За симулация на процесите в понижаващ преобразувател на постоянно напрежение, управляван в режим на хлъзгане с ШИМ, е създаден симуляционен модел в Simulink/Matlab, който е показан на фиг.5.



Фиг. 5. Модел на понижаваш преобразувател в Simulink/ Matlab, управляван в режим на хлъзгане с ШИМ

Първият усилвателен блок (Gain) е с коефициент на усилване $1/L$. Последователно на него е свързан интегратор (Integrator). Те осъществяват връзката между тока през бобината и напрежението в двата ѝ края. Вторият усилвателен блок (Gain 1) с коефициент на усилване $1/C$ и последователно свързаният на него интегратор (Integrator 1) осъществяват връзката между напрежението на кондензатора и тока през него. Блок „Ключ“ (Switch) изпълнява действието на двата противофазни ключа.



Фиг.6. Изходно напрежение на преобразувателя.

За моделирането на управляваща схема на понижавачия преобразувател на напрежение в обратната връзка са използвани два сумиращи блока, блоковете Gain3, Constant2 и Product, на изхода на който излиза управляващия сигнал. Той се сравнява с тригонообразен сигнал с честота 1MHz в блок Repeatin Sequence.

На фиг.6 е показано изменението на изходното напрежение на преобразувателя във времето.

4. Заключение.

Режимът на превключване е част от работния цикъл на преобразувателите на постоянно напрежение. Чрез него се осъществява ефикасно преобразуване на напрежението на батерията в различни захранващи напрежения.

В работата са разгледани основните типове управления на превключването. Направена е симулация на управление в режим на хлъзгане с ШИМ на понижаваш преобразувател на постоянно напрежение. От направените симулации в Simulink/Matlab следва, че управлението в режим на хлъзгане с ШИМ дава добър резултат.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Куцаров Ст. DC/DC Преобразуватели. Сп. Инженеринг ревю, бр.1, 2/2006.
- [2]. Guldemir, H. Sliding mode control of Dc-Dc boost converter. Journal of Applied Sciences 5, 2005, pp. 588 - 592.
- [3]. Fossas, E., A. Pas. Second order sliding mode control of a buck converter. Proceedings, The 41st IEEE Conference on Decision and Control, vol. 1, Dec. 2002, pp. 346–347.
- [4]. Middlebrook R., S. Cuk. Advances in Switched-Mode Power Conversion. Teslaco Publishing, Pasadena, 1981, pp. 73 - 89.
- [5]. Sanders S., Verghese G. Synthesis of averaged circuit models for switched power converters. IEEE transactions on circuits and systems. Vol. 38., № 8.1991, pp. 905–915.
- [6]. Pavlov G. G. Cherneva, R. Katsov, I. Nenov, R. Vaseva. System of Remote Control and Management of Electrically Powered Sites. Proceedings of the XXXV International Scientific Conference on Fundamentals of Electrotechnics and Circuit Theory IC-SPETO 2012, Gliwice, Poland, 23-26.05.2012 , ISBN 978-83-85940-34-0, p.89-90 <http://icspeto.hostingasp.pl/Media/Default/ListyArtykulow/spis%20tre%C5%9Bci%2012.pdf>
- [7]. Trushev, Iv., “A Simulink model of a DC/DC buck converter controller based on the general sliding mode control”, Advanced Aspects of Theoretical Electrical Engineering, 07-09 September, 2012, Sozopol, Bulgaria, pp. 190-195.

CONTROL OF CONSTANT VOLTAGE CONVERTERS

Petar Ivanov

*Todor Kableshkov University of Transport
Sofia, 158 Geo Milev Str.
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

Keywords: *constant voltage converters; mathematical model; Management.*

Summary: *DC/DC converters are a component of different power units. They convert constant voltage into another constant voltage with different value. The main component of their schemes are the key elements that are realized through modern semiconductor elements (MOS or IGBT transistors, GTO thyristors, etc.).*

The stability of the output voltage is provided by a control system by continuously changing the ratio between times at the open and closed key. This is quantified by the filling factor of the control pulses. The most common way to do this is to change the length of the time of inclusion at an immutable value of the period. This is the well-known width pulse modulation (WPM). Frequency pulse modulation (FPM) is also possible in which stabilization is provided by changing the switching period. Both ways require a generator to be in the control system. There are other control methods that do not require a generator also known as control with programmed current or hysteresis control and so on.

This report addressed basic methods of managing the example of a lowering constant voltage converter. Based on the comparative analysis of the advantages and disadvantages of the different methods conclusions have been drawn about the most promising type of management. A simulink/Matlab simulation model of the lowering converter is presented through which the processes in it are studied.