

ИЗСЛЕДВАНЕ НА МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ НА ДВУПОСОЧЕН ИМПУЛСЕН ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ В ЕЛЕКТРИЧЕСКИ АВТОМОБИЛИ

SIMULINK MODEL OF BIDIRECTIONAL DC/DC CONVERTER FOR ELECTRIC VEHICLE APPLICATION

Evgeni Malev

*Technical University of Varna, Bulgaria
evgeni.malev@abv.bg*

Abstract

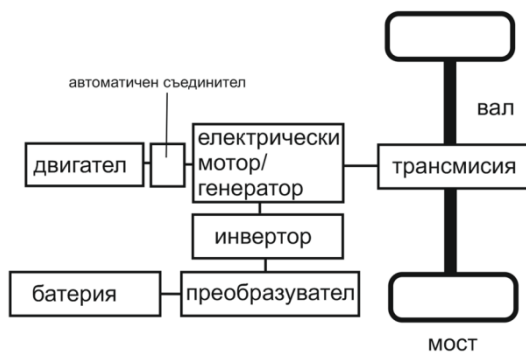
The mechanism of regenerative braking begins to find more application in electric and hybrid vehicles. In this type of braking system, when the car has stopped and electric power is generated, which is transmitted to the battery or for storage in another element. In this article a mathematical model of bidirectional DC/DC converter for regenerating braking for Electric vehicle application were presented.

Keywords: regenerating braking, bidirectional DC/DC converter, Arduino , Atmega microrocessor, MATLAB

ВЪВЕДЕНИЕ

Двупосочните импулсни преобразуватели за постоянно напрежение са силови електронни схеми, намиращи все по-широко приложение в хибридни системи за възобновяеми енергийни източници, електрифициран транспорт, зарядни станции за електрически автомобили и други. В електрическите транспортни средства, в частност електрическите автомобили и товарни автомобили до 3.5 т. импулсен преобразувател предаващ енергия в двете посоки е част от подсистема, която предава електрическа енергия от един източник към друг и обратно. Обикновено това са: от една страна батерия или суперкондензатор, а от друга – електрически мотор, който консумира и генерира електрическа енергия. Системите за регенеративно спиране навлизат все повече в електрическите и хибридни автомобили. Основните му предимства са свързани с оптималното използване на електрическата енергия в автомобила, ефективност

и надеждност [1]. Положението на един двупосочен преобразувател в подобна система е между батерията и инвертора към електрическия мотор. При нормален режим на работа електрическата енергия се предава от слотовете с батерии към електрическия мотор. В този режим преобразувателя работи като повишаващ. В режим на спиране за определен период, мотора извършва свободни обороти и генерира електрическа енергия. В този случай енергията се предава в обратна посока от мотора към батерията през преобразувателя, който работи като понижаващ. Регенеративното спиране позволява голямо количество кинетична енергия, да бъде съхранено и използвано за по-дълъг пробег на автомобила. Освен това тези иновативни спирачни системи, позволяват и допълнително използване на кинетични спирачки. Също така другите предимства са свързани с: намаляване на износването на спирачната система и удължаването на периода на заряд на системата [2].

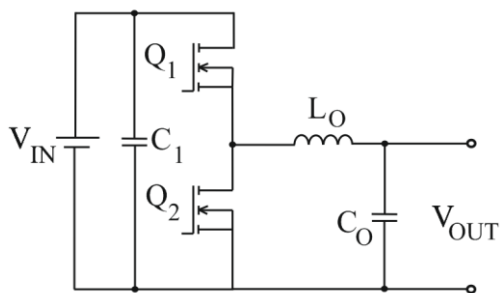


Фиг. 1. Блокова схема хибриден електрически автомобил и положението на системата за регенеративно спиране.

Двупосочните преобразуватели, се характеризирани с висока ефективност и спестяването на значително количество енергия.

ДВУПОСОЧЕН ПРЕОБРАЗУВАТЕЛ ЗА ПОСТОЯННО НАПРЕЖЕНИЕ

Топологията на изследвания преобразувател е повишаващо-понижаващ двупосочен неизолиран. Основните и предимства спрямо другите топологии са: ниска цена, висока ефективност, използване на минимален брой индуктивни елементи. Подобни преобразуватели намират приложение в системите за заряд и разряд на батерия, електрически преводни средства и системи за непрекъсваемо захранване с мощности до 1kW [3]. Преобразувателя се състои от два силови ключа - Q_1 и Q_2 , кондензатори от ниската и високата страна - C_1 и C_0 и бобина - L_0 .



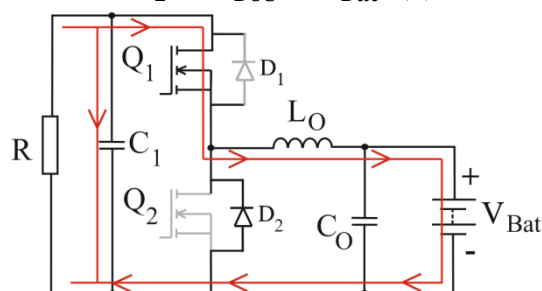
Фиг. 2. Принципна схема на неизолиран повишаващо-понижаващ двупосочен преобразувател

Основните предимства в сравнение с изолираните топологии са свързани с това, че не е нужно да се използва високочестотен трансформатор, който увеличава размера, цената и теглото на печатната платка.

Повишаващо-понижаващия преобразувател в сравнение с Чук и Сепик топологиите има нужда от само един индуктивен елемент - бобина. При правилно проектиране в зависимост от приложението, ефективността достига до 60 – 70 %. По отношение на управлението, той може да работи в режим на заряд, режим на разряд, режим на готовност и изключен режим [4]. При режима на заряд силовото устройство работи като понижавач преобразувател. В този режим, блоковете съхраняващи електрическата енергия - батерията или суперкондензатора се зареждат от постоянно напрежение генерирано от мотора. Поведението на схемата в този режим е представена в интервали 1 (Фиг.3) и 2 (Фиг.4). В интервал 1 Q_1 е включен, Q_2 е изключен и бобината L се зарежда [5].

Напрежението върху бобината се изразява от следната формула:

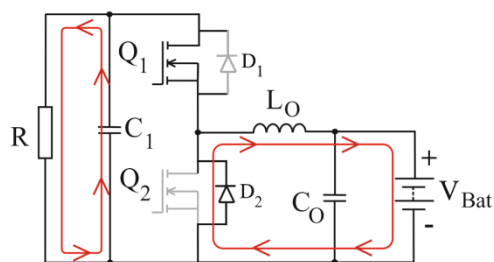
$$L = V_{BUS} - V_{Bat} \quad (1)$$



Фиг. 3. Еквивалентна схема на неизолиран повишаващо-понижаващ двупосочен преобразувател в режим на заряд (интервал 1)

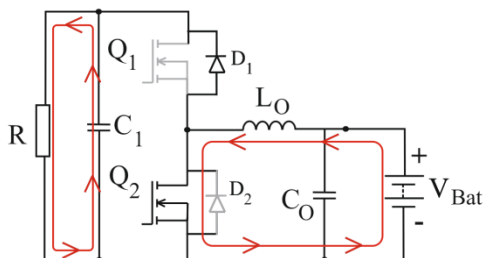
В интервал 2 двата транзистора Q_1 и Q_2 са изключени. Диодът D_2 продължава да провежда електрическа енергия. Напрежението върху бобината е равно на:

$$L = -V_{Bat} \quad (2)$$



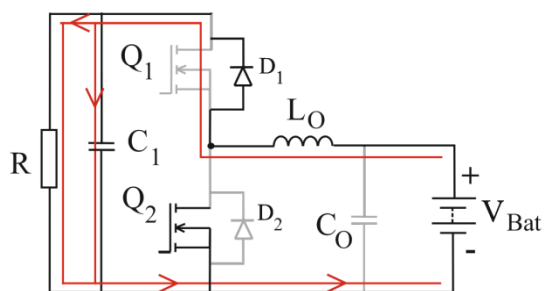
Фиг. 4. Еквивалентна схема на неизолиран повишаващо-понижаващ двупосочен преобразувател в интервал 2

Режима на разряд, се е представен в интервали 3 (Фиг. 5) и 4 (Фиг. 6). При него силовото устройство работи като повишаващ преобразувател. В този режим електрическата енергия протича от батерията към товара. Отдадената енергия се съхранява в кондензаторът C1.



Фиг. 5. Еквивалентна схема на неизолиран повишаващо-понижаващ двуосочен преобразувател в режим на разряд (интервал 3)

В интервал 3 Q2 е включен, Q1 е изключен и тока през бобината L намалява до нулева стойност.



Фиг.6 Еквивалентна схема на неизолиран повишаващо-понижаващ двуосочен преобразувател в режим на разряд и интервал 4

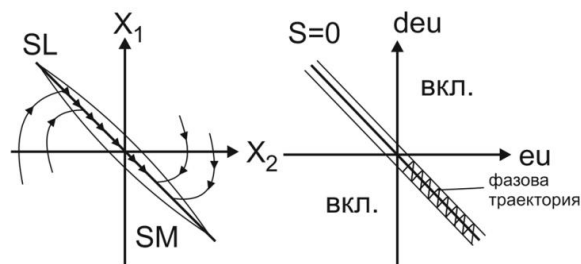
В интервал 4 двата транзистора Q1 и Q2 са изключени. Диодът D1 продължава да провежда електрическа енергия.

Напрежението върху бобината се изразява от следната формула:

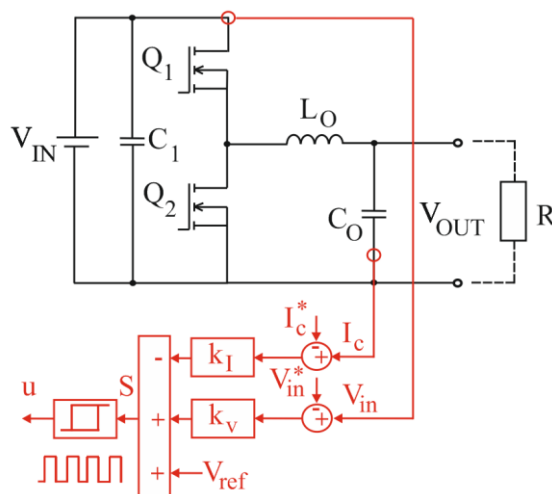
$$L = -V_{Bat} \quad (3)$$

Плъзгащ режим на управление (англ. Sliding mode control) е алгоритъм за управление на нелинейни системи. Основните му предимства са свързани с гарантирана стабилност, възможността за използване на различни методи за управление към силовите ключове, нечувствителността към смущения от референтни сигнали, преобразуващите му уравнения са в намален ред и

конвергенция на нулеви грешки на системата със затворен цикъл [6]. При управление се създава се траектория на променливите на състоянията, благодарение на което се достига до желано равновесие спрямо състоянието на референтните променливи. Графичното управление е представено на Фиг.7. На Фиг.8 е представена блокова диаграма на Плъзгащ режим на управление на повишаващо-понижаващ преобразувател [7].



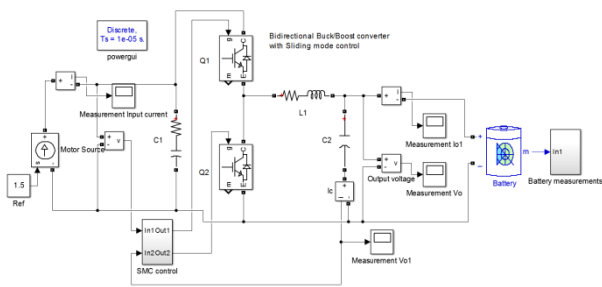
Фиг.7 Графично представяне на Плъзгащото управление



Фиг.8 Блокова диаграма на управлението на преобразувателя

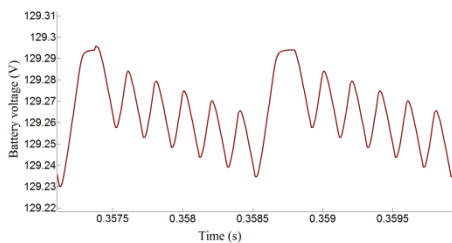
МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ НА ДВУПОСОЧЕН ПРЕОБРАЗУВАТЕЛ

За да бъде създаден физически прототип, е нужно да се изследват основните параметри на преобразувателя, в различни режими на работа. За целта е създаден математически модел в програмната среда Матлаб. В изследвания симулационен модел, електронния преобразувател е свързан между източника за съхранение на постоянно напрежение и регенеративния мотор [8][9].

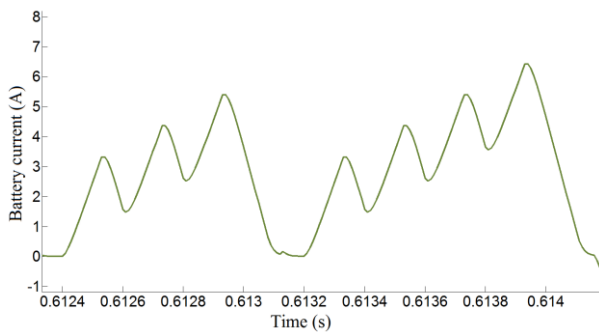


Фиг.9 Блокова диаграма на математическия модел на преобразувателя в Симулинк

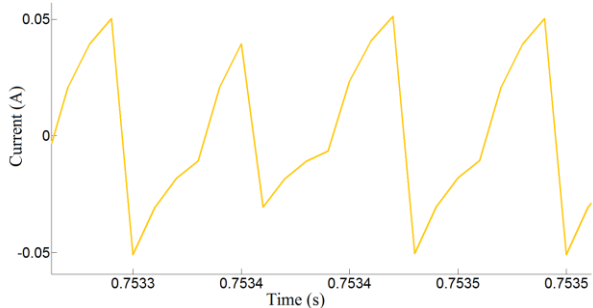
В следващите фигури от Фиг. 10 до Фиг.14, се представят входно – изходни параметри, чрез които може да се добие представа за работата на преобразувателя при определена стойност на входното напрежение.



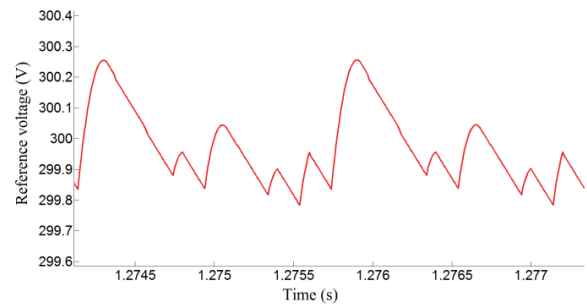
Фиг. 10. Изходно напрежение от на преобразувателя към елемент, съхраняващ електрическата енергия



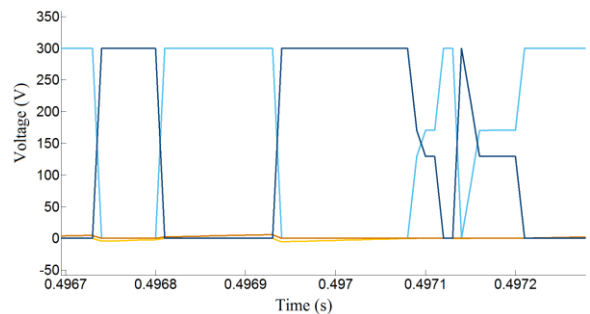
Фиг. 11. Изходен ток от на преобразувателя към елемент, съхраняващ електрическата енергия



Фиг. 12. Токът през кондензаторът C2 използван като обратна връзка

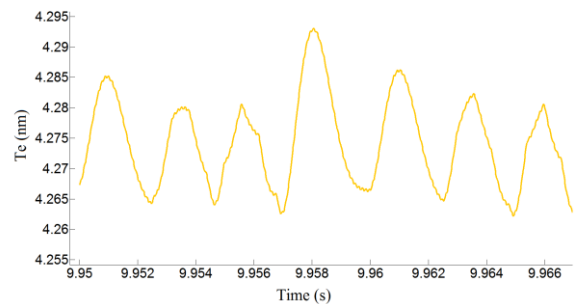


Фиг. 13. Входен ток използван като обратна връзка на преобразувателя

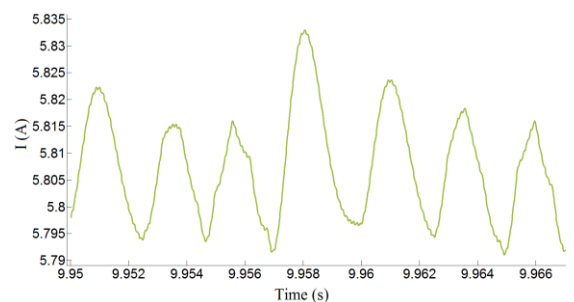


Фиг. 14. Управляващо напрежение V_{GS} на ключовете $Q1$ (светлосин) и $Q2$ (тъмносин) и токът през техните вградени диоди $D1$ (жълт) и $D2$ (оранжев)

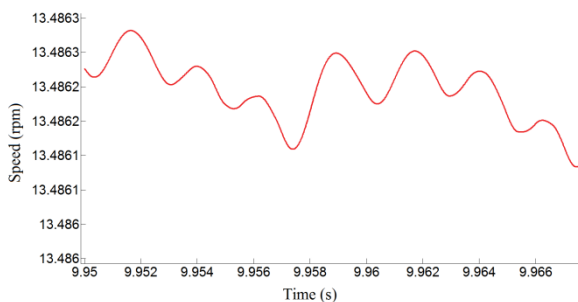
Основните параметри на електрическия мотор в началния момент на работа на електрическия мотор, при отдаване на енергия от батерията са представени в следващите три фигури.



Фиг. 15. Въртящ момент T_e (Nm) на електрическия мотор в начален работен момент



Фиг. 16. Ток през арматурната намотка на електрическия мотор в начален работен момент



Фиг. 17. Скорост(RPM) на електрическия мотор в начален работен момент

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представения доклад е изследван в Матлаб двупосочен преобразувател, с намиращ приложение в електрическият транспорт. Създаден е математически модел на управлението, за да се проследи поведението на преобразувателя и неговите ключове при различни режими на работа и промяна на входно-изходните параметри. Предложението преобразувател съчетава ефективност и прецизно управление с използване на повече от параметри като обратна връзка. Направените математически модели, които представят работата на преобразувателя в режими на зареждане на електрическа батерия при регенерация и когато отдава електрическата енергия от батерията към мотора. На базата на получените резултати, може да бъде реализиран и изследван физически модел на двупосочния преобразувател.

REFERENCE

[1] Zhang G., Dai Y., Cui J. "Design and Realization of a Bi-directional DC/DC Converter in photovoltaic power system" // International Forum on Energy, Environment and Sustainable

Development International Forum on Energy, Environment and Sustainable Development (IFEESD), May 2016 ISBN 978-94-6252-204-6

[2] Turksoy O., Yilmaz U., Teke A. "Overview of battery charger topologies in plug-in electric and hybrid electric vehicles" // 16th International Conference on Clean Energy (ICCE-2018) 9-11 May 2018, Famagusta, N. Cyprus

[3] Martínez C., Cao D. "Ihorizon-Enabled Energy Management for Electrified Vehicles", 2019 Elsevier Inc. ISBN 978-0-12-815010-8 p.77-82

[4] Lopez-Santos O., Urrego-Aponte J., Tilaguy-Lezama S., Almansa-López J. "Control of the Bidirectional Buck-Boost Converter Operating in Boundary Conduction Mode to Provide Hold-Up Time Extension" Energies 2018, 11, 2560;

[5] Viswanatha V. Venkata Siva Reddy R. "Microcontroller based bidirectional buck-boost converter for photovoltaic power plant" // Journal of Electrical Systems and Information Technology Vol. 5, Issue 3, December 2018, p.745-758

[6] Lešo M., Žilková J., Biroš M., Talian P. "Survey of control methods for DC-DC converters" // Acta Electrotechnica et Informatica, Vol. 18, No. 3, 2018, p.41-46

[7] Martinez-Salamero M., Calvente J., Giral R., Poveda A., Fossas E. "Analysis of a Bidirectional Coupled-Inductor Cuk Converter Operating in Sliding Mode" // IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications Vol. 45, No. 4, Apr 1998 ISSN: 1057-7122 p.355 - 363

[8] Lin C., Hung H., Li J. "Active Control of Regenerative Brake for Electric Vehicles" // Actuators 2018, 7, 84. Actuators 2018, 7(4), 84;

[9] Saleh M., Esa Y., Mhandi Y., Brandauer W., Mohamed A. "Design and implementation of CCNY DC microgrid testbed," "Design and implementation of CCNY DC microgrid testbed," // 2016 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Portland, OR, 2016, pp. 1-7.