



# ЧАСТОТНО – РЕГУЛИРУЕМЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

# Основные сведения о частотно-регулируемом электроприводе

*Частотный преобразователь* в комплекте с асинхронным электродвигателем позволяет заменить электропривод постоянного тока. Системы регулирования скорости двигателя постоянного тока (ДПТ) достаточно просты, но слабым местом такого электропривода является электродвигатель. Он дорог и ненадежен. При работе происходит искрение щеток, под воздействием электроэрозии изнашивается коллектор; такой электродвигатель не может использоваться в запыленной и взрывоопасной среде.

Далее

# Основные сведения о частотно-регулируемом электроприводе (ч.2)

Асинхронные электродвигатели (АД) превосходят двигатели постоянного тока по многим параметрам: они просты по устройству и надежны, так как не имеют подвижных контактов; имеют меньшие по сравнению с ДПТ размеры, массу и стоимость при той же мощности; АД просты в изготовлении и эксплуатации.

Основной недостаток асинхронных электродвигателей – сложность регулирования их скорости традиционными методами (изменением питающего напряжения, введением дополнительных сопротивлений в цепь обмоток).

# Основные сведения о частотно-регулируемом электроприводе (ч.3)

Управление асинхронным электродвигателем в частотном режиме до недавнего времени было большой проблемой, хотя теория частотного регулирования была разработана еще в тридцатых годах. Развитие частотно-регулируемого электропривода сдерживалось высокой стоимостью преобразователей частоты. Появление силовых схем с IGBT-транзисторами, разработка высокопроизводительных микропроцессорных систем управления позволило различным фирмам Европы, США и Японии создать современные преобразователи частоты доступной стоимости.

# Основные сведения о частотно-регулируемом электроприводе (ч.4)

Известно, что регулирование частоты вращения исполнительных механизмов можно осуществлять при помощи различных устройств: механических вариаторов, гидравлических муфт, дополнительно вводимыми в статор или ротор резисторами, электромеханическими преобразователями частоты, статическими преобразователями частоты.

Применение первых четырех устройств не обеспечивает высокого качества регулирования скорости, неэкономично, требует больших затрат при монтаже и эксплуатации.

# Основные сведения о частотно-регулируемом электроприводе (ч.5)

*Статические преобразователи частоты* являются наиболее совершенными устройствами управления асинхронным приводом в настоящее время.

Принцип частотного метода регулирования скорости АД заключается в том, что, изменяя частоту  $f_1$  питающего напряжения, можно в соответствии с выражением  $\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}$  при неизменном числе пар полюсов  $p$  изменять угловую скорость магнитного поля статора.

# Основные сведения о частотно-регулируемом электроприводе (ч.6)

Этот способ обеспечивает плавное регулирование скорости в широком диапазоне, а механические характеристики обладают высокой жесткостью.

Регулирование скорости при этом не сопровождается увеличением скольжения АД, поэтому потери мощности при регулировании невелики.

Для получения высоких энергетических показателей АД – коэффициентов мощности, полезного действия, перегрузочной способности – необходимо одновременно с частотой изменять и подводимое напряжение.

# Основные сведения о частотно-регулируемом электроприводе (ч.6)

Закон изменения напряжения зависит от характера момента нагрузки  $M_c$ . При постоянном моменте нагрузки  $M_c = const$  напряжение на статоре должно регулироваться пропорционально частоте

$$\cdot \quad U_1 / f_1 = const$$

Для вентиляторного характера момента нагрузки это состояние имеет вид  $U_1 / f_1^2 = const$ , а при моменте нагрузки, обратно пропорциональном скорости –  $U_1 / \sqrt{f_1} = const$ .

# Основные сведения о частотно-регулируемом электроприводе (ч.7)

Таким образом, для плавного бесступенчатого регулирования частоты вращения вала асинхронного электродвигателя, преобразователь частоты должен обеспечивать одновременное регулирование частоты и напряжения на статоре АД.

# **Преимущества использования регулируемого электропривода в технологических процессах**

Применение регулируемого электропривода обеспечивает энергосбережение и позволяет получать новые качества систем и объектов. Значительная экономия электроэнергии обеспечивается за счет регулирования какого-либо технологического параметра. Если это транспортер или конвейер, то можно регулировать скорость его движения; если это насос или вентилятор – можно поддерживать давление или регулировать производительность; если это станок, то можно плавно регулировать скорость подачи или главного движения.

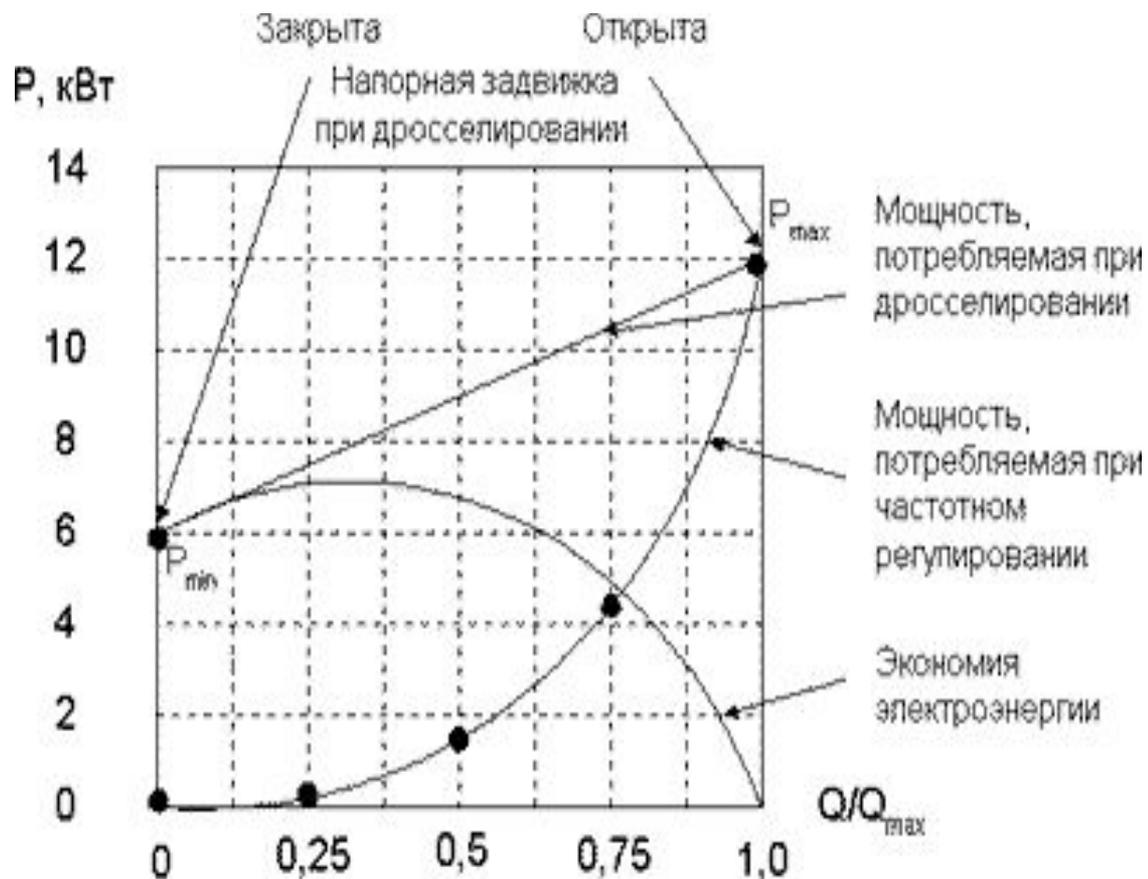
# Преимущества использования регулируемого электропривода в технологических процессах (ч.2)

Особый экономический эффект от использования преобразователей частоты дает применение частотного регулирования на объектах, обеспечивающих транспортировку жидкостей. До сих пор самым распространённым способом регулирования производительности таких объектов является использование задвижек или регулирующих клапанов, но сегодня доступным становится частотное регулирование асинхронного двигателя, приводящего в движение, например, рабочее колесо насосного агрегата или вентилятора.

# Преимущества использования регулируемого электропривода в технологических процессах (ч.3)

Перспективность частотного регулирования наглядно видна из рисунка 2.42.

Рис.2.42. Потребление мощности при различных способах регулирования скорости вращения насосов



# **Преимущества использования регулируемого электропривода в технологических процессах (ч.4)**

Таким образом, при дросселировании поток вещества, сдерживаемый задвижкой или клапаном, не совершает полезной работы. Применение регулируемого электропривода насоса или вентилятора позволяет задать необходимое давление или расход, что обеспечит не только экономию электроэнергии, но и снизит потери транспортируемого вещества.

# Структура преобразователя частоты

Большинство современных преобразователей частоты построено по схеме *двойного преобразования*. Они состоят из следующих основных частей: *звена постоянного тока* (неуправляемого выпрямителя), *силового импульсного инвертора* и *системы управления*.

Звено постоянного тока состоит из *неуправляемого выпрямителя* и фильтра. Переменное напряжение питающей сети преобразуется в нем в напряжение постоянного тока.

# Структура преобразователя частоты (ч.2)

*Силовой трехфазный импульсный инвертор* состоит из шести транзисторных ключей. Каждая обмотка электродвигателя подключается через соответствующий ключ к положительному и отрицательному выводам выпрямителя. Инвертор осуществляет преобразование выпрямленного напряжения в трехфазное переменное напряжение нужной частоты и амплитуды, которое прикладывается к обмоткам статора электродвигателя.

# Структура преобразователя частоты (ч.3)

В выходных каскадах инвертора в качестве ключей используются силовые IGBT-транзисторы. По сравнению с тиристорами они имеют более высокую частоту переключения, что позволяет вырабатывать выходной сигнал синусоидальной формы с минимальными искажениями.

## 3.3.1. Принцип работы преобразователя частоты.

Преобразователь частоты (ПЧ) состоит из неуправляемого диодного силового выпрямителя В, автономного инвертора (АИН), системы управления СУИ ШИМ, системы автоматического регулирования (САР), дросселя  $L_v$  и конденсатора фильтра  $C_v$  (рис.2.43). Регулирование выходной частоты  $f_{\text{вых.}}$  и напряжения  $U_{\text{вых}}$  осуществляется в АИН за счет *высокочастотного широтно-импульсного (ШИМ) управления.*

# Принцип работы преобразователя частоты.(ч.2)

ШИМ характеризуется периодом модуляции, внутри которого обмотка статора ЭД подключается поочередно к положительному и отрицательному полюсам выпрямителя.

Длительность этих состояний внутри периода ШИМ модулируется по синусоидальному закону. При высоких (обычно 2...15 кГц) тактовых частотах ШИМ, в обмотках электродвигателя, вследствие их фильтрующих свойств, текут синусоидальные токи.

# Принцип работы преобразователя частоты.(ч.3)

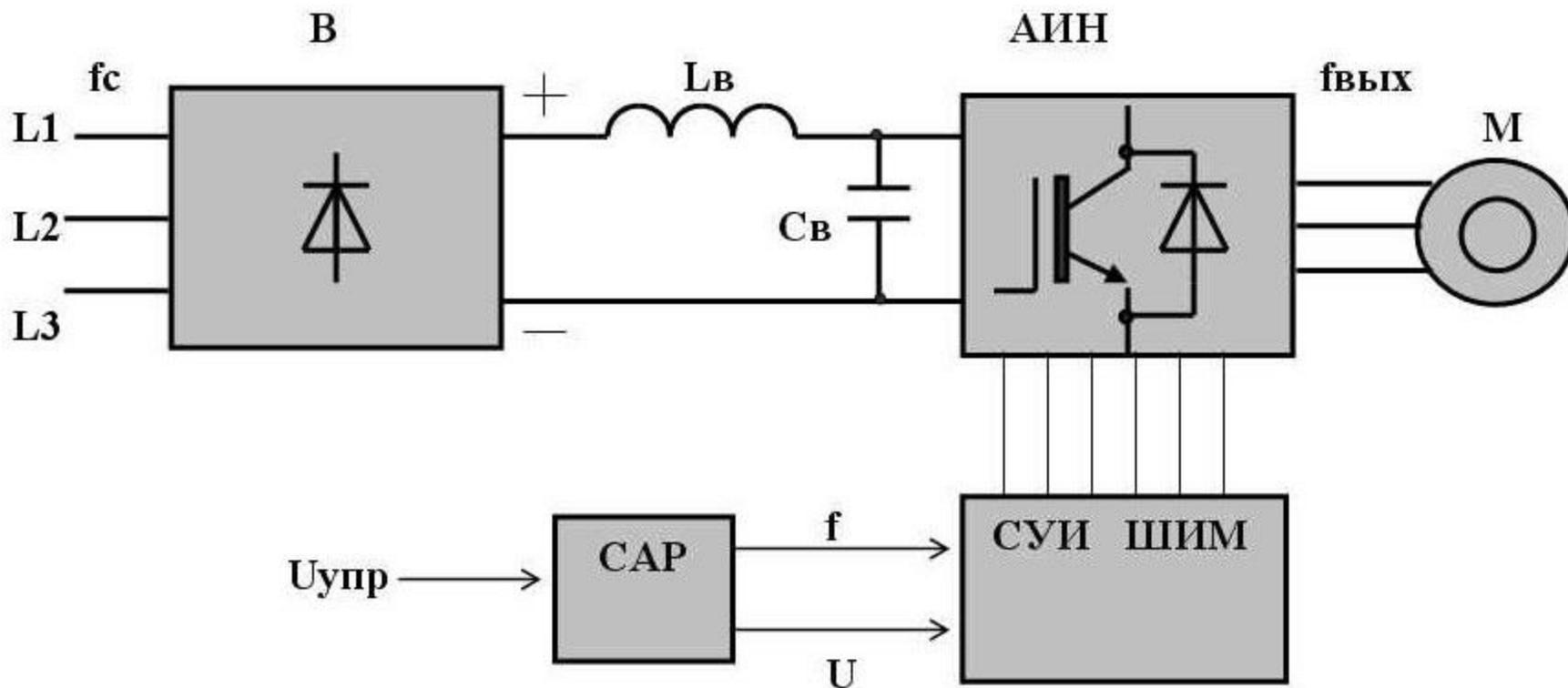


Рис.2.43. Упрощенная схема автономного инвертора с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ).

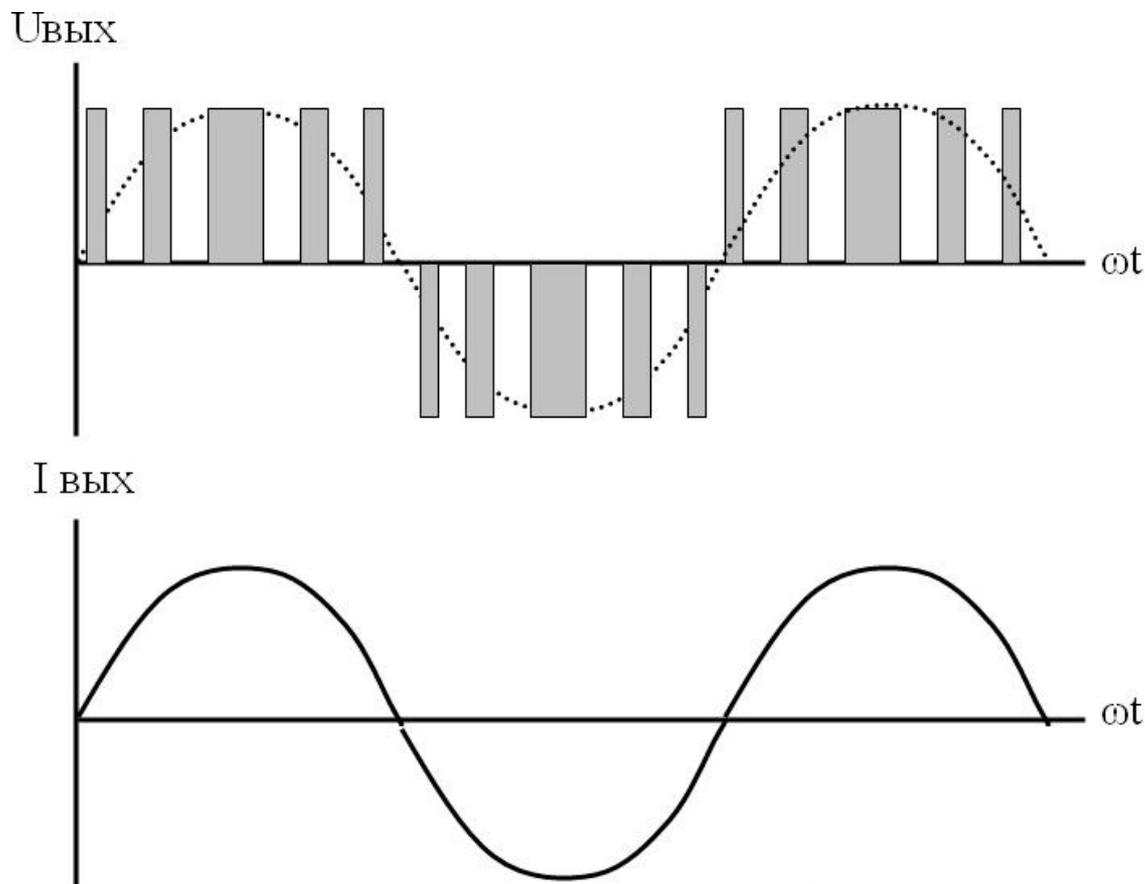
# Принцип работы преобразователя частоты.(ч.4)

Таким образом, форма кривой выходного напряжения представляет собой высоко-частотную двухполярную последовательность прямоугольных импульсов (рис. 2.44). Частота импульсов определяется частотой ШИМ, длительность (ширина) импульсов в течение периода выходной частоты АИН промодулирована по синусоидальному закону. Форма кривой выходного тока (тока в обмотках асинхронного электродвигателя) практически синусоидальна.

# Принцип работы преобразователя частоты.(ч.4)

Регулирование выходного напряжения АИН можно осуществить двумя способами: амплитудным (АР) за счет изменения входного напряжения  $U_v$  и широтно-импульсным (ШИМ) за счет изменения программы переключения вентилях  $V1-V6$  при  $U_v = \text{const}$ . Второй способ получил распространение в современных преобразователях частоты благодаря развитию современной элементной базы (микропроцессоры, IGBT-транзисторы). При ШИМ-модуляции форма токов в обмотках статора АД получается близкой к синусоидальной благодаря фильтрующим свойствам самих обмоток.

# Принцип работы преобразователя частоты.(ч.5)



Далее

Рис.2.44. Форма кривых напряжения и тока на выходе инвертора с широтно-импульсной модуляцией.

# Принцип работы преобразователя частоты.(ч.6)

Такое управление позволяет получить высокий КПД преобразователя и эквивалентно аналоговому управлению с помощью частоты и амплитуды напряжения.

Современные инверторы выполняются на основе полностью управляемых силовых полупроводниковых приборов – запираемых *GTO* – тиристоров, либо биполярных *IGBT*-транзисторов с изолированным затвором. На рис. 2.45 представлена 3-х фазная мостовая схема автономного инвертора на *IGBT*-транзисторах.

# Принцип работы преобразователя частоты.(ч.7)

Она состоит из входного емкостного фильтра  $C_f$  и шести IGBT-транзисторов  $V1-V6$  включенными встречно-параллельно диодами обратного тока  $D1-D6$ .

За счет поочередного переключения вентиляей  $V1-V6$  по алгоритму, заданному системой управления, постоянное входной напряжение  $U_v$  преобразуется в переменное прямоугольно-импульсное выходное напряжение. Через управляемые ключи  $V1-V6$  протекает активная составляющая тока асинхронного электродвигателя АД, через диоды  $D1-D6$  – реактивная составляющая тока АД.

# Принцип работы преобразователя частоты.(ч.7)

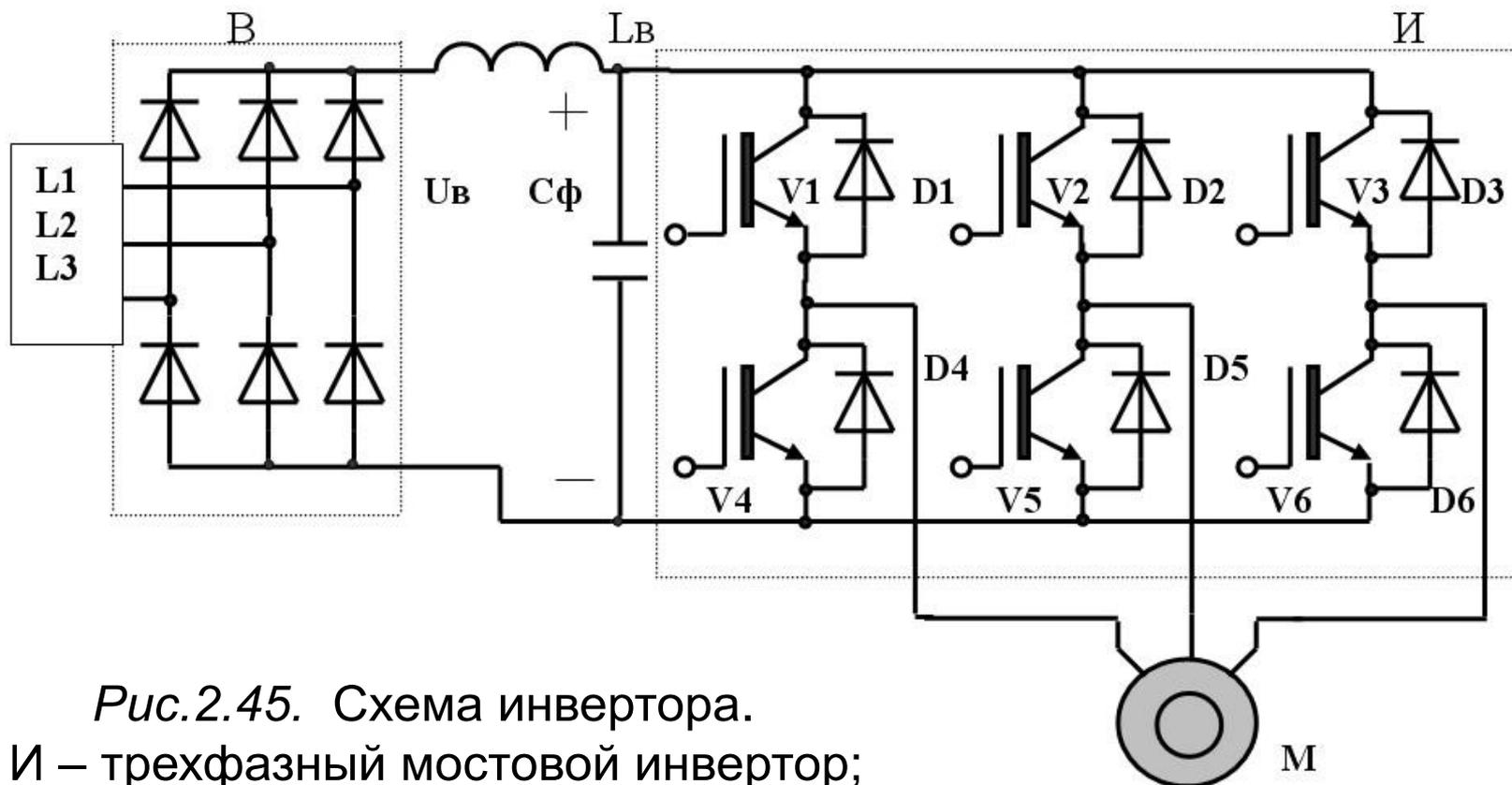


Рис.2.45. Схема инвертора.

И – трехфазный мостовой инвертор;  
В – трехфазный мостовой выпрямитель; Сφ – конденсатор фильтра.