

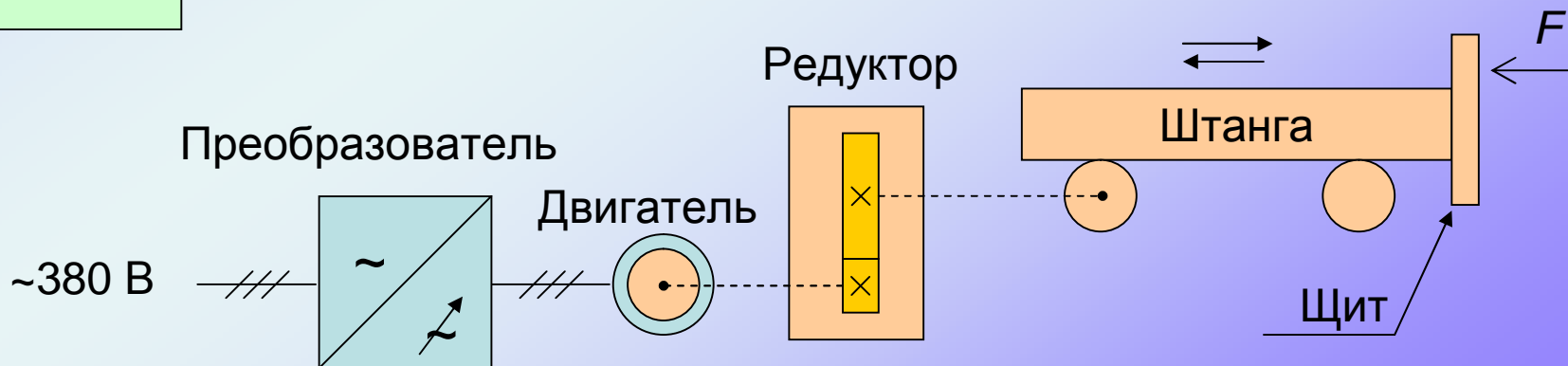
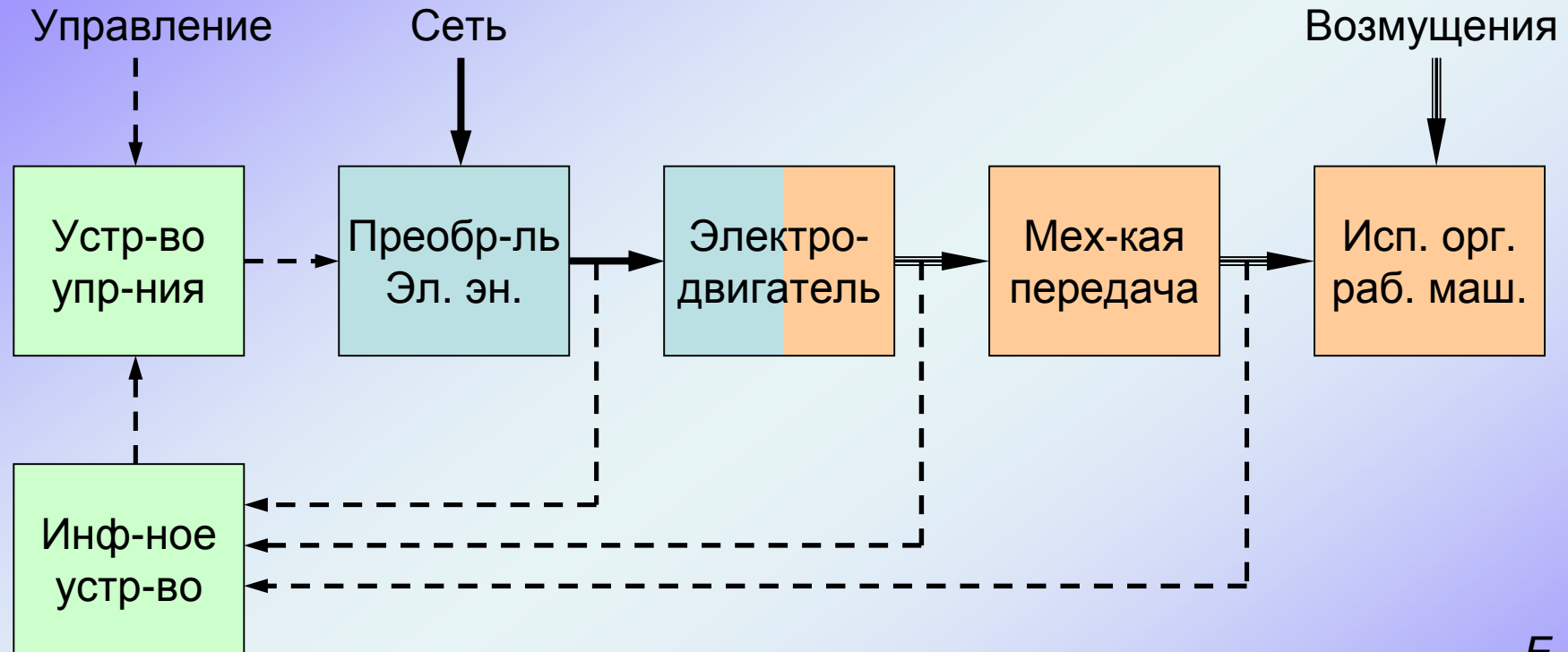
Преобразователи частоты

Силовой канал ПЧ

Составил к. т. н. Жуков Илья Борисович

e-mail: ibzh@yandex.ru

Понятие электропривода



Производители ПЧ

- Omron
- Siemens
- ABB
- Schneider Electric
- Control Techniques
- General Electric
- Danfoss
- Sew Eurodrive
- Delta Electronics
- и другие.



UZ

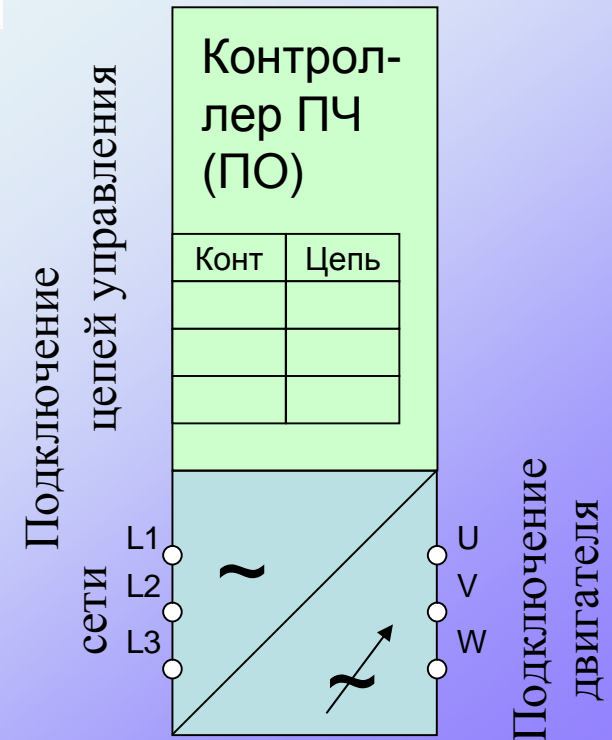
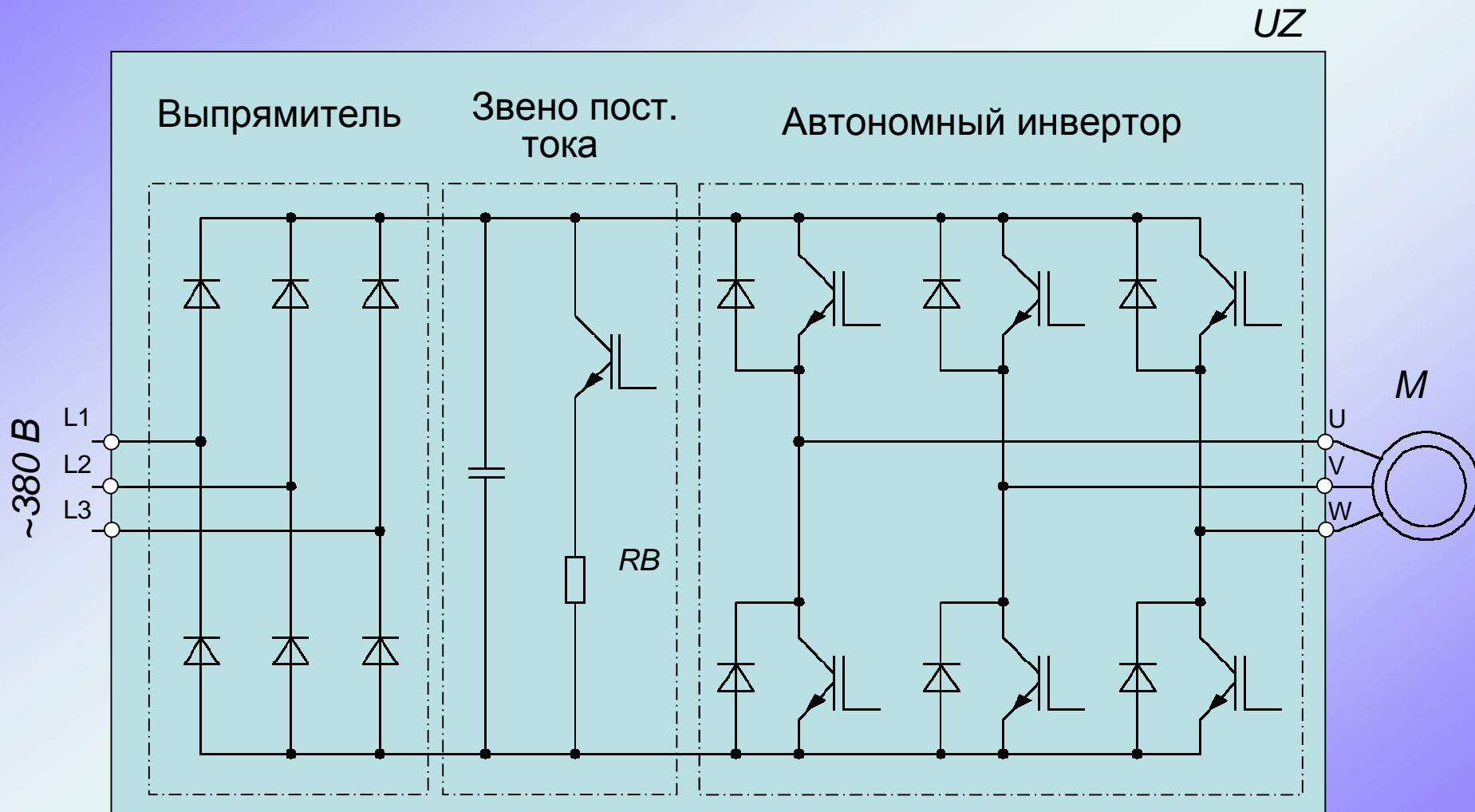
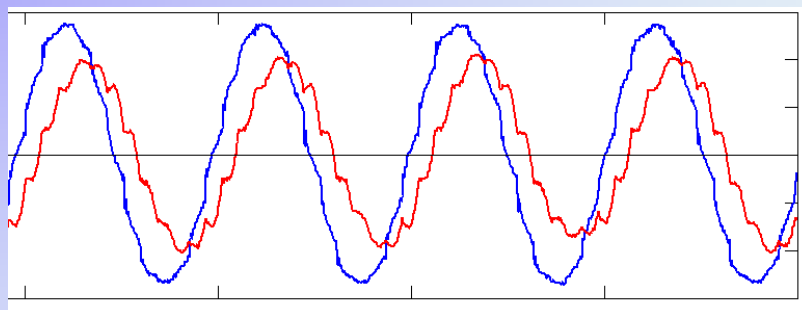
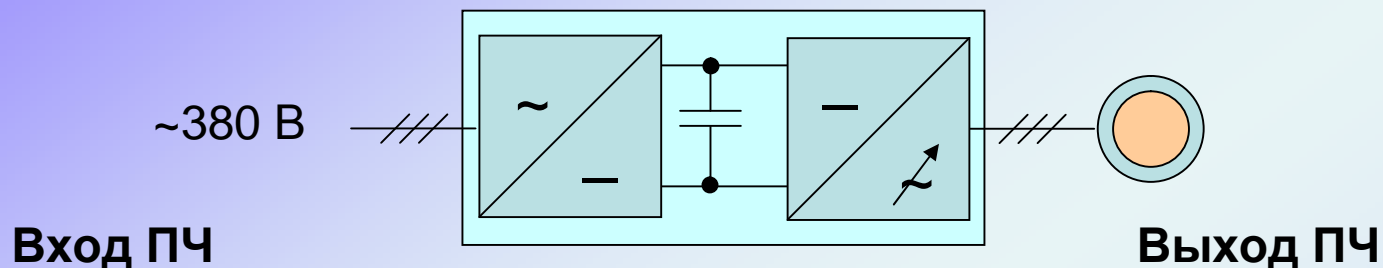


Схема силовой части ПЧ

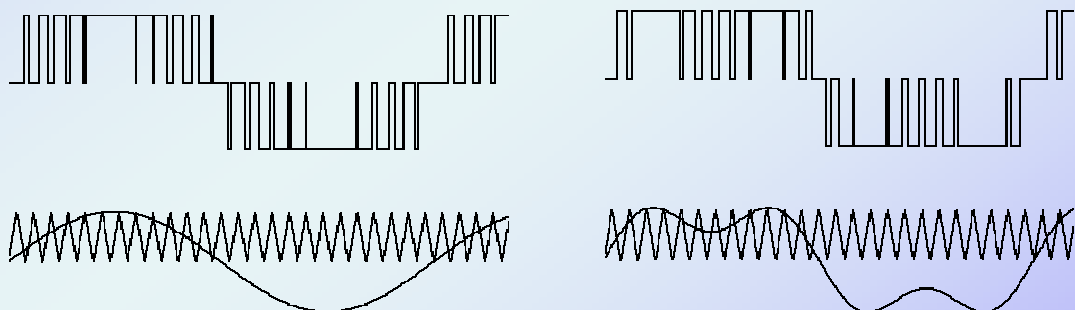


Принцип работы силового канала ПЧ

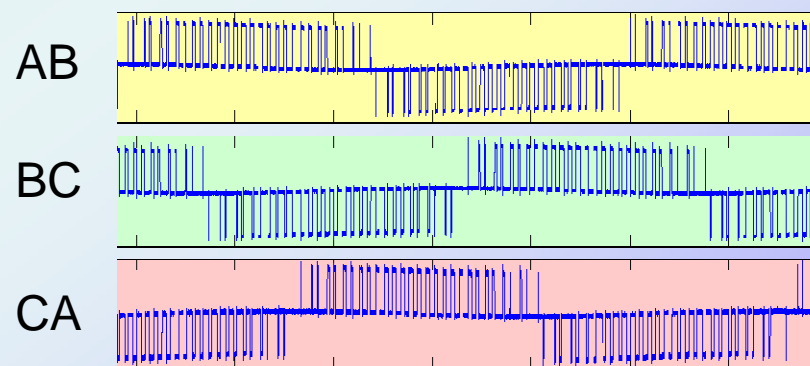


— напряжение питания
— ток сети

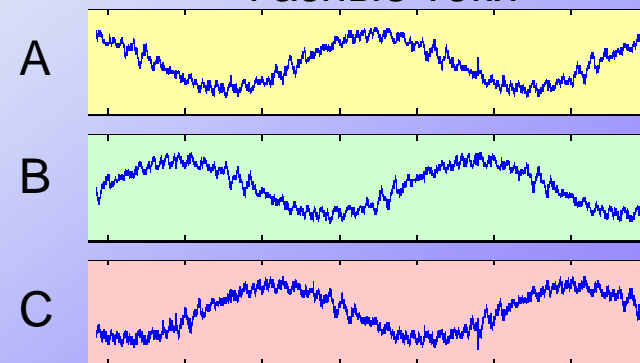
Формирование ШИМ



Линейные напряжения



Фазные токи



Выбор силовой части ПЧ

Преобразователь частоты выбирается **по току** двигателя, а не по мощности.

Мощность двигателя

$$N = M \omega$$

Ток двигателя

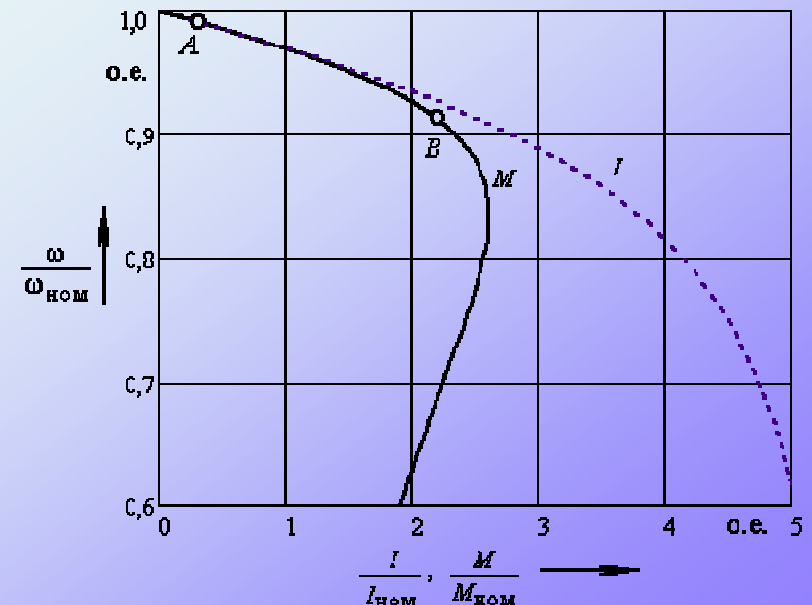
$$I = \frac{N}{\sqrt{3} U_{\text{Л}} \eta \cos \varphi}$$

Ном. мощность ¹⁾		Ток базовой нагрузки $I_{\text{L}}^{2)}$	Ток базовой нагрузки $I_{\text{H}}^{3)}$	Типоразмер (формат)	Исполнение	SINAMICS G120C без фильтра
кВт	л.с.	А	А			Заказной №
0,35	0,75	1,7	1,3	FSA	USS/Modbus RTU	6SL3210-1KE11-8UB0
					PROFIBUS DP	6SL3210-1KE11-8UP0
					CANopen	6SL3210-1KE11-8UC0
0,75	1,0	2,2	1,7	FSA	USS/Modbus RTU	6SL3210-1KE12-3UB0
						6SL3210-1KE12-3UP0

¹⁾ Ном. мощность устройства на основе ном. выходного тока I_{LO} и ном. входного напряжения в 3 AC 400 В.

Если двигатель работает с перегрузкой, то номинальный ток ПЧ должен соответствовать току двигателя при перегрузке

$$I_{\text{ПЧ}} \geq \lambda I$$



Работа с перегрузкой

Обычно ПЧ допускают работу с перегрузкой по току, однако длительность перегрузки и её величина существенно меньше, чем у асинхронного двигателя, что объясняется малой тепловой инерционностью полупроводниковых приборов.

У ПЧ большой мощности допустимая перегрузка меньше, чем у ПЧ малой.

Допустимые перегрузки силового модуля PM240 для преобразователей SINAMICS G120, фирм Siemens

Длительность перегрузки, с	Перегрузка по току, %, для приводов мощностью	
	0,37... 75 кВт	90... 200 кВт
3	200	160
57	150	136
Время "отдыха" с нагрузкой 100 % после перегрузки, с	240	

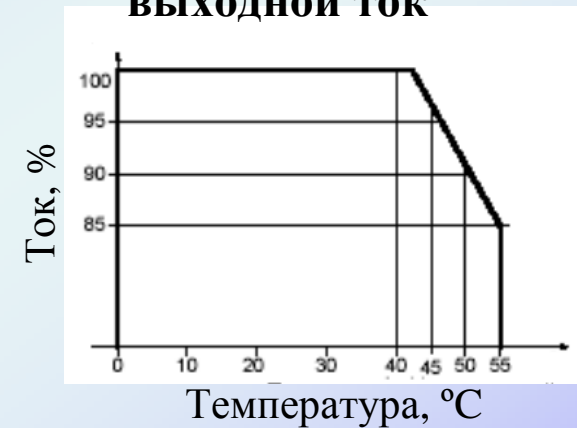
Длительная работа в нестандартных условиях

Нагрузочная способность ПЧ

снижается с ростом:

- температуры окружающей среды;
- высоты над уровнем моря;
- частоты ШИМ.

Влияние температуры на
выходной ток



Влияние высоты на выходной ток и входное напряжение

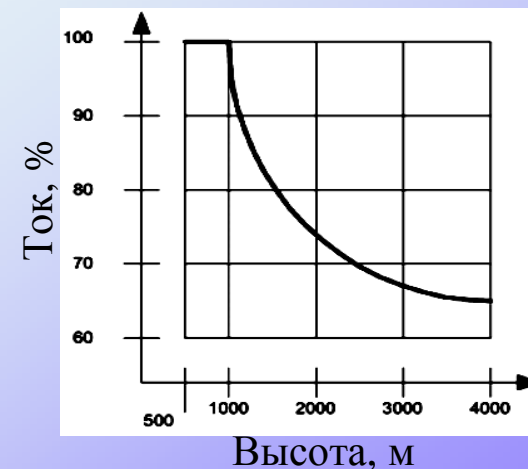
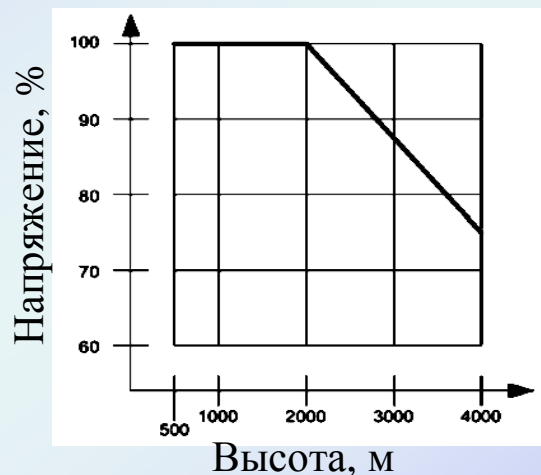
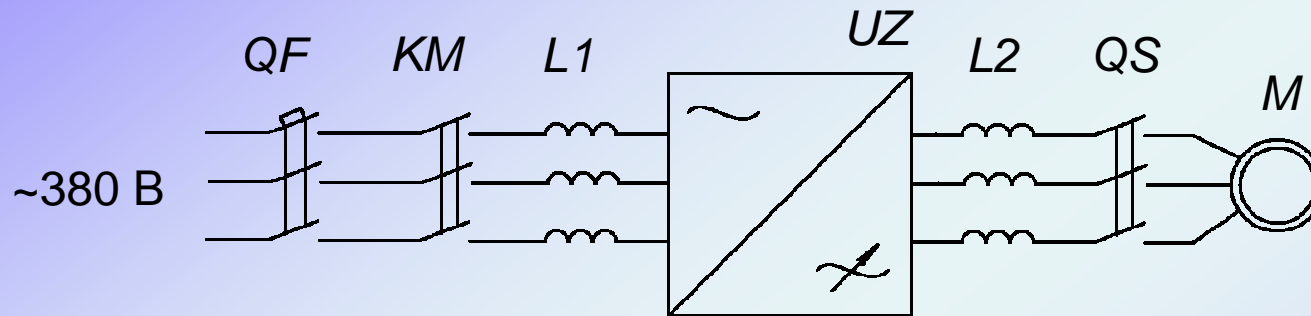


Схема включения ПЧ (силовая часть)



QF — автоматический выключатель или расцепитель с плавкими предохранителями

KM — контактор

$L1$ — дроссель или фильтр радиочастотных помех

UZ — преобразователь

$L2$ — фильтр du/dt или синусоидальный фильтр

QS — расцепитель

M — двигатель

Работа двигателя от ПЧ

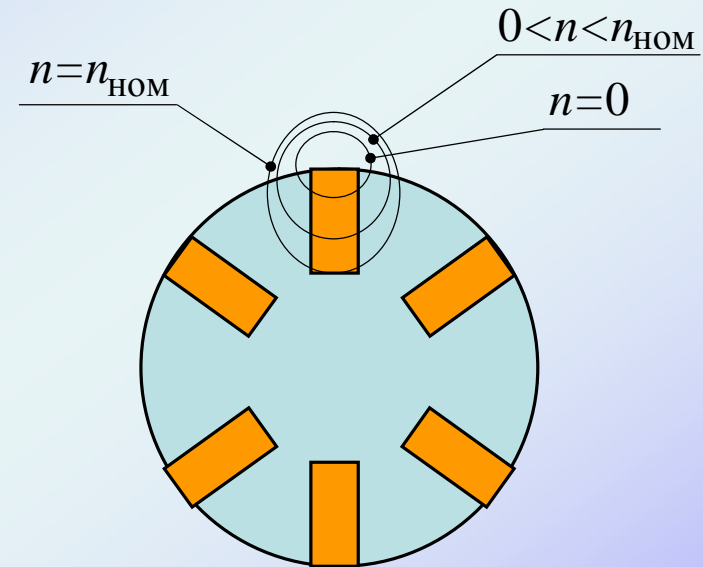
Работа двигателя от ПЧ имеет ряд особенностей по сравнению с работой от сети

- более высокие потери в стали
- наличие токов утечек через подшипники
- большие перенапряжения в обмотках

Двигатели, рассчитанные на работу от ПЧ

- изолированные подшипники
- большую электрическую прочность изоляции

Нельзя подключать к ПЧ двигатели с двойной беличьей клеткой или с глубоким пазом, особенно при векторном управлении.



При питании от ПЧ обычных двигателей, их мощность завышают на 5...10 %.

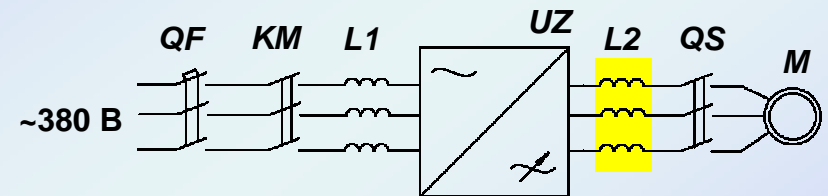
Компоненты со стороны двигателя (1)

При питании двигателей по длинным кабелям во время переключения транзисторов протекают большие токи заряда емкости кабеля.

Величина токов зависит от

- частоты коммутации
- длины кабеля
- способа прокладки кабеля
- наличия экрана
- и др.

Зарядные токи влекут увеличение нагрева внутренних элементов ПЧ и неблагоприятно сказываются на работе транзисторов.



Импульс напряжения при ШИМ

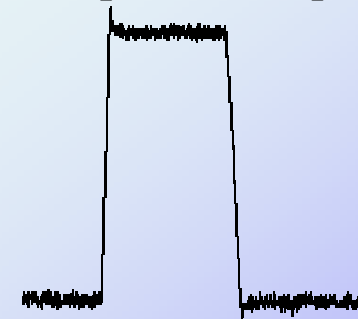
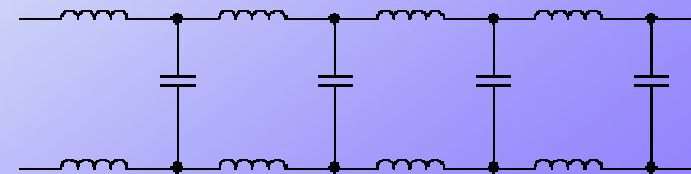
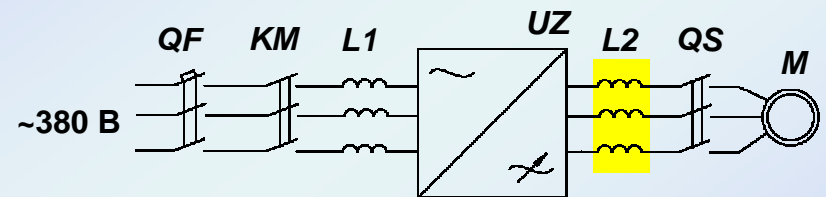


Схема замещения длинного кабеля



Компоненты со стороны двигателя (2)

Для уменьшения зарядных токов устанавливаются фильтры du/dt . Это позволяет расширить допустимую длину кабеля. Установка фильтров снижает нагрузку на изоляцию двигателя.

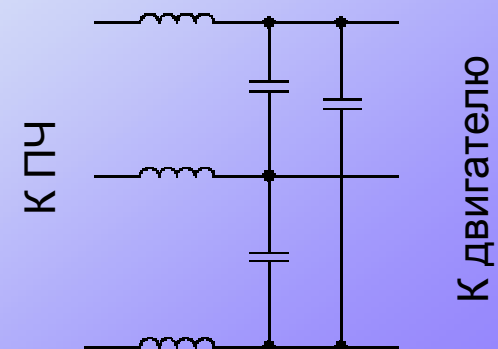


Чтобы уменьшить потери в двигателях или увеличить длину соединяющего кабеля, ставят синусоидальные фильтры. Напряжения и токи на двигателе становятся практически синусоидальными. При этом также снижается уровень шумов и величина электромагнитных помех.

Недостатки фильтра:

1. Большое падение напряжения, которое можно компенсировать установкой развязывающего трансформатора.
2. Использование векторного управления не рекомендуется.

Синусоидальный фильтр



Влияние частоты ШИМ на работу ПЧ

Control Techniques

Достоинство ШИМ большей частоты: ток двигателя приближается к синусоидальному.

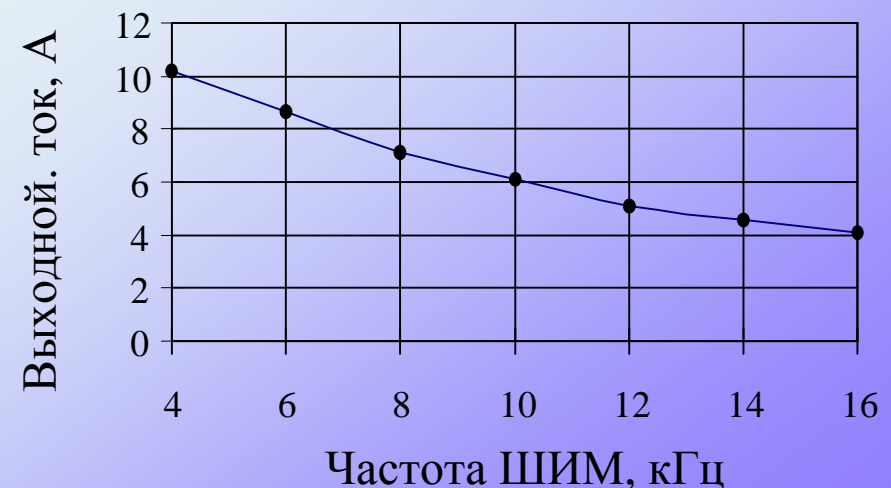
Недостатки:

- бóльшие емкостные токи в кабелях;
- бóльшие токи утечки на землю;
- выше уровень электромагнитных помех от кабеля;
- выше потери в ключах.

Максимальная длина кабеля двигателя (приводы 400 В)

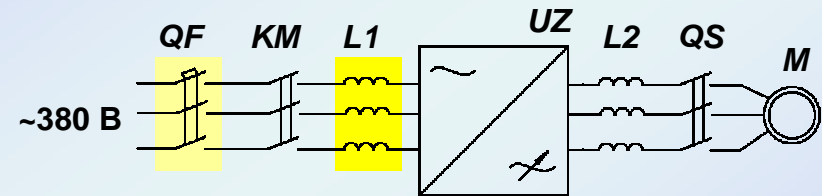
Номинальное напряжение питания 400 В						
Модель	Максимальная допустимая длина кабеля для каждой из следующих частот					
	3 кГц	4 кГц	6 кГц	8 кГц	12 кГц	16 кГц
SP1401	65 м				50 м	37 м
SP1402	100 м					
SP1403	130 м		100 м	75 м	50 м	37 м
SP1404						
SP1405						
SP1406	200 м	150 м	100 м	75 м		

Siemens SINAMICS G120P 4,0 кВт



Компоненты со стороны сети

При подключении ПЧ низкой мощности используются автоматические выключатели, а при подключении высокой — расцепители с предохранителями.



Производители ПЧ дают рекомендации по выбору компонентов со стороны сети.

На входе ПЧ ставят сетевые дроссели для того, чтобы сгладить выбросы напряжения питающей сети и уменьшить импульсные помехи, поступающие из преобразователя в сеть, и высшие гармоники. Если ПЧ питается от трансформатора сопоставимой мощности, то необходимости ставить дроссели нет. Дроссели обеспечивают падение напряжения на 2...4 %.

Фильтр ЭМС устанавливается для ограничения максимального тока и снижения гармоник тока, потребляемого из сети.

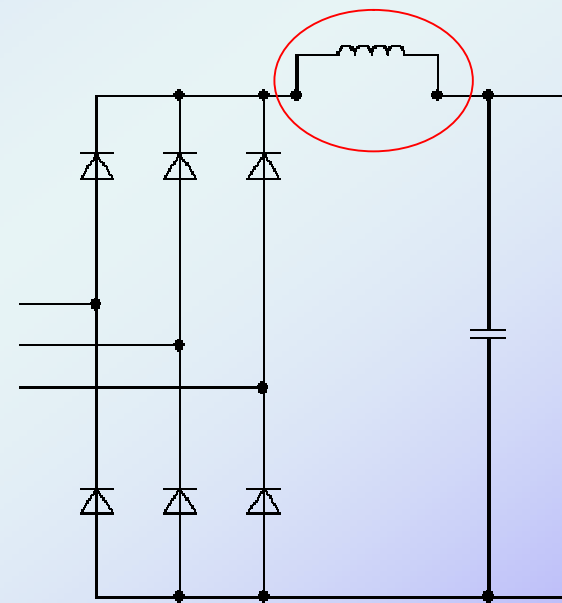
Дроссель в звене постоянного тока

Для уменьшения низших гармоник, потребляемых из сети, у некоторых преобразователей в звено постоянного тока устанавливаются дроссели.

Их достоинство — минимальное падение напряжения при увеличении нагрузки.

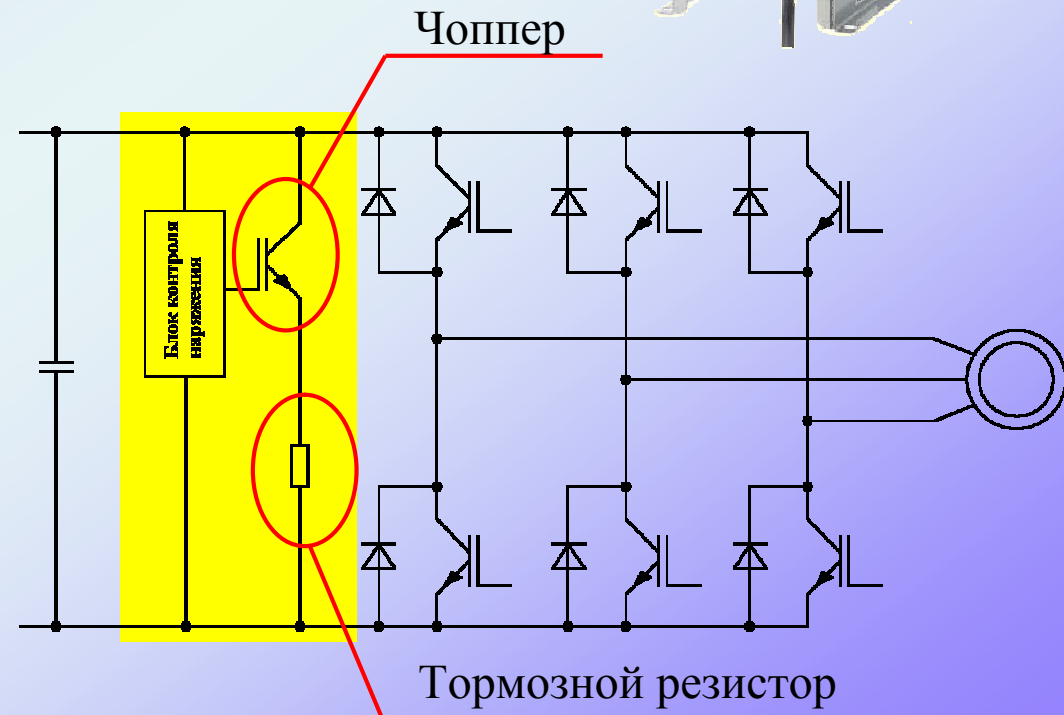
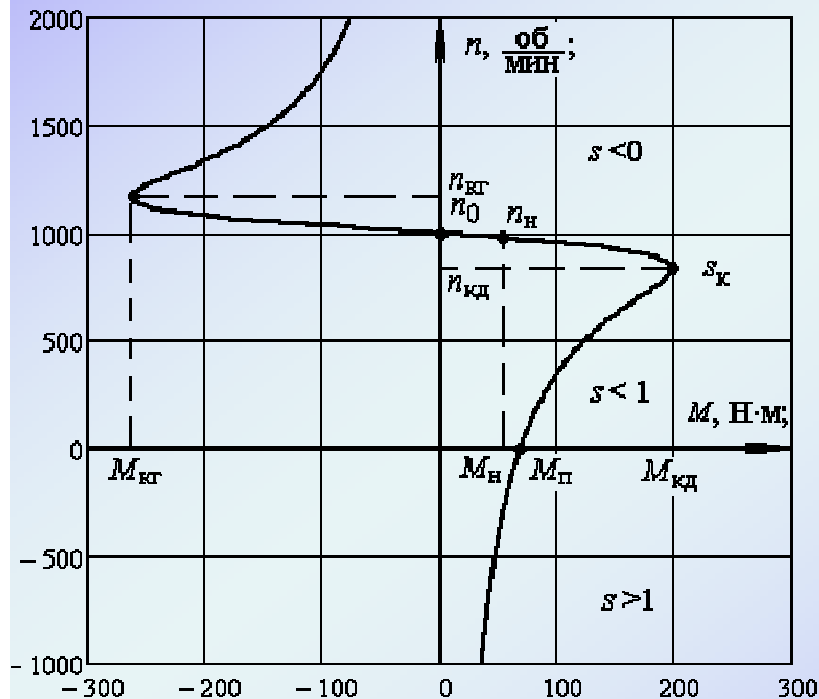
Их недостаток в том, что высшие гармоники могут не только не ослабляться, но даже и увеличиваться. Поэтому их ставят вместе с сетевыми дросселями.

К недостаткам схемы с дросселем в звене постоянного тока относится повышенная чувствительность выпрямителя к скачкам тока и плохому балансу фаз. Для устранения повышенной чувствительности к разбалансу фаз индуктивность дросселя должна выбираться так, чтобы собственные резонансные частоты не совпадали с основными частотами несбалансированного питания.



Блоки торможения

При превышении номинального напряжения блок управления подаёт отпирающие импульсы на чоппер. При этом энергия из звена постоянного тока сбрасывается на тормозное сопротивление. Чоппер работает в режиме ШИМ-модуляции.



Выбор тормозных резисторов

Выбор резистора производится по средней (обычно, за 10-минутный цикл) и максимальной мощности, которую необходимо рассеять.

Пример расчёта тормозного резистора для привода тележки

Исходные данные:

масса тележки $m= 300$ кг;

скорость $v=2$ м/с;

время торможения $t= 1$ с.

Число пусков/торможений в час: 30

Расчёт:

Кинетическая энергия тележки

$$E = mv^2/2=300 \cdot 2^2/2=600 \text{ Дж}$$

Мощность при торможении

$$P= E/ t=600/1=600 \text{ Вт}$$

Отсюда согласно кривой можно выбрать резистор с длительной мощностью 30 Вт.

Характеристики тормозных резисторов фирмы Danotherm

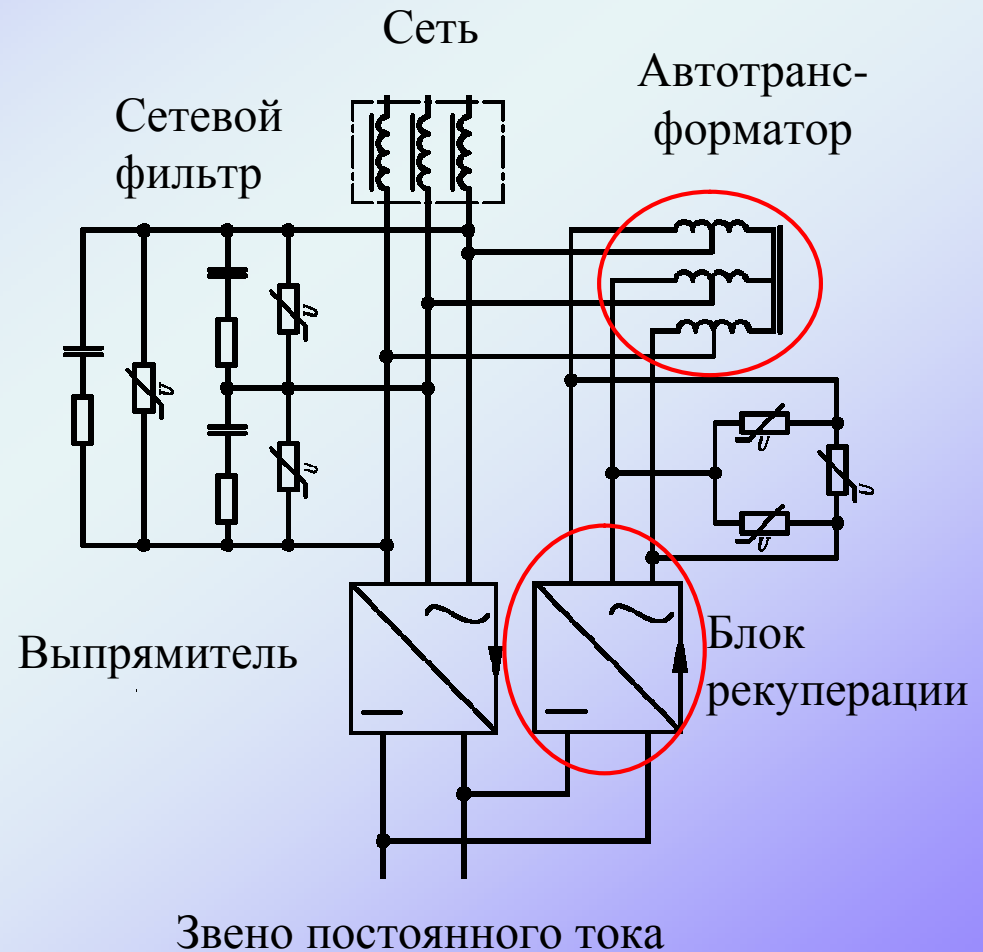


Периодическая импульсная нагрузка с постоянным периодом 120 с и шириной импульса от 1 до 40 с.

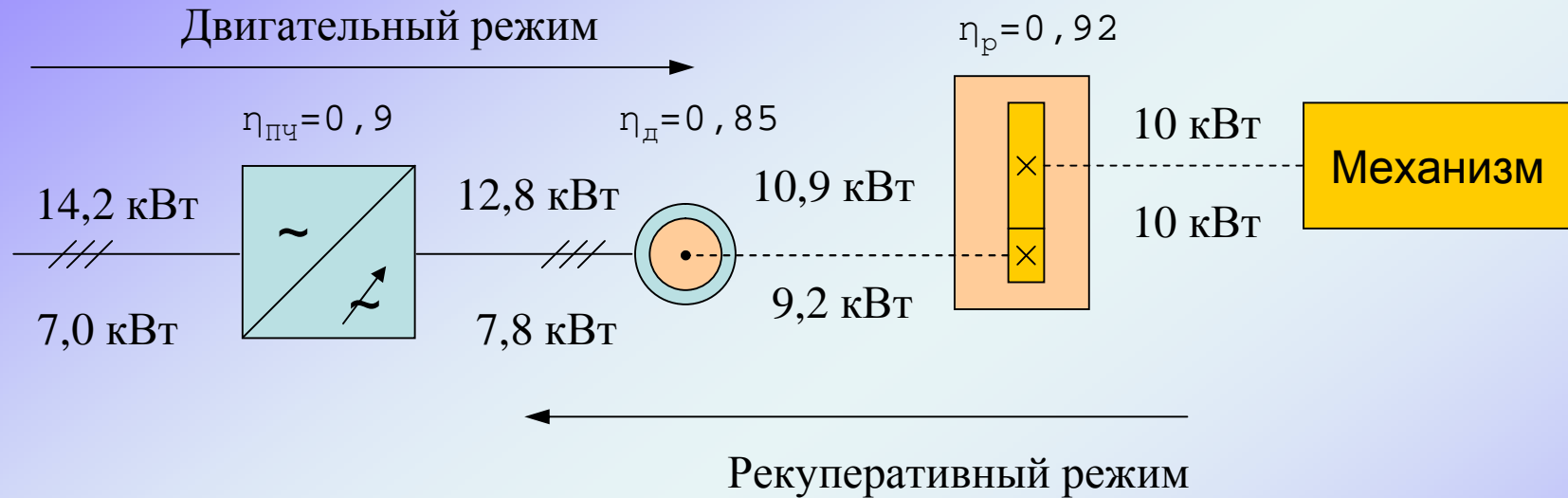
Блоки рекуперации (1)

Вход блока рекуперации подключается к звену постоянного тока.

Выход подключается к сети через понижающий автотрансформатор.

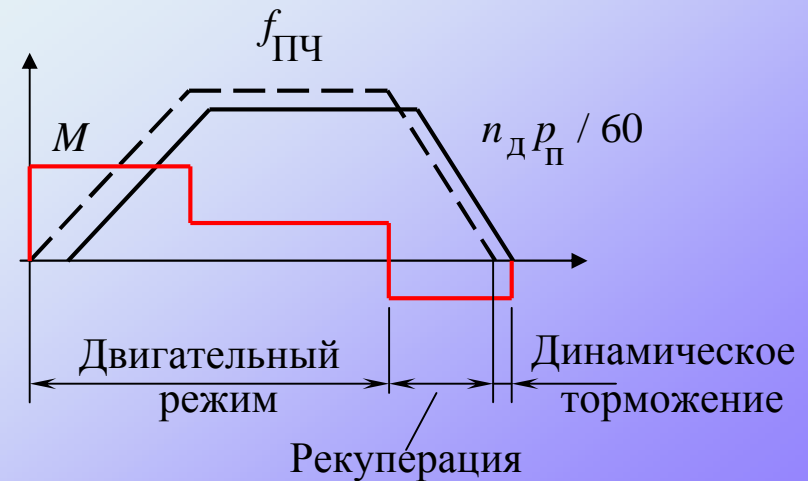


Блоки рекуперации (2)



Применение блоков рекуперации не всегда экономически целесообразно

- M – момент на валу двигателя;
- $f_{ПЧ}$ – частота на выходе ПЧ;
- $n_{д}$ – скорость вращения вала двигателя;
- $p_{п}$ – число пар полюсов двигателя.



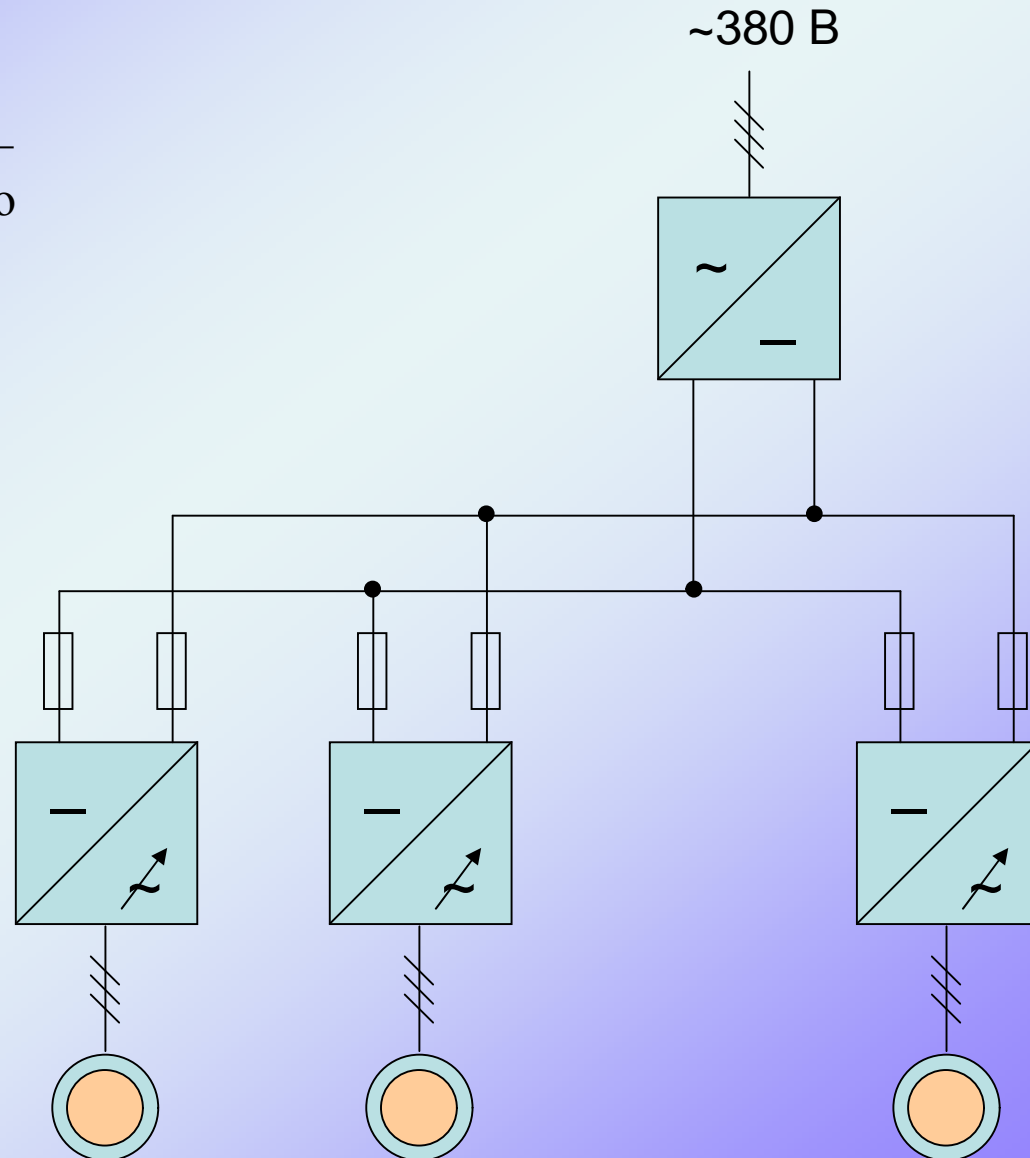
Общее звено постоянного тока

Один из способов рекуперации — объединение преобразователей по постоянному току.

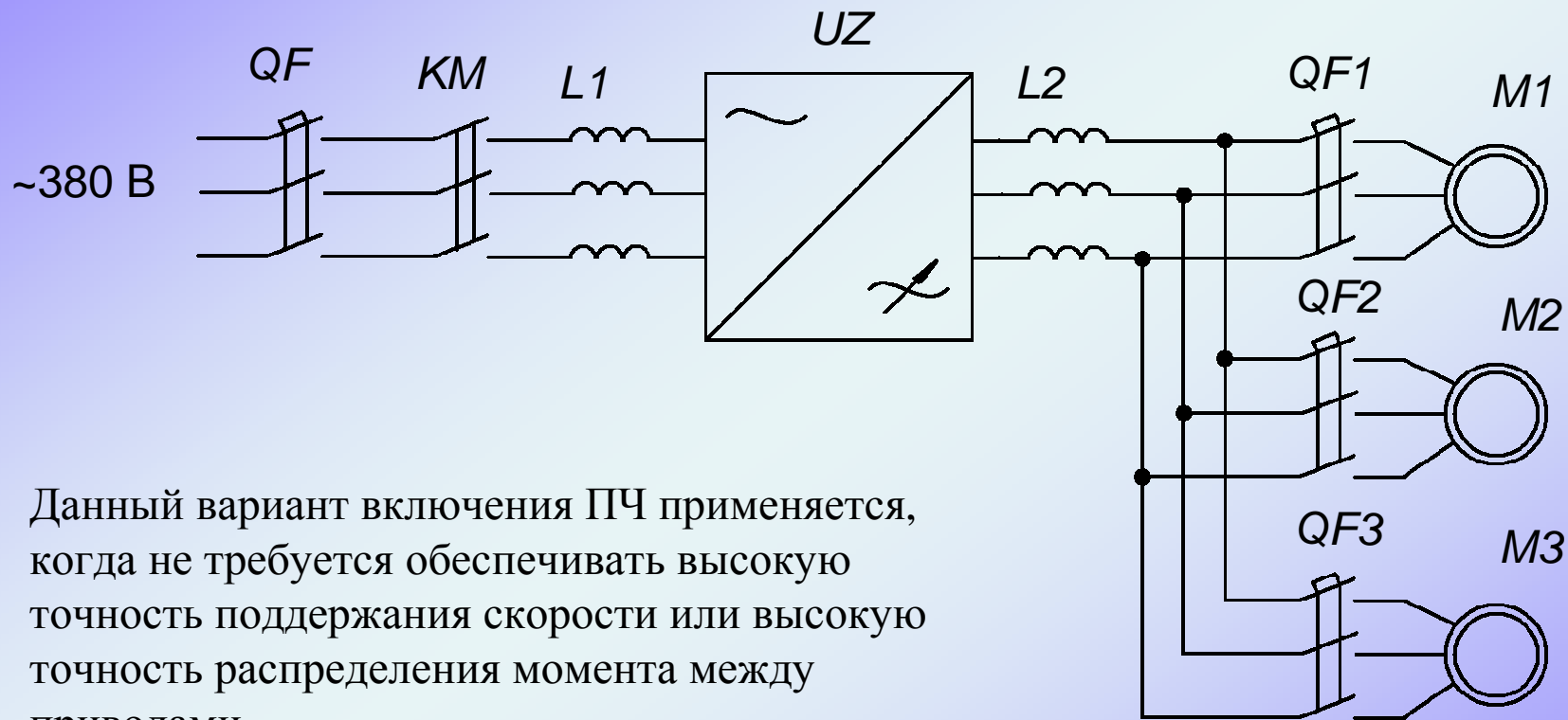
Достоинства:

- выше КПД
- эффективнее использование выпрямителя и блока рекуперации

Применяется, когда не все привода одновременно работают в двигательном режиме.



Работа ПЧ на несколько двигателей



Данный вариант включения ПЧ применяется, когда не требуется обеспечивать высокую точность поддержания скорости или высокую точность распределения момента между приводами.

Данный подход широко применяется в приводах рольгангов.

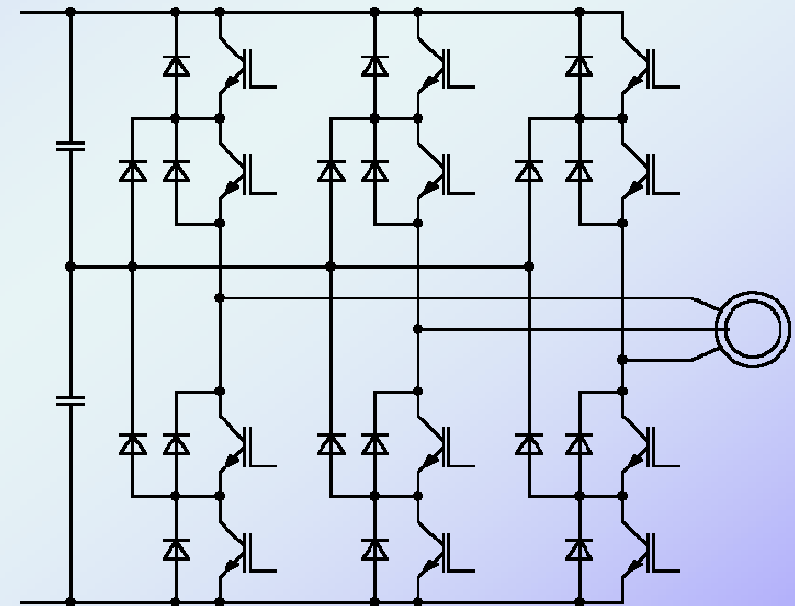
Трёхуровневые ПЧ

Позволяют снизить уровень гармоник

Достоинства трёхуровневого ПЧ

- Меньшая величина гармоник тока и напряжения на выходе ПЧ
- Лучшая электромагнитная совместимость
- Ниже уровень пульсаций момента двигателя и уровень шумов
- Меньшие потери как в двигателе, так и в ПЧ.

Схема трёхуровневого инвертора

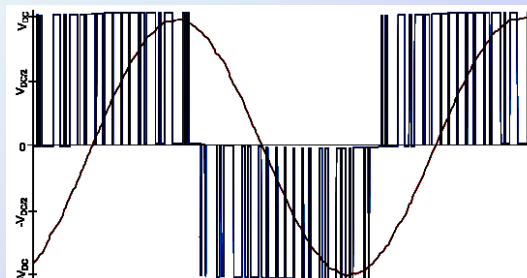


Фазные напряжения

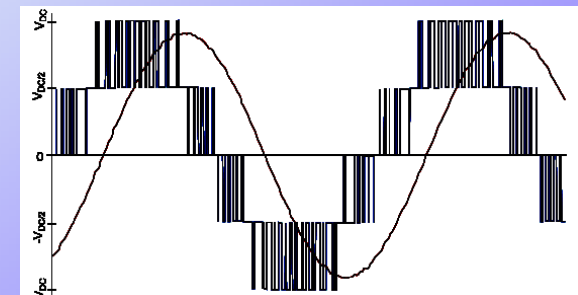
Трёхуровневые инверторы

- Omron — G7
- Siemens — SINAMICS GM150

в двухуровневом ПЧ



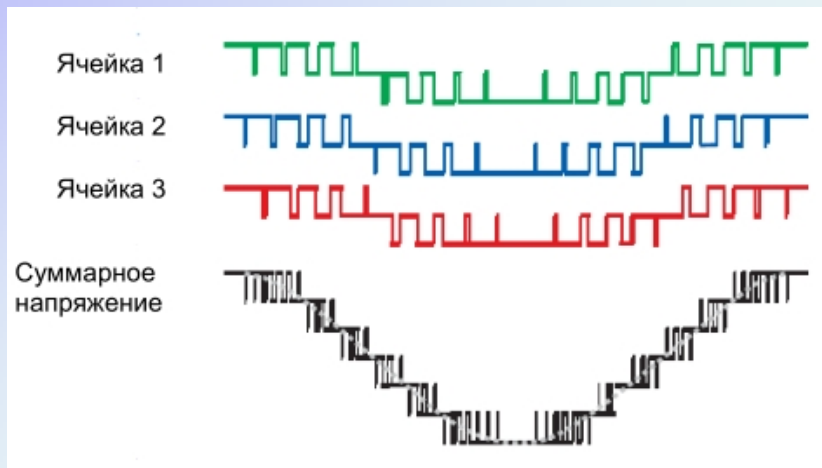
в трёхуровневом ПЧ



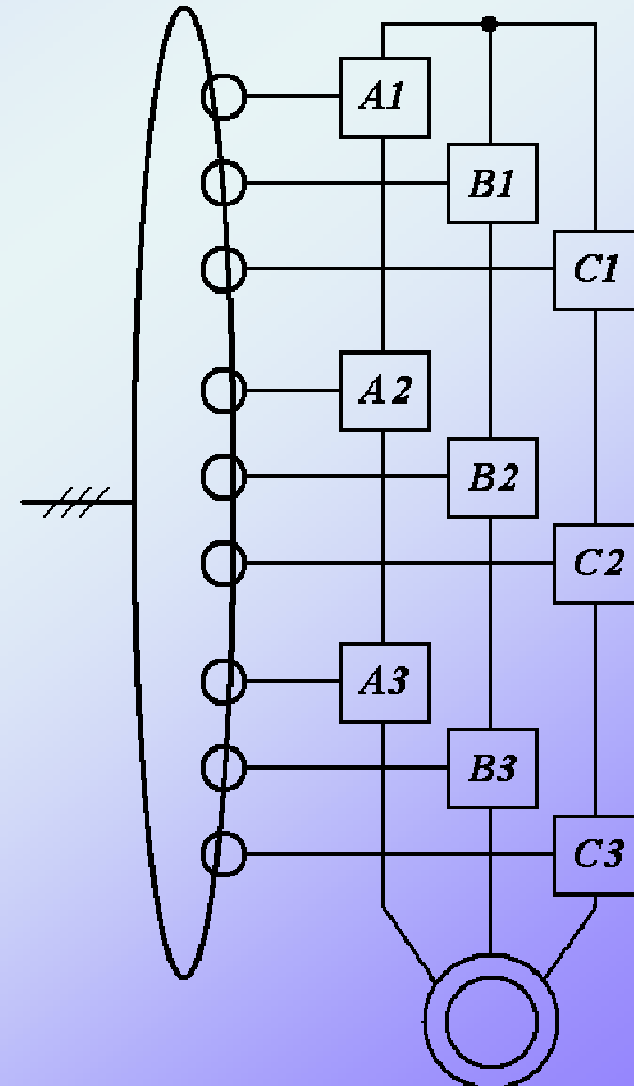
Многоуровневые ПЧ Perfect Harmony

Применяются для приводов
высокого напряжения

- практически отсутствуют гармоники
в выходном напряжении
- работоспособны при отказе
нескольких ячеек



Perfect Harmony сейчас принадлежит Siemens
Есть аналогичные разработки и у других фирм



Ограничения применимости частотного электропривода

- ПЧ не допускается применять с двигателями взрывозащищённого исполнения
- ПЧ при работе не допускают разрыва линий связи с двигателем, (нельзя на выходе преобразователя ставить контакторы, коммутирующие двигатели во время работы ПЧ, нельзя питать двигатели через троллеи, не рекомендуется ставить автоматические выключатели).
- ПЧ нельзя подвергать чрезмерным вибрациям (размещать на транспортных тележках)

Для привода транспортных тележек целесообразно использовать ДПТ ПВ.

ПЧ экономичны только при работе в динамических режимах, при регулировании скорости. Если требуется длительная работа с номинальной скоростью, то целесообразно питать его напрямую от сети, а ПЧ использовать только для пуска и торможения. Более дешёвым вариантом может быть использование устройств плавного пуска.

ПЧ не допускают подключения к устройствам контроля сопротивления изоляции.

ПО для выбора ПЧ

Некоторые фирмы выпускают программы для подбора ПЧ и необходимых компонентов со стороны сети и со стороны двигателя.

У Siemens это бесплатная программа SIZER. Есть аналогичные программы у Sew-Eurodrive, Omron и др.

Ни одна такая программа качественный расчет механики сделать не позволяет и служит для ориентировочного выбора, который затем нужно уточнять.

