Влияние дискретизации сигналов управления на автоматическое регулирование упреждения включения фаз вентильно-индукторных двигателей

08, август 2012

DOI: 10.7463/0812.0475551

Трунин Ю. В.

УДК 621.313.323

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

trunin812@mail.ru

Введение. В последние годы в работах, посвященных оптимизации вентильно-индукторных двигателей (ВИД), большое внимание уделяется алгоритмам коммутации фазных обмоток [1-4]. Предлагаются различные способы автоматической коррекции упреждения включения и отключения фазного напряжения. Одни позволяют увеличить развиваемый двигательный момент, другие снизить потребление фазного тока для широкого диапазона частот вращения ротора и нагрузки на валу ВИД.

Основными входными сигналами при реализации подобных алгоритмов являются: сигнал датчика положения ротора (ДПР) и сигнал датчика фазного тока (ДТ). В общем случае эти сигналы могут быть аналоговыми (непрерывно изменяющимися во времени) или дискретными. Однако даже при наличии подходящего аналогового датчика, как в случае с ДТ, системы управления в современном электроприводе, как правило, строятся на основе микроконтроллеров, при этом все используемые сигналы управления оцифровываются и становятся дискретными.

Таким образом, при реализации алгоритмов автоматического регулирования упреждения включения и отключения фаз ВИД будет иметь место временная дискретизация сигналов ДПР и ДТ. Известно, что даже при простых алгоритмах коммутации фаз ВИД непосредственно по командам

ДПР без автоматической коррекции упреждения включения и отключения фаз ВИД дискретизация по времени сигнала ДПР приводит к периодическим изменениям амплитуды фазного тока, а иногда и к возникновению бросков фазного тока [5]. Это вызвано тем, что при задержке сигнала ДПР по времени, фактически, происходит произвольное изменение упреждения включения и отключения фаз ВИД. Таким образом, очевидно, что при определенных соотношениях периода квантования сигнала ДПР и периода коммутации фазного напряжения может возникнуть неустойчивость процесса автоматического регулирования упреждения включения и отключения фаз ВИД. Аналогично и дискретизация сигнала ДТ может привести к установке ошибочного упреждения включения и отключения фаз ВИД и вызвать неустойчивость процесса их автоматического регулирования.

Метод исследования. Традиционный подход к анализу и синтезу дискретных систем основан на записи уравнений состояния системы в дискретной форме. В случае с ВИД записать уравнения, адекватно описывающие процесс коммутации его фаз, представляется весьма сложной задачей. При значительном упрощении нелинейных свойств ВИД получаемые уравнения не описывают с необходимой точностью связь между положением коммутации фазного напряжения ВИД и формой фазного тока [6]. Кроме того, для исследования устойчивости процесса автоматического регулирования упреждения включения фаз ВИД необходим анализ его поведения на большом числе циклов коммутации при различной настройке регуляторов системы управления. Поэтому такое исследование можно провести либо путем многочисленных экспериментов на реальном образце ВИД, либо при помощи расчетов на имитационной модели ВИД, адекватно описывающей форму фронтов и амплитуду фазных токов.

В этой работе исследования проводились на модели ВИД, учет нелинейных свойств которого осуществлялся за счет табличного задания моментных и токовых характеристик [6]. В качестве алгоритма коммутации фаз ВИД использовался алгоритм с автоматическим регулированием упреждения включения, обеспечивающий полное использование инвертора по установленной мощности [3].

На рисунке 1 представлена часть (подсистема) имитационной модели ВИД, которая использовалась для модельных исследований [7]. Эта подсистема воспроизводит процесс коммутации одной фазной обмотки с возможностью автоматического регулирования её упреждения включения и отключения. Блок «ИНВЕРТОР» по командам драйверов осуществляет включение, отключение и изменение полярности фазного напряжения. Блок «Контроллер коммутации» по сигналам датчиков ДПР и ДТ формирует сигнал, пропорциональный упреждению включения фазы.

Рисунок 1. Имитационная модель коммутатора фазной обмотки ВИД

Для моделирования дискретизации сигналов ДПР и ДТ в модель добавлены дискретные элементы «Z1» и «Z2», которые по сигналу внешнего задающего генератора осуществляют их квантование с заданным периодом $T_{\text{КВ}}$.

Результаты моделирования. Для упрощения анализа процесс автоматического регулирования упреждения включения фаз ВИД был исследован при различных значениях относительного периода коммутации $T_{\text{КОМ}}^*$, который представляет собой отношение периода коммутации фазного напряжения $T_{\text{КОМ}}$ и периода квантования $T_{\text{КВ}}$. Чтобы обеспечить

возникновение значительных временных задержек при коммутации фазного напряжения в ходе модельных исследований были заданы дробные значения величины $T_{\text{ком}}^* = 20,2; 40,2; 80,2$ и $100,2$. При такой дробности $T_{\text{ком}}^*$ наиболее ярко проявляется периодический характер изменения амплитуды фазных токов ВИД [5].

На рисунке 2 представлены результаты моделирования процесса автоматической коррекции $\gamma_{\text{вкл}}$ при дискретизации сигнала ДПР. Для обобщения результатов величина $\gamma_{\text{вкл}}$ представлена в процентах от $\gamma_{\text{рас}}$ (зоны рассогласования зубцов ротора и статора ВИД).

Исследование показало, что процесс автоматической коррекции величины $\gamma_{\text{вкл}}$ при дискретизации сигнала ДПР становится устойчивым, когда $T_{\text{ком}}^*$ достигает значения $100,2$. По мере уменьшения $T_{\text{ком}}^*$ процесс автоматической коррекции $\gamma_{\text{вкл}}$ приобретает колебательный характер с последовательным увеличением амплитуды колебаний $\gamma_{\text{вкл}}$ при изменении $T_{\text{ком}}^*$ от большего к меньшему значению (рисунок 2).

Рисунок 2. Регулирование $\gamma_{\text{вкл}}$ при дискретизации сигнала ДПР

Аналогично были проведены исследования при дискретизации сигнала ДТ, результаты которых представлены на рисунке 3. В отличие от

предыдущего случая дискретизация сигнала ДТ привела к ярко выраженной неустойчивости процесса автоматической коррекции $\gamma_{\text{вкл}}$. При $T_{\text{ком}}^*=20.2$ и 40.2 процесс автоматической коррекции $\gamma_{\text{вкл}}$ потерял устойчивость на 5 и 9 цикле коммутации, после чего величина $\gamma_{\text{вкл}}$ была ограничена системой управления при достижении максимально допустимого значения. Однако уже для $T_{\text{ком}}^*=80.2$ и более процесс автоматической коррекции $\gamma_{\text{вкл}}$ имел установившийся характер и влияние дискретизации сигнала ДТ практически не проявлялось.

Рис. 3. Регулирование $\gamma_{\text{вкл}}$ при дискретизации сигнала ДТ

Таким образом, установлено, что для обеспечения устойчивости процесса автоматического регулирования $\gamma_{\text{вкл}}$ необходимо, чтобы период квантования сигналов ДТ и ДПР был на два порядка меньше периода коммутации фазного напряжения ВИД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gribble J.J., Kjalder P.C., Cossar C., Miller T.J.E. Optimal commutation angles for current controlled switched reluctance motors // Proceeding of

- Power Electronics and Variable Speed Drives PEVD'96 (England, 23-25 September 1996).- IEEE, 1996.- No. 429.
2. Mademlis C., Kioskeridis I. Performance Optimization in Switched Reluctance Motor Drives with Online Commutation Angle Control // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2003. – Vol. 18, No. 3. – P. 448-457. DOI: [10.1109/TEC.2003.815854](https://doi.org/10.1109/TEC.2003.815854)
 3. Трунин Ю.В. Автоматическое регулирование положений коммутации фаз вентильно-индукторных двигателей // Системы управления и информационные технологии. – 2007. – №3.2(29). – С. 306-310.
 4. Красовский А.Б., Трунин Ю.В. Автоматическое регулирование углового упреждения отключения фаз вентильно-индукторных двигателей // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. – 2011.- Спец. вып. Электротехника и электроника. – С. 71 – 79.
 5. Красовский А.Б. Аномальные режимы в вентильно-индукторном электроприводе при датчиковом варианте управления // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. – 2003.- №2. – С. 85 – 103.
 6. Красовский А.Б., Кузнецов С.А., Трунин Ю.В. Моделирование магнитных характеристик вентильно-индукторных машин // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. – 2007.- №4 (27). – С. 57 – 77.
 7. Трунин Ю.В. Разработка регулятора положений коммутации фаз вентильно-индукторного двигателя: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2008.- 157 с.

Influence of control signals sampling on automatic control of prediction for activating phases of valve-turn inductor motors

08, August 2012

DOI: [10.7463/0812.0475551](https://doi.org/10.7463/0812.0475551)

Trunin Yu.V.

Russia, Bauman Moscow State Technical University

trunin812@mail.ru

Basing on simulation methods the author studies stability of automatic control of prediction for activating phases of valve-turn inductor motors at time sampling of control signals. The author determines the minimum acceptable ratio of the sample time period of control signals and the switching phase voltage.

Publications with keywords:[automatic control](#), [switched reluctance motor](#), [switching of phases](#), [sampling of signals](#)

Publications with words:[automatic control](#), [switched reluctance motor](#), [switching of phases](#), [sampling of signals](#)

References

1. Gribble J.J., Kjalder P.C., Cossar C., Miller T.J.E. Optimal commutation angles for current controlled switched reluctance motors. *Proc. of Power Electronics and Variable Speed Drives PEVD'96*, England, 23-25 September 1996. IEEE, 1996, no. 429.
2. Mademlis C., Kioskeridis I. Performance Optimization in Switched Reluctance Motor Drives with Online Commutation Angle Control. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2003, vol. 18, no. 3, pp. 448-457. DOI: [10.1109/TEC.2003.815854](https://doi.org/10.1109/TEC.2003.815854)
3. Trunin Iu.V. Avtomaticheskoe regulirovanie polozhenii kommutatsii faz ventil'no-induktornykh dvigatelei [Automatic adjustment of the provisions of commutation of phases of valve-inductor motors]. *Sistemy upravleniia i informatsionnye tekhnologii* [Control systems and information technology], 2007, no. 3.2 (29), pp. 306-310.
4. Krasovskii A.B., Trunin Iu.V. Avtomaticheskoe regulirovanie uglovogo uprezhdeniia otkliuchenii faz ventil'no-induktornykh dvigatelei [Automatic control of angle lead of switching off the phases of rectifier-inductor motors]. *Vestnik MGTU im. N.E.Baumana. Ser. Estestvennye nauki* [Herald of the Bauman MSTU. Ser. Natural science], 2011, Spec. iss. *Elektrotekhnika i elektronika* [Electrical engineering and electronics], pp. 71 – 79.

5. Krasovskii A.B. Anomal'nye rezhimy v ventil'no-induktnom elektroprivode pri datchikovom variante upravleniia [Abnormal modes in the switched-inductor electric drive at sensor's version of control]. *Vestnik MGTU im. N.E.Baumana. Ser. Mashinostroenie* [Herald of the Bauman MSTU. Ser. Mechanical Engineering], 2003, no. 2, pp. 85 – 103.
6. Krasovskii A.B., Kuznetsov S.A., Trunin Iu.V. Modelirovanie magnitnykh kharakteristik ventil'no-induktnykh mashin [Modeling of magnetic characteristics of switched reluctance machines]. *Vestnik MGTU im. N.E.Baumana. Ser. Estestvennye nauki* [Herald of the Bauman MSTU. Ser. Natural science], 2007, no.4 (27), pp. 57 – 77.
7. Trunin Iu.V. *Razrabotka regulatora polozhenii kommutatsii faz ventil'no-induktnogo dvigatel'ia. Kand. diss* [Development of regulator of positions of commutation of phases of switched-inductor motor. Cand. diss.]. Moscow, the Bauman MSTU, 2008. 157 p.