# Управление состоянием асинхронного электродвигателя

Асинхронный электродвигатель (АД) является вполне управляемым объектом.

Качество управления зависит от идеологий построения систем управления, которые уже подробно описаны в следующих учебниках [1, 2, 3], и некоторых обзорных публикациях [4 и 5].

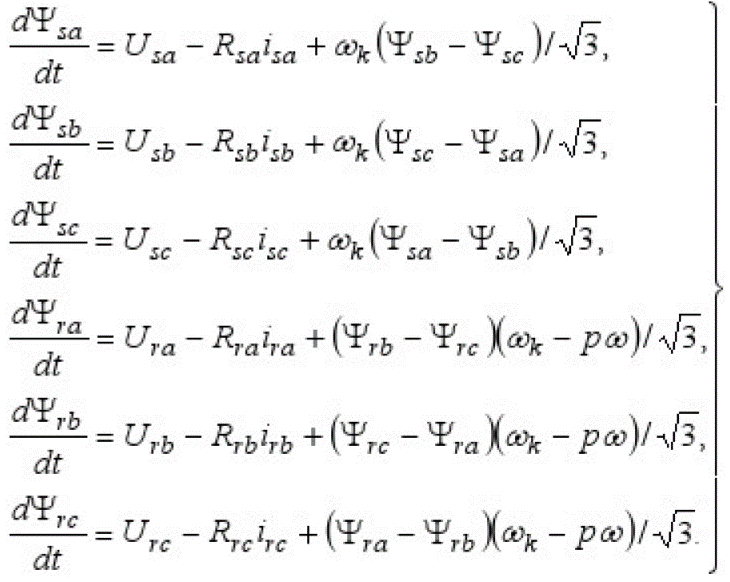
Вместе с тем нельзя утверждать, что в смысле обеспечения максимального качества управления уже наступил предел.

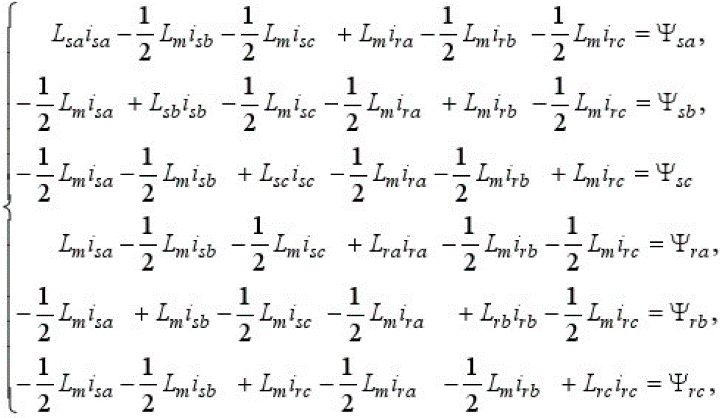
## Вывод прогрессивных алгоритмов управления электродвигателя

В подтверждение выше сказанному, есть многочисленные публикации [6, 7, 8] и так же есть базовые работы в данной предметной области [9, 10, 11].

В данной статье рассмотрим один и прогрессивных способов управления электродвигателем.

**Состояние асинхронного электродвигателя будем описывать совокупностью дифференциальных и алгебраических связей, согласно работам [12 и 13] в 3-х фазном варианте:**

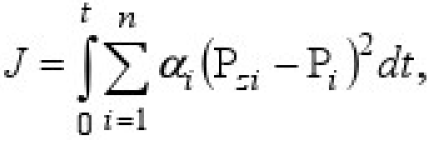




**где**

* Оси системы координат а, b, с.
* i с индексами s, r и а, b, с - токи.
* Lm - индуктивность цепи намагничивания.
* Проекций вектора напряжения статора Tsa, Tsb, Tsc, Tra, Trb, Trc.
* L с индексами s, r - индуктивности соответствующих фазных обмоток.
* ωk - электрическая угловая скорость вращения координатной системы.
* ω - геометрическая угловая скорость вращения ротора электродвигателя.
* R и индексами s, r - активные сопротивления обмоток статоров и роторов АД соответствующих фаз (а, b, с).
* Совокупности определяют характер изменения фазовых координат потокосцеплений с выделением в них управляющих воздействий: Ψsa, Ψsb, Ψsc, Ψra, Ψrb, Ψrc.

**Задача управления АД может рассматриваться как задача минимизации функционала, записанного в интегральной форме и выражающего цель управления, например, в виде функционала:**



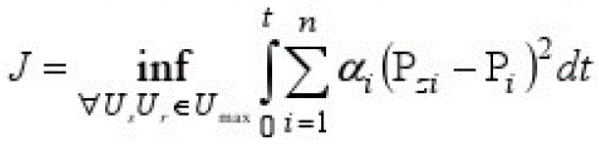
**где**

* ai - коэффициенты значимости переменных (весовые коэффициенты).
* Рsi, Рi - необходимое и мгновенное значения управляемой переменной АД (в качестве Рsi, Рi могут выступать, например, электромагнитный момент АД, потокосцепления ротора, статора АД и другие).

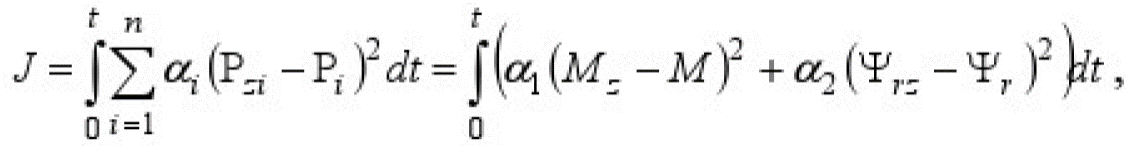
**Решение такой задачи с использованием известных методов оптимизации, например, принципа максимума Л.С. Понтрягина позволяет найти алгоритмы формирования векторов напряжений:**

* Ротора для двигателя двойного питания.
* Статора в случае управления АД со стороны статора.

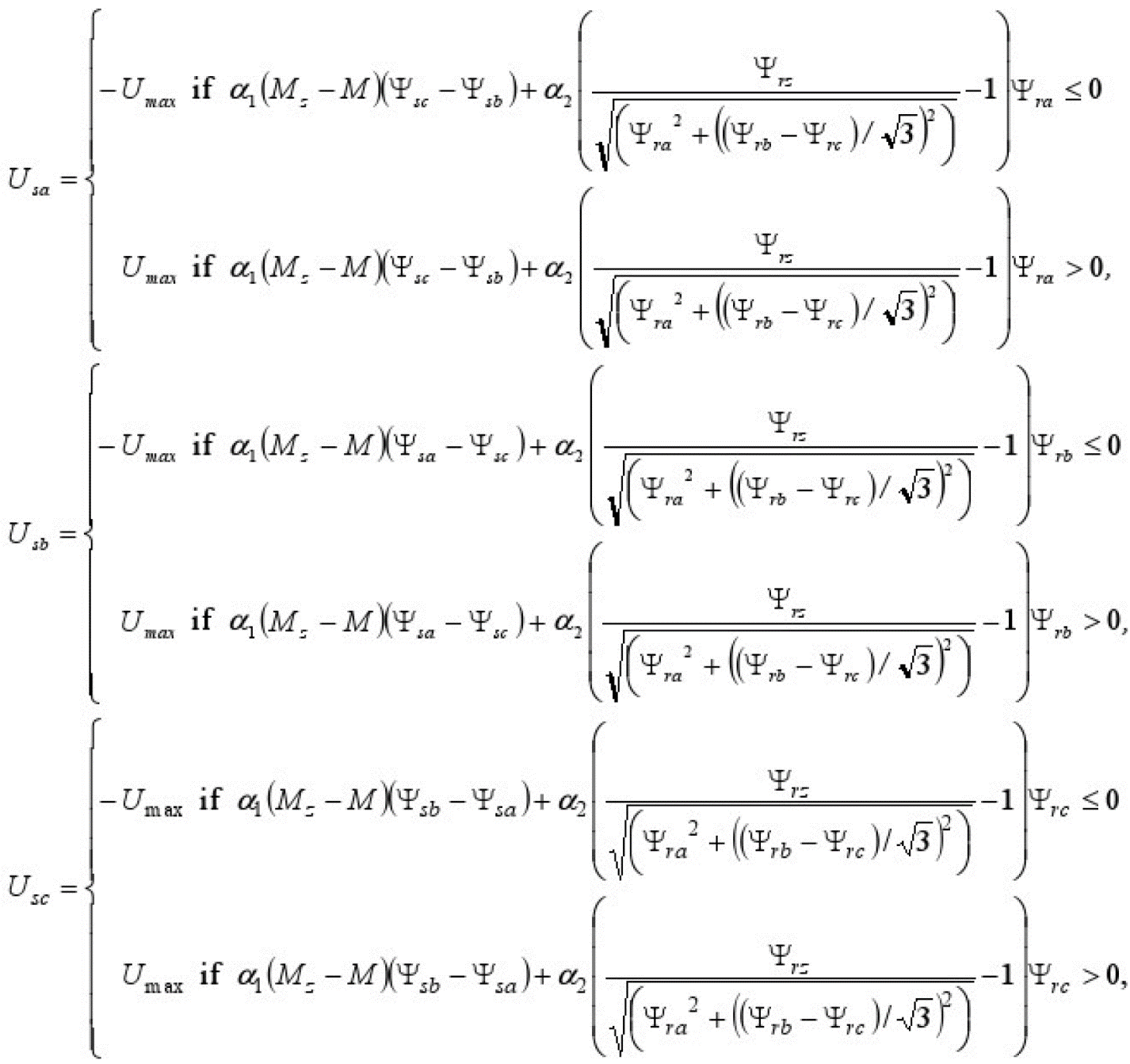
**Следовательно, получим следующее уравнение:**



**Например, возьмем следующий функционал:**



**Следовательно, получим следующую систему уравнений:**



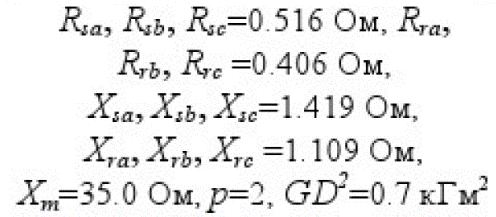
**где**

* Mz, M - задаваемое и текущее значение электромагнитного момента АД.
* Ψrs, Ψr - амплитуды задаваемого и текущего значения потокосцепления ротора.
* Umax - максимально возможное амплитудное значение напряжения питания электродвигателя.

## Построение графиков с применением нового алгоритма управления

На основании полученных систем уравнений следующим этапом будет построение графиков зависимостей основных характеристик электродвигателя в различных режимах работы.

**Для получения трендов в различных режимах работы АД, используем значения следующих параметров:**



**Соответственно получим следующий тренд амплитуды на рисунке 1:**



Рисунок 1 – Изменение амплитуды потокосцепления ротора Ψr при ступенчатом задании значений Ψrs последовательно без учета насыщения магнитной цепи

**Где происходит ступенчатое задание значений Ψrs последовательно:**

* 1.7.
* 1.5.
* 1.7.
* 1.6.
* 1.7.
* 1.5.
* 1.7.
* 1.6.

**Из полученного тренда получаем формы амплитуд потокосцепления статора на рисунке 2:**

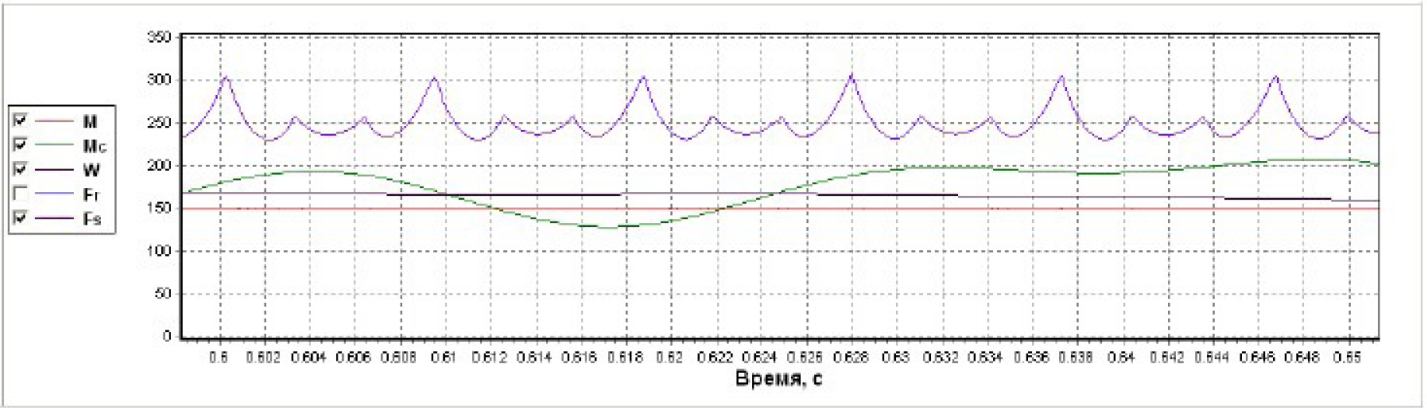


Рисунок 2 – Типичная форма изменения амплитуды потокосцепления статора (верхняя линия) в идеальном варианте управления

**где**

* Fs=150Ψs.

**Исходя из графиков рисунка 2 построим режимы работы электродвигателя при изменении потокосцепления ротора, рисунок 3:**

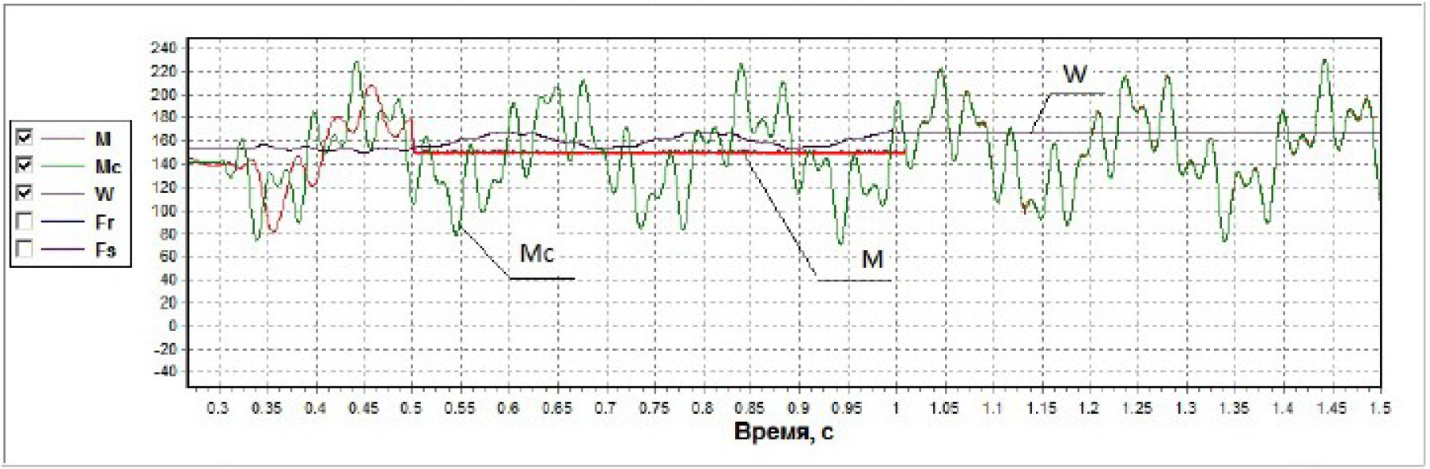


Рисунок 3 – Режимы работы АД при изменении Ψr

**где**

* До 0.5 с – возникает неуправляемый режим.
* От 0.5 до 1.01 с – происходит стабилизация электромагнитного момента.
* От 1.01 с – возникает стабилизация скорости.

**На рисунке 4 представлены тренды по моменту и скорости в рассматриваемом режиме на разных промежутках времени:**

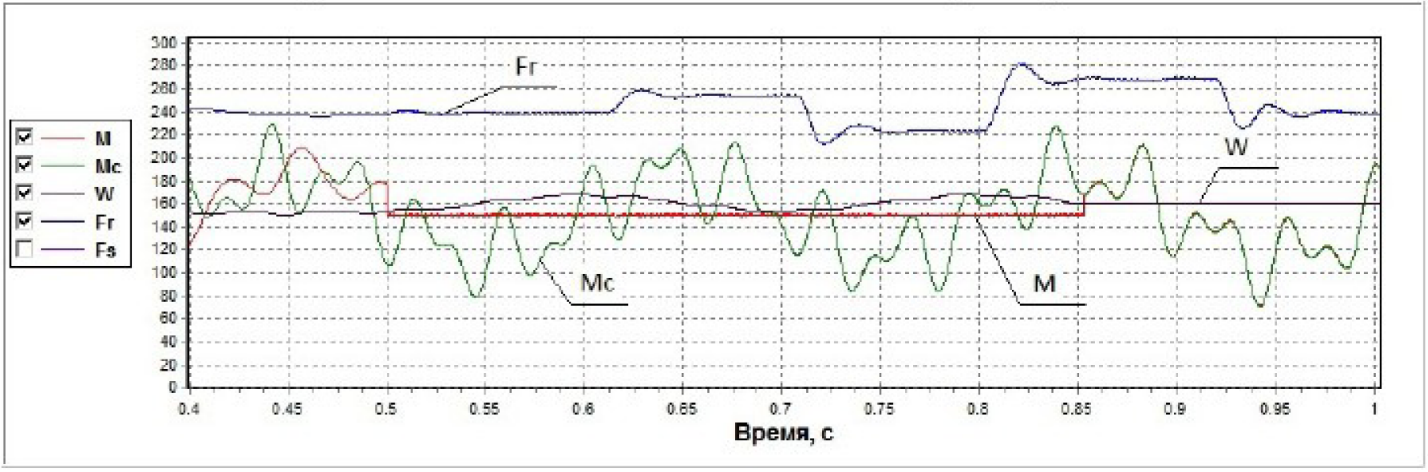


Рисунок 4 – Сохранение качества управления электромагнитным моментом и скоростью АД при изменении задания потокосцепления ротора при идеальном варианте управления

**где**

* Fr=150Ψr.
* Задержка формирования управлений Ua, Ub, Uc - 0 мкс.
* В интервале времени от 0.5 с до 0.855 с происходит сохранение качества управления моментом.
* В интервале времени от 0.855 с происходит сохранение качество управления скоростью электродвигателя.

Следует отметить, что найденные алгоритмы формирования векторов напряжений обеспечивают приемлемое качество управления во всех возможных режимах работы АД в идеальном варианте.

**В рамках исследований рассмотрены следующие режимы электродвигателя:**

* Пуск.
* Торможение.
* Основной технологический.

Эти алгоритмы при раздельном задании необходимых значений электромагнитного момента и потока близки к способу управления известному как Direct Self Control (DSC) [10].

Вместе с тем, наличие запаздывания в системе управления при формировании управляющих воздействий (Ua, Ub, Uc) приводит к довольно значительной погрешности при обеспечении качества управления.

**Качество управления моментом и скоростью при 10 мкс, представлен на рисунке 5:**

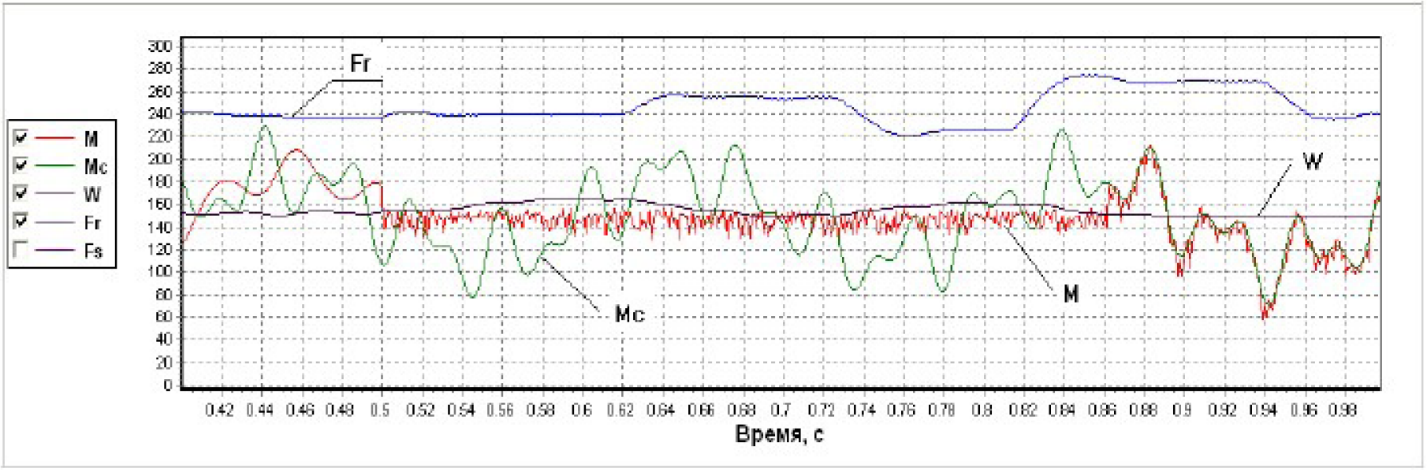


Рисунок 5 – Качество управления электромагнитным моментом и скоростью АД при изменении задания потокосцепления ротора

**где**

* Fr=150 Ψr.
* Задержка формирования управлений Ua, Ub, Uc - 10 мкс.
* В интервале времени от 0.5 с до 0.855 с происходит сохранение качества управления моментом.
* В интервале времени от 0.855 с происходит сохранение качество управления скоростью электродвигателя.

**Качество управления моментом и скоростью при 25 мкс, представлен на рисунке 5:**



Рисунок 6 – Качество управления электромагнитным моментом и скоростью АД при изменении задания потокосцепления ротора

**где**

* Fr=150 Ψr.
* Задержка формирования управлений Ua, Ub, Uc - 25 мкс.
* В интервале времени от 0.5 с до 0.855 с происходит сохранение качества управления моментом.
* В интервале времени от 0.855 с происходит сохранение качество управления скоростью электродвигателя.

Рассмотренная методология управления электродвигателем может иметь практическое применение в области электропривода производственных систем.

## Список литературы

1. Усольцев А.А., Частотное управление асинхронными двигателями / СПб: СПбГУ ИТМО, 2006.-94 с.
2. Trzynadlowski А.М., Control of induction motor / London, Academic Press, 2001. - 228 c.
3. Tze-Fun Chan, Keh Shi., Applied Intelligent Control of Induction Motor Drives / John Wiley & Sons, 2011. 432 p.
4. Состояние, тенденции и проблемы в области методов управления асинхронными двигателями / Бичай В.Г., Пиза Д.М., Потапенко Е.Е., Потапенко Е.М. // “Радioелектронiка, iнформатика, управлiння” №1, 2001.
5. Modeling and control of induction motors / Delaleau E., Louis J-P, Ortega R. // Int.J.Appl. Math. Com put. Csi., 2001 Vol. 11. №1, 105-129.
6. Chen F., Dunnigan M.W. Sliding-mode torque and flux control of an induction machine / IEE Proc - Electr. Power Appl., Vol. 150, №2, March 2003.
7. Direct torque control of doubly fed induction machine / F. Bonnet, P.E. Vidal, M. Pietrzak-David // Bulletin of the polish academy of sciences. Technical sciences. Vol. 54, No.3, 2006.
8. Общая задача управления асинхронным электродвигателем / Ещин Е.К., Григорьев А.В. // ИВУЗ, Электромеханика, 2010 №1. С.39-43.
9. Blaschke F., The principle of field orientation applied to the new trans-vector closed-loop control system for rotating field machines, Siemens-Review 39, 1972, pp. 217-220.
10. Depenbrock M., Direct self-control of the flux and rotary moment of a rotary-field machine // United States Patent, Patent Number 4,678,248 Date of Patent Jul. 7, 1987.
11. Takahashi I., Naguchi T., A new quick response and high efficiency control strategy of an induction motor, IEEE Trans. IA, 1986.
12. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин / М Высшая школа, 2001.-327 с.
13. Ковач К., Рац И., Переходные процессы в машинах переменного тока - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963 -744 с.
14. [Моделирование перенапряжений в системе электроснабжения с электродвигательной нагрузкой.](https://gekoms.org/2012/12/05/modelirovanie-perenaprjazhenij-v-sisteme-jelektrosnabzhenija-s-jelektrodvigatelnoj-nagruzkoj/)

Источник: Управление состоянием асинхронного электродвигателя / Е.К. Ещин // Вестник КузГТУ. - 2012. - №5. - C. 72-75.