



کنترل بدون سنسور موتور جریان مستقیم بدون جاروبک در سرعت های پایین با استفاده از شبکه عصبی

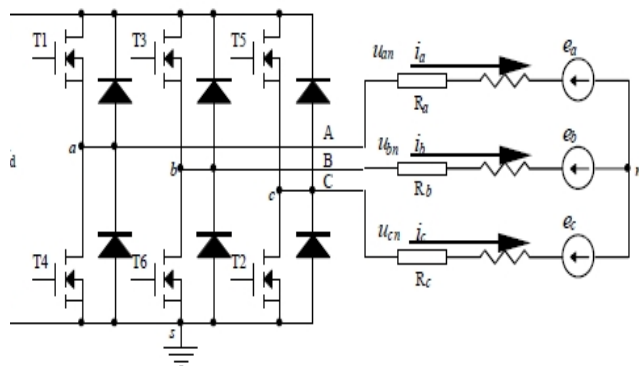
محمد نسیم افزا¹ و ابوالفضل حلوائی نیاسر²

¹دانشگاه کاشان، دانشکده مهندسی، mohammad.nasimafza@gmail.com

²دانشگاه کاشان، دانشکده مهندسی، halvaei@kashanu.ac.ir

چکیده - در این مقاله یک روش کنترل بدون سنسور موتور جریان مستقیم بدون جاروبک (BLDC) ارائه شده است. متفاوت با روش های دیگر، این روش بر مبنای تشخیص عبور از صفر ولتاژ ضد محرکه است که متناظر با نقاط کموتاسیون است. برای افزایش دقت و توانایی این روش، از یک شبکه عصبی جهت تخمین ولتاژ ضد محرکه خط با استفاده از اندازه گیری ولتاژ و جریان استاتور استفاده شده است. در این مقاله یک شبیه سازی کامل از روش ذکر شده جهت نشان دادن کارایی آن ارائه شده است. کلید واژه- موتور جریان مستقیم بدون جاروبک، بدون سنسور، شبکه های عصبی، ولتاژ ضد محرکه.

BLDC، تشخیص ولتاژ ضد محرکه یک فاز بدون استفاده است. هر چند این روش خود نیازمند یک نقطه ولتاژ خنثی است که خود باعث افزایش خطا می شود. روش انتگرال ولتاژ ضد محرکه و انتگرال ولتاژ هارمونیک سوم دارای مزیت کاهش حساسیت نویز سوئیچ زنی است، اما این روش نیز دارای مشکل کمی دقت در سرعت های پایین است. روش تخمین شار نیازی به نقطه ولتاژ خنثی ندارد، اما دارای پیچیدگی و زمان اجرای بالا می باشد. در مجموع، این روش ها دارای بازه سرعت محدود و مشخصه های راه اندازی محدودی هستند. برای رفع این مشکلات یک روش جدید مبتنی بر ولتاژ ضد محرکه خط در این مقاله ارائه شده است.



شکل 1: مدار معادل موتورهای BLDC

1- مقدمه

موتور جریان مستقیم بدون جاروبک موتوری است که با توجه به راندمان بالا و توان مناسب، کاربرد زیادی در صنایع و مصارف خانگی پیدا کرده است. اگرچه هنوز مشکلاتی در مورد موقعیت قرار گرفتن سنسورها برای کموتاسیون مناسب را با خود به همراه دارد.

برای رفع مشکل جایگاه سنسورها، روش های کنترل بدون سنسور زیادی در دو دهه اخیر به کار گرفته شده اند، اما این روش ها هنوز دارای مشکل عدم دقت در سرعت های پایین هستند.

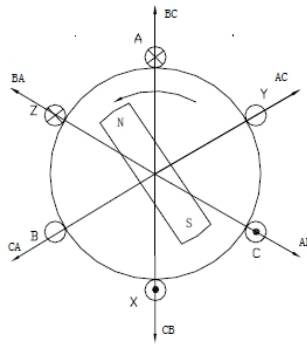
در این مقاله رابطه بین لحظه عبور از صفر ولتاژ ضد محرکه و نقاط کموتاسیون ارائه می شود. بر پایه این ارتباط، یک روش جدید کنترل بدون سنسور معرفی می گردد که بصورت تخمین مداوم ولتاژ ضد محرکه کار می کند. یک شبکه عصبی جهت تخمین ولتاژ ضد محرکه تنها با استفاده از اندازه گیری ولتاژ و جریان خط استاتور به کار گرفته شده است. این روش در محدوده سرعت های بیشتری کاربرد دارد.

2- روش کنترل بدون سنسور

یکی از مفیدترین روش های کنترل بدون سنسور موتورهای



1-2- مدل سازی موتور BLDC



شکل 2: نمای پایه ی موتور BLDC

$$T_{eCA} = \frac{(e_c - e_a)i}{\Omega} \quad (4)$$

$$i = i_c = -i_a$$

بعد از کموتاسیون، گشتاور الکترومغناطیسی عبارتست از :

$$T_{eCB} = \frac{(e_c - e_b)i}{\Omega} \quad (5)$$

$$i = i_c = -i_b$$

همانطور که از معادلات الکتریکی موتور برداشت می شود، در طول مدت کموتاسیون، گشتاور T_{eCB} افزایش، و گشتاور T_{eCA} کاهش می یابد. بنابراین به محض اینکه $T_{eCB} - T_{eCA}$ بزرگتر از صفر شود، بزرگترین گشتاور متوسط الکترومغناطیسی بدست می آید.

$$T_{eCB} - T_{eCA} = \frac{(e_c - e_b)i - (e_c - e_a)i}{\Omega} = \frac{(e_a - e_b)i}{\Omega}$$

$$T_{eCB} - T_{eCA} = \frac{e_{ab}i}{\Omega}$$

که، e_{ac} ولتاژ ضد محرکه بین فاز A و C می باشد. این موضوع دلالت بر متناظر بودن نقاط عبور از صفر و نقاط کموتاسیون دارد. رابطه بین نقاط عبور از صفر ولتاژ ضد محرکه و نقاط کموتاسیون در جدول 1 آورده شده است. روش کنترل بدون سنسور موتور BLDC طبق کموتاسیون جدول 1 اجرا می شود.

مطابق با مدار معادل موتور BLDC نشان داده شده در شکل 1، معادلات دینامیکی موتور بصورت زیر بدست می آیند:

$$\begin{bmatrix} u_{an} \\ u_{bn} \\ u_{cn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L-M & 0 & 0 \\ 0 & L-M & 0 \\ 0 & 0 & L-M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$T_e = (e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c) / \Omega \quad (2)$$

$$J \frac{d\Omega}{dt} = T_e - T_L - T_0 \quad (3)$$

که $J, \Omega, T_0, T_L, T_e, M, L, R, e_a, i_a, U_{an}$ به ترتیب ولتاژ فاز A، جریان فاز A، واتاژ ضد محرکه A، مقاومت فاز، اندوکتانس خودی، اندوکتانس متقابل، گشتاور الکترومغناطیسی، گشتاور بار، گشتاور بلوکه، شتاب مکانیکی و ممان اینرسی می باشند.

2-2- ولتاژهای ضد محرکه و نقاط کموتاسیون

در شکل 2 یک نمونه موتور BLDC با کموتاسیون شش پله ای مشاهده می شود که جریان بطور همزمان در هر لحظه کموتاسیون در دو فاز جریان می یابد. بطور مثال زمانی که جریان در حالت CA باشد بعد از کموتاسیون به حالت CB می رود .

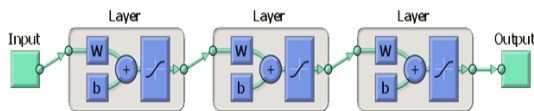


جائیکه:

$$i_{ab} = i_a - i_b, i_{ac} = i_a - i_c, i_{bc} = i_b - i_c$$

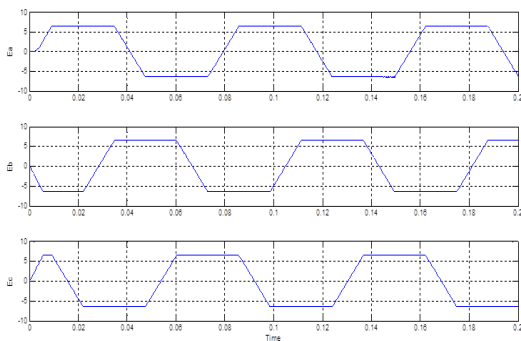
3- شبکه عصبی

در این مقاله از یک شبکه پس انتشار با پیشخورد که نمای آن در شکل زیر آمده است استفاده شده است. این شبکه دارای سه لایه است. بر حسب تجربه استفاده از 6 نرون در لایه اول با توجه به داشتن 6 ورودی جهت ایجاد 6 مرز مناسب است. برای لایه دوم نیز از 10 نرون استفاده شده است.



شکل 4: شبکه پس انتشار با پیشخورد

برای آموزش شبکه از مدل دینامیکی موتور BLDC در محیط SIMULINK استفاده شده است. در شکل 5 نیز ولتاژهای ضد محرکه مدل مورد نظر مشاهده می شوند. از این اطلاعات جهت آموزش شبکه استفاده شده است.



شکل 5: ولتاژهای ضد محرکه هر فاز استفاده شده جهت آموزش

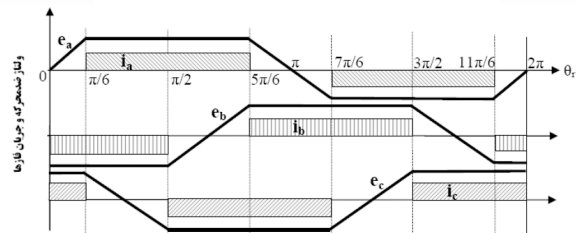
4- نتایج شبیه سازی

شبکه آموزش دیده شده در سرعت 450 دور بر دقیقه آزمایش شد که نتایج در شکل شماره 6 مشاهده می شود. همانطور که دیده می شود شبکه مورد نظر به خوبی ولتاژهای ضد محرکه را تولید کرده است. در شکل زیر نتایج شبیه سازی

ولتاژ ضد محرکه خط			فازهایی که در آنها جریان جاری می شود جهت چرخش موتور ساعتگرد
Eab	Eac	Ebc	
مثبت	مثبت	مثبت	B, C
منفی	مثبت	مثبت	B, A
منفی	منفی	مثبت	C, A
منفی	منفی	منفی	C, B
مثبت	منفی	منفی	A, B
مثبت	مثبت	منفی	A, C
مثبت	مثبت	مثبت	B, C

جدول 1: رابطه بین ولتاژ ضد محرکه خط و نقاط کموتاسیون

در شکل زیر وضعیت ولتاژهای ضد محرکه و جریان های عبوری از فازها مشاهده می شود.



شکل 3: وضعیت ولتاژهای ضد محرکه و جریان عبوری از فازها

3-2- محاسبه ولتاژهای ضد محرکه خط

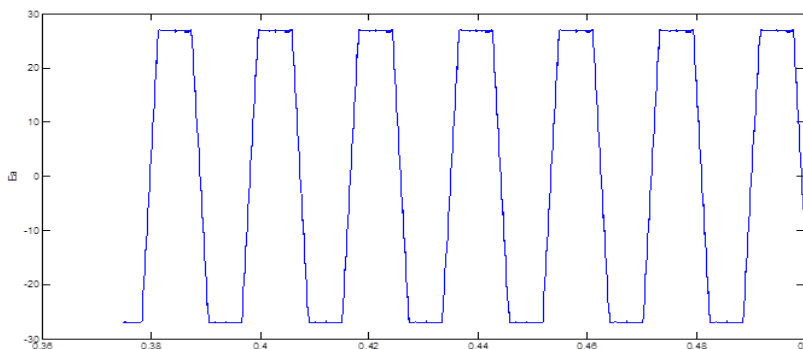
ولتاژ نول را می توان بوسیله ی ولتاژ فازها و ولتاژهای ضد محرکه محاسبه کرد:

$$u_{ns} = \frac{1}{3}((u_{as} + u_{bs} + u_{cs}) - (e_a + e_b + e_c)) \quad (7)$$

$$e_{ab} = u_{as} - u_{bs} - L \frac{di_{ab}}{dt} - Ri_{ab} \quad (8)$$

$$e_{ac} = u_{as} - u_{cs} - L \frac{di_{ac}}{dt} - Ri_{ac} \quad (9)$$

$$e_{bc} = u_{bs} - u_{cs} - L \frac{di_{bc}}{dt} - Ri_{bc} \quad (10)$$

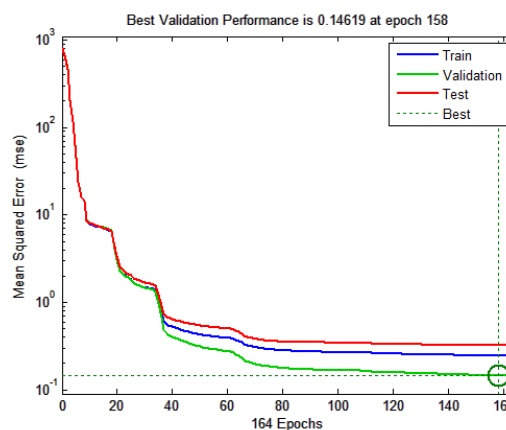


شکل 6: ولتاژ ضد محرکه فاز A تولید شده توسط شبکه عصبی در سرعت 450 دور بر دقیقه

آورده شده و مشاهده می شود که خطای سیستم بسیار کم است و شبکه به خوبی آموزش دیده شده است.

مراجع

- [1] K. Iizuka, H. Uzuhashi, M. Kano, T. Endo and K. Mohri, "Microcomputer control for sensorless brushless motor", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-21, No. 3, pp. 595-601, May-June 1985.
- [2] Yeo Hyeong-Gee, Hong Chang-Seok, Yoo Ji-Yoon, Jang Hyeon-Gil, Bae Yeong-Don and Park Yoon-Seo, "Sensorless drive for interior permanent magnet brushless DC motors", Proceeding of IEMDC1997 Conference, Milwaukee, pp. TD1 3.1-3.3, May 1997.
- [3] Jianwen Shao, Nolan. D. and Hopkins. T., "Improved direct back EMF detection for sensorless brushless DC (BLDC) motor drives", APEC2003 Conference, Miami Beach, Vol 1, pp. 300-305, Feb. 2003.
- [4] T. M. Jahns, R. C. Becerra, and M. Ehsani, "Integrated current regulation for a brushless ECM drive", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol 6, pp. 118-126, Jan. 1991.
- [5] J. Moreira, "Indirect sensing for rotor flux position of permanent magnet AC motors operating over a wide speed range", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol 32, No. 6, pp. 401-407, Nov.-Dec. 1996.
- [6] S. Ogasawara and H. Akagi, "An approach to position sensorless drive for brushless DC motors", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol 27, No. 5, pp. 928-933, Sept.-Oct. 1991.
- [7] N. Erugrul and P. Acarmley, "A new algorithm for sensorless operation of permanent magnet motors", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol 30, No. 1, pp. 126-133, Jan./Feb. 1994.



شکل 7: اطلاعات مربوط به دقت شبکه عصبی طراحی شده

5- نتیجه گیری

در این مقاله تلاش گردید تا ولتاژ ضد محرکه موتور BLDC بوسیله شبکه عصبی تخمین زده شود. در اینجا مهم ترین عامل جهت یک تخمین مناسب در اختیار داشتن دسته اطلاعات مناسب جهت شبیه سازی سیستم است که در این مقاله این اطلاعات از مدل دینامیکی موتور استخراج شد. با استفاده از شبکه عصبی دیگر نیازی به استفاده از سنسورهای اثر هال نیست و این امر موجب کاهش هزینه و رفع مشکلات قرار گیری آن ها در موقعیت مناسب می گردد. نتایج شبیه سازی به خوبی گویای دقت روش ذکر شده است.