

**Заведите новую тетрадь для новой дисциплины «Основы электроники»**

**Прочитайте, выделите главное. Запишите в тетрадь конспект. Сделайте тест.**

**Тетрадь проверю и поставлю две оценки.**

### Системы управления вентильными преобразователями

#### Функции и структура систем управления

Вентильные преобразователи состоят из силовой части (СЧ), работа которой была рассмотрена ранее и системы управления (СУ). Силовая часть управляемого преобразователя, выполненная на управляемых вентилях (тиристорах, силовых транзисторах), может работать только при подаче на управляющие электроды в определенные моменты времени импульсов, обеспечивающих включение данных вентилях. В вентильных преобразователях с естественной коммутацией вентилях выключение тиристоров происходит за счет изменения полярности напряжения питающей сети и спада тока через вентиль к нулю. В преобразователях с искусственной коммутацией СУ обеспечивает также выключение вентилях в определенные моменты времени. В этой главе рассмотрены способы построения СУ вентильных преобразователей с естественной коммутацией.

Системы управления представляют собой нередко весьма сложные устройства для обработки информации и отличаются большим разнообразием в зависимости от типа преобразователя и области его применения. Однако функции СУ могут быть сведены к обобщенному перечню, а именно к выполнению двух основных задач:

- 1) определение моментов времени, в которые должны быть включены те или иные конкретные вентилях. Эти моменты времени задаются некоторым управляющим сигналом, который подается на вход СУ и определяет ее работу, а в конечном счете задает значение выходных параметров преобразователя (например, среднее значение ток или напряжения на выходе выпрямителя);
- 2) формирование управляющих импульсов, т. е. создание управляющих сигналов, передаваемых в нужные моменты времени на управляющие электроды тиристоров и имеющих достаточные амплитуды, мощность, длительность, а в некоторых случаях определенную форму кривой.

Помимо этого СУ может выполнять и другие функции: осуществление пуска и остановки агрегата, осуществление защиты от аварийных режимов и т.д. Однако реализация этих дополнительных функций также сводится к определению моментов подачи управляющих импульсов на тиристоры преобразователя либо к запрету формирования управляющих импульсов (остановка агрегата, срабатывания защиты). Первая задача, выполняемая СУ, является типичной задачей информационной электроники: преобразование управляющего сигнала (напряжение, ток или код) во временной. В ВП с естественной коммутацией момент включения от вентилях отсчитывается относительно момента естественной коммутации. Такая информационная задача сводится к определению угла управления  $\alpha$ , т.е. фазового сдвига управляющего импульса относительно момента естественной коммутации. Узел системы управления, выполняющий задачу преобразования управляющего сигнала в угловой интервал  $\alpha$ , называется фазосмещающим устройством (ФСУ). Вторая задача, выполняемая СУ, сводится к формированию управляющего импульса по форме, длительности, амплитуде. Эту задачу выполняют узлы системы управления, называемые выходными формирователями (ВФ). Наиболее часто формируются управляющие импульсы прямоугольной формы. Длительность, амплитуда и мощность этих импульсов определяются в соответствии с параметрами силовых тиристоров и режимами работы вентиального преобразователя. Формирование прямоугольных импульсов осуществляется устройствами типа одновибратора, а усиление импульсов по мощности-транзисторами каскадами. При создании выходных формирователей важно достичь высокой помехоустойчивости их работы, поскольку в силовой части преобразователя имеют место скачки

напряжений большой амплитуды, которые могут через паразитные емкости проникнуть в СУ. Поэтому в последнее время часто применяется связь СУ с управляющими электродами тиристоров через оптический канал (оптопары и т.п.)

Обобщенная структурная схема вентильного преобразователя как объекта управления приведена на рис.1,а. Она состоит из силовой части СЧ и системы управления СУ. Последняя включает ФСУ, на вход которого подается управляющий сигнал  $U_y$ , и ВФ, с выходов которого снимаются управляющие импульсы ИУ.

СУ может включать контур отрицательной обратной связи ОС, на вход которого поступает какой-либо выходной параметр преобразователя или объекта, получающего от преобразователя питание (напряжение, ток, частота вращения исполнительного механизма, температура печи и т.п.). На выходе блока ОС формируется напряжение  $U_{ос}$ ,

которое вновь поступает на вход СУ в виде сигнала ООС, что позволяет стабилизировать выходные параметры преобразователя и откорректировать погрешности, возникающие при его работе. В этом случае на вход ФСУ поступает сигнал  $U=U_y-U_{ос}$ . Вентильные преобразователи, имеющие контур ОС, охватывающий силовую часть преобразователя, называются преобразователями с замкнутым контуром управления. Более сложную структуру имеет СУ реверсного вентильного преобразователя частоты (НПЧ). Каждый из вентильных комплектов этих преобразователей имеет основные блоки управления ФСУ и ВФ, которые независимо друг от друга осуществляют управление комплектами в соответствии с общим для обоих комплектов управляющим сигналом  $U_y$ . При раздельном управлении комплектами осуществляется их поочередная работа в зависимости от направления тока в цепи нагрузки  $i_{вых}$ . Структурная схема СУ реверсивного преобразователя с раздельным управлением приведена на (рис. 1,б).

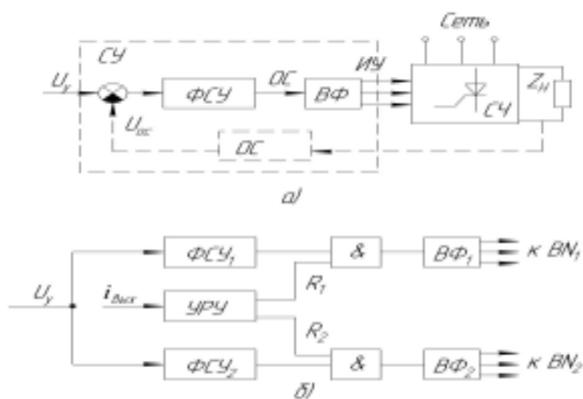


Рис.1

Рис. 1 Структурная схема системы управления нереверсивного (а) и реверсивного вентильного преобразователя (б)

Рис.1

Первый вентильный комплект связан с ФСУ и ВФ второй комплект управляется ФСУ<sub>1</sub> и ВФ<sub>1</sub>. На входе обоих выходных формирователей установлены логические элементы И, связанные с устройством раздельного управления УРУ. Если логический сигнал на выходе УРУ  $R_1=1$ , то ВФ<sub>1</sub> подает управляющие импульсы на вентили первого вентильного комплекта, создающего выходной ток преобразователя положительной полярности. При выходном сигнале УРУ  $R_2=1$  вступает в работу ВФ<sub>2</sub> управляющие импульсы поступают на вентили второго комплекта, формирующего отрицательную полярность выходного тока. Одновременное

включение комплектов исключается введением логического запрета  $R_1R_2=0$ .

УРУ представляет собой логическое устройство, на вход которого поступает информация о полярности выходного тока преобразователя  $i_{вых}$ . При реверсе направления тока с положительного на отрицательное УРУ при достижении нулевого значения тока устанавливает  $R_1=0$  и включение вентилей первого комплекта запрещается. Через время выдержки, достаточное для восстановления вентилей первого комплекта управляющих свойств, на входе УРУ формируется  $R_2=1$  и включаются вентили второго комплекта.

**Электромагнитная совместимость (ЭМС)** – это способность электрического или электронного оборудования нормально работать в присутствии электромагнитных полей. Одновременно оборудование не должно создавать помех работе любого другого близко расположенного оборудования или системы.



Директива международной энергетической комиссии (МЭК) по ЭМС определяет требования к устойчивости и излучению электрооборудования, используемого в Европейской экономической зоне. Стандарт ЭМС EN 61800-3 охватывает требования, установленные для преобразователей частоты. Преобразователь частоты потребляет ток от источника только в периоды, когда мгновенное значение синусоидальной волны источника питания выше, чем напряжение в звене постоянного тока, т.е. в области пикового напряжения источника. В результате ток протекает не постоянно, а прерывисто, с очень большими пиковыми значениями. Этот тип волнообразной формы тока включает наряду с основными составляющими частоты более или менее высокую долю гармонических составляющих (гармоник источника питания). В трехфазных преобразователях частоты они состоят, главным образом, из 5, 7, 11, и 13 гармоник. Эти токи вызывают искажение формы напряжения источника питания, что влияет на другие электропотребители в той же сети.

Кроме того, прерывистые токи вызывают колебания в **цепях компенсации коэффициента мощности** при некоторых критических условиях, которые могут привести к перенапряжению. Условия являются критическими, когда :

как минимум 10 – 20% мощности установки образовано инвертором и неуправляемым выпрямителем преобразователя частоты;

цепь компенсации работает без прерываний;

низшая ступень компенсации создает резонансную цепь вместе с трансформатором цепи питания и резонансной частотой, близкой к 5 или 7 гармониками 50 Гц, т.е. около 250 или 350 Гц.

В результате очень быстрого переключения транзисторов инвертора при **широотно-импульсной модуляции** наблюдаются акустические эффекты, которые оказывают негативное воздействие на питающую сеть и электродвигатель.

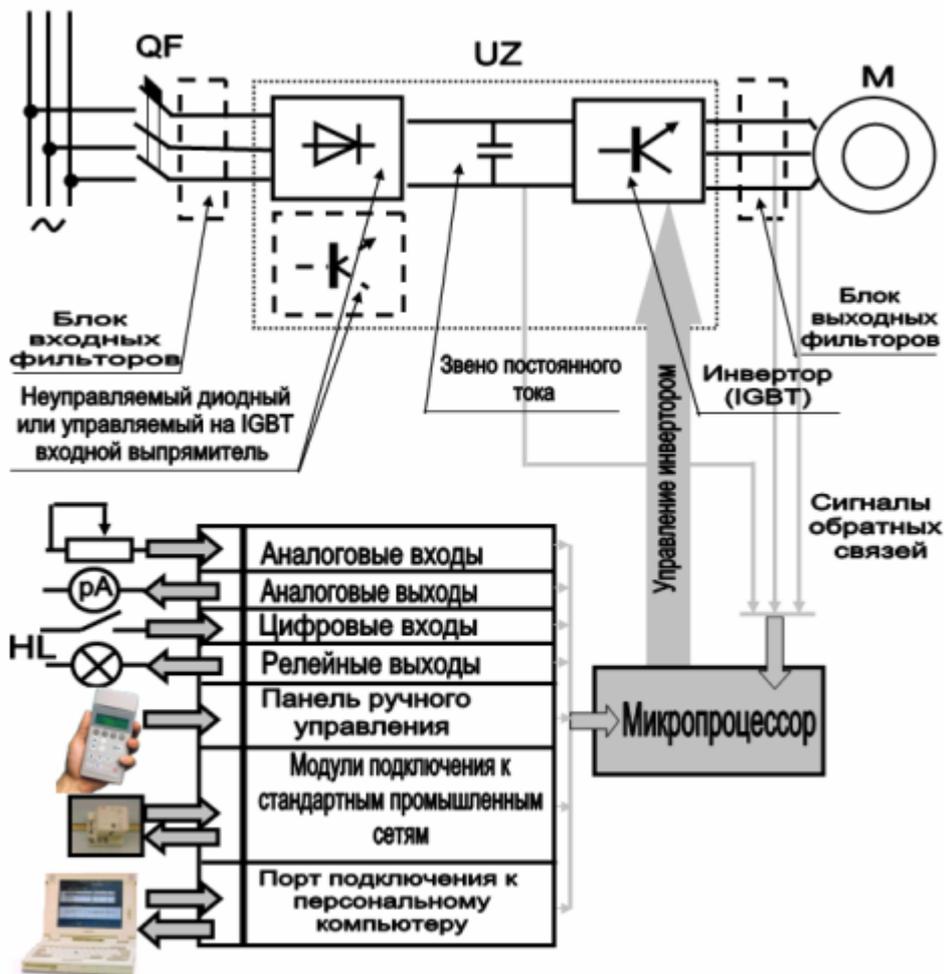
Быстрое переключение транзисторных ключей инвертора приводит к возникновению широкополосного спектра сигнала помех, который воздействует на окружающую среду через кабели двигателя. Непрерывные изменения индукции, вызванные интервалами напряжения ШИМ и DTC – управления, приводят к незначительным изменениям длины листов сердечника электродвигателя (магнитоstriction), что приводит к возникновению характерного модулированного шума в пакете сердечника статора электродвигателя.

Выходное напряжение преобразователя частоты представляет собой высокочастотную **последовательность прямоугольных импульсов** различной полярности и длительности с одинаковой амплитудой. Крутизна фронта импульсов напряжения определяется скоростью переключения силовых ключей инвертора и различна при использовании разных полупроводниковых приборов (например: для **IGBT-транзисторов** она составляет 0,05 – 0,1 мкс).

Прохождение импульсного сигнала с крутым фронтом вызывает волновые процессы в кабеле и приводит к появлению перенапряжений на зажимах двигателя.

Длина кабеля электродвигателя зависит от длины распространяющейся в нем высокочастотной волны (фронта импульса). Критической считается длина кабеля, равная половине длины волны, при которой к обмоткам асинхронного электродвигателя прикладываются импульсы напряжения, близкие по величине к двойному напряжению звена постоянного тока.

В электроприводах на напряжение класса 0,4 кВ перенапряжение может достигнуть значения в 1000 В. Данная проблема получила название **проблемы «длинного кабеля»**.



Структурная схема преобразователя частоты с входными и выходными фильтрами  
**Для обеспечения требований норм электромагнитной совместимости в электроприводах с преобразователями частоты используются сетевые дроссели и фильтры ЭМС.**

Фильтры ЭМС уменьшают акустические помехи, излучаемые преобразователем, и для большинства типов преобразователей встраиваются на заводе – изготовителе в корпус преобразователя. Сетевые дроссели предназначены для уменьшения больших бросков тока и, следовательно, гармоник сетевого тока, а также улучшают защиту преобразователя частоты от перенапряжений.

Решение проблемы «длинного кабеля» заключается в необходимости применения технических решений, позволяющих ограничить перенапряжения и броски тока на зажимах электродвигателя. К ним можно отнести установку выходных дросселей, фильтров, синусоидальных фильтров.

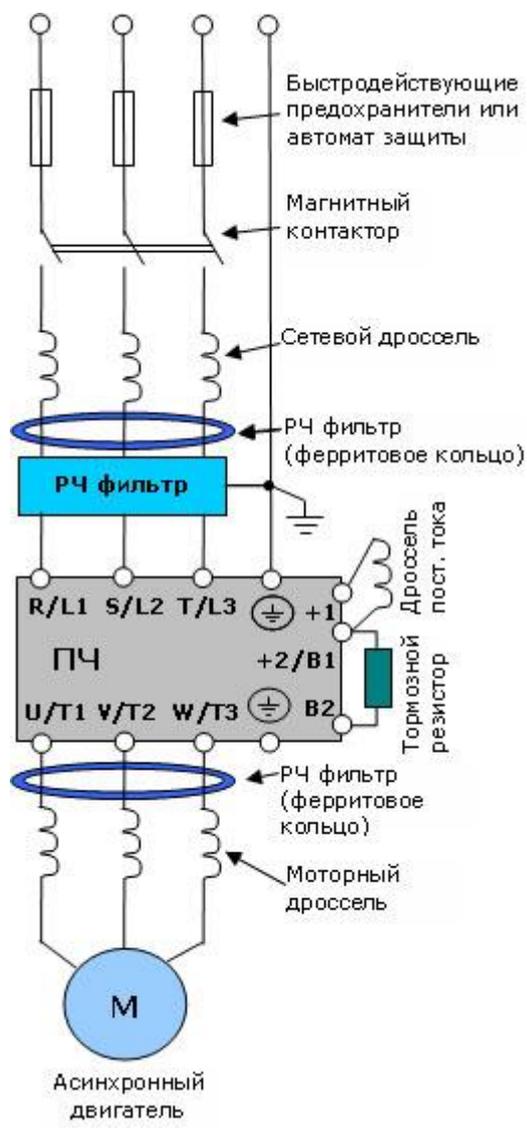


Схема подключения преобразователя частоты

Выходные дроссели служат в первую очередь для ограничения пиков тока, возникающих в длинных кабелях двигателя из-за перезарядки кабельных емкостей и незначительного уменьшения скорости нарастания напряжения на клеммах электродвигателя, однако они не уменьшают пики напряжения на клеммах электродвигателя.



Сетевой дроссель

Фильтры защищают изоляцию электродвигателя посредством ограничения нарастания напряжения и снижения пиков напряжения на клеммах электродвигателя до некритичных величин, одновременно фильтры уменьшают пики тока, возникающие при периодической перезарядке кабельных емкостей.

Фильтры ЭМС

Синусоидальные фильтры

обеспечивают на выходе преобразователя напряжение, близкое по форме к синусоидальному. Кроме того, синусоидальные фильтры уменьшают скорость нарастания напряжения на клеммах электродвигателя до величины, устраняют пики напряжения, уменьшают дополнительные потери в электродвигателе, уменьшают шум электродвигателя.



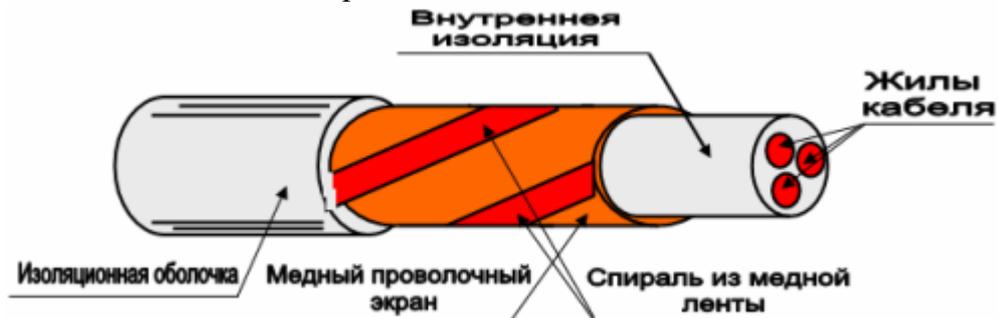
При длинных кабелях электродвигателя синусоидальные фильтры уменьшают пики тока, вырабатываемые при периодической перезарядке кабельных емкостей.

Кроме вышеперечисленных методов ограничения волновых перенапряжений на зажимах электродвигателя, следует отметить два эффективных способа решения проблемы длинного кабеля, которые не требуют больших капиталовложений и могут быть осуществлены непосредственно потребителем:

1. Установка последовательного LC – фильтра на выходе преобразователя частоты для уменьшения крутизны фронта импульсов выходного напряжения инвертора;
2. Установка параллельного RC - фильтра непосредственно у зажимов электродвигателя для согласования волнового сопротивления кабеля.

Кроме вышеперечисленных методов обеспечения электромагнитной совместимости следует отметить необходимость использования экранированных кабелей для подключения преобразователя частоты и электродвигателя. Для эффективного подавления излучаемых высокочастотных помех проводимость экрана должна составлять не менее  $1/10$  проводимости фазного провода.

Одним из параметров, позволяющих оценить проводимость экрана, является его индуктивность, которая должна быть мала и как можно меньше зависеть от частоты. Эти требования легко выполняются при использовании медного или алюминиевого экрана (брони). Экраны кабеля подключения преобразователя частоты и электродвигателя должны быть заземлены с обеих сторон. Чем лучше и плотнее экран, тем меньше уровень излучения и величина тока в подшипниках электродвигателя.



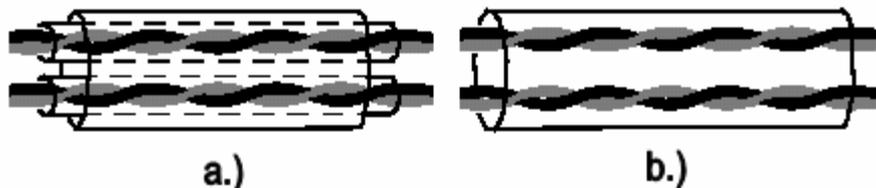
Экран кабеля электродвигателя для преобразователя частоты

Экран состоит из концентрического слоя медных проводников и навитой с зазором медной ленты.

Обычно экран кабеля управления заземляется непосредственно в преобразователе частоты. Другой конец экрана остается незаземленным или соединяется с землей через высокочастотный высоковольтный конденсатор емкостью несколько нФ.

Для подключения аналоговых сигналов рекомендуется использовать кабель с витыми парами и двумя экранами. Использование такого кабеля рекомендуется и для подключения сигналов импульсного датчика скорости. Для каждого сигнала необходимо использовать один кабель с отдельным экраном.

Для низковольтных цифровых сигналов рекомендуется также использовать кабель с витыми парами и двойным экраном, однако можно использовать кабель с несколькими витыми парами и одним общим экраном.



Кабель с витыми парами и двойным экраном (a) и кабель с несколькими витыми парами и одним общим экраном (b)