

УДК 621.313+06

### БЕЗДАТЧИКОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МАШИНАМИ

**М. В. Чавычалов**

Ростовский государственный университет путей сообщения  
пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2, г. Ростов-на-Дону, 344038, Россия.  
E-mail: 4\_maxim\_4@bk.ru

Представлен алгоритм бездатчикового определения стартового положения ротора. Описан алгоритм бездатчикового пуска вентильно-индукторных электрических машин на основе маркерного позиционирования ротора. Предлагается интерполировать зависимость амплитуды зондирующих импульсов от положения ротора в процессе бездатчикового пуска для последующей генерации поисковой таблицы, необходимой для позиционирования ротора вентильно-индукторных электрических машин на более высоких частотах вращения. Для исключения влияния магнитной несимметрии ротора предложено генерировать отдельную поисковую таблицу для каждой фазы вентильно-индукторных электрических машин.

**Ключевые слова:** вентильно-индукторная машина, бездатчиковое управление, косвенное позиционирование, бездатчиковый пуск, зондирующий импульс.

### БЕЗДАТЧИКОВЕ УПРАВЛІННЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНИМИ ЕЛЕКТРИЧНИМИ МАШИНАМИ

**М. В. Чавичалов**

Ростовський державний університет шляхів сполучення  
пл. Ростовського Стрілецького Полку Народного Ополчення, 2, м. Ростов-на-Дону, 344038, Росія.  
E-mail: 4\_maxim\_4@bk.ru

Надано алгоритм бездатчикового визначення стартового положення ротора. Описано алгоритм бездатчикового пуску вентильно-індукторних електричних машин на основі маркерного позиціонування ротора. Пропонується інтерполювати залежність амплітуди зондуєчих імпульсів від положення ротора в процесі бездатчикового пуску для подальшої генерації пошукової таблиці, необхідної для позиціонування ротора вентильно-індукторних електричних машин на більш високих частотах обертання. Для виключення впливу магнітної несиметрії ротора запропоновано генерувати окрему пошукову таблицю для кожної фази вентильно-індукторних електричних машин.

**Ключові слова:** вентильно-індукторна машина, бездатчикове управління, непряме позиціонування, бездатчиковий пуск, зондуєчий імпульс.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Вентильно-индукторные электрические машины (ВИМ) в последнее время принято считать наиболее перспективным видом электромеханического преобразователя энергии. Однако для эффективного использования возможностей ВИМ необходимо обеспечить возможность управления с обратной связью по положению ротора. В настоящее время для этого используют различные датчики положения ротора, устанавливаемые на вал ВИМ. Использование этих устройств не только повышает стоимость привода, но и снижает его надежность. Начиная с 80-х годов прошлого века, исследователями ведутся работы по реализации бездатчиковых систем управления.

Существующие методики косвенного позиционирования ротора обычно делят на методы измерения показателей (ток, напряжение, потокосцепление, индуктивность) активной в данный момент фазы и методы зондирования. При использовании последних положение ротора определяется по показателям коротких импульсов напряжения, подаваемых в пассивную фазу.

Кроме того, существуют два подхода к позиционированию ротора. Некоторые исследователи [1] используют «маркеры» с последующей экстраполяцией положения до фиксации следующего «маркера». Другие [2] предпочитают использовать продолжительную информацию. В этом случае положение ротора определяется точнее, однако требуется задание первоначальной информации о машине в

виде поисковой таблицы.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Для эффективного использования ВИМ в составе регулируемого в широком диапазоне привода необходимо обеспечить возможность регулирования тока возбуждения не только простыми алгоритмами широтно-импульсной модуляции питающего напряжения и токового коридора, но и алгоритмами минимизации пульсаций электромагнитного момента. В этом случае рациональным следует считать использование методов зондирования. При этом для реализации алгоритмов минимизации пульсаций момента может потребоваться позиционирование ротора с ошибкой не более 5 эл.град. В этом случае предпочтительно использование методов, обеспечивающих продолжительную информацию о положении ротора. Однако при этом необходимо учитывать, что технологические допуски могут оказать значительное влияние на точность позиционирования ротора при использовании поисковых таблиц. Таким образом, целью исследования является формулирование алгоритма бездатчикового управления при использовании зондирования с учетом магнитной несимметрии ВИМ.

Для уверенного использования бездатчикового управления необходимо решить проблему бездатчикового пуска. При этом нужно учитывать процедуру определения первоначального положения ротора и возможной начальной скорости вращения. Поскольку решено было отказаться от использования перво-

начальной информации о машине, начальное положение ротора определяется путем подачи одновременно во все фазы коротких импульсов напряжения. Сравнивая амплитуды зондирующих токов, можно выявить фазу, которая находится в наиболее подходящем положении для подачи тока возбуждения. Для определения начальной скорости вращения ротора необходимо повторить подачу импульсов с последующим сравнением результатов позиционирования. Таким образом определяется, с какой фазы начнется пуск ВИМ в ход.

Реализуемый алгоритм заключается в следующей последовательности действий:

- в активную фазу 1 подается силовой импульс напряжения, в следующую фазу 2 подаются зондирующие импульсы напряжения;

- амплитуда тока каждого зондирующего импульса  $i_n$  сравнивается с амплитудой тока предыдущего импульса  $i_{n-1}$ , при  $i_n = i_{n-1}$  зубец ротора находится в согласованном положении;

- значение  $i_n$  записывается в память системы управления;

- фаза 1 отключается, к фазе 2 прикладывается силовой импульс напряжения, в фазу 3 подаются зондирующие импульсы;

- значения амплитуд тока зондирующих импульсов фазы 3 сравниваются с записанным в шаге 4 значением. По достижении этого значения активная фаза переключается.

Физическое моделирование представленного алгоритма производилось на трехфазной ВИМ конфигурации 12/14 номинальной мощности 7 кВт и номинальной частотой вращения ротора 3000 мин<sup>-1</sup>, при этом активная фаза работала в режиме токового ограничения. Зависимость частоты вращения ротора от времени представлена на рис. 1. Частота вращения ротора в данном случае ограничена не только токовым ограничением, но и фиксированными углами открытия и закрытия. Для реализации больших частот при бездатчиковом управлении необходимо использование продолжительной информации о положении ротора.

Данные о ВИМ с учетом возможного отличия

## SWITCHED RELUCTANCE MACHINES SENSORLESS CONTROL

**M. Tchavychalov**

Rostov State Transport University

pl. Rostovskogo Srelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya, 2, Rostov-na-Donu, 344038, Russia.

E-mail: 4\_maxim\_4@bk.ru

The algorithm of starting rotor position estimation is presented. The algorithm of sensorless SRM start-up on the basis of marker rotor positioning is described. It is offered to interpolate dependence of probing impulses amplitude of on the rotor position in the course of sensorless start-up for the subsequent generation of the lookup table necessary for SRM rotor positioning on higher frequencies of rotation. For an exception of influence of magnetic asymmetry it is offered to generate the separate lookup table for each phase of SRM.

**Key words:** switched reluctance machine, sensorless control, indirect positioning, sensorless start-up, sounding pulse.

## REFERENCES

1. Lopez G.G., Kjaer P.C., Miller T.J.E. A new sensorless method for switched reluctance motor drives // *IEEE Transaction on Industry Applications*. – 1998. – № 4. – PP. 832–840.

2. Panda D., Ramanarayanan V. Reduced acoustic noise variable DC-bus-voltage-based sensorless switched reluctance motor drive for HVAC

характеристик фаз можно получить путем интерполяции зависимости амплитуды тока зондирующих импульсов от положения ротора при установившейся частоте во время бездатчикового пуска. В этом случае поисковая таблица создается отдельно для каждой фазы, что уменьшает вероятность возникновения грубых ошибок в позиционировании ротора.

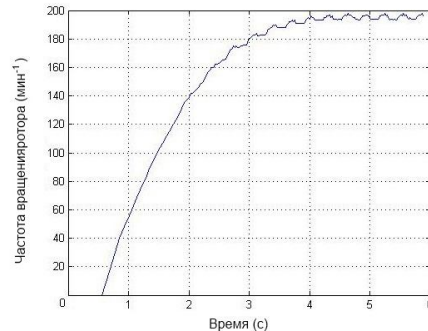


Рисунок 1 – Зависимость частоты ротора ВИМ от времени при бездатчиковом пуске

**ВЫВОДЫ.** Реализация комплексного алгоритма бездатчикового управления, включающего процедуру бездатчикового пуска при использовании не только «маркеров», но и продолжительной информации о положении ротора, позволит отказаться от использования физических датчиков положения ротора.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Lopez G.G., Kjaer P.C., Miller T.J.E. A new sensorless method for switched reluctance motor drives // *IEEE Transaction on Industry Applications*. – 1998. – № 4. – PP. 832–840.

2 Panda D., Ramanarayanan V. Reduced acoustic noise variable DC-bus-voltage-based sensorless switched reluctance motor drive for HVAC applications // *IEEE Transaction on Industrial Electronics*. – 2007. – № 4. – PP. 2065–2078.

Стаття надійшла 23.07.2012.

Рекомендовано до друку  
д.т.н., проф. Бештою О.С.