

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ДИСКРЕТИЗАЦИИ НА ВЕЛИЧИНУ ПУЛЬСАЦИЙ ПРИ ПРЯМОМ УПРАВЛЕНИИ МОМЕНТОМ СИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

¹Завьялов В.М., ²Абд Эль Вхаб А. Р.

¹Кузбасский Государственный Технический Университет, Кемерово

Кемерово, Россия (650026, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, корпус 3) zaval@hotbox.ru

²Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет, Томск

Томск, Россия (634050, г. Томск, ул. Ленина, 30, ТПУ, ЭНИН, ЭПЭО) amrrefky@gmail.com

Проведен анализ факторов, влияющих на величину пульсаций электромагнитного момента синхронного двигателя с постоянными магнитами при прямом управлении моментом. Выявлено, что основное влияние на величину пульсаций электромагнитного момента оказывают время дискретизации системы управления, индуктивность обмотки статора и напряжение цепи постоянного тока инвертора. Показано, что основной причиной высоких пульсаций момента является относительно малая индуктивность обмотки статора. Предложена методика приблизительной количественной оценки уровня пульсаций на стадии проектирования системы управления для заданного времени дискретизации системы управления. Приведены сравнительные характеристики уровня пульсаций, полученные при помощи разработанной методики с результатами моделирования работы синхронного двигателя с постоянными магнитами при прямом управлении моментом для различного времени дискретизации, подтверждающие адекватность полученной расчетной методики.

Ключевые слова: пульсация электромагнитного момента, синхронный двигатель с постоянными магнитами, прямое управление моментом.

EFFECT OF SAMPLING TIME IN THE ELECTROMAGNETIC TORQUE PULSATIONS OF PERMANENT MAGNETS SYNCHRONOUS MOTOR WITH DIRECT TORQUE CONTROL

¹Zavialov V.M.¹, ²Abd El Whab A.P.¹

¹Kuzbass State Technical University, Kemerovo

Kemerovo, Russia (650 026, Kemerovo, 28 Venisya St., block 3) zaval@hotbox.ru

²National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Tomsk, Russia (634050, Tomsk, 30 Lenin str, TPU, ENIN, EPEO) amrrefky@gmail.com

The paper analyzed the factors influencing the magnitude of the electromagnetic torque ripple in the direct torque control of permanent magnet synchronous motors. Revealed that the main influence on the electromagnetic torque ripple have the sampling time of control system, the inductance of the stator winding and

the voltage of inverter DC link. It is shown that the main reason for the high torque ripple is relatively small inductance of the stator winding. Proposed the technique of quantitative determination of approximate ripple level at the design stage of control system for a given sampling time. Presents comparative characteristics of the ripple level, obtained by the developed technique and the results of simulation of permanent magnet synchronous motor in direct torque control for different sampling time, which confirm the adequacy of the obtained technique.

Key words: ripple of electromagnetic torque, permanent magnets synchronous motor, direct torque control.

Введение

Одним из преимуществ синхронных электродвигателей с постоянными магнитами является достаточно высокое быстродействие по сравнению с другими типами двигателей. Это обусловлено рядом причин, среди которых – отсутствие необходимости намагничивать ротор двигателя, малая электромагнитная инерционность обмоток статора, малый момент инерции. Для обеспечения максимального быстродействия со стороны системы управления таких электродвигателей, по аналогии с асинхронными электроприводами, предлагается использовать системы с прямым управлением моментом [1–3]. В тоже время, применение прямого управления моментом для СДПМ характеризуется высоким уровнем пульсаций момента, который напрямую зависит от времени дискретизации системы управления [3–5]. Произведем анализ причин пульсаций электромагнитного момента СДПМ при прямом управлении моментом, их связь с параметрами двигателя и рассмотрим возможность приблизительной оценки уровня пульсаций на стадии проектирования системы управления.

Максимально возможная величина изменения электромагнитного момента двигателя за период дискретизации системы управления будет при таких условиях, когда вектор напряжения имеет максимальную величину и направлен согласно с вектором ЭДС вращения. Напряжение, подводимое к обмоткам статора, за исключением падения напряжения на активном сопротивлении обмоток, будет уравниваться ЭДС, поэтому примем $U_1 \approx E_1$. В таком случае, при приложении постоянного напряжения к обмоткам двигателя, получим изменение тока статора до значения I_{1max} , как это показано на рис. 1.

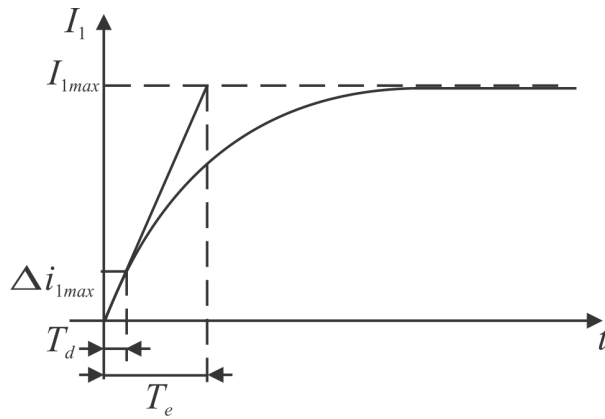


Рис. 1. Переходный процесс тока статора

Учитывая, что максимально возможное напряжение, подводимое к одной фазе двигателя при соединении обмоток звездой, как показано на рис. 2, будет составлять $U_{1\phi}=2/3U_d$, значение максимального тока, при условии сонаправленности вектора напряжения с вектором ЭДС, будет определяться зависимостью:

$$I_{1max} = \frac{2 U_d + E_1}{3 R_1} \approx \frac{4 U_d}{3 R_1},$$

где R_1 – активное сопротивление обмотки двигателя.

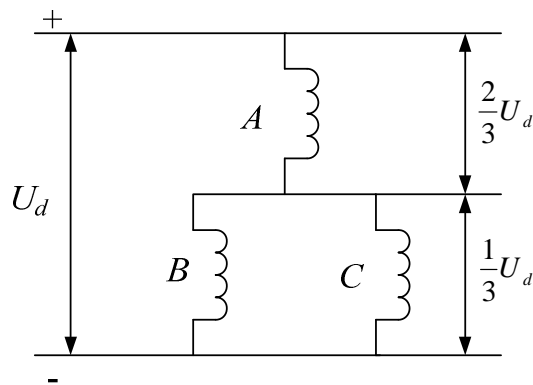


Рис. 2. Распределение напряжений между обмотками статора СДПМ

Учитывая, что за время дискретизации T_d ток изменяется в небольшом диапазоне относительно I_{1max} , определим максимально возможное изменение тока статора за время дискретизации, которое будет зависеть от электромагнитной инерционности обмотки двигателя и определяться зависимостью:

$$\Delta i_{1max} = I_{1max} \frac{T_d}{T_e} = \frac{4 U_d T_d}{3 R_1 T_e}, \quad (1)$$

где $T_e = \frac{L_1}{R_1}$ – электромагнитная постоянная времени обмотки статора; L_1 – индуктивность обмотки статора.

Предположим, что вектор тока статора направлен в плоскости перпендикулярно по отношению к линии, проходящей через полюса ротора. Тогда пульсации момента будут определяться в соответствии с зависимостью:

$$\Delta M_{max} = \frac{3}{2} P \Psi_2 \Delta I_{max},$$

где P – число пар полюсов, Ψ_2 – потокосцепление обмотки ротора.

Подставив в это уравнение выражение (1) и расписав постоянную времени через индуктивность и активное сопротивление, получим максимально возможное значение пульсаций момента за период дискретизации в виде:

$$\Delta M_{max} = 2P\Psi_2 \frac{U_d T_d}{L_l}. \quad (2)$$

В таблице 1 приведены величины пульсаций момента, рассчитанные по (2) для двигателя с параметрами: $R_l=0.55$ Ом, $L_l=0.00625$ Гн, $\Psi_2=0.1727$ Вб, $P=3$, а также полученные путем моделирования с системой прямого управления моментом.

Таблица 1

Максимальная величина пульсаций напряжения для различного времени дискретизации

T_d , мс	0,05	0,02	0,01
ΔM_{max} , % (расчет)	138,1	55,3	27,6
ΔM_{max} , % (моделирование)	100	56	34

Из таблицы видно, что максимальная величина пульсаций момента при времени дискретизации $T_d=0.02$ мс и $T_d=0.01$ мс превышает расчетное значение, но в тоже время находится в диапазоне двукратного расчетного значения. Детальный анализ результатов моделирования показал, что такая ситуация возникает в том случае, когда производная момента имеет один знак производной в течение двух периодов дискретизации. При этом, в течение одного периода дискретизации величина момента не успевает достигнуть заданное значение, в связи с чем, сохраняет знак производной в следующем периоде. Таким образом, используя уравнение (2) и зная параметры двигателя, задавшись допустимым уровнем пульсаций электромагнитного момента, можно приблизительно определить соответствующее ему время дискретизации.

Анализируя уравнение (2), можно сделать вывод, что при использовании алгоритмов управления, формирующих максимальный вектор напряжения, как, например, прямое управление моментом, невозможно добиться малых пульсаций электромагнитного момента. При

этом большие пульсации момента на низких частотах дискретизации вызваны конструктивной особенностью синхронных двигателей, обладающих низкой индуктивностью статора, величина которой, как видно из (2), обратно пропорциональна амплитуде пульсаций момента.

Таким образом, для уменьшения пульсаций электромагнитного момента необходимо либо использовать системы с ШИМ инвертором, позволяющие сократить время, в течение которого к обмотке прикладывается напряжение за счет формирования соответствующей скважности, либо повышать частоту дискретизации, при использовании систем управления, формирующих амплитуду вектора напряжения на предельных значениях.

Список литературы

1. Сравнительный анализ векторного управления и прямого управления моментом синхронного электродвигателя с постоянными магнитами / А. Абд Эль Вхаб [и др.]. – Известия ТПУ. – 2011 – Т. 319 – № 4. С. 93–99.
2. Ameer Fethi Aimer, Azzedine Bendiabdellah, Abdallah Miloudi, Cherif Mokhtar Application of Fuzzy Logic for a Ripple Reduction Strategy in DTC Scheme of a PWM Inverter fed Induction Motor Drives // Journal of electrical systems. – 2009. – № 3. – P. 13 – 17.
3. Batzel T.D., Lee K.Y. Commutation torque ripple minimization for permanent magnet synchronous machines with Hall effect position feedback // IEEE Trans. Energy Conversion. – 1998. – V. 13. – № 3. – P. 257 – 262.
4. Hussein F. E., Malik E. E. Improving the Torque Ripple in DTC of PMSM using Fuzzy Logic // IEEE. IAS 08. . – 2008. – P. 1 – 8.
5. Thomas J. Vyncke, Rene K. Boel and Jan A.A. Melkebeek. Direct Torque Control of Permanent Magnet Synchronous Motors – An Overview // 3RD IEEE Benelux Young Researchers Symposium in Electrical Power Engineering. 27–28 april 2006, Ghent, Belgium. – P. 1–5.

Рецензенты

1. Букреев В.Г., д.т.н., доктор технических наук, профессор кафедры электропривода и электрооборудования электроэнергетического института, Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет, г. Томск.
2. Лукутин Борис Владимирович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой электроснабжения промышленных предприятий электроэнергетического института, Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет, г. Томск.