

УДК 621. 313. 323

Прямое управление моментом вентильно-индукторной электрической машины в тормозном режиме работы

А.Б. Красовский, С.А. Кузнецов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

Direct torque control switched reluctance electric machines in braking mode

A.B. Krasovskiy, S.A. Kuznetsov

Bauman Moscow State Technical University, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation.

 e-mail: krasovsky@bmstu.ru

i Гибкое сочетание двигательного и тормозного режима работы вентильно-индукторной электрической машины (ВИМ) необходимо для качественного управления движением приводимого с ее помощью механизма. ВИМ отличаются от традиционных электрических машин, поэтому к ним не могут быть применены известные технические решения. В настоящее время наибольший прогресс достигнут в способах и алгоритмах организации двигательного режима работы ВИМ. Рассмотрены особенности реализации тормозного режима работы ВИМ. Предложен новый алгоритм прямого управления мгновенным моментом в тормозном режиме работы, позволяющий существенно улучшить характеристики электропривода. Методом имитационного моделирования проанализировано изменение основных величин при прямом регулировании момента при переключении двух смежных фаз ВИМ в соответствии с предлагаемым алгоритмом. Эффективность предложенного алгоритма управления проверена на имитационной модели привода. Выявлены возможные причины сбоев в работе алгоритма и предложены меры по их устранению. Полученные результаты исследования могут быть использованы при проектировании электроприводов различных механизмов с повышенными требованиями к динамическим показателям в сочетании с конструктивной простотой и надежностью используемой электрической машины.

Ключевые слова: вентильно-индукторная электрическая машина, тормозной режим работы, прямое управление моментом, имитационное моделирование.

i Flexible combination of driving and braking modes of a valve-inductor electric machine (VIEM) is required to provide high-quality control of a driven mechanism. VIEMs differ from conventional electric drives; therefore, they cannot be designed using known technical solutions. Currently, the methods and algorithms for computing VIEM motion modes are best developed. In this paper, the challenges of implementing VIEM braking modes are discussed. A new algorithm for the direct instantaneous torque control that can significantly improve the drive characteristics during braking is proposed. Mathematical simulation procedures were used to analyze the change of basic parameters in the direct torque control when switching over adjacent phase pairs according to the proposed algorithm. The efficiency of the proposed control algorithm is proved using the drive simulation model as an example. Probable causes of algorithm failures are analyzed, and measures to eliminate them are proposed. The results of study can be used when designing electric drives of various mechanisms with special requirements to their dynamic characteristics, structural simplicity, and reliability.

Keywords: switched reluctance electric machines, braking mode, direct torque control, simulation.

Управление движением большинства производственных механизмов, транспортных средств и других устройств требует гибкого сочетания двигательного и тормозного режимов работы электрических машин в составе их электроприводов. Вентильно-индукторные машины (ВИМ) благодаря конструктивной простоте и широким возможностям управления давно вызывают интерес многих специалистов [1]. ВИМ существенно отличаются от традиционных электрических машин, что обусловлено иными физическими явлениями, лежащими в основе создания момента (поведение ферромагнитного материала в магнитном поле), их конструктивными особенностями (явнополюсность при малом числе фаз) и повышенным уровнем электромагнитных нагрузок (для создания сильного локального насыщения полюсов).

Работа ВИМ состоит в дискретном переключении фазных обмоток в определенных положениях ротора. Мгновенный суммарный момент определяется суммой мгновенных моментов фаз одновременно находящихся под током, поэтому для ВИМ характерны значительные пульсации мгновенного момента. В наиболее неблагоприятных условиях амплитуда этих пульсаций может достигать 100 %, следовательно для получения высоких регулировочных характеристик необходимо регулировать мгновенное, а не среднее значение электромагнитного момента.

Со времени появления ВИМ наибольший прогресс достигнут в организации двигательного режима их работы. В частности, обоснованы различные варианты структур и алгоритмов компенсации пульсаций электромагнитного момента, обусловленных особенностями работы ВИМ. Установлено, что для получения максимального быстродействия, наиболее полного использования возможностей источника питания и обеспечения точности регулирования наиболее совершенно прямое управление моментом, являющееся аналогом известного подхода к управлению асинхронными двигателями [2–6].

Несколько меньше изучен генераторный режим работы ВИМ. В большинстве публикаций на эту тему рассмотрен генераторный режим, используемый с целью выработки электрической энергии и питания ею других потребителей. Такой режим работы ВИМ обычно реализуется длительно и основными его показателями являются отдаваемая мощность и уровень генерируемого напряжения, а также показатели эффективности электромеханического преобразования энергии. Для реализации необходимых показателей работы ВИМ в этом режиме используются

соответствующие структуры и алгоритмы управления [7, 8].

Тормозной режим работы ВИМ с энергетической точки зрения является генераторным режимом, но он как правило кратковременный и основная задача управления в нем аналогична двигательному режиму – обеспечение заданного закона изменения электромагнитного момента. При использовании обычных алгоритмов управления, как и для двигательного режима, для тормозного режима работы ВИМ также характерны повышенные пульсации момента. Поэтому можно предположить, что одним из наиболее совершенных способов их снижения по аналогии с двигательным режимом является прямое управление моментом, но его реализация имеет особенности, поскольку необходимо учитывать специфику работы ВИМ в генераторном режиме.

Цель работы — разработка нового алгоритма прямого управления моментом ВИМ в тормозном режиме работы с учетом особенностей реализации генераторного режима ее работы.

Особенности генераторного режима ВИМ.

Изменение основных величин, характеризующих цикл коммутации фазы ВИМ в генераторном режиме, показано на рис. 1.

Этап возбуждения фазы угловой длительностью $\gamma_{\text{вкл}}$ начинается в угловом положении ротора $\Theta_{\text{вкл}}$ подачей на нее положительного импульса напряжения $U_{\text{ф}}$ в окрестности полного перекрытия взаимодействующих полюсов статора и ротора и заканчивается при угле $\Theta_{\text{ком}}$, когда полюс ротора начинает выходить из зоны перекрытия. При этом некоторое количество электрической энергии преобразуется в магнитную энергию. Этот процесс аналогичен этапу включения фазы в двигательном режиме работы ВИМ, но протекает при значительно большем значении индуктивности фазы L .

На данном этапе происходит возрастание тока $I_{\text{ф}}$. При ограниченном уровне напряжения источника питания этап включения фазы может происходить частично при $dL/d\Theta > 0$. Здесь потребляемая из источника питания электрическая энергия расходуется не только на увеличение магнитной энергии $W_{\text{маг}}$ но и на совершение механической работы, поскольку фаза развивает незначительный движущий момент. При переходе через согласованное положение полюсов изменяется знак $dL/d\Theta$, что приводит к изменению знака момента $M_{\text{ф}}$, т.е. он становится тормозным.

Рабочий для тормозного режима работы ВИМ угловой интервал $\gamma_{\text{раб}}$ начинается при изменении полярности напряжения на фазе $U_{\text{ф}}$ в положении

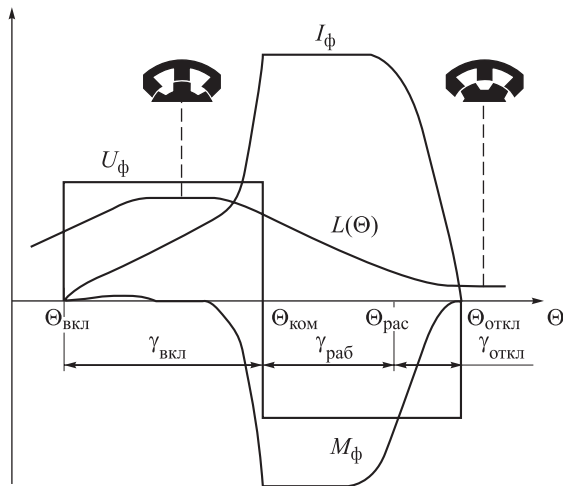


Рис. 1. Изменение параметров ВИМ в цикле коммутации в генераторном режиме:

$L(\Theta)$ — фазная индуктивность; $U_\phi(\Theta)$ — напряжение на фазе; $I_\phi(\Theta)$ — фазный ток; $M_\phi(\Theta)$ — фазный момент; Θ — угловой сдвиг между взаимодействующими полюсами статора и ротора

ротора $\Theta_{ком}$. На рабочем интервале фаза производит основную долю тормозного момента M_ϕ . На интервал работы фазы $\gamma_{раб}$ при больших скоростях может накладываться участок отрицательного момента смежной фазы. На этапе $\gamma_{раб}$ механическая энергия и магнитная энергия $W_{маг}$ запасенная на этапе включения фазы, преобразуются в электрическую энергию $W_{эл}$, возвращаемую источнику питания.

Интервал отключения фазы $\gamma_{откл}$ начинается при выходе полюса ротора из зоны перекрытия и длится до окончания процесса спада тока I_ϕ до нуля. На этапе $\gamma_{откл}$ абсолютное значение производной $dL/d\Theta$ снижается, в результате чего уменьшается ЭДС движения, и под действием приложенного к обмотке отрицательного напряжения $U_\phi = -U_{откл}$ происходит спадание тока I_ϕ и момента M_ϕ . При этом продолжается превращение механической энергии в электрическую энергию. Одновременно оставшаяся часть магнитной энергии $W_{маг}$ возвращается источнику питания.

Прямое регулирование момента ВИМ в тормозном режиме работы. Типовая функциональная схема системы прямого управления моментом m -фазной ВИМ для тормозного режима работы показана на рис. 2. В общем виде она повторяет рассмотренную авторами ранее структуру управления для двигательного режима работы ВИМ [6] и состоит из блока оценки мгновенного значения суммарного момента M_Σ по его составляющим $M_{\phi, 1...m}$ от каждой включенной в данный момент времени фазы и релейного

цифрового регулятора момента, формирующего управляющие сигналы $S_{1...m}$ на соответствующие ключи инвертора И в функции отклонения δM_Σ тормозного момента M_Σ от заданного значения M_3 .

Для регулирования момента M_Σ ВИМ в тормозном режиме предлагается использовать алгоритм изменения фазного напряжения в виде $U_\phi = U_{пит} \text{sign}(\delta M_\Sigma)$, где $U_{пит}$ — напряжение силового источника питания. Для уменьшения частоты переключения ключей инвертора в алгоритм их работы вводится зона гистерезиса шириной Δ_M . Кроме того, используется третье состояние ключей, когда фаза ВИМ замкнута накоротко, т. е. $U_\phi = 0$.

Статическая характеристика релейного регулятора момента приведена на рис. 3. Следует обратить внимание на то, что она является зеркальным отображением аналогичной характеристики для двигательного режима ВИМ [6].

Обычно некоторые трудности в организации тормозного режима ВИМ по сравнению с двигательным режимом вызывает этап включения фазы. Из-за большей индуктивности для получения требуемого начального значения тока I_ϕ рабочего режима фазы требуется прикладывать к фазной обмотке полное напряжение источника питания на значительно большем интервале времени, чем в двигательном режиме. К тому же,

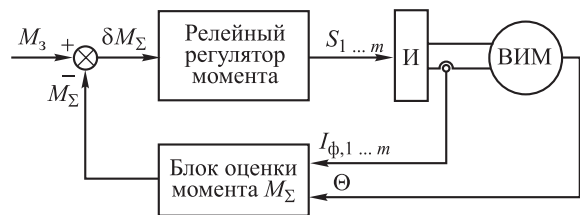


Рис. 2. Функциональная схема системы прямого управления моментом ВИМ в тормозном режиме

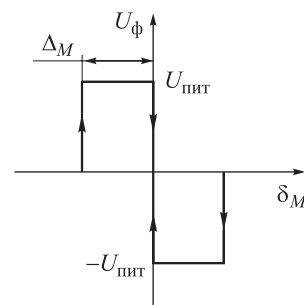


Рис. 3. Релейная характеристика регулятора в генераторном режиме ВИМ:

Δ_M — ширина зоны гистерезиса релейного элемента

как сказано выше, этап включения фазы может протекать последовательно на трех участках ($dL/d\Theta > 0$, $L = \text{const}$ и $dL/d\Theta < 0$). Однако при прямом управлении моментом обычно не требуется высокая точность задания параметров этапа включения фазы, так как возникшее вследствие этого отклонение момента может быть компенсировано за счет работы смежной фазы.

Изменение основных величин ВИМ в тормозном режиме при переключении двух смежных фаз в соответствии с предлагаемым алгоритмом показано на рис. 4. На начальном этапе коммутации в положении ротора $\Theta_{\text{ком}}$, которое определяется известными методами, например, как предложено в [9, 10], к включаемой фазе прикладывается неизменное напряжение источника питания $U_{\text{пит}}$. Суммарный момент M_{Σ} регулируется за счет соответствующего воздействия на напряжение отключаемой фазы $U_{\text{откл}}$. В тот момент, когда отключаемая фаза больше не в состоянии поддерживать момент M_{Σ} на заданном уровне (угловое положение $\Theta_{\text{п}}$ на рис. 4), напряжение на ней фиксируется на уровне $-U_{\text{пит}}$, а регулирование момента M_{Σ} осуществляется за счет соответствующего изменения напряжения на включаемой фазе $U_{\text{вкл}}$.

Следует отметить, что на рис. 4 напряжение на отключаемой фазе устанавливается на уровне $-U_{\text{пит}}$ немного раньше положения $\Theta_{\text{п}}$. Это происходит из-за наличия зоны нечувствительности Δ_M (см. ниже алгоритм работы ключей фазы инвертора). Когда ток в отключаемой фазе снижается до нуля момент M_{Σ} определяется моментом включаемой фазы. Далее цикл повторяется. Как видно, в любой момент времени регулирование происходит только в одной из фаз, а во второй фазе при этом приложено неизменное

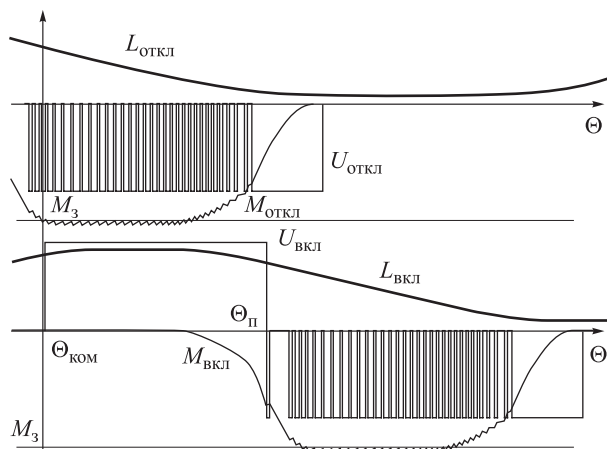


Рис. 4. Изменение момента и напряжения на отключаемой и включаемой фазах ВИМ

напряжение амплитудой $U_{\text{пит}}$, что говорит о полном использовании источника питания по напряжению.

В качестве примера приведем алгоритм работы ключей одной из фаз инвертора, в соответствии с его типовой схемой (рис. 5). В тормозном режиме необходимо изменять состояние либо верхнего, либо нижнего ключа при постоянно закрытом противоположном ключе. Например, при включенном ключе $VS1$ и выключенном $VS2$ в генераторном режиме обмотка оказывается закороченной. При двух закрытых ключах ток протекает через диоды в направлении, противоположном напряжению питания. Когда фаза отключается от источника электрической энергии и замыкается накоротко, происходит только процесс преобразования механической энергии в магнитную энергию.

Предположим, что в исходном состоянии момент M_{Σ} находится в пределах $(M_3 - \Delta_M; M_3)$, а обмотка закорочена (ключ инвертора $VS1$ замкнут, $VS2$ разомкнут). Под действием ЭДС движения $E_{\text{дв}}$ ток фазы $I_{\text{ф}}$ нарастает, что ведет к увеличению абсолютных значений фазного $M_{\text{ф}}$ и суммарного M_{Σ} моментов. При $\delta M = \Delta_M$ отключается верхний ключ $VS1$, к фазе через обратные диоды $VD1$ и $VD2$ прикладывается отрицательное напряжение и ток начинает спадать. Также снижаются абсолютные значения моментов $M_{\text{ф}}$ и M_{Σ} . Когда отклонение момента M_{Σ} от заданного значения достигнет $\delta M = 0$, опять включится ключ $VS1$, что снимает с фазы отрицательное напряжение и вызывает повторное нарастание тока в ней. В диапазоне $\delta M \in (0; \Delta_M)$ сохраняется предыдущее состояние ключей.

Вторая зона релейного регулятора предназначена для работы ВИМ на интервале перекоммутации фаз. Если при закороченной фазной обмотке абсолютное значение суммарного момента M_{Σ} продолжает спадать, т. е. абсолютное значение момента отключаемой фазы снижается быстрее, чем увеличивается момент включаемой фазы, и он достигает значения $|M_3 - \Delta_M|$, то замыкается и нижний ключ $VS2$. В результате к включаемой фазе прикладывается положительное напряжение и ток и момент фазы начинают форсиро-

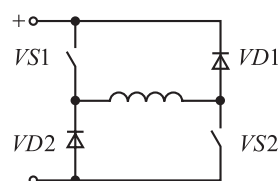


Рис. 5. Схема включения фазы

ванно возрастать. Если момент M_{Σ} при выключенных ключах $VS1$ и $VS2$ выходит за нижнюю границу зоны гистерезиса, то можно считать, что фаза исчерпала возможности по регулированию и управление передается смежной фазе (см. рис. 4, точка $\Theta_{\text{п}}$).

Проведенные исследования предлагаемого алгоритма прямого управления моментом ВИМ в тормозном режиме на имитационной модели привода в среде MATLAB — SIMULINK позволили выявить некоторые его специфические особенности. Принцип построения модели и ее особенности подробно описаны в работах [11–13]. При моделировании установлено, что при высоких скоростях на рабочем этапе цикла коммутации фазы в генераторном режиме работы ВИМ может возникать неконтролируемое увеличение фазного тока выше допустимых значений.

Чтобы объяснить это явление, сходное с известным эффектом «прорыва инвертора» в преобразовательной технике, обратим внимание на следующее. Увеличение скорости при постоянном напряжении на фазе в двигательном режиме ВИМ приводит к естественному уменьшению установившегося значения тока в фазе. В генераторном режиме увеличение скорости способствует нарастанию тока. Однако при больших скоростях вращения напряжения источника питания не хватает для быстрой расфорсировки фазы. В результате, даже когда к обмотке приложено полное отрицательное напряжение источника питания, ток начинает возрастать до тех пор, пока фазная индуктивность не спадет до минимального значения L_{min} в рассогласованном положении полюсов.

Такой режим является опасным для силовых ключей и чтобы его избежать, необходимо производить включение фазы несколько позже, чтобы на этапе ее включения ток увеличился до значения, при котором на этапе работы ток не успел бы превысить допустимое значение. Однако при этом невозможно будет устранить пульсации момента.

Переход из двигательного режима работы ВИМ в генераторный режим и обратно можно осуществлять по двум различным вариантам алгоритма управления:

1) переход от алгоритма регулирования, соответствующего двигательному режиму, к алгоритму регулирования для генераторного режима и наоборот, необходимо осуществлять только после того, как ток во всех фазах спадет до нуля;

2) включать фазу, которая будет развивать момент противоположного знака заранее.

Недостаток первого варианта управления состоит в том, что при малых значениях тока темп изменения момента невелик, а во втором случае необходимы дополнительные условия, по которым будет распределяться момент между фазами, одна из которых будет работать в двигательном, а другая — в генераторном режиме.

Выводы

1. При соответствующем учете всех специфических особенностей ВИМ, указанных в статье, прямое управление моментом в тормозном режиме ее работы позволяет повысить точность регулирования координат и быстродействие привода по сравнению с традиционными системами ШИМ-регулирования фазного напряжения при одновременном снижении требований к точности определения положений коммутации фаз.

2. Работа прямого регулятора момента нецелесообразна в зоне высоких скоростей, поскольку на рабочем этапе цикла коммутации каждой фазы в генераторном режиме работы ВИМ может возникать неконтролируемое увеличение фазного тока выше допустимых значений. Для компенсации этого явления необходимо увеличивать напряжение источника питания, либо сдвигать цикл коммутации фазы в сторону отставания, однако это связано с возрастанием пульсаций электромагнитного момента.

Литература

- [1] Krishnan R. *Switched reluctance motor drives: modeling, simulation, analysis, design, and applications*. CRC Press LLC, 2001. 432 p.
- [2] Inderka R.B., De Doncker R.W. DITC – Direct instantaneous torque control of switched reluctance drives. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2003, vol. 39, no. 4, pp. 1046–1051.
- [3] Feyzi M.R., Ebrahimi Y. Direct Torque Control of 5-Phase 10/8 Switched Reluctance Motors. *Iranian Journal of Electrical & Electronic Engineering*, sep. 2009, vol. 5, no. 3, pp. 205–214.
- [4] Jin-Woo Ahn. Torque Control Strategy for High Performance SR Drive. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 2008, vol. 3, no. 4, pp. 538–545.
- [5] Jianzhong Sun, Fengxian Bai, Wei Lou, Feiran Sun. Direct Instantaneous Torque Control

- Combined with Torque Sharing Function Strategy for Switched Reluctance Drive. *Third International Conference on Intelligent Control and Information Processing*, July 15–17, 2012, China, Dalian, pp. 386–389.
- [6] Красовский А.Б., Кузнецов С.А. Прямое управление моментом вентильно-индукторного двигателя. *Электричество*, 2012, № 12, с. 39–46.
- [7] Torrey D.A. Switched reluctance generators and their control. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Feb. 2002, vol. 49, issue 1, pp. 3–14.
- [8] Viajante G.P., Andrade D.A., Silveira A.W.F.V., Freitas M.A.A., Gomes L.C., Bernardeli V.R., Cabral L.G., Rêgo M.B. Output DC Voltage Control Strategy for Switched Reluctance Generator. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'12) Santiago de Compostela (Spain)*, 28–30 March, 2012, pp. 18–24.
- [9] Cheok A.D., Chong T.S., Zhongfang W. Real-time computer-based torque measurement of switched reluctance motors. *International Journal of Electronics*, 2002, vol. 89, no. 9, pp. 693–715.
- [10] Kaewthai S., Kittiratsatcha S.A. Torque estimation method for a switched reluctance machine. *IEEE International Conference on Power Electronics and Drives Systems*, 2005, vol. 2, pp. 1135–1139.
- [11] Красовский А.Б. Применение имитационного моделирования для исследования вентильно-индукторного электропривода. *Электричество*, 2003, № 3, с. 35–45.
- [12] Кузнецов С.А. Учет нелинейных свойств вентильно-индукторных машин в алгоритмах управления. *Системы управления и информационные технологии*, 2008, № 4(34), с. 82–86.
- [13] 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.

References

- [1] Krishnan R. *Switched reluctance motor drives: modeling, simulation, analysis, design, and applications*. CRC Press LLC, 2001. 432 p.
- [2] Inderka R.B., De Doncker R.W. DITC – Direct instantaneous torque control of switched reluctance drives. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2003, vol. 39, no. 4, pp. 1046–1051.
- [3] Feyzi M.R., Ebrahimi Y. Direct Torque Control of 5-Phase 10/8 Switched Reluctance Motors. *Iranian Journal of Electrical & Electronic Engineering*, Sep. 2009, vol. 5, no. 3, pp. 205–214.
- [4] Jin-Woo Ahn. Torque Control Strategy for High Performance SR Drive. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 2008, vol. 3, no. 4, pp. 538–545.
- [5] Jianzhong Sun, Fengxian Bai, Wei Lou, Feiran Sun. Direct Instantaneous Torque Control Combined with Torque Sharing Function Strategy for Switched Reluctance Drive. *Third International Conference on Intelligent Control and Information Processing*, July 15–17, 2012, China, Dalian, pp. 386–389.
- [6] Krasovskii A.B., Kuznetsov S.A. Priamoe upravlenie momentom ventil'no-induktornogo dvigatel'ia [Direct torque control switched-reluctance motor]. *Elektrichestvo* [Electrical Technology Russia]. 2012, no. 12, pp. 39–46.
- [7] Torrey D.A. Switched reluctance generators and their control. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Feb. 2002, vol. 49, issue 1, pp. 3–14.
- [8] Viajante G.P., Andrade D.A., Silveira A.W.F.V., Freitas M.A.A., Gomes L.C., Bernardeli V.R., Cabral L.G., Rêgo M.B. Output DC Voltage Control Strategy for Switched Reluctance Generator. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'12) Santiago de Compostela (Spain)*, 28–30 March, 2012, pp. 18–24.
- [9] Cheok A.D., Chong T.S., Zhongfang W. Real-time computer-based torque measurement of switched reluctance motors. *International Journal of Electronics*, 2002, vol. 89, no. 9, pp. 693–715.
- [10] Kaewthai S., Kittiratsatcha S.A. Torque estimation method for a switched reluctance machine. *IEEE International Conference on Power Electronics and Drives Systems*, 2005, vol. 2, pp. 1135–1139.
- [11] Krasovskii A.B. Primenenie imitatsionnogo modelirovaniia dlia issledovaniia ventil'no-induktornogo elektroprivoda [Application of simulation to study the switched-inductor electric]. *Elektrichestvo* [Electrical Technology Russia]. 2003, no. 3, pp. 35–45.
- [12] Kuznetsov S.A. Uchet nelineinykh svoystv ventil'no-induktornykh mashin v algoritmakh upravleniia [Taking into Account Nonlinear Characteristics of Switched Reluctance Machines]

in Control Algorithms]. *Sistemy upravleniia i informatsionnye tekhnologii* [Control Systems and Information Technology]. 2008, no. 4(34), pp. 82–86.

- [13] Krasovskii A.B., Kuznetsov S.A., Trunin Iu.V. Modelirovanie magnitnykh kharakteristik ventil'no-induktornykh mashin [Modeling of Magnetic Characteristics of Switched Reluctance Machines]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Estestvennyye nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Natural Sciences]. 2007, no. 4(27), pp. 57–77.

Статья поступила в редакцию 05.05.2014

Информация об авторах

КРАСОВСКИЙ Александр Борисович (Москва) — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Электротехника и промышленная электроника». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: krasovsky@bmstu.ru).

КУЗНЕЦОВ Сергей Александрович (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и промышленная электроника». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Information about the authors

KRASOVSKIY Aleksandr Borisovich (Moscow) — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of «Electrical Engineering and Industrial Electronics» Department. Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation, e-mail: krasovsky@bmstu.ru).

KUZNETSOV Sergey Aleksandrovich (Moscow) — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of «Electrical Engineering and Industrial Electronics» Department. Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышло в свет учебное пособие

В.М. Кашина, А.Л. Лифица, М.И. Ефремова

«Основы проектирования переносных зенитных ракетных комплексов»

Настоящее пособие является первым общедоступным изданием, в котором приведена современная методология проектирования переносных зенитных ракетных комплексов. При этом авторы ставили перед собой задачу познакомить читателя не только с основными подходами к вопросам проектирования, но и дать представление о принципах построения и современном состоянии этого вида вооружения в России. Материалы пособия отражают сегодняшнее положение теории и практики создания переносных зенитных ракетных комплексов, являясь результатом обобщения накопленного многолетнего опыта их разработки в нашей стране. Основное внимание уделено вопросам, связанным со спецификой проектирования переносных зенитных ракетных комплексов, поскольку общие вопросы проектирования (аэродинамика, теория полета, внутренняя баллистика двигателей, расчет и проектирование информационных приборов наведения, прочность и др.) зенитных ракет с ракетными двигателями твердого топлива в полной мере изложены в научно-технической литературе.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru