

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫХ ПРИВОДОВ В ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВКАХ

А. А. Корнеев, А. П. Сериков

*Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Республика Беларусь*

Научный руководитель А. С. Третьяков

В настоящее время наблюдается тенденция увеличения применения управляемых приводов в подъемных установках. Вентильно-индукторный привод (ВИП) является сравнительно новым перспективным управляемым приводом. Таким образом, в качестве цели выберем определение возможности применения ВИП в подъемных установках. Для достижения поставленной цели изучим публикации на данную тему, рассмотрим достоинства и недостатки ВИП, определим ключевые недостатки, рассмотрим возможность их устранения.

Разработка ВИП для подъемных механизмов рассматривается в [1], а в [2] рассматривается применение линейного ВИП для лифта.

В качестве объекта исследования была выбрана электромеханическая система, входящая в состав шахтных грузоподъемных установок. Были рассмотрены требования данных систем к электроприводам. Электропривод должен обеспечивать: пуск, разгон, движение с установившейся скоростью, замедление, рекуперативное торможение, изменение направления вращения после полной остановки. Вентильно-индукторный привод удовлетворяет данным требованиям.

Вентильно-индукторный привод обладает рядом достоинств [3], [4]: низкая стоимость производства двигателя, входящего в состав ВИП, и низкая стоимость

материалов, необходимых для изготовления данного двигателя; малый момент инерции, обусловленный конструкцией двигателя; высокая ремонтпригодность; надежность; низкие потери в роторе двигателя; возможность работы на высоких оборотах; возможность работы при оборванной фазе. Данная особенность обусловлена отсутствием магнитных связей между фазами. Таким образом, при отключении одной или более фаз (в зависимости от конструкции машины) мощность привода уменьшится, однако он сохранит работоспособность; ВИП может работать в широком диапазоне скоростей без потери мощности; использование в преобразователе более надежной конфигурации силовой схемы – несимметричного моста. Данная конфигурация позволяет исключить возможность возникновения коротких замыканий в плече инвертора.

Данные приводы также имеют ряд недостатков [3], [4]: невозможность работы без преобразователя; вибрации и пульсирующий момент; в сравнении с системой ПЧ-АД для ВИП необходимо большее количество проводов для соединения двигателя и преобразователя; наличие датчика положения ротора. Однако в настоящее время публикуются работы, описывающие бездатчиковое управление ВИП; в большинстве случаев отсутствует возможность использования стандартных силовых модулей, разработанных для существующих двигателей; для достижения оптимальных показателей необходим малый воздушный зазор, причем в ряде публикаций указывается на то, что увеличение воздушного зазора более критично для ВИП, чем для АД.

Основным недостатком, который может препятствовать применению ВИП в подъемной установке, являются пульсации момента и вибрации. Однако существуют методы решения данной проблемы, например, совершенствование законов управления, выбор оптимальной конструкции статора и ротора.

Наиболее интересным и эффективным методом является метод оптимизации управления за счет регулирования таких параметров, как напряжение, ток, углы подачи и снятия напряжения с фазы. На основании публикаций по данной теме методы управления ВИП можно разделить на два вида: управление средним значением момента и управление мгновенным значением момента.

Управление средним значением момента подразумевает неконтролируемое изменение момента за время работы фазы. Управление осуществляется за счет регулирования значения токовой отсечки, углов подачи и снятия напряжения с фазы. Оптимизация данного вида управления позволяет уменьшить пульсации момента, увеличить эффективность преобразования энергии.

Суть метода можно рассмотреть на примере микроконтроллерной системы управления ВИП [5]. При запуске и на низких скоростях двигатель работает в режиме токоограничения. Управление осуществляется за счет регулирования токовой отсечки, углов подачи и снятия напряжения с фазы. На высоких скоростях двигатель работает в одноимпульсном режиме, где управление осуществляется только за счет регулирования углов подачи и снятия напряжения с фазы. Микроконтроллерное управление ВИП может реализовываться с помощью обратной связи по скорости, обратной связи по моменту, а также комбинированной обратной связи по моменту и скорости. Микроконтроллер также отвечает за запуск двигателя, согласование режимов работы.

В [6] представлен аналитический метод определения угла снятия напряжения с фазы, позволяющий оптимизировать значение момента. Данный метод позволяет рассчитывать оптимальный угол в режиме реального времени. Моделирование показывает, что в результате оптимизации происходит уменьшение пульсаций момента.

Данный аналитический метод применим как для режима токоограничения, так и для одноимпульсного режима работы двигателя.

Алгоритм уменьшения потребления энергии ВИП, основанный на регулировании угла подачи напряжения на фазу, рассматривается в [7]. Целью данного алгоритма является быстрое достижение заданной скорости и минимизация потребления энергии при установившемся режиме работы за счет подбора оптимального угла подачи напряжения на фазу. Данный алгоритм был экспериментально проверен на ВИП мощностью 1 кВт с конфигурацией 6/4 и подтвердил свою эффективность. Эксперименты с двумя различными типами нагрузки показали, что имеется возможность уменьшения потребления энергии в ВИП без ухудшения динамических показателей. Вышеуказанный алгоритм применим для широкого ряда ВИП различной мощности и конфигурации. В [8] рассматривается метод управления, при котором достигается баланс между эффективностью преобразования энергии и уровнем пульсаций момента.

Управление мгновенным моментом основано на создании за время работы фазы момента определенной формы, что осуществляется за счет создания тока определенной формы. Оптимизация данного вида управления может использоваться для уменьшения пульсаций момента, для увеличения энергетической эффективности работы двигателя.

Суть управления мгновенным моментом описывается в [9]. В частности, описывается подход к достижению минимального среднеквадратичного значения тока фазы при заданном среднем значении момента. Данный подход основан на поиске оптимальной формы тока, протекающего в фазе, при заданной выходной мощности и скорости, а также при ограниченном напряжении питания и ограниченном максимальном значении тока. Моделирование показывает, что применение данного метода позволяет значительно увеличить среднее значение момента на низких скоростях, не увеличивая потребление энергии. Негативным фактором является возрастание уровня пульсаций.

В [10] рассматривается алгоритм управления мгновенным моментом, позволяющий минимизировать пульсации. Данный алгоритм включает в себя два этапа. На первом этапе определяется форма тока в фазе, необходимая для получения определенного значения момента. На втором этапе происходит создание напряжения определенной формы, которое создает требуемый ток в фазе двигателя. Для формирования оптимального тока используется метод обучения. Результаты моделирования показывают эффективность данного метода.

Анализируя представленные работы, можно сделать вывод, что пульсации момента возможно значительно снизить. Таким образом, при условии преодоления основных недостатков ВИП можно применять в подъемных установках, в частности, в шахтных грузоподъемных установках.

Литература

1. T. Dinesh Kumar, A. Nagarajan, "Design Of Switched Reluctance Motor For Elevator Application", *Journal of Asian Scientific Research*. – 2013. – 3(3). – P. 258–267.
2. H. S. Lim, R. Krishnan, "Ropeless Elevator With Linear Switched Reluctance Motor Drive Actuation Systems", in *IEEE Trans. on Industrial Electronics*. – Vol. 54. – P. 2209–2218, Aug. 2007.
3. Темирев, А. П. Математическое моделирование, проектирование и экспериментальное определение параметров вентильно-индукторных электроприводов : монография / А. П. Темирев ; ЮРГТУ(НПИ). – Новочеркасск : ЛИК, 2011. – 794 с.
4. T. J. E. Miller, *Switched Reluctance Motor and Their Control*. London, U.K. : Magna Physics Publishing and Oxford Univ. Press, 1993.

5. B. K. Bose, T. J. E. Miller, P. M. Szczesny, and W. H. Bicknell, "Microcomputer control of switched reluctance motor", IEEE Trans. Ind. Applicat. – Vol. IA-22. – P. 708–715, July/Aug. 1986.
6. R. Orthmann and H. P. Schoner, "Turn-off angle control of switched reluctance motors for optimum torque output", in Proc. Eur. Conf. Power Electron. Applicat., Brighton, U.K., 1993. – P. 20–25.
7. P. C. Kjaer, P. Nielsen, L. Andersen, and F. Blaabjerg, "A new energy optimizing control strategy for switched reluctance motors", IEEE Trans. Ind. Applicat. – Vol. 31. – P. 1088–1095, Sept./Oct. 1995.
8. C. Mademlis, I. Kioskeridis, "Performance Optimization in Switched Reluctance Motor Drives with Online Commutation Angle Control", IEEE Trans. on Energy Conversion. – Vol. 18, no. 3. – P. 448–457, Sept. 2003.
9. H. C. Lovatt and J. M. Stephenson, "Computer-optimized current waveforms for switched-reluctance motors", Proc. Inst. Elect. Eng. Power Applicat. – Vol. 141, no. 2. – P. 45–51, March 1994.
10. N. C. Sahoo, J. X. Xu, and S. K. Panda, "Low torque ripple control of switched reluctance motors using iterative learning", IEEE Trans. Energy Conversion. – Vol. 16. – P. 318–326, Dec. 2001.