

Моделиране на преобразувател за заряд на суперкондензатор

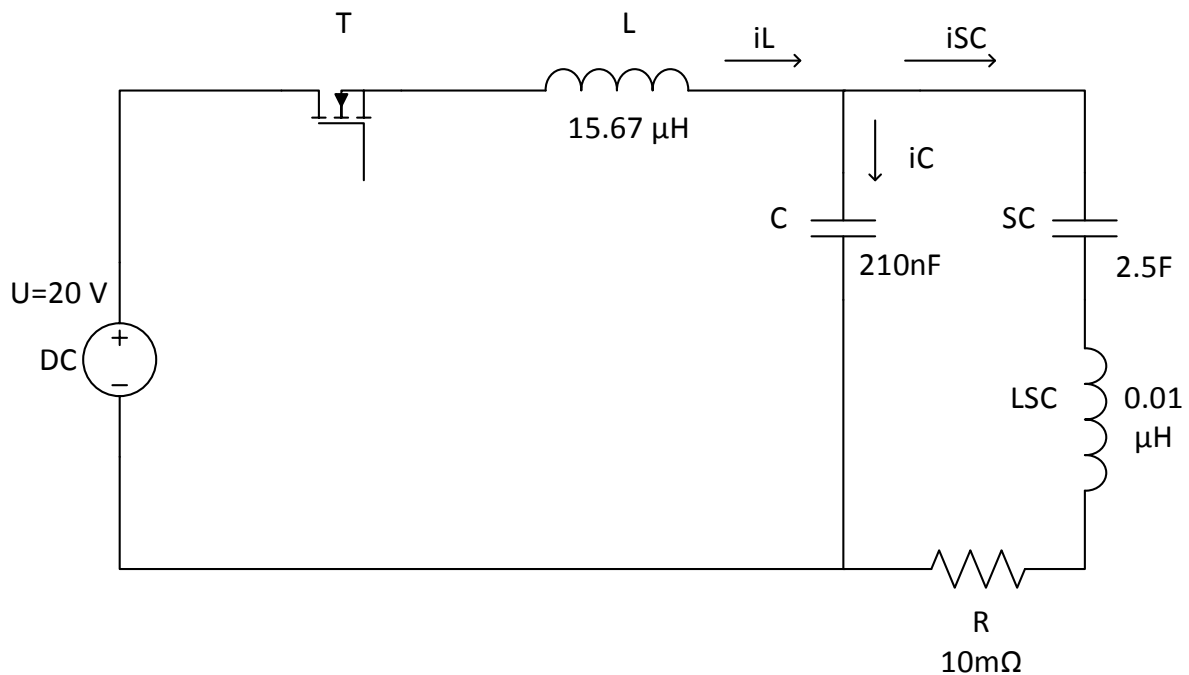
Гергана Илиева Вачева, Технически Университет София, Факултет по Електроника,
София 1000, България,
бул. „Кл. Охридски“ 8, бл. 1, e-mail: gergana_vacheva@tu-sofia.bg

Резюме

В настоящата работа се разглежда понижаващ преобразувател, използван за заряд на суперкондензатор. Изведени са диференциалните уравнения, които описват силовата схема. Направен е математичен модел на избраната топология, чрез програмата MatLab/Simulink. Извършени са симулации при зададени начални данни. Резултатите показват, че преобразувателя, работи устойчиво при различни смущаващи въздействия.

Увод

С развитието на новите екологични и енергоспестяващи технологии, все по важни стават въпросите, свързани с ефективното съхранение на електрическата енергия. В тази област все по – широко приложение намират суперкондензаторите. Те са кондензатори с извънредно голям капацитет и тенденцията е все по-успешно да заместват широко използваните досега акумулаторни батерии [2, 3, 12]. В работата е изследван ключов понижаващ преобразувател като стабилизатор на ток за заряд на суперкондензатор. Направени са изследвания на регулатора при определени входни данни.



Фигура 1: Силова схема

Силовата схема е реализирана като понижаващ постоянен ток регулатор (фиг.1). Транзистора Т играе ролята на ключ. В товара са суперкондензатора SC и неговата индуктивност LSC. Работната честота на транзистора е 600 kHz. Резистора R играе ролята на шунт за следене на зарядния ток на суперкондензатора. Индуктивността LSC е паразитна. По долу са представени входните данни за преобразувателя, които са използвани при апробацията на модела.

Входни данни

SC = 2.5F (Големина на суперкондензатора)
Ud = 20 V (Входно напрежение)
R = 10 mΩ (Съпротивление)
LSC = 10 nF (Индуктивност на суперкондензатора)
C = 210 nF (Стойност на кондензатора)
L = 100 μH (Индуктивност)

Математичен модел

Предавателната характеристика на понижаващия преобразувател е [1, 4]:

$$U_{out} = \delta U_{in} \quad (1),$$

където δ е коефициента на запълване на схемата.

При съставянето на модела се използват следните променливи:

i_L – токът през бобината L,

i_{SC} – токът през суперкондензатора SC,

i_C – токът през кондензатора C,

i_{LSC} – токът през бобината LSC,

u_{SC} – напрежението на суперкондензатора SC,

u_C – напрежението на кондензатора C.

За разглеждания преобразувател е в сила следната система диференциални уравнения [8-11]:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} (DU_{in} - u_C) \quad (2)$$

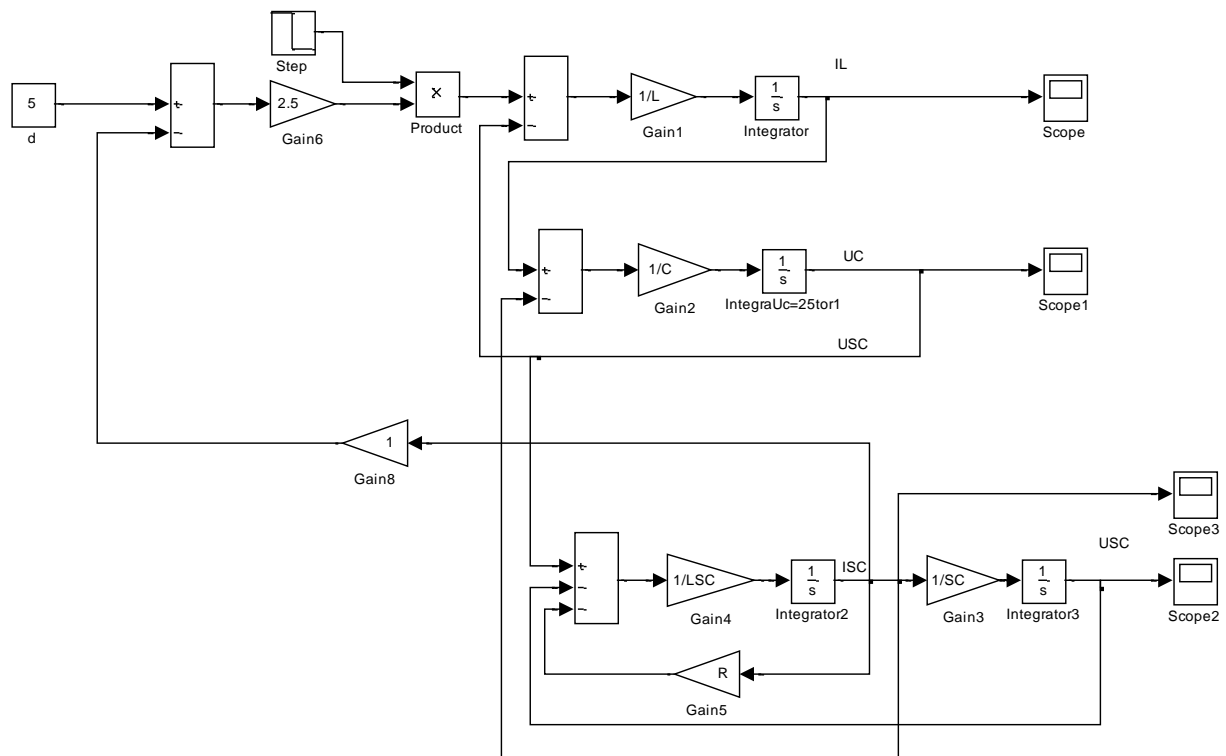
$$\frac{du_C}{dt} = \frac{1}{C} (i_L - i_{LSC}) \quad (3)$$

$$\frac{di_{LSC}}{dt} = \frac{1}{L_{SC}} (u_C - u_{SC} - Ri_{LSC}) \quad (4)$$

$$\frac{du_{sc}}{dt} = \frac{1}{C} i_{sc} \quad (5)$$

Тази система е описана в средата за визуално програмиране Matlab/Simulink (фиг.2), като към нея е добавен пропорционален регулатор, с който се поддържа избрана големина на тока на зареждане на суперкондензатора (в примера – 5А).

Реализация на математичния модел на MATLAB/Simulink

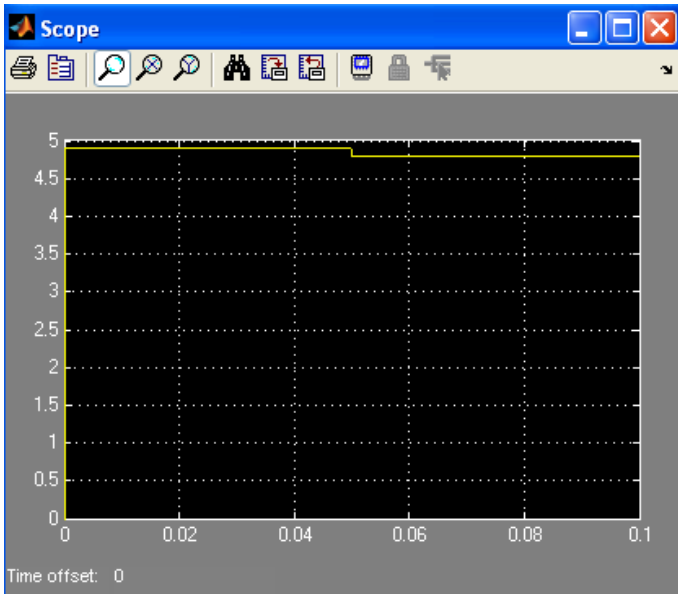


Фигура 2: Модел на преобразувателя с регулатор по ток

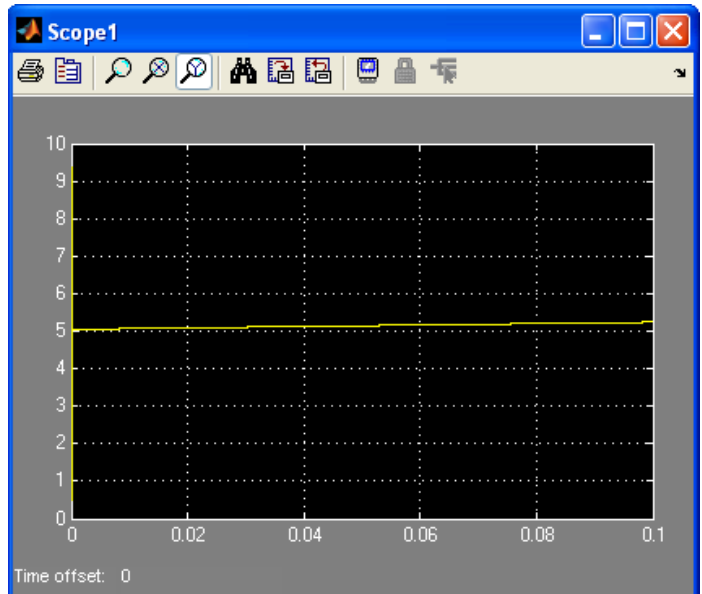
Математичния модел е въведен в средата MATLAB/Simulink. Освен четирите уравнения от системата е добавен пропорционален регулатор с коефициент 2,5. Реализирано е смущение по входно напрежение с помощта на инструмента за стъпълна промяна „step“. Поради огромната разлика (над 1000 пъти) на времеконстантата на LC изходния филтър на преобразувателя и периода на превключване на транзистора, високочестотната част е заменена с източник на постоянно напрежение със стойност, пропорционална на коефициента на запълване. Зададена е стойност на изходния ток 5А. Избрана е начална стойност на напрежението на суперкондензатора 5V.

Резултати от симулации

Първоначално се разглежда работата на регулатора при спад на входното напрежение от 20 V на 10 V, което се реализира в момента $t=0.05$.

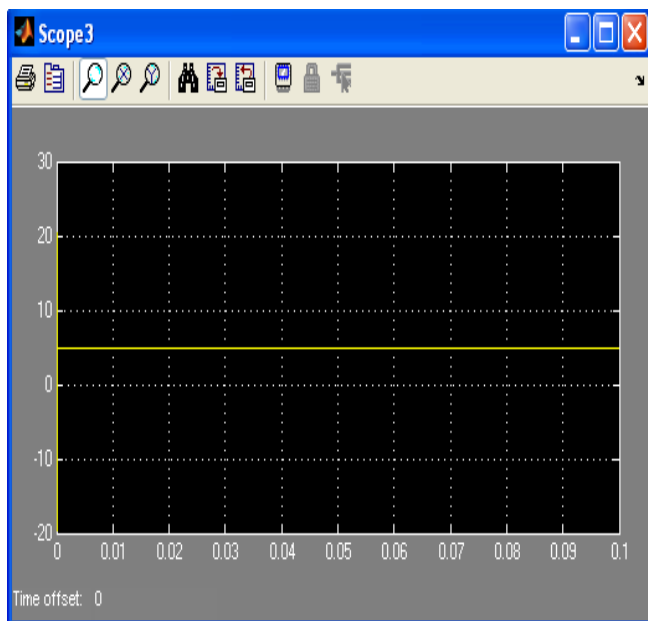


Фигура 3: Ток през суперкондензатора

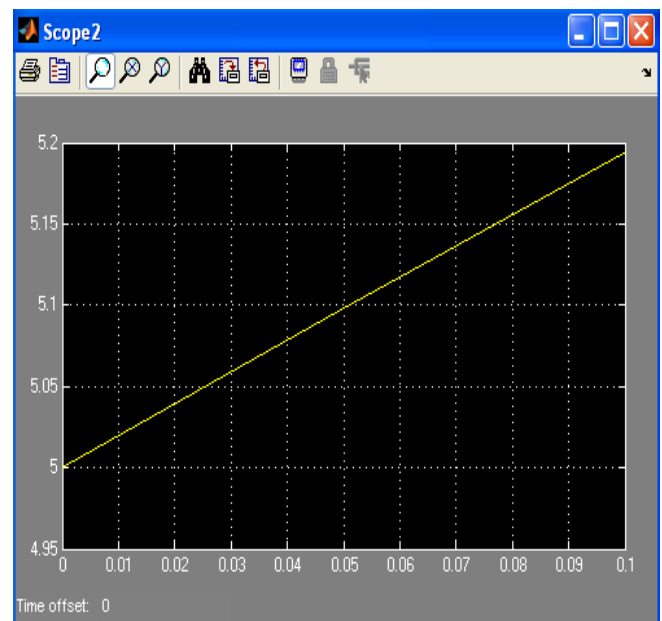


Фигура 4: Напрежение на суперкондензатора

На фигура 3 може да се види токът през суперкондензатора, който достига стойност 4,9 A за време 0.001s. От друга страна наблюдаваме спад на тока в 0.05 секунда от 4,9 до 4,8 A, който де дължи на скокообразното двойно намаление на входното захранващо напрежение. На фигура 4 се вижда напрежението на кондензатора C. То започва от начална стойност 5 V и се дозарежда с малко изменение, поради голямата стойност на капацитета на суперкондензатора.



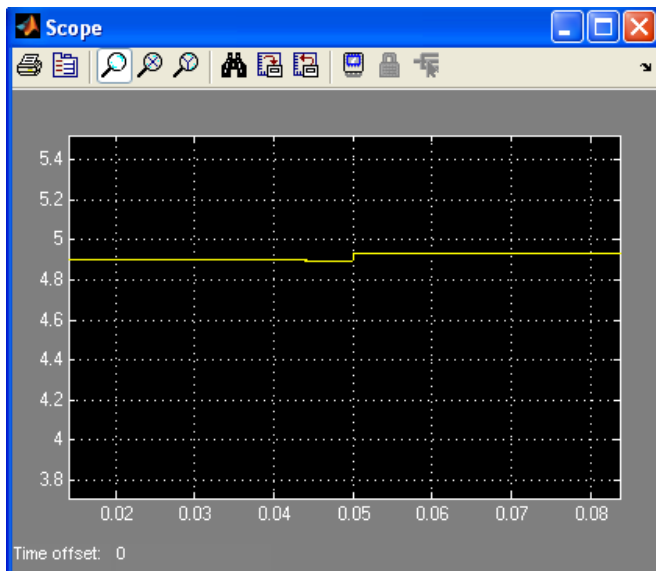
Фигура 5: Заряден ток на суперкондензатора



Фигура 6: Напрежение върху суперкондензатора

На фигура 5 е показан тока на зареждане на суперкондензатора, при номинален режим на работа – без смущения. Вижда се, че той нараства по аperiодичен закон като достига зададената стойност от 5 A. Напрежението на суперкондензатора може да се наблюдава на фигура 6. То започва от 5V и нараства линейно, защото е реализиран заряд с постоянен ток.

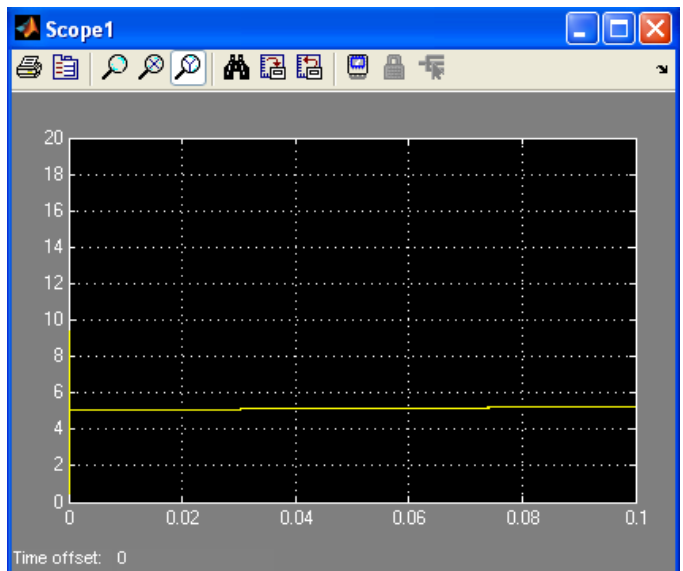
Разглежда се работата на регулатора при повишаване на входното напрежение от 20 V на 30 V, което се реализира в момента $t=0.05$ s.



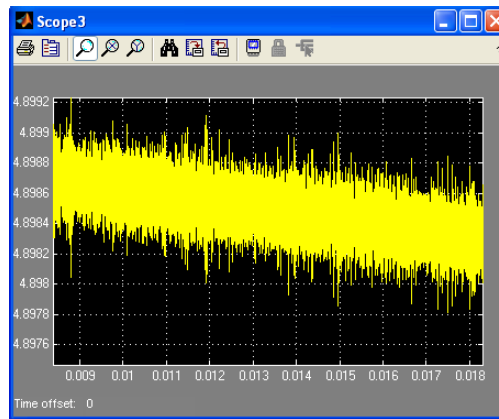
Фигура 7: Ток през суперкондензатора

В този случай се наблюдава леко нарастване на стойността на зарядния ток от 4.9 на 4.95A, което се дължи на рязката промяна на захранващото входно напрежение (фиг.7). При напрежението на кондензатора, показано на фиг.8, практически не се наблюдава промяна в сравнение с другите изследвани случаи.

На фиг.9 са показани резултати при промяна на коефициента на пропорционалното звено. Чрез последователни симулации е установена граничната стойност на коефициента на пропорционалното звено, при която регулатора губи своята устойчивост - $k=4.99$.



Фигура 8: Напрежение на суперкондензатора



Фигура 9: Ток през суперкондензатора

Заклучение

В тази работа е разработен математичен модел на понижавач преобразувател за заряд на суперконданзатор, съвместно с регулатор на зарядния ток. Той е реализиран на MatLab и са направени симулации. От тях се доказва, че регулатора е настроен правилно и работи добре. В бъдещи изследвания се предвижда хардуерна реализация на устройството и сравнение със съществуващи зарядни регулатори, реализирани с различни интегрални схеми.

Използвана литература

- [1] Jose Rodriguez, Patricio Cortes, Predictive control of power converters and electrical drives, John Wiley & Sons, Ltd.,2012.
- [2] N. Mohan, T.M. Undeland, and W. P. Robbins, Power electronics, 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- [3] Ogata K., Modern Control Engineering, Prentice Hall, 2002.
- [4] J. Holtz, "Pulsewidth modulation electronic power conversion," Proceedings of the IEEE, vol.82, no. 8, pp. 1194-1214, August 1994.
- [5] M. P. Kazmierkowski, R. Krishnan, and F. Blaabjerg, Control in power electronics. Academic Press, 2002.
- [6] Marco S. W. Chan , K. T. Chau, and C. C. Chan, "Effective Charging Method for Ultracapacitors"
- [7] Marin S. Halper, James C. Ellenbogen, "Supercapacitors: A brief overview"
- [8] F. I. Simjee, P. H. Chou, "Efficient Charging of Supercapacitors for Extended Lifetime of Wireless Sensor Nodes", Eur. Aeronaut. Defence & Space Co. (EADS), Schiphol-Rijk

- [9] H. Pollock, "High efficiency, high frequency power supplies for capacitor and battery charging", Proc. IEEE Colloq. Power Electron. Demanding Appl., pp. 901-910, 1999
- [10] R. Nelms and J. Schatz, "A capacitor charging power supply utilizing a ward converter", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 39, pp. 421-428, 1992
- [11] N. Mutoh and T. Inoue, "A control method to charge series-connected ultraelectric double-layer capacitors suitable for photovoltaic generation systems combining mppt control method", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 54, no. 1, pp. 374-383, 2007
- [12] R. W. Erickson and D. Maksimovic, Fundamentals of Power Electronics, 2001, Kluwer