

Физичен и математичен модел на постояннотоков двигател с постоянни магнити за приложение в електротранспортни средства

Гергана 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 е представен математичен и физичен модел с цел изследване на различни динамични режими на работа с приложение в електротранспортните средства. Постояннотоковите двигатели с постоянни магнити в ротора намират широко използване в индустриалните и мехатронните технологии, поради тяхната висока ефективност, малогабаритност и висок въртящ момент. Направено е описание на конструкцията на физичния модел. Чрез реализираните модели в лабораторна среда лесно могат да бъдат направени различни типове изследвания. Разработените модели могат да бъдат използвани за изучаване на свойствата и работата на електротранспортни средства, нано системи, интелигентни товари и др.

Physical and mathematical model of DC motor with permanent magnet with application in electric vehicles (Gergana Vacheva). Within the currently represented work is exposed a mathematical and physical model aiming towards the scientific research of various dynamical work modes with application in the electric vehicles. The synchronous machines with permanent magnets inside the rotor are an object of higher attention of usage in the industrial and mechatronics technologies owing to their high efficiency, decreased physical size and a high torque. Description of the construction of the physical model is manufactured. Due to the achieved in a laboratorial environment model the realization of multiple diverse types of researches is highly facilitated. The provided invention could be utilized for studying of the features and the performance of electric vehicles, nanosystems, smart loads etc.

Увод

С развитието на модерните технологии и с цел опазване на околната среда все по-голямо търсене намират електротранспортните средства (ЕТС). Поради характера на изследвания обект и тежестта на последствията в случай на неблагоприятно развитие на режимите на работа, натурните изпитвания в експлоатационни условия не са приложими [1, 2]. Това налага изследванията да се провеждат с помощта на модели, представящи характерните свойства на елементите и връзките помежду им. Поради тази причина е създаден физичен модел, с помощта на който в безопасни условия да се симулира и изпитат динамичните режими на работа на ЕТС.

Методология

Прието е представянето на реалните физически обекти да се осъществява с помощта на описателни, физически и/или математически модели [6, 7].

Описателните модели дават най-обща представа за съдържанието и същността на дадения проблем. По този начин лесно може да бъдат анализирани.

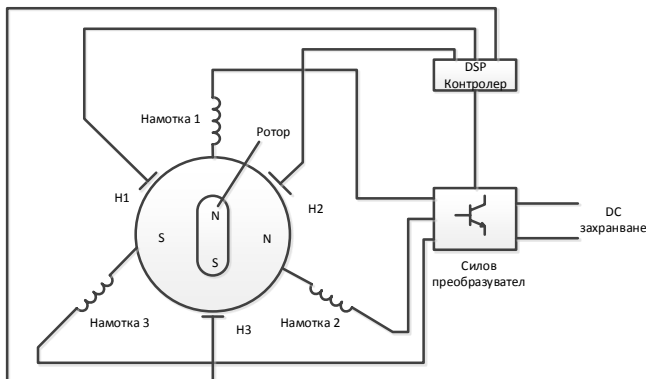
Математическите модели могат да опишат действителните физически обекти с математични описания и алгоритми. Понастоящем са получили най-широко разпространение, поради безспорните им предимства по отношение на приложимостта им при структурни подходи за анализ на системи с голям брой, различни по вид елементи, липсата на пространствено-времеви ограничения, икономическата си ефективност, бързината,

лекотата, удобствата при представяне на получените резултати и др.

Физическите модели заменят процесите в действителните физически обекти с експерименти, които се провеждат върху специализирани умалени обекти в лабораторна среда. Тези модели са ограничени в пространството, времето, свързаността си, способността си да осигурят подобие и др., но имат същественото предимство, че са непосредствени и представят по достъпен и нагледен начин процесите в действителните физически обекти и системи.

Математичен модел на постояннотоков двигател с постоянни магнити

Постояннотоковите двигатели с постоянни магнити са широко използвани в приложения изискващи регулируема скорост, често пускане, спиране и обратен ход. Те са широко разпространени поради спецификата на тяхната конструкция и сравнително лесно управление [1, 5, 6]. На Фиг.1. е показана схема на постояннотоков двигател с постоянни магнити състоящ се от DSP контролер за отчитане на позицията на ротора, чрез сензорите Н1, Н2 и Н3, които подават сигнал за управление на силовия електронен преобразувател. По този начин се регулира скоростта и въртящият момент на машината.

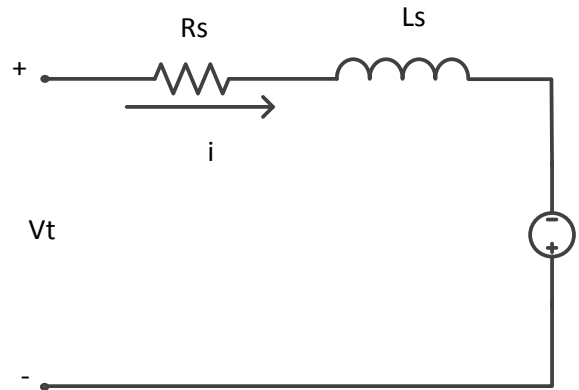


Фиг.1. Постояннотоков двигател с постоянни магнити

На Фиг.2. е представена еквивалентната схема на постояннотокия двигател и уравненията (1) и (2) описващи работата му.

$$(1) \quad R_s i(t) + L_s \frac{di(t)}{dt} + C_e \omega(t) = V(t),$$

$$(2) \quad J \frac{d\omega(t)}{dt} = C_m i(t) - M_c(t)$$



Фиг.2. Еквивалентна схема на постояннотоков двигател

Където R_s е съпротивлението на котвата на двигателя, L_s е индуктивността на двигателя, C_e е константа, ω е ъгловата скорост, J е инерцията, C_m е константа и M_c е съпротивителен момент.

Разработен е математичен модел за изследване динамични режими (потегляне, установяване на зададена скорост и спиране) на работата на електротранспортно средство. Предложеното решение може да бъде реализирано в различни среди за визуално програмиране като Matlab/Simulink и LabVIEW [8-11]. Програмните среди позволяват използването на хардуерни продукти с цел изпитването на математичният модел и синхронизирането му с физичния.

Той може да бъде описан със следните

уравнения: (3)
$$\frac{dv(t)}{dt} = \frac{F_w - F_{tr} - F_a}{m},$$

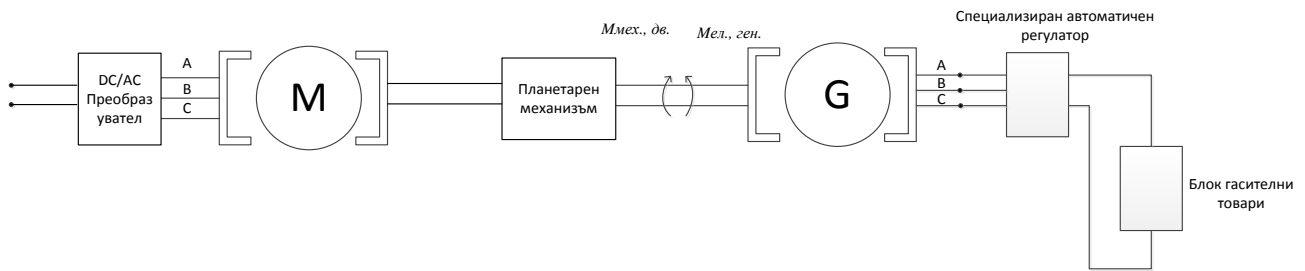
където (4)
$$F_w = M_w / r,$$

(5)
$$F_{tr} = m * fr * g,$$

(6)
$$F_a = 0.5 * \rho * K_a * S * v^2,$$

където F_a е силата на аеродинамичното съпротивление, F_{tr} е силата на съпротивлението с пътната настилка, F_w е силата на колелото, M_w е момента на колелото, r е радиуса на колелото, m е масата на автомобила, fr е коефициент на триенето с пътя, g е земното притегляне, ρ е плътността на въздуха, K_a е коефициент на аеродинамично съпротивление, S е площта на автомобила, v е скоростта на движение на автомобила.

Анализа на двигателя е основан на дадените предположения: двигателя не е наситен, статорните съпротивления на всички намотки са равни и самостоятелно и взаимно индуктивностите са постоянни, силовите ключове



Фиг.3. Блокова схема на физичния модел

в инвертора са идеални и загубите са незначителни. На базата на този тип двигатели е окомплектован физичен модел за изследване на динамични режими на работа в електротранспортни средства.

Реализация

Физичният модел се състои от два броя постояннотокови машини с постоянни магнити в ротора, работно напрежение $U=48\text{ V}$, номинална мощност $P=500\text{ W}$, номинални обороти 2800 за мин. и планетарен механизъм. Двигателите са трифазни и имат възможност да работят в два режима двигателен и генераторен.

С цел тяхното управление е конфигуриран специализиран автоматичен регулатор на мощност и напрежение състоящ се от контролер за управление, силови електронни ключове и гасителни съпротивления. При задаване на натоварване от пътя се изменя външното съпротивление във веригата на трифазната синхронна машина работеща в генераторен режим. По този начин се регулира консумираната мощност от вала на куплирания двигател с постоянни магнити. На Фиг.3. е представена блокова схема на експерименталния стенд. На нея са включени двете постояннотокови машини (M) и (G), специализирания автоматичен регулатор, DC/AC преобразувател, планетарен механизъм и блок гасителни съпротивления.

Използвани са следните уравнения описващи обратимостта на работата на физичния модел:

$$(7) \quad M_{\text{мех.,дв.}} = M_{\text{ел.,ген.}}$$

$$(8) \quad P_{\text{мех.,дв.}} = P_{\text{ел.,ген.}}$$

Където $M_{\text{мех.,дв.}}$ е механичният момент на двигателя, а $M_{\text{ел.,ген.}}$ е електрическият момент на генератора. Съответно $P_{\text{мех.,дв.}}$, $P_{\text{ел.,ген.}}$ са съответно загубите в двигателя и генератора.

На Фиг.4. и Фиг.5. са показани снимки на реализираните физични модел.



Фиг.4. Снимка на физичния модел



Фиг.5. Снимка на физичния модел

Функционални възможности на физичния модел

Чрез представения физичен модел могат да бъдат реализирани следните режими на работа:

- двигателен режим;
- режим на рекулперация;
- динамично изменение на натоварването;
- реверсиране.

Физичният модел позволява изследването на двигателни режими на работа при различни натоварвания в зависимост от профила на пътя, масата на електротранспортното средство и съпротивленията, изследване на режим на динамично спиране. Чрез реализирането на този модел се създава възможност за изпитване на

различни силови електронни преобразуватели за рекуперация на енергия.

Заклучение

Разработен е математичен модел на постояннотоков двигател с постоянни магнити, който може да бъде реализиран чрез различни програмни среди като MATLAB/Simulink и Lab VIEW. Предложена е нова конструкция на физичен модел за изследване на динамични режими на електротранспортно средство. Изработеното решение позволява широк обхват на експериментални изследвания при различни съпротивления с помощта на един и същ физичен модел. Той може да намери широко приложение при разглеждане на динамичните режими на работа поради своята гъвкавост, удобство и многофункционалност. В бъдещи изследвания се предвижда работа на физичния модел конфигурирана чрез инструменти за програмиране като LabVIEW.

Благодарности

Авторите изказват своите благодарности на НИС при ТУ-София и фирма РИС ЕЛЕКТРО ООД за предоставеното оборудване за реализиране на настоящия проект.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Sebastien E. Gay, Ali Emadi, Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: : fundamentals, theory, and design, ISBN 0-8493-3154-4

[2] Muneeb Ahmad, P.D.Debre, Analysis of permanent magnet synchronous motor under different operating condition using vector controlled in MATLAB, international journal of innovative research in electrical, electronics, instrumentation and control engineering Vol. 1, Issue 4, July 2013

[3] N. Mohan, Electric Machines and Drives: A First Course, Wiley, hoboken, NJ, 2011. <http://www.wiley.com/college/mohan>

[4] www.riselektro.com

[5] R. Krishnan, "Electric Motor Drives Modelling, Analysis and Control", Prentice Hall, 2001.

[6] Siva Gangadhara RaoVenna, Sneha Vattikonda, Sravani Mandarapu, Mathematical modeling and simulation of permanent magnet synchronous motor, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics

and Instrumentation Engineering (An ISO 3297: 2007 Certified Organization), Vol. 2, Issue 8, August 2013

[7] C. Mademlis and N. Margaris, "Loss minimization in vector-controlled interior permanent-magnet synchronous motor drives," Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol. 49, pp. 1344-1347, 2002.

[8] G. Pellegrino, A. Vagati, B. Boazzo, and P. Guglielmi, "Comparison of induction and PM synchronous motor drives for EV application including design examples," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 48, no. 6, pp. 2322-2332, 2012.

[9] S. V. Paturca, M. Covrig, and L. Melcescu, "direct torque control of permanent magnet synchronous motor (PMSM) – an approach by using space vector modulation (SVM)," Control Decis. Conf., pp. 1450-1453, 2010.

[10] Pillay, P. and R. Krishnan, 1989. Modeling, simulation and analysis of permanent-magnet motor drives. I. The permanent-magnet synchronous motor drive. IEEE Trans. Industry Appli., 25: 265-273. DOI:10.1109/28.25541

[11] Ogata, K., 2010. Modern Control Engineering. 5th Edn., Prentice-Hall, Boston, ISBN-10: 9780136156734, pp: 894.L. Harnefors, "Design and analysis of general rotor-flux oriented vector control systems," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 48, pp. 383-389, Apr. 2001.

[12] Baik, I. C., Kim, K. H. and Young, M. J. Robust nonlinear speed control of PM synchronous motor using boundary layer integral sliding mode control technique. IEEE Transactions on Control Systems Technology [J], 2000, 8(1): 47-54.

[13] Marian K. Kazimierczuk, Pulse width Modulated Converters, Wright State University Dayton, Ohio, USA 2008.

[14] J. Rodrguez, J. Pontt, C. Silva, etc. Predictive Current control of a voltage source inverter[J], IEEE Transaction Industry Electronics,2007,54:495-503