

- Ш Распадская 18.03.09
- *Семинар гл механиков всех участков*
- *Компании «Распадская»*

**Вопросы управления асинхронными
электродвигателями с короткозамкнутым
ротором.**

Новосибирск - 2009

N Принцип преобразования эл-ой энергии в механическую

- F 1.Закон Лоренца-на проводник с током I , помещенный в магнитное поле B действует сила

$$F=B*I.$$

- 2.На рамку с током I в магнитном поле B действует вращающий момент

S
$$M=B*I*S*\cos \langle \Phi \rangle$$

- 3.Максимальный момент-при взаимноперпендикулярном расположении вектора магнитного поля и вектора тока (*расположение рамки вдоль линий магнитного поля*)

4. Таким образом для получения управляемого вращающего момента в любом эл. двигателе необходимо:

1) *наличие постоянного магнитного потока;*

2) *наличие управляемого моментобразующего тока;*

3) *взаимноперпендикулярная ориентация векторов потока и тока.*

5.В ДПТ :

- Поток, обеспечивается системой возбуждения.

- Ток якоря является параметром управления моментом.

- Взаимноперпендикулярная ориентация векторов потока и тока обеспечивается коллектором.

*Р.С. По управляемости
нет ничего лучше!*

АД

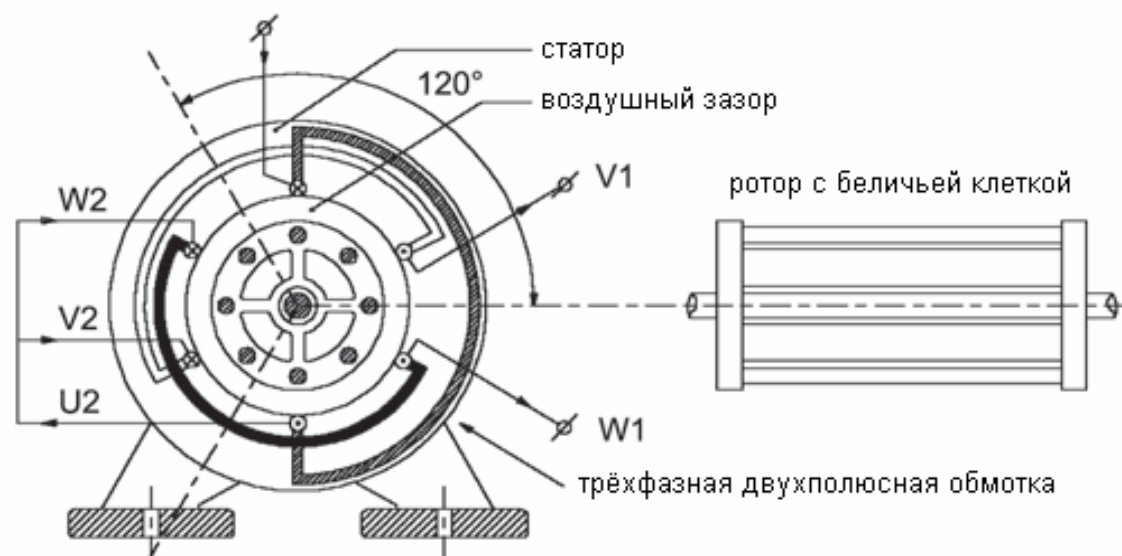
- нет более простой конструкции.
- но нет и более сложного в управлении.
(все три параметра явно не выделены)

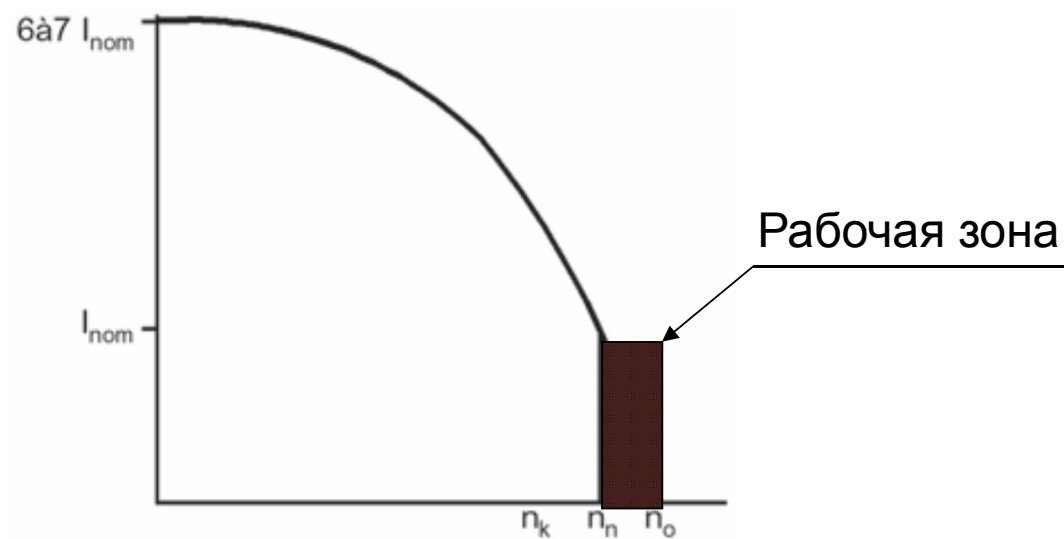
В АД все задается через обмотку статора.

Принцип:

- на статоре и роторе расположены две трехфазные симметричные системы обмоток(с одинаковым числом полюсов).
- при запитке статора 3-х фазной системой питания создается вращающееся магнитное поле.
- (пусть ротор пока разомкнут), в обмотках ротора наводится 3-х фазная система напряжений с разностной частотой, равной:
 - частоте пит. статора при неподвижном роторе;
 - с нулевой частотой при вращении с частотой поля статора.

Асинхронный двигатель с беличьей клеткой
(короткозамкнутый ротор). Конструкция.





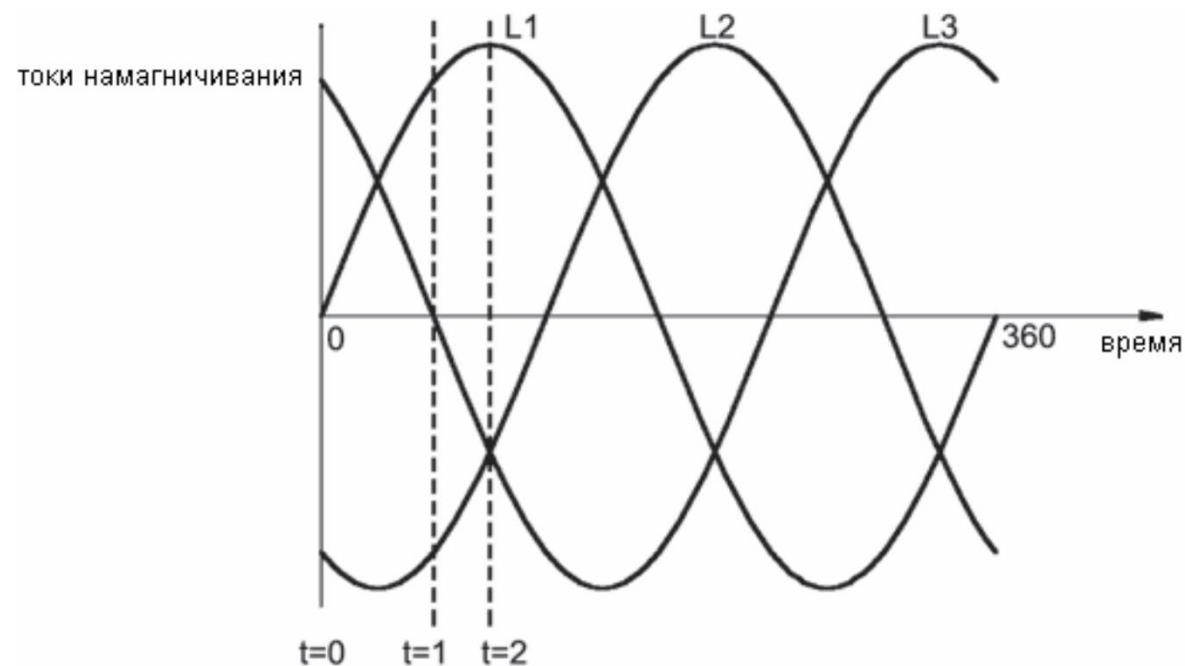
Если ротор начинает проскальзывать, то генерируется напряжение. В результате через статор начинает протекать ток.



Магнитное поле статора генерирует момент

Асинхронный двигатель с беличьей клеткой
Основные соотношения.

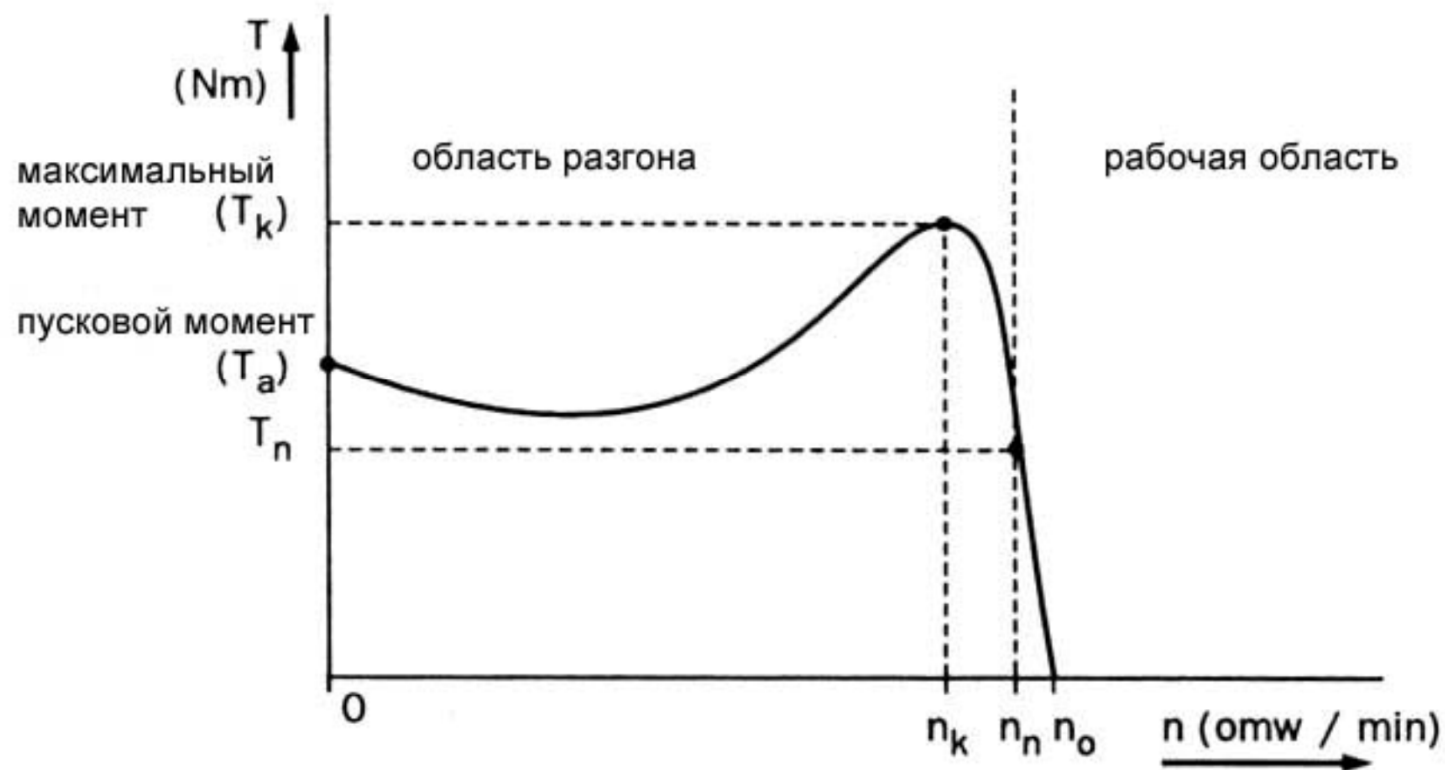
Момент, развиваемый двигателем	$M_i \sim \Phi \cdot I_2$ [Нм]
Магнитный поток в зазоре	$\Phi \sim \frac{U}{f_1}$ [Вб]
Синхронная скорость	$n_1 = \frac{f_1 [\text{Hz}]}{p} = \frac{60 \cdot f_1}{p} \left[\frac{1}{\text{min}} \right]$
Скольжение	$s = \frac{n_s}{n_1} = \frac{n_1 - n}{n_1}$
Номинальный момент на валу	$M_n [\text{Nm}] = \frac{P_n [\text{kW}] \cdot 9550}{n_n [\text{rpm}]}$



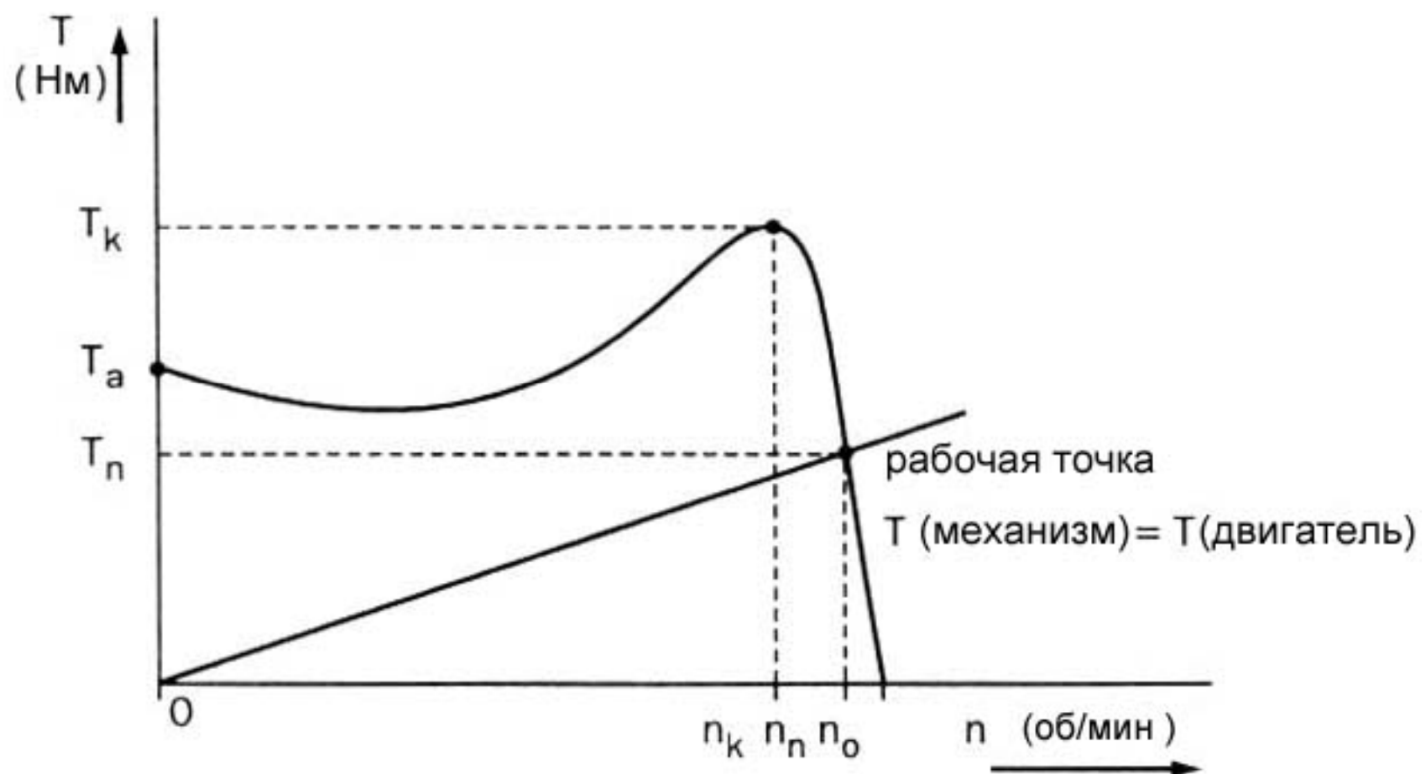
Генерация трёхфазного магнитного поля

На рисунке ниже показано графическое изображение генерации магнитного поля в трёхфазном двигателе

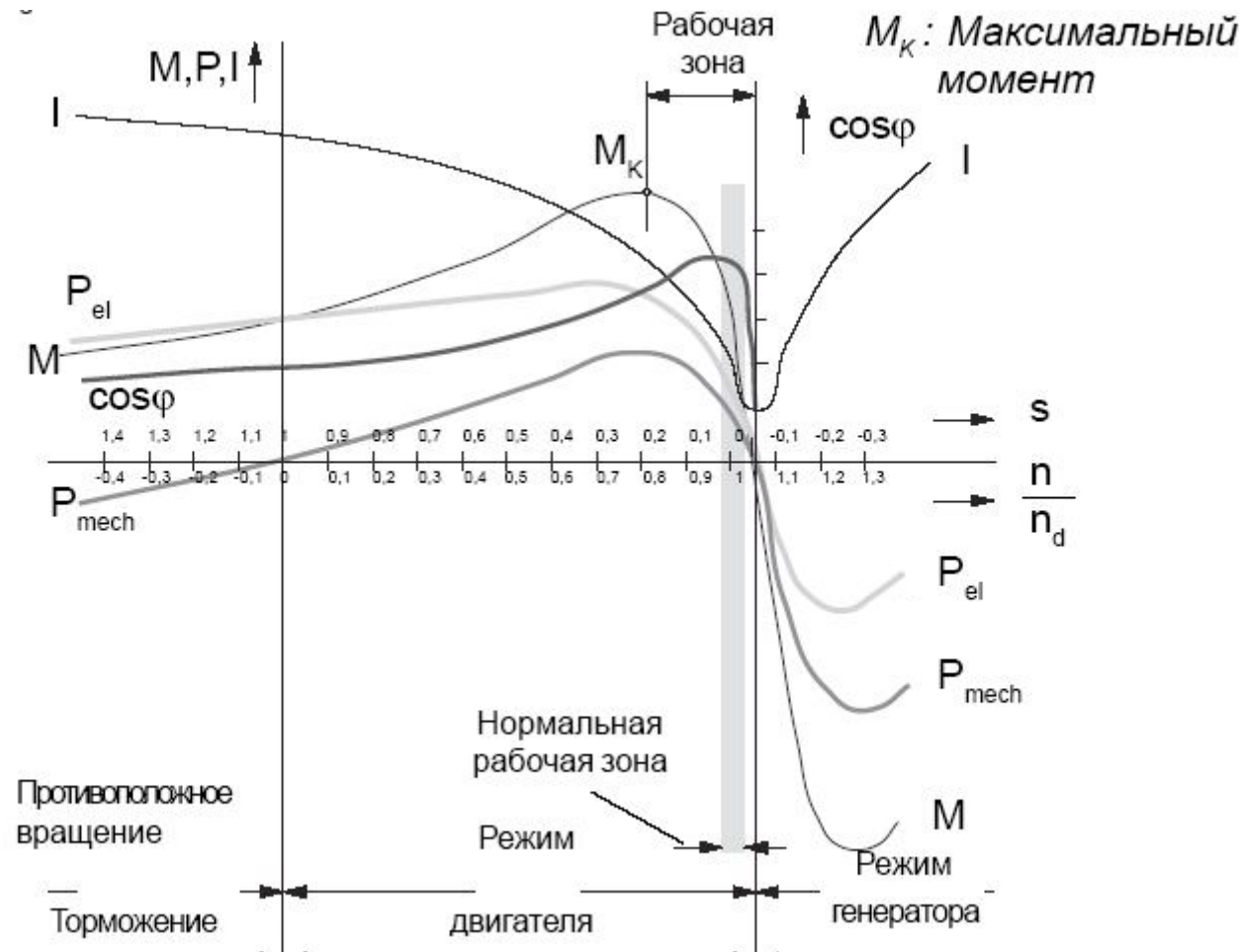
Механическая характеристика асинхронного двигателя (кривая момент/скорость)



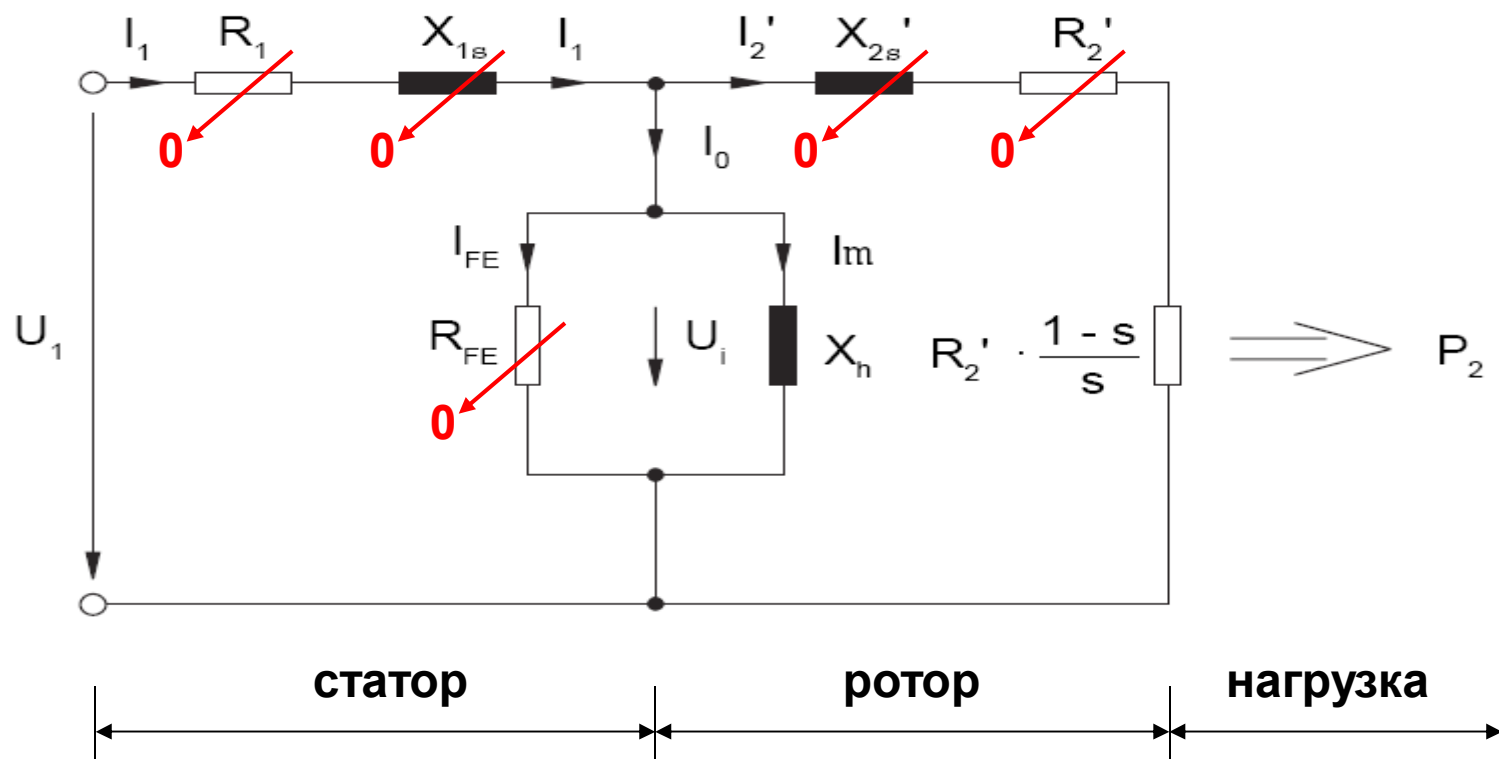
Рабочая точка на механической характеристике



Режимы работы асинхронного двигателя

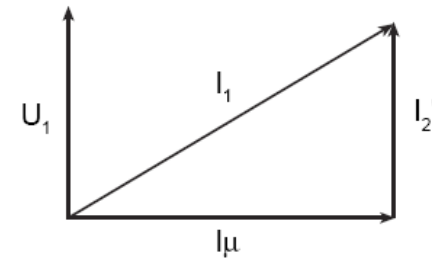
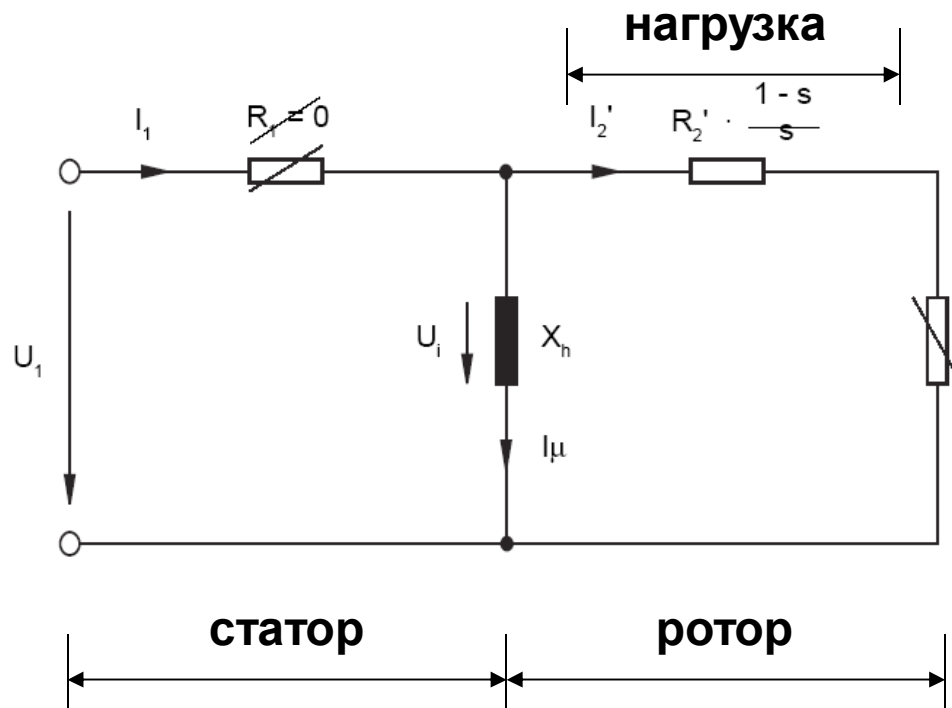


Однофазная схема замещения асинхронного двигателя и упрощения для рабочей зоны



$$M_i = \frac{3}{2\pi n_1} \cdot U_i^2 \cdot \frac{1}{X_{2s}' \left(\frac{R_2'}{s \cdot X_{2s}'} + s \cdot \frac{X_{2s}'}{R_2'} \right)} \Rightarrow M_i \sim U_i^2$$

Упрощенная схема замещения для нормальной рабочей зоны



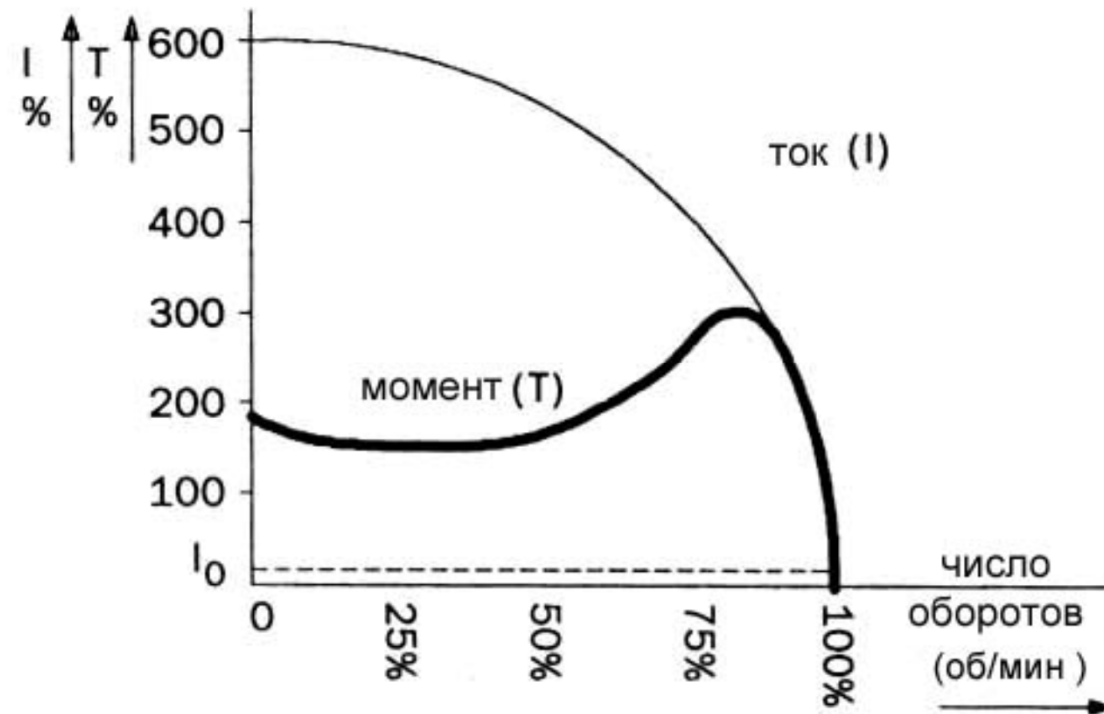
$$I_1^2 = I_\mu^2 + I_2'^2$$

$$I_2' \sim s$$

Если $M \sim \phi \cdot I_2'$ и $\phi = \text{const.}$ то:

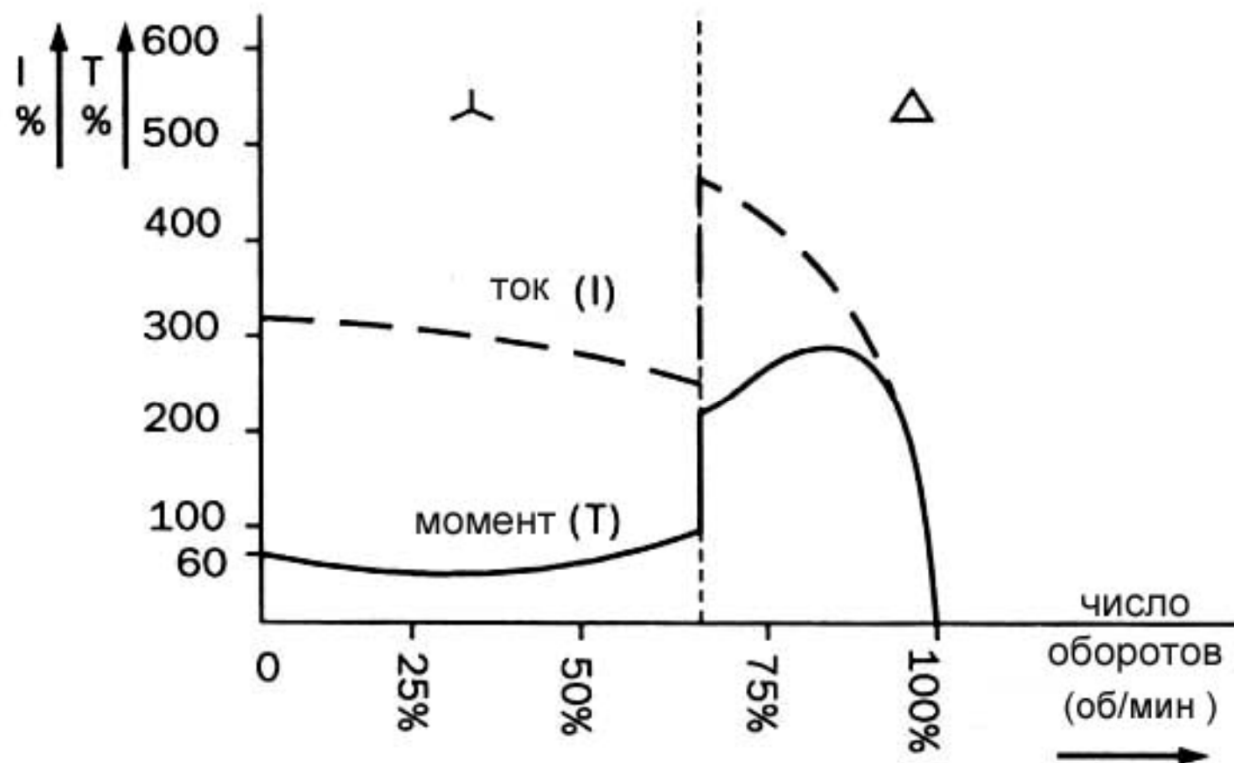
$M \sim s$ (линейная зависимость).

Прямое подключение двигателя к питающей сети.



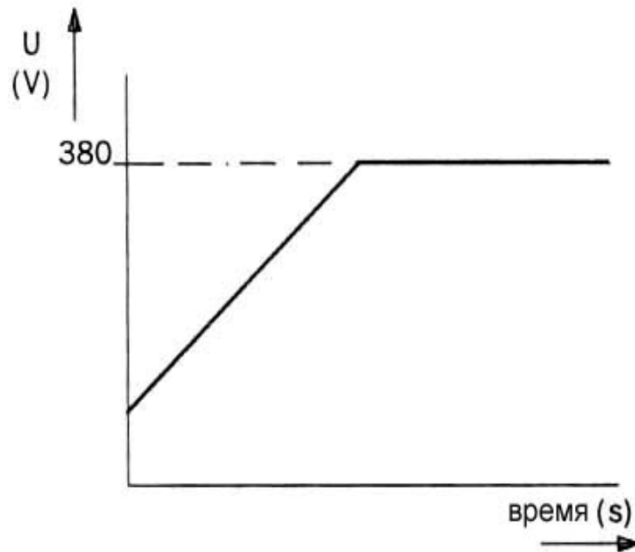
При синхронной скорости ток ротора равен нулю, статор будет потреблять только ток намагничивания (ток намагничивания I_0 необходим для генерации трёхфазного магнитного поля).

Переключение «звезда» - «треугольник»

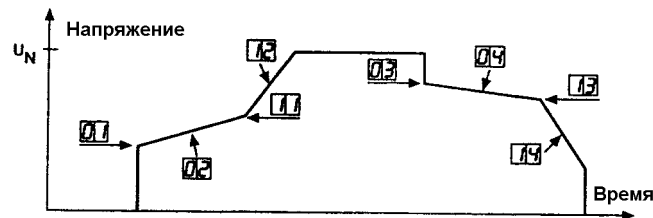
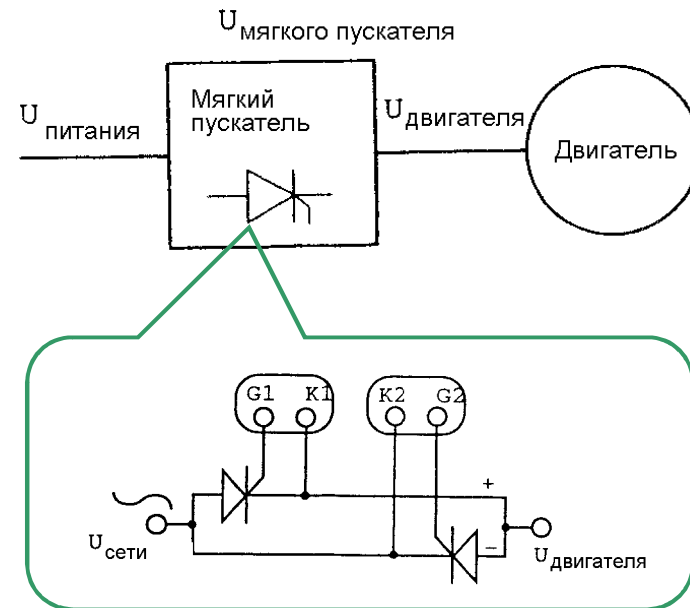


Изменение тока и момента при переключении звезда-треугольник.

Мягкий пускатель

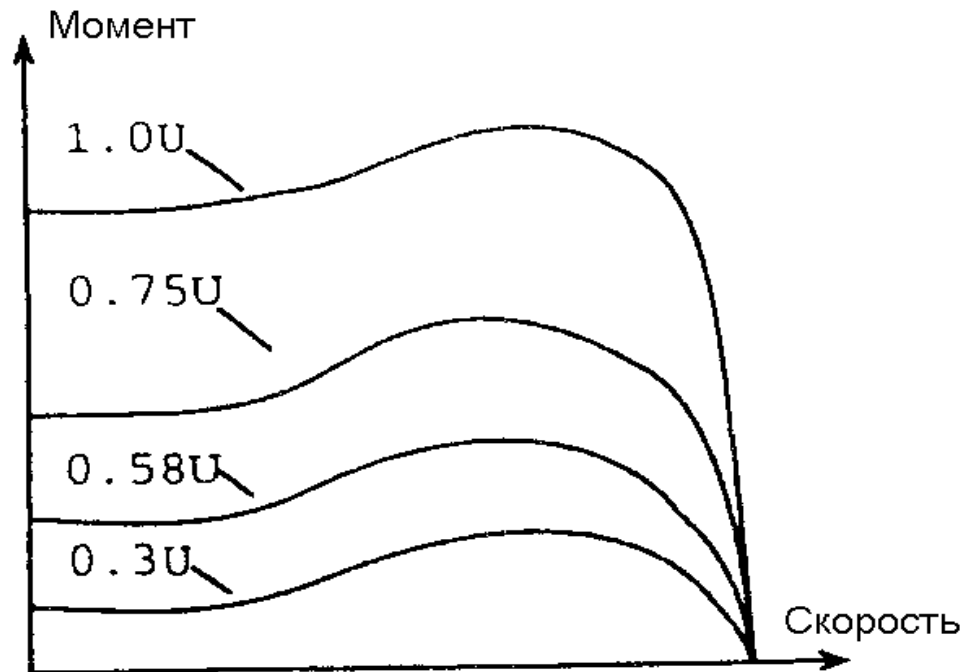


$$U_e = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T [u(t)]^2 dt}$$



Современные мягкие пускатели позволяют гибко изменять кривые изменения напряжения при старте и останове механизма для оптимизации процессов

Мягкий пускатель



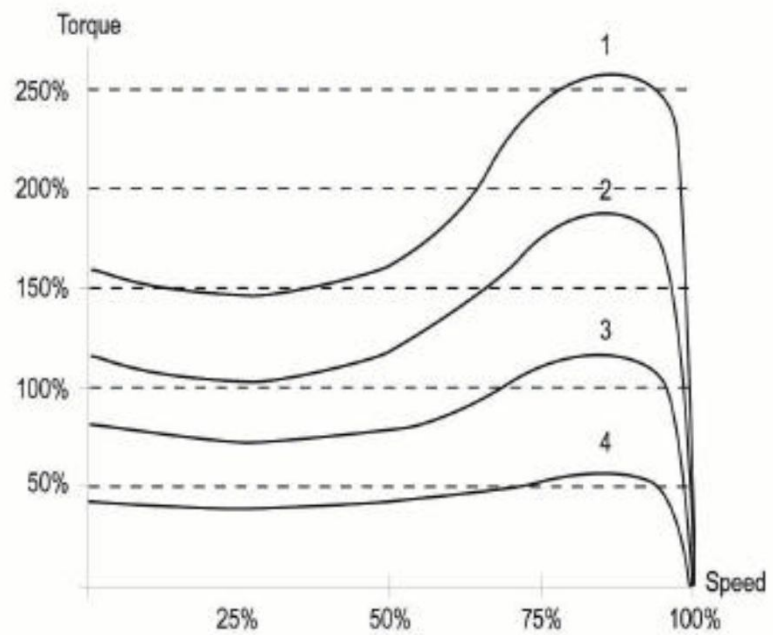
... позволяет осуществить плавный переход без скачка напряжения, который имеет место при переключении «звезда» - «треугольник», поскольку он электронным способом увеличивает напряжение с течением времени. Мягкий пускатель может ограничить пусковой ток до 2,5 - 3 х $I_{ном}$, в зависимости от вида применения.

При низком напряжении стартовый момент двигателя снижен

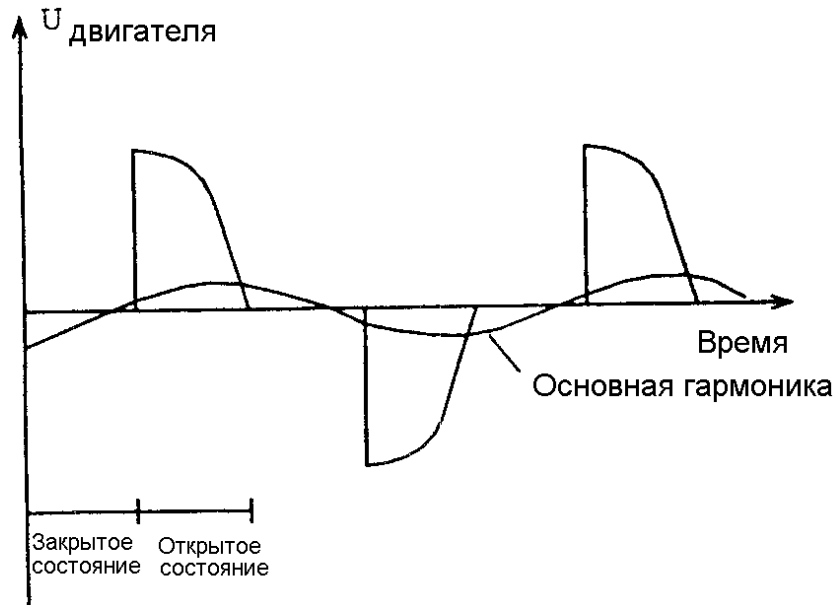
$$M_i \sim U_i^2$$

Момент и плавность трогания зависит от пускового момента механизма

- 1 — Full voltage
- 2 — 85% voltage
- 3 — 70% voltage
- 4 — 50% voltage



Мягкий пускатель



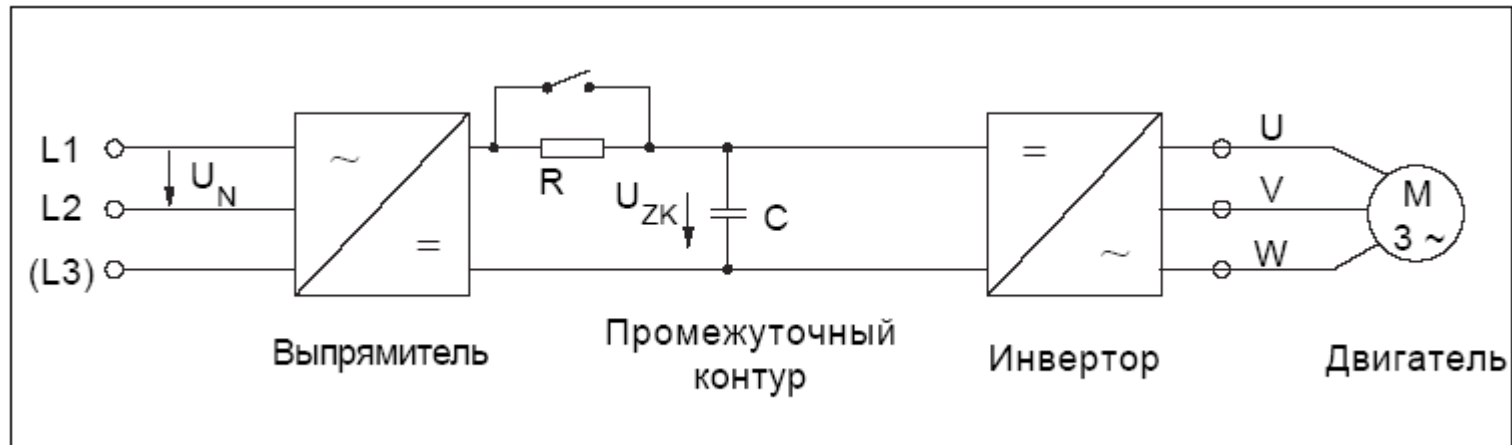
... обеспечивает изменение выходного напряжения за счет «фазового управления» силовыми тиристорами.

Под «изменением» понимается интегральная величина:
среднеквадратичное значение.

$$U_e = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T [u(t)]^2 dt}$$

Применение «фазового управления» может порождать серьезные искажения в напряжении питающей линии, особенно при значительном сопротивлении линии и подстанции у промежуточных и конечных потребителей.

Частотное регулирование двигателя. Инвертор напряжения



1. Неуправляемый
диодный выпрями-
тель

2. Полууправляемый
диодно-тиристорный
коммутатор

1. Батарея элек-
тролитических
конденсаторов

2. Батарея непо-
лярных конден-
саторов

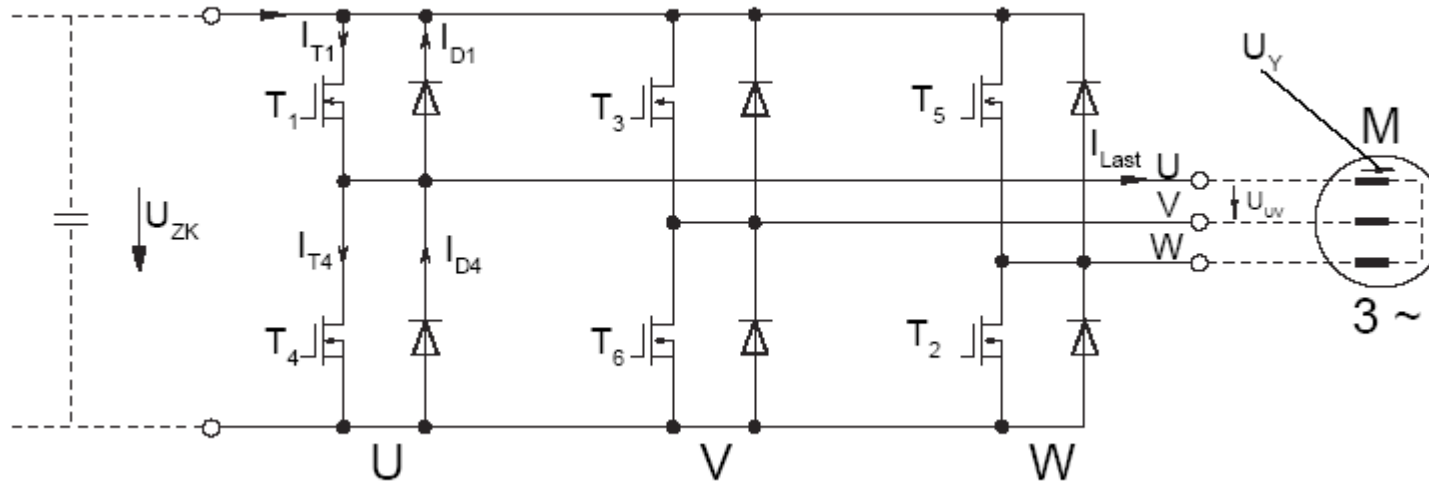
1. Тиристоры

2. Запираемые
тиристоры

3. Биполярные
транзисторы

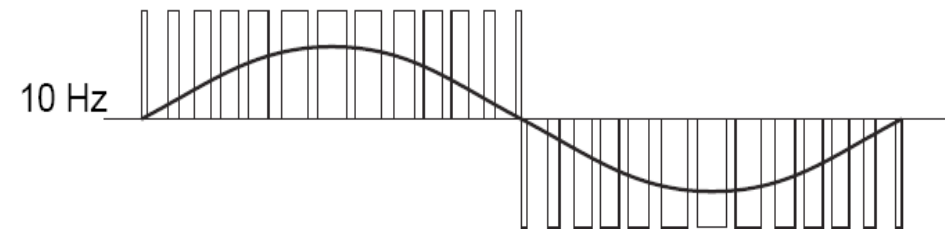
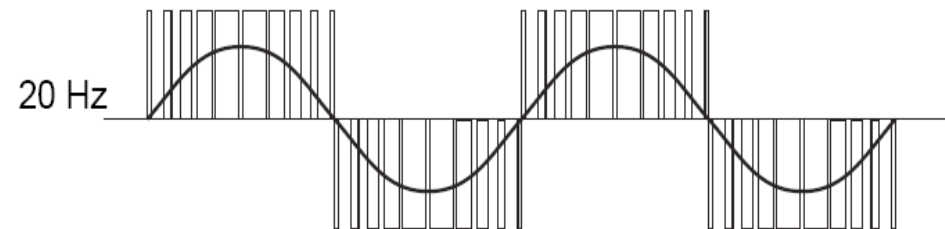
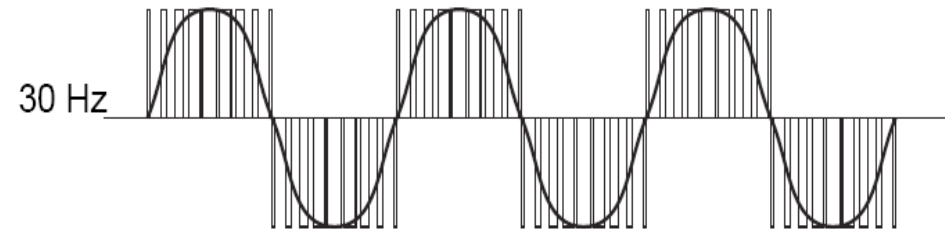
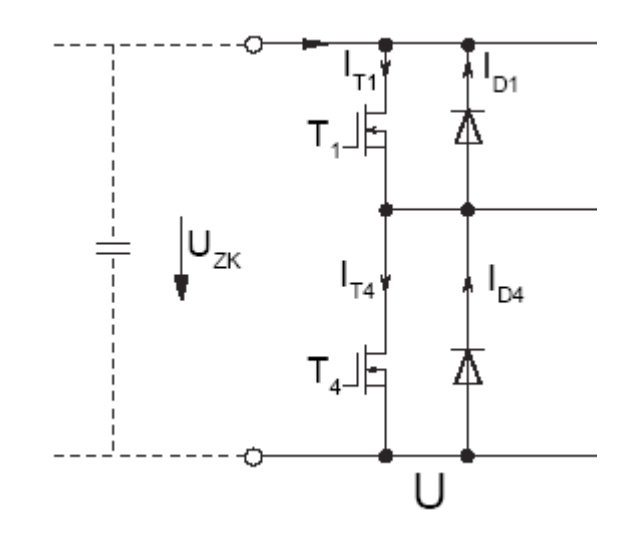
4. MOSFET и IGBT
транзисторы

Частотное регулирование двигателя. Инвертор напряжения на IGBT



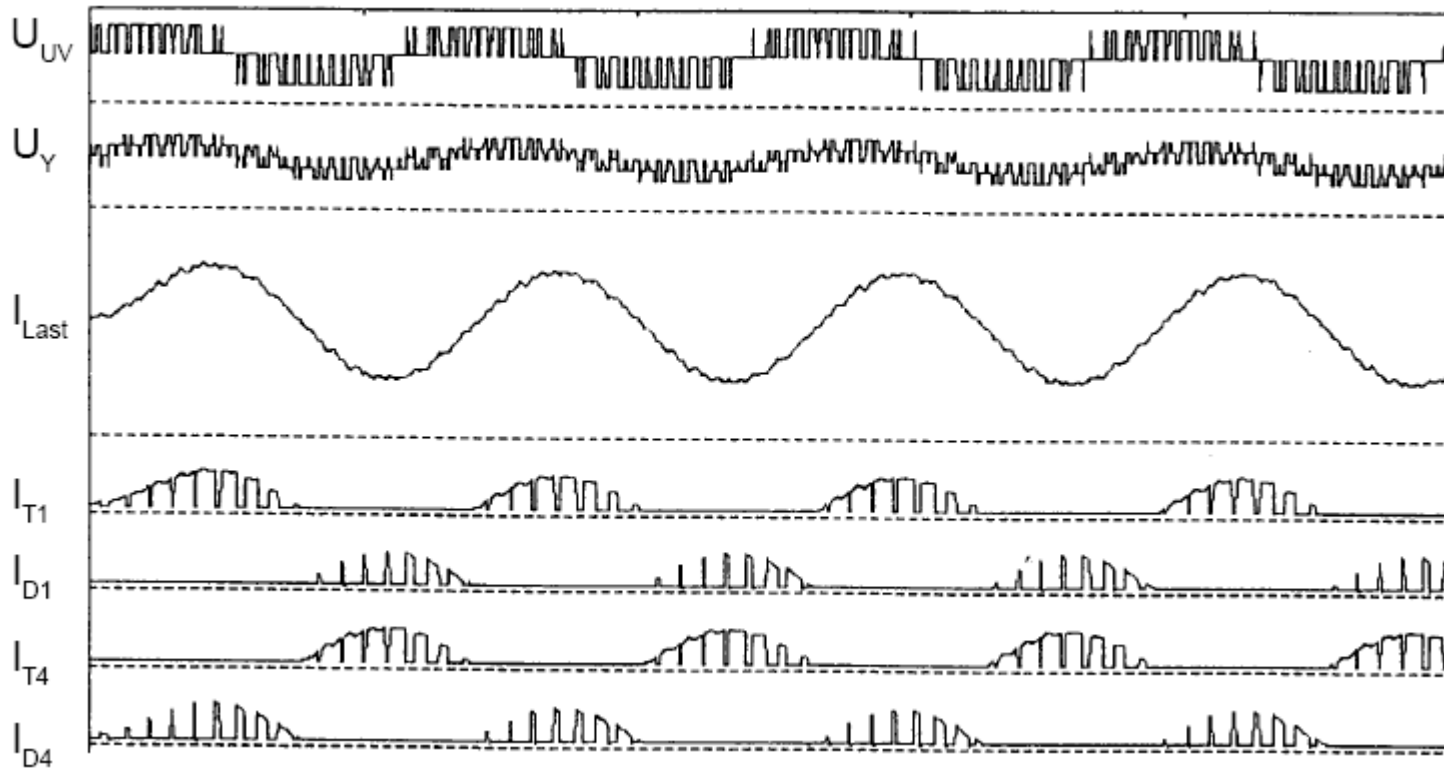
1. Высокая скорость переключения
2. Низкое остаточное напряжение -> низкие потери
3. Минимальные затраты энергии на коммутацию транзистора

Широтно-импульсное регулирование.



1. Широкая зона регулирования
2. Точность формирования основной гармоники выходного напряжения
3. Низкий уровень пульсации тока двигателя

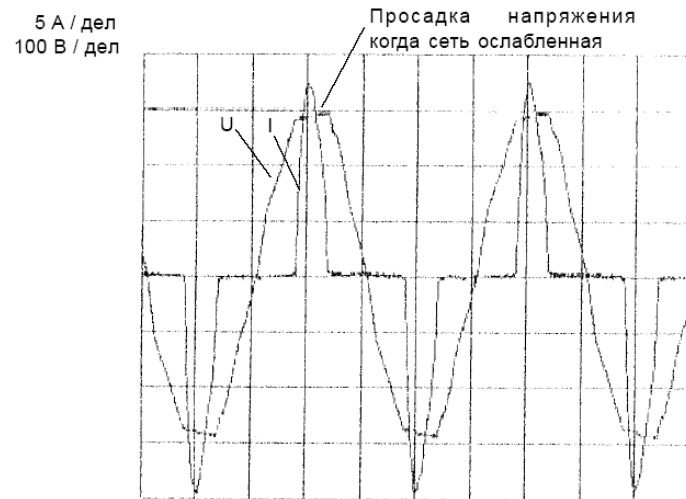
Широтно-импульсное регулирование.



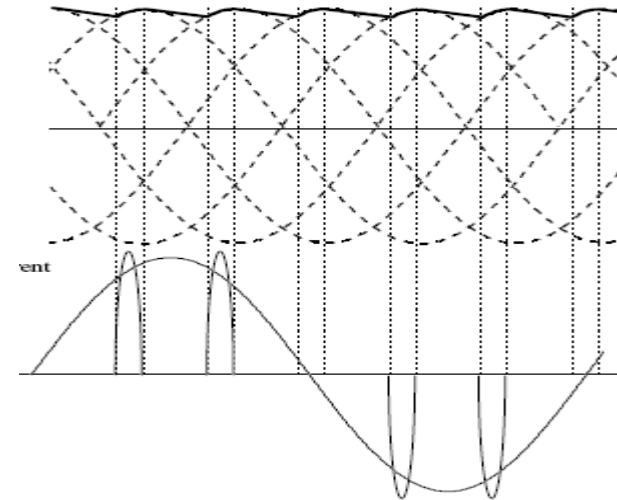
1. Напряжение на нагрузке определяется комбинацией включенных IGBT транзисторов
2. Фазное напряжение принимает 5 значений: $[-2/3; -1/3; 0; 1/3; 2/3] \times U_{dc}$
3. Фазный ток определяется суммой токов IGBT (T1, T4) и диодов (D1, D4) стойки инвертора

Инвертор напряжения. ЭМС с сетью.

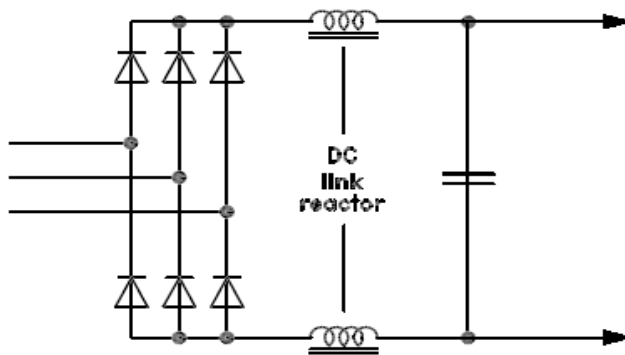
Искажение питающей сети
от 1-фазного выпрямителя



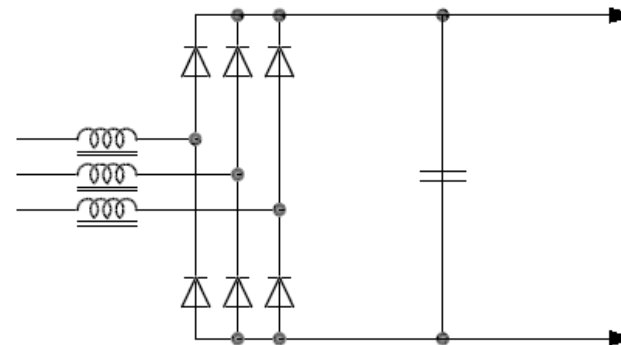
Искажение питающей сети
от 3-фазного выпрямителя



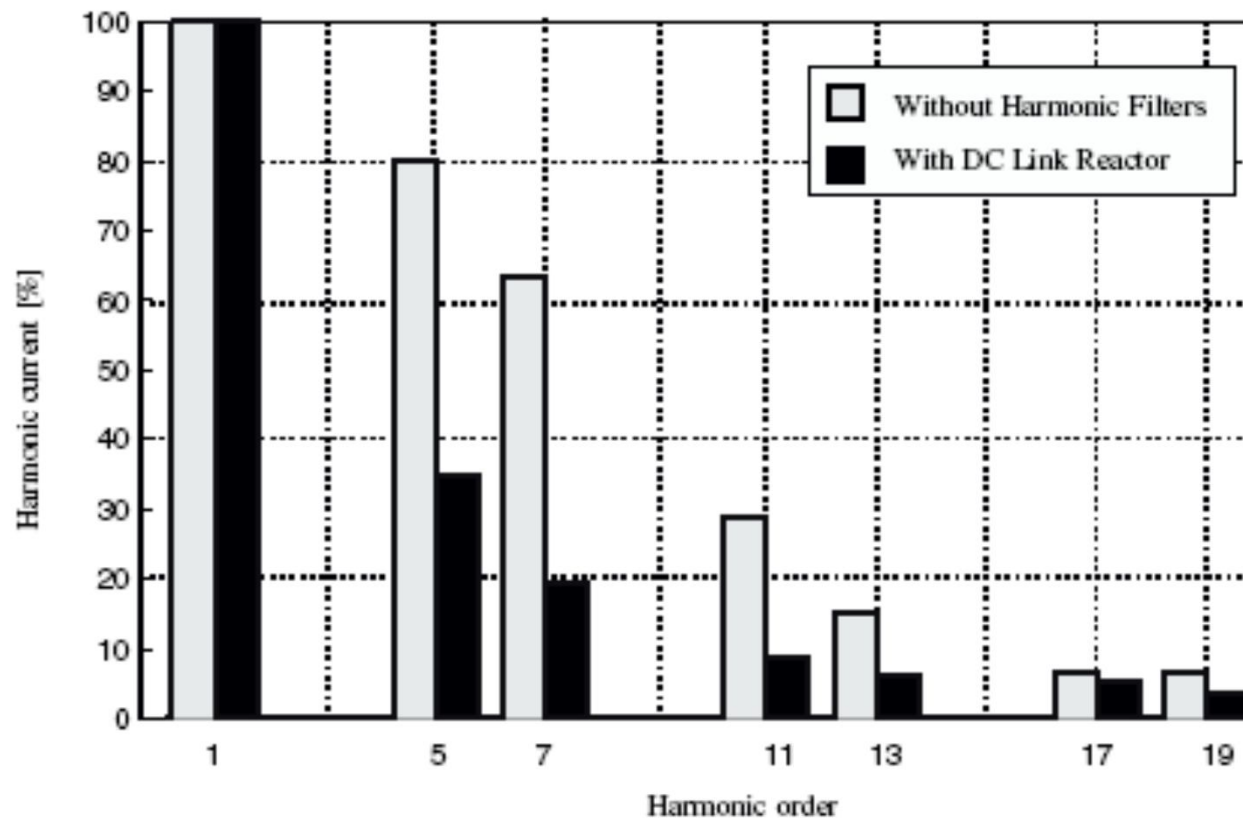
Дроссель в ЗПТ



Дроссель в питающей сети

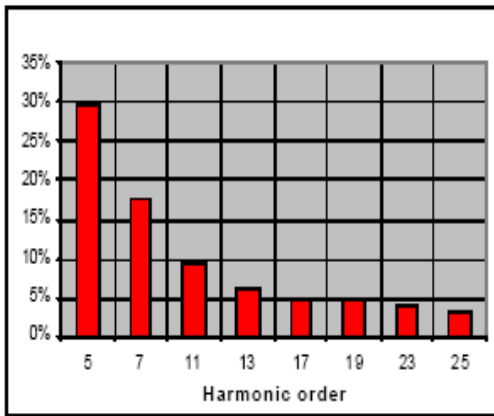
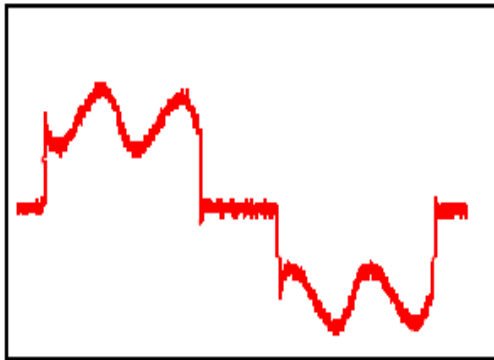


ГАРМОНИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТОКА СЕТИ



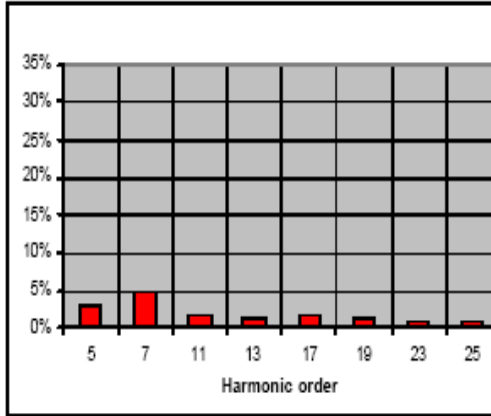
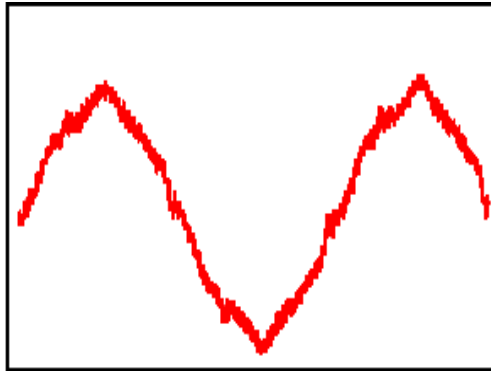
При работе преобразователя частоты без входного фильтра вес высших гармоник тока может превышать 80%.

Инвертор напряжения. ЭМС с сетью. Приемлемая степень фильтрации.



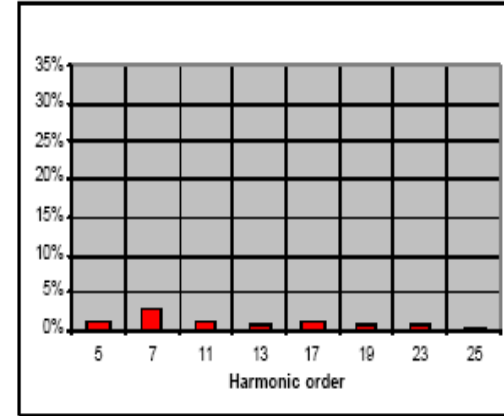
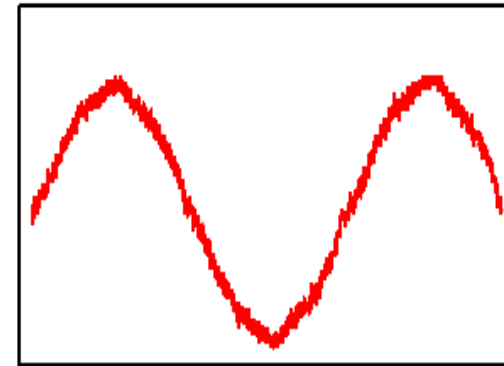
Без дросселя

THD > 50%



Дроссель на входе

THD < 10%



Дроссель на входе

THD < 5%

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ ГОСТ 13109-97
**"ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ. СОВМЕСТИМОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ. НОРМЫ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В
СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ"**

(ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ ПОСТАНОВЛЕНИЕМ ГОССТАНДАРТА РФ
ОТ 28 АВГУСТА 1998 Г. N338)

Дата введения 1 января 1999 г.

Взамен ГОСТ 13109-87

1. Область применения

Стандарт устанавливает показатели и нормы качества электрической энергии (**КЭ**) в электрических сетях **систем электроснабжения общего назначения** переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц в точках, к которым присоединяются электрические сети, находящиеся в собственности различных потребителей электрической энергии, или приемники электрической энергии (точки общего присоединения).

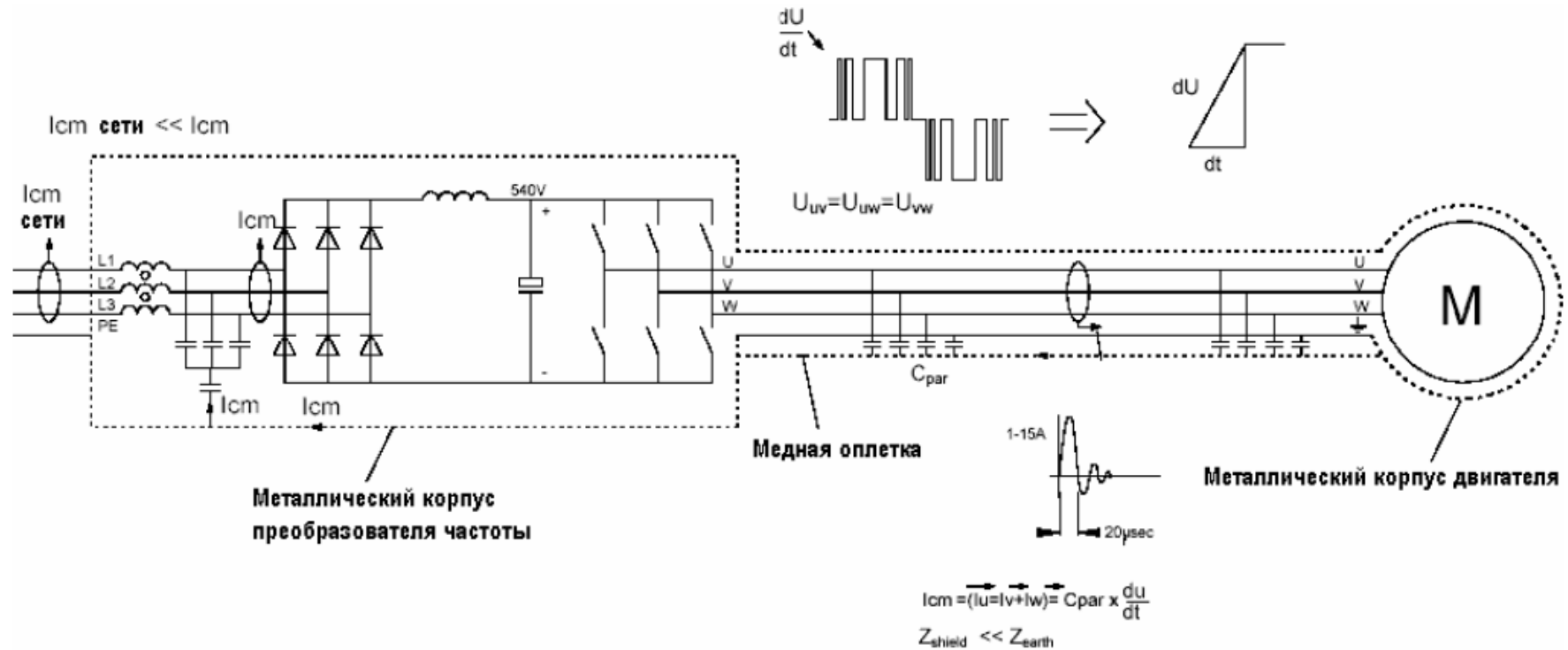
Несинусоидальность напряжения характеризуется следующими показателями:

- коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения;
- коэффициентом n-ой гармонической составляющей напряжения.

Значения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения в процентах.

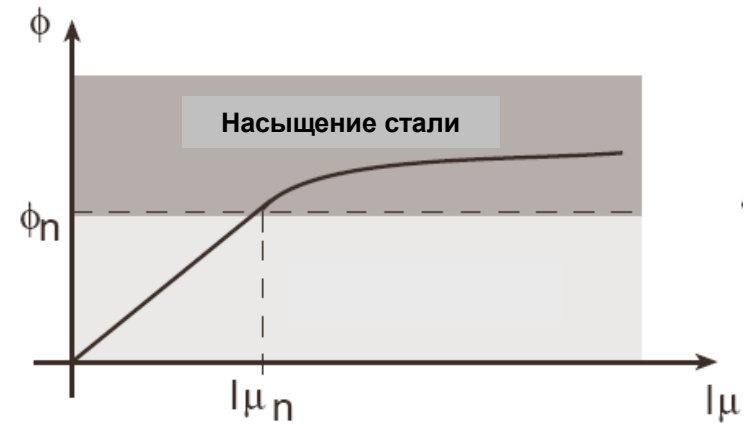
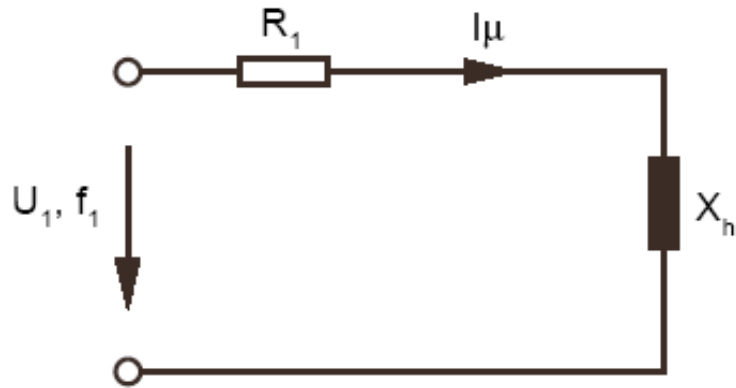
Нормально допустимое значение при U _{ном} , кВ				Предельно допустимое значение при U _{ном} , кВ			
0,38	6-20	35	110-330	0,38	6-20	35	110-330
8,0	5,0	4,0	2,0	12,0	8,0	6,0	3,0

Инвертор напряжения. ЭМС с двигателем.



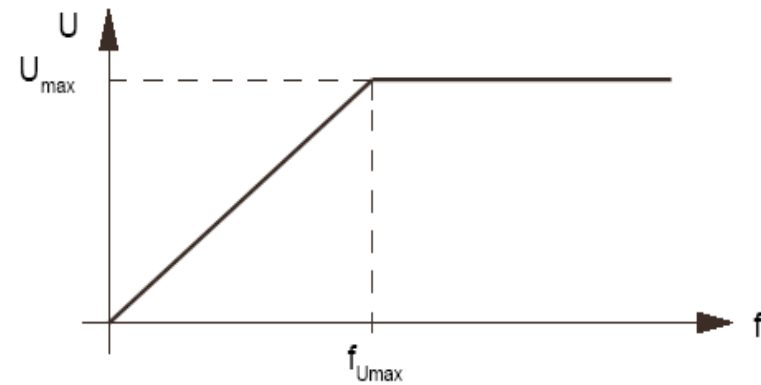
1. Электромагнитное экранирование корпуса, кабеля.
2. Прокладка кабелей по надежно заземленным металлическим конструкциям.
3. Применение многожильных плетеных экранов (использование эффекта вытеснения)

Простейший закон частотного управления. $U/f = \text{const}$

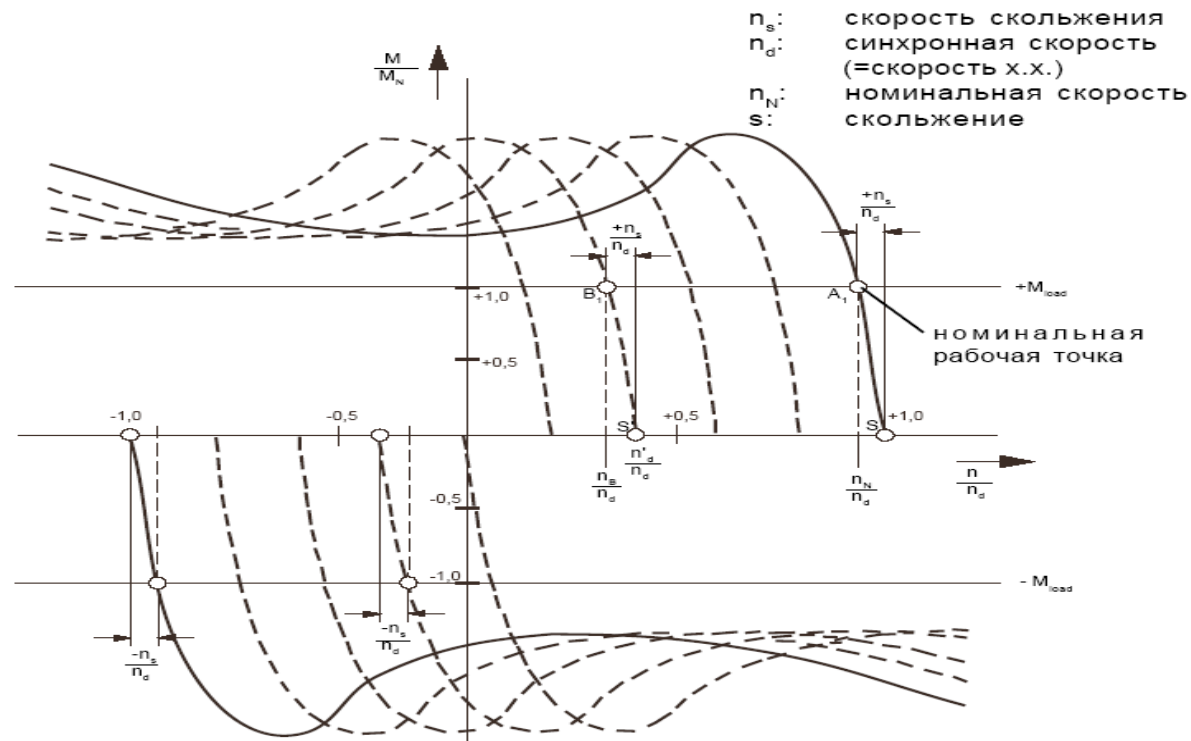


$$I_{\mu} = \frac{U_1}{\sqrt{R_1^2 + X_h^2}} = \frac{U_1}{\sqrt{R_1^2 + (2\pi f L_h)^2}}$$

$$I_{\mu} \gg \frac{U_1}{2\pi f \cdot L_h} \Rightarrow I_{\mu} \sim \frac{U_1}{f}$$

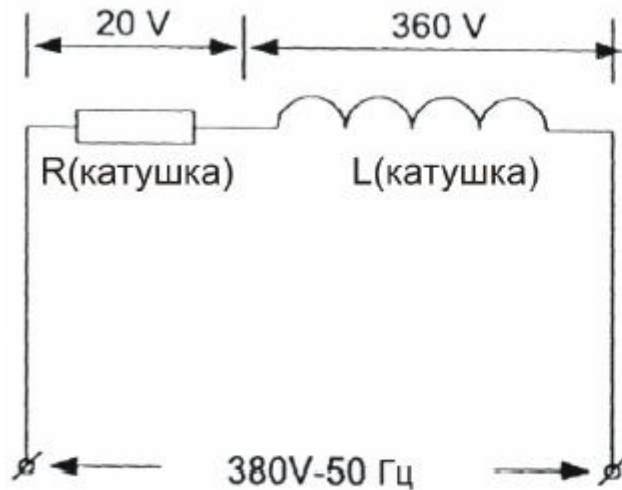


Характеристики двигателя при частотном управлении



При постоянном магнитном потоке характеристики двигателя смещаются параллельным переносом пропорционально частоте питания без потери пускового момента (справедливо для диапазона регулирования $[0.1 \dots 1.0] \times f_{ном}$)

Влияние активного сопротивления статора



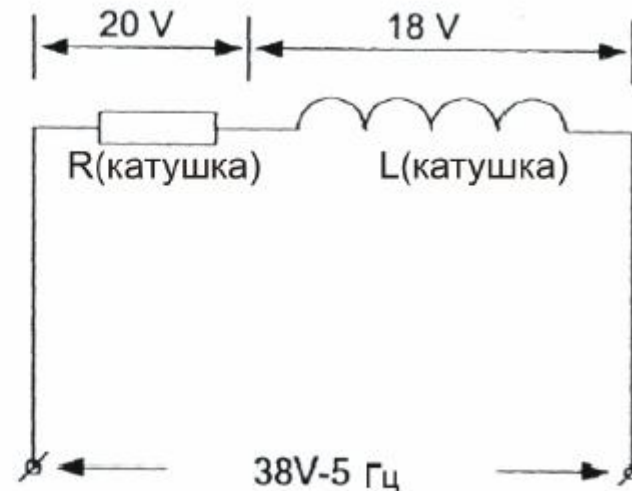
При высоких частотах уровень падения напряжения на R статора обычно не превышает 5...7%.



Влияние на ток намагничивания мало.



Момент двигателя меняется слабо.



При низких частотах уровень падения напряжения на R статора сравним с рабочим уровнем напряжения на L.

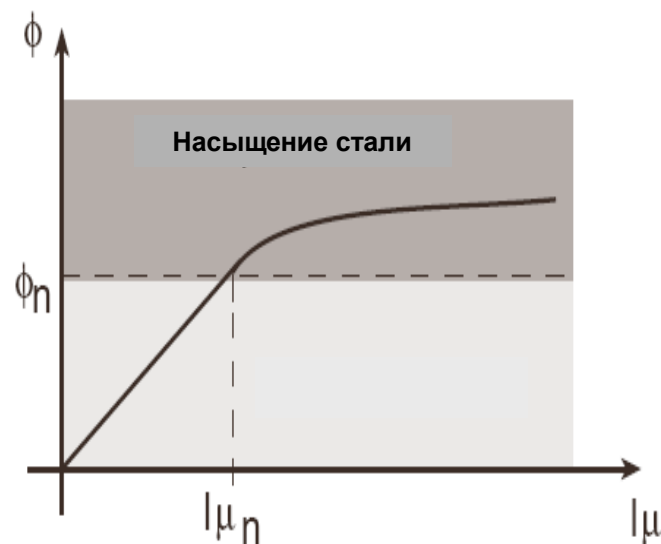
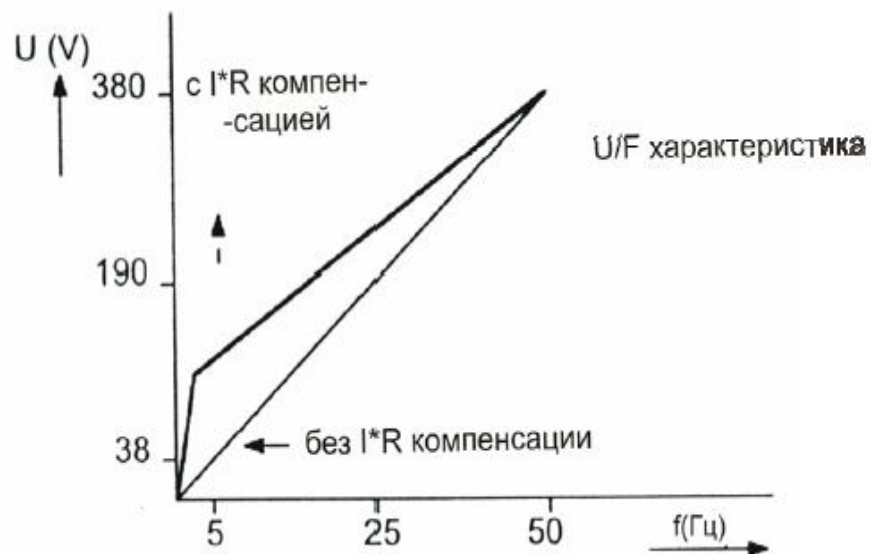


Влияние на ток намагничивания определяющее



Как следствие - падение момента двигателя в области низких частот

Компенсация напряжения на Rстатора

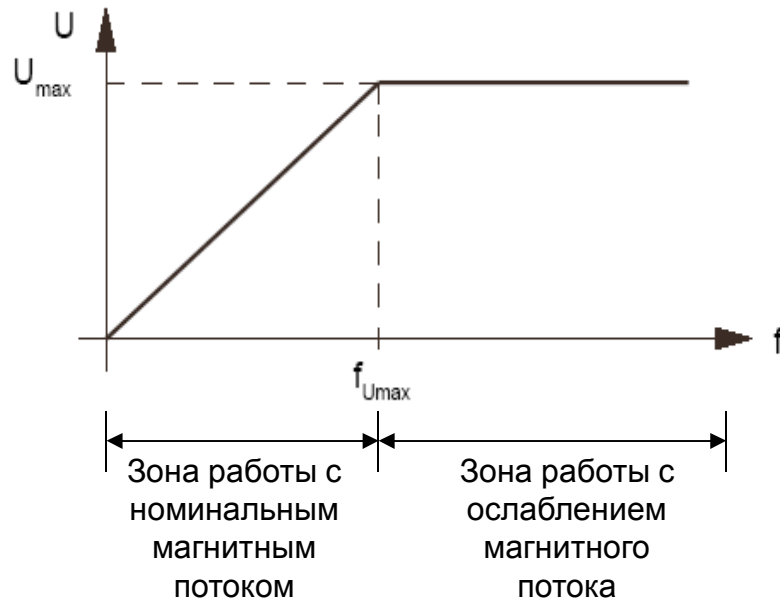


Компенсация позволяет параметрически обеспечить гарантированный запуск конкретного механизма при повышенном моменте трогания и устойчивую работу в области низких частот.

Постоянная компенсация может привести к насыщению магнитной системы двигателя если момент на валу падает или условия трогания изменяются, что приводит к резкому увеличению потерь в двигателе.

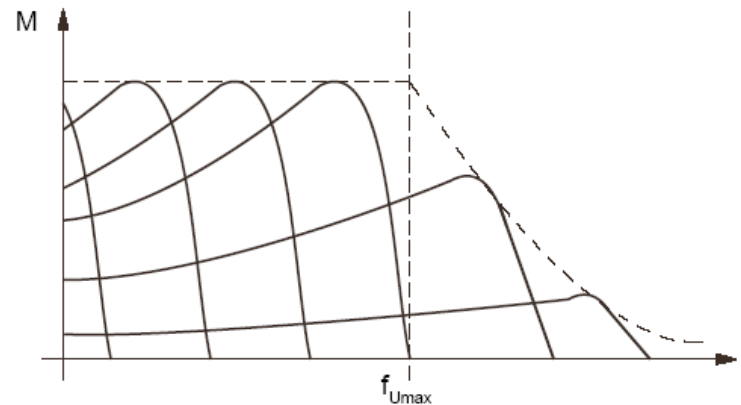
При настройке параметрической компенсации следует соблюдать компромисс между нагруженным механизмом и холостым ходом.

Режим двигателя при частоте выше $f_{ном}$



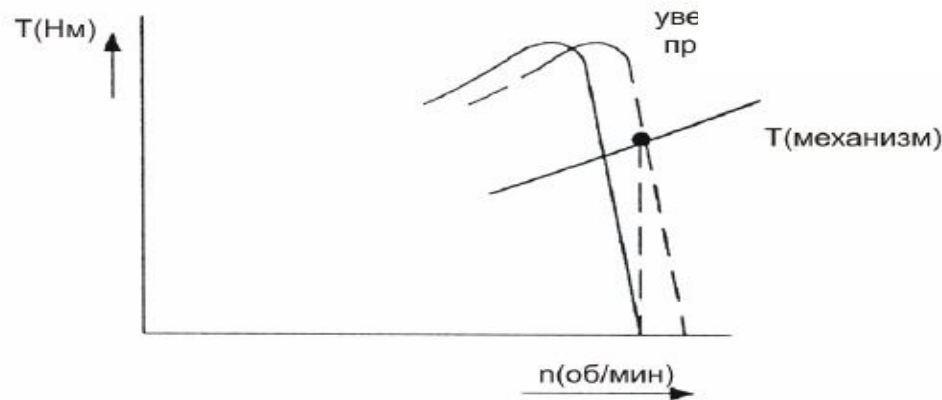
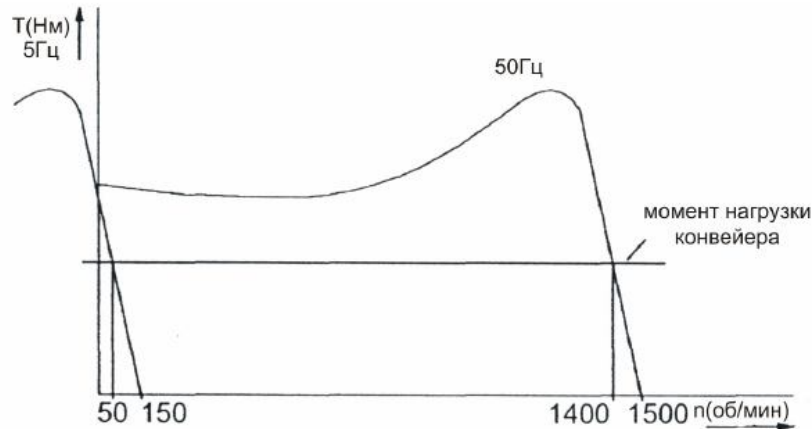
Из-за нарушения соотношения U/f при работе на частотах выше $f_{ном}$:

- снижается запас двигателя по моменту
- увеличивается скольжение двигателя
- критический момент падает быстрее M_n



Для устойчивой работы механизма в области выше номинальной скорости следует учитывать не только механическую прочность механизма, но и возможности электропривода по управлению моментом.

Компенсация частоты скольжения



При работе в области «малых» частот под нагрузкой, величина скольжения сопоставима, а то и выше требуемой скорости вращения.

Если $M \sim \phi \cdot I_2'$ и $\phi = \text{const.}$ то:

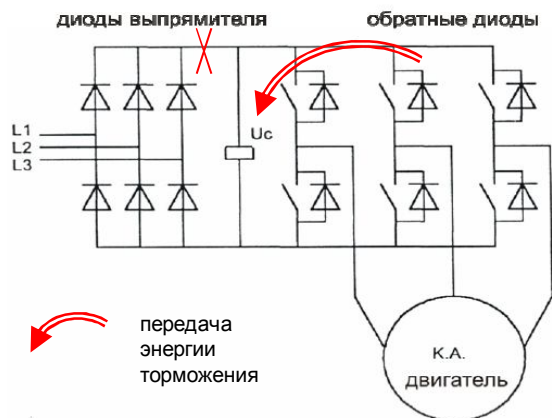
$M \sim s$ (линейная зависимость).

Для парирования проскальзывания ротора достаточно скорректировать частоту питания двигателя не меняя соотношения U/F .

Как правило, величина коррекции вычисляется в функции активного потребляемого тока (для упрощенной модели справедливо: $I_q \sim I_2' \sim S$).

Точность компенсации скольжения зависит от корректно введенных данных двигателя. Чрезмерная компенсация способна привести к автоколебаниям в системе механизм – двигатель – преобразователь частоты.

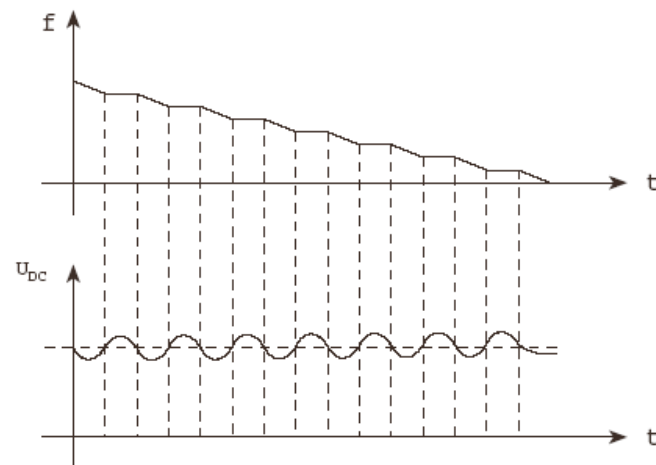
Торможение двигателя



Ввиду диодов выпрямителя передача энергии торможения в сеть невозможна.

В случае, если собственных потерь в механизме недостаточно, возвращаемая энергия приводит к увеличению напряжения на конденсаторе.

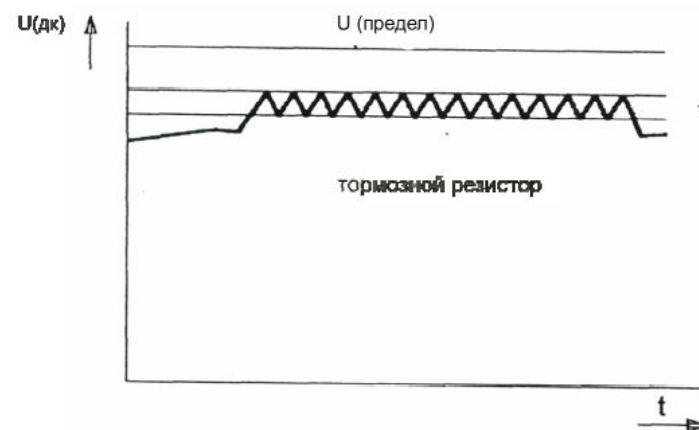
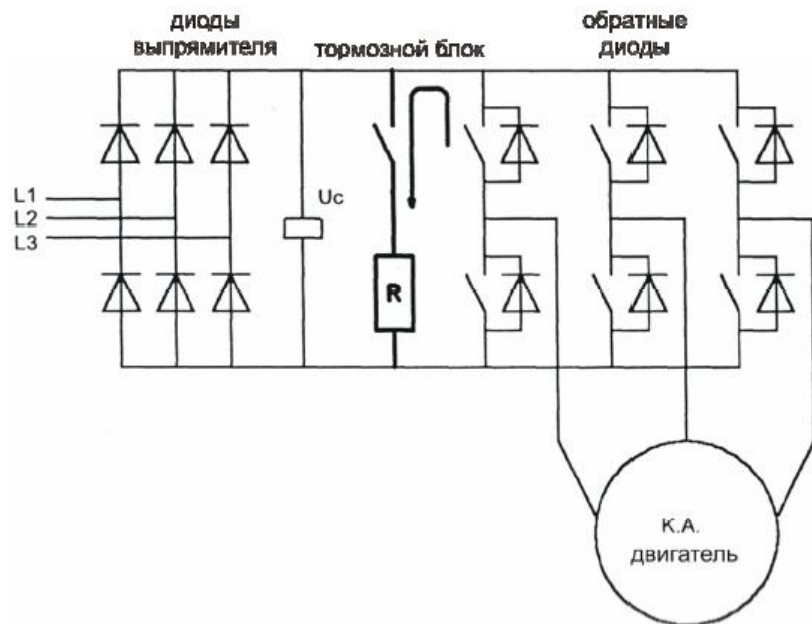
В ряде случаев функция прекращения торможения позволяет избежать отключения инвертора по ошибке и избежать аварийной остановки оборудования.



Если оборудование позволяет, повышенное выходное напряжение инвертора также можно использовать для рассеивания энергии торможения в двигателе.

При невозможности рассеивания энергии торможения следует принять дополнительные аппаратные меры рекуперации.

Торможение двигателя. Дополнительные устройства рекуперации.

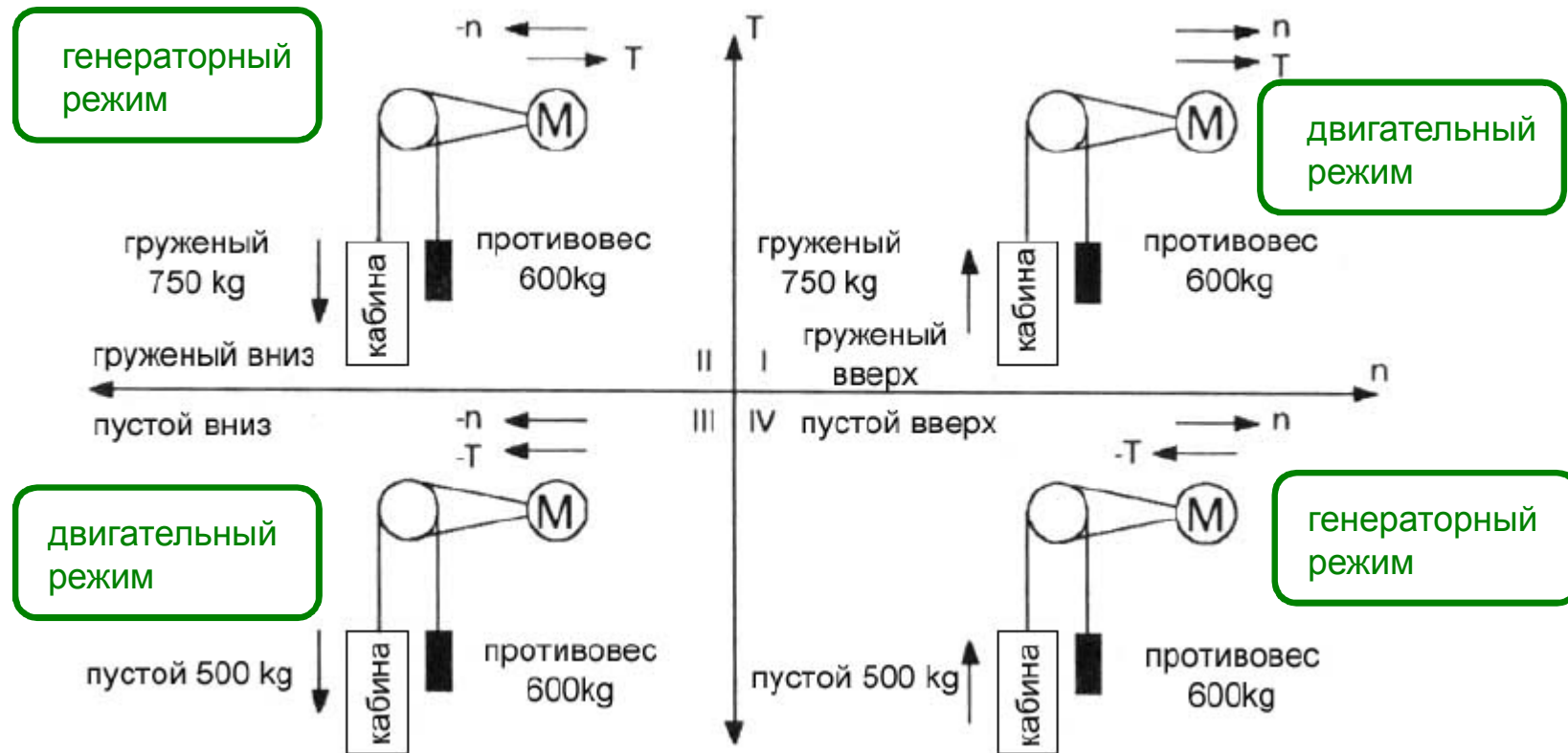


Подключение тормозного резистора (тормозного блока) позволяет рассеять большую часть энергии даже при длительном торможении без потери динамики торможения.

Современные преобразователи частоты, как правило, имеют функцию подключения тормозного блока.

При расчете тормозного резистора следует внимательно учитывать статические и динамические силы, препятствующие торможению. Мощность тормозного резистора на практике лежит в пределах от $[0.1 \dots 0.5] \times P$ двигателя

Управление двигателем в 4 квадрантах



Варианты «гашения» энергии при непрерывной работе в генераторном режиме:

- рассеивать энергию в тормозном модуле;
- передавать в сеть (при использовании активного выпрямителя);
- использовать для питания других приводов через звено постоянного тока.