

## КЛАСИФИКАЦИЯ И СТРАТЕГИИ НА МЕТОДИТЕ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ЕНЕРГИЙНИТЕ ПОТОЦИ В ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ТРАНСПОРТНИ СРЕДСТВА

**Гергана Вачева, Николай Хинов**

*Технически университет София*

*Факултет по електронна техника и технологии*

## CLASSIFICATION AND STRATEGIES OF THE METHODS FOR CONTROL OF ENERGY FLOWS IN ELECTRIC VEHICLES

**Gergana Vacheva, Nikolay Hinov**

*Technical University of Sofia,*

*Faculty of electronic engineering and technologies*

### Abstract

*In the current paper an overview of a methods for control of energy flows in electric vehicles is proposed. The main advantages and disadvantages are presented and discussed.*

**Keywords:** electric vehicles, energy flows, control methods.

### ВЪВЕДЕНИЕ

С нарастването на интереса към проучванията свързани с електрическите транспортни средства (ЕТС), интересна теми за обсъждане са методите и стратегиите за управление на енергийните потоци [9-11]. При многобройните разработени модели,

най-често за източници на енергия се използват батерия и суперкондензатор. Разработените методи за управление могат да бъдат разделени на две основни категории: стратегии основани на правила и стратегии основани на оптимизация.



**Фиг. 1.** Стратегии за управление на енергийни потоци в ЕТС

Стратегиите основани на правилата имат свойството да предлагат едно реализуемо решение. Правилата могат да бъдат детерминирани или недетерминирани. При детерминирани може да има само един преход от дадено състояние. Те се дефинират в зависимост от анализа на системите за управление. Докато при недетерминирани са възможни няколко различни прехода и при тях може да се използва разнородна логика или невронни мрежи. Този тип стратегии основани на правила имат предимството да бъдат по-лесно приложими в реално време. Въпреки това получените резултати не са достатъчно оптимални.

Стратегиите основани на оптимизацията се разделят основно на два типа: такива използващи глобална оптимизация и такива използващи приложима оптимизация в реално време. Стратегията използваща глобална оптимизация се основава на една или повече цели за минимизиране, например минимизацията на загубите в електрическото превозно средство. В този случай се използват функции, които се намаляват чрез множители на Лагранж и Хамилтониян.

## **СТРАТЕГИИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ЕНЕРГИЙНИТЕ ПОТОЦИ В ЕТС**

С все по-голямото използване на ЕТС и с цел подобряване на енергийната ефективност темата за управление на енергийните потоци намира все по-голям интерес за научни работници и индустриални предприемачи [10-14]. С увеличеното използване на хибридни електромобили се появяват и многобройни стратегии за оптимизация на използваната мощност между първичният източник на енергия (двигател с вътрешно горене) и елемента за съхранение на енергия. Представени са няколко основни стратегии при хибридните електромобили, които могат да се прилагат в различни случаи категоризирани в показаната фигура 1.

### *1. Стратегия основана на правила*

Тази категория от стратегии позволява ефикасен метод за разпределение на мощността и управление на енергийните потоци в реално време. Правилата за

управление са определени въз основа на математични модели или оценката им, в този случай не е необходимо познаването на профила на мощността и цикъла на движение. Тези правила могат да бъдат дефинирани във връзка с една и повече цели и се установяват чрез детерминистичен подход.

### *Детерминистичен подход*

Правилата са поставени в пряка връзка с целта и това е стратегия лесна за управление. В този случай се споменава метода „Термостат“ [3], използван за управлението на енергийните потоци на ЕТС, захранени от горивна клетка и батерия свързани паралелно. Целта на използвания метод е да се намали консумацията на водород. За тази цел батерията трябва да функционира в оптимален режим на работа, за да се използва за заряд и да поддържа състоянието на заряд между две гранични стойности.

Друг често използван метод е „Следене на мощността“, използван при хибридните автомобили Toyota PRIUS и Honda Insight. При него се взема предвид скоростта на превозното средство, като се подпомага акумулаторната батерия, чрез използването на режим на работа „Charge Sustaining“. При ниски скорости, автомобилът се захранва от електромеханичният преобразувател и двигателя с вътрешно горене може да работи извън оптималните граници на к.п.д.

### *2. Стратегии основани на оптимизацията*

При тези стратегии основните цели като разхода на гориво, вредните емисии на въглероден диоксид, състоянието на заряд на батериите при хибридни автомобили, се представят чрез математични уравнения и физични ограничения. Минимизирането на тези функции включва търсенето на оптимални препратки. Те се разделят на две основни категории:

### *Оптимизация в реално време*

Оптимизацията в реално време позволява текущото управление на енергийните потоци без изискване за предварително изучаване на профила на пътя. Недостатък на

представеното решение е минимизирането на някои от зададените критерии. Представени са примерни алгоритми съдържащи прогнозиращ модел на условията за управление на автомобила. Един от тях е разработен, за да следи състоянието на заряд на батерията и оптимизацията на разхода на гориво на ЕТС. Друг използван метод е базиран на адаптивен алгоритъм. В този случай се използва функция, която пресмята еквивалента на презареждане на батерията спрямо консумацията на гориво. Общото потребление е равно на сумата от потреблението на даденото ЕТС, предоставено от двигателя с вътрешно горене и еквивалента му набавен от електрическата машина. При този метод не се изисква прогнозиращ модел, но оценката на глобалното потребление не е толкова точна.

### Глобална оптимизация

Използването на този подход изисква познаване на профила на шофиране и не е приложим в реално време (on-line). Дадения метод позволява съществуването на оптимално решение и позволява управлението на няколко критерия за оптимизация. Неговата комплексност прави реализацията му в реално време почти невъзможна, но въпреки това е полезна за адаптирането на други стратегии за управление. Изследвана е система съдържаща батерия и суперкондензатор за захранването на градско ЕТС. Разработени са два подхода за програмиране: първият е детерминиращото динамично програмиране за оптимизиране на оразмеряването на елементите на източника, а второто е стохастично динамично програмиране за управление на мощността.

## МЕТОДИ ЗА ОПТИМАЛНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЕТС

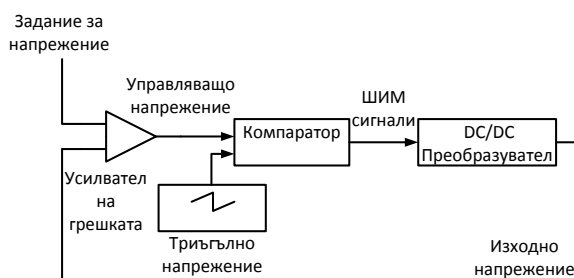
Постояннотоковия преобразувател е необходимо да осигурява регулирано постоянно напрежение на изхода при променлив товар и входно напрежение. Стойностите на елементите също могат да се променят с промяна на времето, температурата и др. външни фактори. Въпреки това управлението на изходното

напрежение трябва да бъде реализирано чрез отрицателна обратна връзка. Два основни метода за управление на този тип преобразуватели чрез широчинно-импулсна модулация (ШИМ) са управление по напрежение и ток и са представени респективно на Фигури 2. и 3.

### 1. Управление по напрежение

При метода за управление по напрежение показан на Фигура 2, изходното напрежение на преобразувателя отчетено и извадено от външно задание за напрежение в усилвател на грешката. Блокът, който представлява грешката произвежда сигнал за управляемо напрежение, който се сравнява с триъгълно напрежение с константна амплитуда. Компаратора създава ШИМ сигнали, които са захранени да управляват ключовете в постояннотоковия преобразувател. Коефициентът на запълване зависи от стойността на управляваното напрежение. Честотата на ШИМ сигналите е със същата честота като на триъгълното напрежение. Важно предимство при този тип управление е опростената хардуерна реализация и гъвкавост.

Блокът усилвател на грешката реагира бързо на промени в изходното напрежение. Поради тези причини управлението по напрежение осигурява добро регулиране на товара и управление при изменения в него. Регулирането против изменения във входното напрежение (line regulation) може да се забави поради това, че първо трябва да се регулира изходното напрежение и след това входното. За избягване на този проблем в схемата за управление по напрежение се добавя така нареченото „feedforward path“. То влияе директно на коефициента на запълване на ШИМ, спрямо входното напрежение.

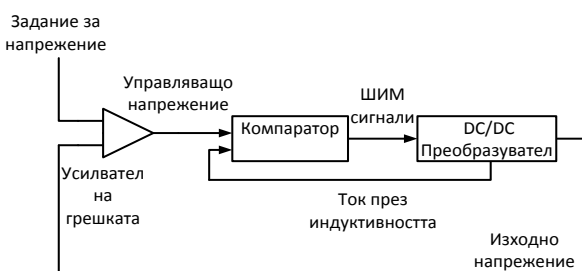


Фиг.2. Блокова схема на управление по напрежение

## 2. Управление по ток

На Фигура 3. е представена блоковата схема представляваща управлението по ток. Добавен е допълнителен вътрешен контур представляващ сигнала на тока през индуктивността. Токовия сигнал преобразуван в неговия аналог на напрежение се сравнява с управляващото напрежение. Тази модификация със замяната на триъгълното напрежение с токовия сигнал значително променя динамичното поведение на преобразувателя. Преобразувателят отчита някои от характеристиките на токовия източник. Изходния ток в преобразувателя е равен на средната стойност на тока през индуктора или може да се разглежда като произведение от средната стойност на изходния ток и коефициента на запълване. В практическите приложения с токовото управление е възможно да се отчитат пиковете на тока през индуктора вместо неговата средна стойност.

Някои от предимствата на използването на метода за управление по ток са: ограничение на пиковете на тока при превключване и намаляване на реда на уравненията в динамиката на преобразувателя. Един от основните недостатъци на този тип управление е сложния хардуер, при който е необходимо да се компенсира управлението на напрежението чрез стъпков сигнал, за да се избегне неустойчивостта на преобразувателя.



Фиг.3. Блокова схема на управление по ток

Динамичните характеристики на затворената система на постояннотоковите двупосочни преобразуватели трябва да изпълняват определени изисквания. За опростяване на анализа, тези изисквания обикновено се привеждат към желаните параметри на отворената система. Тя трябва

да осигурява фазово ограничение за стабилност (phase margin for stability), висока пропускателна способност (около една десета от превключващата честота) за подобър преходен процес при ниски честоти.

Динамичните характеристики при отворена система са моделирани чрез компенсиране на пасивните елементи около усилвателя на грешката. Обикновено се използват RC групи от втори и трети ред. Тъй като, преобразувателя също е част от система за управление, изчисляването на компенсиращите елементи изисква познания на характеристиките на преобразувателя. Съществуват няколко метода за определяне на ШИМ управлявани постояннотокови преобразуватели. Най-използваният от тях е да се реализира осреднен модел на преобразувателя приемайки, че превключващата честота е висока. По този начин този тип модели са линеаризирани около работната точка, за получаване на предавателна функция.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базата на това проучване не може да се открие най-ефективния метод от представените. Използването на модерните методи като размита логика и невронни мрежи е оправдано да се използват в някои случаи, но те са реализирани с по-сложни алгоритми и изискват по-голяма изчислителна мощност, разработен софтуер и хардуер.

Също така, класическите методи като управление по ток и напрежение с пропорционално-интегрални регулатори намират приложение когато се търси по-ниска цена и по-голяма надеждност при изпълнение на зададените ограничения. Предизвикателството пред конструкторите е да се намери подходящ метод от широка гама, съобразен с изискванията предоставени на пазара.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Извършеното изследване се реализира в рамките на проекта "Оптимално управление на енергийните потоци в електрически транспортни средства посредством изкуствен интелект", договор

## REFERENCE

- [1] Cheng, Y.; Chen, K.; Chan, C.C.; Bouscayrol, A.; Cui, S. "Global Modelling and Control Strategy Simulation for a Hybrid Electric Vehicle Using Electrical Variable Transmission", In Proceedings of IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Harbin, China, September 2008.
- [2] M. Lešo, J. Žilková, M. Biroš, P. Talian, "Survey of control methods for dc-dc converters", *Acta Electrotechnica et Informatica*, Vol. 18, No. 3, 2018, 41–46, DOI: 10.15546/aei-2018-0024.
- [3] O. Fatih Kececioglu, H.Acikgoz, A. Gani, M. Sekkeli, "Experimental Investigation on Buck Converter Using Neuro – Fuzzy Controller", DOI: <https://doi.org/10.18201/ijisae.2019751245>
- [4] S. Singh, D. Fulwani, ve V. Kumar, "Robust sliding-mode control of dc/dc boost converter feeding a constant power load ", *IET Power Electronics*, vol. 8, no. 7, pp. 1230–1237, July 2015.
- [5] R.Coteli, H.Acikgoz, F. Ucar, B. Dandil. "Design and implementation of type-2 fuzzy neural system controller for PWM rectifiers", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol.42, no.32, pp.20759-20771, August 2017.
- [6] H.Acikgoz, G.Kale, O.F.Kececioglu, A.Gani, M. Sekkeli, "Performance analysis and design of robust controller for PWM rectifier," presented at the 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), Bursa, Turkey, Nov.26-28, 2015.
- [7] A.Koca, H. F. Oztop, Y. Varol, G.O.Koca, "Estimation of solar radiation using artificial neural networks with different input parameters for Mediterranean region of Anatolia in Turkey," *Expert Systems with Applications*. vol.38, no.7, pp.8756-8762, July 2011.
- [8] G. Hua, C.S. Leu, Y. Jiang, and F.C.Y. Lee " Novel Zero-Voltage-Transition PWM Converters", *IEEE Trans. on Power Electron.*, vol. 9, no. 2, pp. 213-219, 1994.
- [9] E. Schaltz, "Electrical Vehicle Design and Modeling", *Electric Vehicles - Modelling and Simulations* (1 ed., Chapter 1, pp. 1-24).
- [10] S. Kumar, N. Ravishanker Reddy and K. Lokeswara Rao, "A Closed Loop Control of Three Phase Dual-Switch Buck-Boost Converter", (*International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques*
- [11] Consoli, A., Musumeci, S., Raciti, A., and Testa, A. A. 1994, "Sensorless vector and speed control of brushless motor drives", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. IE-41, Issue 1, pp. 91–96.
- [12] H.-T. Moon, H.-S. Kim, and M.-J. Youn, "A discrete-time predictive current control for PMSM", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 18, no. 1, pp. 464–472, January 2003.
- [13] H. Le-Huy, K. Slimani, and P. Viarouge, "Analysis and implementation of a real-time predictive current controller for permanent-magnet synchronous servo drives", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 41, no. 1, pp. 110–117, February 1994.
- [14] C. French and P. Acarnley, "Direct torque control of permanent magnet drives", *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 32, no. 5, pp. 1080–1088, September/October 1996.
- [15] Hasan Alipour, Behzad Asaei, Ghias Farivar, "Fuzzy Logic Based Power Management Strategy for Plug-in Hybrid Electric Vehicles with Parallel Configuration", *School of Electrical & Computer Engineering, College of Engineering, University of Tehran*.