## Вариант управления электромагнитным моментом, потоком и током асинхронного электродвигателя

В предлагаемой работе приводится вариант управления состоянием асинхронного электропривода, обладающий быстродействием вариантов разрывного управления и возможностью жесткого ограничения амплитуды тока статора на заданном уровне. При этом обеспечивается синусоидальное распределение поля статора в воздушном зазоре и синусоидальные токи фаз электродвигателя.

Задача управления технологическими переменными промышленной установки в большинстве случаев может быть решена средствами регулируемого электропривода.

**Основными критериями, предъявляемыми к электроприводам, являются:**

* Выполнение технологических функций (поддержание заданной частоты вращения и крутящего момента).
* Достижение минимума потерь электроэнергии при работе установки (максимальный КПД).
* Высокая надежность.
* Наилучшие показатели позволяет получить регулируемый электропривод переменного тока.

**Основными методами регулирования координат электропривода переменного тока являются:**

* Методы управления с ориентацией по векторам потоков статора или ротора.
* Системы прямого управления моментом.

В структуру систем управления с ориентацией по векторам потоков входят основные контуры регулирования электромагнитного момента и амплитуды вектора потока статора или ротора, а также промежуточные контуры регулирования токов фаз статора [1, 2, 4, 5].

Промежуточные контуры регулирования и линейные регуляторы амплитуды потока и электромагнитного момента приводят к снижению быстродействия системы управления и перерегулированию. Достоинствами системы управления является высокая точность регулирования величин электромагнитного момента и амплитуды вектора потока статора или ротора, а также возможность ограничения амплитуды тока статора.

### Формирование модели управления электродвигателем

**Есть другой способ управления («Прямое управление моментом», ПУМ) электромагнитный момент и амплитуда вектора потока статора регулируются непосредственно напряжением инвертора [2, 3, 5, 6]:**

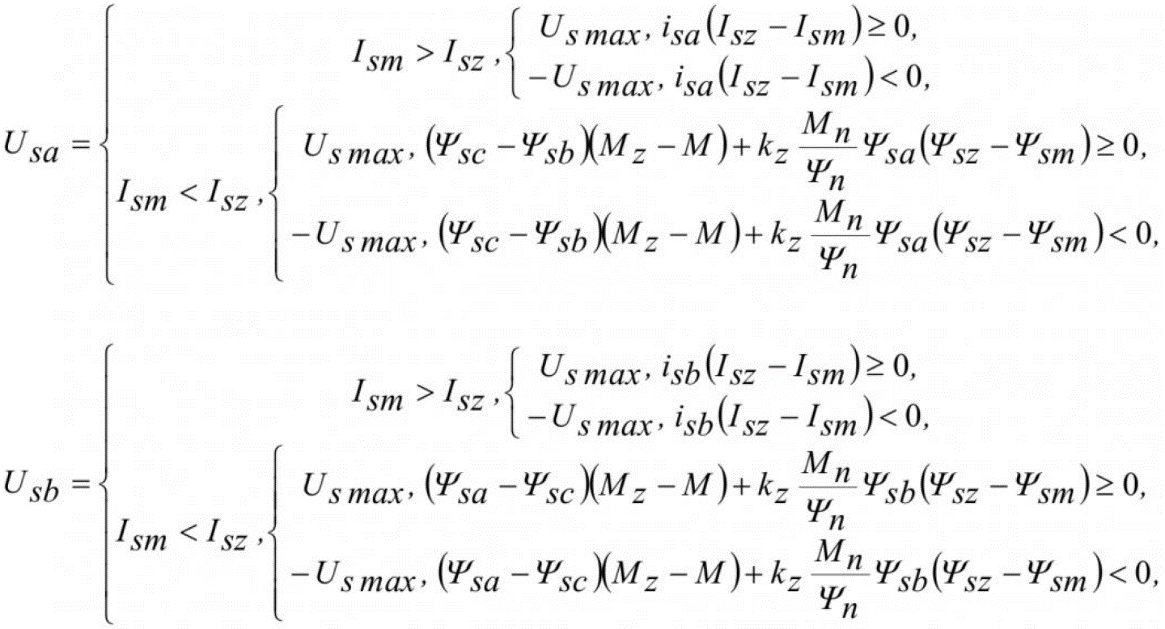
* Поэтому, способ прямого управления моментом обладает меньшей инерционностью, чем варианты управления с ориентацией по векторам потоков.
* Но при прямом управлении моментом амплитуда тока статора не ограничивается, поэтому в переходных режимах, особенно при пуске, ток статора может превышать номинальное значение.

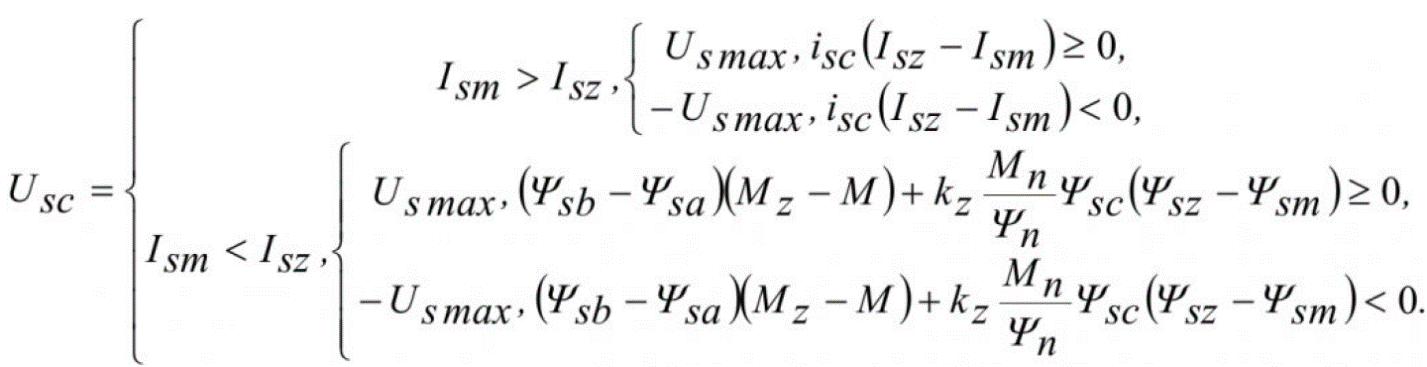
Как мы указывали выше, здесь мы предлагаем вариант управления, обладающий быстродействием варианта ПУМ и возможностью жесткого ограничения амплитуды тока статора.

**Вариант управления заключается в том, что:**

* На основе значений фазных токов (isa, isb, isc) и напряжений (Usa, Usb, Usc) статора определяют значение составляющих вектора потокосцепления статора (Ψsa, Ψsb, Ψsc) и значение электромагнитного момента (М).
* Затем на основе заданных значений этих величин (Ψsz, Mz) и заданной предельной величины тока статора (Isz) формируют управляющие сигналы инвертором напряжения (Usa, Usb, Usc).

**На основании этого получаем следующие выражения:**





**где**

* kz - коэффициент значимости управления потокосцеплением.
* Usmax - максимальное значение фазного напряжения статора.
* Мn, Ψn - номинальные значения электромагнитного момента и потокосцепления статора.
* Ism, Ψsm - амплитуды тока и потокосцепления статора.

Если коэффициент значимости равен 0, то управление производится только величиной электромагнитного момента, если kz →ꚙ, то управление производится только величиной потокосцепления статора.

**Структурная схема варианта управления показана на рисунке 1:**

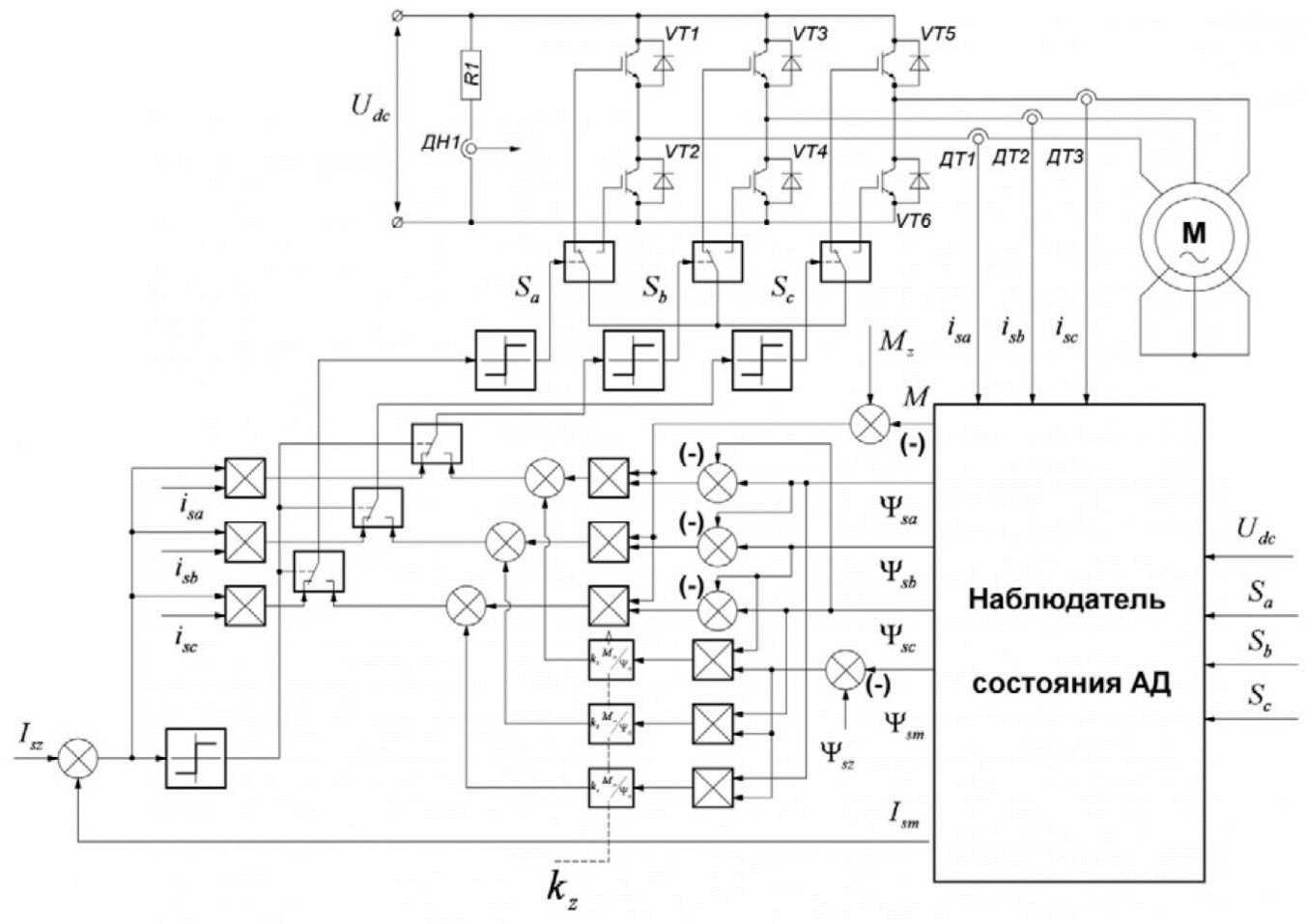


Рисунок 1 – Структурная схем предложенного варианта управления

**Для исследования варианта управления была реализована вычислительная модель асинхронного электропривода на базе электродвигателя 4A80A4Y3:**

* Частота коммутации ключей инвертора принималась на уровне 5 кГц.
* Заданное значение потокосцепления статора установлено на уровне 0.8 Вб.
* Электромагнитного момента - 5 Нм.

**Исследование варианта управления выполнено в следующей последовательности:**

* Пуск.
* Работа без нагрузки при различных коэффициентах значимости без ограничения амплитуды тока статора.
* Работа без нагрузки при различных коэффициентах значимости с ограничением амплитуды тока статора.
* Работа под нагрузкой с ограничением амплитуды тока статора.

При пуске в электродвигателе отсутствует магнитный поток, поэтому мгновенное изменение электромагнитного момента до заданного уровня невозможно.

### Графики пусков электродвигателя согласно рассматриваемой модели

**Для реализации пуска необходимо принять меры по намагничиванию машины:**

* Предварительное намагничивание машины постоянным током.
* Или одновременное управление электромагнитным моментом и магнитным потоком (рисунки 2 и 3).

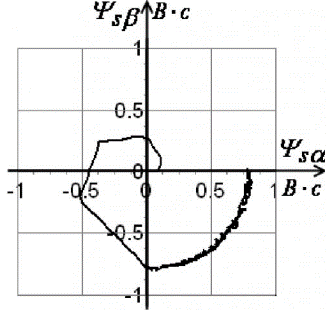


Рисунок 2 – Годограф вектора потока статора при пуске

**где**

* Ψsα = Ψsa
* Ψsβ = (Ψsb- Ψsc)/√3

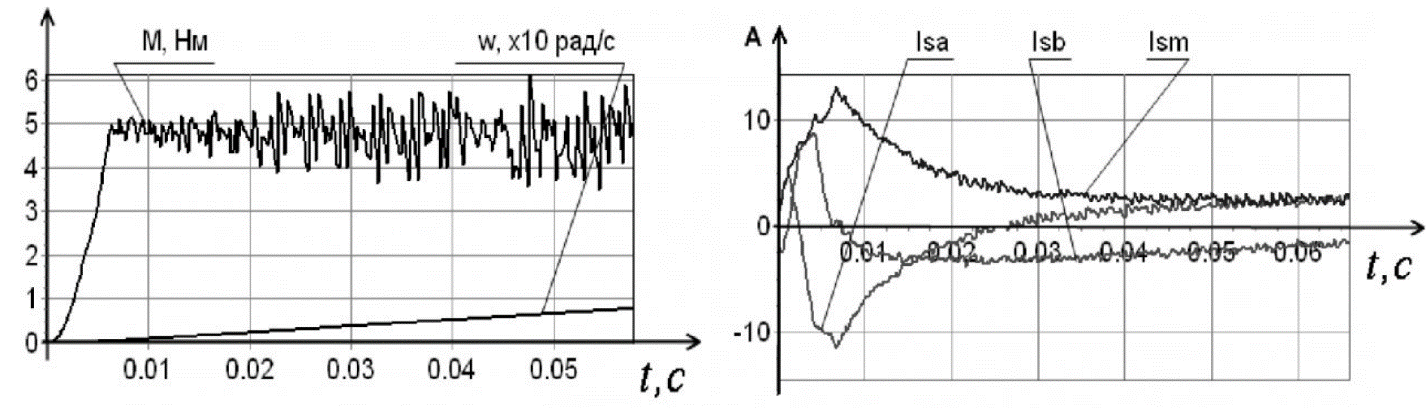


Рисунок 3 – Пуск при одновременном управлении электромагнитным моментом и амплитудой вектора потокосцепления статора

Графики на рис. 2, 3 получены при коэффициенте значимости kz = 1.

На рисунке 3 видно, что при пуске происходит значительное увеличение амплитуды тока статора. Для ограничения всплеска тока в систему управления введено ограничение в виде предельного значения тока статора (Iz).

**Графики при других значениях коэффициента значимости показаны на рисунке 4-6:**

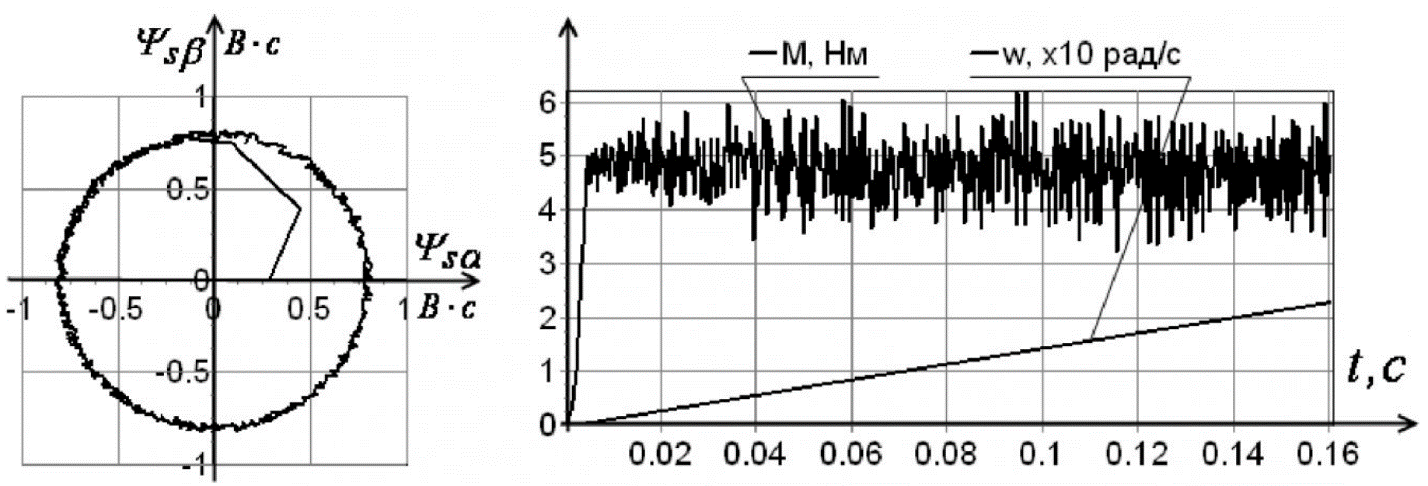


Рисунок 4 – Графики при коэффициенте значимости kz = 3

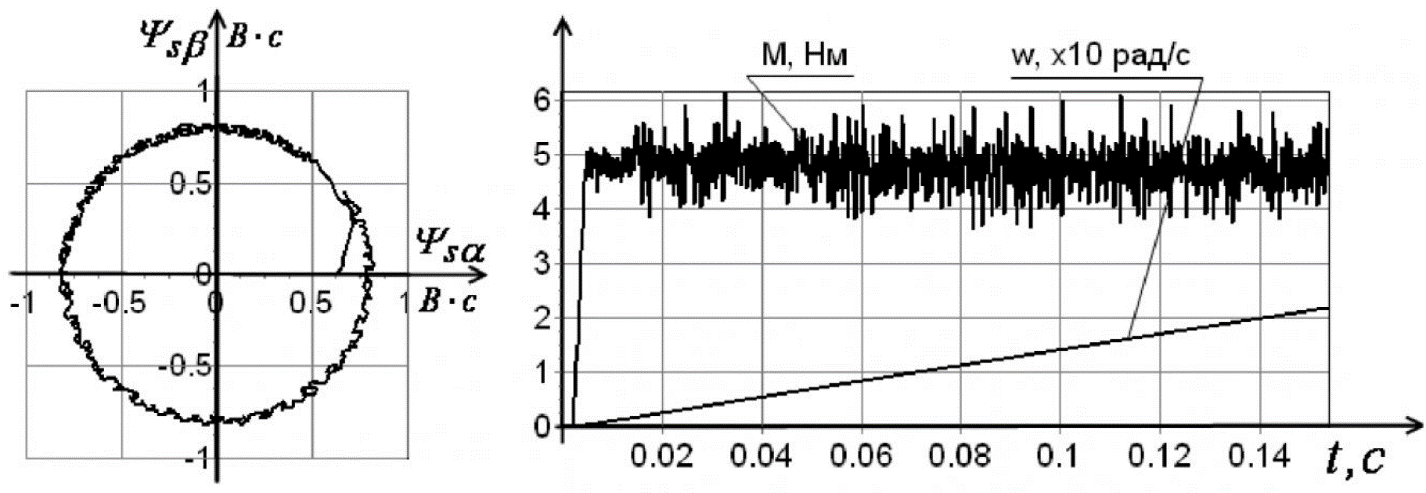


Рисунок 5 – Графики при коэффициенте значимости kz = 10

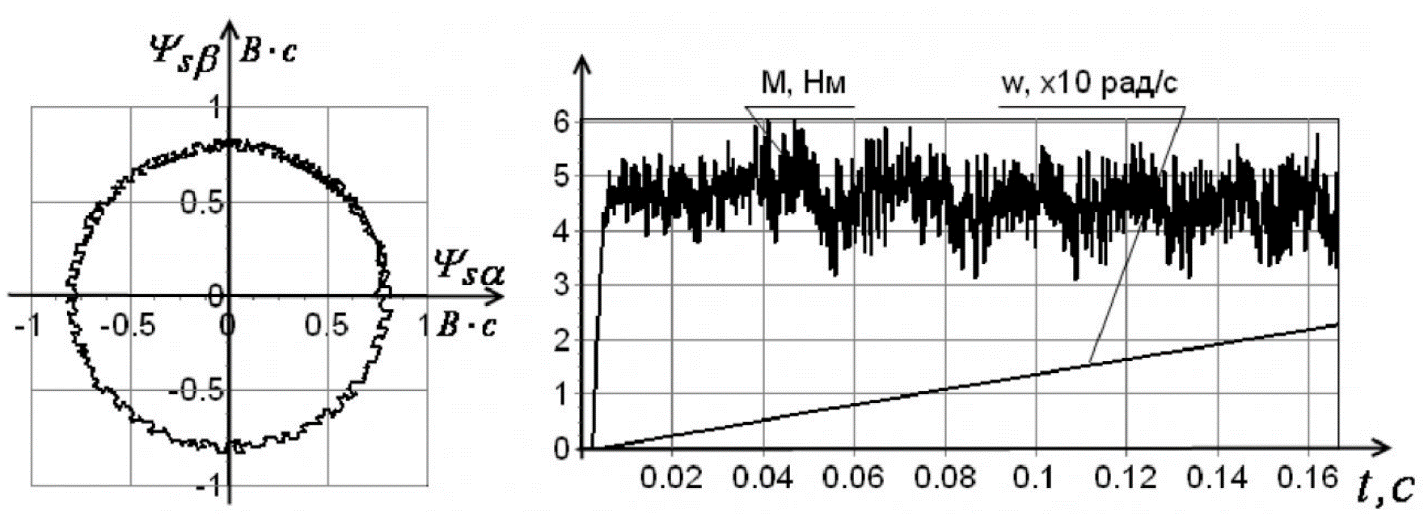


Рисунок 6 – Графики при коэффициенте значимости kz = 30

**На этих графиках видно, что:**

* Увеличение коэффициента значимости приводит к увеличению точности регулирования амплитуды вектора потока статора.
* К уменьшению точности регулирования величины электромагнитного момента.

При пуске, увеличение коэффициента значимости приводит к предварительному намагничиванию машины постоянным током до достижения потоком некоторой величины, которая при коэффициенте значимости kz =30 равна заданному значению потока.

**На рисунке 7 мы можем видеть, что ограничение тока статора приводит к ограничению значений электромагнитного момента на этапе пуска из-за того, что машина размагничена:**

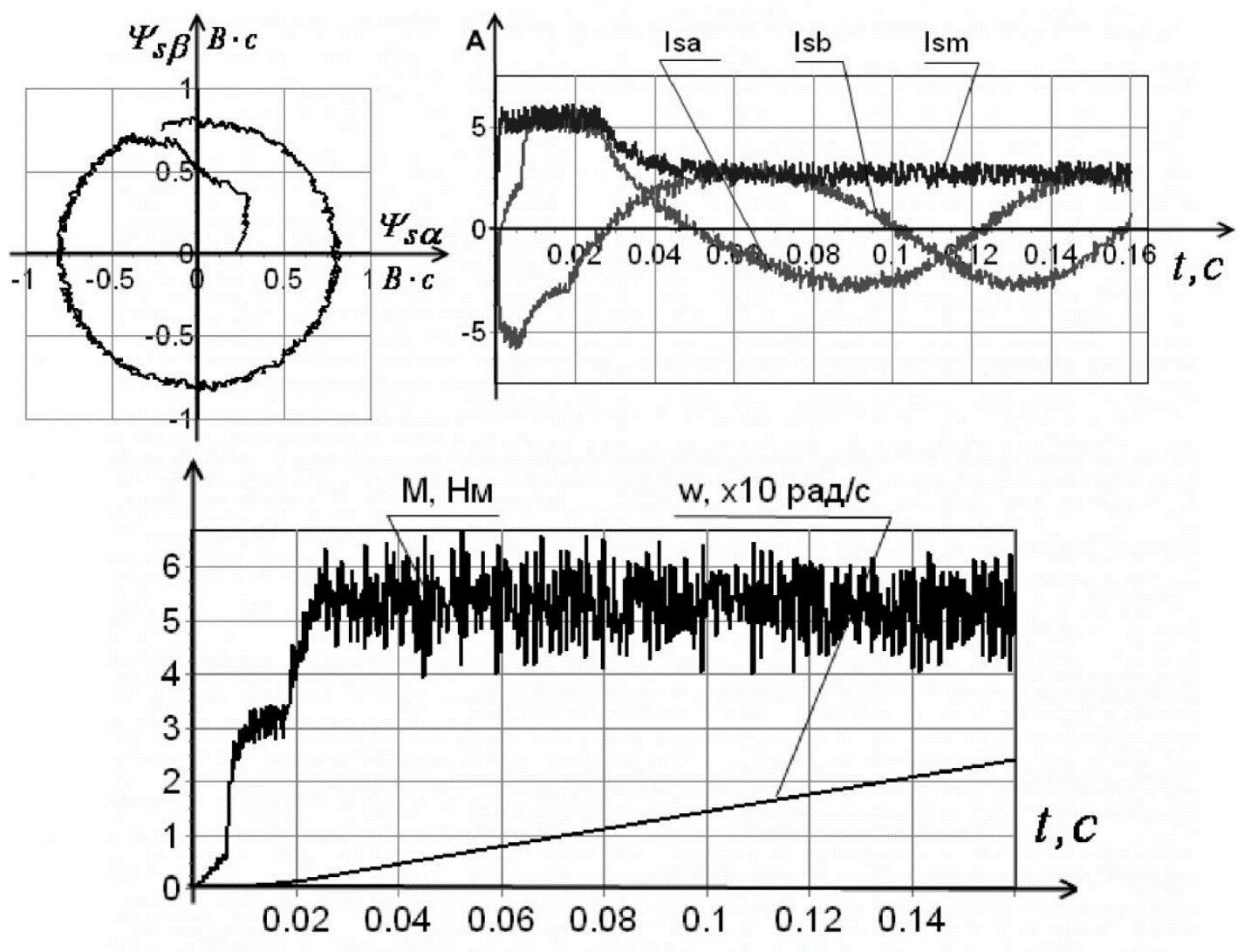


Рисунок 7 - Графики при ограничении тока статора на уровне 1.5Iн =5.6 А при коэффициенте значимости kz=3

**Затем, когда машина намагничена, значение электромагнитного момента устанавливается на заданном уровне (5 Нм):**

* При управлении технологическими параметрами, например, частотой вращения вала электродвигателя, во внутренние контуры системы управления может задаваться любое значение электромагнитного момента.
* Если не вводить ограничение амплитуды тока статора, то ток статора может превышать допустимое значение.
* В этом случае жесткое ограничение тока позволяет не допустить перегрева электрической машины и элементов электрического преобразователя.

Если ввести другой коэффициент значимости и произвести запуск с тем же условием, что и на рисунке 7.

**Следовательно, получим более благоприятный вид переходного процесса при пуске (смотрите рисунок 8):**

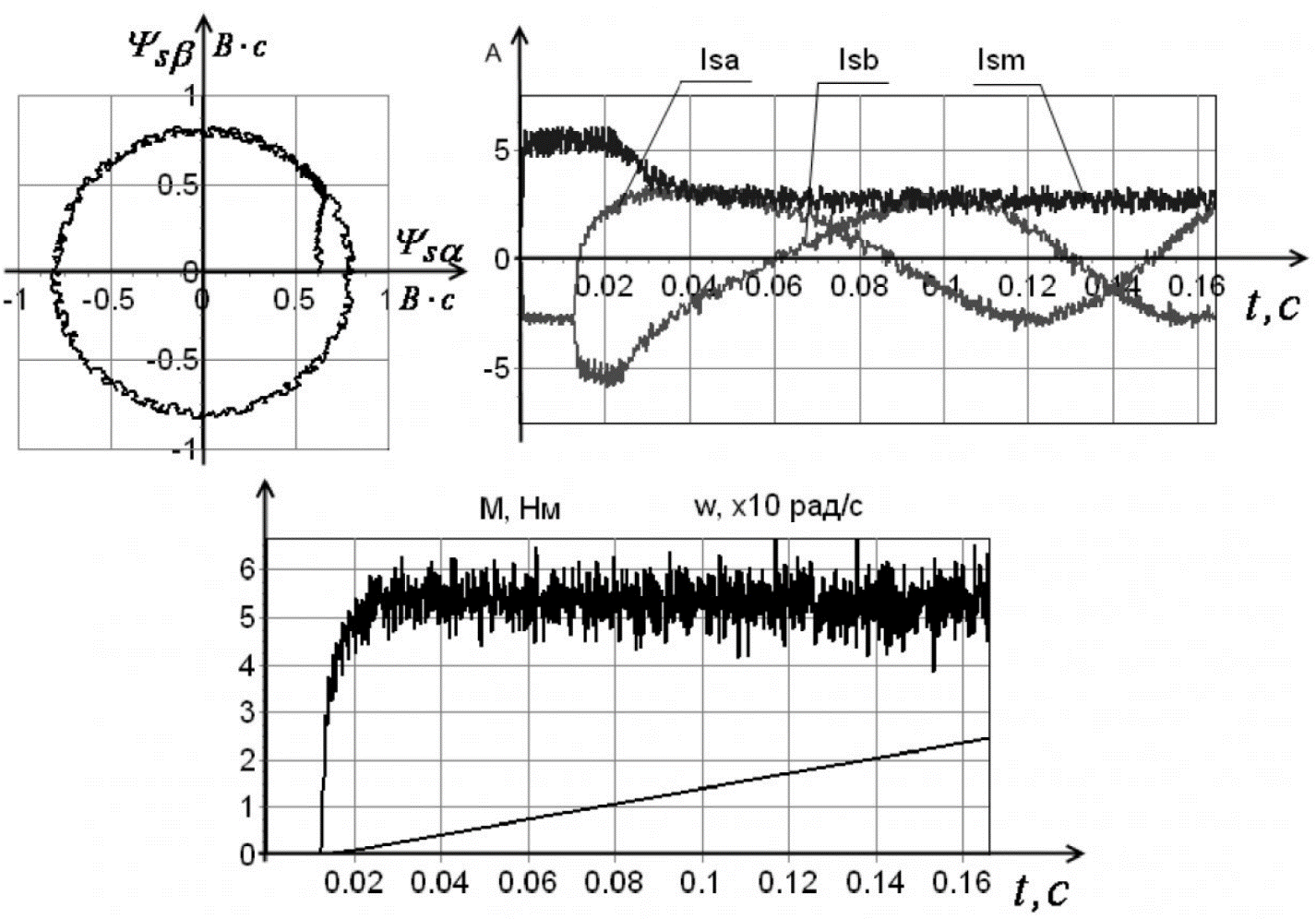


Рисунок 8 – Пуск при коэффициенте значимости kz=10 и ограничении тока статора значением 1.5Iн=5.6

**На рисунке 8 видно, что:**

* Заданное значение электромагнитного момента при увеличении коэффициента значимости достигается быстрее, чем при меньших коэффициентах.
* Это обусловлено тем, что по мере пуска при большем коэффициенте значимости происходит более быстрое намагничивание стали машины.
* Тем не менее, разгон ротора машины до частоты 10 рад/с на рисунке 7 происходит также быстро, как на рисунке 8.
* Пуск с коэффициентом значимости 10 при ограничении тока статора допустимым значением 1.5Iн сравним с режимом запуска с предварительным намагничиванием постоянным током при условии поддержания постоянной амплитуды тока (рисунок 8).

**Формируемый электромагнитный момент и амплитуда вектора потока статора непосредственно не зависят от нагрузки на валу электродвигателя:**

* Косвенно на характеристики варианта управления влияет частота вращения ротора (возмущающее воздействие).
* В случае отсутствия нагрузки (МC = 0 Нм) на валу электродвигателя ротор будет разгоняться до предельной возможной частоты вращения.
* Значение предельной частоты вращения ограничено предельным значением напряжения статора и амплитудой результирующего вектора потока статора.

**Работа электродвигателя выше предельной частоты вращения возможна, но при уменьшении амплитуды результирующего вектора потокосцепления статора (рисунок 9):**

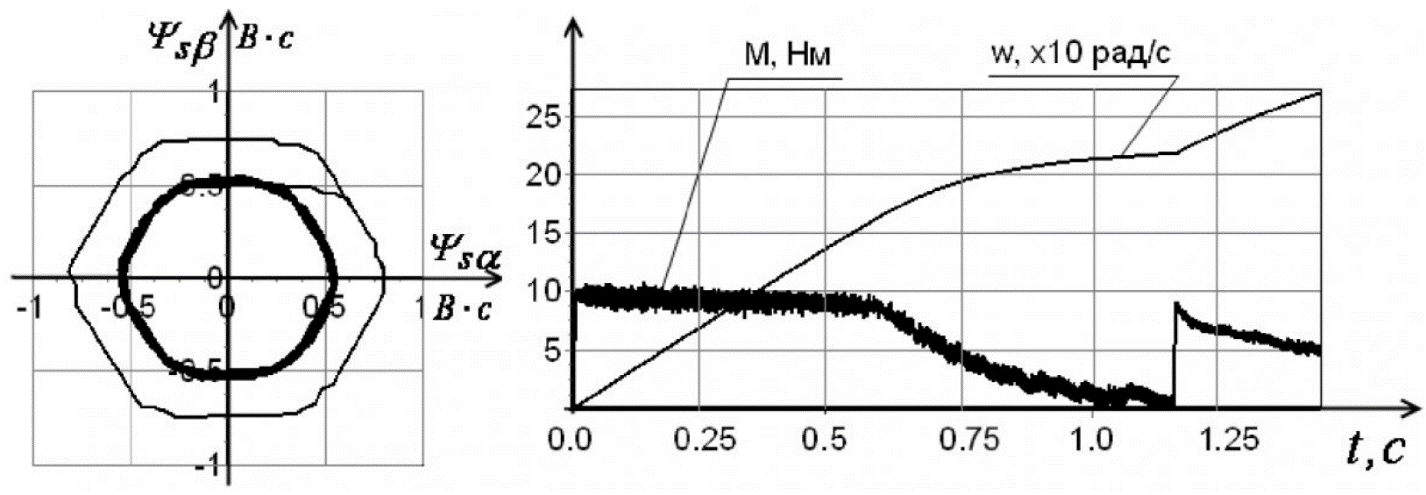


Рисунок 9 – Изменение предельной частоты вращения при ослаблении поля статора

На рисунок 9 видно, что ослабление поля приводит к соответствующему увеличению амплитуды тока статора и к увеличению предельной частоты вращения.

Отсюда следует еще одно свойство предлагаемого варианта управления - невозможность ослабления поля ниже заданного значения.

**На рисунке 10 представлены графики, полученные при подаче резкоизменяющейся нагрузки на вал электродвигателя:**

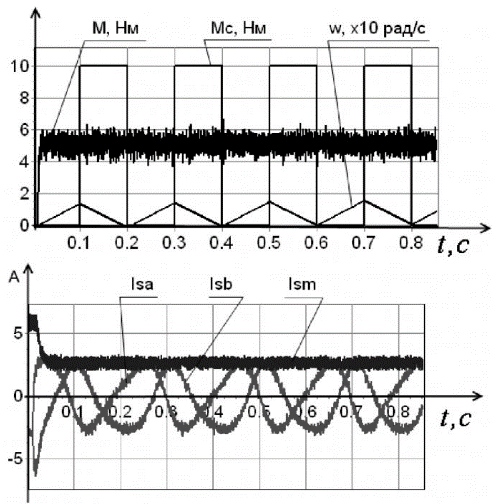


Рисунок 10 – Реакция системы управления при резком изменении нагрузки на валу электродвигателя

Очевидно, что формируемые значения электромагнитного момента и потока статора не зависят от нагрузки. Тем не менее, средние значения регулируемых величин равны заданным во всем диапазоне изменения частоты вращения.

**Достоинства представленного варианта управления:**

* Низкая сложность алгоритма управления.
* Ток в рабочем диапазоне частот вращения ротора изменяется синусоидально, что создает благоприятные условия электромагнитной совместимости преобразователя.
* Быстродействие предложенного варианта регулирования электромагнитного момента и потока статора превышает быстродействие вариантов управления с ориентацией по векторам потоков.
* Алгоритм управления использует значения переменных, идентификация которых не составляет проблем (составляющие вектора потокосцепления статора).
* Амплитуда тока статора ограничивается предельным значением, обеспечивая нормальные условия работы двигателя при пуске и в переходных режимах.

**Предложенный вариант управления можно использовать в электроприводах машин, работающих с переменной и резкоизменяющейся нагрузкой:**

* В электроприводах горных машин.
* Электроприводах турбомеханизмов.
* В электроприводах подъемных и транспортных машин.

Использование представленного варианта управления в асинхронном электроприводе позволяет снизить потребление электроэнергии, повысить надежность и сберечь ресурс электропривода в целом.

### Список литературы

1. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / Учебное пособие. - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006. - 94 с.
2. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. - М.: Academa, 2006. - 265 с.
3. Sellami S., Belkacem S., Naceri F. Performance analysis of field-oriented control and direct torque control for sensorless induction motor drives // Asian journal of information technology, №6(2), 2007. - P. 215-221.
4. High-speed field-oriented control. - Master thesis / Group PED4-1037. - 2009. P. 80.
5. Bocker J., Mathapati S. State of the art of induction motor control // IEEE Transactions on industry applications, №1, 2007. - P. 1459-1464.
6. Takahashi I., Noguchi T. A new quick-response and high-efficiency control strategy of an induction motor // IEEE Transactions on industry applications. Vol. 1A-22. №5, 1986. - P. 820-827.

Источник: Вариант управления электромагнитным моментом, потоком и током асинхронного электродвигателя / А.В. Григорьев // Вестник КузГТУ. - 2011. - №5. - C. 87-92.