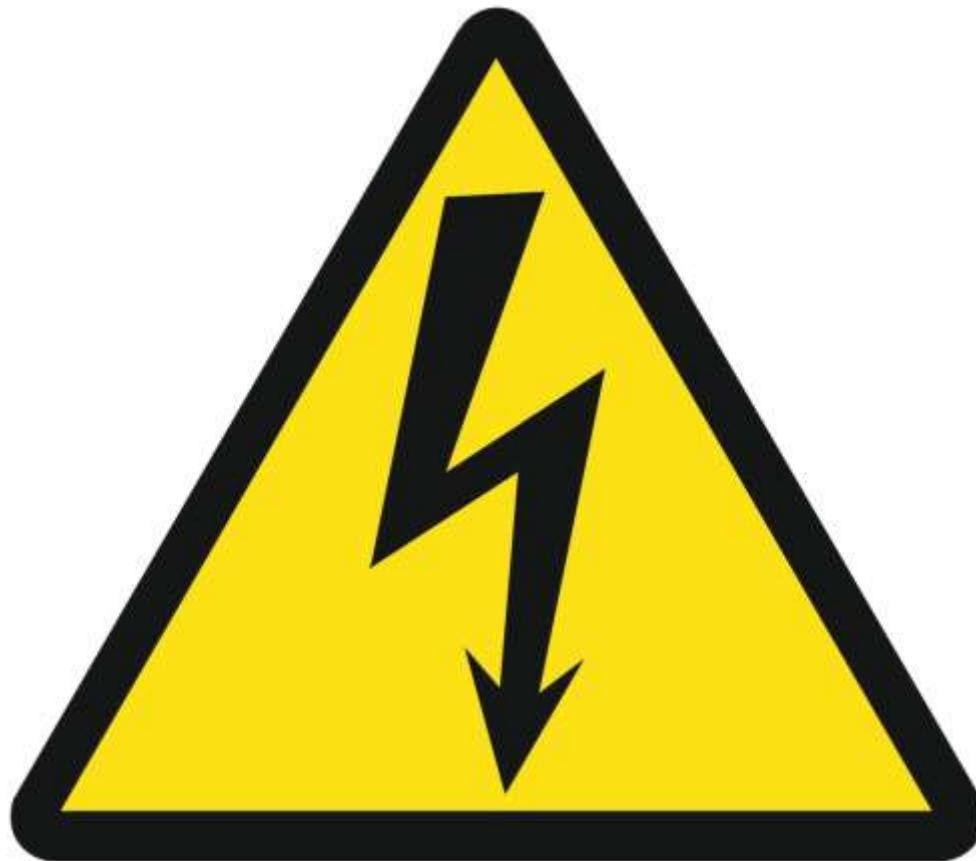
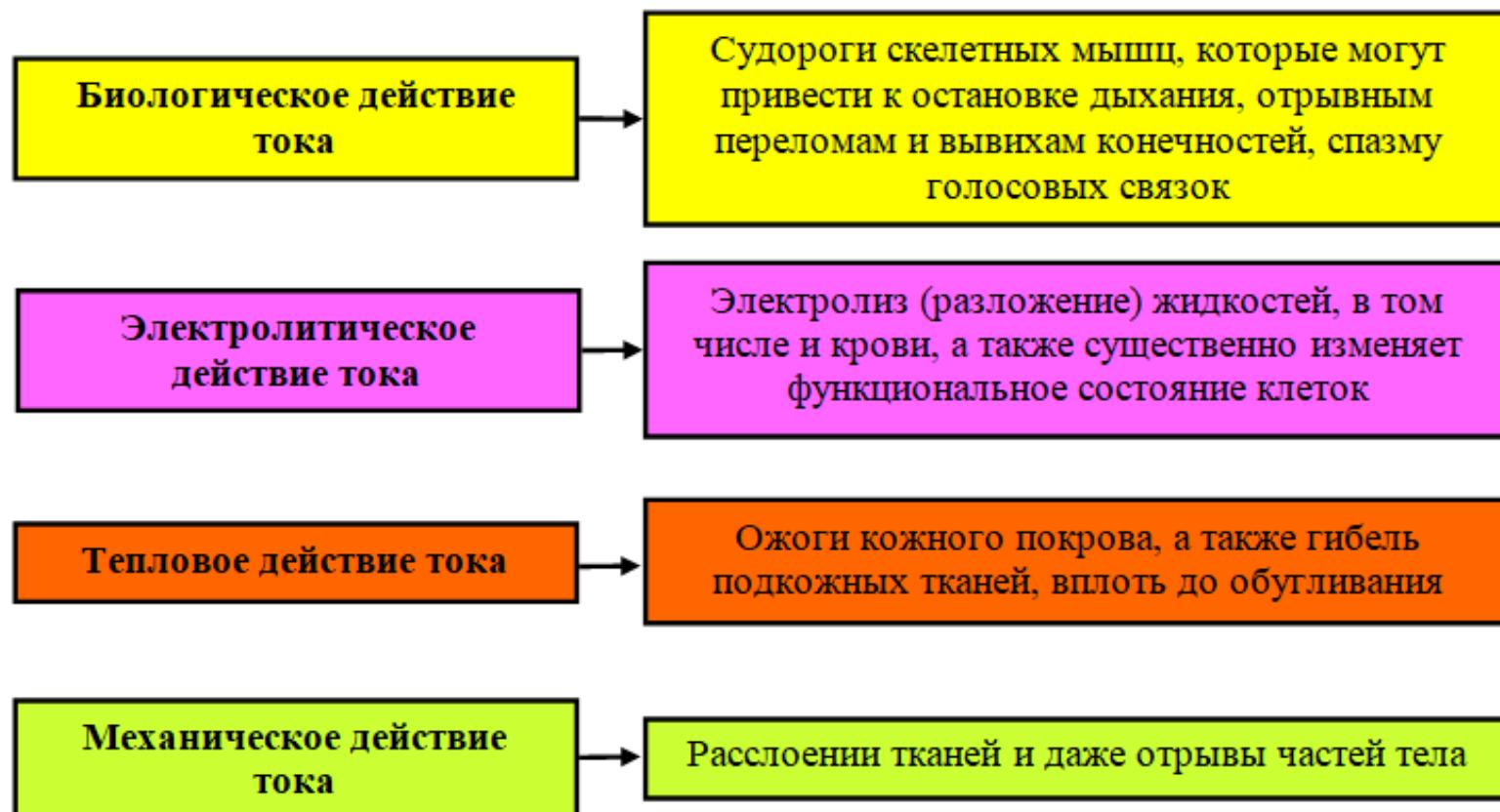


**Энергетическое
оборудование
машиностроительных
производств**

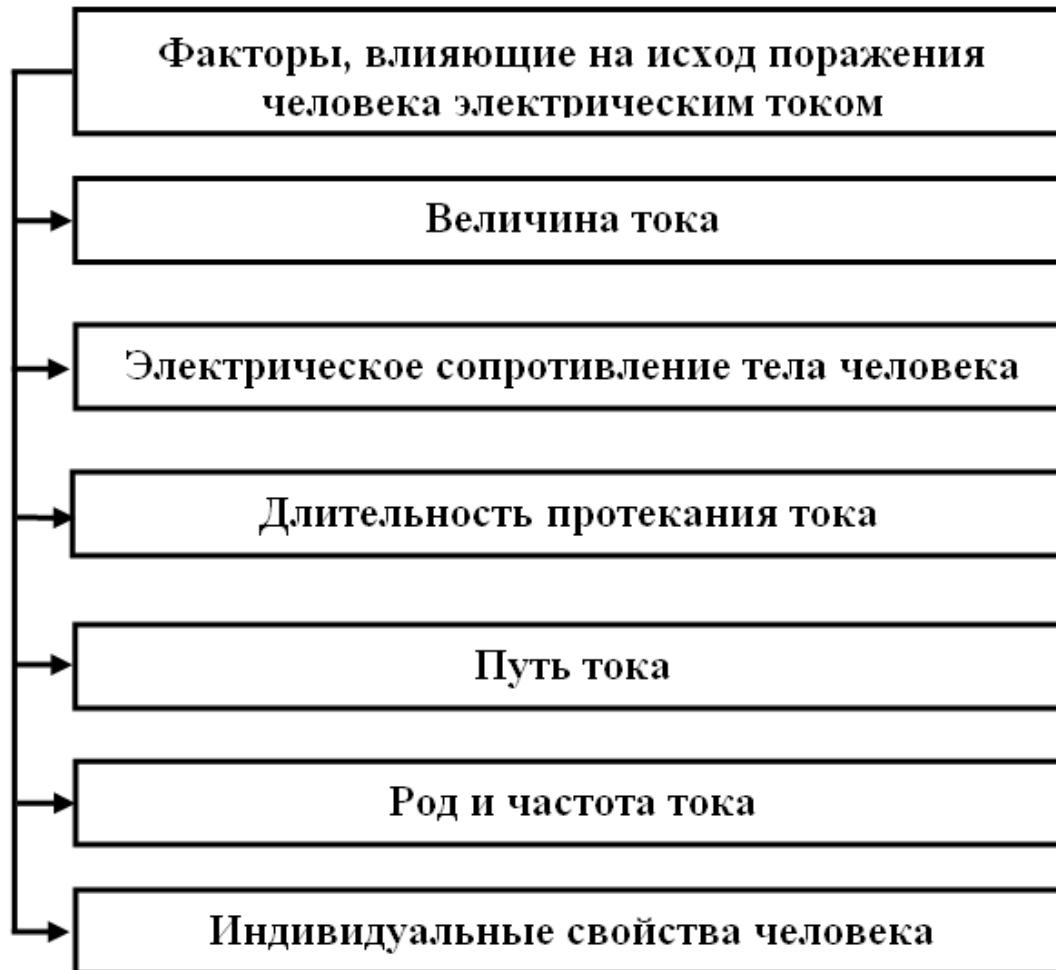
ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ



Электробезопасность - система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества (ГОСТ 12.1.009-82. ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения).



Факторы, влияющие на исход поражения человека электрическим током



1. Величина тока является основным фактором, обуславливающим ту или иную степень поражения человека (путь: рука - рука, рука - ноги).

Величина тока	Виды проявления	
	AC	DC
До 1,5 мА	Начало симптомов, слабые судороги пальцев рук	Не чувствуется
До 3,0 мА	Усиленная дрожь конечностей руки	Не чувствуется
До 7,0 мА	Непроизвольные судорожные движения руки	Неприятные ощущения нагревания и жжения
До 10,0 мА	Человека еще возможно оторвать от оголенных проводов. Усиленные болевые ощущения в некоторых тела	Нагревание усиливается
До 25,0 мА	Эффект "прилипания". Сильные болезненные ощущения	Сильное нагревание, небольшие судороги в руках
До 80,0 мА	Остановка дыхания. Возможна остановка сердца	Усиленное нагревание. Непроизвольные движения рук. Дышать становится трудно.
До 100,0 мА	Дыхание останавливается. При действии тока 3 секунды и более - прекращение работы сердца	Дыхание останавливается

- 2. Электрическое сопротивление тела человека** при сухой, чистой и неповрежденной коже при напряжении 15 - 20 В находится в пределах от 3000 до 100 000 Ом, а иногда и более. При удалении верхнего слоя кожи сопротивление снижается до 500 - 700 Ом, При полном удалении кожи сопротивление внутренних тканей тела составляет всего лишь 300 - 500 Ом. При расчетах принимают сопротивление организма человека, равное 1000 Ом.
- 3. Длительность протекания тока** через тело человека очень сильно влияет на исход поражения в связи с тем, что с течением времени падает сопротивление кожи человека, более вероятным становится поражение сердца.
- 4. Путь тока** через тело человека также имеет существенное значение. Наибольшая опасность возникает при непосредственном прохождении тока через жизненно важные органы.
- 5. Род и частота тока** также влияют на степень поражения. Наиболее опасным является переменный ток частотой от 20 до 1000 Гц. Переменный ток опаснее постоянного, но это характерно только для напряжений до 250 - 300 В; при больших напряжениях становится опаснее постоянный ток.
- 6. Индивидуальные свойства человека** и состояние окружающей среды также оказывают заметное влияние на тяжесть поражения

Условия и причины поражения электрическим током

- 1. при однофазном (однократном) прикосновении изолированного от земли человека к неизолированным токоведущим частям электроустановок, находящимся под напряжением;**
- 2. при одновременном прикосновении человека к двум неизолированным частям электроустановок, находящимся под напряжением;**
- 3. при приближении человека, не изолированного от земли, на опасное расстояние к токоведущим, не защищенным изоляцией частям электроустановок, находящихся под напряжением;**
- 4. при прикосновении человека, не изолированного от земли, к нетоковедущим металлическим частям (корпусам) электроустановок, оказавшихся под напряжением из-за замыкания на корпусе;**
- 5. при действии атмосферного электричества во время разряда молнии;**
- 6. в результате действия электрической дуги;**
- 7. при освобождении другого человека, находящегося под напряжением.**

Причины электротравм

Технические причины – несоответствие электроустановок, средств защиты и приспособлений требованиям безопасности и условиям применения, связанное с дефектами конструкторской документации, изготовления, монтажа и ремонта; неисправности установок, средств защиты и приспособлений, возникающие в процессе эксплуатации.

Организационно-технические причины - несоблюдение технических мероприятий безопасности на стадии эксплуатации (обслуживания) электроустановок; несвоевременная замена неисправного или устаревшего оборудования и использование установок, не принятых в эксплуатацию в предусмотренном порядке (в том числе самодельных).

Организационные причины - невыполнение или неправильное выполнение организационных мероприятий безопасности, несоответствие выполняемой работы заданию.

Меры защиты от поражения электрическим током

1. недоступностью токоведущих частей;
2. надлежащей, а в отдельных случаях повышенной (двойной) изоляцией;
3. заземлением или занулением корпусов электрооборудования и элементов электроустановок, могущих оказаться под напряжением;
4. надежным и быстродействующим автоматическим защитным отключением;
5. применением пониженных напряжений (42 В и ниже) для питания переносных токоприемников;
6. защитным разделением цепей;
7. блокировкой, предупредительной сигнализацией, надписями и плакатами;
8. применением защитных средств и приспособлений;
9. проведением планово-предупредительных ремонтов и профилактических испытаний электрооборудования, аппаратов и сетей, находящихся в эксплуатации;
10. проведением ряда организационных мероприятий.

1. ВВЕДЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Показатели качества электроэнергии:



Основные

- 1). отклонение частоты Δf ;
- 2). установившееся отклонение напряжения δU_y ;
- 3). размах изменения напряжения δU_t ;
- 4). коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_U ;
- 5). коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} ;
- 6). коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} ;
- 7). коэффициент временного перенапряжения $K_{\text{пер}U}$.



Неосновные

2. ПРИЕМНИКИ И ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ. НАГРУЗОЧНЫЕ ГРАФИКИ

Приемником ЭЭ называются устройства, потребляющие или преобразующие электрическую энергию (электродвигатели, нагреватели, сварочные аппараты, осветительные приборы и т.д.).

Потребителем ЭЭ называются приемник или совокупность приемников, объединенных территориально или включенных в единый технологический процесс (завод, цех и т.д.).

2.1. Категории потребителей электроэнергии по условиям обеспечения бесперебойности электроснабжения:

1-я категория – это потребители электроэнергии, нарушение электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждение оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функций особо важных элементов городского хозяйства

2-я категория – потребители электроэнергии, перерыв в электроснабжении которых связан с массовым недоотпуском продукции, простоем рабочих, механизмов, технологического оборудования и промышленного транспорта, нарушением нормальной жизнедеятельности значительного количества людей

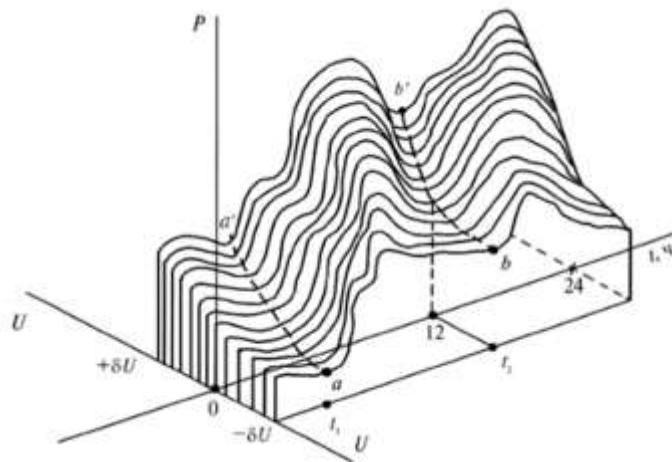
3-я категория – все остальные потребители электроэнергии, не подходящие под определения потребителей 1-й и 2-й категории (например, потребители цехов несерийного производства, вспомогательных цехов, небольшие поселки и т. п.)

2.2. Графики нагрузок потребителей электроэнергии

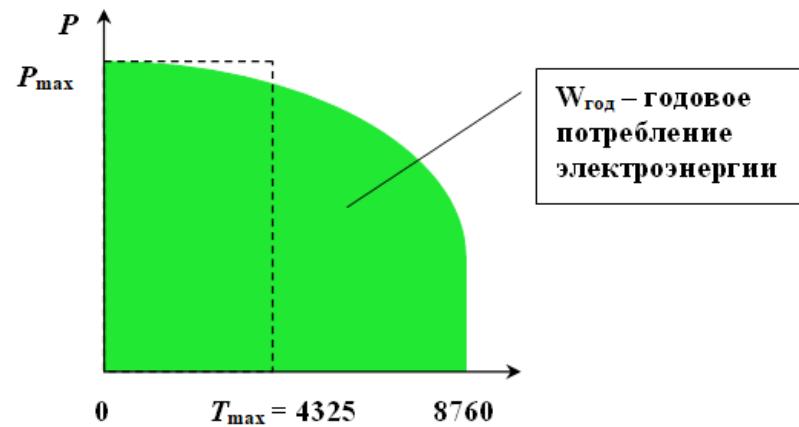
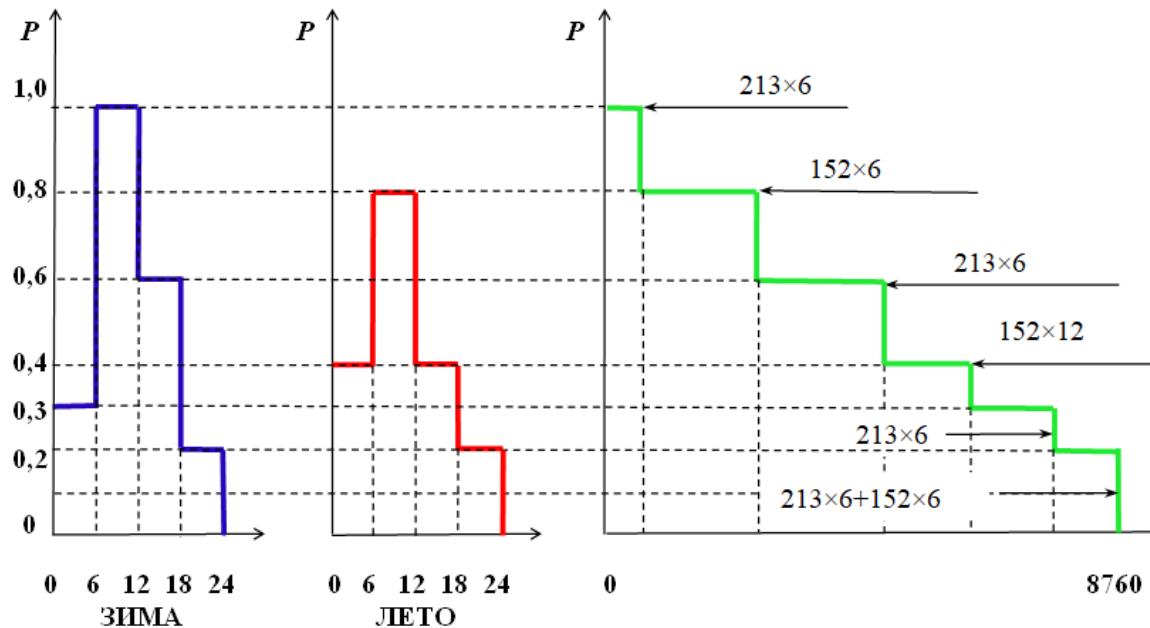
Электрические нагрузки как отдельных приемников **электроэнергии**, так потребителей **электроэнергии**, представляют собой функции вида:

$$P = \varphi(U, f, t) \text{ и } Q = \vartheta(U, f, t)$$

Электрические нагрузки геометрически представляют объемные фигуры – графики изменения нагрузки на некотором интервале времени



Виды графиков нагрузок



$$t\Sigma := 213 \cdot 24 + 152 \cdot 24 = 8.76 \cdot 10^3$$

$$Pabs := 150$$

$$Potn1 := 1 \quad Potn2 := 0.8 \quad Potn3 := 0.6 \quad Potn4 := 0.4 \quad Potn5 := 0.3 \quad Potn6 := 0.2$$

$$Pabs1 := Pabs \cdot Potn1 = 150 \quad Pabs2 := Pabs \cdot Potn2 = 120 \quad Pabs3 := Pabs \cdot Potn3 = 90$$

$$t1 := 213 \cdot 6 = 1.278 \cdot 10^3 \quad t2 := 152 \cdot 6 = 912 \quad t3 := 213 \cdot 6 = 1.278 \cdot 10^3$$

$$Pabs4 := Pabs \cdot Potn4 = 60 \quad Pabs5 := Pabs \cdot Potn5 = 45 \quad Pabs6 := Pabs \cdot Potn6 = 30$$

$$t4 := 152 \cdot 12 = 1.824 \cdot 10^3 \quad t5 := 213 \cdot 6 = 1.278 \cdot 10^3 \quad t6 := 213 \cdot 6 + 152 \cdot 6 = 2.19 \cdot 10^3$$

$$t\Sigma := t1 + t2 + t3 + t4 + t5 + t6 = 8.76 \cdot 10^3$$

$$Wabs1 := Potn1 \cdot Pabs \cdot t1 = 1.917 \cdot 10^5 \quad Wabs2 := Potn2 \cdot Pabs \cdot t2 = 1.094 \cdot 10^5$$

$$Wabs3 := Potn3 \cdot Pabs \cdot t3 = 1.15 \cdot 10^5 \quad Wabs4 := Potn4 \cdot Pabs \cdot t4 = 1.094 \cdot 10^5$$

$$Wabs5 := Potn5 \cdot Pabs \cdot t5 = 5.751 \cdot 10^4 \quad Wabs6 := Potn6 \cdot Pabs \cdot t6 = 6.57 \cdot 10^4$$

$$\Sigma Wabs := Wabs1 + Wabs2 + Wabs3 + Wabs4 + Wabs5 + Wabs6 = 6.488 \cdot 10^5$$

$$tmax := \frac{\Sigma Wabs}{Pabs} = 4.325 \cdot 10^3 \quad Kmax := \frac{tmax}{t\Sigma} = 0.494$$

Пример

По показаниям трехфазного счетчика электроэнергии, установленного на вводе производственного участка, построить суточный график нагрузки участка.

Определить характеристики неравномерности электропотребления. Пересчетный коэффициент счетчика равен 40 (полукосвенное включение через трансформатор тока с трансформацией 200/5).

Решение. Суточный график нагрузки участка по данным замеров представлен на рисунке шестью интервалами осреднения. Средняя мощность на каждом i – ом интервале

$$P_i = \frac{W_{i+1} - W_i}{\Delta t} k_n, i = 1 \dots 6$$

определенна с учетом пересчетного коэффициента счетчика $k_n = 40$.

Показания счетчика электроэнергии

Время замеров, час	0	4	8	12	16	20	24
Показания счетчика, кВт час	20 130	20 167	20 215	20 317	20 371	20 512	20 625

Результаты расчета

$$P_1 := \frac{20167 - 20130}{4} \cdot 40 = 370$$

$$P_2 := \frac{20215 - 20167}{4} \cdot 40 = 480$$

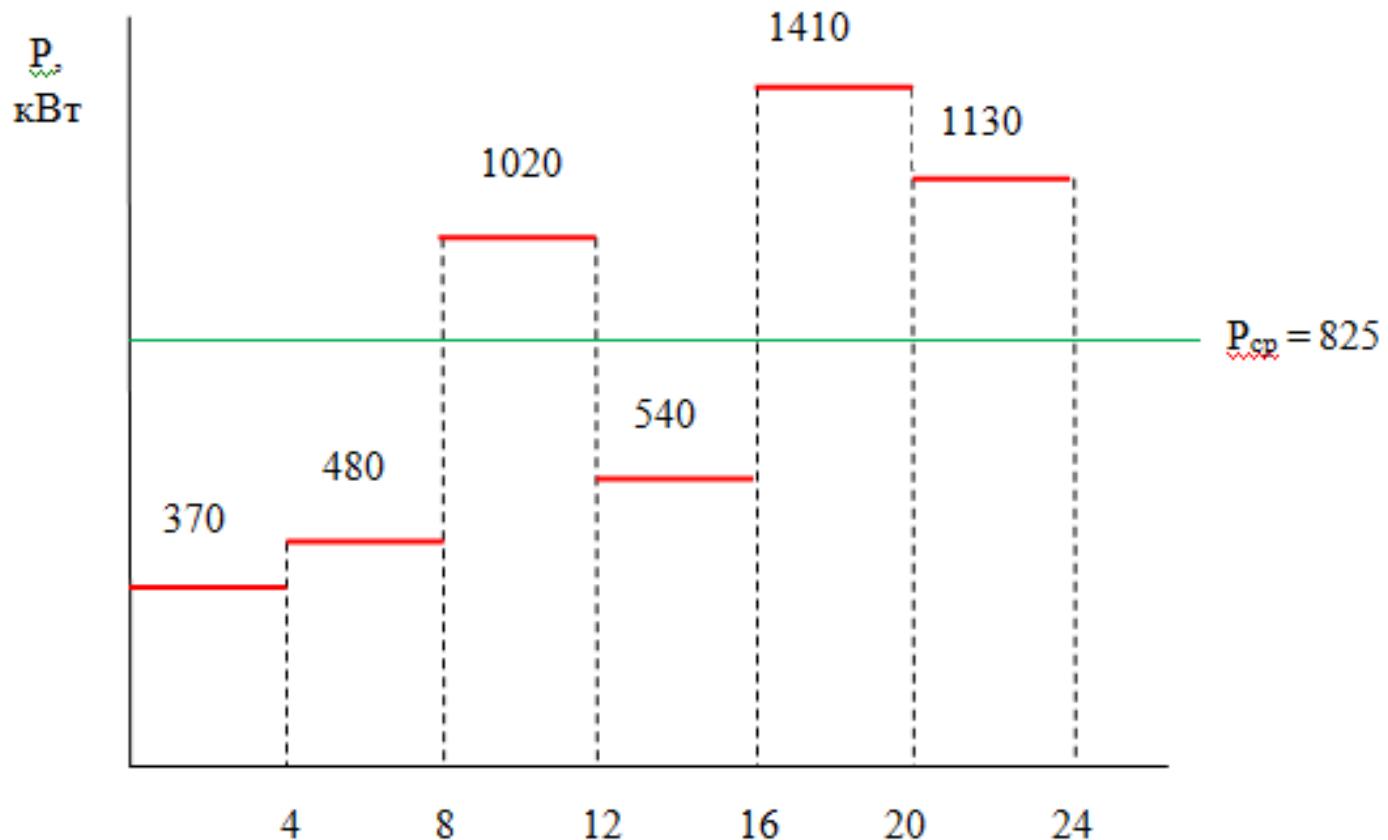
$$P_3 := \frac{20317 - 20215}{4} \cdot 40 = 1.02 \cdot 10^3$$

$$P_4 := \frac{20371 - 20317}{4} \cdot 40 = 540$$

$$P_5 := \frac{20512 - 20371}{4} \cdot 40 = 1.41 \cdot 10^3$$

$$P_6 := \frac{20625 - 20512}{4} \cdot 40 = 1.13 \cdot 10^3$$

Суточный график нагрузки участка



Электроэнергия, потребленная участком за сутки, определяется разностью последнего и первого показания счетчика **ЭЭ** с учетом пересчетного коэффициента

$$W = (W_1 - W_5)k_{\pi} = (20625 - 20130)40 = 19800 \text{ кВт час}$$

или непосредственным суммированием мощностей по графику **ЭН**

$$W = \Delta t \sum_{i=1}^6 P_i = 4.0(P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6) = 19800 \text{ кВт час}$$

Продолжительность использования максимума

$$T_{\text{нб}} = \frac{W}{P_{\text{нб}}} = \frac{19800}{1410} = 14,0 \text{ час}$$

Значения средней нагрузки

$$P_{\text{ср}} = \frac{W}{T} = \frac{19800}{24} = 825 \text{ кВт}$$

и среднеквадратичной мощности

$$P_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{\Delta t}{T} \sum_{i=1}^6 P_i^2} = 910 \text{ кВт}$$

позволяют определить коэффициент формы

$$k_{\phi} = \frac{P_{\text{сркв}}}{P_{\text{ср}}} = \frac{910}{825} = 1,10$$

и коэффициент заполнения суточного графика

$$k_3 = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\text{нб}}} = \frac{825}{141} = 0.585 \quad \text{или} \quad k_3 = \frac{T_{\text{нб}}}{T} = \frac{14.0}{24} = 0.585$$

Коэффициент неравномерности электропотребления

$$k_{\text{нр}} = \frac{P_{\text{нм}}}{P_{\text{нб}}} = \frac{370}{1410} = 0.262$$

Полученные показатели свидетельствуют о значительной неравномерности и малой плотности электропотребления на участке в течении суток.

3. РЕЖИМЫ РАБОТЫ НЕЙТРАЛИ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

3.1. Электроустановки в отношении мер электробезопасности

Электроустановки в отношении мер электробезопасности разделяются на:

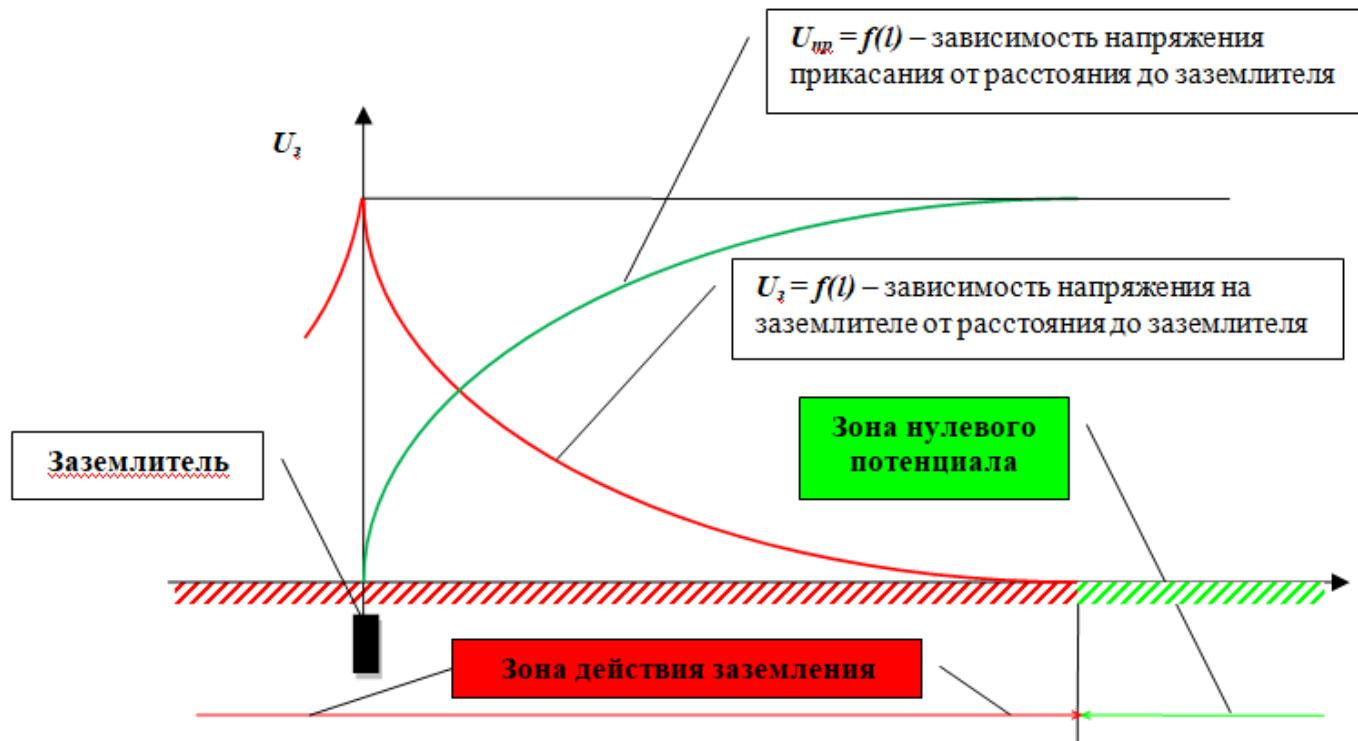
электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с глухозаземленной или эффективно заземленной нейтралью;

электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор или резистор нейтралью;

электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с глухозаземленной нейтралью (ГЗН);

электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью (ИН).

3.2. Защитное заземление



Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние соседних токоведущих частей, вынос потенциала, разряд молнии и т. п.)

Назначение защитного заземления – устранение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу электроустановки и другим нетоковедущим металлическим частям, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам.

Открытая проводящая часть – доступная прикосновению проводящая часть электроустановки, normally не находящаяся под напряжением, но которая может оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции.

Заземлитель – проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

Искусственный заземлитель – заземлитель, специально выполняемый для целей заземления.

Естественный заземлитель – сторонняя проводящая часть, находящаяся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду, используемая для целей заземления.

Заземляющий проводник – проводник, соединяющий заземляемую часть (точку) с заземлителем.

Заземляющее устройство – совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Зона нулевого потенциала (относительная земля) – часть земли, находящаяся вне зоны влияния какого-либо заземлителя, электрический потенциал которой принимается равным нулю.

Зона растекания (локальная земля) – зона земли между заземлителем и зоной нулевого потенциала.

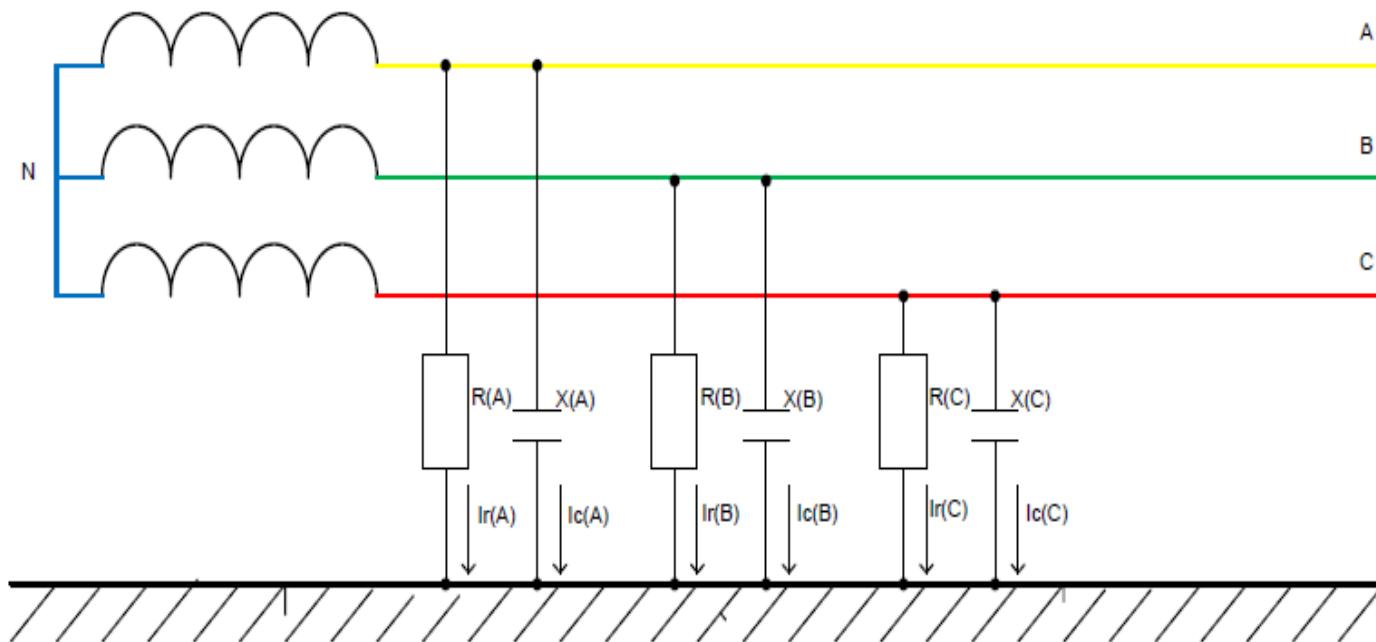
Замыкание на землю – случайный электрический контакт между токоведущими частями, находящимися под напряжением, и землей.

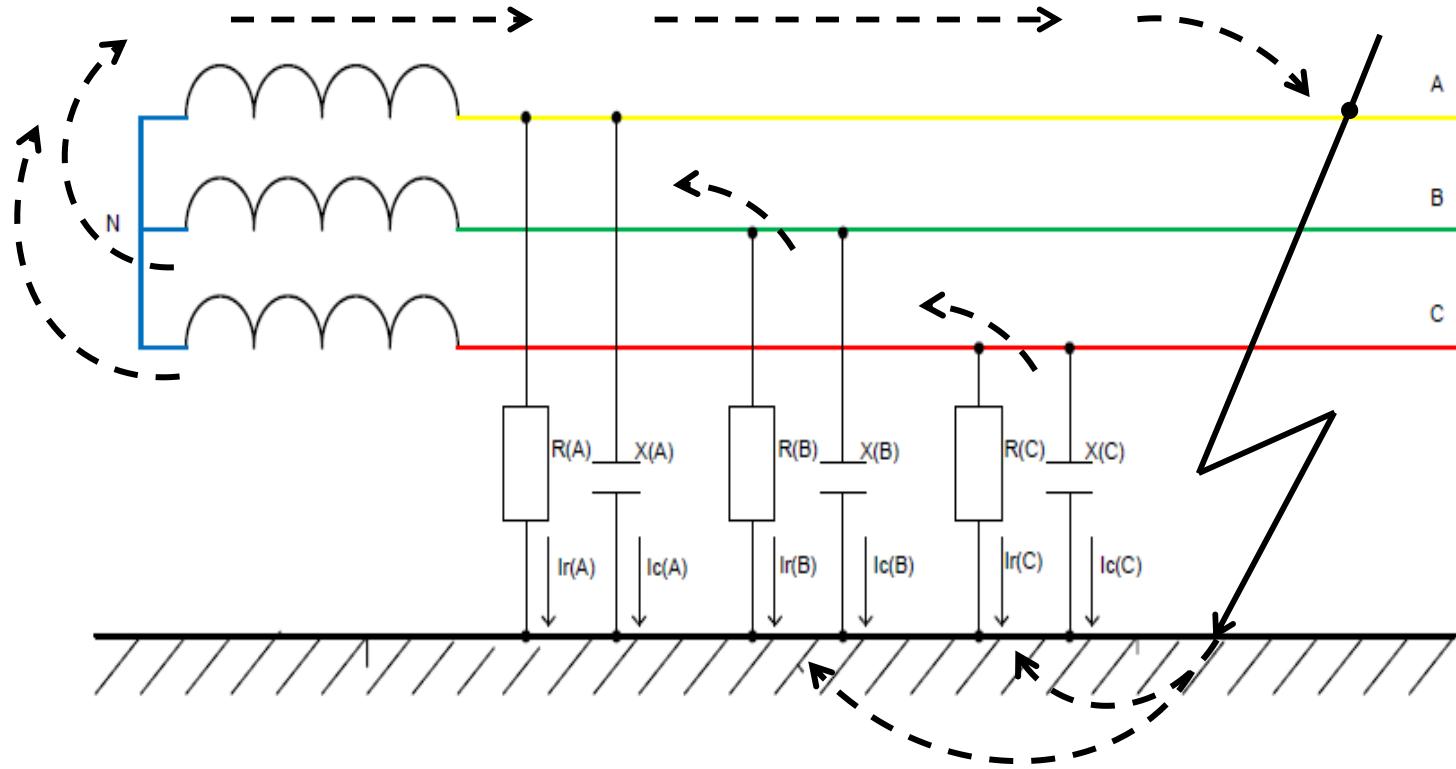
Напряжение на заземляющем устройстве U_3 – напряжение, возникающее при стекании тока с заземлителя в землю между точкой ввода тока в заземлитель и зоной нулевого потенциала.

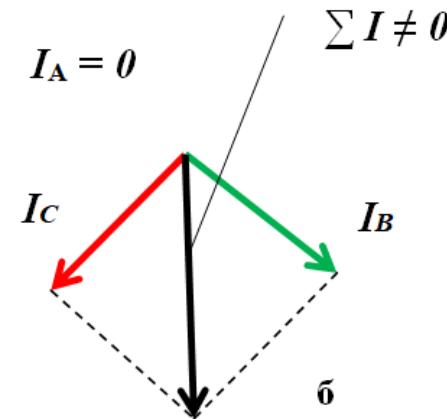
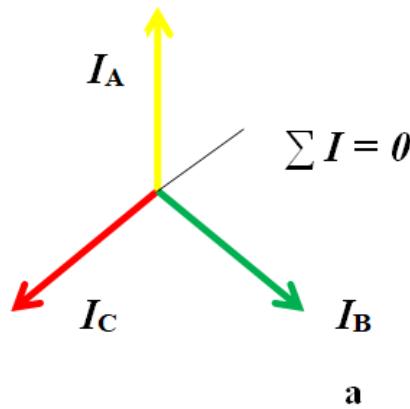
Сопротивление заземляющего устройства R_3 – отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему

3.3. Режим работы с ИН

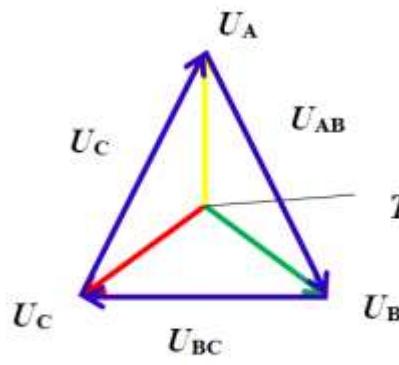
Применяются в сетях напряжением 3 – 35 кВ и сетях напряжением до 1 кВ.



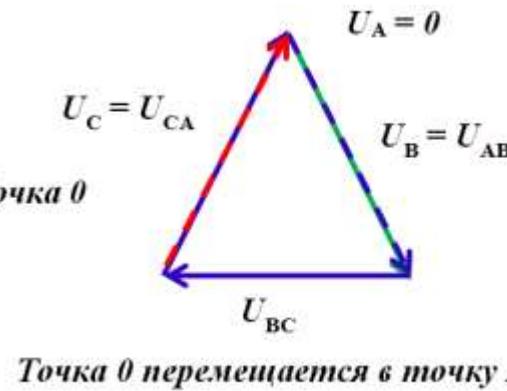




Токи утечки: а – исправная сеть; б – «глухое» замыкание фазы А на землю



а

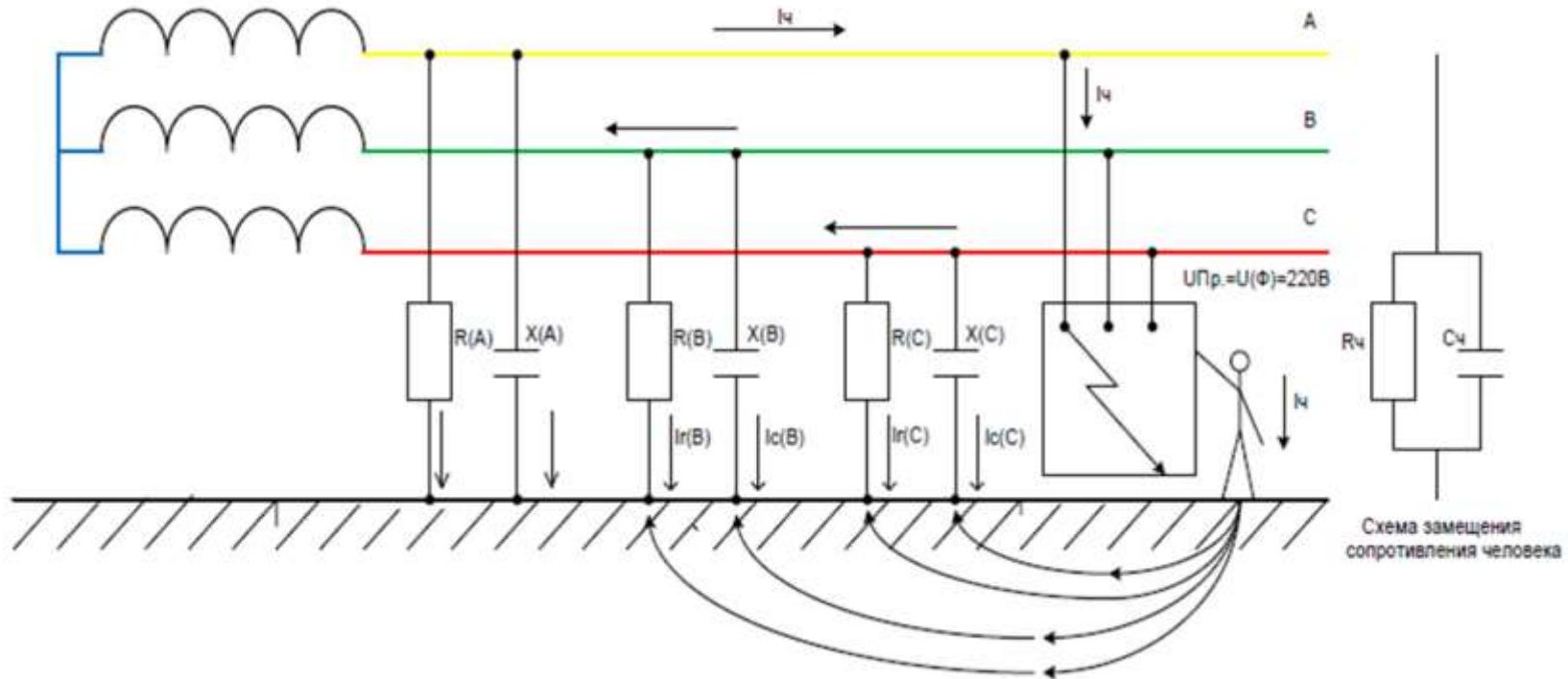


б

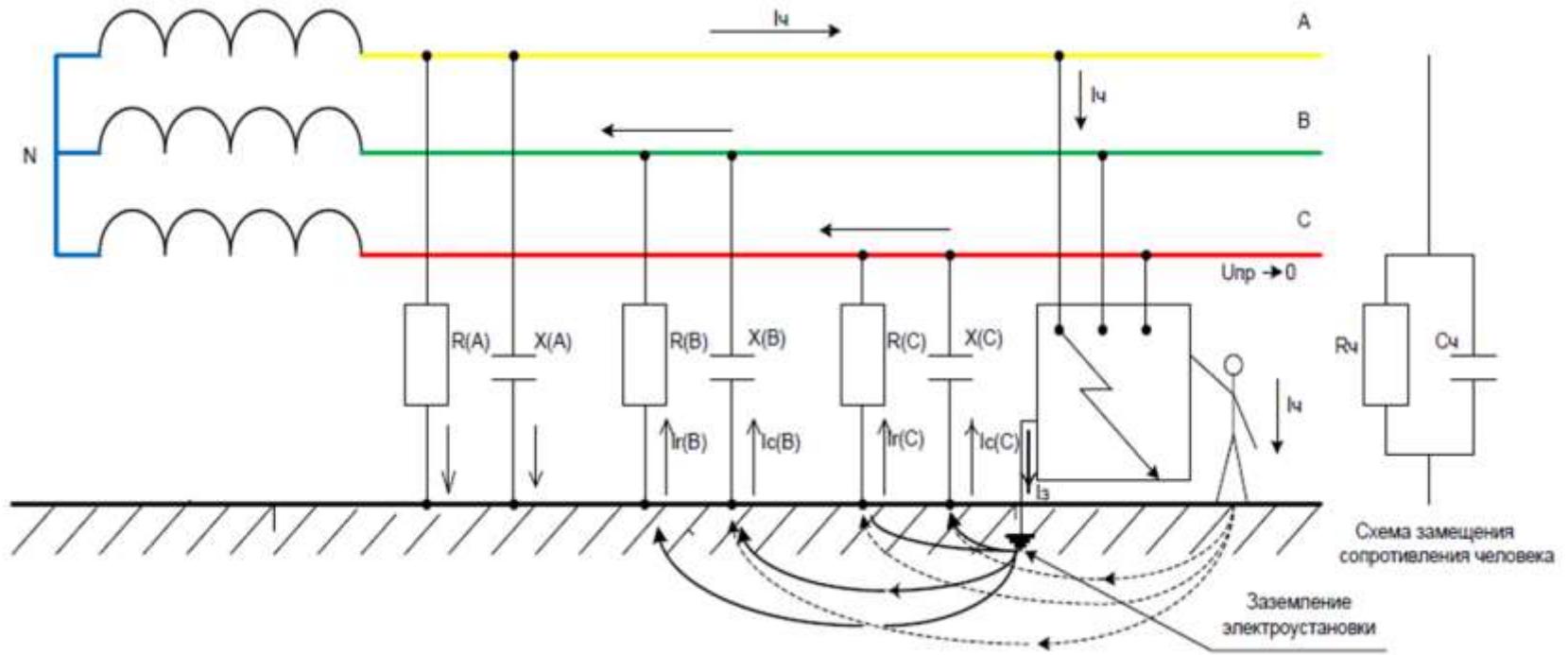
Точка 0 перемещается в точку А

Диаграммы напряжений: а – исправная сеть; б – «глухое» замыкание фазы А на землю

3.3.1. Принцип действия защитного заземления в электроустановках с изолированной нейтралью Корпус электроустановки не заземлен



Корпус электроустановки заземлен



Система с ИН: прикосновение человека к фазе / корпусу (замыкание фазы на корпус оборудования, **корпус не заземлен**). Сопротивление фазной изоляции – 0,5 Мом, сопротивление человека – 1,0 кОм, фазное напряжение – 220 В.

$$Rf := 500000 \Omega$$

$$Rh := 1000 \Omega$$

$$Uf := 220 V$$

$$Ih := \frac{Uf}{Rh + \frac{Rf \cdot Rf}{Rf + Rf}} = (8.765 \cdot 10^{-4}) A$$

Система с ИН: прикосновение человека к фазе / корпусу (замыкание фазы корпус оборудования, **корпус заземлен**). Сопротивление изоляции – 0,5 Мом, сопротивление человека – 1,0 кОм, фазное напряжение – 220 В, сопротивление заземления – 1,0 Ом.

$$Rf := 500000 \Omega$$

$$Rh := 1000 \Omega$$

$$Rz := 1 \Omega$$

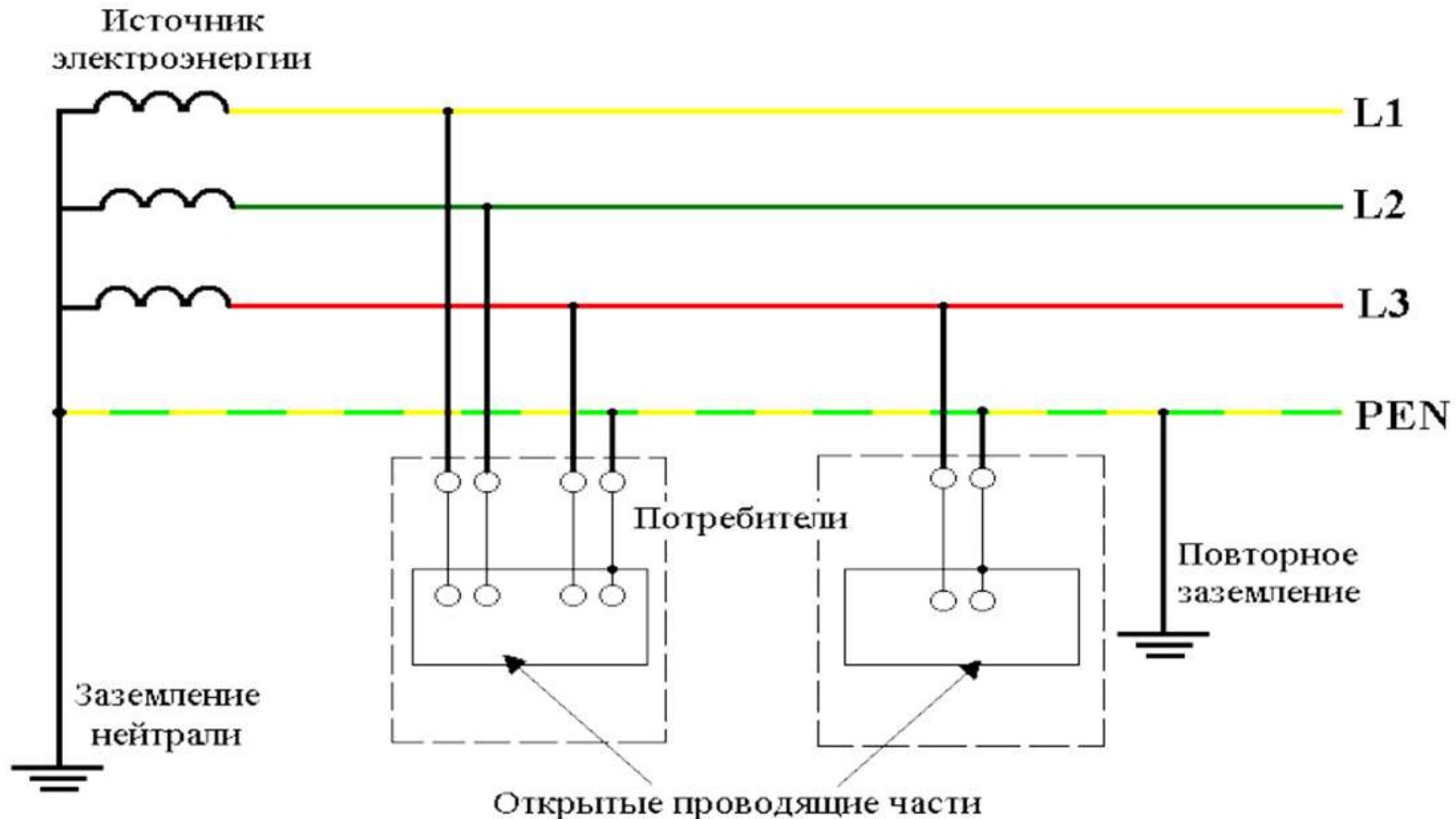
$$Uf := 220 V$$

$$Uh := Uf \cdot \frac{Rz}{Rh} = 0.22 V$$

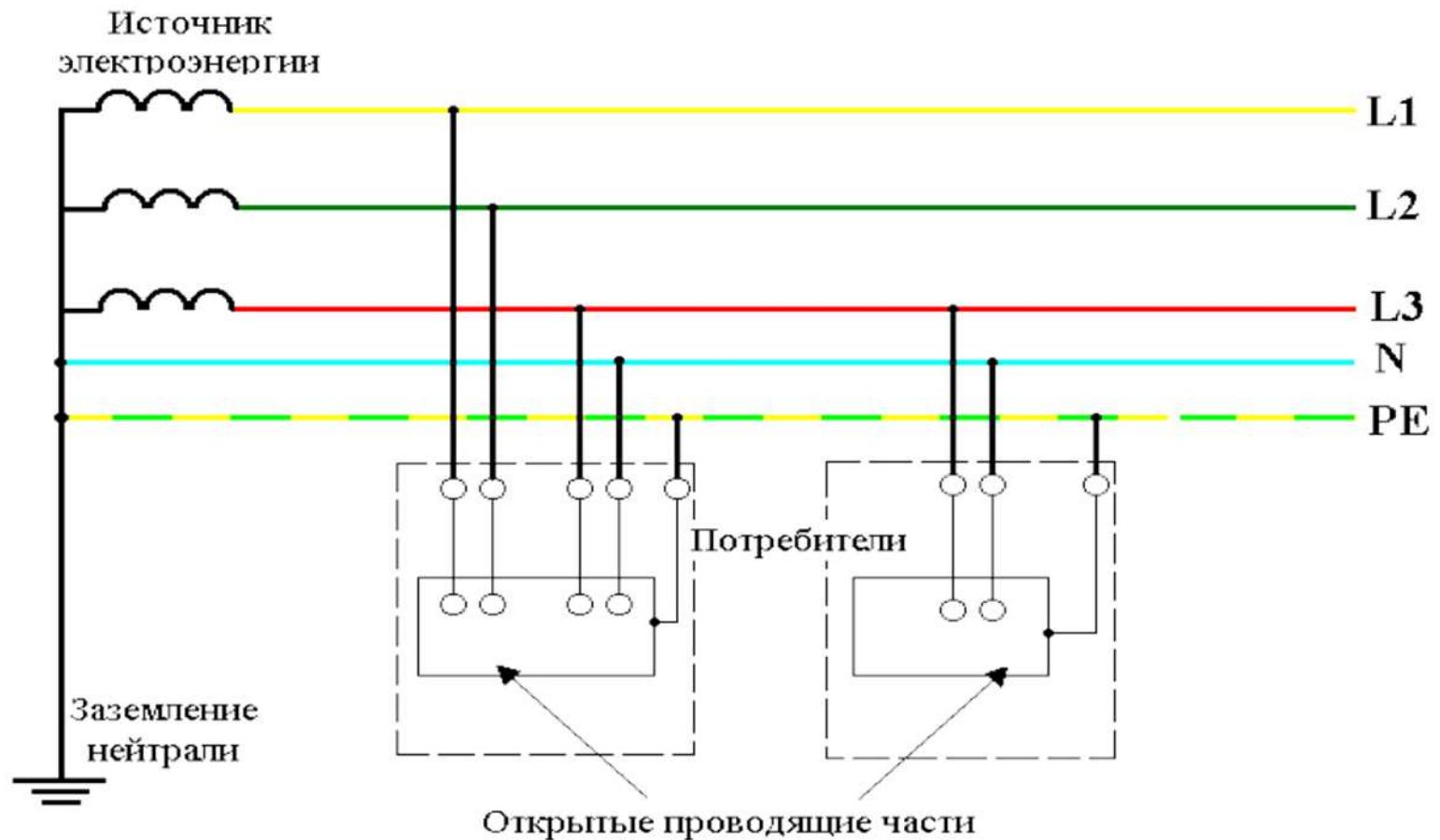
$$Ih := \frac{Uh}{Rh} = (2.2 \cdot 10^{-4}) A$$

3.4. Режим работы с ГЗН

Система **TN-C** – система **TN**, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении

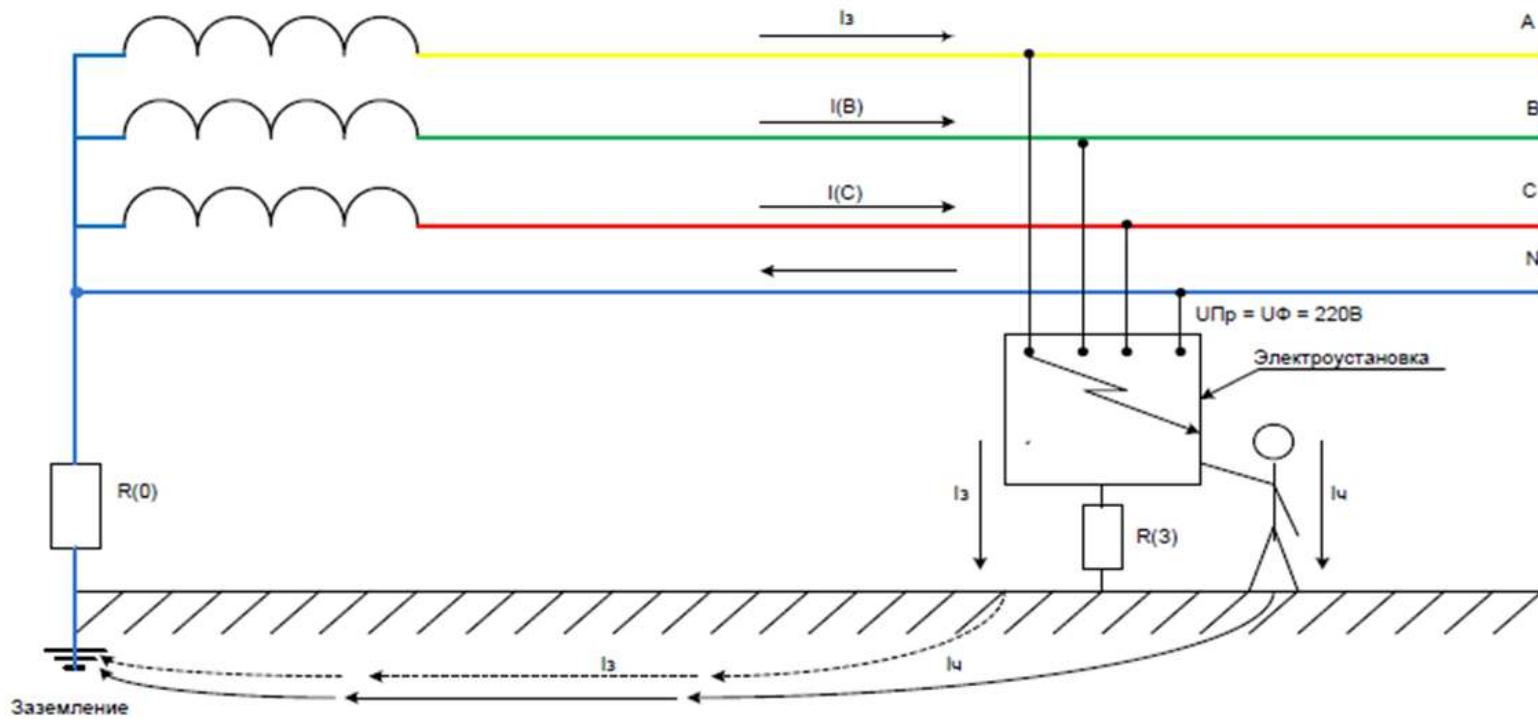


Система TN-S - система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении



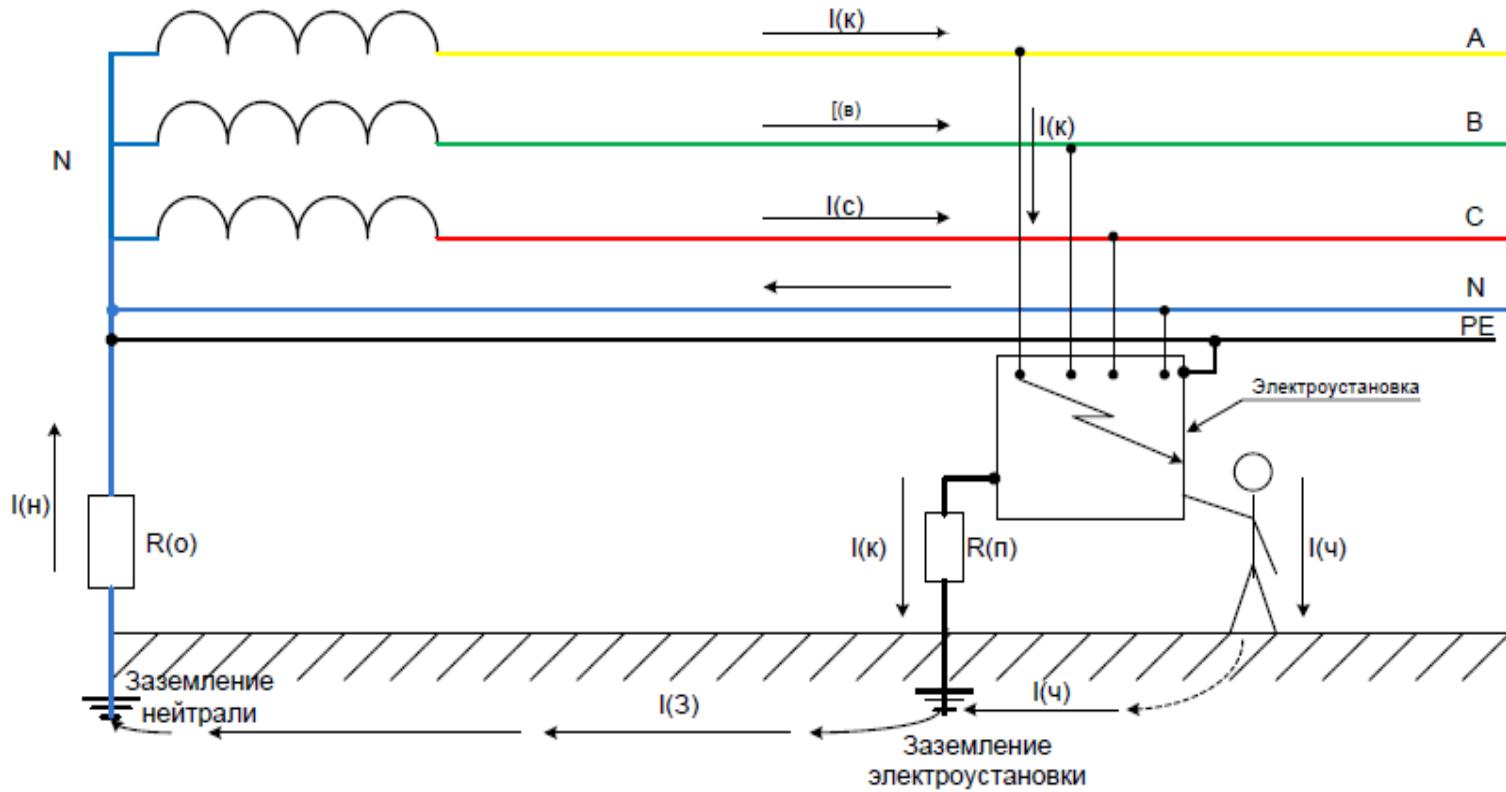
3.4.1. Принцип действия защитного заземления в электроустановках с глухозаземленной нейтралью

Корпус электроустановки не заземлен, но занулен



3.4.2. Принцип действия защитного заземления в электроустановках с глухозаземленной нейтралью

Корпус электроустановки заземлен и занулен



Система с ГЗН: прикосновение человека к фазе / корпусу (замыкание фазы на корпус оборудования, **корпус не заземлен и не занулен**). Сопротивление человека – 1000 Ом, фазное напряжение – 220 В.

$$Rh := 1000 \Omega$$

$$Uf := 220 V$$

$$Ih := \frac{Uf}{Rh} = 0.22 A$$

Система с ГЗН: прикосновение человека к фазе / корпусу (замыкание фазы корпус оборудования, **корпус заземлен и занулен**). Сопротивление человека – 1000 Ом, фазное напряжение – 220 В, сопротивление заземления – 2,0 Ом, сопротивление зануления – 0,1 Ом

$$Rh := 1000 \Omega$$

$$Rz := 2.0 \Omega$$

$$Rn := 0.1 \Omega$$

$$Uf := 220 V$$

$$Uh := Uf \cdot \frac{Rn}{Rh} = 0.022 V$$

$$Ih := \frac{Uh}{Rh} = (2.2 \cdot 10^{-5}) A$$

$$Un := Uf - Uh = 219.978 V$$

$$In := \frac{Un}{Rn} = (2.2 \cdot 10^3) A$$

Зануление – это преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. При таком электрическом соединении, если оно надежно выполнено, **всякое замыкание на корпус превращается в однофазное короткое замыкание (т.е. замыкание между фазами и нулевым проводом)**. При этом возникает ток такой величины, при которой обеспечивается срабатывание защиты (предохранителя или автомата) и автоматическое отключение поврежденной установки от питающей сети.

В электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью или глухозаземленным выводом источника однофазного тока должно быть выполнено зануление. **Применение в таких электроустановках заземления корпусов электроприемников без их зануления не допускается**

4. РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

4.1. Нагревание и охлаждение электрических машин

$$qdt = m c d\tau + S \lambda \tau dt$$

В начальный период работы машина (электротехнические изделия), имеет температуру нагрева, не отличающуюся от температуры окружающей среды Θ_1 т.е. $\tau = 0$. В этом случае рассеяния теплоты в окружающую среду не происходит, т.е. $S \times \lambda \times \tau \times dt = 0$ и вся выделяемая в двигателе теплота **идет на его нагревание**. Затем, когда температура нагрева двигателя начинает превышать температуру окружающей среды, т.е. $\tau > 0$, часть теплоты, выделяемой в двигателе, начинает рассеиваться в окружающую среду. И, наконец, когда температура нагрева машины достигает установившегося значения $\Theta_{уст} = Const$, вся выделяемая в машине теплота рассеивается в окружающую среду, т.е. наступает режим теплового равновесия:

$$qdt = S \lambda \tau_{yсm} dt \quad \text{и} \quad \tau_{yсm} = q / (S \times \lambda)$$

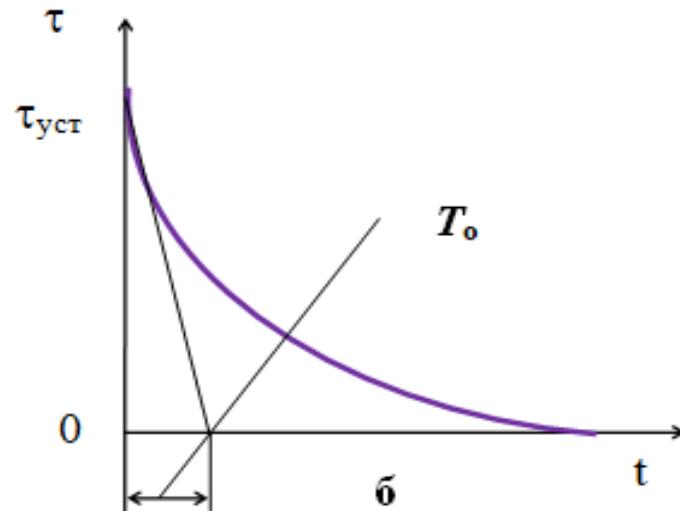
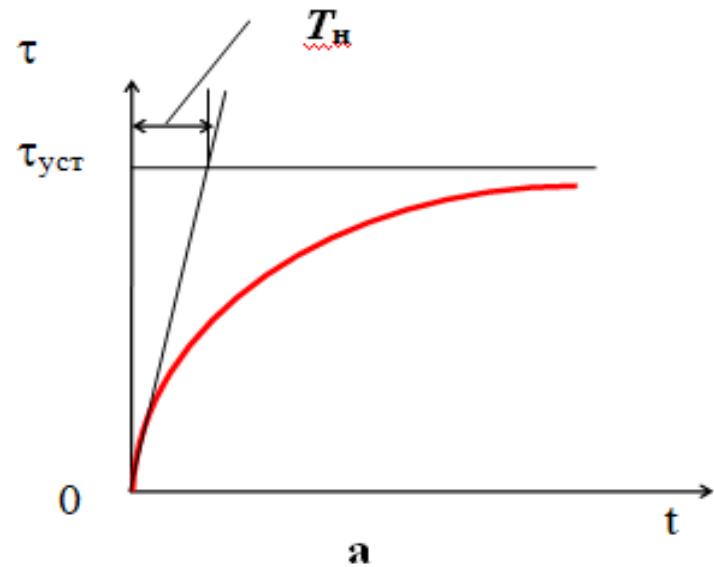
Выражение позволяет сделать вывод:

- а) установившаяся температура перегрева **не зависит** от массы машины m , а **определяется** количеством теплоты q , выделяемой в ней в единицу времени, т.е. мощностью потерь электрической машины;
- б) установившаяся температура перегрева **обратно пропорциональна** площади охлаждаемой поверхности S и коэффициенту теплового рассеяния λ , т.е. зависит от интенсивности охлаждения машины; в машинах со специальными способами охлаждения (искусственно вентилируемые, ребра охлаждения, водяное охлаждение) $t_{уст}$ меньше чем у машин с естественной вентиляцией (при их одинаковой конструкции и условиях работы).

Электроизоляционные материалы, применяемые в электротехнических изделиях, разделяются на пять классов **нагревостойкости**, обозначаемых А, Е, В, F и Н. В электрических машинах применяют изоляцию трех наиболее нагревостойких классов: В, F и Н.

$$\tau = \tau_{y cm} (1 - e^{-t/T_h})$$

$$\tau = \tau_{y cm} e^{-t/T_o}$$



Графики нагревания (а) и охлаждения (б)
электрической машины

4.2. Режимы работы электрических машин

Продолжительный номинальный режим S1 — когда при неизменной номинальной нагрузке P_n работа машины продолжается так долго, что температура перегрева всех ее частей успевает достигнуть установившихся значений $T_{уст}$. Условное обозначение режима **S1**. Различают продолжительный режим с неизменной нагрузкой $P = \text{const}$ (рис. а) и продолжительный режим с изменяющейся нагрузкой (рис. б).

Например, двигатели насосов, транспортеров, вентиляторов работают в продолжительном режиме с неизменной нагрузкой, а двигатели прокатных станов, металлорежущих станков и т. п. работают в продолжительном режиме с изменяющейся нагрузкой.

Кратковременный номинальный режим S2 — режим, когда периоды неизменной номинальной нагрузки чередуются с периодами включения двигателя (рис. в). При этом, периоды нагрузки двигателя t_n настолько кратковременны, что температуры перегрева всех частей двигателя не достигает установившихся значений, а периоды отключения двигателя настолько продолжительны, что все части двигателя успевают охладиться до температуры окружающей среды.

Стандартом установлена длительность периодов нагрузки 10; 30; 60 и 90 мин. В условном обозначении кратковременного режима указывается продолжительность периода нагрузки, например **S2 — 30 мин.**

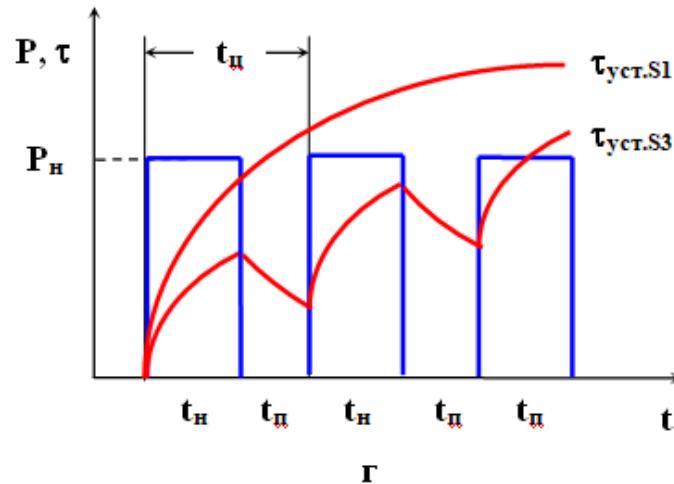
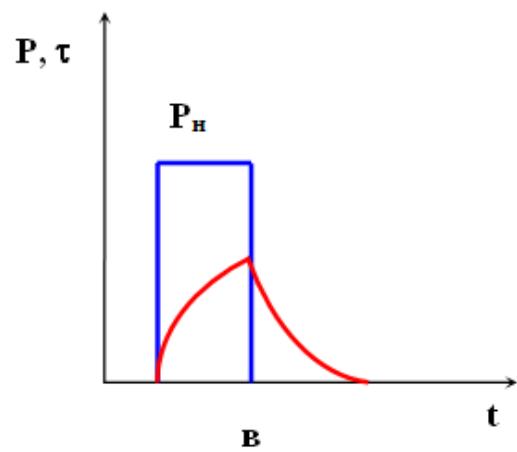
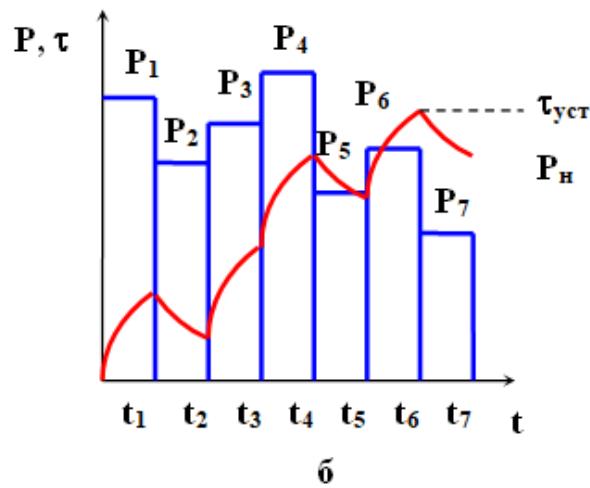
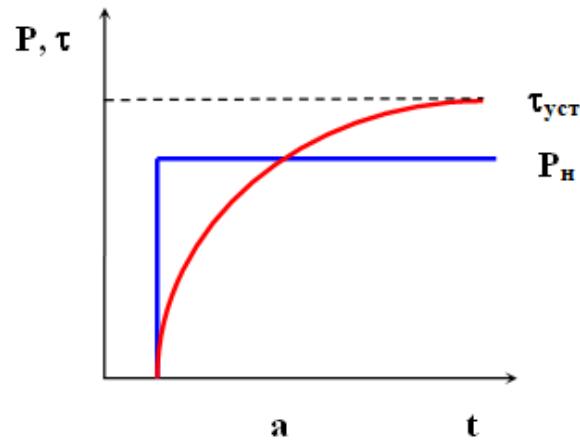
Повторно-кратковременный номинальный режим S3 –

режим, когда кратковременные периоды номинальной нагрузки двигателя t_h чередуются с периодами отключения двигателя (паузами), причем за период нагрузки превышение температуры всех частей не успевает достигнуть установившихся значений, а за время паузы части двигателя не успевают охладиться до температуры окружающей среды. Общее время работы двигателя в повторно-кратковременном режиме разделяется на периодически повторяющиеся циклы продолжительностью $t_{ц} = t_h + t_p$.

При повторно-кратковременном режиме график нагревания двигателя имеет вид пилообразной кривой (рис. г). При достижении двигателем установившегося значения температуры перегрева, соответствующего повторно - кратковременному режиму $T_{уст.к}$ температура перегрева двигателя продолжает колебаться от T_{min} до T_{max} . При этом, $T_{уст.к}$ меньше установившейся температуры перегрева, которая наступила бы, если бы режим работы двигателя был продолжительным ($T_{уст.к} < T_{уст}$).

Повторно-кратковременный режим характеризуется относительной продолжительностью включения, номинальные повторно-кратковременные режимы с ПВ 15, 25, 40 и 60%:

$$ПВ = \left(\frac{t_h}{t_{ц}} \right) \times 100\%$$



Номинальные режимы работы электрических машин: а — с неизменной нагрузкой, б — с изменяющейся нагрузкой, в — кратковременный номинальный режим, г — повторно-кратковременный номинальный режим

Режим S1: двигатели насосов, транспортеров, вентиляторов работают в продолжительном режиме с неизменной нагрузкой, а двигатели прокатных станов, металлорежущих станков и т. п. работают в продолжительном режиме с изменяющейся нагрузкой.

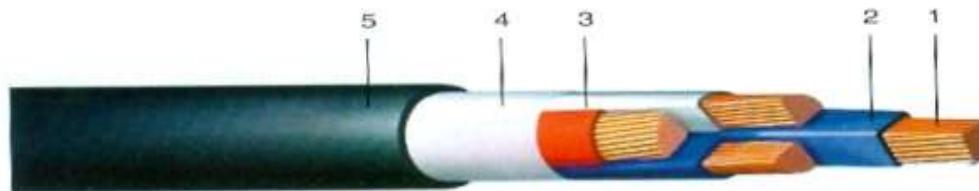
Режим S2: в кратковременном режиме работают приводные двигатели шлюзов, разного рода заслонок и других запорных устройств, регулирующих подачу рабочего вещества (нефть, газ и др.) через трубопроводы к объекту потребления.

Режим S3: примерами повторно-кратковременного режима являются работа электроприводов лифтов, подъемных кранов, экскаваторов и других устройств, для работы которых характерна цикличность (чередование периодов на грузки с паузами).

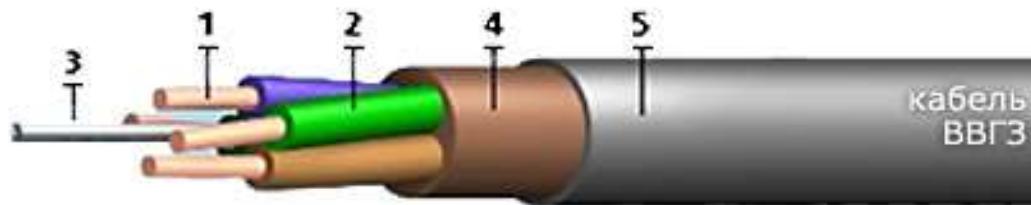
5. ВИДЫ И ТИПЫ КАБЕЛЕЙ

5.1. Кабель силовой с ПВХ изоляцией

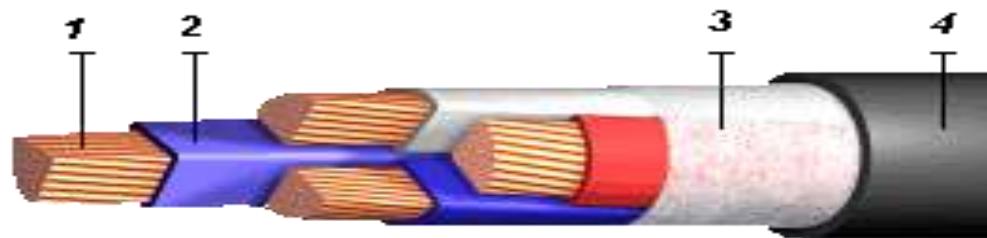
ВВГ



ВВГз

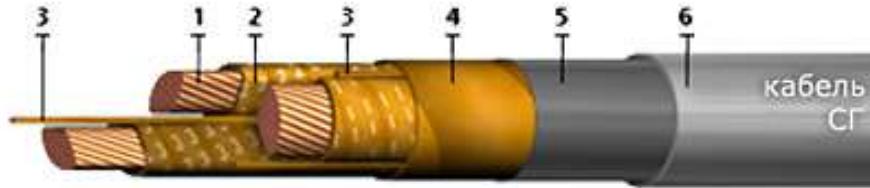


ВВГнг



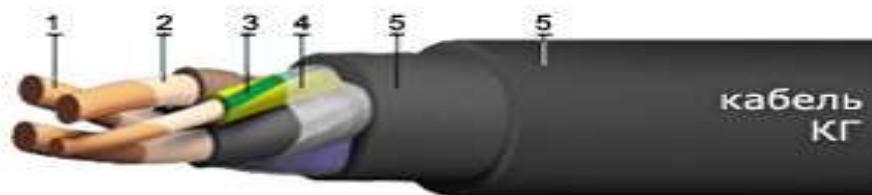
5.2. Кабель силовой с бумажной пропитанной изоляцией

СГ



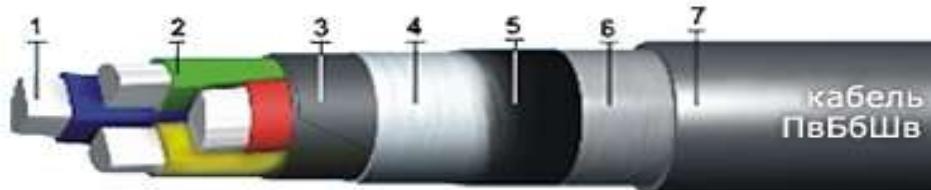
5.3. Кабель гибкий силовой в резиновой изоляции

КГ



5.4. Кабель силовой с изоляцией из сшитого полиэтилена

ПвБбШв



5.5. Рекомендации по выбору типа кабеля до 1000 вольт

Кабель силовой с ПВХ изоляцией

ПВХ или поливинилхлорид представляет собой твердый полимер с невысокими электроизоляционными свойствами, однако с хорошей устойчивостью к воздействию кислот, щелочей, солей, влаге. Длительная рабочая температура силовых кабелей с ПВХ изоляцией может составлять **+80 ... 90 С°**. При более высоких температурах ПВХ начинает плавиться с **выделением опасного хлороводорода**. Также ПВХ ухудшает свои свойства на солнечном свете.

Область применения: силовые кабели предназначены для передачи и распределения электрической энергии в **стационарных установках** на номинальное переменное напряжение 660 В и 1000 В частоты 50 Гц или на постоянное напряжение в 2,4 раза больше переменного напряжения

Кабель гибкий силовой в резиновой изоляции

Кабели с резиновой изоляцией выдерживают тяжелые условия эксплуатации, поэтому могут применяться в помещениях и на открытом воздухе, в местах с повышенной влажностью (от сухих до сырых) при любых механических нагрузках. Резиновая изоляция предохраняет кабели и от химического воздействия, поэтому их можно использовать для присоединения к электросети оборудования и приборов различного назначения – переносных ламп, электронагревателей, бойлеров, бытового и промышленного электроинструмента (циркулярных пил, дрелей и т.п.).

Область применения: силовые, гибкие кабели предназначены для присоединения **передвижных механизмов** к электрическим сетям на номинальное переменное напряжение 660 В частотой 400 Гц или постоянное напряжение 1000 В.

Кабель силовой с изоляцией из сшитого полиэтилена

Использование медных силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена обладает многочисленными преимуществами в сравнении с традиционно применяемой изоляцией из поливинилхлорида:

одинаковая пропускная способность достигается при помощи жил меньшего сечения;

длительно допустимый уровень температуры нагрева кабельных жил возрастает до 90 С;

длительно допустимый уровень температуры нагрева кабельных жил при коротком замыкании возрастает до 250° С.

Область применения: силовые кабели предназначены для передачи и распределения электрической энергии в ***стационарных установках*** на номинальное переменное напряжение 660 В и 1000 В частоты 50 Гц или на постоянное напряжение в 2,4 раза больше переменного напряжения. Допустимый нагрев токопроводящих жил в аварийном режиме не должен превышать +130 °С и продолжительность работы в аварийном режиме не должна быть более 6 часов в сутки, но не более 1000 часов за срок службы.

6. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЦЕХА. ВЫБОР ЧИСЛА И МОЩНОСТИ ПИТАЮЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

6.1. Метод коэффициента максимума (упорядоченных диаграмм)

Это основной метод расчета электрических нагрузок, который сводится к определению максимальных (P_m , Q_m , S_m) расчетных нагрузок группы электроприемников.

$$P_m = K_m P_{cm}, \quad Q_m = K'_m Q_{cm}, \quad S_m = \sqrt{P_m^2 + Q_m^2}$$

где P_m – максимальная активная нагрузка, кВт; Q_m – максимальная реактивная нагрузка, квр; S_m – максимальная полная нагрузка, кВА; K_m – коэффициент максимума активной нагрузки; K'_m – коэффициент максимума реактивной нагрузки; P_{cm} – средняя активная мощность за наиболее нагруженную смену, кВт; Q_{cm} – средняя реактивная мощность за наиболее нагруженную смену, квр.

$$P_{cm} = K_i P_n, \quad Q_{cm} = P_{cm} \tan \varphi, \quad S_m = \sqrt{P_m^2 + Q_m^2}$$

где K_i - коэффициент использования электроприемников, определяется на основании опыта эксплуатации по таблице 6.1.; P_n - номинальная активная групповая мощность, приведенная к длительному режиму, без учета резервных электроприемников, кВт; $\tan \varphi$ - коэффициент реактивной мощности.

$K_m = F(K_n, n_e)$ определяется по таблицам (графикам) (см. табл. 6.3).

K_m – коэффициент максимума реактивной нагрузки принимается при $n_e \leq 10$ равным 1,1, а при $n_e > 10$ равным 1,0. n_e – эффективное число электроприемников (см. табл. 6.2).

Таблица 6.1.

Рекомендуемые значения коэффициентов

Наименование механизмов и аппаратов	K_n	K_c	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$	
	1	2	3	4	5
Металлорежущие станки мелкосерийного производства с нормальным режимом работы (токарные, фрезерные, сверлильные, точильные, карусельные и т.п.)	0,14	0,16	0,5	1,73	
Металлорежущие станки крупносерийного производства с нормальным режимом работы (те же)	0,16	0,2	0,6	1,33	
Металлорежущие станки с тяжелым режимом работы (штамповочные прессы, автоматы, револьверные, обдирочные, зубофрезерные, а также крупные токарные, строгальные, фрезерные, карусельные, расточные)	0,17	0,25	0,65	1,17	
Переносной электроинструмент	0,06	0,1	0,65	1,17	
Вентиляторы, сантехническая вентиляция	0,6	0,7	0,8	0,75	
Насосы, компрессоры, дизельгенераторы	0,7	0,8	0,8	0,75	
Краны, тельферы	0,1	0,2	0,5	1,73	
Сварочные трансформаторы	0,25	0,35	0,35	2,67	
Сварочные машины (стыковые и точечные)	0,2	0,6	0,6	1,33	
Печи сопротивления, сушильные шкафы, нагревательные приборы	0,75	0,8	0,95	0,33	

Таблица 6.2.
Упрощенные варианты определения n_3

n	$K_{и,ср}$	m	P_h	Формула n_3
1	2	3	4	5
< 5	$\geq 0,2$	≥ 3	Переменная	$n_3 = \frac{(\sum_1^n P_h)^2}{\sum_1^n P_h^2}$
≥ 5	$\geq 0,2$	≥ 3	Постоянная	$n_3 = n$
≥ 5	$\geq 0,2$	< 3		$n_3 = n$
≥ 5	$< 0,2$	< 3	Переменная	n_3 не определяется, а $P_m = K_3 \cdot P_h$, где K_3 - коэффициент загрузки $K_{3(пkr)} = 0,75$ (повторно- кратковременный режим) $K_{3(dр)} = 0,9$ (длительный режим) $K_{3(ap)} = 1$ (автоматический режим)
≥ 5	$\geq 0,2$	≥ 3		$n_3 = \frac{2 \sum_1^n P_h}{P_{h,nб}}$
≥ 5	$< 0,2$	≥ 3		Применяются относительные единицы $n_3 = n_3^* n$; $n_3^* = F(n^*, P^*)$; $n^* = \frac{n_1}{n}$; $P^* = \frac{P_{n1}}{P_{h,n}}$
> 300	$\geq 0,2$	≥ 3	—	$n_3 = n$

Таблица 6.3.
Зависимость $K_m = F(K_u, n_e)$

n_e	Коэффициент использования, K_u									
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4	3,43	3,22	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14	1,05
5	3,23	2,87	2,42	2	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12	1,04
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,1	1,04
7	2,88	2,48	2,1	1,8	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09	1,04
8	2,72	2,31	1,99	1,72	1,52	1,4	1,3	1,2	1,08	1,04
9	2,56	2,2	1,9	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08	1,03
10	2,42	2,1	1,84	1,6	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07	1,03
12	2,24	1,96	1,75	1,52	1,36	1,28	1,23	1,15	1,07	1,03
14	2,1	1,85	1,67	1,45	1,32	1,25	1,2	1,13	1,07	1,03
16	1,99	1,77	1,61	1,41	1,28	1,23	1,18	1,12	1,07	1,03
18	1,91	1,7	1,55	1,37	1,26	1,21	1,16	1,11	1,06	1,03
20	1,84	1,65	1,5	1,34	1,24	1,2	1,15	1,11	1,06	1,03
25	1,71	1,55	1,4	1,28	1,21	1,17	1,14	1,1	1,06	1,03
30	1,62	1,46	1,34	1,24	1,19	1,16	1,13	1,1	1,05	1,03
35	1,25	1,41	1,3	1,21	1,17	1,15	1,12	1,09	1,05	1,02
40	1,5	1,37	1,27	1,19	1,15	1,13	1,12	1,09	1,05	1,02
45	1,45	1,33	1,25	1,17	1,14	1,12	1,11	1,08	1,04	1,02
50	1,4	1,3	1,23	1,16	1,14	1,11	1,1	1,08	1,04	1,02
60	1,32	1,25	1,19	1,14	1,12	1,1	1,09	1,07	1,03	1,02
70	1,27	1,22	1,17	1,12	1,1	1,1	1,09	1,06	1,03	1,02
80	1,25	1,2	1,15	1,11	1,1	1,1	1,08	1,06	1,03	1,02
90	1,23	1,18	1,13	1,1	1,09	1,09	1,08	1,06	1,02	1,02
100	1,21	1,17	1,12	1,1	1,08	1,08	1,07	1,05	1,02	1,02

6.2. Приведение мощностей 3-фазных электроприемников к длительному режиму (режим S1)

$P_n = P_p$ - для электроприемников (режим **S1**);

$P_n = P_p$ - для электроприемников (режим **S3**);

$P_n = S_p \cos\varphi$ - для сварочных трансформаторов (режим **S3**);

$P_n = S_p \cos\varphi$ - для трансформаторов (режим **S1**),

где P_n , P_p - приведенная и паспортная активная мощность, кВт; S_p - полная паспортная мощность, кВА; **ПВ** - продолжительность включения, отн. ед.

6.3. Приведение 1-фазных нагрузок к условной 3-фазной мощности

Нагрузки распределяются по фазам с наибольшей равномерностью и определяется величина неравномерности (**H**)

$$H = \frac{P_{\Phi.\text{нб}} - P_{\Phi.\text{нм}}}{P_{\Phi.\text{нм}}} \cdot 100\%$$

где $P_{\Phi.\text{нб}}$ и $P_{\Phi.\text{нм}}$ – мощность наиболее и наименее загруженной фазы, кВт.

При $H > 15\%$ и включении на фазное напряжение условная 3-х фазная (приведенная) мощность $P_y^{(3)}$ равна

$$P_y^{(3)} = 3P_{\phi.\text{нб}}^{(1)}$$

При $H > 15\%$ и включении на линейное напряжение

- для одного электроприемника

$$P_y^{(3)} = \sqrt{3}P_{\phi.\text{нб}}^{(1)}$$

- для нескольких электроприемников

$$P_y^{(3)} = 3P_{\phi.\text{нб}}^{(1)}$$

При $H \leq 15\%$ расчет ведется как для 3-фазных нагрузок (сумма всех 1-фазных нагрузок).

Примечание. Расчет электроприемников режима S3 производится после приведения к режиму S1.

6.4. Определение потерь мощности в трансформаторе

Приближенно потери мощности в трансформаторе учитываются в соответствии с соотношениями

$$\Delta P = 0.02 P_{\text{НН}} ; \Delta Q_{\text{НН}} = 0.1 P_{\text{НН}}$$

$$\Delta S = \sqrt{\Delta P^2 + \Delta Q^2}$$

$$S_{\text{ВН}} = S_{\text{НН}} + \Delta S$$

6.5. Определение мощности наиболее загруженной фазы

При включении на линейное напряжение нагрузки отдельных фаз однофазных электроприемников определяются как полусуммы двух плеч, прилегающих к данной фазе (рис. 6.1).

$$P_A = \frac{P_{AC} + P_{AB}}{2}, \quad P_B = \frac{P_{AB} + P_{BC}}{2}, \quad P_C = \frac{P_{BC} + P_{AC}}{2}$$

Из полученных результатов выбирается наибольшее значение.

Рис. 6.1. Схема включения 1- фазных нагрузок на линейное напряжение

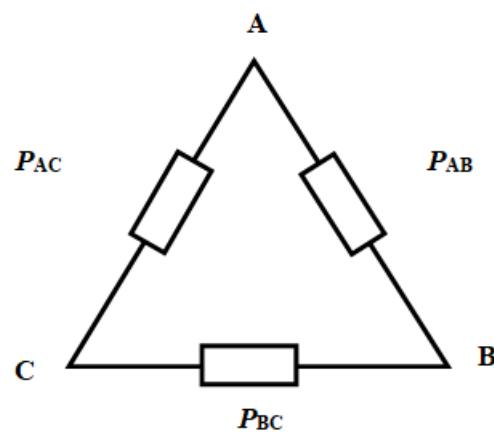
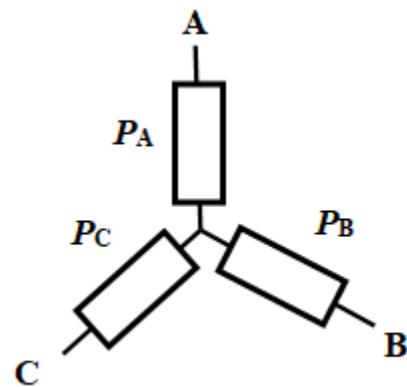


Рис. 6.2. Схема включения 1- фазных нагрузок на фазное напряжение



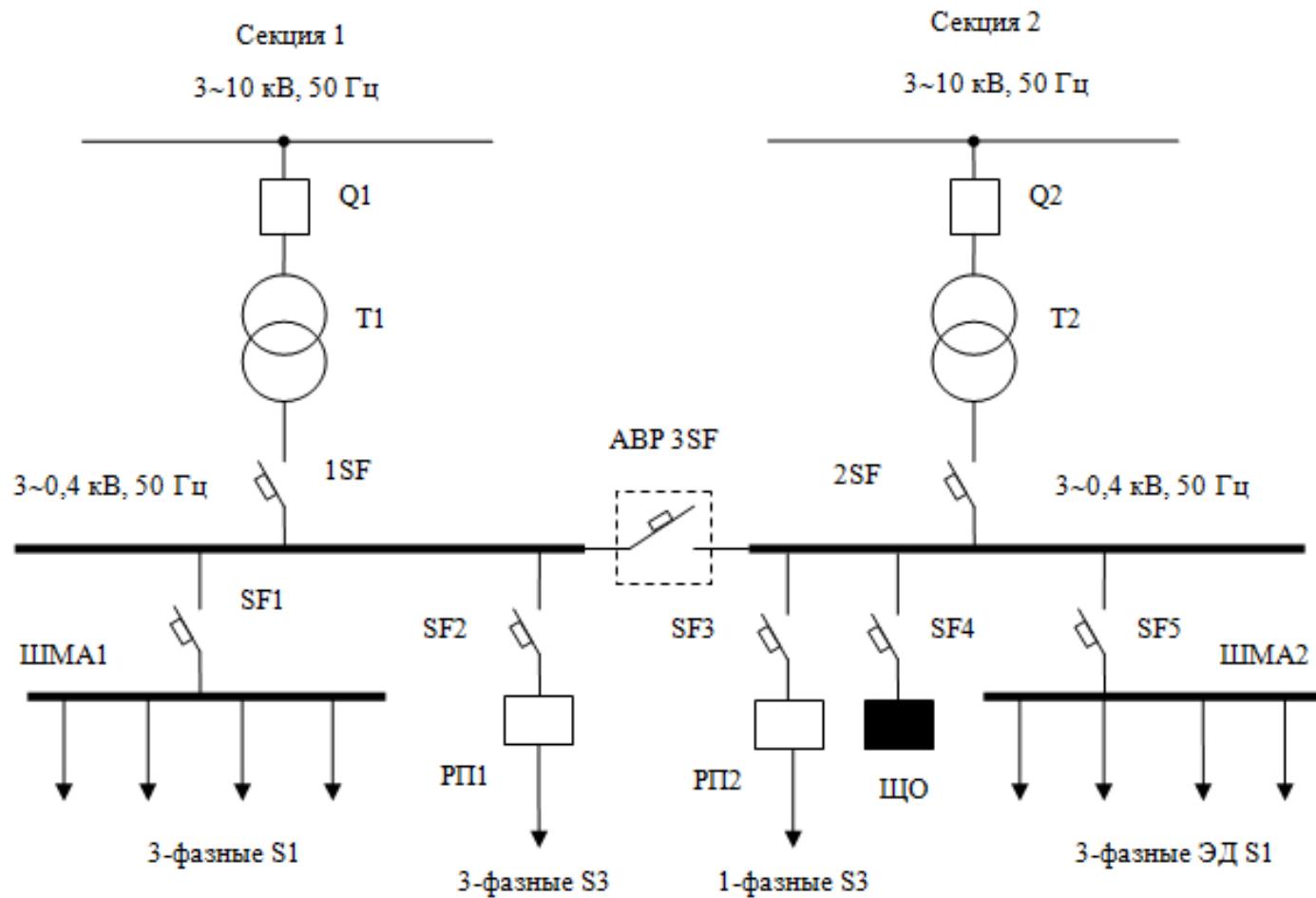
Пример

Объект: производственный участок – площадь 250 м².

Категория: ЭСН-1. Электроприемники – таблица 6.4.

№ п/п	Наименование электроприемника	$P_{ном}$, кВт	n	K_n	$\cos \varphi$	$\tg \varphi$
1	2	3	4	5	6	7
3-х фазные, S1						
1	Вентиляционная установка	15,0	4	0,7	0,8	0,75
2	Станок наждачный	2,8	2	0,14	0,5	1,73
3	Печь индукционная	8,0	2	0,75	0,35	2,67
3-х фазные, S3						
4	Тельфер транспортный, ПВ = 60%	10,0	2	0,1	0,5	1,73
5	Тележка подвесная, ПВ = 40%	4,0	4	0,1	0,5	1,73
1-х фазные, S3						
6	Трансформатор сварочный, ПВ = 40%	25 кВА	5	0,2	0,4	2,29
7	Аппарат дуговой сварки, ПВ = 60%	16 кВА	5	0,2	0,5	1,73
Освещение						
8	Газоразрядные лампы	9 – 11 Вт/м ²		0,85	0,95	0,33

Схема ЭСН производственного участка



7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЧЕНИЯ И ВЫБОР ТОКОВЕДУЩИХ ПРОВОДНИКОВ

При выборе сечения электросети должны быть учтены следующие ограничения или критерии:

- 1. Сеть должна быть экономически эффективна;**
- 2. Нагрев проводов не должен превышать допустимых пределов в рабочих и аварийных режимах;**
- 3. Качество электроэнергии и связанные с ним потери напряжения не должны выходить за рамки допустимых пределов;**
4. Должны быть учтены ограничения на потери при коронном разряде;
5. Должны быть учтены ограничения по механической прочности;
6. Должен быть обеспечен запуск электродвигателя для сетей 6 - 10 кВ;
7. Должно быть учтено удобство монтажа;
- 8. Сети должны быть согласованы с защитными аппаратами (защитные аппараты должны обеспечивать быстродействие или чувствительность);**
9. Сеть должна быть проверена при аварийных режимах и отвечать условиям термической, динамической стойкости и устойчивости энергосистемы в целом.

Методы расчета сечения проводников

Выбор сечений производится, как правило, **одним методом** и далее осуществляют **проверку** по перечисленным выше ограничениям

1. Экономический метод

Экономический метод применяют для расчета воздушных линий с напряжением от 0,38 и выше кВ.

2. Метод по нагреву

Метод по нагреву применяют при расчете кабельных питающих линий и внутренних электропроводок

3. Метод по допустимой потере напряжения

Метод по допустимой потере напряжения - в основном применяют в качестве проверки и для осветительной сети в качестве основного.

7.1. Расчет по экономической плотности тока

$$3 = (E_h + P_{\Sigma}) \times K + I_{\Sigma}$$

где P_{Σ} - суммарный коэффициент отчислений на амортизацию, текущий и капитальный ремонт; E_h - коэффициент сравнительной эффективности капиталовложений; K – капиталовложения на электрическую сеть; I_{Σ} - суммарные годовые издержки:

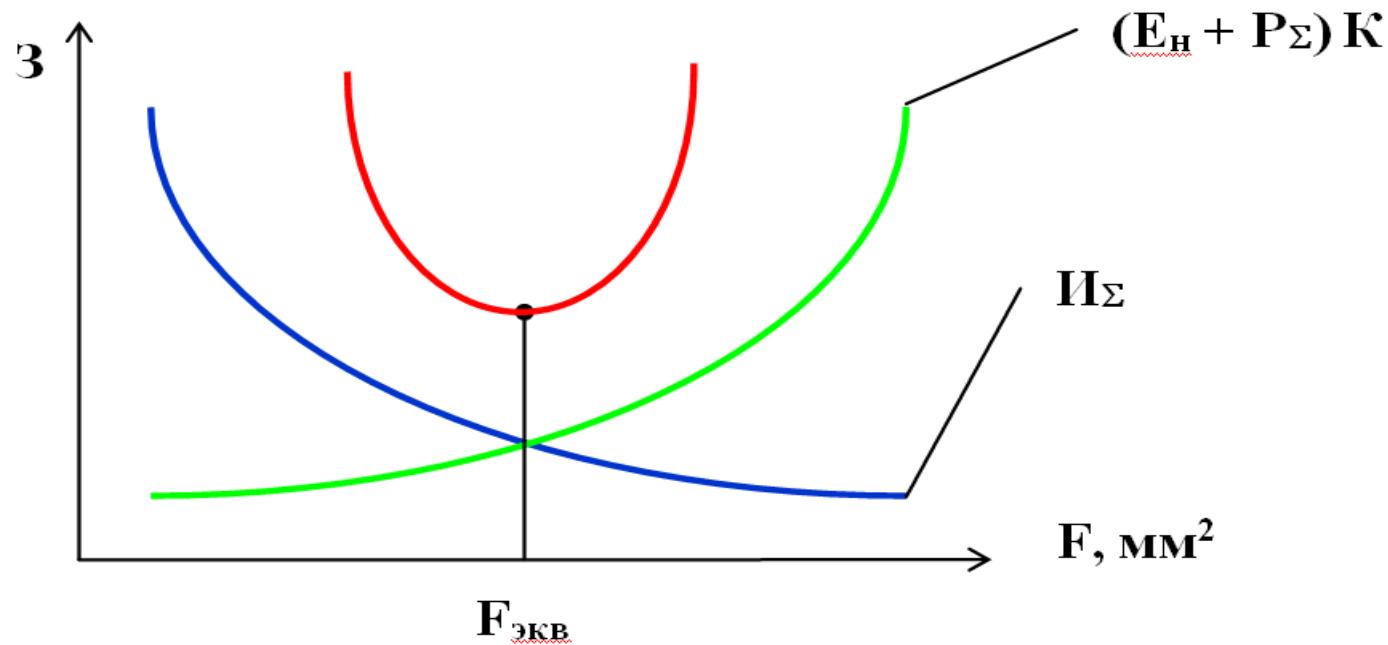
- издержки на эксплуатацию;
- транспортировку;
- потери электроэнергии и т.д.

Экономически целесообразное сечение

Экономически целесообразное сечение – $F_{\text{ЭК}} = \frac{I_{\text{max}}}{j_{\text{ЭК}}}$

где I_{max} - расчетный ток в часы максимума нагрузки, А; $j_{\text{ЭК}}$ – экономическая плотность тока, А/мм².

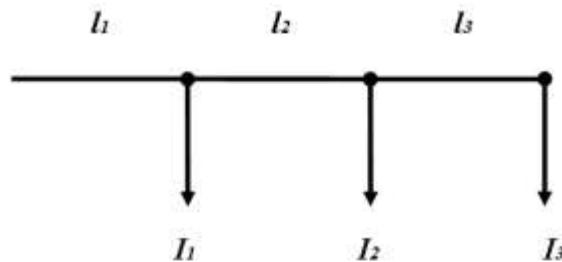
Нормированные значения экономической плотности тока, приведены в табл. 1.3.36 ПУЭ.



Экономическая плотность тока

Проводники	Экономическая плотность тока, А/мм ² , при числе часов использования максимума нагрузки в год		
	более 1000 до 3000	более 3000 до 5000	более 5000
Неизолированные провода и шины:			
médные	2,5	2,1	1,8
алюминиевые	1,3	1,1	1,0
Кабели с бумажной и провода с резиновой и по- ливинилхлоридной изоляцией с жилами:			
médными	3,0	2,5	2,0
алюминиевыми	1,6	1,4	1,2
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией с жилами:			
médными	3,5	3,1	2,7
алюминиевыми	1,9	1,7	1,6

Если ВЛЭП имеет несколько нагрузок, то сечение проводов принимается **различным или одинаковым**.



В первом случае: $F_1 = \frac{I_1}{j_{\text{эк}}} ; F_2 = \frac{I_2}{j_{\text{эк}}} ; F_3 = \frac{I_3}{j_{\text{эк}}}$ - меньшие потери мощности и меньший расход металла.

Во втором случае – сечение подбирается по эквивалентному току: $I_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{\sum I^2 l}{\sum l}}$ и $F = \frac{I_{\text{экв}}}{j_{\text{эк}}}$ - удобство монтажа

7.2. Выбор сечения проводов по нагреву (кабельных линий и внутренних электропроводок)

При протекании электрического тока с проводнике в нем **выделяется теплота**:

$$Q_1 = I^2 R \tau$$

где R - сопротивление проводника; I – ток, протекающий в проводнике; τ – время протекания тока.

С другой стороны, **происходит теплоотдача** с поверхности проводника в окружающую среду:

$$Q_2 = c S (t - t_o) \tau$$

где c – коэффициент теплоотдачи поверхности провода; S - площадь поверхности провода; t - температура проводника; t_o - температура окружающей среды.

Решая уравнение теплового баланса $Q_1 = Q_2$
с учетом

$$F = \pi d^2 / 4, R = \rho \frac{l}{F} \text{ и } S = \pi dl$$

получаем

$$I = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{c d^3 (t - t_o)}{\rho}}$$

где d – диаметр проводника; ρ – удельное сопротивление проводника; $t = 65$ °C - для изолированных проводов, $t = 70$ °C - для неизолированных проводов.

Для учета конкретных температурных условий вводятся поправочные коэффициенты: температурный – K_T и коэффициент учитывающий условия прокладки - K_y . K_T вводится в том случае, если температура окружающей среды отличается от 25°C или 15°C, приводимых в ПУЭ

7.3. Методика выбора проводов по нагреву

7.3.1. Определяют максимально возможный ток электроустановки электрической сети I_p .

7.3.2. Выбирают условия защиты согласно ПУЭ, выбирают тип и ток уставки защитного аппарата $I_{уст}$.

Под $I_{уст}$ нужно понимать следующее: это может быть номинальный ток плавкой вставки предохранителя – $I_{пв}$, номинальный ток отсечки электромагнитного расцепителя автоматического выключателя – $I_{н.отс}$ ($I_{нэ}$); номинальный ток нерегулируемого расцепителя теплового автоматического выключателя – $I_{н.тр}$; номинальный ток трогания регулируемого теплового расцепителя – $I_{тр}$.

7.3.3. Анализируют условия работы электросети и выбирают поправочные коэффициенты:

K_T – температурный; K_y - учитывающий условия прокладки.

Таблица 1.3.3

**Поправочные коэффициенты на токи для кабелей, неизолированных и изолированных проводов и шин
в зависимости от температуры земли и воздуха**

Условная температура среды, °C	Нормированная температура жил., °C	Поправочные коэффициенты на токи при расчетной температуре среды, °C											
		-5 и ниже	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	
15	80	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73	0,68
25	80	1,24	1,20	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74
25	70	1,29	1,24	1,20	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67
15	65	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55
25	65	1,32	1,27	1,22	1,17	1,12	1,06	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
15	60	1,20	1,15	1,12	1,06	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67	0,57	0,47
25	60	1,36	1,31	1,25	1,20	1,13	1,07	1,00	0,93	0,85	0,76	0,66	0,54
15	55	1,22	1,17	1,12	1,07	1,00	0,93	0,86	0,79	0,71	0,61	0,50	0,36
25	55	1,41	1,35	1,29	1,23	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
15	50	1,25	1,20	1,14	1,07	1,00	0,93	0,84	0,76	0,66	0,54	0,37	—
25	50	1,48	1,41	1,34	1,26	1,18	1,09	1,00	0,89	0,78	0,63	0,45	—

7.3.4. Определяется расчетное значение допустимого тока проводника:

$$I_{\text{доп.р}} = \frac{I_p}{K_T K_y}$$

7.3.5. По расчетному значению $I_{\text{доп.р}}$ по таблицам ПУЭ выбирают ближайшее **большее** табличное значение допустимого тока и соответствующее ему сечение проводника: $I_{\text{доп.т}} \geq I_{\text{доп.р}}$

7.3.6. Определяют расчетное значение кратности уставки защитного аппарата по длительно допустимому току проводника:

$$k_p = \frac{I_{\text{уст}}}{I_{\text{доп.т}} K_T K_y}$$

Расчетное значение сравнивают с нормируемым значением, оно должно быть (табл. 7.1)

$$k_p \leq k_n$$

Таблица 1.3.4

**Допустимый длительный ток для проводов и шнуров
с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с медными жилами**

Сечение токопрово-дящей жилы, мм ²	Ток, А, для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		двух одно-жильных	трех одно-жильных	четырех одно-жильных	одного двухжильного	одного трехжильного
0,5	11	—	—	—	—	—
0,75	15	—	—	—	—	—
1	17	16	15	14	15	14
1,2	20	18	16	15	16	14,5
1,5	23	19	17	16	18	15
2	26	24	22	20	23	19
2,5	30	27	25	25	25	21
3	34	32	28	26	28	24
4	41	38	35	30	32	27
5	46	42	39	34	37	31
6	50	46	42	40	40	34
8	62	54	51	46	48	43
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70
25	140	115	100	90	100	85
35	170	135	125	115	125	100
50	215	185	170	150	160	135
70	270	225	210	185	195	175
95	330	275	255	225	245	215
120	385	315	290	260	295	250
150	440	360	330	—	—	—
185	510	—	—	—	—	—
240	605	—	—	—	—	—
300	695	—	—	—	—	—
400	830	—	—	—	—	—

Нормируемые кратности

- * - приведенное согласование может не проводиться, если защита обеспечивает требуемое быстродействие;
- ** - для невзрывоопасных производственных помещений, предприятий.

Проводники	Плавкие предохранители	Автоматы с электромагнитным расцепителем	Автоматы с обратнозависимой от тока характеристикой	
			Нерегулируемые расцепители	Регулируемые расцепители
Сети, защищаемые от К.З.*				
Всех типов	3,0	4,5	1,0	1,25
Сети, защищаемые от перегрузок				
Открытопроложенные провода с горючей изоляцией (оболочкой)	0,8 (1,0)**	-	1,0	1,0
Кабели с бумажной изоляцией	1,0	1,0	1,0	1,25

7.3.7. Расчетное значение k_p

Если расчетное значение больше нормируемого k_p , прежде чем увеличивать сечение провода необходимо рассмотреть вариант замены уставки защитного аппарата или замены типа защитного аппарата, и только после этого увеличивать сечения.

При невозможности добиться достаточного снижения k_p за счет защитных аппаратов пересчитывают допустимый расчетный ток:

$$I_{\text{доп.р}} = \frac{I_{\text{уст}}}{K_T K_y k_h}$$

По этому значению выбирают ближайшее большее (меньшее) $I_{\text{доп.т}}$ и сечение проводника.

7.4. Пример

Выбрать сечение кабеля, прокладываемого в земле от ТП для питания производственного участка с расчетной нагрузкой $P_p = 50$ кВт при $\cos \varphi = 0,9$. Кабель проходит в кабельном канале ТП по воздуху, длина $\approx 5,0$ м и в цокольной части участка в трубе по стене с расстоянием > 10 м. Температуру воздуха и земли принять соответственно 35°C и 20°C . Кабель выбрать с изоляцией ПВХ, четырех жильный, медные жилы.

$$P_p := 50000$$

$$U_n := 380$$

$$\cos \varphi := 0,9$$

1. Максимально возможный ток участка электрической сети I_p :

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi}, \text{ А}$$

$$I_r := \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = 84.408$$

2. Расчет и выбор производится исходя из того, что перегрузка может произойти и защита от перегрузок необходима:

$$I_{\text{н.тр}} = 1,1 (I_p + 0,4 I_{\Pi}), \quad \text{А}$$

где - I_{Π} максимальный пусковой ток запускаемого электродвигателя. Предположим, что на участке есть асинхронные электродвигатели и $I_{\Pi} = 30$ А.

В этом случае, $I_{\text{н.тр}}$ будет равен:

$$I_p := 30$$

$$I_{\text{н.тр}} := 1.1 \cdot (I_p + 0.4 \cdot I_{\Pi}) = 106.049$$

Выбираем ближайший больший автоматический выключатель ВА 51-33 с номинальным током теплового расцепителя 125 А.

3. С учетом условий прокладки по табл. 1.3.3 ПУЭ выбираем поправочные коэффициенты. Т.к. по условию задачи кабель проложен и в земле и в воздухе (> 10 м), в этом случае надо учитывать и прокладку в воздухе и в земле. Выбор производится по условиям более жесткого режима:

$$t_{\text{ж}} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad k_{\text{тв}} = 0,83 \quad \text{и} \quad k_{\text{тз}} = 0,96.$$

$$ktv := 0,83$$

$$ktz := 0,96$$

4. Определяем расчетное значение дополнительного тока:

- *для прокладки в земле*

$$I_{\text{доп.р}} = \frac{I_p}{k_{\text{тз}}}, \text{ А}$$

$$In.tr := 125$$

$$Idop.r := \frac{In.tr}{ktz} = 130.208$$

5. Выбираем ВВГ 3 * 50 + 50, т.к. предполагается, что на участке будут преобладать однофазные нагрузки (например, сварочные источники питания), то нулевая жила должна быть равна по сечению фазной.

$$Idop.t := 135 \text{ A}$$

6. Определяют расчетное значение кратности уставки защитного аппарата по длительно допустимому току проводника:

$$k_p = \frac{I_{\text{н.тр}}}{I_{\text{доп.т}} k_{tz}} \quad kp := \frac{In.tr}{Idop.t \cdot ktz} = 0.965$$

Т.к. $k_n = 1,0$ и $k_p < k_n$, можно считать, что выбор автоматического выключателя правильным. Окончательно принимаем: при прокладке в земле кабель ВВГ 3 * 50 + 50 с $Idop.t = 135 \text{ A}$, автоматический выключатель ВА 51-33 с номинальным током теплового расцепителя 125 А.

- для прокладки в воздухе (аналогично, начиная с п. 4)

$$Idop.r := \frac{In.tr}{ktv} = 150.6 \text{ A}$$

5. Выбираем ВВГ 3 * 70 + 70, т.к. предполагается, что на участке будут преобладать однофазные нагрузки (например, сварочные источники питания), то нулевая жила должна быть равна по сечению фазной.

$$Idop.t := 175 \text{ A}$$

6. Определяют расчетное значение кратности уставки защитного аппарата по длительно допустимому току проводника:

$$kp := \frac{In.tr}{Idop.t \cdot ktv} = 0.861$$

Т.к. $k_n = 1,0$ и $k_p < k_n$, можно считать, что выбор автоматического выключателя правильным. Окончательно принимаем: при прокладке на воздухе кабель ВВГ 3 * 70 + 70 с $Idop.t = 175 \text{ A}$, автоматический выключатель ВА 51-33 с номинальным током теплового расцепителя 125 А.

Окончательно принимаем: при прокладке в земле ВВГ 3 * 50 + 50 с $Idop.t = 150 \text{ A}$, автоматический выключатель ВА 51-33 с номинальным током теплового расцепителя 125 А и на воздухе кабель ВВГ 3 * 70 + 70 с $Idop.t = 175 \text{ A}$

7. Проверка по потерям напряжения

$$F := 70$$

Сечение кабеля 70 мм²

Длина 250 м

$$l := 0.25 \text{ km}$$

$$\cos \varphi = 0.9$$

$$\sin \varphi = 0.44$$

$$In.tr1 = 106.049 \text{ A} \quad r_{ud} := 0.28 \frac{\Omega}{\text{km}} \quad x_{ud} := 0.07 \cdot \frac{\Omega}{\text{km}} \quad \cos \varphi := 0.9 \quad \sin \varphi := 0.435$$

$$U_{nom} := 380 \text{ V}$$

$$\Delta U := \sqrt{3} \cdot In.tr1 \cdot l \cdot (r_{ud} \cdot \cos \varphi + x_{ud} \cdot \sin \varphi)$$

$$\Delta U = 12.97 \text{ V}$$

$$\Delta U_{pr} := \left(\frac{\Delta U}{U_{nom}} \right) \% \quad \Delta U_{pr} = 3.41 \cdot 10^{-4}$$

Т.е. 3.41%, что допустимо (допустимые колебания номинального напряжения составляют ±5 %, кратковременно - не более 2 часов в сутки - ±10 %).

7.5. Выбор сечений жил кабелей и проводов воздушных линий по потерям напряжения

Потерю напряжения в линиях напряжением до 35 кВ определяют по формуле

$$\Delta U = I_p l / (r_{уд} \cos\phi + x_{уд} \sin\phi)$$

где I_p – расчетный ток линии, А; $r_{уд}$, $x_{уд}$ – активное и реактивное удельные сопротивления линий, Ом/км; l – длина линии, км; $\cos\phi$ и $\sin\phi$ соответствуют коэффициенту мощности ($\operatorname{tg}\phi$) в конце линии

Относительные потери напряжения считают приемлемыми, если они в нормальных режимах работы не превышают в сетях низкого напряжения 5 %

Выполнить проверку по потере напряжения при условиях: $I_p = 300 \text{ A}$

– расчетный ток линии, А; $r_{уд} = 0,167 \text{ Ом/км}$, $x_{уд} = 0,07 \text{ Ом/км}$ –

активное и реактивное удельные сопротивления линий, Ом/км; $l = 0,4 \text{ км}$

– длина линии, км; $\cos\phi = 0,8$ и $\sin\phi = 0,6$, сечение кабеля $F = 120 \text{ мм}^2$

$$\Delta U\% = (\Delta U / U_{\text{ном}}) \cdot 100\%$$

$$Ir := 300 \text{ A}$$

$$rud := 0.167 \frac{\Omega}{\text{км}}$$

$$xud := 0.07 \cdot \frac{\Omega}{\text{км}}$$

$$\cos\varphi := 0.8$$

$$\sin\varphi := 0.6$$

$$l := 0.4 \text{ km}$$

$$U_{\text{ном}} := 380 \text{ V}$$

$$\Delta U := \sqrt{3} \cdot Ir \cdot l \cdot (rud \cdot \cos\varphi + xud \cdot \sin\varphi)$$

$$\Delta U = 36.498 \text{ V}$$

$$\Delta U_{\text{пр}} := \left(\frac{\Delta U}{U_{\text{ном}}} \right) \cdot 100$$

$$\Delta U_{\text{пр}} = 9.605$$

т.е. 9,605 %, что недопустимо (допустимые колебания номинального напряжения составляют $\pm 5 \%$, кратковременно – не более 2 часов в сутки – $\pm 10 \%$).

8. КОНТАКТОРЫ И МАГНИТНЫЕ ПУСКАТЕЛИ

8.1. Контакторы

Контактор — двухпозиционный электромагнитный аппарат, предназначенный для частых дистанционных включений и выключений (число циклов включения-выключения для контакторов разной категории изменяется от 30 до 3600 в час) силовых электрических цепей в нормальном режиме работы



В отличие от автоматических выключателей контакторы могут коммутировать только номинальные токи, они не предназначены для отключения токов короткого замыкания

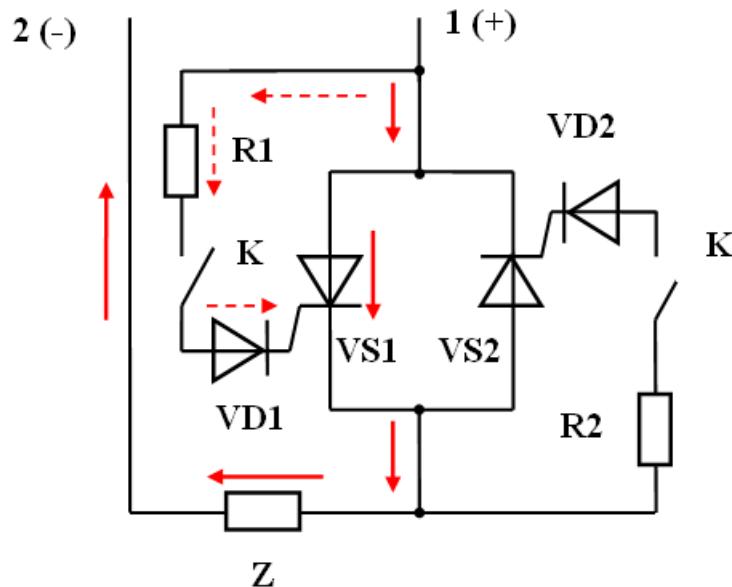
Контакторы как постоянного, так и переменного тока содержат: электромагнитную систему, контактную систему, состоящую из подвижных и неподвижных контактов, дугогасящую систему, систему блок-контактов (вспомогательные контакты, переключающие цепи сигнализации и управления при работе контакторов)

Управление контактором осуществляется посредством вспомогательной цепи, обычно переменного тока, проходящего по катушкам контактора, напряжением 24, 42, 110/127, 220 или 380 вольт. Для обеспечения безопасности при обслуживании контактора величина оперативного тока должна быть значительно ниже величины рабочего тока в коммутируемых цепях

Контактор **не имеет** механических средств для удержания контактов во включенном положении, при отсутствии управляющего напряжения на катушке контактора он размыкает свои контакты. **Для удержания контактов** в рабочем положении применяется схема «самоподхвата» с использованием пары нормально-открытых контактов или постоянно существующий потенциал.

Тиристорные контакторы

Контакторы тиристорные типов КТ-07, КТ-11-1, КТ-12-1 предназначены для комплектации точечных, шовных и рельефных контактных сварочных машин и служат для коммутации и управления однофазным током промышленной частоты при наличии блока управления с синхронным включением сварочного тока.

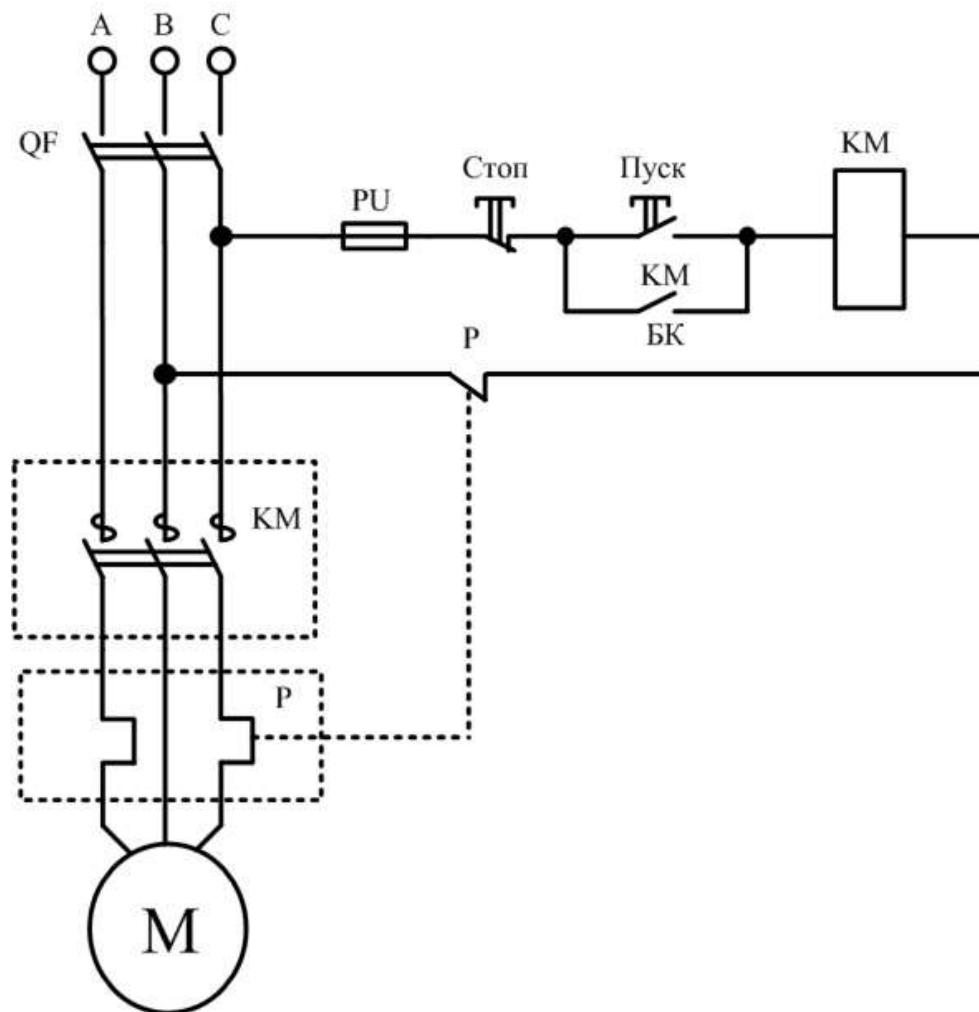


8.2. Магнитный пускатель

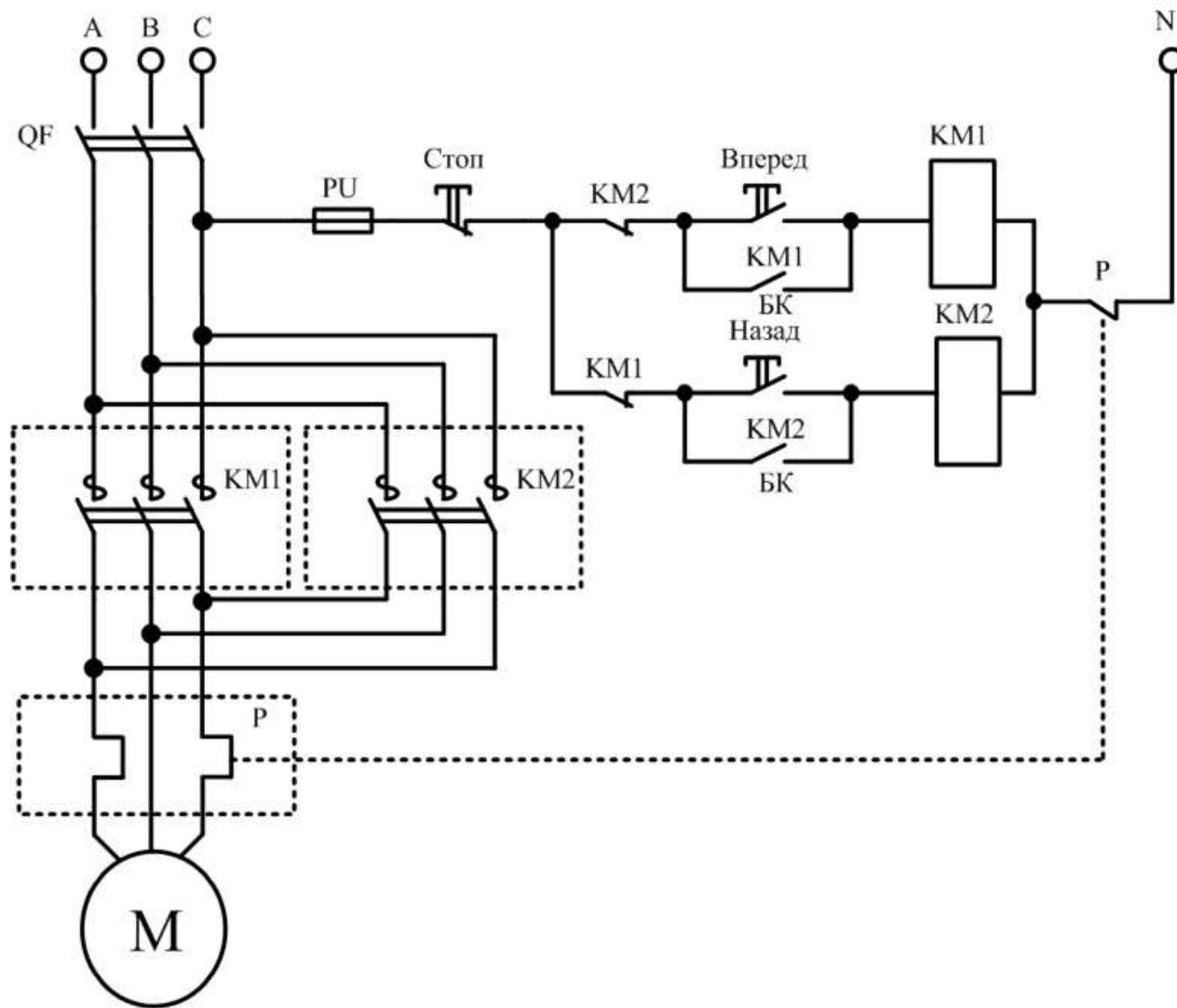
Пускатель электромагнитный — низковольтное электромагнитное (электромеханическое) комбинированное устройство распределения и управления, **предназначенное для пуска электродвигателя, обеспечения его непрерывной работы, отключения питания, защиты электродвигателя и подключенных цепей, и иногда для реверсирования направления его вращения**

Пускатель обычно представляет собой модифицированный контактор, он может быть укомплектован дополнительными устройствами таким как **тепловое реле** для аварийного отключения двигателя, дополнительной слаботочной контактной группой или группами, используемыми в цепях управления и/или кнопкой пуска

Подключение асинхронного электродвигателя с помощью магнитного пускателя



Подключение реверсивного асинхронного электродвигателя с помощью магнитного пускателя



9. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВОЗДУШНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Автоматический выключатель (или обычно просто «автомат») — это контактный коммутационный аппарат, который предназначен для включения и отключения (т.е. для коммутации) электрической цепи, защиты кабелей, проводов и потребителей (электрических приборов) от токов перегрузки и от токов короткого замыкания.

Автоматический выключатель выполняет три основных функции:

- 1)** коммутацию цепи (позволяет включать и отключать конкретный участок электрической цепи);
- 2)** обеспечивает защиту от токов перегрузки, отключая защищаемую цепь, когда в ней протекает ток, превышающий допустимый (например, при подключении в линию мощного прибора или приборов);
- 3)** отключает от питающей сети защищаемую цепь, когда в ней возникают большие по значению токи короткого замыкания.

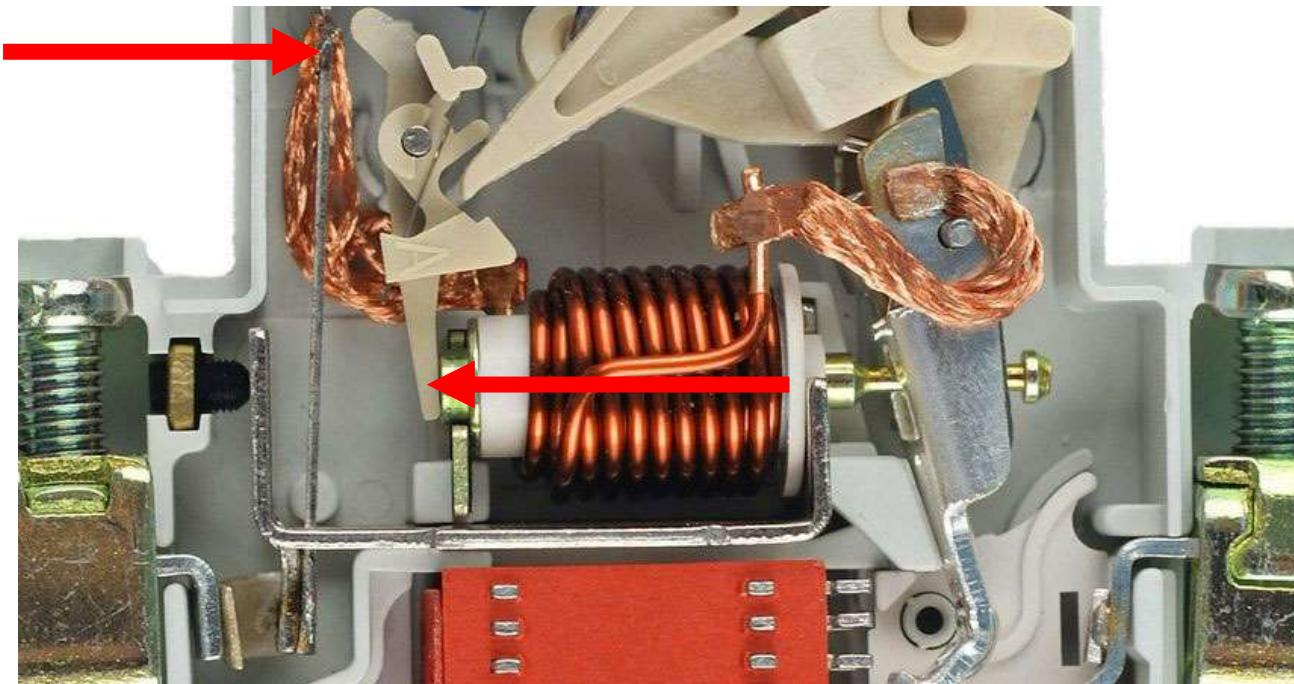


Автоматический выключатель: 1 - верхняя клемма; 2 - неподвижный силовой контакт; 3 - подвижный силовой контакт; 4 - дугогасительная камера; 5 - гибкий проводник; 6 - электромагнитный расцепитель; 7 - ручка для управления; 8 - тепловой расцепитель (биметаллическая пластина); 9 - винт для регулировки теплового расцепителя; 10 - нижняя клемма; 11 - отверстие для выхода газов

9.1. Электромагнитный расцепитель

Функциональное назначение электромагнитного расцепителя - **обеспечение практически мгновенного срабатывания автоматического выключателя при возникновении в защищаемой цепи короткого замыкания.** В этой ситуации в электрических цепях возникают токи, величина которых в тысячи раз превышают номинальное значение этого параметра. Время срабатывания автомата определяется по его времятоковым характеристикам (зависимость времени срабатывания автомата от величины тока), которые обозначаются индексами В , С (наиболее распространенные) и D. Тип характеристики обозначен в параметре номинального тока на корпусе автомата, например, С16. Для приведенных характеристик время срабатывания находится в пределах от сотых до тысячных долей секунды.

Конструкция электромагнитного расцепителя представляет собой соленоид с подпружиненным сердечником, который связан с подвижным силовым контактом



Электрически катушка соленоида включена последовательно в цепочку, состоящую из силовых контактов и теплового расцепителя. При включенном автомате и номинальном значении тока, через катушку соленоида протекает ток, однако, величина магнитного потока мала для втягивания сердечника. Силовые контакты замкнуты и это обеспечивает нормальное функционирование защищаемой установки. При коротком замыкании резкое увеличение тока в соленоиде приводит к пропорциональному увеличению магнитного потока, способного преодолеть действие пружины и переместить сердечник и связанный с ним подвижный контакт. Перемещение сердечника вызывает размыкание силовых контактов и обесточивание защищаемой линии.

9.2. Тепловой расцепитель

Тепловой расцепитель выполняет функцию защиты при небольшом, но действующим в течении относительно длительного промежутка времени, превышении допустимого значения тока. Тепловой расцепитель – расцепитель замедленного действия, он не реагирует на кратковременные броски тока. Время срабатывания этого вида защиты регламентируется также время-токовыми характеристиками. Инерционность теплового расцепителя позволяет реализовать функцию защиты сети от перегрузки. Конструктивно тепловой расцепитель представляет консольно закрепленную в корпусе биметаллическую пластину, свободный конец которой через рычаг взаимодействует с механизмом расцепления.

Электрически биметаллическая пластина включена последовательно с катушкой электромагнитного расцепителя. При включенном автомате в последовательной цепочке протекает ток, нагревая биметаллическую пластину. Это приводит к перемещению ее свободного конца в непосредственную близость к рычагу механизма расцепления.

При достижении значений тока, указанных во временно-токовых характеристиках и по истечении определенного времени пластина нагреваясь изгибается, контактирует с рычагом. Последний через механизм расцепления размыкает силовые контакты - сеть оказывается защищенной от перегрузки. Регулировка тока срабатывания теплового расцепителя с помощью винта производится в процессе сборки.

9.3. Силовые контакты и дугогасительная камера

Размыкание силовых контактов при протекании через них тока приводит к возникновению электрической дуги. Мощность дуги обычно пропорциональна току в коммутируемой цепи. Чем мощнее дуга, тем сильнее она разрушает силовые контакты, повреждает пластмассовые детали корпуса. В устройстве автоматического выключателя дугогасительная камера ограничивает действие электрической дуги в локальном объеме. Она располагается в зоне силовых контактов и выполнена из покрытых медью параллельных пластин.

В камере дуга распадается на мелкие части, попадая на пластины, остывает и прекращает свое существование. Выделяющиеся при горении дуги газы выводятся через отверстия в дне камеры и корпусе автомата.

9.4. Принцип работы автоматического выключателя

В режиме штатной работы через автомат протекает ток, меньший или равный номинальному значению. Питающее напряжение от внешней сети подается на верхнюю клемму, соединенную с неподвижным контактом. С неподвижного контакта ток поступает на замкнутый с ним подвижный контакт, а от него, через гибкий медный проводник – на катушку соленоида. После соленоида ток подается на тепловой расцепитель и уже после него – на нижнюю клемму, с подключенной к ней сетью нагрузки.

В аварийных режимах автоматический выключатель отключает защищаемую цепь за счет срабатывания механизма свободного расцепления, приводимого в действие тепловым или электромагнитным расцепителем. Причиной такого срабатывания является перегрузка или короткое замыкание.

9.5. Характеристики автоматических выключателей

Зависимость времени срабатывания автомата от тока, протекающего через автомат, определяется времятоковой характеристикой автоматического выключателя. На корпусах модульных автоматов имеется изображение латинских букв **B, C, D**. Они характеризуют кратность уставки электромагнитного расцепителя к номиналу автомата, обозначая его время токовую характеристику.

Эти буквы указывают ток мгновенного срабатывания электромагнитного расцепителя автомата.

Характеристика срабатывания автоматического выключателя показывает чувствительность автомата – наименьший ток при котором автомат отключится мгновенно.

Автоматы имеют несколько характеристик, самыми распространенными из которых являются:

- **B** — от 3 до $5 \times I_h$;
- **C** — от 5 до $10 \times I_h$;
- **D** — от 10 до $20 \times I_h$

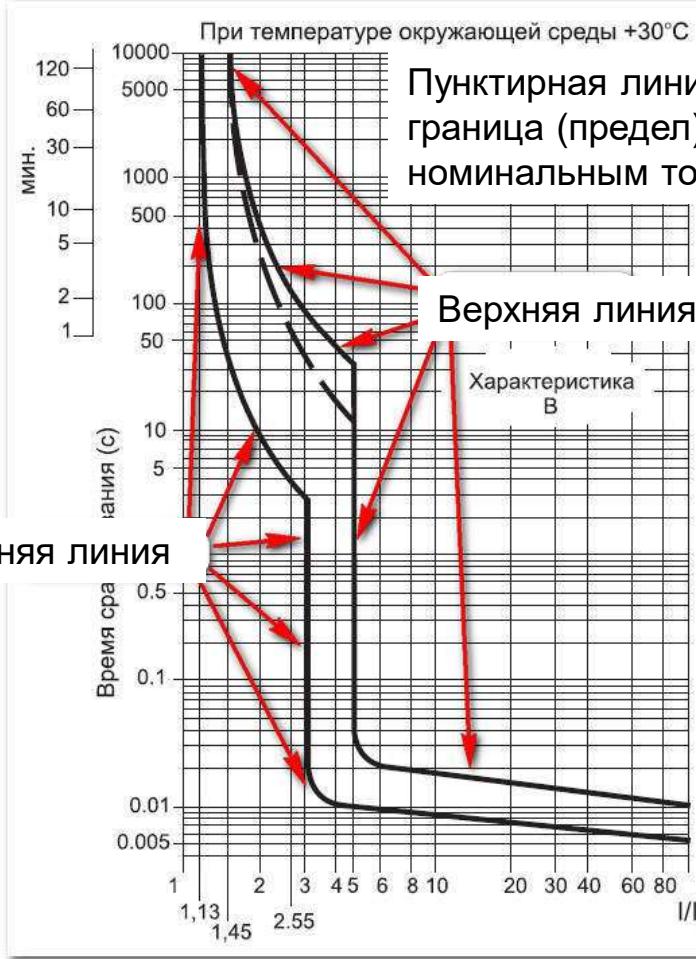
Т.е. для двух автоматов одной мощности диапазоны срабатывания электромагнитного расцепителя для **B16** составляет $16 \times (3\dots5) = 48\dots80$ А, а для **C16** диапазон токов мгновенного срабатывания $16 \times (5\dots10) = 80\dots160$ А.

При токе 100 А автомат **B16** отключится практически мгновенно, в то время как **C16** отключится не сразу, а через несколько секунд от тепловой защиты (после того как нагреется его биметаллическая пластина).

В жилых зданиях и квартирах, где нагрузки чисто активные (без больших пусковых токов), а какие-нибудь мощные моторы включаются нечасто, самыми чувствительными и предпочтительными к применению являются автоматы с характеристикой **В**.

На сегодняшний день очень распространена характеристика **С**, которую также можно использовать для жилых и административных зданий.

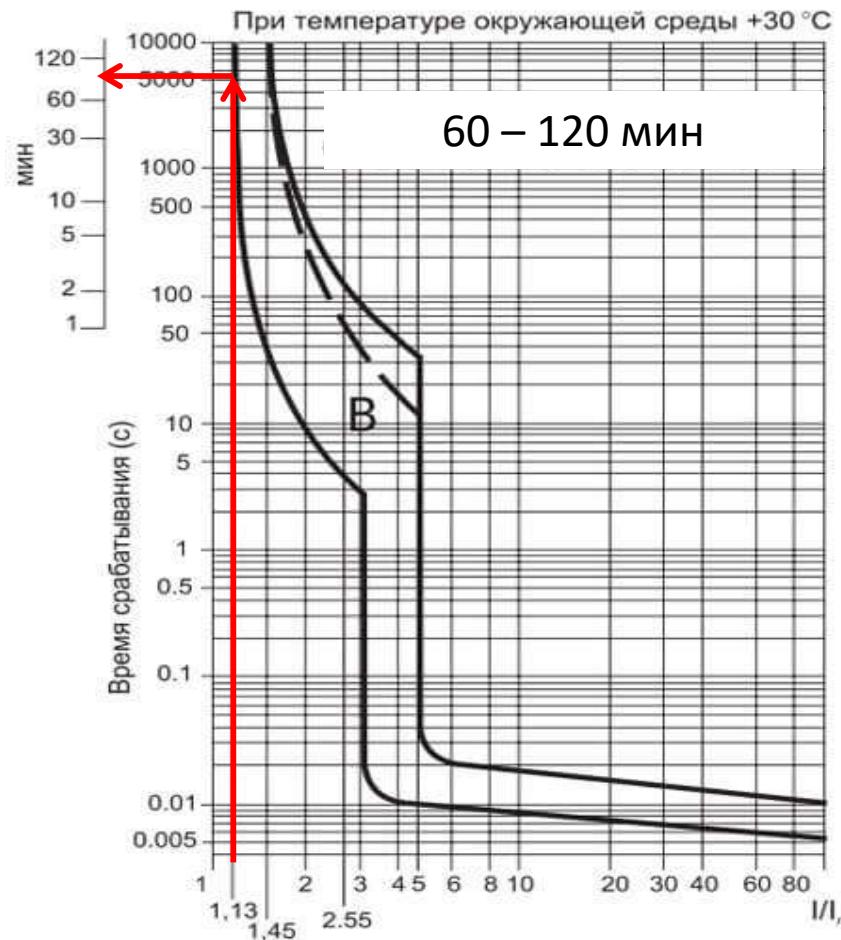
Характеристики **Д**, как раз годится для питания каких-либо электромоторов, больших двигателей и других устройств, где могут быть при их включении большие пусковые токи. Также через пониженную чувствительность при КЗ автоматы с характеристикой **Д** могут быть рекомендованы для использования как вводные для повышения шансов селективности со стоящими ниже групповыми АВ при КЗ.



Верхняя линия — это холодное состояние, т.е. без предварительного пропускания тока через автомат, а **нижняя линия** — это горячее состояние автомата, который только что был в работе или сразу же после его срабатывания.

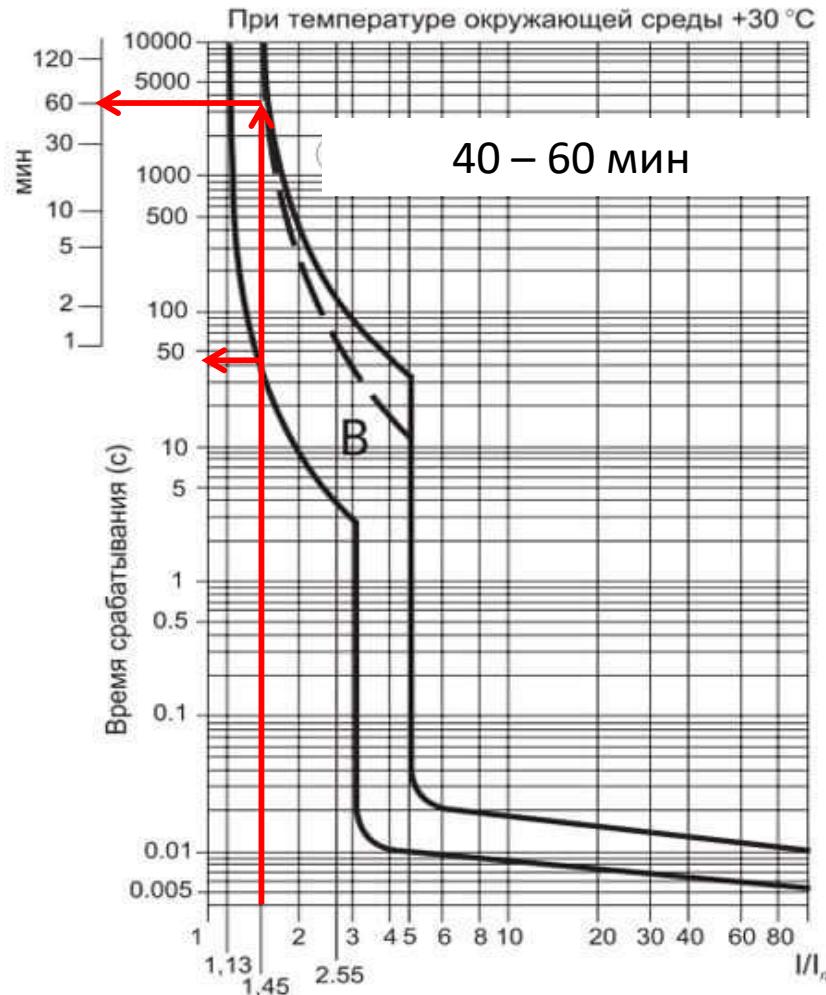
Токи условного нерасцепления ($1,13 \cdot I_n$)

У каждого автомата есть такое понятие, как «условный ток нерасцепления» и он всегда равен $1,13 \cdot I_n$. При таком токе **автомат не отключится** в течение 1 часа (для автоматов с номинальным током менее 63А) и в течение 2 часов (для автоматов с номинальным током более 63А).



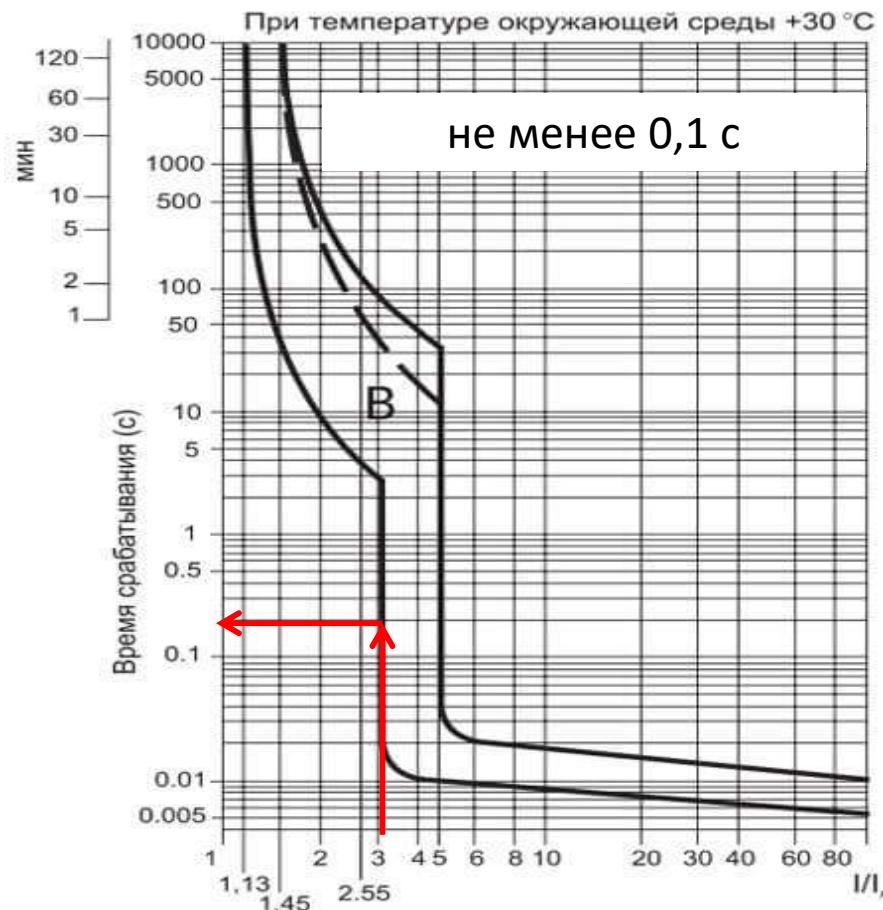
Токи условного расцепления ($1,45 \cdot I_n$)

Условный ток расцепления автомата и он всегда равен $1,45 \cdot I_n$. При таком токе автомат отключится за время не более 1 часа (для автоматов с номинальным током менее 63А) и за время не более 2 часов (для автоматов с номинальным током более 63А).

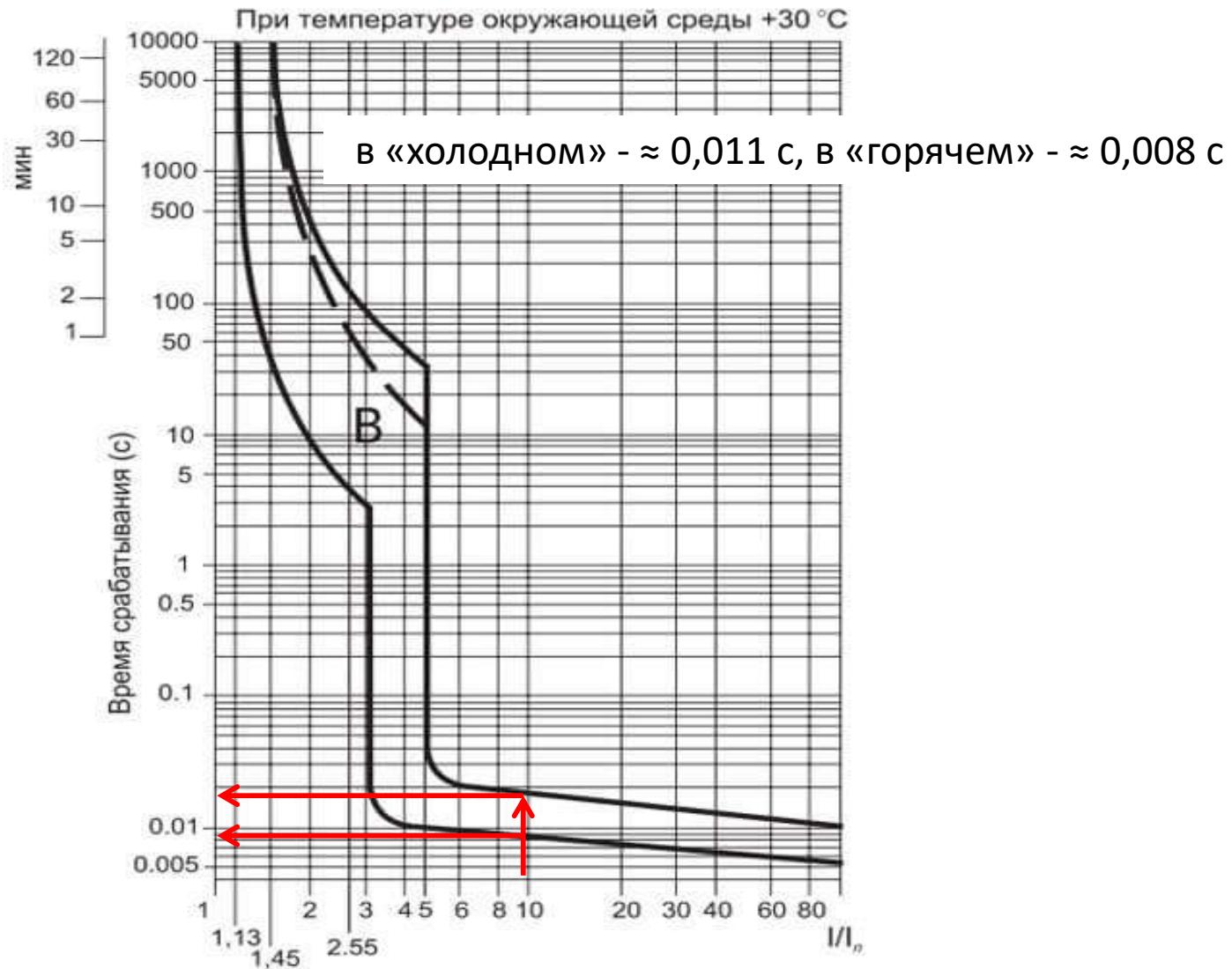


Токи расцепления при $3 \cdot I_n$

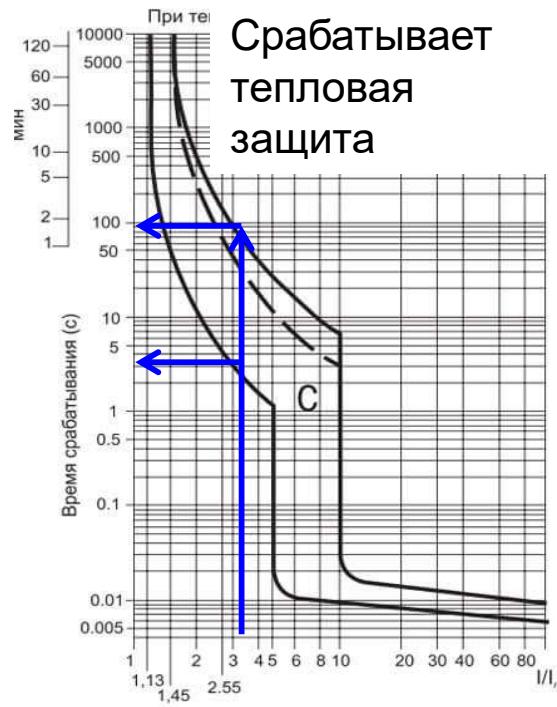
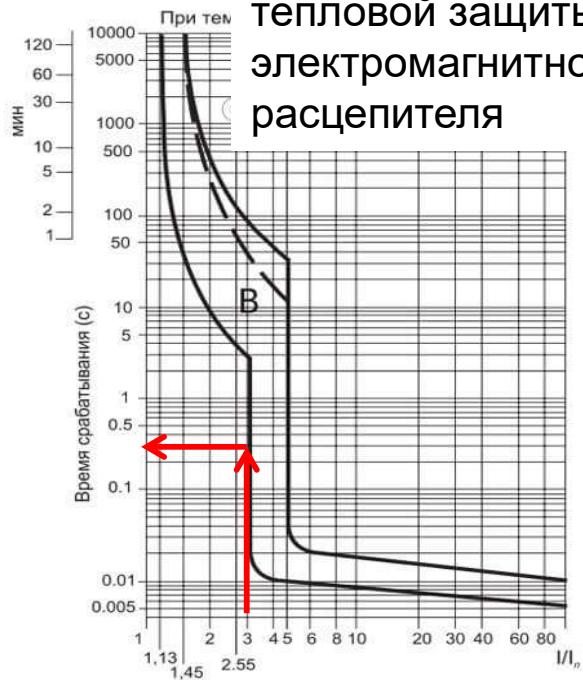
Согласно ГОСТ Р 50345-99, п.9.10.2.1 и таблицы № 6, если через автоматический выключатель будет проходить ток, равный $3 \cdot I_n$, то он должен отключиться за время не менее 0,1 секунды. Верхний предел по времени ГОСТ Р 50345-99 не определен, и у автоматов разных производителей здесь может наблюдаться не большой разброс в пределах от 1 до 10 секунд.



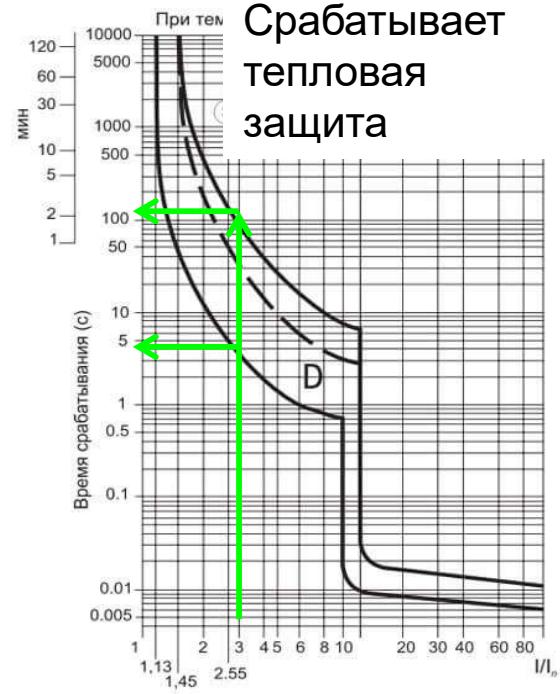
Токи расцепления при $10 \cdot I_n$



Есть вероятность
срабатывания и
тепловой защиты и
электромагнитного
расцепителя



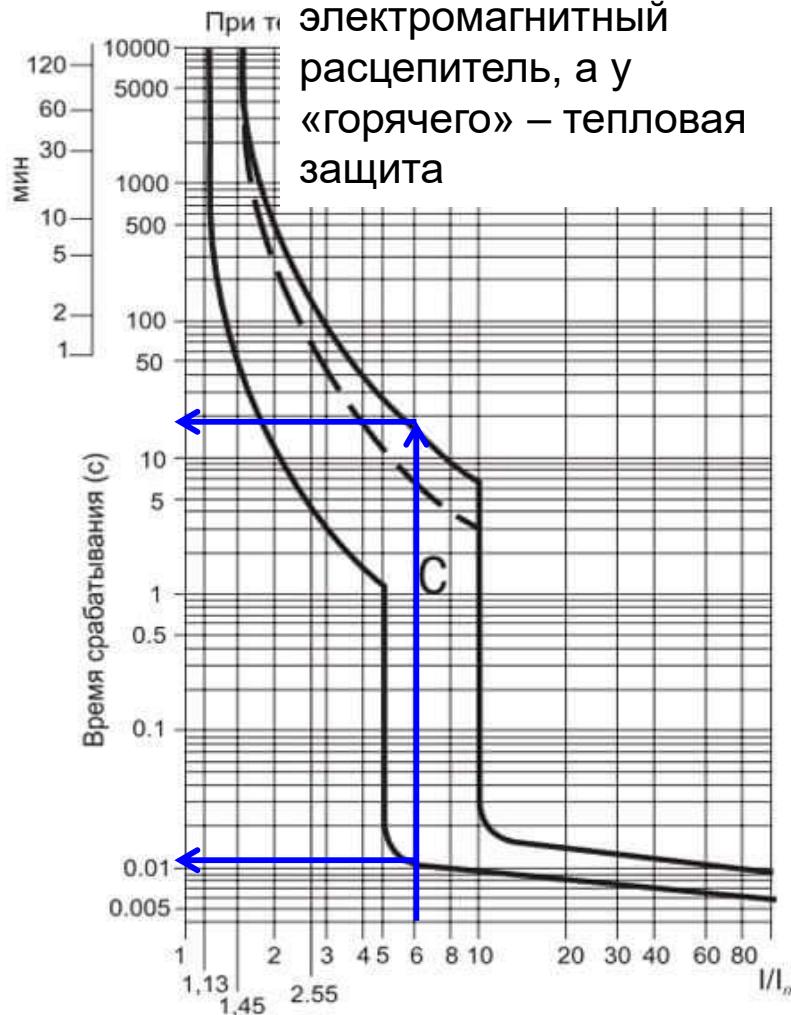
Срабатывает
тепловая
защита



Срабатывает
тепловая
защита

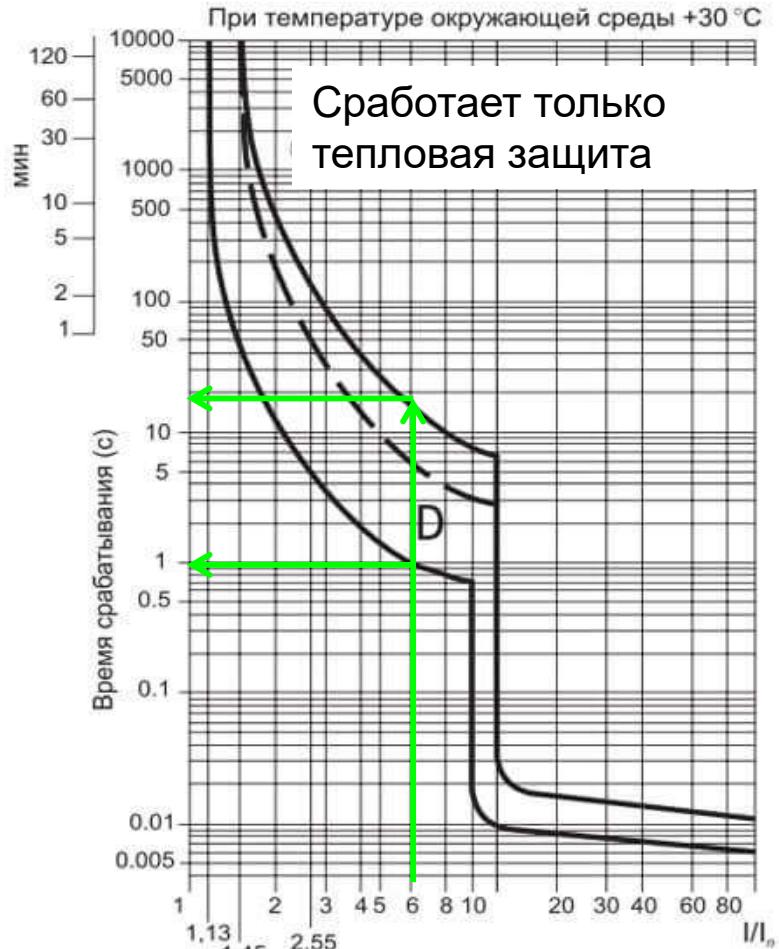
При $6 \cdot I_n$ у «холодного»
сработает

электромагнитный
расцепитель, а у
«горячего» – тепловая
защита



При температуре окружающей среды +30 °C

Сработает только
тепловая защита



10. РАСЧЕТ И ВЫБОР АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ И ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

10.1. Методика расчета

Для выбора аппарата защиты нужно знать ток в линии, где он установлен, тип его и число фаз.

10.1.1. Токи в линии

Токи (в амперах) в линии определяются по формулам:

1.

$$I_T = \frac{S_m}{\sqrt{3} U_{n.m}} \quad - \text{сразу после трансформатора},$$

где S_T – номинальная мощность трансформатора, кВА; $U_{n.T}$ – номинальное напряжение трансформатора (принимается равным 0,4 кВ), кВ.

2.

$$I_{PY} = \frac{S_{M.PY}}{\sqrt{3} U_{H.PY}} \quad - \text{линия к РУ (РП или шинопровод),}$$

где $S_{M.PY}$ – максимальная расчетная мощность РУ, кВА; $U_{H.PY}$ – номинальное напряжение РУ (принимается равным 0,38 кВ), кВ.

3.

$$I_D = \frac{P_D}{\sqrt{3} U_{H.D} \eta_D \cos \varphi} \quad - \text{линия к ЭД переменного тока,}$$

где P_D – номинальная мощность ЭД переменного тока, кВт; $U_{H.D}$ – номинальное напряжение ЭД переменного тока, кВ; η_D – КПД ЭД, отн. ед.

Примечание. Если ЭД режима S3, то $P_D = P_S \sqrt{PB}$.

10.1.2. Автоматические воздушные выключатели

Автоматы выбираются согласно условиям:

$I_{\text{н.а}} \geq I_{\text{н.р}}$; $I_{\text{н.р}} \geq I_{\text{дл}}$ – для линии без ЭД;

$U_{\text{н.а}} \geq U_c$; $I_{\text{н.р}} \geq 1,25 I_{\text{дл}}$ – для линии с одним ЭД;

$I_{\text{н.а}} \geq I_{\text{н.р}}$; $I_{\text{н.р}} \geq 1,1 I_m$ – для групповой линии с несколькими ЭД,

где $I_{\text{н.а}}$ - номинальный ток автомата, А; $I_{\text{н.р}}$ - номинальный ток расцепителя, А; $I_{\text{дл}}$ - длительный ток в линии, А; I_m - максимальный ток в линии, А; $U_{\text{н.а}}$ -номинальное напряжение автомата, В; U_c - напряжение сети, В.

Кратность отсечки

$$K_O = \frac{I_o}{I_{н.р}}$$

$I_o \geq I_{дл}$ – для линии без ЭД;

$I_o \geq 1,2 I_p$ – для линии с одним ЭД;

$I_o \geq 1,2 I_{пик}$ – для групповой линии с несколькими ЭД,

где I_o – ток отсечки, А; I_p – пусковой ток, А; $I_{пик}$ – пиковый ток, А.

$$I_p = K_p I_{н.д}$$

где K_p – кратность пускового тока; для АД $K_p = 6,5...7,5$; для СД и ДПТ $K_p = 2,0...3,0$; $I_{н.д}$ – номинальный ток, А; $I_{пик}$ – пиковый ток, А:

$$I_{пик} = I_{п.нб} + I_M - I_{н.нб}$$

где $I_{п.нб}$ – пусковой ток наибольшего по мощности ЭД; $I_{н.нб}$ – номинальный ток наибольшего по мощности в группе, А; I_M – максимальный ток на группу, А.

Зная $I_{н.а}$ выбирается тип автомата и выписываются все данные из каталога.

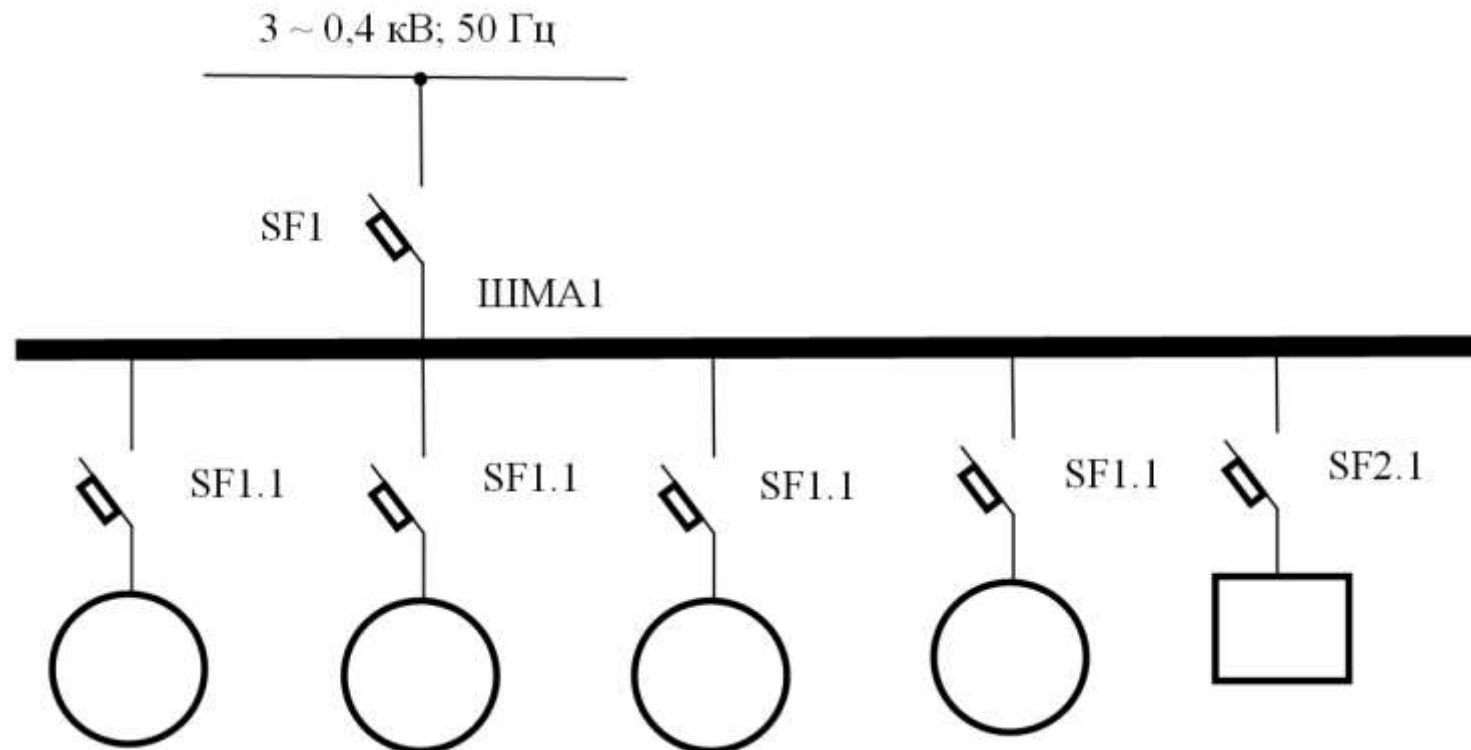
Пример. Линия с автоматом типа ВА и РУ типа ШМА

Дано: Электроприемник 1 - вентиляционная установка

$P_{\text{ном.1}} = 14.0 \text{ кВт}$; $n_1 = 4 \text{ шт.}$; $K_{\text{и.1}} = 0,7$; $\cos\varphi = 0,8$; $\operatorname{tg}\varphi = 1,175$; $\lambda_{\pi 1} = 6,5$.

Электроприемник 2 - печь индукционная

$P_{\text{ном.2}} = 8.0 \text{ кВт}$; $n_2 = 1 \text{ шт.}$; $K_{\text{и.2}} = 0,75$; $\cos\varphi = 0,35$; $\operatorname{tg}\varphi = 2,67$



Решение**1. Определяем
нагрузки**

Электроприемник 1

$$\cos(0.75) = 41.41^\circ \quad \sin(41.41^\circ) = 0.661 \quad \tan\varphi_1 := \frac{0.881}{0.75} = 1.175$$

установленные

$$P_{priv1} := P_{nom1} \cdot 1 = 15 \quad P_{priv14} := P_{nom1} \cdot n1 = 60$$

средние за смену

$$P_{cp.cm1} := P_{priv1} \cdot Ku1 = 10.5 \quad P_{cp.cm14} := P_{priv1} \cdot Ku1 \cdot n1 = 42$$

$$Q_{cp.cm1} := P_{cp.cm1} \cdot \tan\varphi_1 = 12.334 \quad Q_{cp.cm14} := P_{cp.cm14} \cdot \tan\varphi_1 = 49.336$$

$$S_{cp.cm1} := \sqrt{P_{cp.cm1}^2 + Q_{cp.cm1}^2} = 16.198$$

$$S_{cp.cm14} := \sqrt{P_{cp.cm14}^2 + Q_{cp.cm14}^2} = 64.792$$

Ток

$$I_{nom1} := \frac{P_{priv1} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{nom}} = 22.79 \quad I_{nyc1} := \lambda n1 \cdot I_{nom1} = 148.136$$

Электроприемник 2

$$\cos(0.35) = 69.513^\circ \quad \sin(69.513^\circ) = 0.937 \quad \tan\varphi_2 := \frac{0.937}{0.35} = 2.677$$

$$P_{ном2} := 8 \quad K_u2 := 0.75 \quad n2 := 1 \\ \cos\varphi_2 := 0.35 \quad \tan\varphi_2 := 2.67$$

установленные

$$P_{приv2} := P_{ном2} \cdot 1 = 8 \quad P_{приv21} := P_{ном2} \cdot n2 = 8$$

$$P_{ср.см21} := P_{приv2} \cdot K_u2 \cdot n2 = 6$$

средние за смену

$$Q_{ср.см21} := P_{ср.см21} \cdot \tan\varphi_2 = 16.02$$

$$S_{ср.см21} := \sqrt{P_{ср.см21}^2 + Q_{ср.см21}^2} = 17.107$$

Ток

$$I_{ном2} := \frac{P_{приv2} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = 12.155$$

Всего по ШМА1

Нагрузка

установленная

$$P_{уст.шма1} := P_{приv14} + P_{приv21} = 68$$

средний Кп

$$K_u.ср.шма1 := \frac{K_u1 \cdot n1 + K_u2 \cdot n2}{n1 + n2} = 0.71 \quad K_u.ср.шма1 > 0.2 = 1$$

средний $\cos\varphi$

$$\cos\varphi_{ср.шма1} := \frac{\cos\varphi_1 \cdot n1 + \cos\varphi_2 \cdot n2}{n1 + n2} = 0.71 \quad \text{верно}$$

средний $\tan\varphi$

$$\tan\varphi_{ср.шма1} := \frac{\tan\varphi_1 \cdot n1 + \tan\varphi_2 \cdot n2}{n1 + n2} = 1.474$$

Упрощенные варианты определения n_3 - эффективное число электроприемников

n	$K_{и,ср}$	m	P_h	Формула n_3
1	2	3	4	5
< 5	$\geq 0,2$	≥ 3	Переменная	$n_3 = \frac{(\sum_1^n P_h)^2}{\sum_1^n P_h^2}$
≥ 5	$\geq 0,2$	≥ 3	Постоянная	$n_3 = n$
≥ 5	$\geq 0,2$	< 3		$n_3 = n$

K_m – коэффициент максимума активной нагрузки; K_m' – коэффициент максимума реактивной нагрузки.

K_m' – коэффициент максимума реактивной нагрузки принимается при $n_3 \leq 10$ равным 1,1.

$K_m = F(K_{и}, n_3)$ определяется по таблицам (графикам).

Зависимость $K_m = F(K_{и}, n_3)$

n_3	Коэффициент использования, $K_{и}$									
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4	3,43	3,22	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14	1,05
5	-3,23	-2,87	-2,42	-2	-1,76	-1,57	-1,41	1,26	1,12	1,04
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,1	1,04
7	2,88	2,48	2,1	1,8	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09	1,04

$K_{и} = 0,71$, тогда $K_m \approx 1,25$.

Коэффицент сборки

$$m12 > 3$$

$$n\vartheta 12 = 5$$

Принимаем по Км = F

(Ки, нэ)

$$Km12 = 1,25$$

Km12peak=1,1, т.к.

$$n\vartheta < 10$$

$$m12 := \frac{P_{prie14}}{P_{prie21}} = 7.5 \quad m12 > 3 = 1 \quad \text{верно}$$

$$n\vartheta 12 := 5$$

$$Km12 := 1.25$$

$$Km12peak := 1.1$$

$$Pcp.cm.шма1 := Pcp.cm14 + Pcp.cm21 = 48$$

средняя за смену

$$Qcp.cm.шма1 := Qcp.cm14 + Qcp.cm21 = 65.356$$

$$Scp.cm.шма1 := Scp.cm14 + Scp.cm21 = 81.899$$

$$Pmax.шма1 := Pcp.cm.шма1 \cdot Km12 = 60$$

максимальная

$$Qmax.шма1 := Qcp.cm.шма1 \cdot Km12peak = 71.892$$

$$Smax.шма1 := \sqrt{Pmax.шма1^2 + Qmax.шма1^2} = 93.64$$

Ток максимальный по
ШМА1

$$I_{max.ШМА1} := \frac{S_{max.шма1} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = 142.271$$

**2. Выбираем SF1.1
серии ВА для
электроприемника 1**

$$I_{н.а} \geq I_{н.р}$$

$$I_{н.р} \geq 1,25 I_{ном}$$

$$I_o \geq 1,2 I_p$$

$$I_{н.а1} := I_{ном1} = 22.79$$

$$I_{н.р1} := 1.25 \cdot I_{ном1} = 28.488$$

$$I_{o1} := 1.2 \cdot I_{пуск1} = 177.763$$

кратность отсечки Ко

$$K_{о1} := \frac{I_{o1}}{I_{н.р1}} = 6.24$$

$$I_{тр} \geq 1,25 I_{н.а}$$

$$I_{тр1} := 1.25 \cdot I_{н.а1} = 28.488$$

Принимаем SF1.1 типа ВА 51-31 со следующими техническими характеристиками
 $I_{н.а} = 100 \text{ А}$; $I_{н.р} = 40 \text{ А}$; $K_{эл.р} = 7$; $K_{т.р} = 1,2$

Проверка

$$I_{н.а1} := 100 \quad I_{н.р1} := 40 \quad K_{эл.р1} := 7 \quad K_{т.р1} := 1.2$$

$$I_{н.а1} \geq I_{н.р1} = 1 \quad \text{верно} \quad I_{н.р1} \geq 1.25 \cdot I_{ном1} = 1 \quad \text{верно}$$

$$I_{пуск1} = 148.136 \quad K_{эл.р1} \cdot I_{н.р1} = 280 \quad I_{пуск1} < K_{эл.р1} \cdot I_{н.р1} = 1 \quad \text{верно}$$

Технические данные автоматических выключателей серии ВА

Тип	Номинальный ток, А		Кратность уставки		$I_{откл,кA}$
	$I_{н.а}$	$I_{н.расп}$	$K_y(т.р)$	$K_y(эм.р)$	
1	2	3	4	5	6
BA 51-25		0,3; 0,4; 0,5; 0,6 ; 0,8 ; 1,0; 1,25; 1,6 2,0; 2,5; 3,15; 4;5 6,3; 8 10; 12,5 16; 20; 25		14	3 1,5 2 7, 10 2,5 3,0
BA 51-25	25			1,2	2 2,5 3,5 5 3 2 2,5 3,8 6 7
BA 51-31-1 BA 51Г-31		6,3; 8; 10; 12 10 20; 25 31,5; 40; 50; 63 80; 100 6,3; 8		3, 7, 10	2 2,5 3,5 5 3 2 2,5 3,8 6 7
BA 51-31 BA 51Г-31	100				
BA 51-33 BA 51Г-33	160	80; 100; 125; 160		10	12,5
BA 51-35	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	1,25	12	15
BA 51-37	400	250; 320; 400		10	25
BA 51-39	630	400; 500; 630			35
BA 52-31 BA 52Г-31	100	16; 20; 25; 31,5; 40 50; 63 80; 100	1,35	3, 7, 10	12 15 18 25
BA 52-33 BA 52Г-33	160	80; 100 125; 160		10	28 35
BA 52-35	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	1,25	12	30
BA 52-37	400	250; 320; 400			40
BA 52-39	630	250; 320; 400; 500; 630		10	
BA 53-37 BA 53Г-37	160, 250 400				20

3. Выбираем SF2.1 серии ВА

для электроприемника 2

$$I_{\text{н.а}} \geq I_{\text{н.р}}$$

$$I_{\text{н.р}} \geq I_{\text{ном}}$$

$$I_{\text{н.а2}} := I_{\text{ном2}} = 12.155$$

$$I_{\text{н.р2}} := I_{\text{н.а2}} = 12.155$$

Т.к. индукционная печь не имеет пусковых токов за расчетное значение принимается номинальный ток, определенный из установленной мощности.

Принимаем SF2.1 типа ВА 51-25 со следующими техническими характеристиками

$$I_{\text{н.а}} = 25 \text{ А}; I_{\text{н.р}} = 12.5 \text{ А}; K_{\text{эл.р}} = 7; K_{\text{т.р}} = 1.2$$

Проверка

$$I_{\text{н.а2}} = 25 \quad I_{\text{н.р2}} = 12.5 \quad K_{\text{эл.р2}} = 7 \quad K_{\text{т.р2}} = 1.2$$

$$I_{\text{н.а2}} \geq I_{\text{н.р2}} = 1 \quad \text{верно} \quad I_{\text{н.р2}} \geq I_{\text{ном2}} = 1 \quad \text{верно}$$

4. Выбор SF1 для ШМА1

I_{н.а} ≥ I_{н.р} ; I_{н.р} ≥ 1,1 I_м – для групповой линии с несколькими ЭД

$$I_{\text{max.ШМА1}} = 142.271$$

$$I_{\text{н.р.ШМА1}} := 1.1 \cdot I_{\text{max.ШМА1}} = 156.498$$

$$I_{\text{н.а.ШМА1}} := I_{\text{н.р.ШМА1}} = 156.498$$

Определяем кратность отсечки

I_о ≥ 1,2 I_{пик} – для групповой линии с несколькими ЭД, где I_{пик}

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{П.нб}} + I_{\text{М}} - I_{\text{Н.нб}}$$

где I_{П.нб} – пусковой ток наибольшего по мощности ЭД; I_{н.нб} – номинальный ток наибольшего по мощности в группе, А; I_м – максимальный ток на группу, А.

$$I_{\text{пик.ШМА1}} := I_{\text{пуск1}} + I_{\text{max.ШМА1}} - I_{\text{ном1}} = 267.617$$

$$I_{\text{o.ШМА1}} := 1.2 \cdot I_{\text{пик.ШМА1}} = 321.14$$

кратность отсечки Ko

$$Ko.ШМА1 := \frac{I_{\text{o.ШМА1}}}{I_{\text{н.р.ШМА1}}} = 2.052$$

$$I_{\text{tp}} \geq 1,25 I_{\text{на}}$$

$$Imp.ШМА1 := 1.25 \cdot I_{\text{н.р.ШМА1}} = 195.622$$

Принимаем SF1 типа ВА 52-35 со следующими техническими характеристиками
 $I_{н.а} = 250 \text{ А}$; $I_{н.р} = 200 \text{ А}$; $K_{эл.р} = 12$; $K_{т.р} = 1,25$

Проверка

$$I_{н.а.ШМА1} := 250 \quad I_{н.р.ШМА1} := 200 \quad K_{эл.р.ШМА1} := 10 \quad K_{т.р.ШМА1} := 1.25$$

$$I_{н.а.ШМА1} \geq I_{н.р.ШМА1} = 1 \quad \text{верно} \quad I_{н.р.ШМА1} \geq 1.25 \cdot I_{max.ШМА1} = 1 \quad \text{верно}$$

$$I_{эл.р.ШМА1} := K_{эл.р.ШМА1} \cdot I_{н.р.ШМА1} = 2 \cdot 10^3$$

$$I_{т.р.ШМА1} := K_{т.р.ШМА1} \cdot I_{н.р.ШМА1} = 250$$

$$I_{пик.ШМА1} \leq I_{эл.р.ШМА1} = 1 \quad \text{верно}$$

11. КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

11.1. Короткое замыкание

Короткое замыкание (КЗ) — электрическое соединение двух точек электрической цепи с различными значениями потенциала, не предусмотренное конструкцией устройства и нарушающее его нормальную работу. Короткое замыкание может возникать в результате нарушения изоляции токоведущих элементов или механического соприкосновения неизолированных элементов.

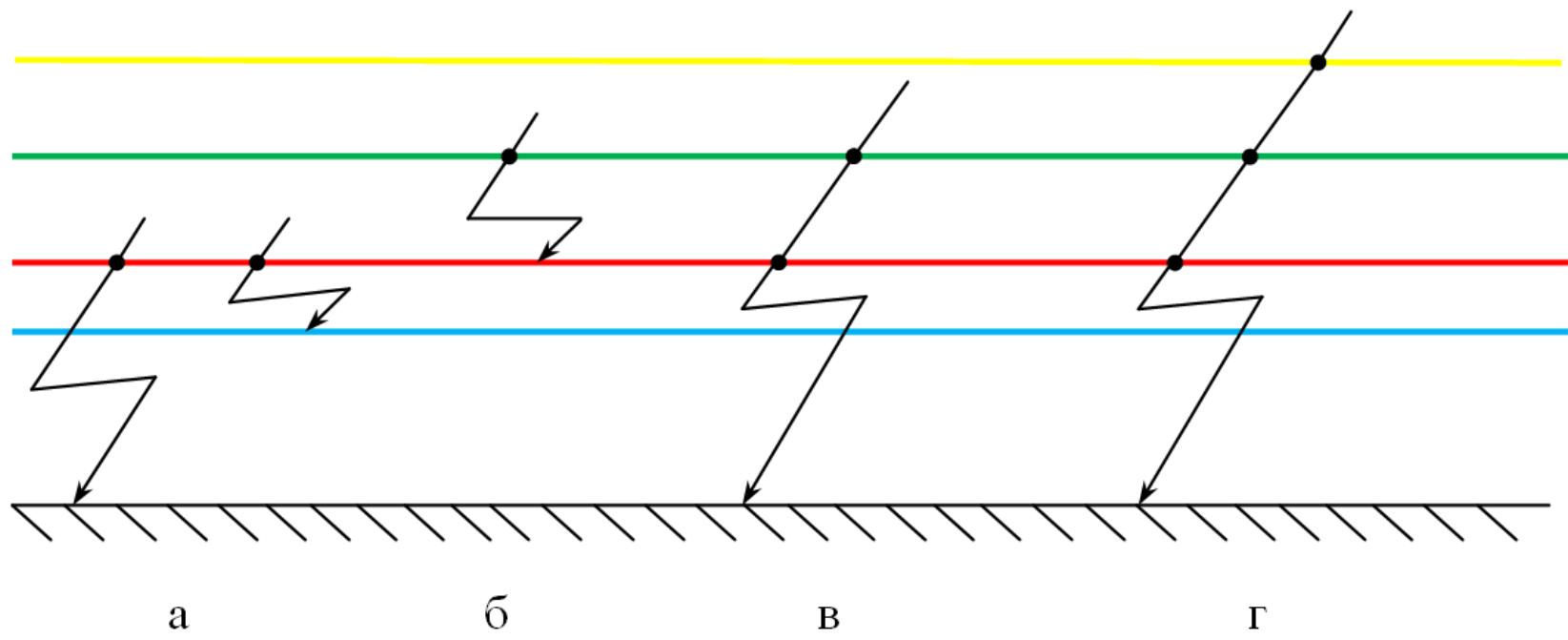
Однофазное короткое замыкание (вероятность $\approx 65\%$) — короткое замыкание на землю в трехфазной электроэнергетической системе с глох- или эффективно заземленными нейтралями силовых элементов, при котором с землей соединяется только одна фаза — рис. а.

Двухфазное короткое замыкание (вероятность $\approx 10\%$) — короткое замыкание между двумя фазами в трехфазной электроэнергетической системе — рис. б.

Двухфазное короткое замыкание на землю (вероятность $\approx 20\%$) — короткое замыкание на землю в трехфазной электроэнергетической системе с глох- или эффективно заземленными нейтралями силовых элементов, при котором с землей соединяются две фазы — рис. в.

Двойное короткое замыкание на землю — совокупность двух однофазных коротких замыканий на землю в различных, но электрически связанных частях электроустановки.

Трехфазное короткое замыкание (вероятность $\approx 5\%$) — короткое замыкание между тремя фазами в трехфазной электроэнергетической системе — рис. г.



11.2. Расчет токов короткого замыкания (по ГОСТ 28249-93 и РД 153-34.0-20.527-98)

Короткие замыкания есть случайные события.

Совокупность параметров режима короткого замыкания образует множество вероятностных параметров.

При расчетах токов КЗ в электроустановках до 1 кВ необходимо учитывать:

индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи, включая силовые трансформаторы, проводники, трансформаторы тока, реакторы, токовые катушки автоматических выключателей;

активные сопротивления элементов короткозамкнутой цепи;

активные сопротивления различных контактов и контактных соединений;

значения параметров синхронных и асинхронных электродвигателей.

Токи КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ рекомендуется рассчитывать в именованных единицах.

12. МЕХАНИКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА

12.1. Уравнение механического движения

Согласно второму закону Ньютона (1687 г.)
преобразованному для тел вращения:

$$M - M_c = M_{дин}, \quad (12.1)$$

где M – момент движения (вращающий момент), Н · м; M_c –
момент сопротивления, Н · м; $M_{дин}$ – динамический
момент, Н · м. Уравнение (12.1) в электроприводе
получило также название **уравнение движения** или
основное уравнение электропривода.

Согласно уравнению движения, если $M > M_c$, то $M_{дин} > 0$ и электропривод находится в состоянии ускорения. Если $M < M_c$, то $M_{дин} < 0$ – электропривод замедляется или тормозится. И, наконец, если $M = M_c$, то $M_{дин} = 0$ – электропривод находится в состоянии покоя или равномерного установившегося движения. Таким образом, динамический момент проявляется и действует только в переходных режимах при ускорении и замедлении электропривода. То есть тогда, когда меняется кинетическая энергия электропривода.

Выражение для определения динамического момента $M_{\text{дин}}$ найдем из уравнения, определяющего запас кинетической энергии во вращающемся теле:

$$A = \frac{J\omega}{2}$$

где $J = m \cdot r^2$ – момент инерции тела, обладающего массой m , кг·м²; r – радиус вращающегося тела правильной цилиндрической формы, м.

Мощность, которую вращающиеся массы получают при ускорении электропривода или отдают при торможении:

$$P_{\text{дин}} = \frac{dA}{dt} = J \cdot \omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dJ}{dt}$$

Тогда динамический момент можно найти из выражения

$$M_{\text{дин}} = \frac{P_{\text{дин}}}{\omega} = J \cdot \omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega}{2} \cdot \frac{dJ}{dt}$$

В тех случаях, когда момент инерции электропривода J во времени не изменяется, вторым членом в правой части уравнения пренебрегают и динамический момент определяют по выражению

$$M_{\text{дин}} = J \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

Таким образом, динамический момент в электроприводе проявляется в большинстве практических случаев только при ускорении или замедлении.

В общем виде основное уравнение электропривода можно записать в виде:

$$M \pm M_c = J \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

«минус» – момент сопротивления противодействует вращению, «плюс» – способствует вращению.

12.2. Механические и электромеханические характеристики электродвигателей

Механической характеристикой электродвигателя

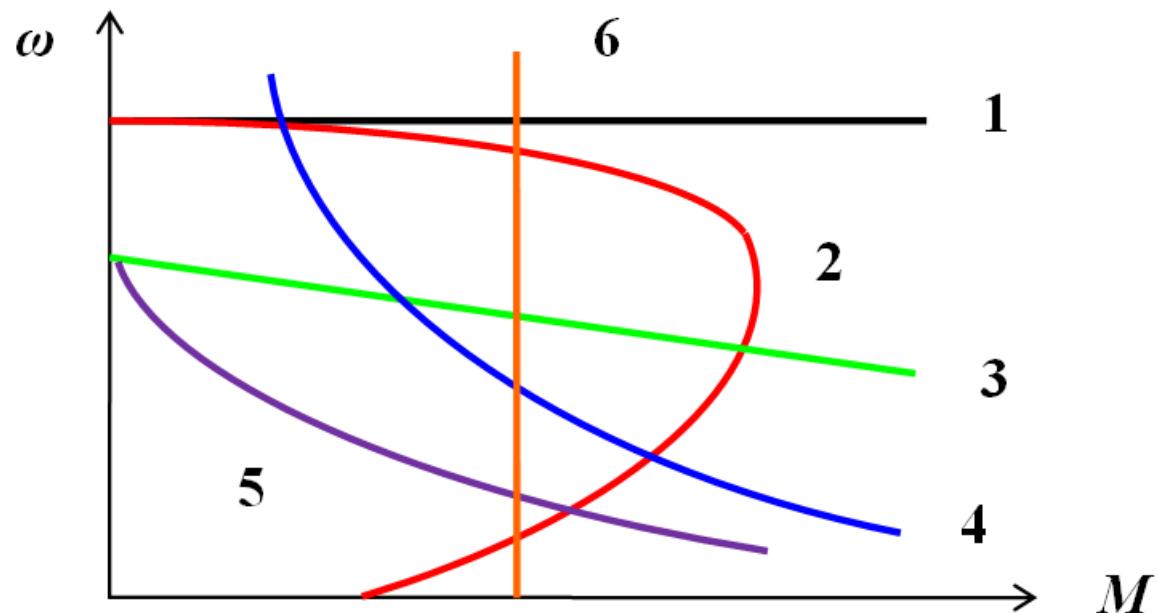
называется зависимость его угловой скорости от врачающего момента $\omega_d = f(M)$. Здесь следует иметь ввиду, что момент M на валу двигателя независимо от направления вращения имеет положительный знак - момент движущий (вращающий). Вместе с тем момент сопротивления M_c имеет знак отрицательный (не всегда).

Для оценки свойств механических характеристик электропривода используют понятие жесткости характеристики. Жесткость механической характеристики определяется по выражению

$$k_\beta = dM / d\omega \approx \Delta M / \Delta \omega$$

где dM – изменение момента двигателя; $d\omega$ – соответствующее изменение угловой скорости.

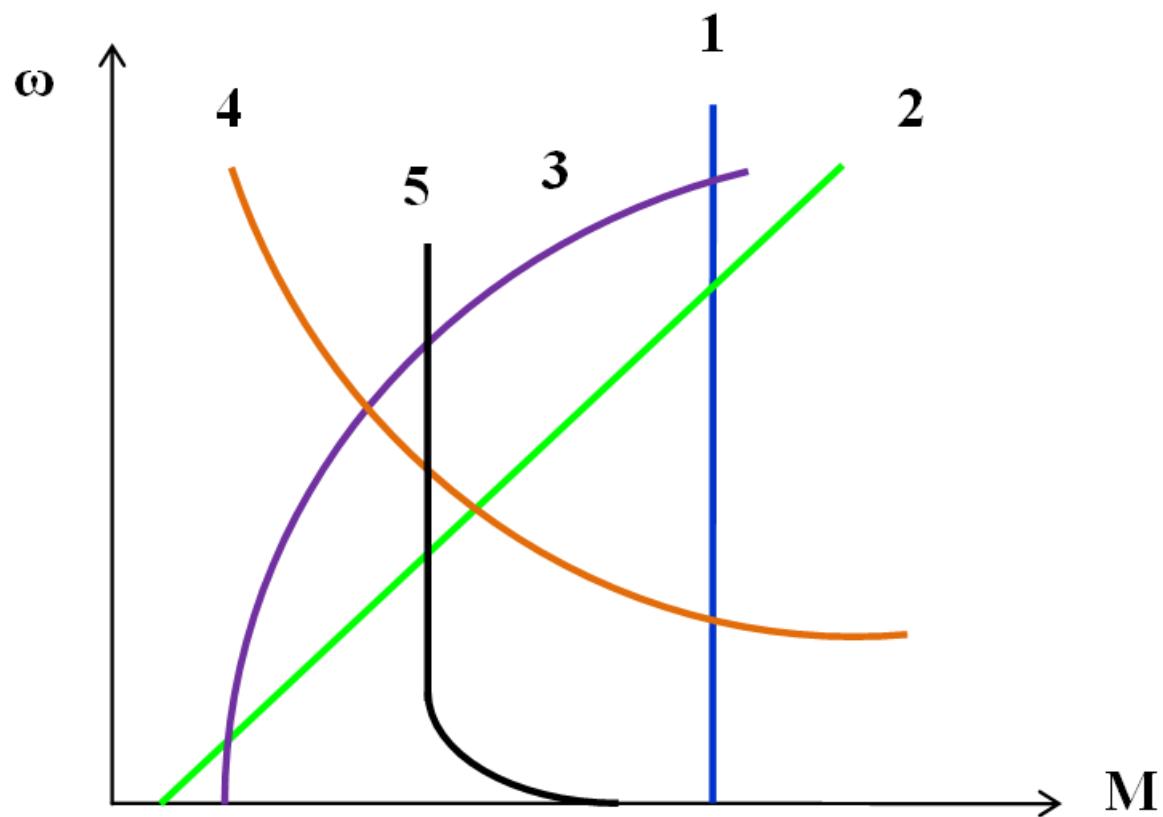
Используя это понятие, характеристики, приведенные на рис. 14.2, можно качественно оценить так: 1 – абсолютно жесткая ($k_\beta = \infty$); 2 и 3 – жесткая; 4 и 5 – мягкая.



12.3. Механические характеристики производственных механизмов

Под механической характеристикой производственного механизма (рабочей машины) будем понимать зависимость момента сопротивления M_c механизма от его угловой скорости: $M_c = f(\omega)$. При изображении механических характеристик двигателя и производственного механизма в одной системе координат их приводят к одной оси вращения, как правило, к валу двигателя.

Несмотря на большое разнообразие производственных механизмов, различающихся как по потребляемой мощности, так и по принципу действия, их механические характеристики можно разделить на пять основных типов



- $M_c = M_{c1} = Const$
- $M_c = M_{c2} + a \omega$
- $M_c = M_{c3} + b \omega x$
- $M_c = M_{c4} + c \omega^{-1}$

1. Независящая от угловой скорости механическая характеристика производственного механизма. К таким механизмам относятся те из них, у которых преобладающим моментом является момент от сил трения: механизмы подач металлорежущих станков, механизмы перемещения подъемных кранов, конвейеры, поршневые насосы.

$$M_c = M_{c1} = \text{Const},$$

где M_{c1} – момент сопротивления от сил трения в движущихся частях производственного механизма.

2. Линейно-возрастающая механическая характеристика производственного механизма. Такой характеристикой обладают генераторы постоянного тока, работающие на постоянную нагрузку, обжимные валки прокатных станов, гладильные машины.
Уравнение механической характеристики имеет вид

$$M_c = M_{c2} + a \omega,$$

где M_{c2} – момент сопротивления от сил трения в движущихся частях производственного механизма; a – коэффициент пропорциональности.

3. Нелинейно-возрастающая механическая характеристика производственного механизма. Такой характеристикой обладают механизмы с центробежным характером производственного процесса: вентиляторы, центробежные насосы, центрифуги, гребные винты. Уравнение механической характеристики имеет вид

$$M_c = M_{c3} + b \omega^x$$

где M_{c3} – момент сопротивления от сил трения в движущихся частях производственного механизма; b – коэффициент пропорциональности; x – показатель степени; при $x = 2$ – движение в газообразной среде, при $x = 3$ – движение в жидкости.

4. Нелинейно-спадающая механическая характеристика производственного механизма. Такой характеристикой обладают главные электроприводы обрабатывающих станков: металлообрабатывающих, фанерострогальных и др. В таких станках момент резания меняется обратно пропорционально скорости резания. Например, тонкое сверло – большая скорость вращения патрона, сверло большого диаметра – маленькая скорость вращения патрона. Уравнение механической характеристики имеет вид

$$M_c = M_{c4} + c \omega^{-1},$$

где M_{c4} – момент сопротивления от сил трения в движущихся частях производственного механизма; c – коэффициент пропорциональности.

5. Механическая характеристика производственного механизма с повышенным пусковым моментом. Такой характеристикой обладают миксеры, некоторые механизмы перемешивания жидких сред, например краски и другие. В таких механизмах, после того как в ограниченном пространстве начнет вращаться вся жидкость, момент сопротивления резко падает. В некоторых механизмах большой пусковой момент развивается в начале трогания, например, в электроприводе главного движения трамвая, электропоезда, механизма гайковертов при откручивании гаек. У таких механизмов в начале движения действуют большие межмолекулярные силы притяжения.

13. ЭЛЕКТРОПРИВОД С ДВИГАТЕЛЯМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

13.1. Регулирование скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Общие положения

Регулированием скорости электродвигателя называется

принудительное изменение скорости в зависимости от требований технологического процесса. Основными показателями, характеризующими различные способы регулирования скорости электродвигателя, являются:

- диапазон регулирования скорости;
- плавность регулирования скорости;
- погрешность регулирования скорости;
- направление регулирования скорости;
- допустимая нагрузка двигателя;
- экономичность.

Механические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения

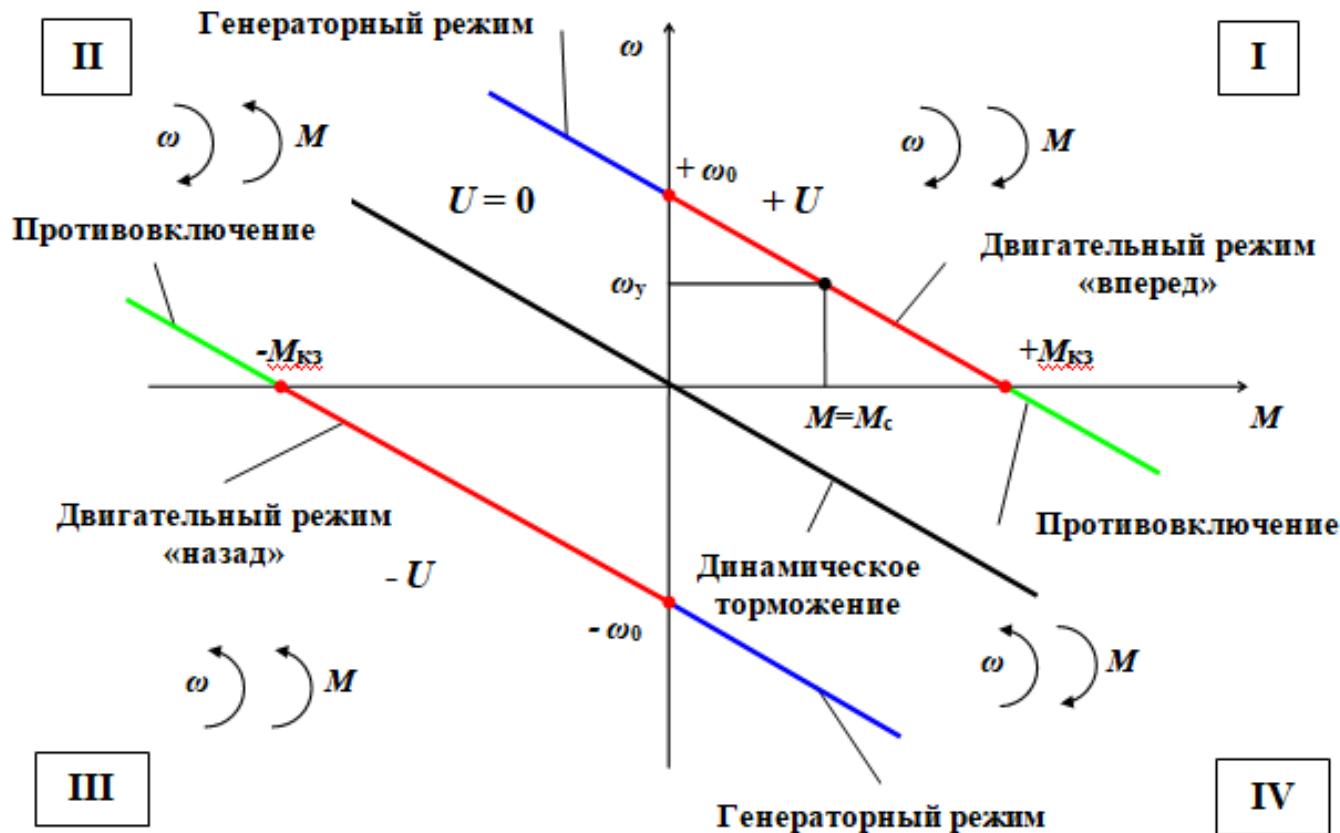


Схема включения двигателя постоянного тока независимого возбуждения (двигательный режим «вперед»)

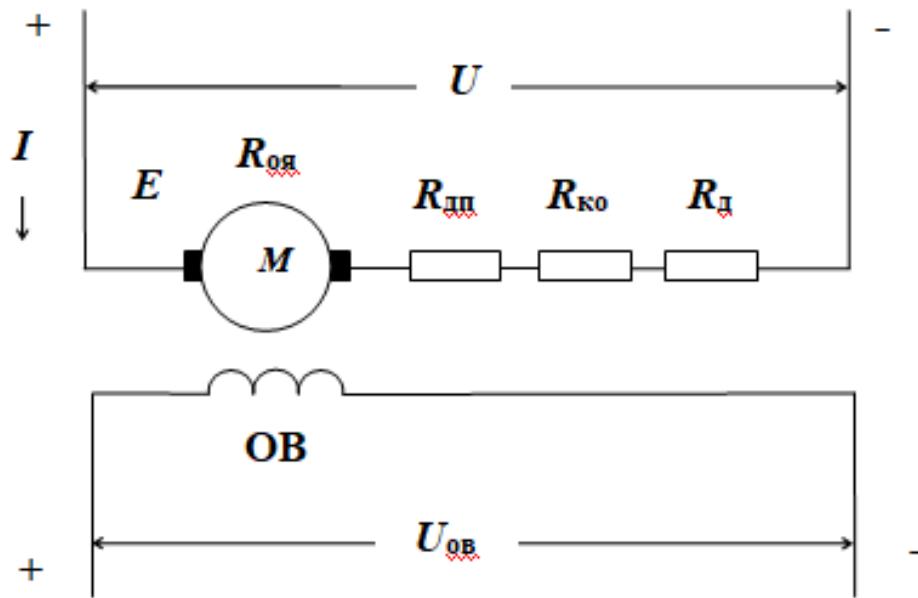


Схема включения двигателя постоянного тока независимого возбуждения (динамическое торможение)

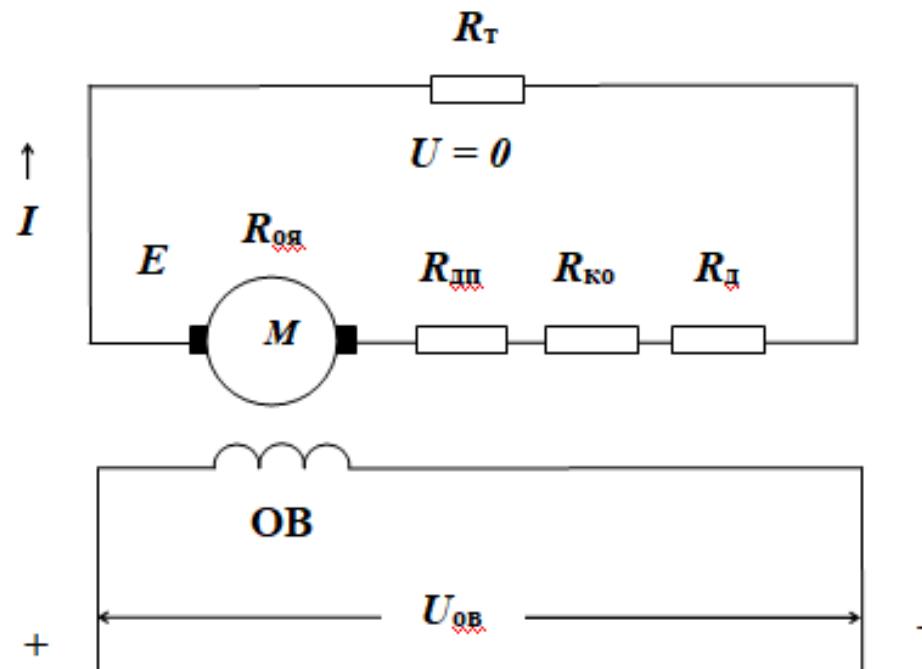
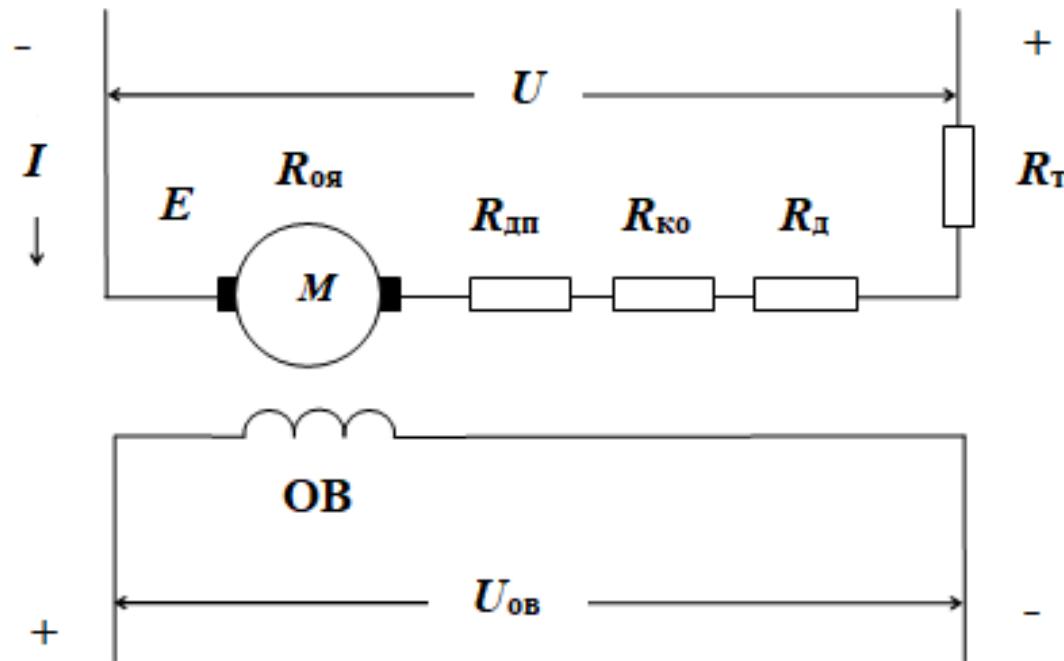


Схема включения двигателя постоянного тока независимого возбуждения (торможение противовключением)



Под диапазоном регулирования скорости D электропривода будем понимать отношение средних скоростей $\omega_{\text{max,ср}}$ и $\omega_{\text{min,ср}}$ электропривода при заданном диапазоне изменения нагрузки на валу двигателя.

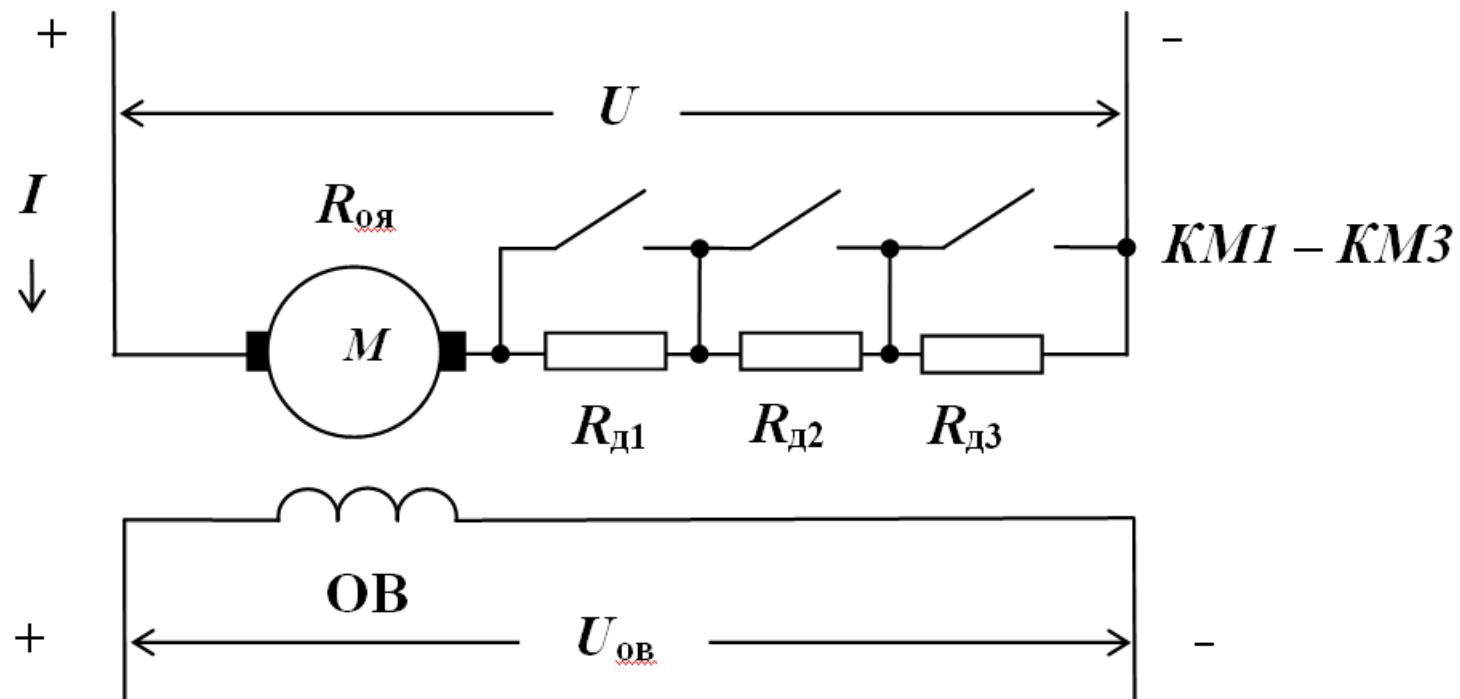
Плавностью регулирования $\Phi_{\text{пл}}$ скорости электропривода называется отношение разности двух соседних значений скорости ω_i и ω_{i-1} электропривода к ее номинальному значению.

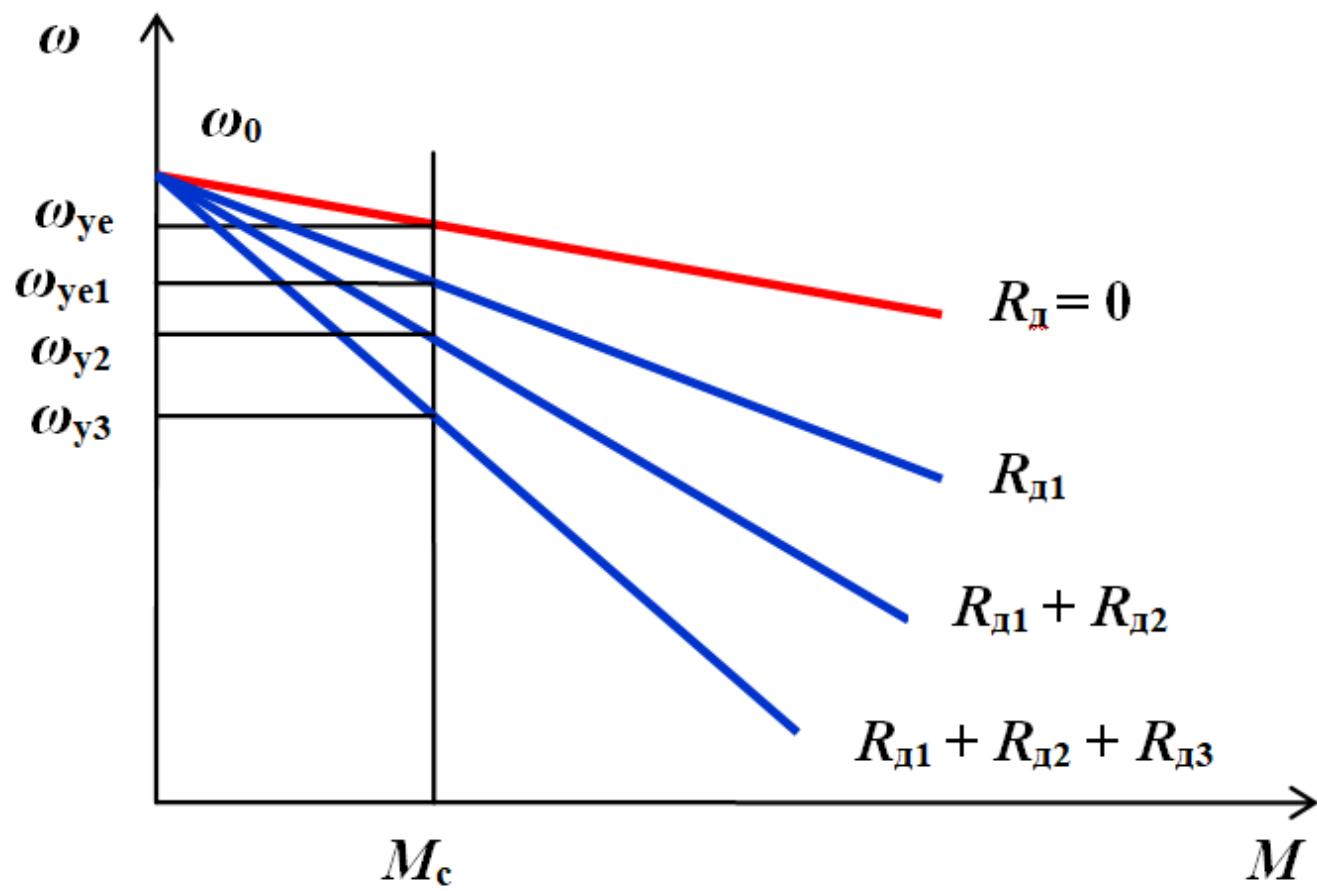
Погрешностью поддержания скорости электропривода называется отношение приращения скорости электропривода при изменении нагрузки от нуля до номинальной, к скорости при номинальной нагрузке.

Направление регулирования скорости, то есть уменьшение или увеличение ее по отношению к номинальной скорости, зависит от способа регулирования скорости.

Допустимой нагрузкой двигателя называется наибольшее значение момента, который двигатель способен развивать длительно при работе на регулировочной характеристике. Определяется нагревом двигателя и зависит от способа регулирования скорости

13.2. Регулирование скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения с помощью резисторов в цепи обмотки якоря





Реостатное регулирование скорости, как правило, ***ступенчатое*** и только с двигателями малой мощности возможно плавное регулирование скорости при включении в цепь якоря двигателя переменного реостата.

Регулирование скорости производится под нагрузкой.

Направление регулирования скорости – ***вниз*** от естественной характеристики. Установившиеся значения скорости ω_{y_i} под нагрузкой I_c уменьшаются с увеличением добавочного сопротивления в цепи обмотки якоря.

Диапазон регулирования скорости при номинальной нагрузке $D = 1/(3 - 4)$.

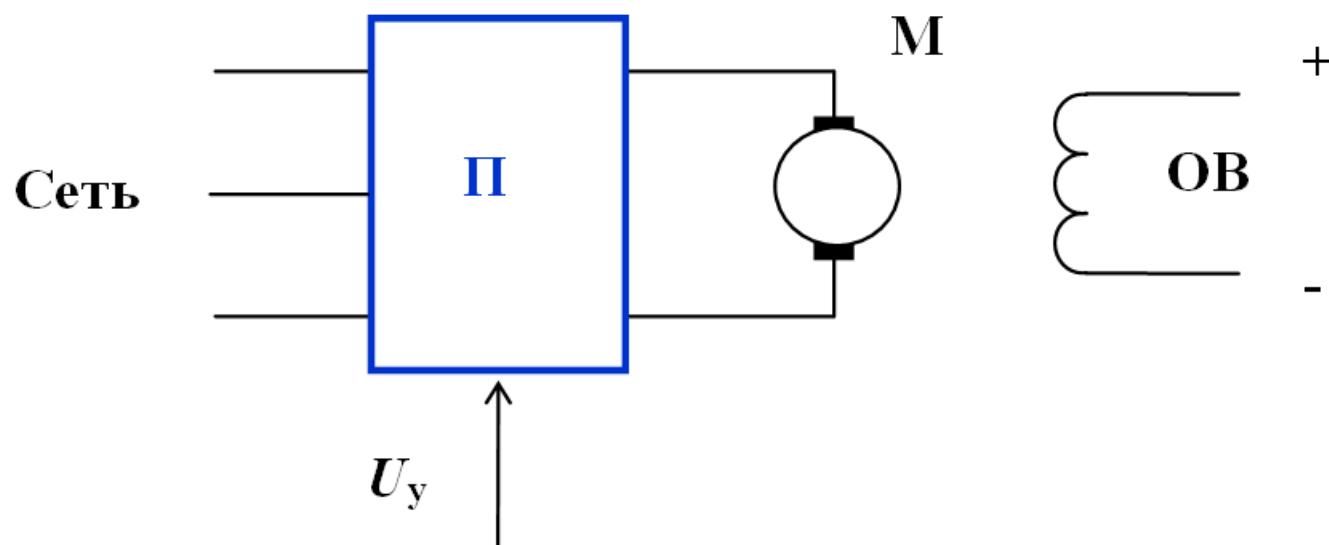
Погрешность регулирования скорости возрастает с увеличением добавочного сопротивления в цепи обмотки якоря.

Регулирование скорости сопровождается потерями мощности в добавочных сопротивлениях цепи обмотки якоря.

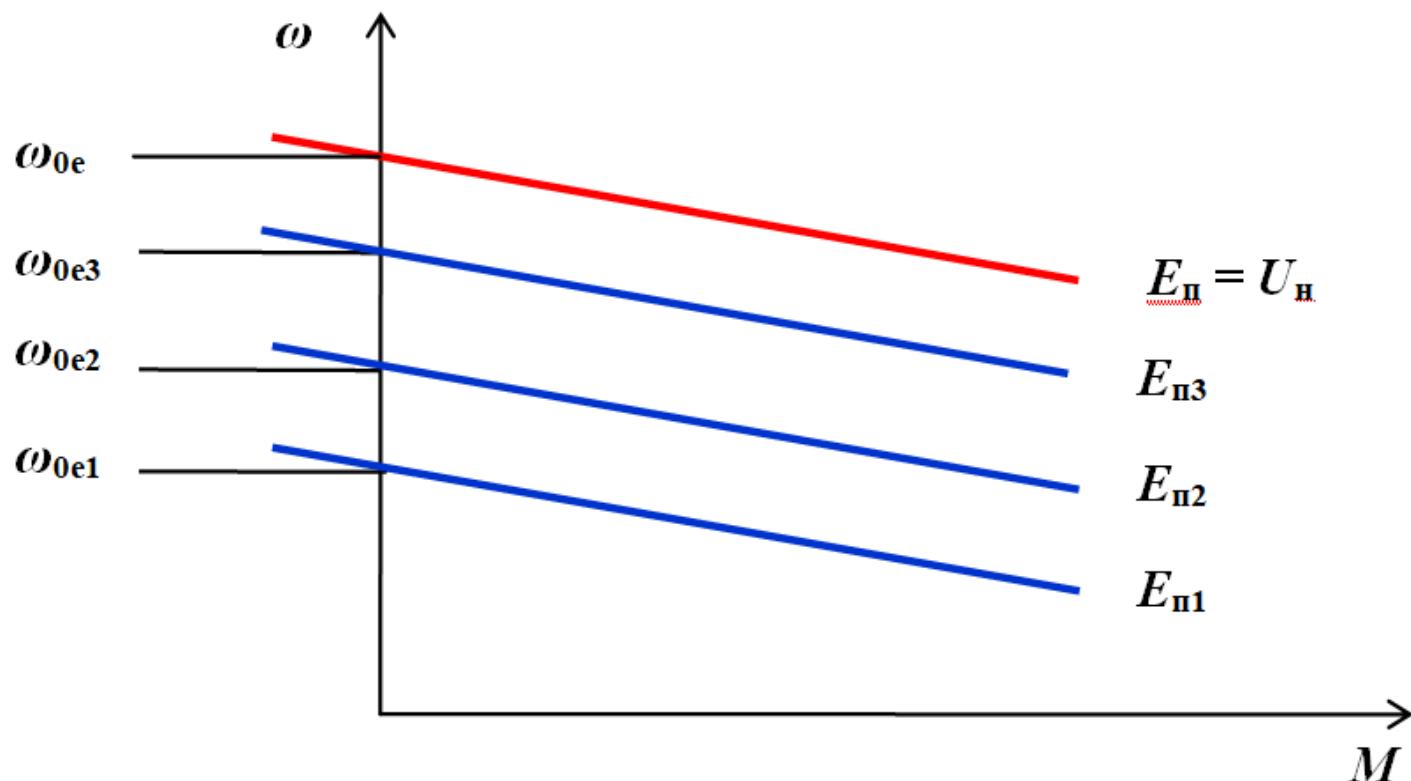
Оценка способа регулирования

Показатель, характеризующий способ регулирования	Качественный и количественный показатель	ОЦЕНКА
<i>Диапазон регулирования скорости D</i>	1/(3-4)	3
<i>Плавностью регулирования $\phi_{пл}$ скорости</i>	Ступенчатое регулирование	3
<i>Погрешностью поддержания скорости</i>	Возрастает с увеличением добавочного сопротивления	3
<i>Направление регулирования скорости</i>	Только «вниз»	3
<i>Экономичность</i>	Значительные потери мощности в добавочных сопротивлениях	2 - 3

Регулирование скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения изменением напряжения обмотки якоря возможно в том случае, когда обмотка якоря питается от отдельного преобразователя П. Преобразователь может иметь любую физическую природу, то есть может быть электромашическим, электромагнитным, полупроводниковым.



13.3. Регулирование скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения изменением напряжения обмотки якоря



Регулирование скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения изменением напряжения обмотки якоря плавное, коэффициент плавности $\varphi_{\text{пл}} \rightarrow 1$.

Диапазон регулирования скорости в замкнутых системах регулирования $D = 1 / 10000$ и более.

Направление регулирования скорости – **вниз** от естественной характеристики. Установившиеся значения скорости ω_{y_i} снижаются с уменьшением напряжения обмотки якоря.

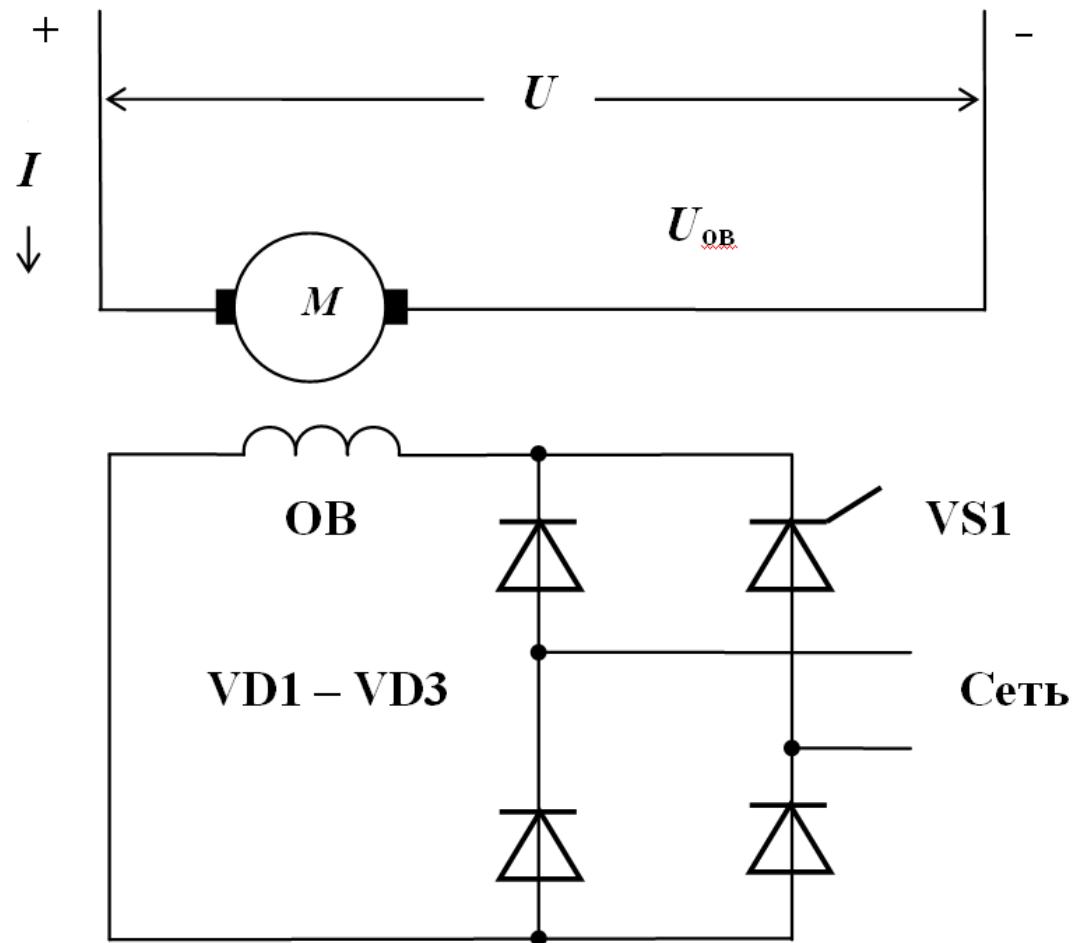
Погрешность регулирования скорости возрастает с уменьшением напряжения обмотки якоря и на нижних регулировочных характеристиках может достигать 0,3...0,4 относительных единиц.

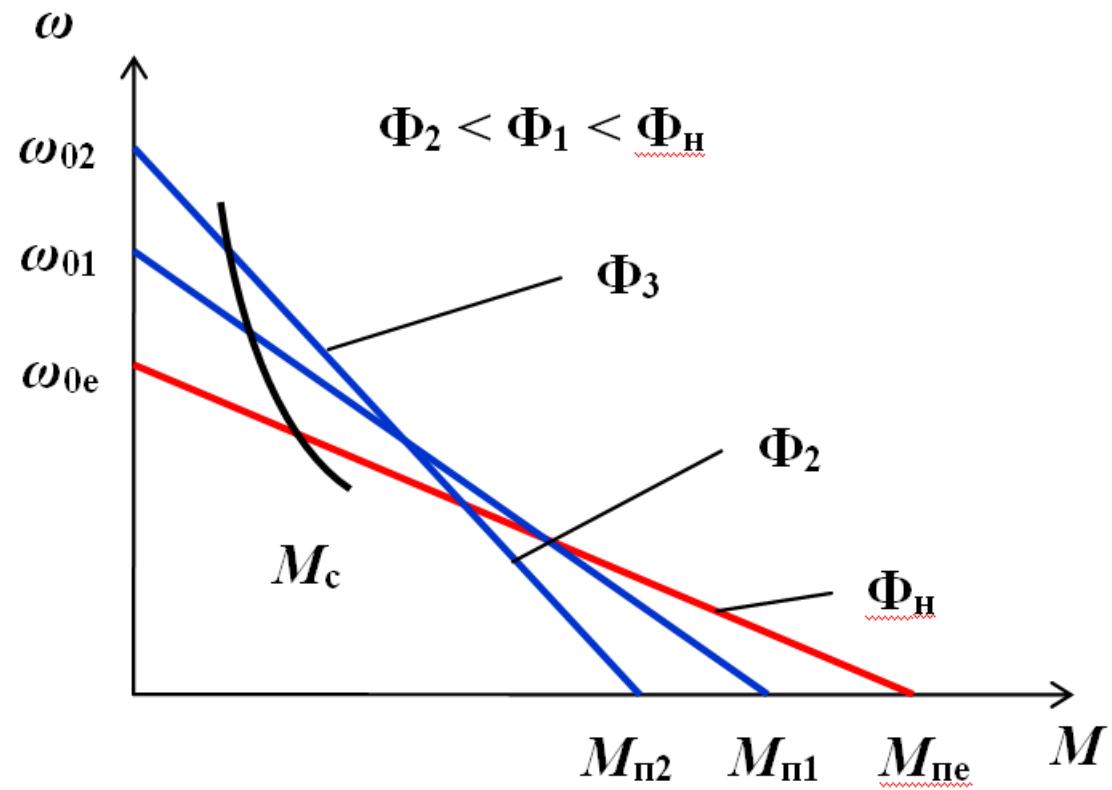
Регулирование скорости производится с высоким КПД, достигающим значений 0,9...0,95 в электроприводах с транзисторными и тиристорными силовыми преобразователями.

Оценка способа регулирования

Показатель, характеризующий способ регулирования	Качественный и количественный показатель	ОЦЕНКА
<i>Диапазон регулирования скорости D</i>	1 / 10000 и более	5
<i>Плавностью регулирования $\phi_{пл}$ скорости</i>	Коэффициент плавности $\phi_{пл} \rightarrow 1$	5
<i>Погрешностью поддержания скорости</i>	Возрастает с уменьшением напряжения	3
<i>Направление регулирования скорости</i>	Только «вниз»	3
<i>Экономичность</i>	КПД достигает значений 0,9...0,95	5

13.4. Регулирование скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения изменением потока возбуждения





Способ регулирования применяется для механизмов, работающих с постоянной мощностью.

Регулирование скорости плавное, коэффициент плавности $\varphi_{\text{пл}} \rightarrow 1$.

Диапазон регулирования скорости обычно небольшой: $D = 1,3 \dots 1$. Для двигателей специального назначения с качественной балансировкой якоря и прецизионными подшипниками диапазон регулирования может быть расширен до значений 10 / 1, однако увеличение диапазона регулирования сопровождается ухудшением коммутации на коллекторе двигателя.

Направление регулирования скорости – **вверх** от естественной характеристики.

Установившиеся значения скорости ω_{y_i} увеличиваются с уменьшением напряжения на обмотке возбуждения.

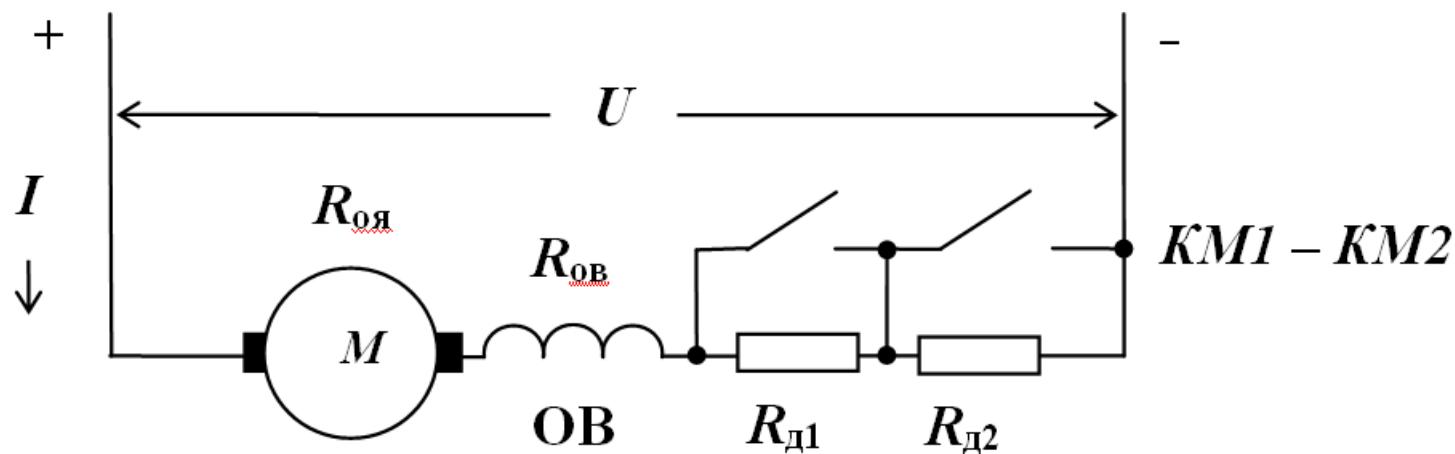
Погрешность регулирования скорости уменьшается с уменьшением потока возбуждения.

Регулирование скорости производится с высоким КПД, так как потребление энергии при регулировании скорости уменьшается за счет снижения напряжения на обмотке возбуждения.

Оценка способа регулирования

Показатель, характеризующий способ регулирования	Качественный и количественный показатель	ОЦЕНКА
<i>Диапазон регулирования скорости D</i>	1,3...1	2 - 3
<i>Плавностью регулирования $\Phi_{пл}$ скорости</i>	Коэффициент плавности $\Phi_{пл} \rightarrow 1$	5
<i>Погрешностью поддержания скорости</i>	Уменьшается с уменьшением потока возбуждения	4
<i>Направление регулирования скорости</i>	В зависимости от положения характеристики рабочей машины «вниз» или «вверх»	3
<i>Экономичность</i>	КПД достигает значений 0,9...0,95	5

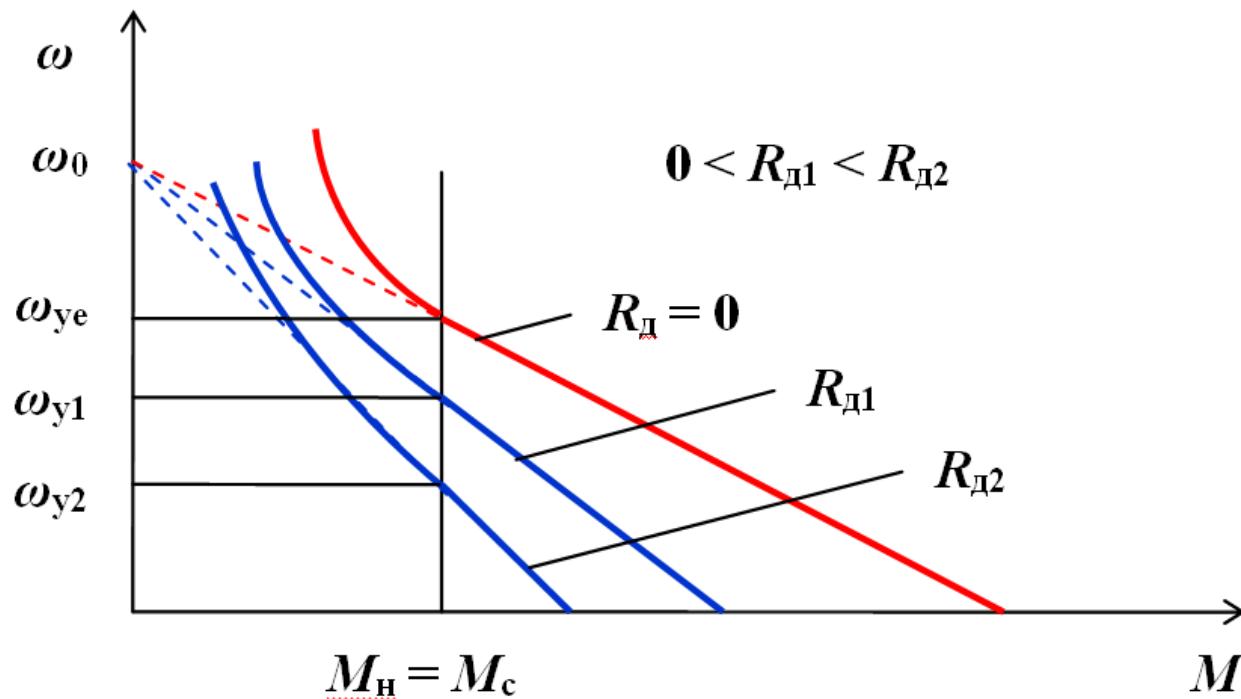
13.5. Регулирование скорости двигателя постоянного тока последовательного возбуждения с помощью резисторов в цепи обмотки якоря



Диапазон регулирования скорости при номинальной нагрузке $D = 1 / (3 - 4)$.

Погрешность регулирования скорости возрастает с увеличением добавочного сопротивления в цепи обмотки якоря.

Регулирование скорости сопровождается потерями мощности в добавочных сопротивлениях цепи обмотки якоря.

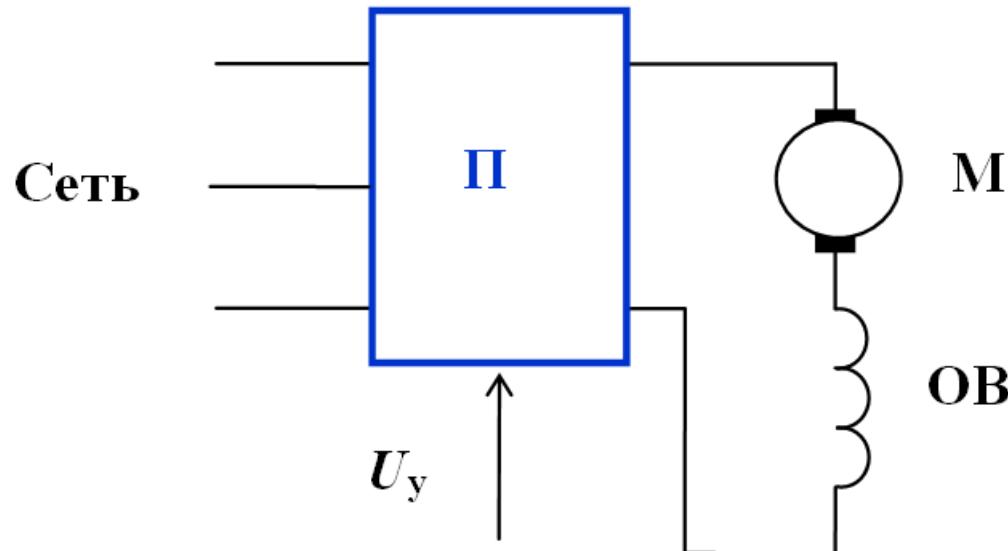


Оценка способа регулирования

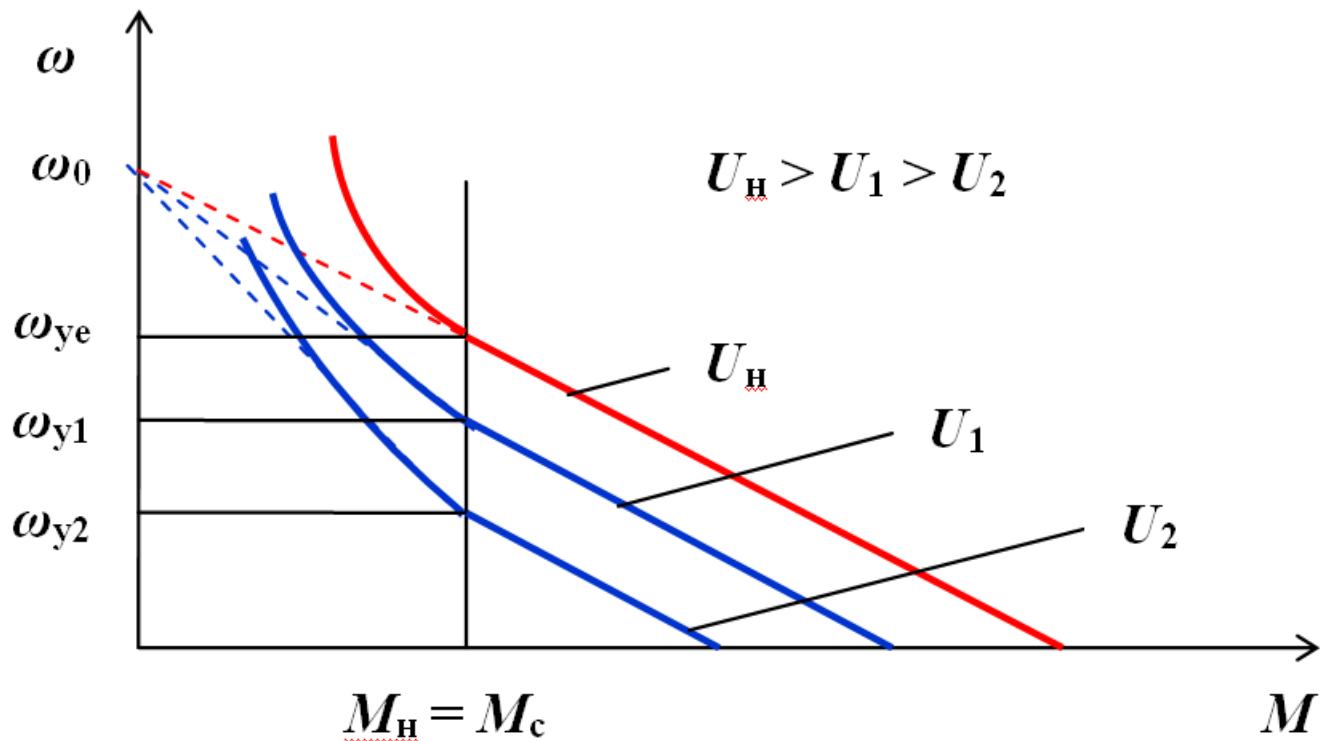
Показатель, характеризующий способ регулирования	Качественный и количественный показатель	ОЦЕНКА
<i>Диапазон регулирования скорости D</i>	1 / 3 - 4 и более	3
<i>Плавностью регулирования $\phi_{пл}$ скорости</i>	Ступенчатое	3
<i>Погрешностью поддержания скорости</i>	Возрастает с увеличением сопротивления	3
<i>Направление регулирования скорости</i>	Только «вниз»	3
<i>Экономичность</i>	Значительные потери мощности в добавочных сопротивлениях	3

13.3. Регулирование скорости двигателя постоянного тока последовательного возбуждения изменением напряжения

В электродвигателях последовательного возбуждения обмотка возбуждения включена последовательно с обмоткой якоря, при этом ток возбуждения равен току якоря ($I_e = I_y$), что придает двигателям особые свойства.



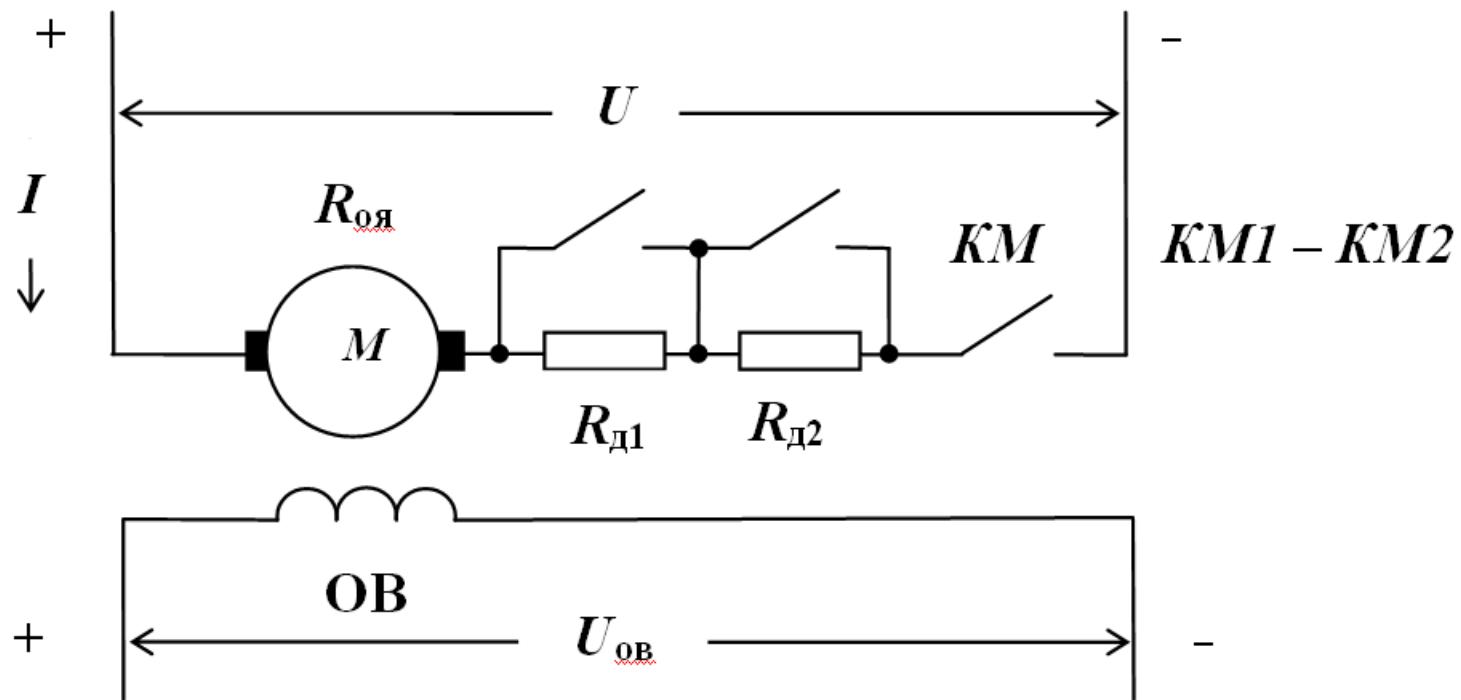
Показатели регулирования двигателя последовательного возбуждения близки к показателям двигателя независимого возбуждения, однако диапазон регулирования скорости существенно меньше и редко превышает $D < 1\dots 100$ даже в замкнутых системах автоматического регулирования.



Оценка способа регулирования

Показатель, характеризующий способ регулирования	Качественный и количественный показатель	ОЦЕНКА
<i>Диапазон регулирования скорости D</i>	1 / 100 и более	4
<i>Плавностью регулирования $\phi_{пл}$ скорости</i>	Плавное	5
<i>Погрешностью поддержания скорости</i>	Уменьшается с уменьшением потока возбуждения	3
<i>Направление регулирования скорости</i>	Только «вниз»	3
<i>Экономичность</i>	Достаточно высокая	4 - 5

Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения построить статические электромеханические характеристики реостатного пуска в две ступени пусковых сопротивлений



Порядок построения характеристик следующий:

1. строится естественная характеристика 3;
2. строится первая пусковая электромеханическая характеристика Характеристика 1 проходит через две точки: скорости идеального холостого хода при токе якоря, равном нулю (ω_0 , $I = 0$), и допустимого тока $I_{\text{доп}}$ при скорости, равной нулю ($\omega = 0$).
Значение допустимого тока $I_{\text{доп}}$ обычно определяется из условия удовлетворительной коммутации

$$I_{\text{доп}} = \lambda_I I_n ,$$

где λ_I – перегрузочная способность двигателя по току (1,5 ... 2,0);

3. определяется ток переключения $I_{\text{пер}}$, который принимается равным

$$I_{\text{пер}} = (1,1 \dots 1,2) I_n$$

В точке с координатами ($I_{\text{пер}}$, $\omega_{\text{n}1}$) происходит закорачивание первого пускового сопротивления R_{d1} (замыкается контакт **KM1**) и двигатель переходит на пусковую характеристику 2. Таким образом, характеристика 2 проходит через две точки: скорости идеального холостого хода ω_0 при токе якоря, равном нулю ($I = 0$), и допустимого тока $I_{\text{доп}}$ при скорости, равной $\omega_{\text{n}1}$.

Шунтирование второго пускового сопротивления R_{d2} также необходимо производить при токе переключения $I_{\text{пер}}$. Бросок тока при переходе двигателя на естественную характеристику должен быть равен допустимому току $I_{\text{доп}}$. Если это не происходит, то ток переключения $I_{\text{пер}}$ необходимо поменять, соответственно несколько увеличив или уменьшив его, однако если ток переключения становится меньше $1,1 I_n$, то необходимо увеличить число пусковых сопротивлений.

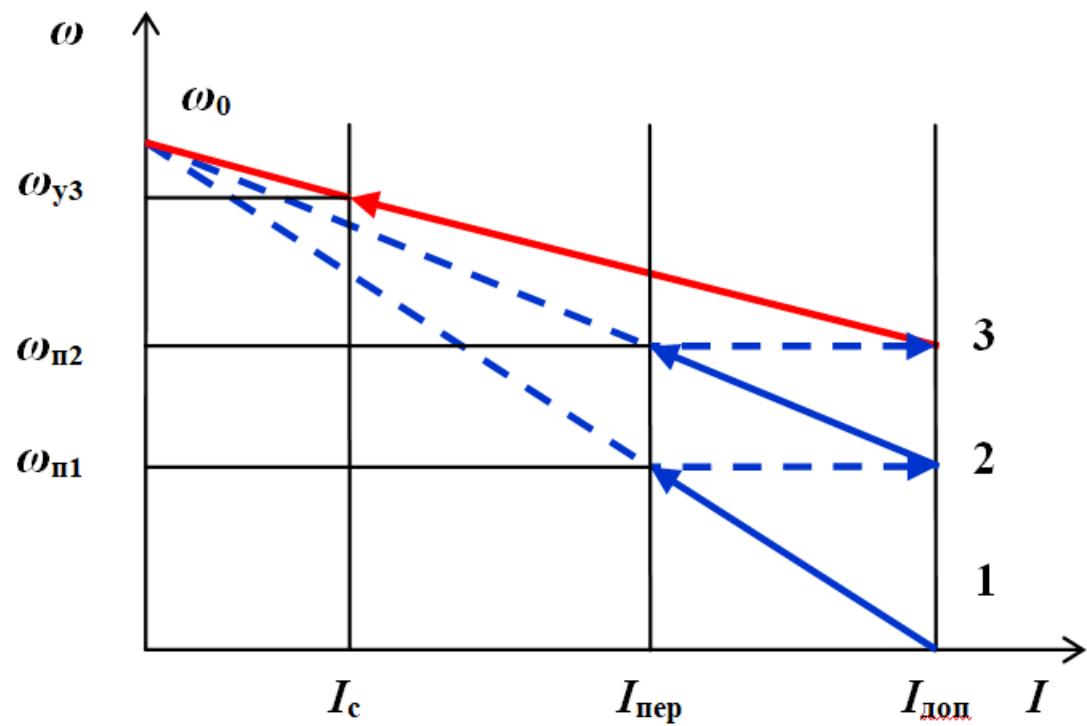
Пусковые сопротивления при пуске двигателя в две ступени можно определить графоаналитическим методом:

$$R_{\text{п}2} = \frac{U_{\text{n}} - c\omega_{\text{п}1}}{I_{\text{доп}}} - R_{\text{дв}}$$

и

$$R_{\text{п}1} = \frac{U_{\text{n}}}{I_{\text{доп}}} - R_{\text{дв}} - R_{\text{п}2}$$

где $c = 1,162$ - коэффициент ЭДС В с / рад и электромагнитного момента Н м / А при номинальном потоке возбуждения; $\omega_{\text{п}1}$ – берется из графика электромеханических характеристик.



Принципы автоматизации управления в релейно-контакторных электроприводах с двигателями постоянного тока

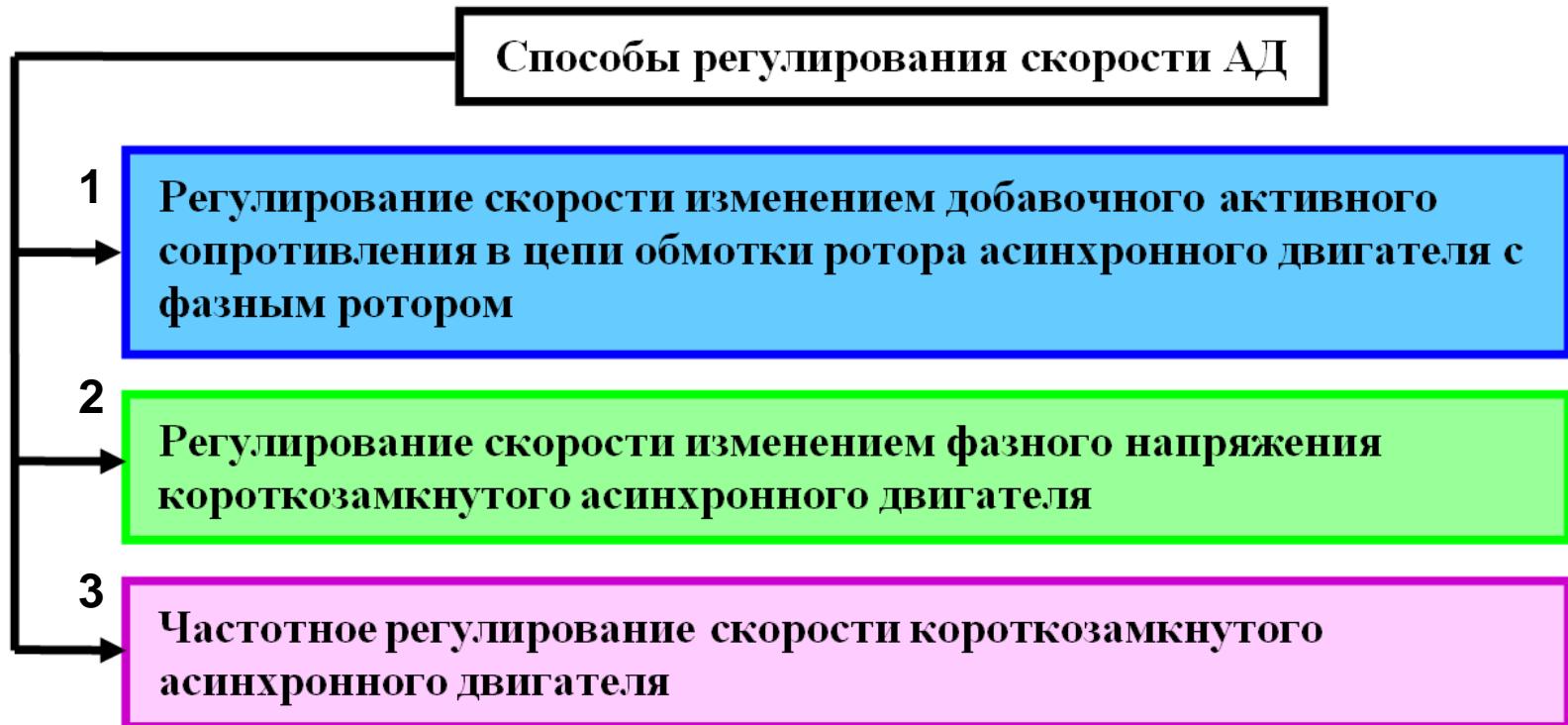
Автоматическое выключение пусковых сопротивлений должно производиться в определенные моменты времени (t_1 и t_2), при определенных скоростях (ω_{n1} и ω_{n2}) и определенном токе $I_{пер}$. Очевидно, что управление пуском двигателя может осуществляться по *принципам времени, скорости и тока*.

Принцип времени предполагает, что в электрической схеме имеются контролирующие время аппараты, которые в заданные моменты времени t_1 и t_2 формируют сигналы на шунтирование пусковых сопротивлений $R_{д1}$ и $R_{д2}$.

Принципы скорости и тока предполагают, что электрическая схема электропривода автоматически контролирует соответственно скорость двигателя и его ток и при заданных значениях переменных формирует сигналы на шунтирование пусковых сопротивлений.

14. ЭЛЕКТРОПРИВОД С ДВИГАТЕЛЯМИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

14.1. Способы регулирования скорости АД



Регулировать скорость асинхронного двигателя можно, изменяя один или несколько параметров:

U_{1j} – фазное напряжение обмоток статора двигателя;

$R_{1\text{доб}}$ – добавочное активное сопротивление статора;

$X_{1\text{доб}}$ – добавочное индуктивное сопротивление статора;

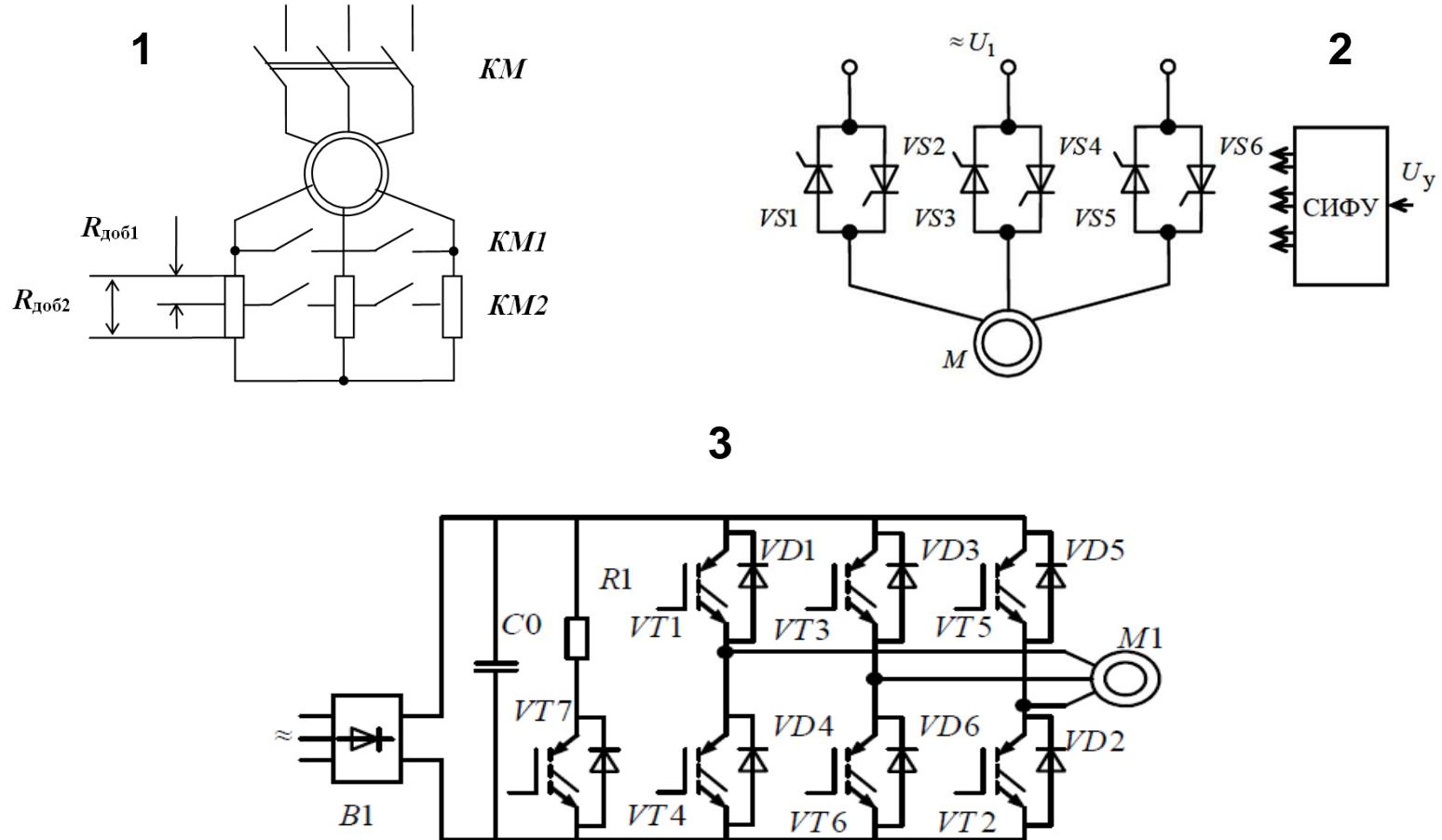
$R_{2\text{доб}}$ – добавочное активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора;

$X_{2\text{доб}}$ – добавочное индуктивное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора;

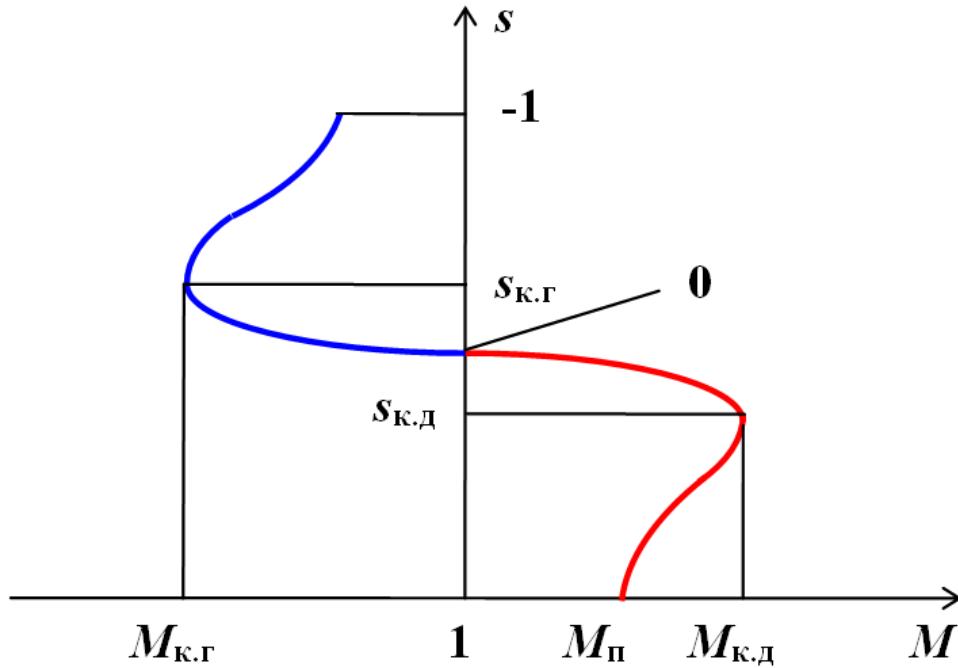
$\omega_0 = 2 \pi f_1 / z_p$ – синхронную угловую скорость изменения числа пар полюсов z_p или частоты f_1 напряжения переменного тока, подводимого к обмотке статора.

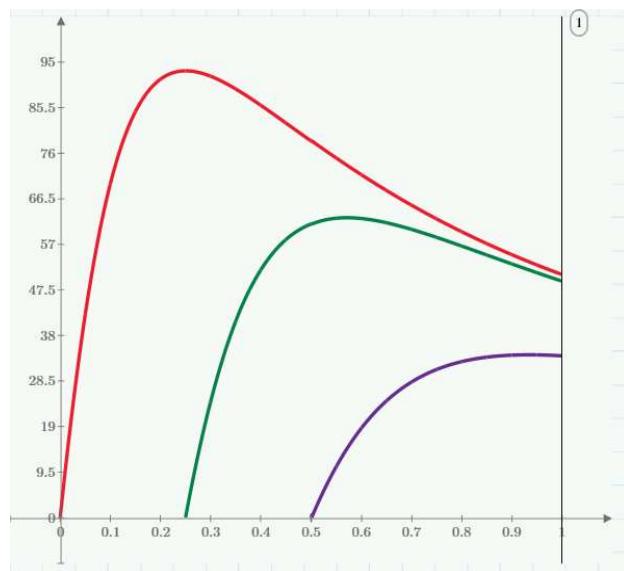
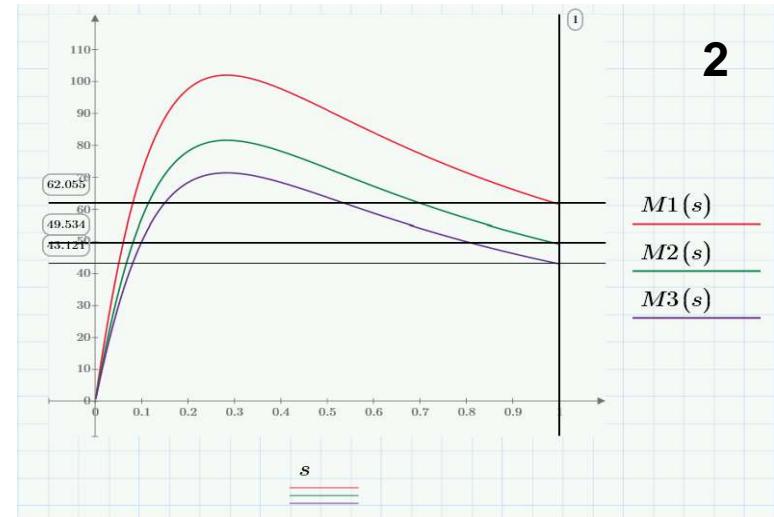
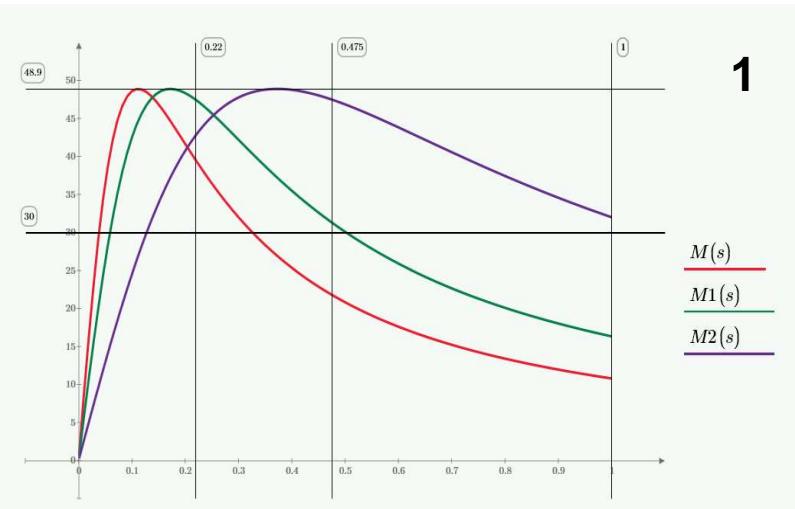
Формула Клосса:

$$M = \frac{2 M_k}{\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k}}$$



- $s = 0; M = 0$, при этом скорость двигателя равна синхронной
 $\omega_0 = 2\pi f_1 / z_p$
- $s = s_k$; $M = M_{kд}$, что соответствует точке с критическим скольжением s_k и критическим моментом двигательного режима;
- $s = 1$, при этом скорость двигателя будет равна нулю, а момент равен пусковому $M = M_{п}$.





Пример

Построить механическую характеристику для двигателя 4A90L4У3.

Паспортные данные двигателя:

$$n_1 = 1500 \text{ об/мин}$$

$$P_H = 2,2 \text{ кВт}$$

$$n_H = 1425 \text{ об/мин}$$

$$\eta = 80 \%$$

$$\cos \varphi = 0,83$$

$$M_{\max} / M_H = \lambda = 2,2$$

1. Для построения нам необходимо произвести расчет номинального момента и скольжения:

$$M_H = 9,55 \frac{P_H}{n_H}$$

$$s_H = \frac{n_1 - n_H}{n_1}$$

2. Рассчитаем критическое скольжение и момент, для этого необходимо знать коэффициент λ .

$$s_{kp} = s_H (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$$

$$M_{kp} = \lambda M_H$$

Оценка способов регулирования

Показатель, характеризующий способ регулирования	1	2	3
<i>Диапазон регулирования скорости D</i>	3	3	5
<i>Плавностью регулирования $\phi_{пл}$ скорости</i>	2	5	4 - 5
<i>Пусковые характеристики</i>	$M_p \uparrow$	$M_p \downarrow$	$M_p \downarrow$
<i>Направление регулирования скорости</i>	вниз	вниз-вверх	вниз-вверх
<i>Стабильность ($\Delta\omega/\Delta M$) в рабочей зоне</i>	↓	↓	практически Const
<i>Экономичность</i>	2 - 3	4 - 5	4- 5

14.2. Механические характеристики асинхронных двигателей

Построить естественную механическую характеристику для двигателя 4A90L4У3. Построить регулировочные (пусковые) механические характеристики при следующих значениях скольжения: $0,5 s_n$, $0,75 s_n$. Характеристика рабочей машины - крановая с $M_c = 20,0 \text{ Н}\times\text{м}$.

Паспортные данные двигателя:

$$n_1 = 1500 \text{ об/мин}$$

$$P_n = 2,2 \text{ кВт}$$

$$n_n = 1425 \text{ об/мин}$$

$$\eta = 80 \%$$

$$\cos \varphi = 0,83$$

$$M_{\max} / M_n = \lambda = 2,2$$

$$n1 := 1500$$

$$Pn := 2200$$

$$nn := 1425$$

$$\eta := 0.8$$

$$\cos\psi := 0.83$$

$$\lambda := 2.2$$

Расчет номинального момента и скольжения

$$Mn := 9.55 \cdot \frac{Pn}{nn}$$

$$Mn = 14.744$$

$$sn := \frac{n1 - nn}{n1}$$

$$sn = 0.05$$

Расчет критического скольжения и момента

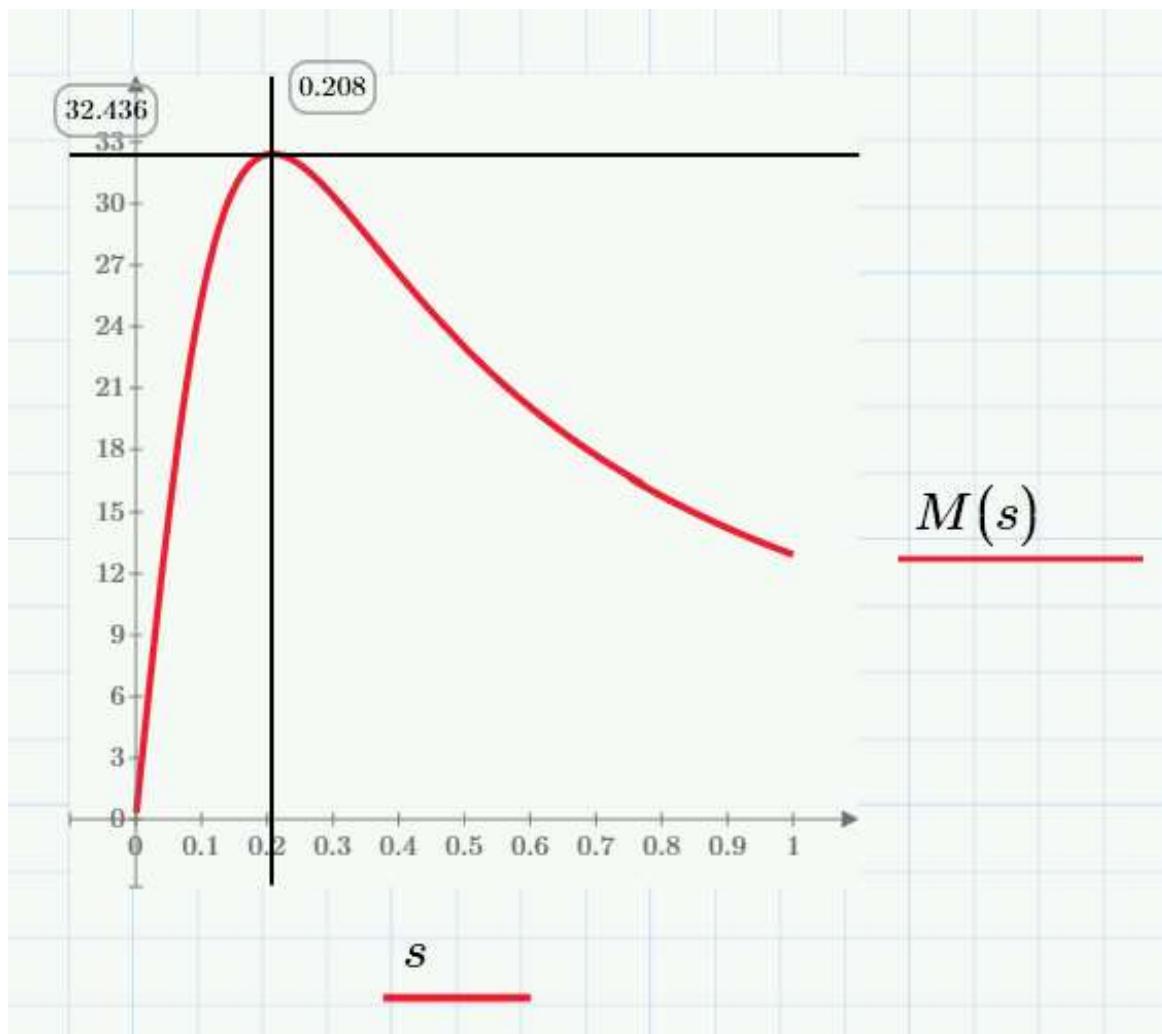
$$skr := sn \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0.208$$

$$Mkr := \lambda \cdot Mn = 32.436$$

Формула Клосса

$$s := 0.001, 0.01..1$$

$$M(s) := \frac{2 \cdot Mkr}{\frac{skr}{s} + \frac{s}{skr}}$$



Вариант	Марка электродвигателя	n_1 , об/мин	P_n , кВт	n_n об/мин	η , %	$\cos \varphi$	λ
1	4A112MУ3	3000	7,5	2922	87,5	0,88	2,2
2	4A160M2У3	3000	15,0	2931	88,0	0,91	2,2
3	4A180S2У3	3000	22,0	2940	88,5	0,91	2,2
4	4A200M2У3	3000	37,0	2943	90,0	0,89	2,2
5	4A225M2У3	3000	55,0	2937	91,0	0,92	2,2
6	4A100S4У3	1500	3,0	1421	82,0	0,83	2,2
7	4A112M4У3	1500	5,5	1425	85,5	0,86	2,2
8	4A132S4У3	1500	7,5	1455	87,5	0,86	2,2
9	4A160S4У3	1500	15,0	1460	89,0	0,88	2,2
10	4A180S4У3	1500	22,0	1470	90,0	0,88	2,2
11	4A90L6У3	1000	1,5	936	75,0	0,74	2,2
12	4A112MBУ3	1000	4,0	949	82,0	0,81	2,2
13	4A160S6У3	1000	11,0	970	86,0	0,86	2,0
14	4A180M6У3	1000	18,5	973	88,0	0,87	2,0
15	4A225M6У3	1000	37,0	980	91,0	0,89	2,0
16	4A200M8У3	750	18,5	731	88,5	0,84	2,2
17	4A225M8У3	750	30,0	735	90,0	0,81	2,0
18	4A250M8У3	750	45,0	739	91,5	0,82	2,0
19	4A280M8У3	750	75,0	733	92,5	0,85	1,9
20	4A315M8У3	750	110,0	735	93,0	0,85	1,9
21	4A112MBУ3	1000	4,0	949	82,0	0,81	2,2
22	4A160M2У3	3000	15,0	2931	88,0	0,91	2,2
23	4A100S4У3	1500	3,0	1421	82,0	0,83	2,2
24	4A225M8У3	750	30,0	735	90,0	0,81	2,0
25	4A200M2У3	3000	37,0	2943	90,0	0,89	2,2

$$n1 := 1500$$

$$Pn := 2200$$

$$nn := 1425$$

$$\eta := 0.8$$

$$\cos\psi := 0.83$$

$$\lambda := 2.2$$

Расчет номинального момента и скольжения

$$Mn := 9.55 \cdot \frac{Pn}{nn}$$

$$Mn = 14.744$$

$$sn := \frac{n1 - nn}{n1}$$

$$sn = 0.05$$

Расчет критического скольжения и момента

$$skr := sn \cdot \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right) = 0.208$$

$$Mkr := \lambda \cdot Mn = 32.436$$

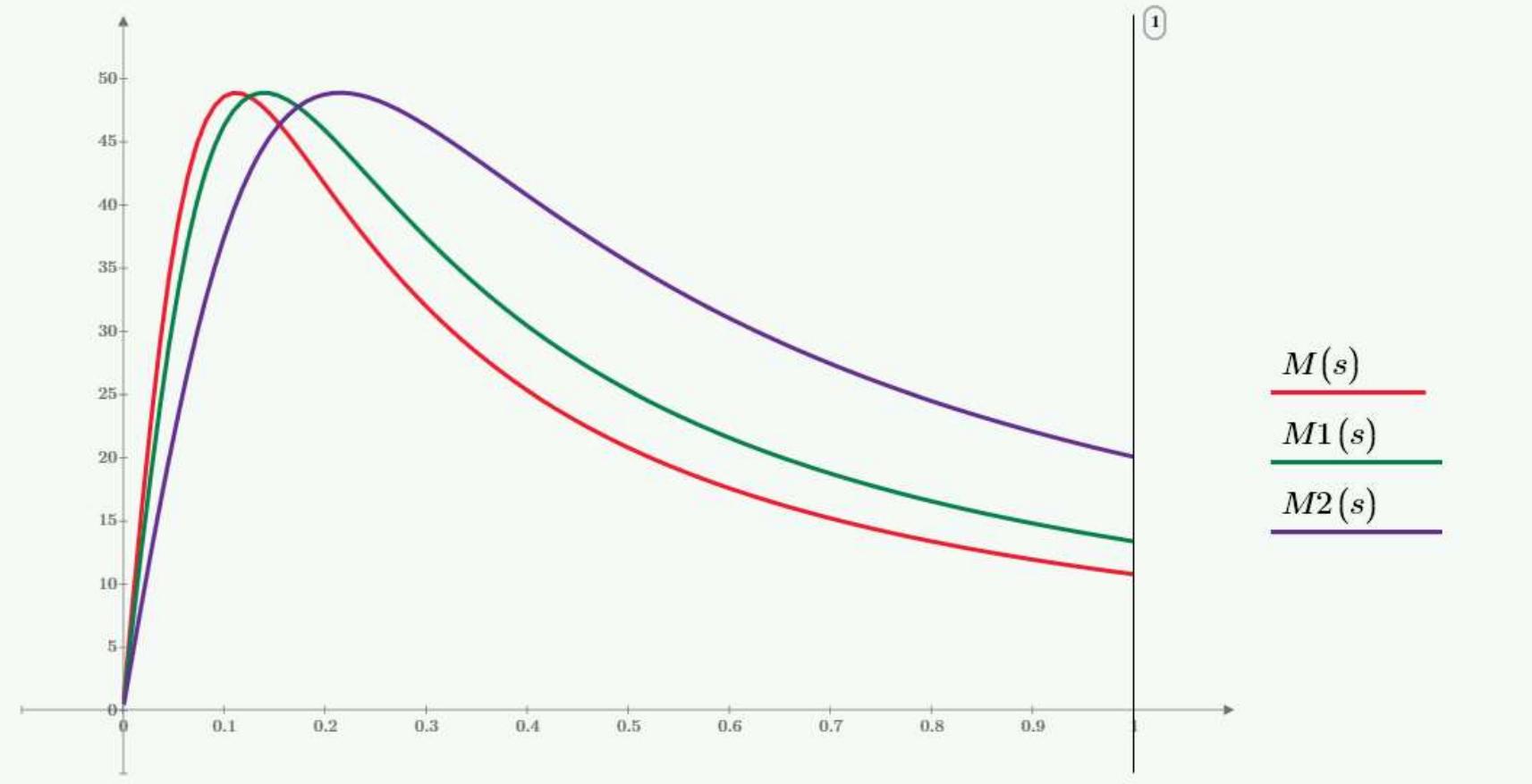
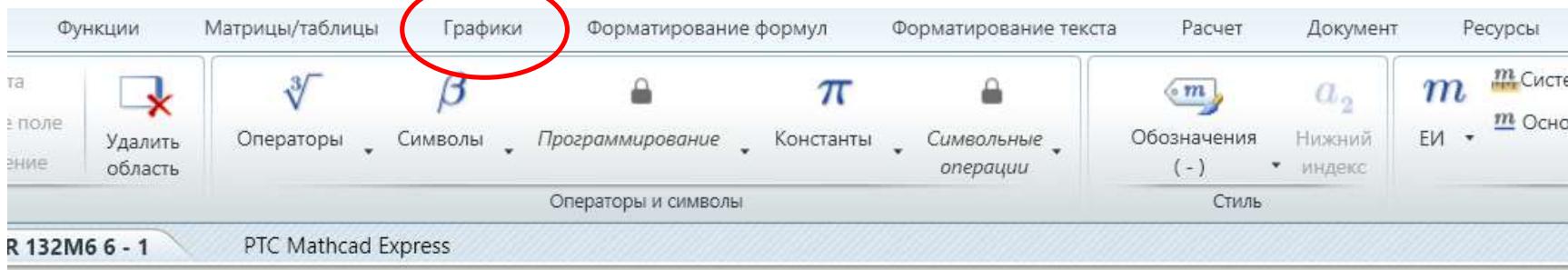
Формула Клосса

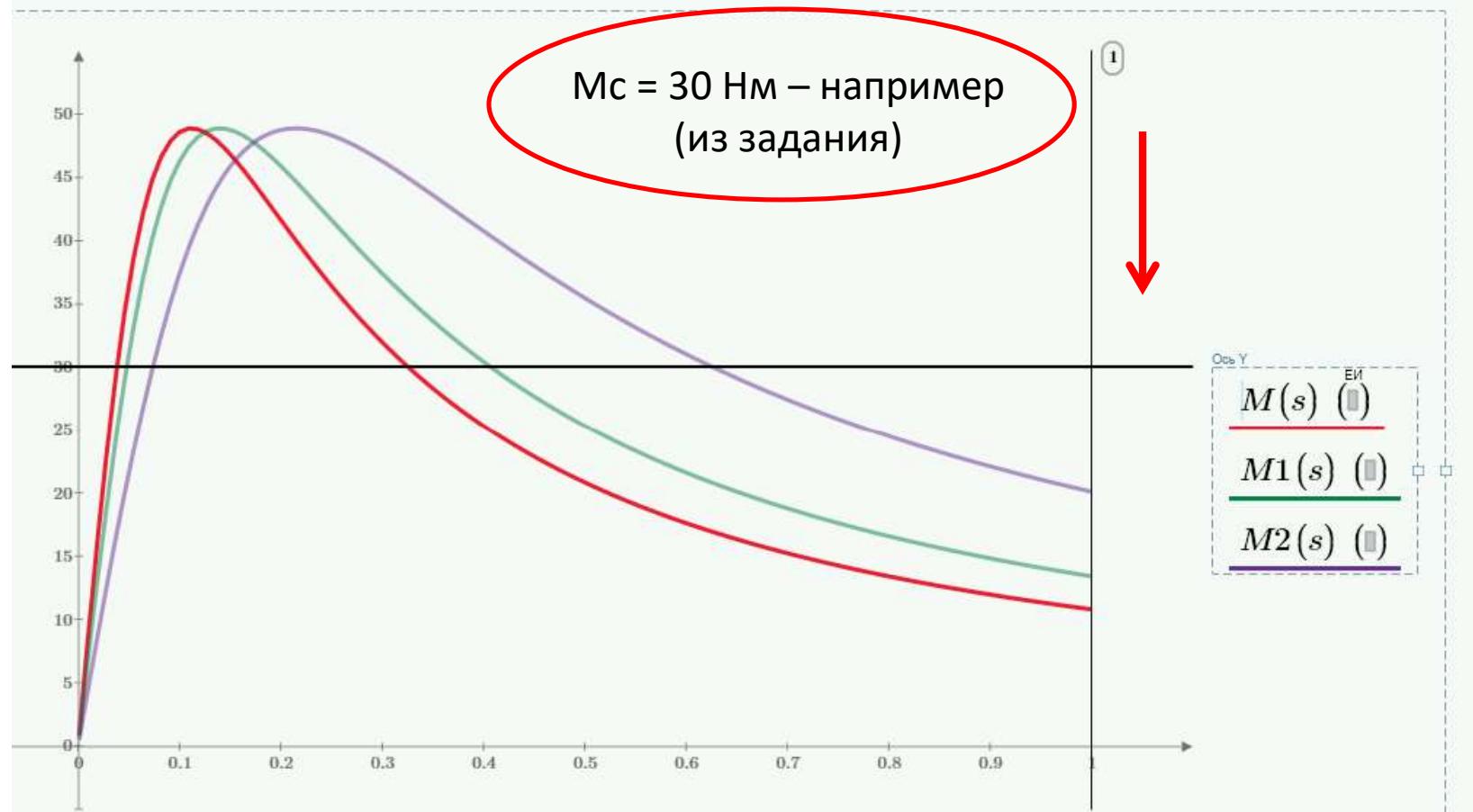
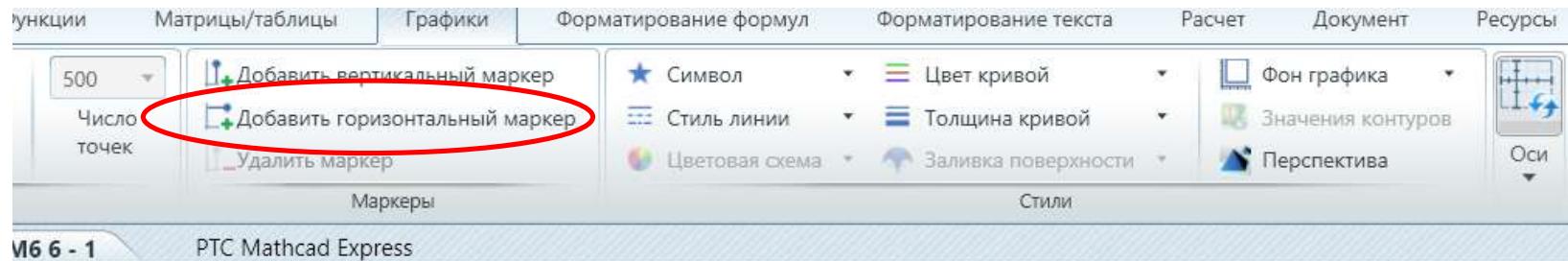
$$s := 0.001, 0.01..1$$

$$M(s) := \frac{2 \cdot Mkr}{\frac{skr}{s} + \frac{s}{skr}}$$

$$M1(s) := \frac{2 \cdot Mkr}{\frac{skr}{0.75 \cdot s} + \frac{0.75 \cdot s}{skr}}$$

$$M2(s) := \frac{2 \cdot Mkr}{\frac{skr}{0.5 \cdot s} + \frac{0.5 \cdot s}{skr}}$$





$$M(s) := \frac{2 \cdot Mkr}{skr + \frac{s}{skr}}$$

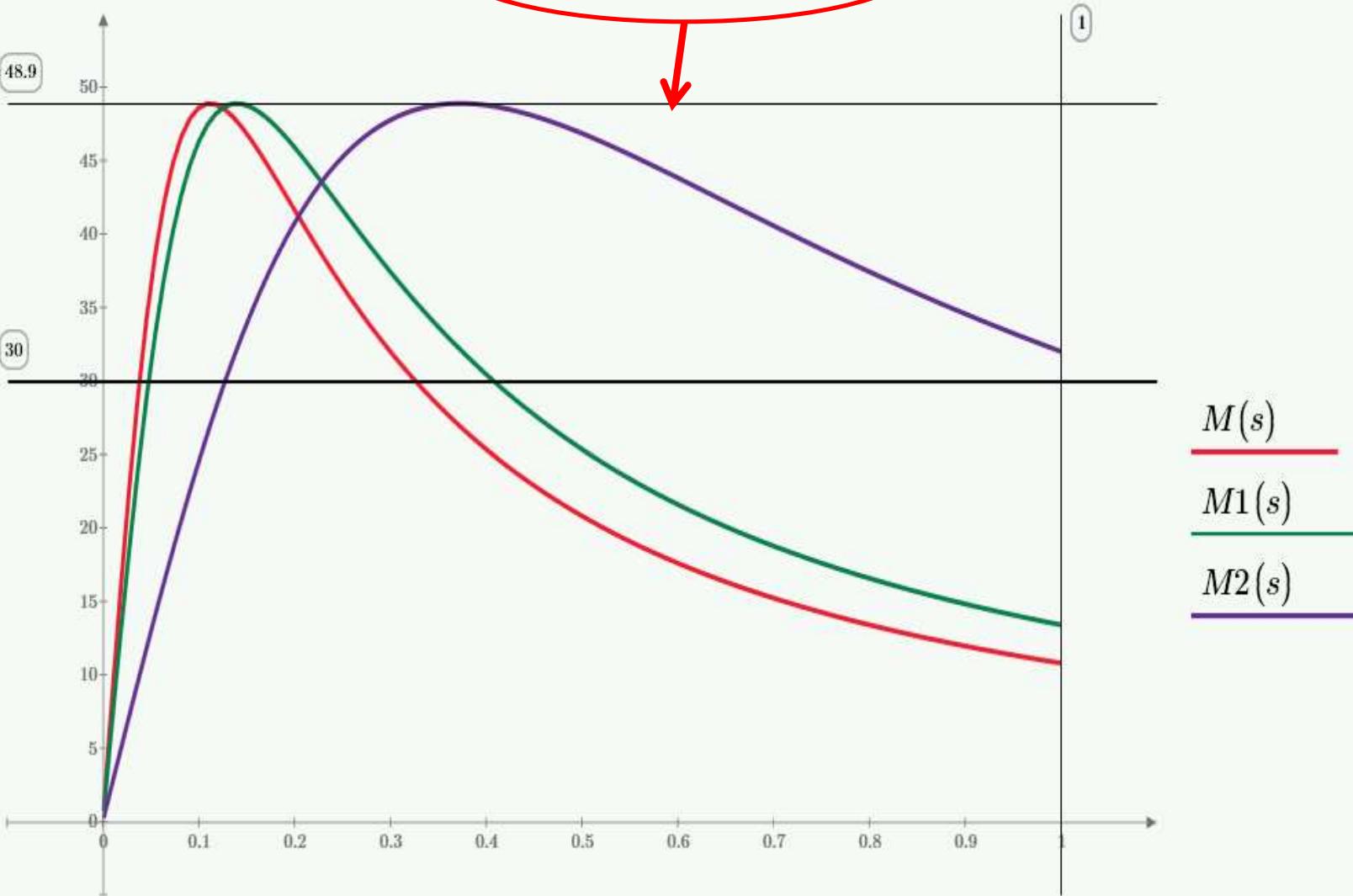
$$M1(s) := \frac{2 \cdot Mkr}{skr + \frac{0.8 \cdot s}{0.8 \cdot s + skr}}$$

$$M2(s) := \frac{2 \cdot Mkr}{skr + \frac{0.3 \cdot s}{0.3 \cdot s + skr}}$$

Изменяю множитель s до тех пор,
пока M_p не станет больше M_c



Добавляю маркер Mkr



48.9

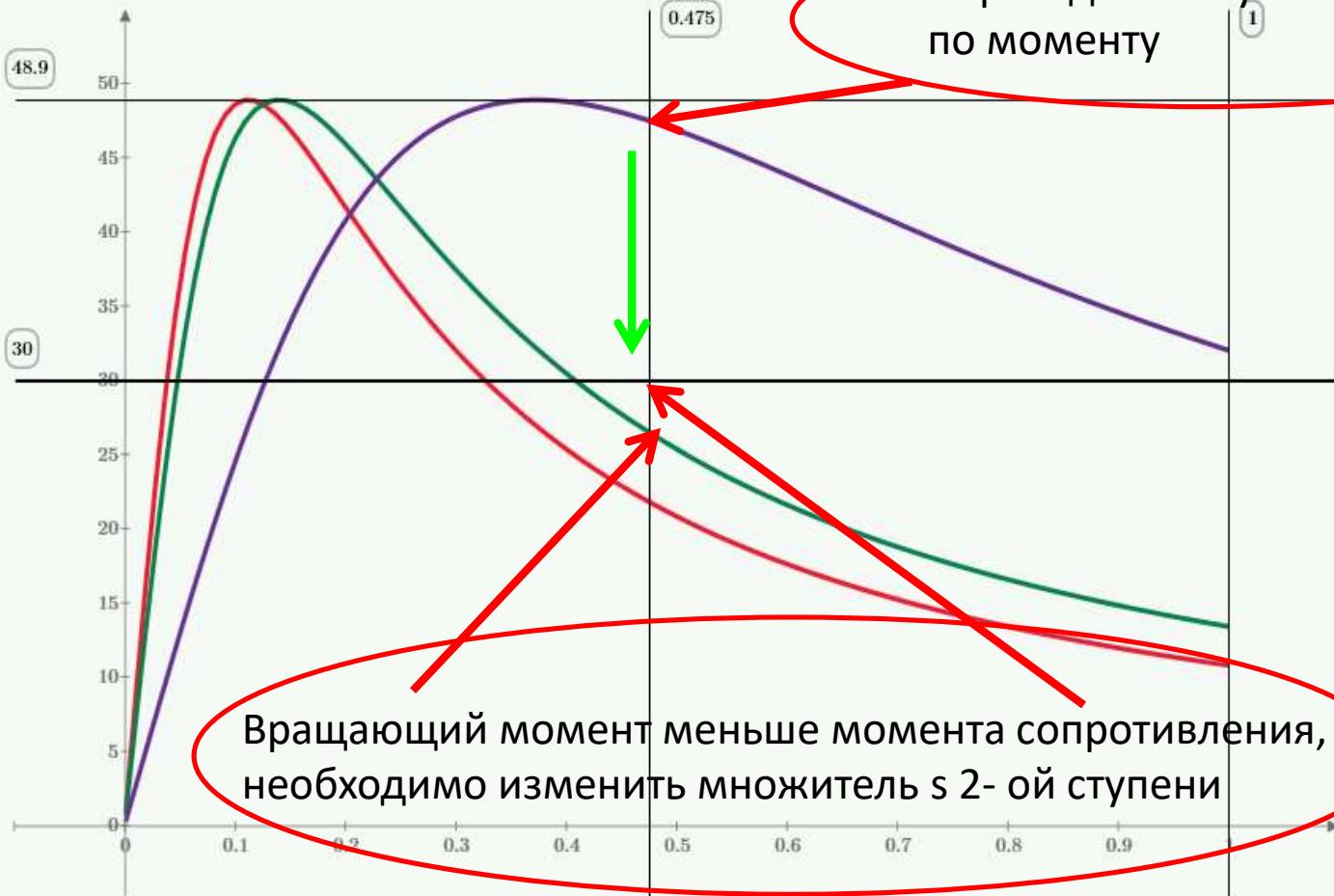
30

0.475

Переход на 2 ступень с запасом
по моменту

$M(s)$
 $M_1(s)$
 $M_2(s)$

Вращающий момент меньше момента сопротивления,
необходимо изменить множитель s 2- ой ступени



$s := 0.001, 0.01..1$

$$M(s) := \frac{2 \cdot Mkr}{skr + \frac{s}{skr}}$$

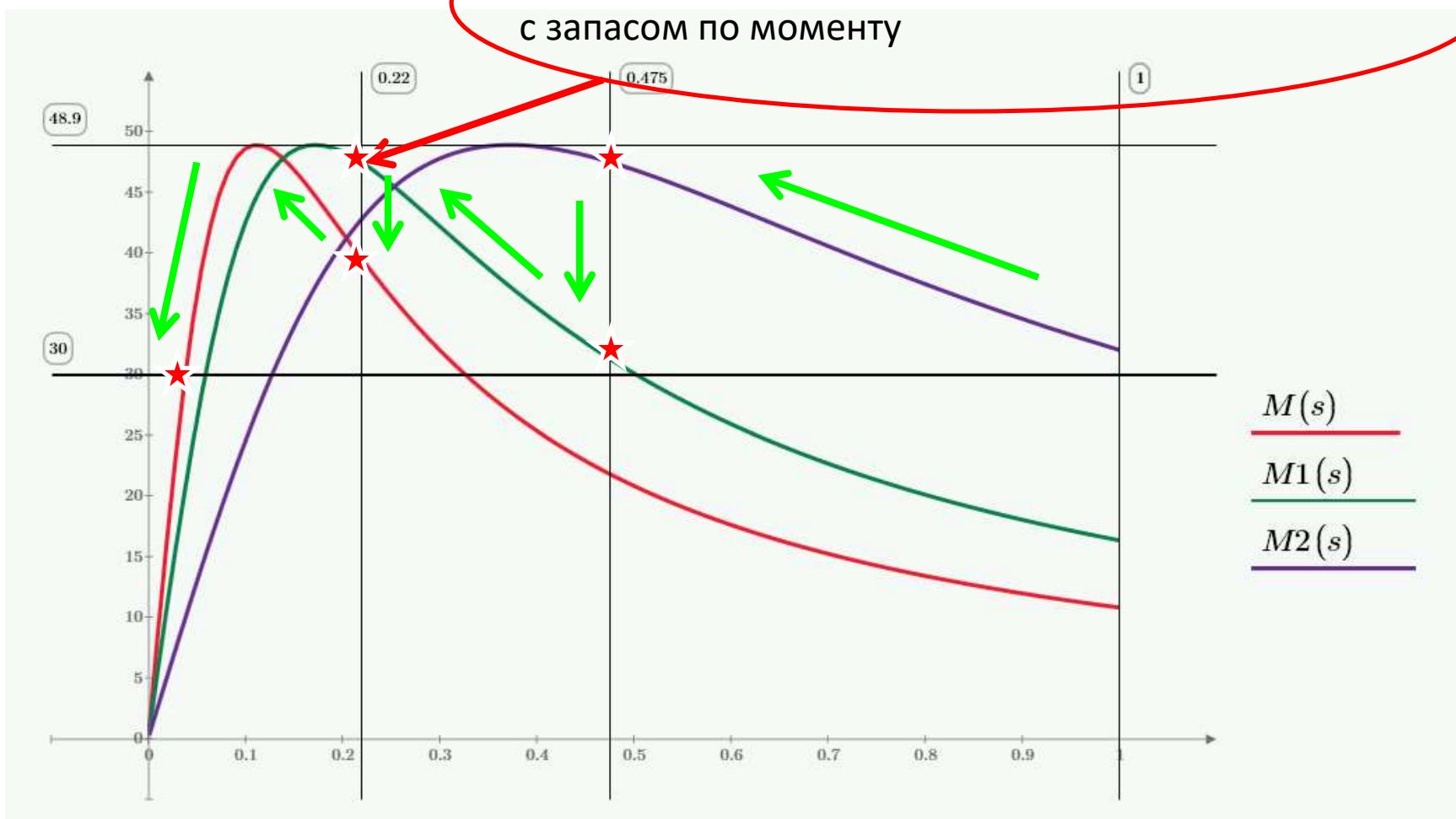
$$M1(s) := \frac{2 \cdot Mkr}{skr + \frac{0.65 \cdot s}{0.65 \cdot s + skr}}$$

$$M2(s) := \frac{2 \cdot Mkr}{skr + \frac{0.3 \cdot s}{0.3 \cdot s + skr}}$$

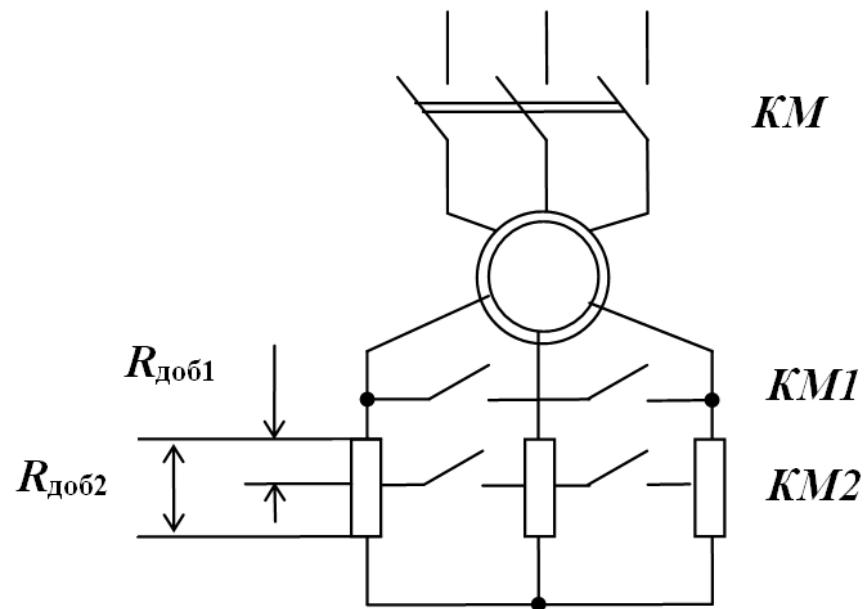
+



Переход на естественную характеристику (3 ступень)
с запасом по моменту

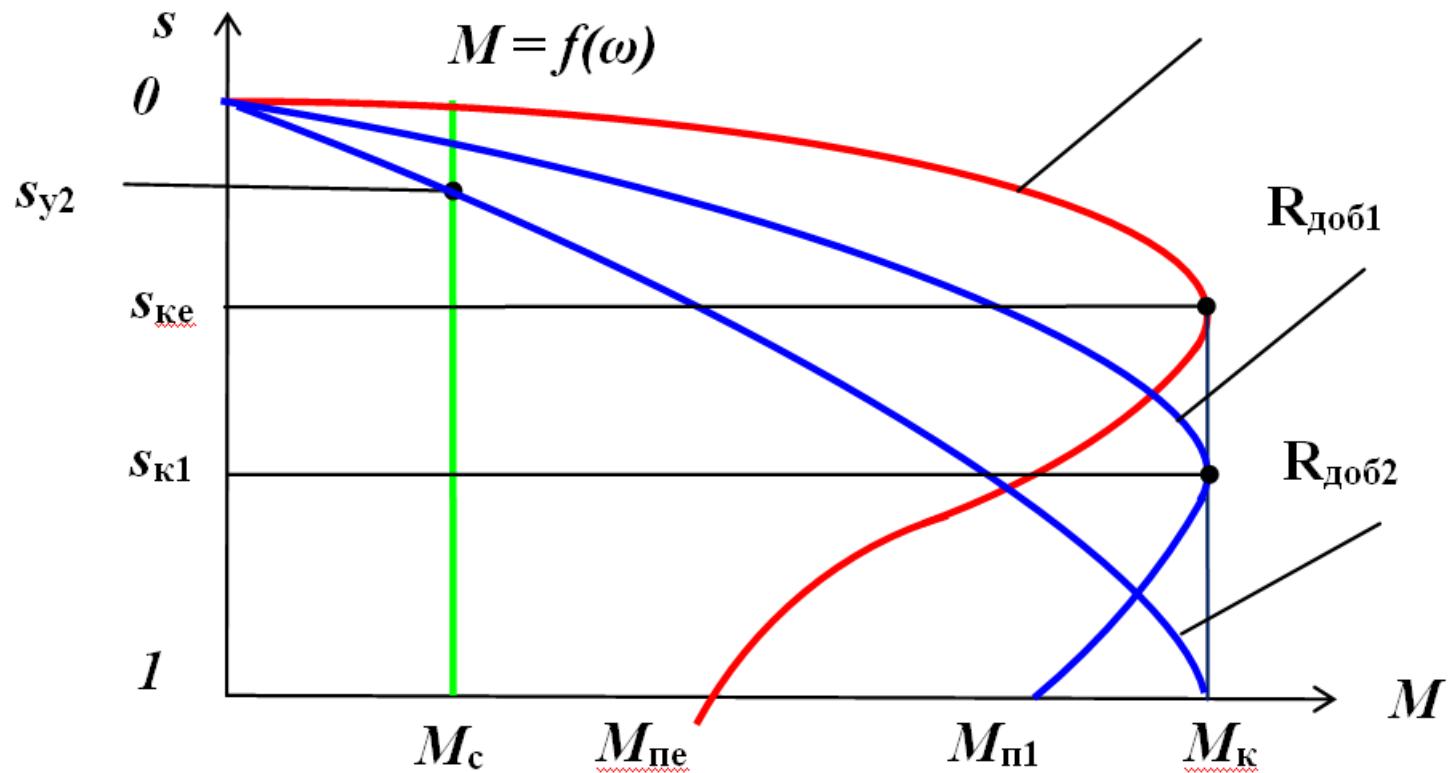


14.3.1. Регулирование скорости асинхронного двигателя изменением добавочного активного сопротивления в цепи обмотки ротора



$$0 < R_{\text{доб1}} < R_{\text{доб2}}$$

Естественная



Пример

Построить механические характеристики для двигателя SPR 132 M4 при 3-х ступенчатом запуске. 1 ступень ; 2 ступень ; 3 ступень - естественная характеристика.

Подобрать значения скольжения для осуществления пуска при условии характеристика рабочей машины - крановая с $M_c = 55,0 \text{ Н}\times\text{м}$ ($M_p > M_c$).

Определить параметры установившегося режима работы двигателя.

Паспортные данные двигателя:

$n_c = 1500 \text{ об/мин}$ $P_H = 4.0 \text{ кВт}$ $n_H = 1435 \text{ об/мин}$ $\eta = 83 \%$
 $\cos \varphi = 0.83$

$M_{max}/M_H = \lambda = 2,8$

$$ns := 1500 \quad Pn := 4000 \quad nn := 1435 \quad \eta := 0.83 \quad \cos\varphi := 0.83 \quad \lambda := 2.8$$

Расчет номинального момента и скольжения

$$Mn := 9.55 \cdot \frac{Pn}{nn} \quad Mn = 26.62 \quad sn := \frac{ns - nn}{ns} \quad sn = 0.043$$

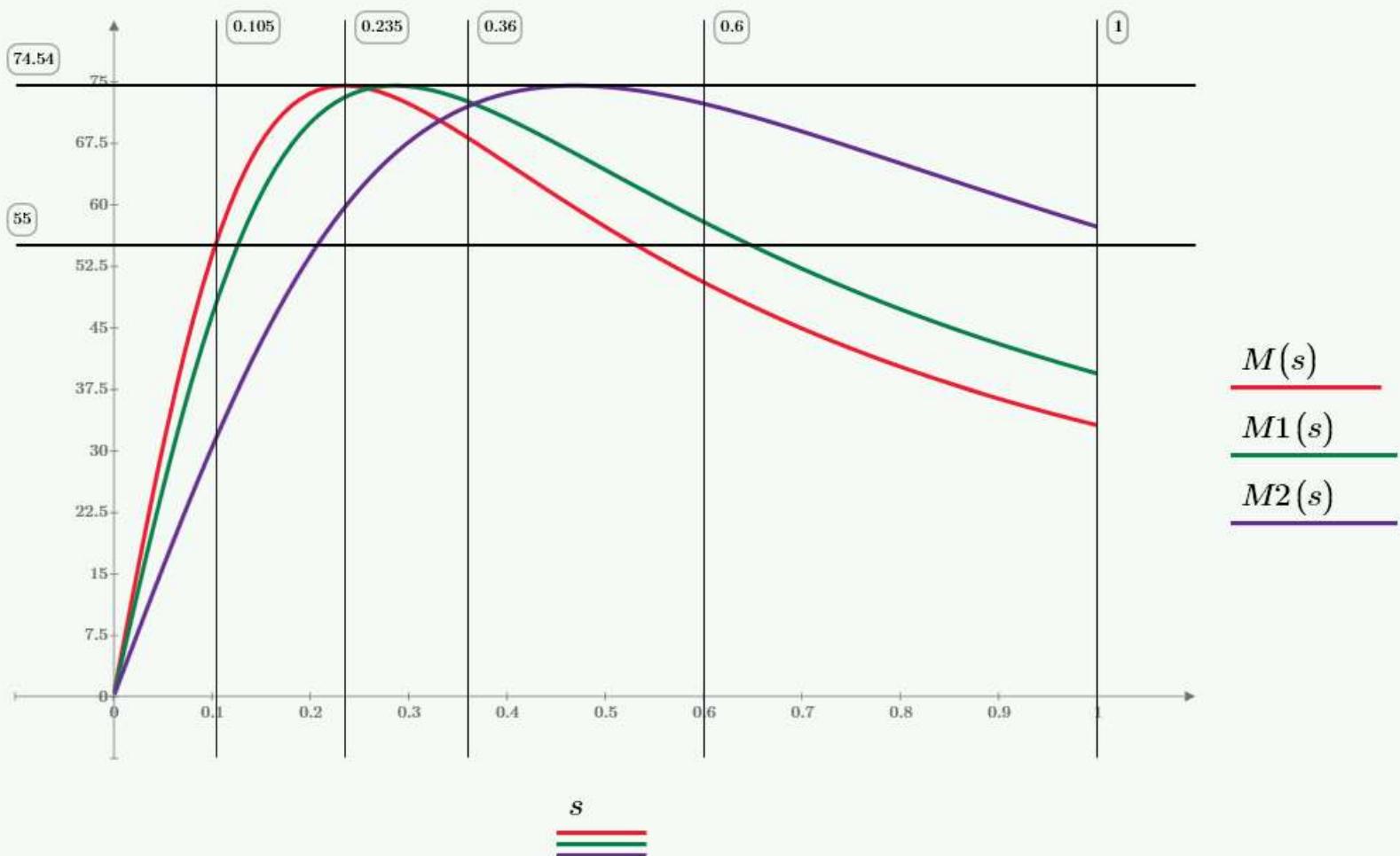
Расчет критического скольжения и момента

$$skr := sn \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0.235 \quad Mkr := \lambda \cdot Mn = 74.54$$

Формула Клосса

$$s := 0.001, 0.01..1$$

$$M(s) := \frac{2 \cdot Mkr}{skr + \frac{s}{skr}} \quad M1(s) := \frac{2 \cdot Mkr}{\frac{skr}{0.82 \cdot s} + \frac{0.82 \cdot s}{skr}} \quad M2(s) := \frac{2 \cdot Mkr}{\frac{skr}{0.5 \cdot s} + \frac{0.5 \cdot s}{skr}}$$



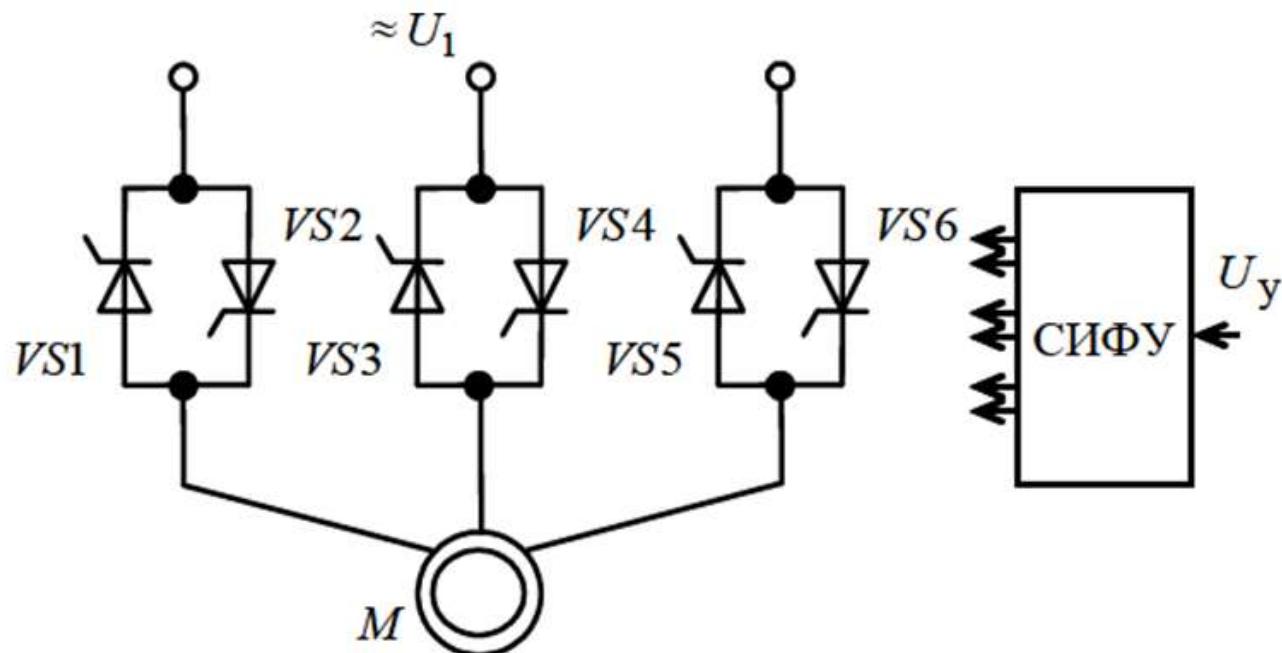
Ответ:

переход с 1 на 2 ступень при $s_{12} = 0.105$

переход с 2 на 3 ступень при $s_{23} = 0.235$

параметры установившегося режима работы двигателя: $s = 0.105$ $\text{Mp} = 55 \text{ Н}\cdot\text{м}$

14.3.2. Асинхронный электропривод с фазовым регулированием угловой скорости



Пример

Для короткозамкнутого асинхронного двигателя типа 4А112МВ6УЗ рассчитать и построить механическую статическую характеристику для следующих напряжений обмотки статора: $U_{11} = 0,7 U_{1\text{н}}$; $U_{12} = 0,8 U_{1\text{н}}$; $U_{1\text{н}}$

Основные параметры асинхронного двигателя и его схемы замещения:

номинальная мощность двигателя $P_{\text{н}} = 4 \text{ кВт}$;

номинальное фазное напряжение $U_{1\text{н}} = 220 \text{ В}$;

номинальное скольжение $s_{\text{н}} = 0,051 \text{ о.е.}$;

номинальный ток обмотки статора $I_{1\text{н}} = 9,125 \text{ А}$;

активное сопротивление фазы обмотки статора $R_1 = 1,878 \text{ Ом}$;

индуктивное сопротивление рассеяния фазы обмотки статора $X_{1\sigma} = 2,248 \text{ Ом}$;

активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора $R_2 = 1,393 \text{ Ом}$;

индуктивное сопротивление рассеяния фазы обмотки ротора, приведенное к обмотке статора $X_{2\sigma} = 2,994 \text{ Ом}$;

синхронная частота вращения $n_0 = 1000 \text{ об/мин}$;

кратность пускового тока $I_p / I_{1\text{н}} = k_i = 6 \text{ о. е.}$;

кратность максимального момента $M_{\max} / M_{\text{н}} = k_{\max} = 2,2 \text{ о.е.}$

$$Pn := 4000 \quad U1n := 220 \quad sn := 0.051 \quad I1n := 9.125 \quad R1 := 1.878 \quad X1 := 2.248$$

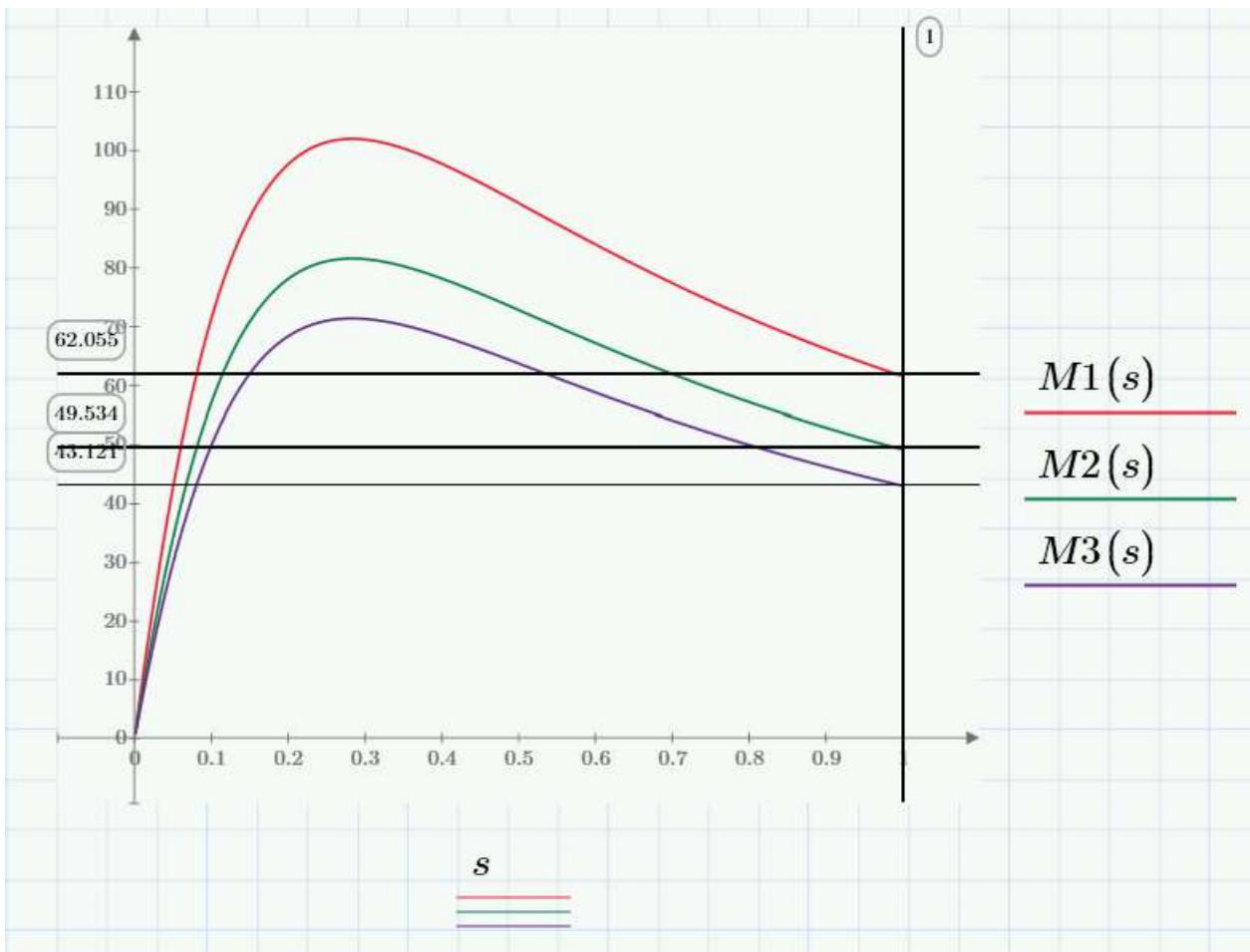
$$n0 := 1000 \quad ki := 6 \quad kmax := 2.2 \quad R2 := 1.393 \quad X2 := 2.2994$$

$$s := 0.001, 0.002..1 \quad \omega_0 := \frac{2 \cdot \pi \cdot n0}{60}$$

$$M1(s) := \frac{3 \cdot U1n^2 \cdot R2}{\omega_0 \cdot s \cdot \left((R1 + R2 \cdot s^{-1})^2 + (X1 + X2)^2 \right)}$$

$$M2(s) := \frac{3 \cdot 0.8 \cdot U1n^2 \cdot R2}{\omega_0 \cdot s \cdot \left((R1 + R2 \cdot s^{-1})^2 + (X1 + X2)^2 \right)}$$

$$M3(s) := \frac{3 \cdot 0.7 \cdot U1n^2 \cdot R2}{\omega_0 \cdot s \cdot \left((R1 + R2 \cdot s^{-1})^2 + (X1 + X2)^2 \right)}$$



14.3.4. Системы частотного регулирования угловой скорости короткозамкнутого асинхронного двигателя

Наиболее эффективные способы регулирования скорости короткозамкнутого асинхронного двигателя связаны с изменением скорости вращения электромагнитного поля статора

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{z_p}.$$

Способ регулирования скорости асинхронного двигателя изменением числа пар полюсов позволяет получить несколько фиксированных значений рабочих скоростей. Так, например, асинхронные двигатели серии 4А – 6А выпускаются двух-, трех- и четырехскоростные. Применяются для крановых электроприводов.

Преобразование переменного напряжения питающей сети в переменное напряжение с регулируемой частотой, напряжением и током осуществляют преобразователи частоты.

По типу связи с питающей сетью преобразователи частоты на полупроводниковых элементах делятся на два больших класса: преобразователи частоты с непосредственной связью; преобразователи частоты со звеном постоянного тока.

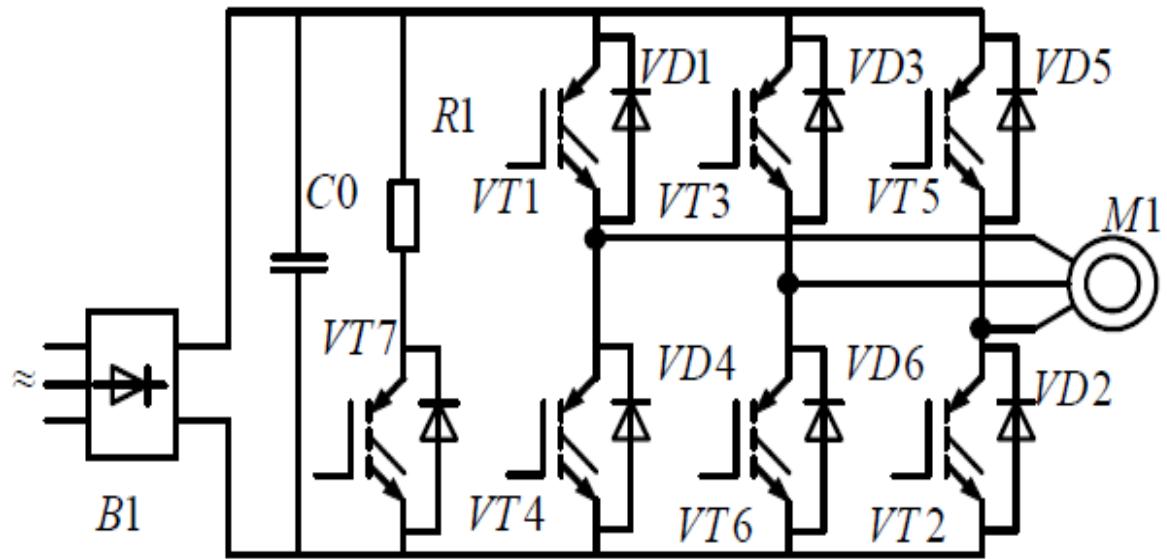
Преобразователи частоты со звеном постоянного тока, в свою очередь, подразделяются на:

автономные инверторы тока (АИТ);

автономные инверторы напряжения (АИН).

Автономные инверторы напряжения строятся по схеме инвертора напряжения с отсекающими диодами и диодами реактивного тока;

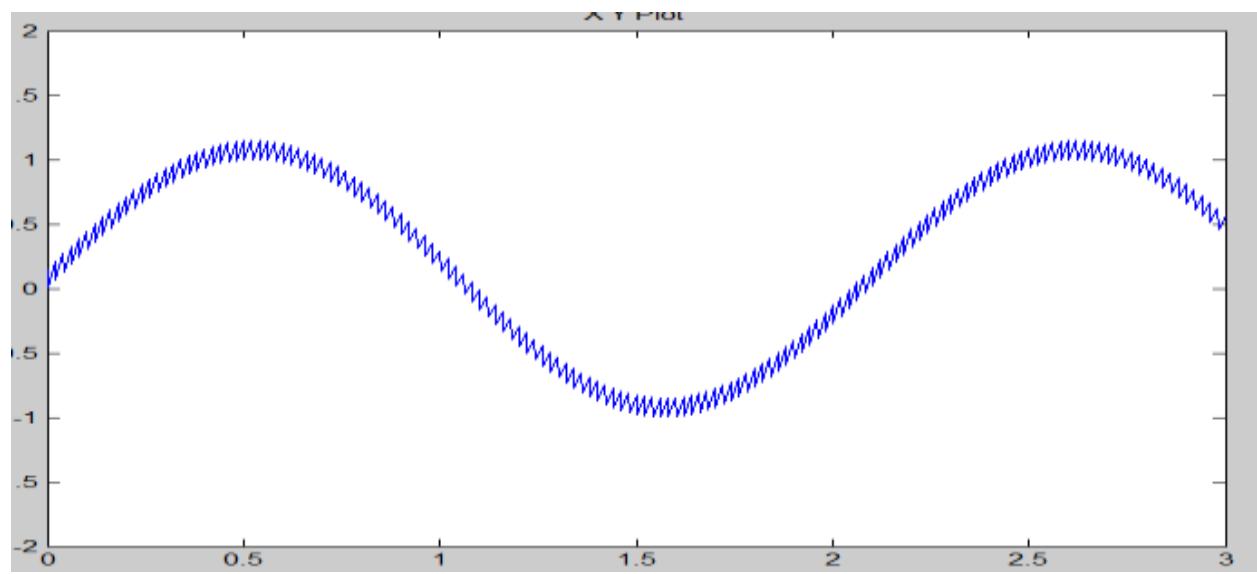
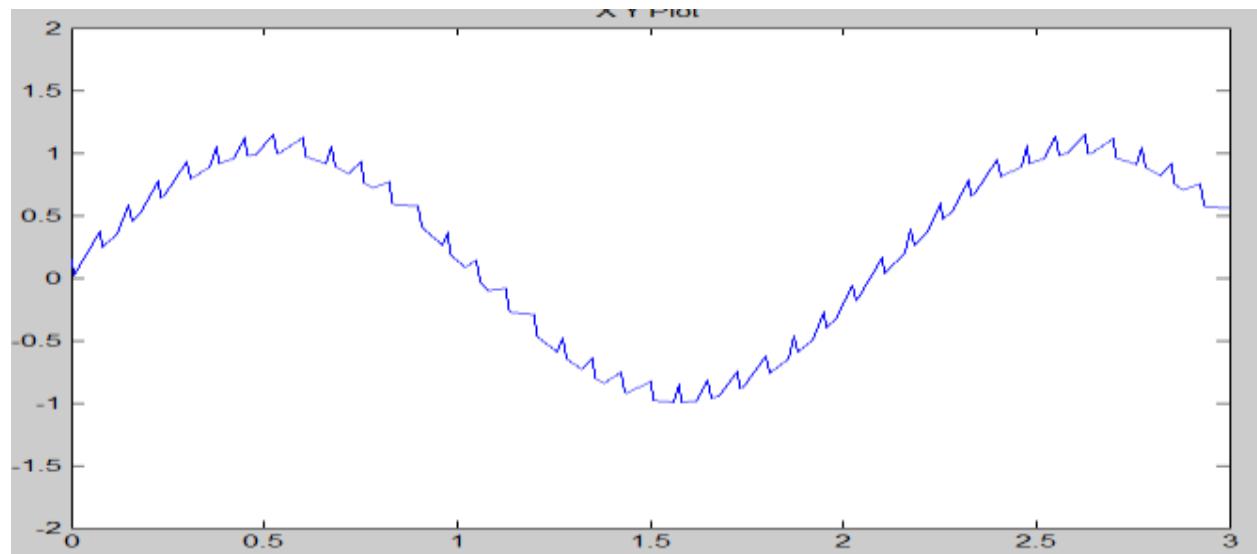
схеме с силовыми транзисторами типа IGBT и MOSFET – см. рис.



Индуктивный характер нагрузки учитывается подключением параллельно транзисторным ключам **VT1... VT6** диодов **VD1... VD6**, обеспечивающих непрерывность цепи протекания тока в обмотках статора при отключении их от источника питания и возврат запасенной электромагнитной энергии в конденсатор **C0** фильтра.

Так как IGBT-транзисторы могут переключаться при значительно больших частотах, чем тиристорные ключи, то и форма тока, протекающего через обмотки двигателя, становится значительно ближе к синусоидальной. Очевидно, что чем выше несущая частота ШИМ (широкоимпульсной модуляции), тем меньше амплитуда колебаний тока в обмотках статора двигателя.

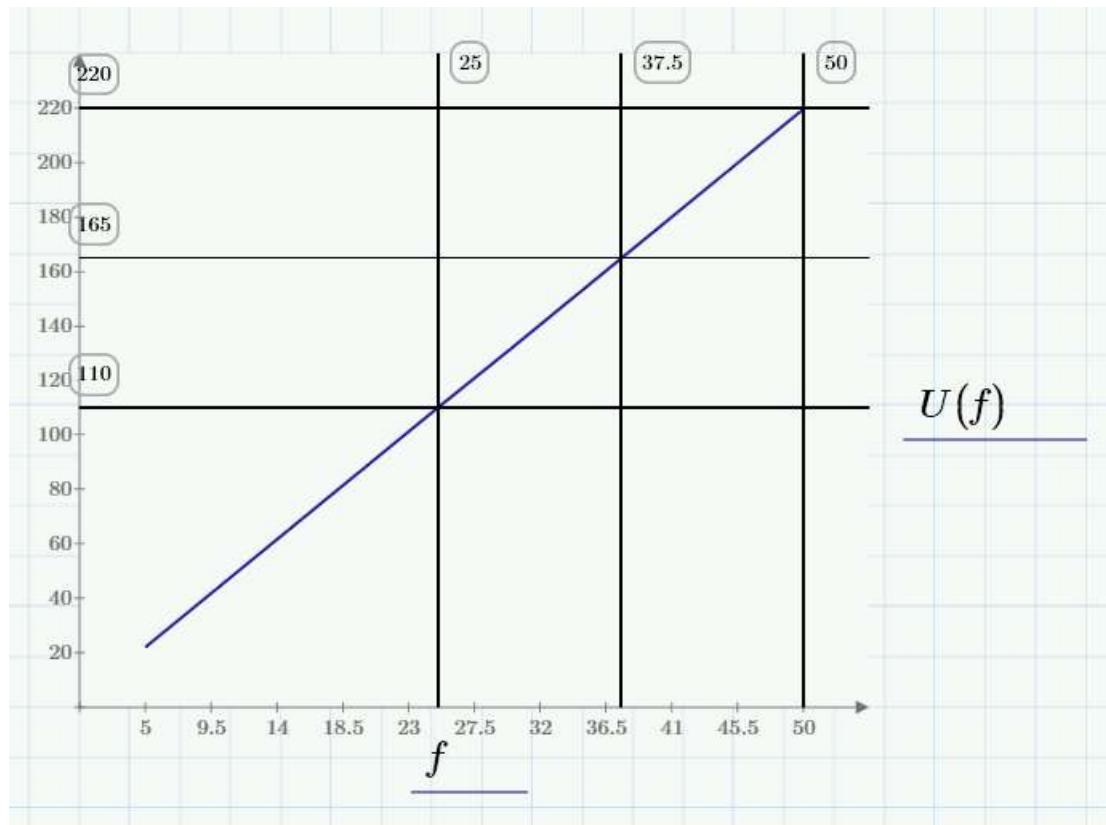
На рис. приведены осциллограммы токов статора асинхронного двигателя при низкой и высокой несущей частоте опорного напряжения ШИМ модулятора.



Пример

Для короткозамкнутого асинхронного двигателя типа 4А112МВ6У3, работающего в системе автономный инвертор напряжения – асинхронный двигатель, рассчитать и построить статическую механическую характеристику при частотном регулировании скорости в соответствии с законом регулирования $U_{1j} / f_{1j} = \text{const}$ при следующих значениях частот напряжений обмотки статора: 50, 37,5, 25 Гц.

Решение. Преобразователи частоты со звеном постоянного тока или инверторы напряжения, выпускаемые промышленностью, формируют зависимость $U_{1j} / f_{1j} = \text{Const}$ в соответствии с графиком, приведенным на рис. Стандартная настройка промышленных электроприводов позволяет ввести три точки аппроксимации закона регулирования: для максимальной f_{\max} , средней $f_{ср}$ и минимальной f_{min} частоты и соответствующие им координаты максимального $U_{1\max}$, среднего $U_{1ср}$ и минимального U_{1min} напряжения преобразователя.



$$U11 := 220$$

$$U12 := 165$$

$$U13 := 110$$

$$f11 := 50$$

$$f12 := 37.5$$

$$f13 := 25$$

$$s := 0.0001, 0.0002..1$$

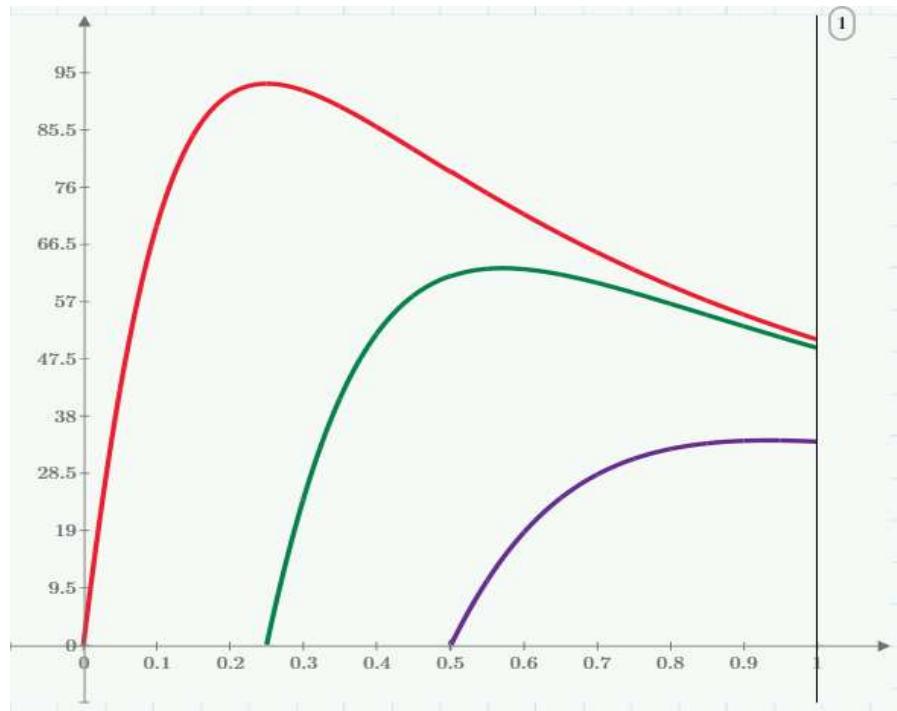
$$M1(s) := \frac{3 \cdot U11^2 \cdot 1.393}{104.7 \cdot s \cdot \left(5.234^2 \cdot \left(\frac{f11}{f11} \right)^2 + \left(1.878 + \frac{1.393}{s} \right)^2 + \left(\frac{1.878 \cdot 1.393}{s \cdot 54.47 \cdot \frac{f11}{f11}} \right)^2 \right)}$$

$$M2(s) := \frac{3 \cdot U12^2 \cdot 1.393}{104.7 \cdot (s - 0.25) \cdot \left(5.234^2 \cdot \left(\frac{f12}{f11} \right)^2 + \left(1.878 + \frac{1.393}{s - 0.25} \right)^2 + \left(\frac{1.878 \cdot 1.393}{(s - 0.25) \cdot 54.47 \cdot \frac{f12}{f11}} \right)^2 \right)}$$

$$M3(s) := \frac{3 \cdot U13^2 \cdot 1.393}{104.7 \cdot (s - 0.5) \cdot \left(5.234^2 \cdot \left(\frac{f13}{f11} \right)^2 + \left(1.878 + \frac{1.393}{s - 0.5} \right)^2 + \left(\frac{1.878 \cdot 1.393}{(s - 0.5) \cdot 54.47 \cdot \frac{f13}{f11}} \right)^2 \right)}$$

Механическая характеристика асинхронного двигателя при переменных значениях величины и частоты напряжения питания определяется выражением

$$M = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s \left[X_{\mu H}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]}$$



15. Однофазные электродвигатели

Однофазный асинхронный электродвигатель — это асинхронный электродвигатель, который работает от электрической сети однофазного переменного тока без использования частотного преобразователя и который в основном режиме работы (после пуска) использует только одну обмотку (фазу) статора.

Основными компонентами любого электродвигателя являются ротор и статор. **Ротор** - вращающаяся часть электродвигателя, **статор** - неподвижная часть электродвигателя, с помощью которого создается магнитное поле для вращения ротора.

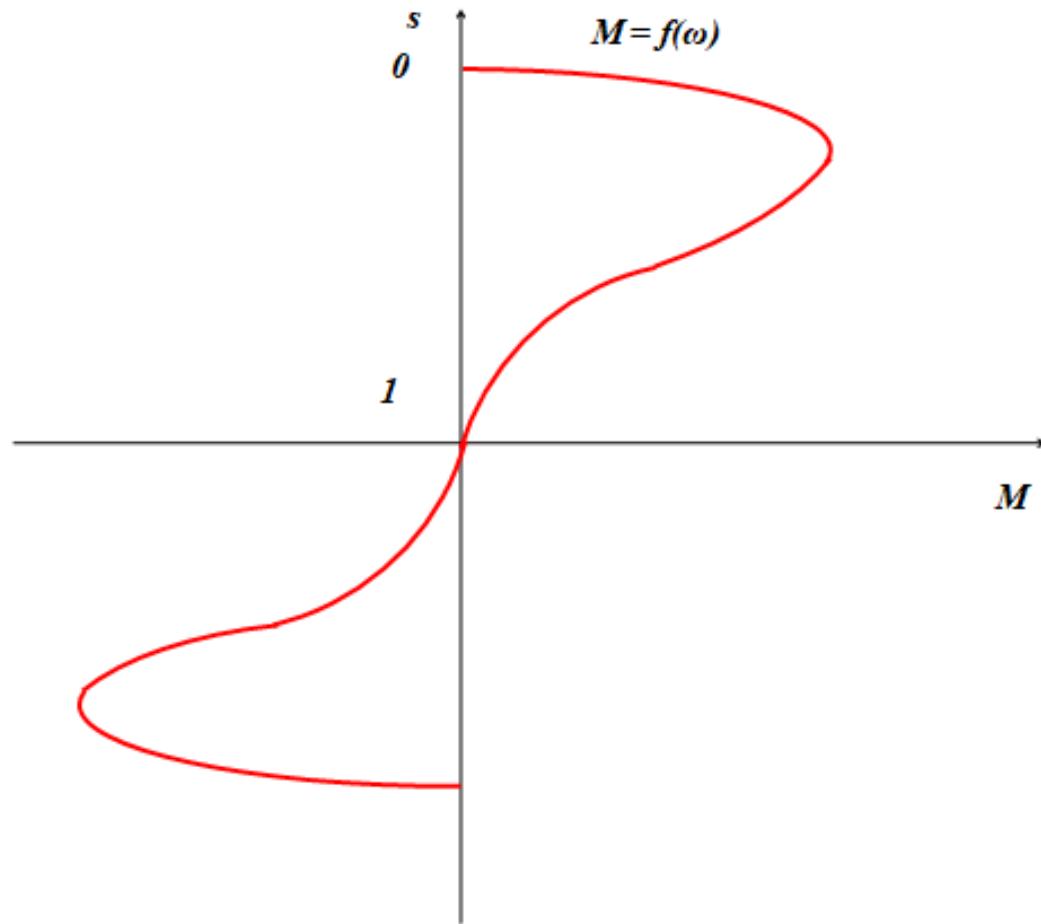
Статор имеет две обмотки, расположенные под углом 90° относительно друг друга. Основная обмотка называется **главной (рабочей)** и обычно занимает $2/3$ пазов сердечника статора, другая обмотка называется **вспомогательной (пусковой)** и обычно занимает $1/3$ пазов статора.

Электрическим током порождается пульсирующее магнитное поле на статоре мотора. Это поле можно рассматривать как 2 разных поля, которые врачаются разнонаправлено и имеют равные амплитуды и частоты.

Когда ротор находится в неподвижном состоянии, эти поля приводят к появлению равных по модулю, но разнонаправленных моментов.

Если у двигателя отсутствуют специальные пусковые механизмы, то при старте результирующий момент будет равен нулю, а значит – двигатель не будет вращаться.

Если же ротор приведен во вращение в какую-то сторону, то соответствующий момент начинает преобладать, а значит, вал двигателя продолжит вращаться в заданном направлении.



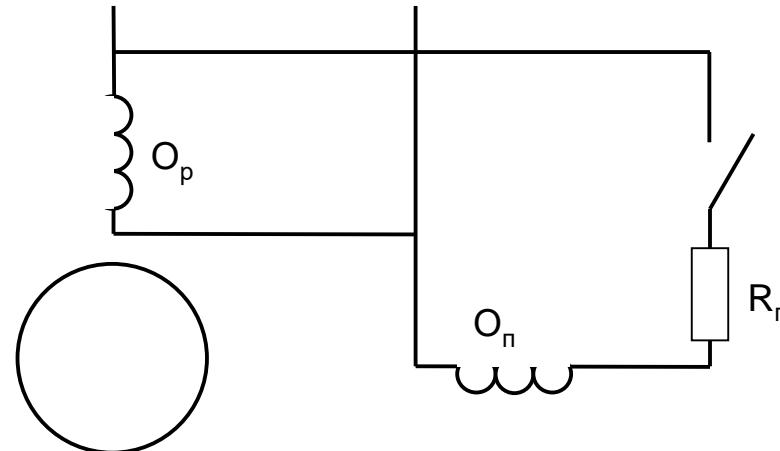
Одним из способов создания пускового момента в однофазном асинхронном двигателе, является расположение вспомогательной (пусковой) обмотки **B**, смещенной в пространстве относительно главной (рабочей) обмотки **A** на угол 90 электрических градусов. Чтобы обмотки статора создавали врачающееся магнитное поле токи I_A и I_B в обмотках должны быть сдвинуты по фазе относительно друг друга. Для получения фазового сдвига между токами I_A и I_B в цепь вспомогательной (пусковой) обмотки В включают фазосмещающий элемент, в качестве которого используют активное сопротивление (резистор), индуктивность (дронсель) или емкость (конденсатор).

После того как ротор двигателя разгонится до частоты вращения, близкой к установившейся, пусковую обмотку В отключают. Отключение вспомогательной обмотки происходит либо автоматически с помощью центробежного выключателя, реле времени, токового или дифференциального реле, или же вручную с помощью кнопки.

С пусковым сопротивлением

Двигатель с расщепленной фазой - однофазный асинхронный электродвигатель , имеющий на статоре вспомогательную первичную обмотку, смещенную относительно основной, и короткозамкнутый ротор.

Однофазный асинхронный двигатель с **пусковым сопротивлением** - двигатель с расщепленной фазой, у которого цепь вспомогательной обмотки отличается повышенным активным сопротивлением.

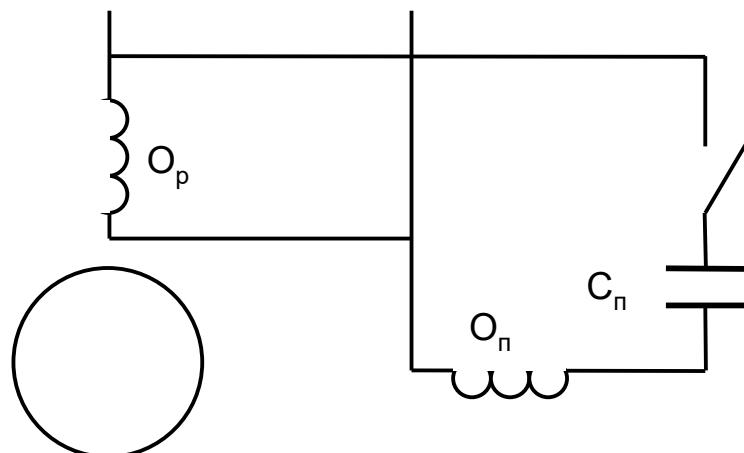


Для запуска однофазного двигателя можно использовать пусковой резистор, который последовательно подключается к пусковой обмотки. В этом случае можно добиться сдвига фаз в 30° между токами главной и вспомогательной обмотки, которого вполне достаточно для пуска двигателя. В двигателе с пусковым сопротивлением разность фаз объясняется разным комплексным сопротивлением цепей.

Также сдвиг фаз можно создать за счет использования пусковой обмотки с меньшей индуктивностью и более высоким сопротивлением. Для этого пусковая обмотка делается с меньшим количеством витков и с использованием более тонкого провода чем в главной обмотке.

Двигатель с конденсаторным пуском - двигатель с расщепленной фазой, у которого цепь вспомогательной обмотки с конденсатором включается только на время пуска.

Ёмкостной сдвиг фаз с пусковым конденсатором

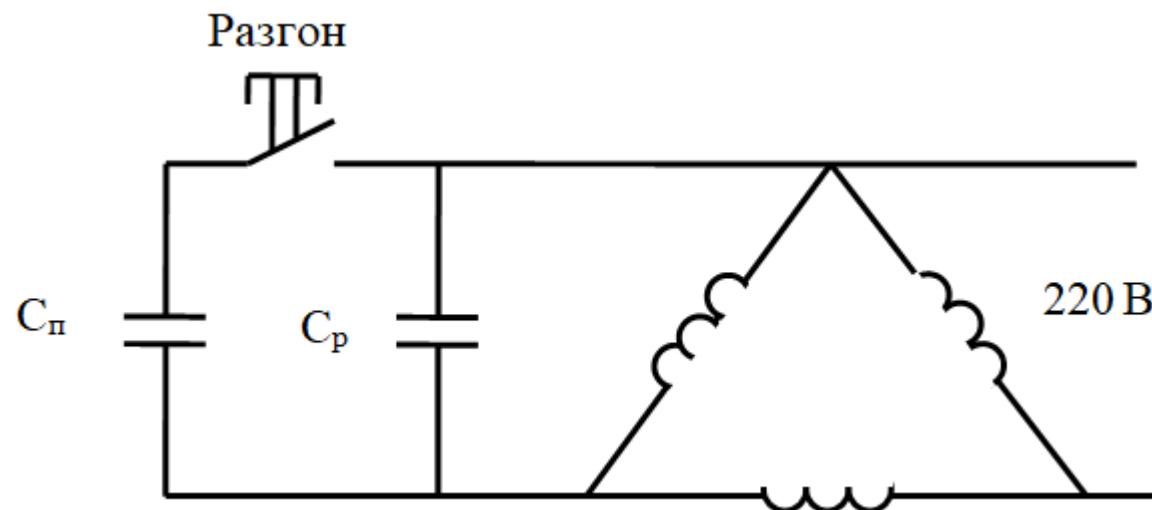


Чтобы достичь максимального пускового момента требуется создать круговое вращающееся магнитное поле, для этого требуется чтобы токи в главной и вспомогательной обмотках были сдвинуты друг относительно друга на 90° . Использование в качестве фазосдвигающего элемента резистора или дросселя не позволяет обеспечить требуемый сдвиг фаз. Лишь включение конденсатора определенной емкости позволяет обеспечить фазовый сдвиг 90° .

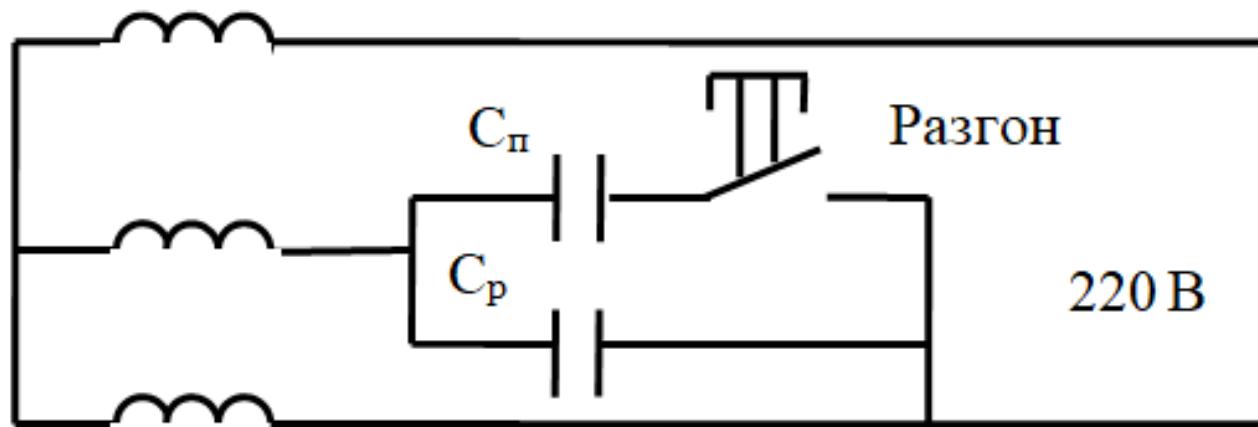
Среди фазосдвигающих элементов, **только конденсатор** позволяет добиться наилучших пусковых свойств однофазного асинхронного электродвигателя.

ЗАПУСК ТРЕХФАЗНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В ОДНОФАЗНОЙ СЕТИ

Первый вариант используется для электродвигателей, с частотой оборотов менее чем 1500 в минуту. Соединение обмоток выполнено треугольником. В качестве фазосдвигающего устройства используется специальная цепочка. Путем изменения сопротивления, на конденсаторе образуется напряжение, сдвинутое на определенный угол относительно основного напряжения



Второй вариант используется при запуске двигателей, частота вращения которых составляет 3000 об/мин.



$$C_p = 4800 I_h / U_c; \text{ мкФ}$$

$$C_p = 2800 I_h / U_c; \text{ мкФ}$$

$$C_{\pi} = (2,5 \dots 3) C_p; \text{ мкФ}$$

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Разновидности переходных процессов

Переходные процессы (ПП) в электроприводе (ЭП) - это режим работы ЭП при переходе из одного установившегося режима в другой, когда изменяются скорость вращения, ток или момент электродвигателя



Механические переходные процессы. Методика расчета

Основное уравнение движения ЭП:

$$M - M_c = J d\omega / dt$$

Разделяем переменные

$$dt = \frac{J}{M - M_c} d\omega$$

проинтегрируем

$$t = \int_{\omega_{\text{нач}}}^{\omega_{\text{кон}}} \frac{J}{M - M_c} d\omega$$

$$t_{\text{п}} = \frac{J(\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}})}{M - M_c}$$

При допущении $M - M_c = Const$ и $J = Const.$

Разгон от $\omega_{\text{нач}} = 0$ до $\omega_{\text{кон}} = \omega_{\text{ном}}$

$$t_{\text{п}} = \frac{J\omega_{\text{ном}}}{M - M_c}$$

Останов от $\omega_{\text{нач}} = \omega_{\text{ном}}$ до $\omega_{\text{кон}} = 0$

$$t_{\text{т}} = \frac{J\omega_{\text{ном}}}{M_c}$$

или

$$t_{\text{т}} = \frac{J\omega_{\text{ном}}}{M_c + M_{\text{т}}}$$

В том случае, если нельзя допустить, что

$$M - M_c = Const$$

используют графоаналитический способ определения времени ПП

Потери энергии в ЭД во время ПП (пуск)

Потери электроэнергии во время запуска ЭД практически полностью определяются потерями в обмотках, которые преобразуются в тепло.

Нагрев и ЭД с к.з.р. при пуске зависит от пускового тока и продолжительности пуска (разгона). Количество теплоты, выделяемой в обмотках статора определяется из выражения:

$$Q = 3 \int_0^{t_p} I^2 r dt$$

где r – суммарное сопротивление статора и приведенное сопротивление ротора; I – ток фазы; t_p – время разгона. Приведенное выражение не учитывает постоянные потери (механические и в стали), которые при пуске невелики по сравнению с потерями в обмотках.

$$Q = \int_0^{t_p} I^2 r dt$$

Если предположить, что ток в статорной обмотке в процессе разгона остается постоянным и равен $0,93 \lambda I_{\text{ном}}$, тогда

$$Q = 0,81 \lambda^2 I_{\text{ном}}^2 r t_p$$

С одной стороны, а с другой стороны

$$Q = c_m G_m \theta_k$$

где c_m – среднемассовая удельная теплоемкость, G_m – масса ЭД; θ_k – превышение температуры в конце разгона $\theta_k = (3,6 - 7,1) t_p$.

ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

1. По роду тока
2. По напряжению
3. По конструкции корпуса
4. По скорости
5. По способу крепления двигателя
6. По мощности

Методика выбора двигателя по мощности

В зависимости от режима работы рабочей машины выбирается ЭД соответствующего режима: S1, S2, S3 и т.д.

Режим работы S1 – продолжительный

При постоянной или мало изменяющейся нагрузке на валу мощность двигателя должна лишь незначительно превышать мощность нагрузки. При этом должно удовлетворяться условие

$$P_n \geq P,$$

где P_n - номинальная мощность двигателя; P - мощность нагрузки.

Выбор двигателя сводится к выбору его по каталогу.

Выбор мощности двигателя при продолжительном режиме работы. Если момент и мощность производственного механизма не изменяется, то должен быть выбран двигатель с номинальной мощностью P_n , равной мощности нагрузки с учетом потерь в трансмиссии (редукторе):

$$P_n \geq P_m / \eta_T, \text{ Вт}$$

Режим работы S2 – кратковременный

Двигатели для кратковременного режима работы

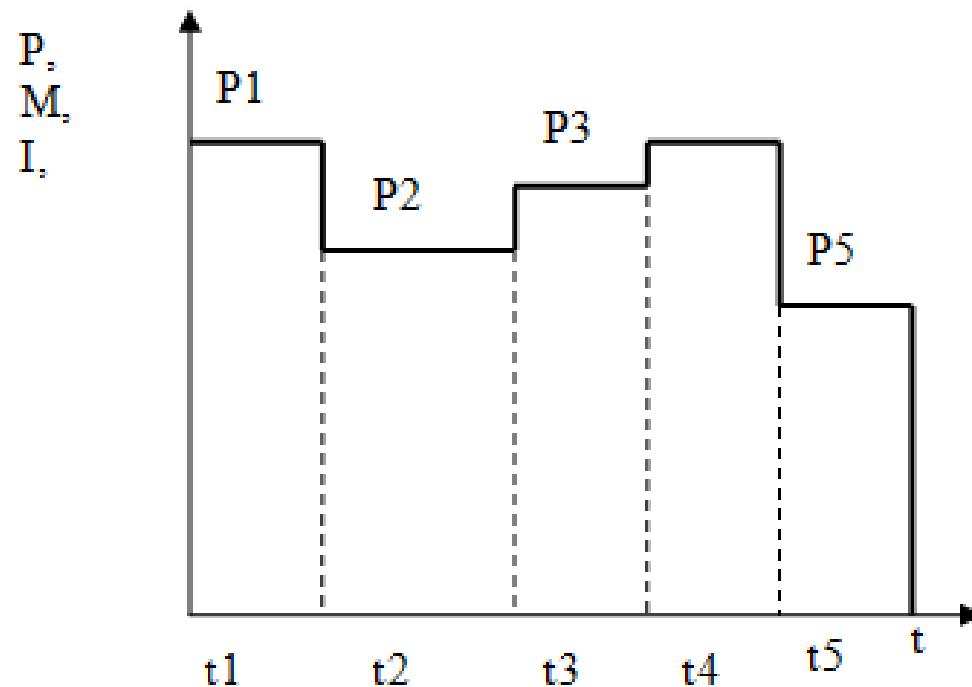
электропривода выбирают по номинальной мощности, которая должна быть равна мощности нагрузки с учетом длительности работы. Стандартные допустимые значения двигателей, выпускаемых промышленностью для кратковременной работы, составляют 10, 30, 60, 90 мин.

При отсутствии двигателей кратковременного режима работы можно устанавливать двигатели повторно-кратковременного режима. При этом длительность работы 30 мин соответствует ПВ = 15%, 60 мин соответствует ПВ = 25%, а 90 мин соответствует ПВ = 40%. Возможно применение двигателей для продолжительного режима работы с $P_h < P$ и последующей их проверкой на тепловой режим.

Режим работы S3 – повторно-кратковременный

Для электропривода, работающего в повторно-кратковременном режиме, мощность двигателя рассчитывают методом средних потерь или эквивалентных величин. Первый метод более точный, но более трудоемкий. Удобнее пользоваться методом эквивалентных величин. В зависимости от заданного графика нагрузки $P = f(t)$, $M = f(t)$, $I = f(t)$ определяют среднеквадратичные величины, которые называют эквивалентными.

Эквивалентная мощность представляет собой среднеквадратичную мощность нагрузочной диаграммы



$$P_{\text{EKB}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 \beta_1 + t_2 \beta_2 + t_3 \beta_3 + \dots + t_n \beta_n}}$$

где β_n - коэффициент ухудшения теплоотдачи на n-м интервале

$$\beta_n = \beta_0 + (1 - \beta_0) \frac{\omega_n}{\omega_{max}}$$

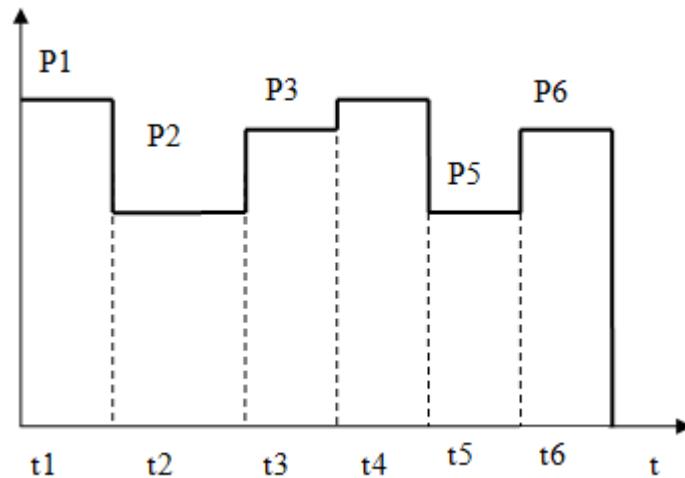
Исполнение двигателя	β_0
Закрытый с независимой вентиляцией	1
Закрытый без принудительного охлаждения	0,95...0,98
Закрытый самовентилируемый	0,45...0,55
Самовентилируемый защищенный	0,25...0,35

$$P_{экв} \leq P_p$$

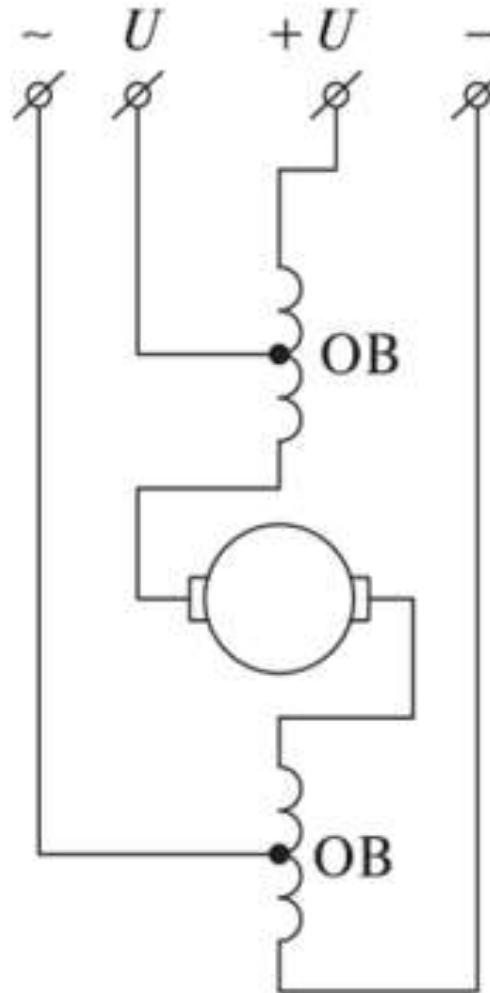
$$M_{пуск} \geq \lambda_p M_{ном} \geq M_c$$

$$P_{кат} = P_{экв} \sqrt{\frac{ПВ_{экв}}{ПВ_{кат}}}$$

№ варианта	1	2	3	4	5
P1, кВт	5,8	11,1	7,6	4,3	11,2
t1, мин	1,2	1,2	1,6	1,1	1,2
P2, кВт	5,4	10,4	8,3	5,2	9,1
t2, мин	1,2	1,5	1,0	1,7	1,7
P3, кВт	6,2	9,2	7,4	5,6	1,5
t3, мин	0,9	1,3	1,3	1,2	1,3
P4, кВт	6,8	11,6	6,9	6,0	11,4
t4, мин	0,3	1,6	1,5	1,8	1,1
P5, кВт	7,0	9,5	9,5	5,9	9,3
t5, мин	1,1	1,0	1,9	1,8	1,5
P6, кВт	5,2	8,2	8,4	6,2	11,5
t6, мин	1,2	1,3	1,2	1,7	0,9



УНИВЕРСАЛЬНЫЕ КОЛЛЕКТОРНЫЕ ДВИГАТЕЛИ



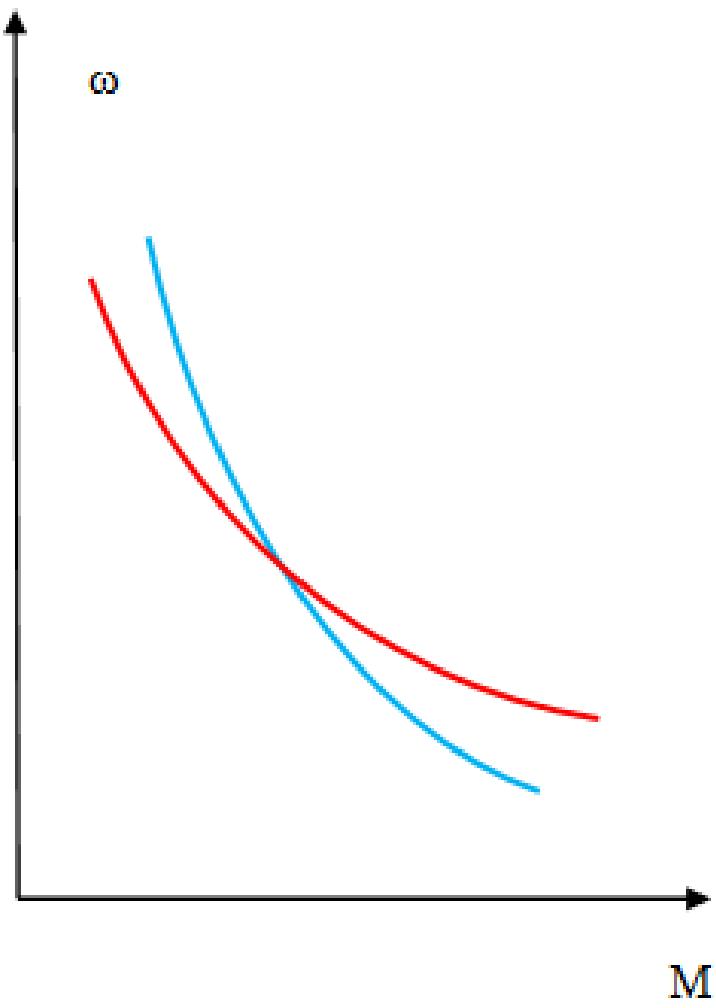
Универсальные коллекторные двигатели - это электродвигатели малой мощности **последовательного возбуждения** с секционированной обмоткой возбуждения, благодаря чему они могут работать как на постоянном, так и на переменном стандартных напряжениях примерно с одинаковыми свойствами и характеристиками. Такие электродвигатели используют для привода маломощных быстроходных устройств. Они допускают простое, широкое и плавное регулирование скорости.

По своему устройству эти двигатели отличаются от двигателей постоянного тока общего применения конструкцией статора, магнитную систему которого собирают из тонких изолированных друг от друга листов электротехнической стали с выступающими полюсами, на которых размещают по две секции обмотки возбуждения. Эти секции соединяют последовательно с якорем и располагают по обе стороны от его выводов, что снижает радиопомехи от искрообразования на коллекторе под щетками, которое при питании двигателя от сети переменного напряжения особенно усиливается из-за существенного ухудшения условий коммутации.

Пуск этих двигателей выполняют непосредственным включением в сеть постоянного или переменного напряжения, которое соответствует номинальному напряжению, указанному в ее табличке.

Скорость якоря универсального коллекторного двигателя последовательного возбуждения прямо пропорциональна напряжению на его зажимах и обратно пропорциональна амплитуде магнитного потока, зависящей от нагрузки на валу электродвигателя.

Механические характеристики у таких электродвигателей отличаются в зависимости от того на каком напряжении (переменном или постоянном) работает электродвигатель, так как при питании от сети постоянного напряжения присутствует только падение напряжения, созданное сопротивлениями обмоток возбуждения и якоря постоянному току, в то время как при присоединении к сети переменного напряжения возникает еще значительное индуктивное падение напряжения на обмотках возбуждения и якоря. Кроме этого, при переменном токе при малой скорости якоря имеет место значительный сдвиг фаз между напряжением и током, что резко снижает момент на валу двигателя.



Для получения примерно одинаковых механических характеристик на переменном и постоянном токе включают секционированную обмотку возбуждения двигателя на постоянный ток полностью, а при включении на переменный ток - частично, для чего двигатель присоединяют к соответствующей сети зажимами с обозначениями "+" и "-" или зажимами с обозначениями "~".

При номинальных режимах, отвечающих питанию от сети постоянного и переменного напряжений, номинальная скорость якоря одинакова. Однако при перегрузке двигателя, присоединенного к сети переменного напряжения, скорость якоря уменьшается сильнее, а при разгрузке возрастает быстрее, чем при работе его от сети постоянного напряжения.

Регулирование скорости якоря осуществляют изменением напряжения на зажимах машины, а также шунтированием обмотки возбуждения или обмотки якоря резистором. Из этих способов полюсное регулирование, осуществляющее параллельным включением обмотки возбуждения регулируемого резистора, является наиболее экономичным.

При холостом ходе скорость якоря может превысить номинальную в 2,5 - 4 раза и выше, а это не допустимо из-за значительных центробежных сил, которые могут разрушить якорь. По этой причине режим холостого хода допустим только для двигателей малой номинальной мощности с относительно большими механическими потерями, ограничивающими скорость якоря. Двигатели с незначительными механическими потерями всегда должны нести нагрузку не менее 25% номинальной.

Основным преимуществом универсальных коллекторных двигателей по сравнению с асинхронными и синхронными двигателями является то, что они развивают **значительный начальный пусковой момент** благодаря последовательной обмотке возбуждения и позволяют без применения повышающего редуктора получить скорость якоря значительно выше синхронной.

Номинальный к. п. д. этих машин зависит от их номинальной мощности, быстроходности и рода тока. Так, у двигателей номинальной мощностью от 5 до 100 Вт он составляет от 0,25 до 0,55, а в машинах номинальной мощностью до 600 Вт его значение доходит до 0,70 и выше, причем работа двигателей на переменном токе всегда сопровождается пониженным к. п. д., что вызвано повышенными магнитными и электрическими потерями. Номинальный коэффициент мощности этих двигателей составляет 0,70 - 0,90.

ОБЗОР ОБЩЕПРОМЫШЛЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ ЦИКЛИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Группа общепромышленных установок циклического действия включает в себя подъемные краны, одноковшовые экскаваторы, стационарные подъемники различных конструкций и назначения, маятниковые канатные дороги, конвейеры циклического действия, различные манипуляторы и промышленные роботы. **Общим для этих установок является режим работы, при котором технологический процесс состоит из ряда повторяющихся однотипных циклов, каждый из которых представляет собой законченную операцию загрузки рабочего органа, перемещения его из исходной точки в пункт назначения и разгрузки.**

В зависимости от специализации цикл может содержать выполнение предусмотренных технологией процессов, например черпания грунта, кантования перемещаемых изделий и т. п. Основные механизмы таких установок, как правило, имеют **реверсивный электропривод**, рассчитанный для работы в интенсивном **повторно-кратковременном режиме**. В каждом рабочем цикле имеют место неустановившиеся режимы работы электропривода: пуски, реверсы, торможения, оказывающие существенное влияние на производительность механизма, на динамические нагрузки привода и механизма, на к. п. д. установки и на ряд других факторов.

Все эти условия предъявляют к электроприводу сложные требования, в значительной степени общие для всей рассматриваемой группы механизмов. Несмотря на большое многообразие конкретных установок циклического действия, их рабочие движения обслуживаются ограниченным числом однотипных механизмов. Подъемные краны объединяют большую группу подъемно-транспортных установок циклического действия.

ОБЗОР ОБЩЕПРОМЫШЛЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

К числу общепромышленных установок непрерывного действия относится большая группа машин и механизмов, включающая в себя различные конвейеры, эскалаторы, кольцевые канатные дороги, многокабинные подъёмники, центробежные насосы, вентиляторы, компрессоры и воздуходувки, а также насосы и компрессоры поршневого типа

Все эти машины и механизмы, исключая компрессоры, объединены общностью назначения, так как их основной функцией является **транспортировка** людей, штучных и сыпучих грузов, а также жидкостей и газов.

Непрерывность действия, с одной стороны, является фактором, обеспечивающим более высокую производительность машин, а с другой – определяет простоту и высокую надежность применяемых систем электропривода и автоматизации их рабочих процессов. Поэтому во всех случаях, когда технология позволяет организовать непрерывные поточно-транспортные системы, использование механизмов непрерывного действия дает значительный экономический эффект.

Конвейеры являются наиболее распространенными механизмами непрерывного транспорта сыпучих и штучных материалов. В зависимости от типа тягового элемента конвейеры подразделяются на три группы: ленточные, цепные и канатные.

Под общим термином «**насосы**» объединяется многочисленная группа различных механизмов, предназначенная для транспортировки жидких сред. Сюда относятся, например, насосы в системе водоснабжения и канализации, землесосы, специальные насосы для химических сред (щелочей и кислот). Термин «**вентиляторы**» объединяет большую группу механизмов, осуществляющую по существу транспортировку газов (шахтные и промышленные вентиляторы, газодувки, дымососы и т. п.). Под **компрессорами** понимаются механизмы, предназначенные для получения и транспортировки сжатого воздуха с целью использования его энергии для создания сильного дутья, для привода пневматических тормозов, рабочих машин (молотов, прессов), инструмента (отбойных молотков) и т.п.

Требования к электроприводу формируются отдельно для каждого производственного механизма или для группы идентичных механизмов. Но есть **общие требования**, которые предъявляются к электроприводам всех механизмов. К таким требованиям относятся:

1. Обеспечение заданного технологического процесса и требуемой производительности.
2. Обеспечение требуемых условий пуска и торможения (в том числе по величине ускорения) производственных механизмов, а при необходимости - реверсирования и регулирования скорости.
3. Ограничение перегрузок, динамических и ударных.
4. Принцип управления электроприводом (ручное, автоматическое, программное и т.п.).

5. Требования по надежности, которые, как правило, отражаются в заданном времени наработки на отказ.
6. Требования по конструктивной защищенности электрооборудования (степени защиты IP), по условиям окружающей среды, климатическому исполнению.
7. Экономические показатели; к которым следует относить не только минимальную стоимость электропривода, но и затраты электроэнергии на его работу.
8. Экологические требования. К ним относят уровень шума и ограничение влияния электропривода на питающую сеть, связанное с мощностью искажения, вызванную высшими гармониками тока