

## ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВЫБОР ТИПА ЭЛЕКТРОПРИВОДА В МНОГОСВЯЗНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Шабо К.Я.

*Технический институт, филиал ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Нерюнгри,  
e-mail: kamilshabo@rambler.ru*

Все электроприводы содержат регуляторы тока и скорости, с помощью которых, путём воздействия на силовой преобразователь достигается желаемый динамический режим привода. Однако в способах получения математической модели в приводах переменного и постоянного тока имеется существенное различие. В статье показано, что в целях оптимизации систем управления электроприводов, переменного тока, одновременное использование блоков моделирования напряжения и тока, обеспечивающие возможность применения в качестве датчика простого импульсного датчика в грубом механическом исполнении. Точка отсчета определяется при помощи установки счетчиков, контролирующих процесс возбуждения по упомянутому способу определения координат, это дает возможность машине переменного тока проявлять себя как полностью скомпенсированная машина постоянного тока. Наряду с регулированием частоты вращения осуществляется регулирование в функции пути, скорости и ускорения, что обеспечивает снижение пика мощности.

**Ключевые слова:** системы управления, многосвязная система, блок моделирования, частота вращения, двигатель постоянного и переменного тока

## FACTORS DETERMINING THE SELECTION OF THE TYPE OF ELECTRIC DRIVE IN MULTIPLY CONNECTED CONTROL SYSTEMS

Chabo K.Y.

*Technical Institute, branch of North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov,  
Nerungri, e-mail: kamilshabo@rambler.ru*

All contain electric current regulators and speed with which, by acting on the power converter achieved a desired dynamic driving mode. However, methods for producing a mathematical model drives AC and DC there is a significant difference. The article shows that in order to optimize the electric control systems, AC, simultaneous use of voltage and current simulation blocks, providing the opportunity to use as sensor a simple pulse generator in the rough mechanical performance. The starting point is determined by setting the counters that control the process of excitation by said method for determining the coordinates, it enables the AC drive to manifest itself as a fully compensated DC machine. Along with the speed control is carried out in the way the regulation functions, speed and acceleration that reduces peak power.

**Keywords:** control system, multiply the system, the simulation unit, speed, motor AC and DC

В настоящее время для возможности регулирования частоты вращения и тока двигателя любого типа наиболее приемлемым считается преобразователь, коммутируемый (ведомый) сетью, приведенный на рис. 1, в виде двунаправленной шести импульсной реверсивной тиристорной схемы. Преобразователи этого типа выпускаются в широком диапазоне мощностей вплоть до уровня 10–20 МВт, требуемых для самых крупных электроприводов.

Регулирование такого привода осуществляется посредством изменения формы управляющих импульсов подаваемых на тиристоры преобразователя  $C_1$  и  $C_2$ , в зависимости от того, какие направления тока и момента требуются для поддержания заданной частоты вращения. Схема управления, показанная на рис. 1, типична для любых регули-

руемых электроприводов, будь то приводы постоянного или переменного тока. Она содержит внутренний контур регулирования тока, обеспечивающий быстрое нарастание тока якоря и вращающего момента, и внешний контур регулирования частоты вращения с соответствующим регулятором скорости (РС), вырабатывающим сигнал, который является задающим на входе регулятора тока (РТ). Посредством ограничения заданной величины тока обеспечивается защита преобразователя, привода и механической нагрузки от случайных бросков тока в якорной цепи, имеющей низкое сопротивление. Внутренний контур играет важную роль в деле защиты преобразователей и электроприводов всех видов. В случае аварийной ситуации единственным средством защиты является автоматический выключатель [5].

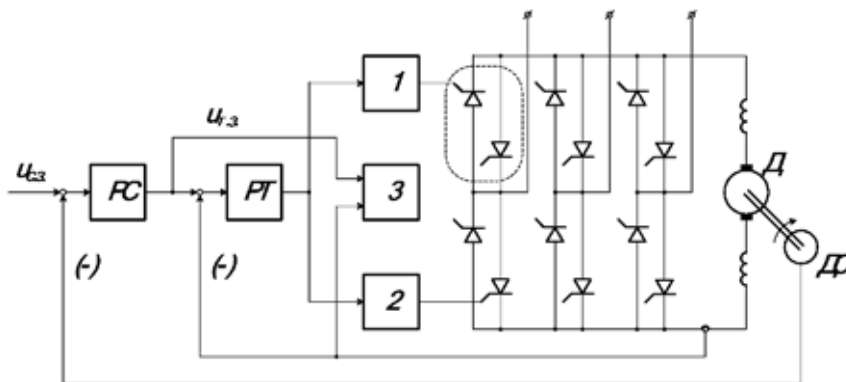


Рис. 1. Схема управления тиристорным электроприводом

Упомянутый выше преобразователь, коммутируемый сетью, имеет хорошую динамическую характеристику, поскольку эта схема характеризуется шестью равномерно расположенными интервалами включенного состояния (по числу тириستоров) на каждом периоде частоты напряжения. При частоте питания сети 50 Гц моменты включения тиристоров в установившемся режиме будут отстоять друг от друга всего лишь на 3,3 мс. Для крупных приводов используется несколько шести импульсных преобразователей со сдвигом по фазе питающих напряжений, что позволяет сделать интервалы между моментами включения еще меньше. Поскольку быстродействие контура регулирования тока определяется, в конечном счете, дискретным принципом работы преобразователя, эта задержка управления приводит в результате к эквивалентной постоянной времени токового контура, не превышающей 10 мс, что вполне приемлемо для большинства приводов.

Динамические характеристики контура регулирования частоты вращения зависят от момента инерции привода; быстродействие этого контура неизбежно получается более низким, чем у контура регулирования тока, так как регулятор частоты вращения воздействует на вращающий момент через контур тока. Сказанное справедливо и в отношении возможного в схеме управления положением электропривода внешнего контура регулирования угла поворота.

Следует отметить, что машина постоянного тока идеально подходила бы для регулируемого электропривода, если бы не наличие коллектора, который:

- ограничивает номинальную мощность и частоту вращения;
- накладывает ограничения на условия окружающей среды, в которых может работать данная электрическая машина;

- препятствует получению полного вращающего момента в режиме короткого замыкания (при заторможенном роторе) в интервале свыше нескольких секунд;

- подвержен износу и требует периодического обслуживания;

- увеличивает массу и момент инерции двигателя.

Кроме этого, электрические машины постоянного тока имеют достаточно сложную конструкцию, требующую значительных затрат на их изготовление.

Учитывая вышесказанное, становится ясно, почему в последние годы все более широкое применение получают приводы переменного тока с регулируемой частотой вращения. Для питания привода переменного тока требуется внешний преобразователь, способный вырабатывать переменные напряжения и токи с регулируемыми амплитудой, частотой и фазой. Процесс преобразования питающего напряжения переменной частоты и фазы осуществляется обычно в два этапа с использованием промежуточного звена постоянного тока, как показано на рис. 2.

Преобразователь на стороне питающей сети, подающий в звено постоянного тока изменяемые напряжение и ток, может относиться к типу преобразователей, коммутируемых сетью, как и приведенный на рис. 1. Преобразователь на стороне электрической машины (инвертор) необходим для выработки переменного напряжения с изменяемой амплитудой и частотой. При рекуперации энергии выпрямитель и инвертор меняются местами. Преимущество по отношению к машине постоянного тока состоит в том, что подвод основного электропитания осуществляется у них со стороны статора. Это позволяет избежать проблем, связанных с наличием скользящих контактов при высокой мощности и частоте вращения.

Характерной особенностью всех синхронных двигателей, питаемых от преобразователя, является то, что их нельзя вывести из синхронизма, поскольку аналогично машине постоянного тока последовательность коммутаций инвертора задается в них положением ротора двигателя. В установленном состоянии кривая тока статора синхронной машины поддерживается в синхронизме с ротором. Следовательно, лучше всего управлять током статора в координатах, связанных с ротором, используя преобразование координат, основанное на величине угла поворота [4].

Особенностью асинхронных машин является то, что токи в короткозамкнутой обмотке ротора индуцируются магнитным потоком статора. Поэтому инвертор должен обеспечивать двигатель не только активной, но также и реактивной мощностью для подмагничивания. Существуют различные варианты комбинации асинхронного двигателя с силовым преобразователем, которые являются перспективными для регулируемого электропривода, начиная от очень гибкого решения с почти синусоидальным низкочастотным питанием ротора от циклоконвертора до упрощенных вариантов,

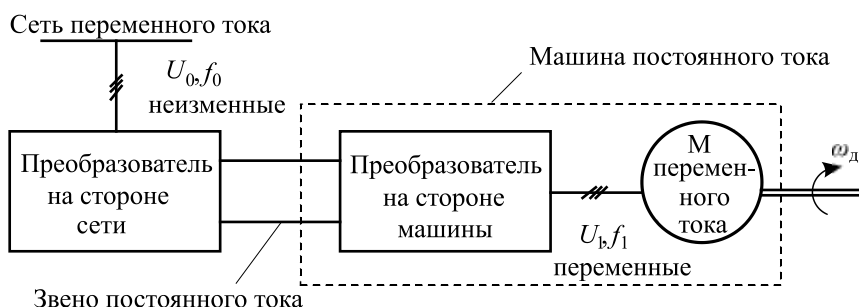


Рис. 2. Преобразование питающего напряжения с использованием звена постоянного тока

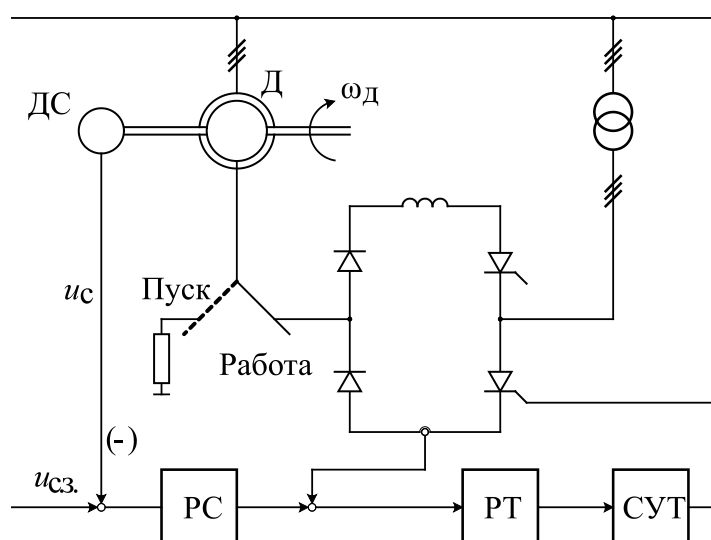


Рис. 3. Система управления электроприводом с асинхронным двигателем

когда мощность скольжения через диодный выпрямитель и инвертор возвращается в питающую сеть [3].

На рис. 3 показана система управления электроприводом с асинхронным двигателем с фазным ротором и статическим преобразователем, в котором мощность, извлекаемая из роторной обмотки, передается в сеть через преобразователь со звеном постоянного тока, содержащий выпрямитель и инвертор с фазовым управлением на стороне сети питания. Регулирование осуществляется посредством изменения угла управления тиристоров инвертора, что вызывает изменение встречного напряжения в звене постоянного тока. Это приводит к соответствующему изменению напряжения обмотки ротора, а следовательно, и частоты вращения ротора, с тем, чтобы поддержать заданный ток в промежуточном звене, т.е. вращающий момент. Система управления довольно проста и аналогична системе управления приводом с машиной постоянного тока, содержащей внутренний контур тока и внешний контур регулирования частоты вращения.

В двигательном режиме такой привод может работать только ниже синхронной скорости; именно поэтому он носит название субсинхронного преобразовательного каскада. Однако и здесь возможен генераторный режим при работе с частотой вращения выше синхронной.

Выполненный краткий обзор основных современных электроприводов свидетельствует о том, что с точки зрения построения систем автоматического управления они идентичны. Все содержат регуляторы тока и скорости, с помощью которых, путем воздействия на силовой преобразователь достигается желаемый динамический режим привода. Однако в способах получения математической модели в приводах переменного и постоянного тока имеется существенное различие.

Машины постоянного тока имеют сложную механическую конструкцию, однако, благодаря тому, что оси магнитных полей неподвижны и взаимно перпендикулярны, динамика их управления проста. В случае, машин переменного тока ситуация обратная: поскольку коммутация здесь осуществляется не в самой машине, ее конструкция проста, но из-за различия вращающихся магнитных полей структура управления гораздо сложнее. В наибольшей степени это проявляется у самого простого асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, у которого важнейшие параметры (токи ротора) не могут быть непосредственно измерены.

Если достаточно обеспечить работу только в одном квадранте механической характеристики, то применяются простые разомкнутые системы регулирования, когда поддержание постоянства потока в машине производится с использованием зависимостей напряжения статора от частоты тока ротора или тока статора от частоты тока ротора, полученных на основе статической модели машины.

Для проектирования приводов с высокими показателями, соответствующими быстрым изменениям момента и скорости вращения, получено общее решение данной задачи в форме управления в движущихся координатах. В случае синхронного двигателя с возбуждением постоянным током со стороны ротора этими координатами являются просто координаты ротора, определяемые углом поворота ротора. Разбивая вектор тока статора  $i_s$ , определяющий амплитуду и угловое положение магнитодвижущей силы статора, на параллельную и перпендикулярную оси ротора составляющие, можно непосредственно получить составляющую тока статора  $i_{s1}$ , определяющую электромагнитный момент подобно току якоря машины постоянного тока и используемую для формирования управляющего воздействия.

Составляющие вектора тока статора определяются посредством измерения, и с помощью угла поворота ротора преобразуются в координаты ротора, в результате чего получается продольная  $i_{s2}$  и поперечная  $i_{s1}$  составляющие тока. Замкнутое регулирование, таким образом, осуществляется в координатах ротора. Контур регулирования момента, частоты вращения и положения охватывают друг друга, что характерно для приводов постоянного тока.

Выходной сигнал самого внутреннего регулятора (регулятора тока) привода представляет собой вектор заданной величины тока [1].

Машины переменного тока, управляемые по положению ротора имеют систему, ориентированную по полю. Характерными признаками данного режима работы является то, что в такой машине существует жесткое соотношение между пространственным положением намагничивающей силы ротора и вектором потока. Ток статора  $i_s$ , определяющий магнитодвижущую силу (рис. 4), может задаваться независимыми друг от друга компонентами  $i_{s1}^* : i_{s2}^*$  — моментобразующая составляющая;  $i_{s2}^*$  — намагничивающая составляющая; \* — заданная величина.

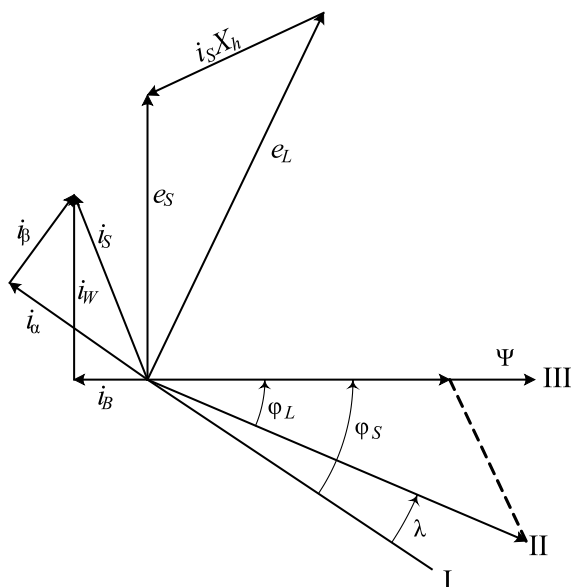


Рис. 4. Векторная диаграмма машины переменного тока

Составляющая  $i_{s1}^*$  так же, как и при регулировании машин постоянного тока задается регулятором частоты вращения (рис. 5). При воздействии на намагничивающую появляется возможность выбирать желаемый коэффициент мощности машины  $\cos \varphi_M$ . В первую очередь с помощью заданных базовых величин  $\sin \varphi_s$  и  $\cos \varphi_s$ , которые описывают направление вектора потока. Используя блок вращения вектора VD, можно получить обе составляющие  $i_a^*$  и  $i_b^*$  на основе компонентов  $i_w^*$  и  $i_b^*$ . Они являются задаваемыми величинами вращающегося вектора магнитодвижущей силы статора для двух расположенных перпендикулярно, но одна относительно другой осей обмоток, затем составляющие  $i_a^*$  и  $i_b^*$  замещаются в трехфазной системе переменного тока и подаются в систему регулирования тока как заданные величины  $i_{L1}^*, i_{L2}^*, i_{L3}^*$  для токов  $i_{L1}, i_{L2}, i_{L3}$ . Данная система регулирования, благодаря тому, что она рассчитана на пульсирующий ток и здесь осуществляется опережающее регулирование, обеспечивает особенно благоприятное поведение системы.

Две базовые величины  $\sin \varphi_s$  и  $\cos \varphi_s$  которые представляют положения вектора потока в неподвижной системе координат статора, определяются по замерам напряжений и токов с помощью электронного устройства блока моделирования напряжения M1. Кроме того, в этом блоке определяется также величина потока  $\Phi$  и величина, пропорциональная частоте вращения S, которая при установившемся режиме соответствует фактическому числу оборотов.

Для компенсации реакции якоря с помощью аналогового электронного устройства – блока моделирования тока M2 задается такое значение тока возбуждения, при котором поток остается постоянным и при переходных процессах. Помимо того, суперпозиционный регулятор потока обеспечивает при установившемся режиме точное выдерживание величины потока. Фактическая величина потока определяется в блоке моделирования напряжения M1.

Управляемая таким образом машина переменного тока с возбуждением постоянным током, как по режиму работы, так и по системе регулирования тока, а также по суперпозиционному регулированию частоты вращения и нагрузки соответствует приводу постоянного тока. В то время, когда машина находится в неподвижном состоянии, величина напряжения оказывается весьма незначительной.

В установившемся режиме с частотой вращения ниже 10% номинальной необходимо осуществлять управление блоком моделирования. Для управления используется положение ротора  $\lambda$  (электрический угол поворота ротора), скорректированное по внутреннему углу выбега ротора  $\varphi_L$  определяется блоком моделирования тока M2. Цифровой датчик частоты вращения угла представлены в виде синусов и суммируются в блоке вращения вектора. При увеличении вращения управление блоком моделирования напряжения ослабляется.

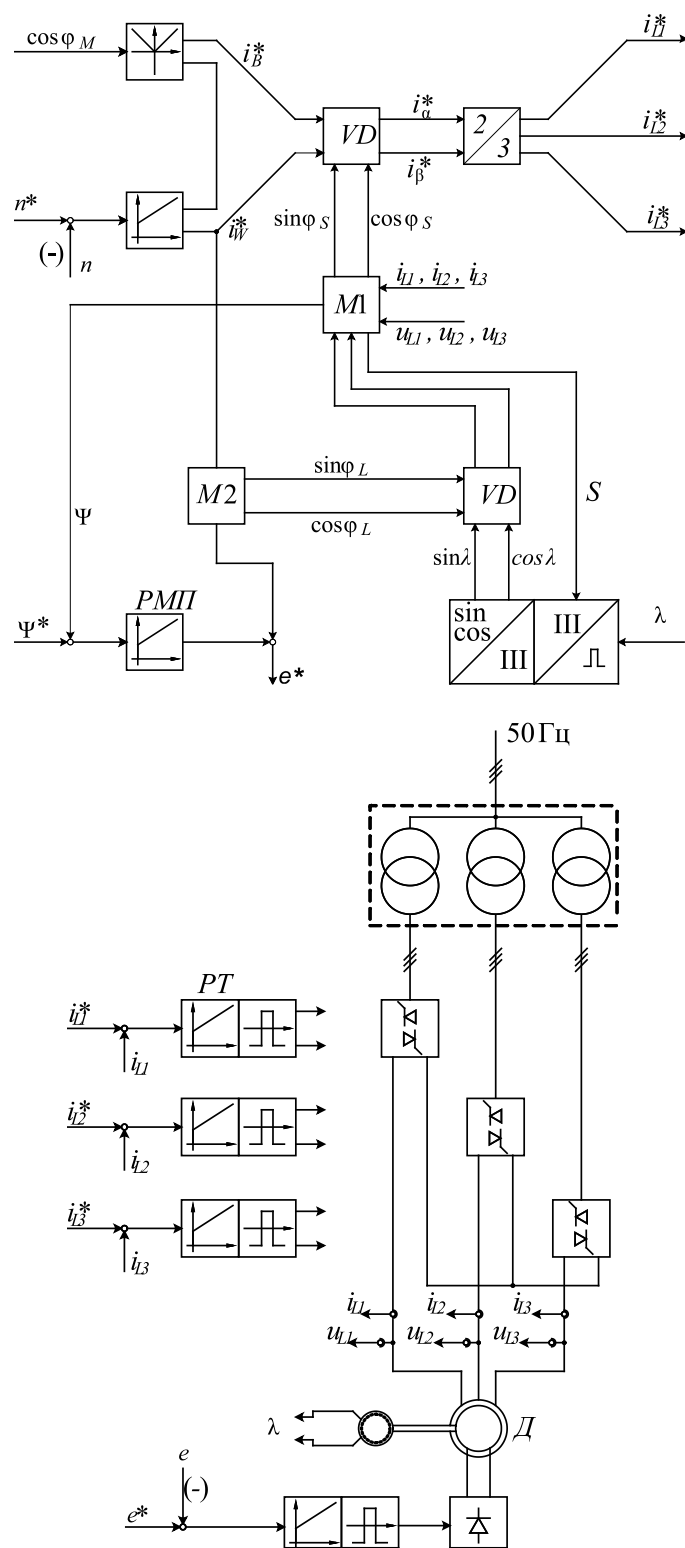


Рис. 5. Схема частотно-управляемого привода с синхронным двигателем

Одновременное использование в работе блоков М1 и М2 обеспечивает возможность применения в качестве датчика простого импульсного датчика в грубом механическом исполнении. Точка отсчета определяется при помощи установки счетчиков, контролирующих процесс возбуждения по упомянутому выше способу определения координат. Благодаря описанному образу действия системы регулирования машина переменного тока проявляет себя как полностью скомпенсированная машина постоянного тока.

Наряду с регулированием частоты вращения осуществляется регулирование в функции пути. Заданная величина скорости формируется при этом в цифровом регуляторе хода. При автоматическом режиме регулирование в функции пути задает желаемую программу. В регуляторе пути сравнивается запрограммированное значение с фактическим положением рабочего органа. При этом непосредственно формируется сигнал заданной скорости по величине и знаку. Регулирование в функции пути обеспечивает оптимальный по времени рабочий цикл при поддержании граничных величин скорости. Ускорения, замедления и скорости нарастания ускорения. Датчик скорости в период запуска задает примерно до скорости, равной двум третям полной скорости, линейную, а для последней трети – параболическую форму заданной величины (линейное уменьшение величины ускорения до нуля). Благодаря этому пик мощности к концу ускорения снижается

приблизительно на 30% (ограничение мощности).

Для каждого электродвигателя двухдвигательного привода имеются отдельные системы регулирования тока, потока, а также «транс-векторное регулирование», включающее блоки моделирования напряжения, тока и «блок вращения вектора», в то время как суперпозиционное регулирование частоты вращения и регулирование в функции пути задают для обоих электродвигателей общую заданную величину вращающего момента.

Благодаря этому обеспечивается равномерное распределение нагрузки между обоими электродвигателями [2].

#### Список литературы

1. Алтухов, Е.И. Алгоритмическое обеспечение микропроцессорного управления машинами и установками циклического действия / Е.И. Алтухов, Т.В. Чермалых // Вестник Киевского политехнического института. «Горная электромеханика и автоматика». – 1993. – Вып. 24. – С. 20–29.
2. Бутковский А.Г. Характеристики систем с распределенными параметрами: Справочное пособие. – М.: Наука, 1979. – 224 с.
3. Микка Х. Подъемная машина для горной промышленности с приводом переменного тока с частотным регулированием // Глюкауф. – 1984. – № 9. – С. 22–30.
4. Чермалых, В.М. Построение адаптивных систем позиционного управления электроприводами машин и установок / В.М. Чермалых, Ю.А. Афанасьев, Т.В. Чермалых // Изв. вузов. Горный журнал. – 1992. – № 10. – С. 73–77.
5. Чермалых, Т.В. Системы оптимального управления позиционным тиристорным электроприводом с многоканальной задающей моделью / Т.В. Чермалых, Халед Махди, Камил Шабо / Институт электродинамики НАН Украины, 1994. – С. 10–11.