

**Беляева Елизавета Игоревна**

студентка

**Вешнякова Светлана Владимировна**

студентка

**Головченко Александра Николаевна**

студентка

ФГБОУ ВО «Донской государственный  
технический университет»

г. Ростов-на-Дону, Ростовская область

## **БЕЗДАТЧИКОВЫЙ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ**

*Аннотация:* статья посвящена бездатчиковому вентильно-индукторному двигателю. Информация о положении ротора необходима для своевременной коммутации фаз в соответствии с принятым алгоритмом управления, что обеспечивает корректное регулирование частоты вращения и момента. В настоящее время для этого используют датчики, непосредственно закрепленные на валу машины. Такие датчики существенно повышают стоимость привода, усложняют конструкцию и снижают его надежность. Во избежание последнего возможно применение методов косвенного определения положения ротора (методов бездатчикового управления).

*Ключевые слова:* бездатчиковое управление, положение ротора, методы измерения, методы зондирования.

Бездатчиковое управление вентильно-индукторными электрическими машинами активно развивается с 80-х годов прошлого века. За это время исследователями предложено несколько успешных решений проблемы косвенного определения положения ротора. Используемые в настоящее время методы косвенного определения положения ротора можно разделить на группы в зависимости от назначения электрической машины, точности определения угла поворота ротора, используемого математического аппарата и т. д.

Решение задачи косвенного определения положения ротора с помощью методов измерения представляет собой исследование зависимости изменения измеряемых данных в функции угла поворота ротора и последующего его отслеживания по характерным участкам этих зависимостей.

Метод определения кривой тока вентильно-индукторной машины основан на зависимости тока активной фазы от индуктивности, изменяющейся в свою очередь при изменении положения ротора. Уравнение напряжения фазы вентильно-индукторной машины можно записать как

$$U_{\phi} = i_{\phi} \cdot R + \frac{d\psi}{dt} \quad (1)$$

Скорость изменения тока определяется по уравнению

$$\frac{di}{dt} = \frac{U_{\phi} - i_{\phi} \cdot R - \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \frac{d\theta}{dt}}{L_{\phi}} \quad (2)$$

В формуле (2)  $L_{\phi}$  – дифференциальная индуктивность фазы.

Акарнли предположил, что падением напряжения и противо-ЭДС фазы можно пренебречь, поэтому динамическая индуктивность может быть получена из формулы (2). Из зависимости  $L_{\phi}(\theta)$  однозначно определяется положение ротора. Акарнли предложил 3 метода определения угла положения ротора, 2 из которых основаны на отслеживании кривой тока активной фазы. Главная проблема методик Акарнли – помехи в низкоскоростных установках, когда противо-ЭДС оказывает сильное влияние на точность определения положения ротора. Гибкость управления ограничивается требованиями к среднему значению тока при амплитудном ограничении. Акарнли предложил отслеживать время возрастания тока для максимальной устойчивости от влияния противо-ЭДС. Позже было доказано, что пренебрежение влиянием противо-ЭДС на точность определения положения ротора недопустимо [1; 2].

Методика наблюдения основана на параллельной работе реальной машины и ее математической пространственной модели. Разница выходных данных математической модели и измеренных характеристик машины используется для усиления сходимости моделей. Математическая модель обеспечивает

информацию о текущем положении ротора в качестве оценочного параметра состояния. Преимущества наблюдателей: высокая разрешающая способность в обнаружении положения ротора, высокой точности в оценке положения ротора, хорошей работы на переходных процессах при изменении нагрузки, и применимость на околонулевых скоростях.

Дифференцируя уравнение (1) было выяснено, что производная тока по углу поворота ротора меняет знак в момент возникновения перекрытия зубцов статора и ротора в двигательном режиме. Изменение знака производной тока было также зафиксировано в момент отрыва зубца ротора в генераторном режиме. Потери в железе ротора зависят от положения ротора, будучи минимальными в согласованном положении и максимальными в рассогласованном. Поэтому, положение ротора может быть получено как функция потерь в железе, которые получают по значениям входного напряжения и тока. Также показано, что потери в железе зависят от магнитного насыщения, поэтому оценивается только промежуточное положение, в котором минимально влияние насыщения.

Метод предлагает изменение профиля индуктивности, изменяя геометрию частей магнитопровода, например, по крайней мере одну из рабочих поверхностей полюса статора и/или один из зубцов ротора. Если двигатель управляется в одноимпульсном режиме или с использованием широтно-импульсной модуляции, положение ротора определяется по особым участкам кривой тока. Главный недостаток метода состоит в влиянии на кривую индуктивности, что ухудшает тяговые характеристики машины и увеличивает неравномерность момента. Дополнительная проблема состоит в том, чтобы сделать прорези в зубцах статора и ротора. Это усложняет процесс производства ВИМ. Оценка положения ротора не возможна на околонулевых скоростях. С другой стороны, можно легко обнаружить положение ротора по своеобразным меткам. Однако, этот метод не работает, если двигатель управляется током.

Методы зондирования основаны на внедрении в холостую фазу коротких сигналов для получения информации об изменении фазовой индуктивности.

Методы, основанные на мониторинге кривых тока и методы измерения потокосцепления – это примеры методов зондирования.

Методика определения потокосцепления зондированием [3] основана на зависимости потокосцепления холостой фазы от положения ротора. По существу совмещает в себе метод ток/потокосцепление и зондирование. Из уравнения

$$\psi = \int (U_{\phi} - i_{\phi}(t) \cdot R) dt$$

получают значение потокосцепления зондируемой фазы и далее из таблиц  $i$ - $\psi$ - $\theta$  определяют положение ротора. Первые работы по применению данного метода появились в начале 90-х годов прошлого века. Метод был в дальнейшем развит и проверен на практике [4].

#### *Заключение*

Внедрение привода на базе ВИМ на производстве и транспорте способствует не только развитию существующих методов косвенного определения положения ротора, но и появлению новых.

#### *Список литературы*

1. Panda, S.K., and Amaratunga, G.A.J., Analysis of the waveform detection technique for indirect rotor position sensing of switched reluctance motor drives. IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 6 (1991), No. 3, pp. 476–483.
2. Panda, S.K., and Amaratunga, G.A.J., Waveform detection techniques for indirect rotor position sensing of switched reluctance motor drives, Part I Analysis and Part II Experimental Results. IEE Proc. Vol. 140 (1993), No. 1, pp. 80–96.
3. Mvungi, N.H., Lahoud, M.A. and Stephenson, J.M., A new sensorless position detector for SR drives. Fifth International Conf on Power Electronics and Variable Speed Drives 1990, pp. 249–252.
4. Mvungi N.H. and Stephenson J.M., Accurate sensorless rotor position detection in an SR motor, Proceedings European Power Electronics Conference, 1992, vol. 1, pp. 390–393.