

# Курсовое проектирование



**Семестр 8**

Тема курсового проекта: «Релейная защита  
типовых элементов СЭС»

# Требования к оформлению курсового проекта

КП состоит из:

- *Расчетно-пояснительной записки* (30...50 стр. формата А4);
- *графической части* (принципиальные и функциональные схемы РЗиА, формат А1).

В КП необходимо: разработать защиту силового трансформатора, ЛЭП, высоковольтного электродвигателя и устройств автоматики (АВР или АПВ).

При расчете защит элементов сети, **обязательна ссылка на ПУЭ**. Обозначения защит в расчетно-пояснительной части и в графической части должны соответствовать.

# Исходные данные для проектирования

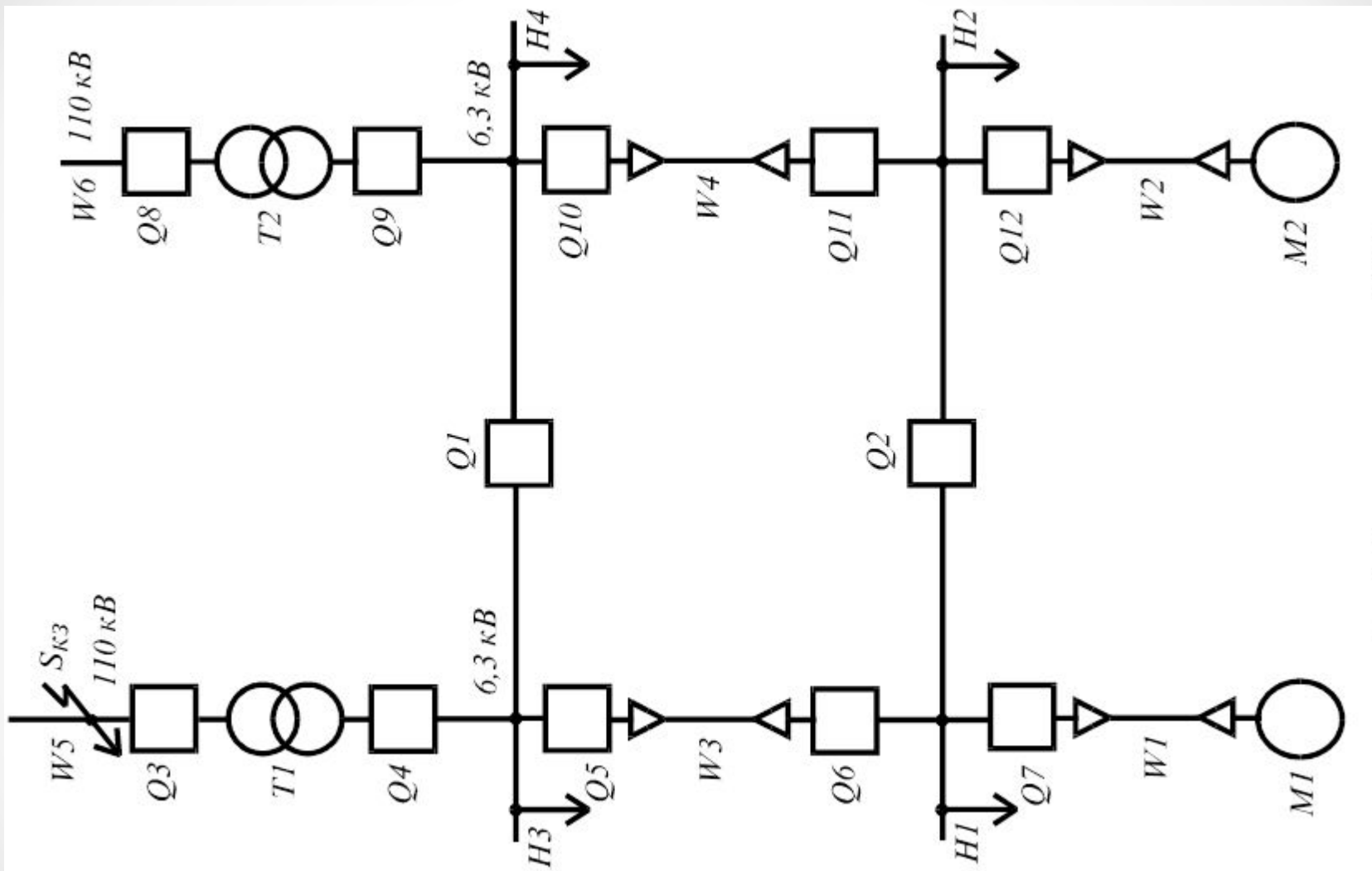


Рис. 1. Расчетная схема

# Исходные данные для проектирования

Параметры элементов расчетной схемы

Варианты	Мощность КЗ системы	Номинальная мощность электродвигателя	Данные по потребителям								Данные по автоматике	
			нагрузка Н1 (Н2)			нагрузка Н3 (Н4)			длина линии			
			нагрузка	уставки защиты		нагрузка	уставки защиты					
$S_{кз}$ , МВА	$P_a$ , МВт	$S_n$ , МВА	$t_{сз}$ , с	$I_{сз}$ , кА	$S_n$ , МВА	$t_{сз}$ , с	$I_{сз}$ , кА	$L_l$ , км	$L_{\Sigma}$ , км			
1	5000	4	4,0	0,8	0,21	2,5	1,2	0,32	3,0	14,0	Q1	-
2	4700	3,2	2,0	1,0	0,30	4,0	1,0	0,35	1,0	6,0	-	H1
3	4000	1,6	3,2	0,8	0,42	8,0	1,6	0,40	2,5	10,0	Q2	-
4	3800	2,0	4,0	0,5	0,50	11,0	1,0	0,56	5,0	17,0	-	H3
5	3500	1,25	1,5	0,7	0,30	3,0	0,9	0,35	2,0	12,0	Q1	-
6	3250	4	3,2	0,8	0,35	5,0	1,0	0,50	4,0	18,0	-	H1
7	3000	1,6	1,5	0,5	0,25	7,0	1,2	0,60	3,0	11,0	Q2	-
8	2800	2,0	3,5	0,6	0,45	12,0	1,4	0,70	2,0	10,0	-	H3
9	2500	3,2	2,5	0,7	0,14	2,8	1,3	0,41	5,0	20,0	Q1	-
10	2200	5,0	1,3	0,9	0,21	4,2	2,0	0,58	2,5	12,0	-	H1
11	2000	1,25	1,5	0,8	0,20	7,7	1,4	0,65	3,0	15,0	Q2	-
12	1800	1,6	5,0	0,5	0,60	15,0	1,6	0,9	1,6	8,0	-	H3
13	1000	2,0	4,0	0,6	0,55	17,0	1,0	1,0	2,0	15,0	Q1	-
14	1500	1,25	3,5	0,7	0,50	13,0	1,2	0,9	3,5	16,0	-	H1
15	1700	2,0	2,5	0,9	0,40	7,0	1,6	1,0	1,8	10,0	Q2	-
16	2000	1,6	2,1	0,5	0,41	4,5	2,0	0,9	1,6	12,0	-	H2

Нечетные номера  $U_{ном.нн} = 6 \text{ кВ}$ ; четные номера  $U_{ном.нн} = 10 \text{ кВ}$ .

# Примерное содержание пояснительно-расчетной части курсового проекта

1. Задание на курсовое проектирование.
2. Выбор элементов СЭС.
3. Расчет токов КЗ.
4. Расчет защиты электродвигателя.
5. Расчет защиты линии электропередачи.
6. Защита силового трансформатора.
7. Проверка трансформаторов тока на точность работы.
8. Расчет параметров устройств автоматики (АВР или АПВ).
9. Заключение.
10. Список литературы.

## Список литературы

1. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7 – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2010. – 464 с., ил.
2. Копьев В.Н. Релейная защита: учебное пособие / В.Н. Копьев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 160 с.
3. Чернобровов Н.В. Релейная защита: Учеб. для техн. – М.: Энергия, 1974. – 680 с.
4. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / Под ред. Б.Н. Неклепаева. – М.: НЦ ЭНАС, 2001. – 152 с.

## Список литературы

5. Корогодский В.И., Кутеков С.Л., Панерко Л.Б. Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1 кВ. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 298 с.
6. Овчинников В.В. Реле РНТ в схемах дифференциальных защит. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 88 с.
7. Шабад М.А. Максимальная токовая защита. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 96 с.
8. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматических распределительных сетей. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 296 с.
9. Овчинников В. В., Удрис А. П. Реле РНТ и ДЗТ в схемах дифференциальных защит. Часть 1,2 – М.:НТФ «Энергопрогресс», 2004. – 88 с.; ил.

# **Релейная защита и автоматизация ЭЭС**

*Семестр 8*

*Тема 1 «Расчет и выбор защит электродвигателей»*

**Подготовил:** ст. преподаватель кафедры ЭГиПП

Непша Федор Сергеевич

сот. тел. 8-904-994-25-15

e-mail: nepshafs@gmail.com



# Общие сведения

В нормальном режиме  $M_{\delta} = M_c$ .  
Если  $M_{\delta} < M_c$  – двигатель тормозится.  
Если  $M_{\delta} > M_c$  – двигатель ускоряется.  
 $M_{\delta \max} / M_{\delta \text{ ном}} \approx 2$ .  
Скольжение  $s$  в нормальном режиме равно 0,02-0,05.

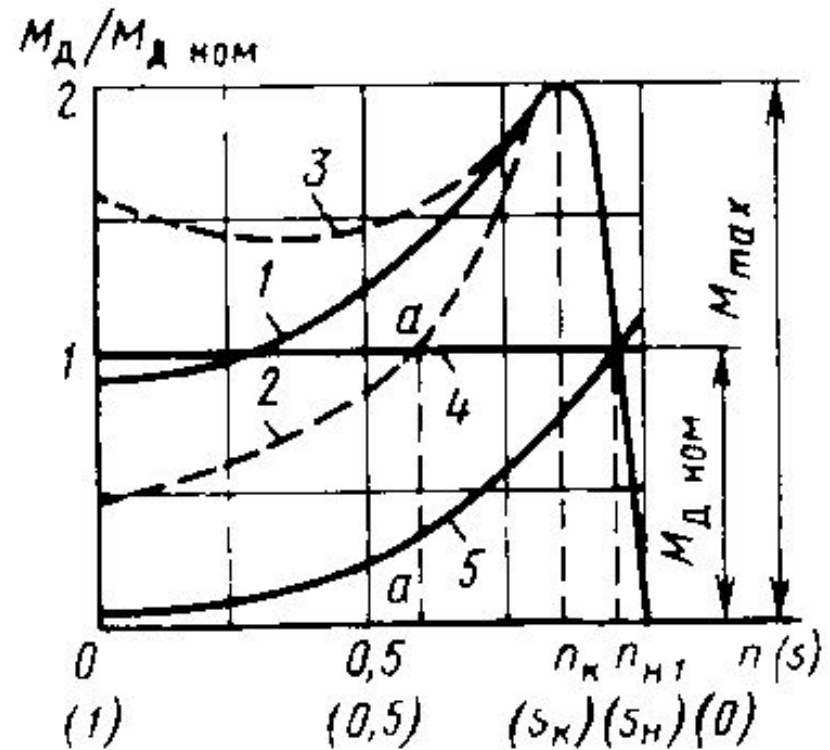


Рис. 1. Зависимость момента вращения асинхронных электродвигателей и моментов сопротивления механизмов от частоты вращения

# Общие сведения

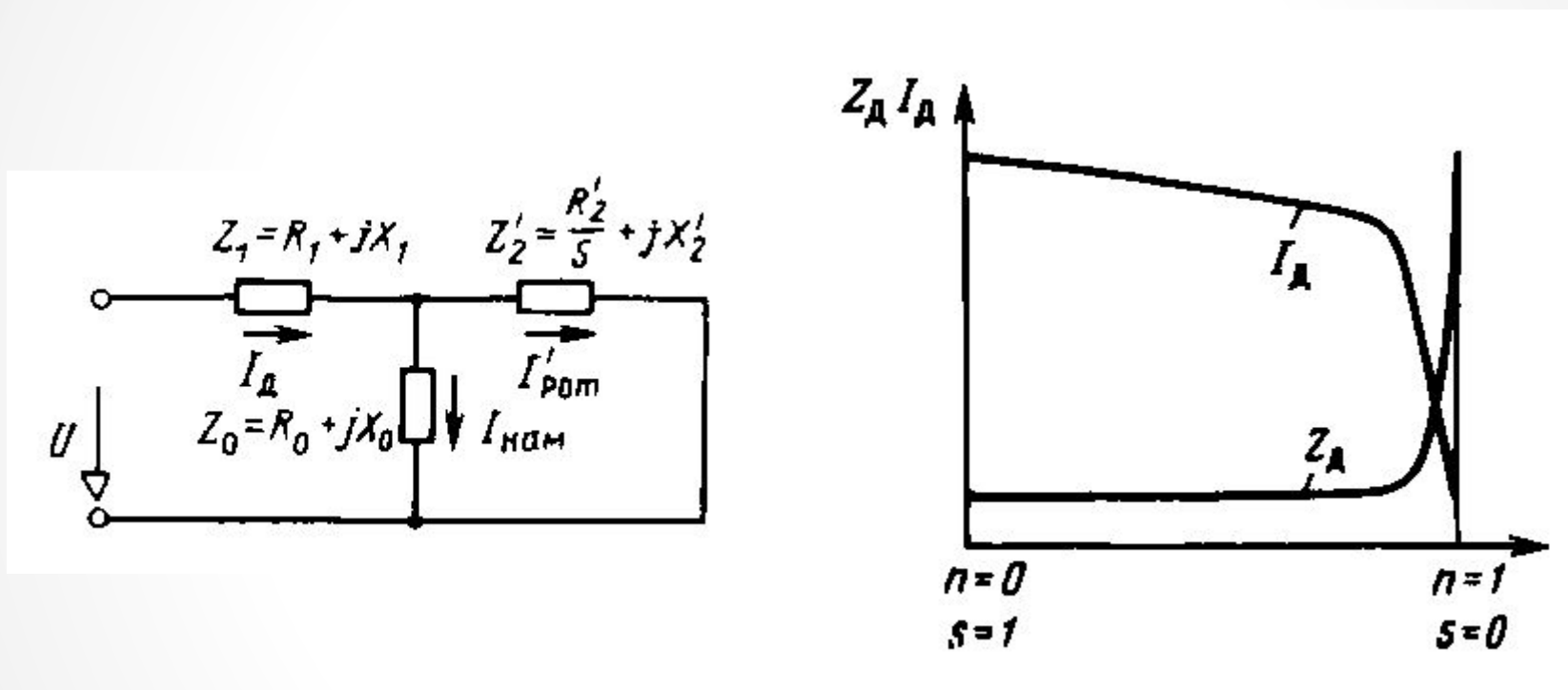


Рис. 2. Т-образная схема замещения АД и

Зависимость тока статора и сопротивления электродвигателя от скольжения

# Общие сведения

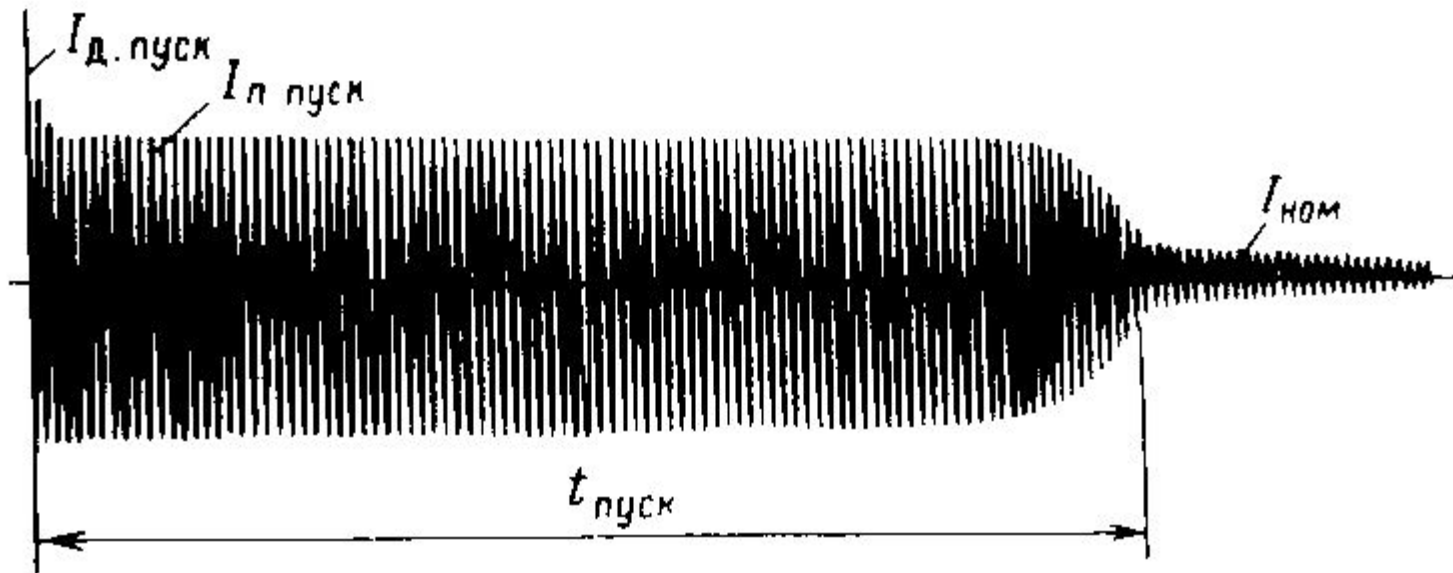


Рис. 3. Осциллограмма пускового тока АД

$$I_{д.пуск} = (1,6 \div 1,8) I_{п.пуск} \cdot$$

# Общие сведения

Зависимость  
электродвигателей  
напряжения:

момента  
от

$$M_{\text{д}} = kU^2$$

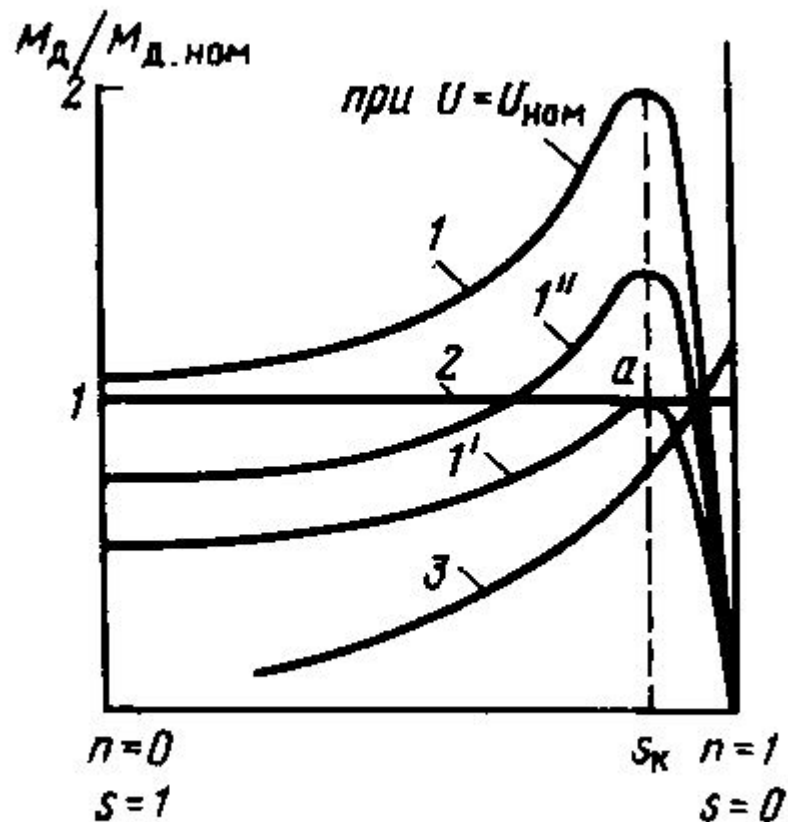


Рис. 4. Зависимость момента вращения АД от скольжения  $s$  при различных  $U$

# Общие сведения

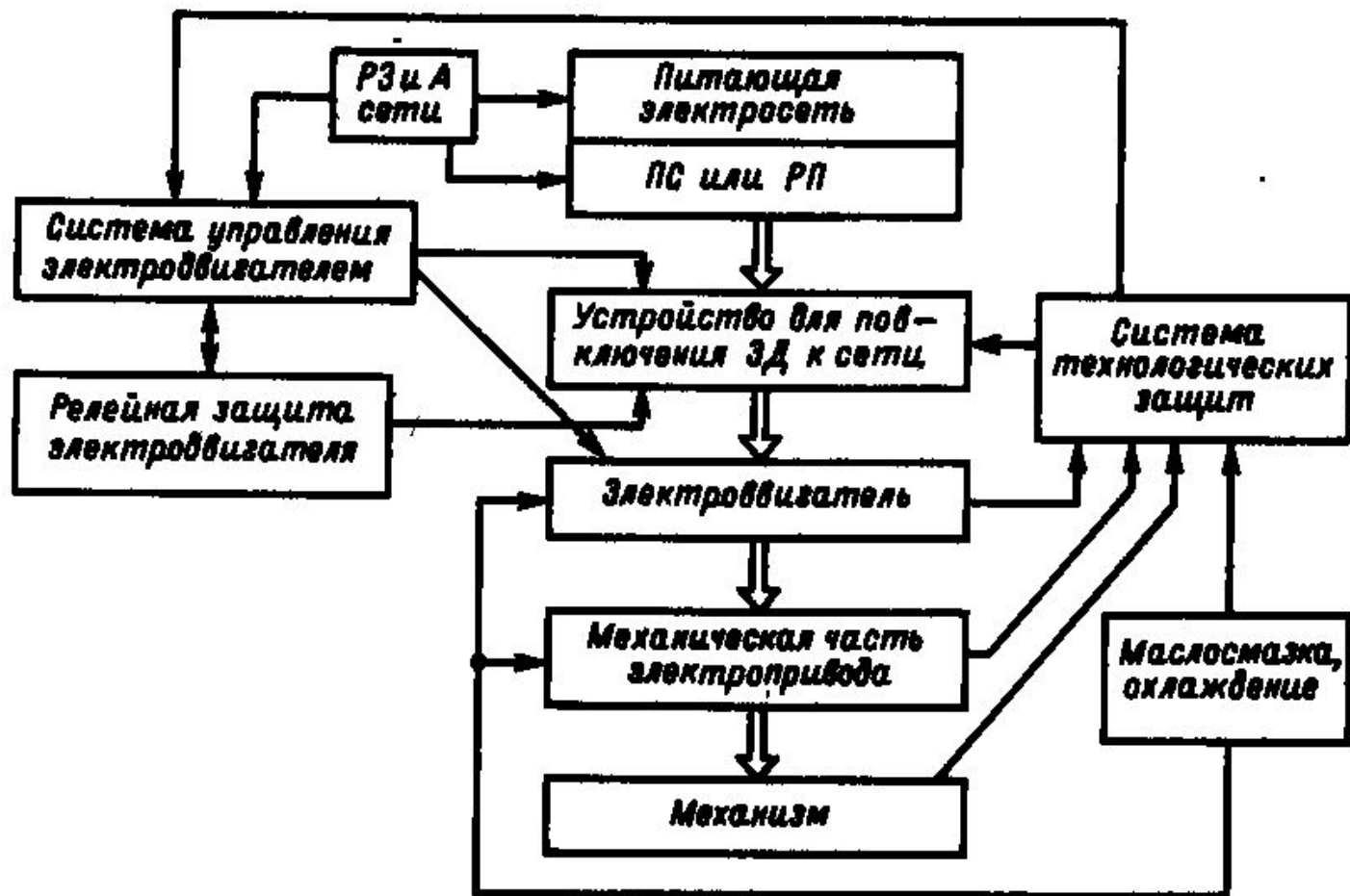


Рис. 5. Структурная схема взаимодействия ЭД с другими устройствами

# Общие сведения

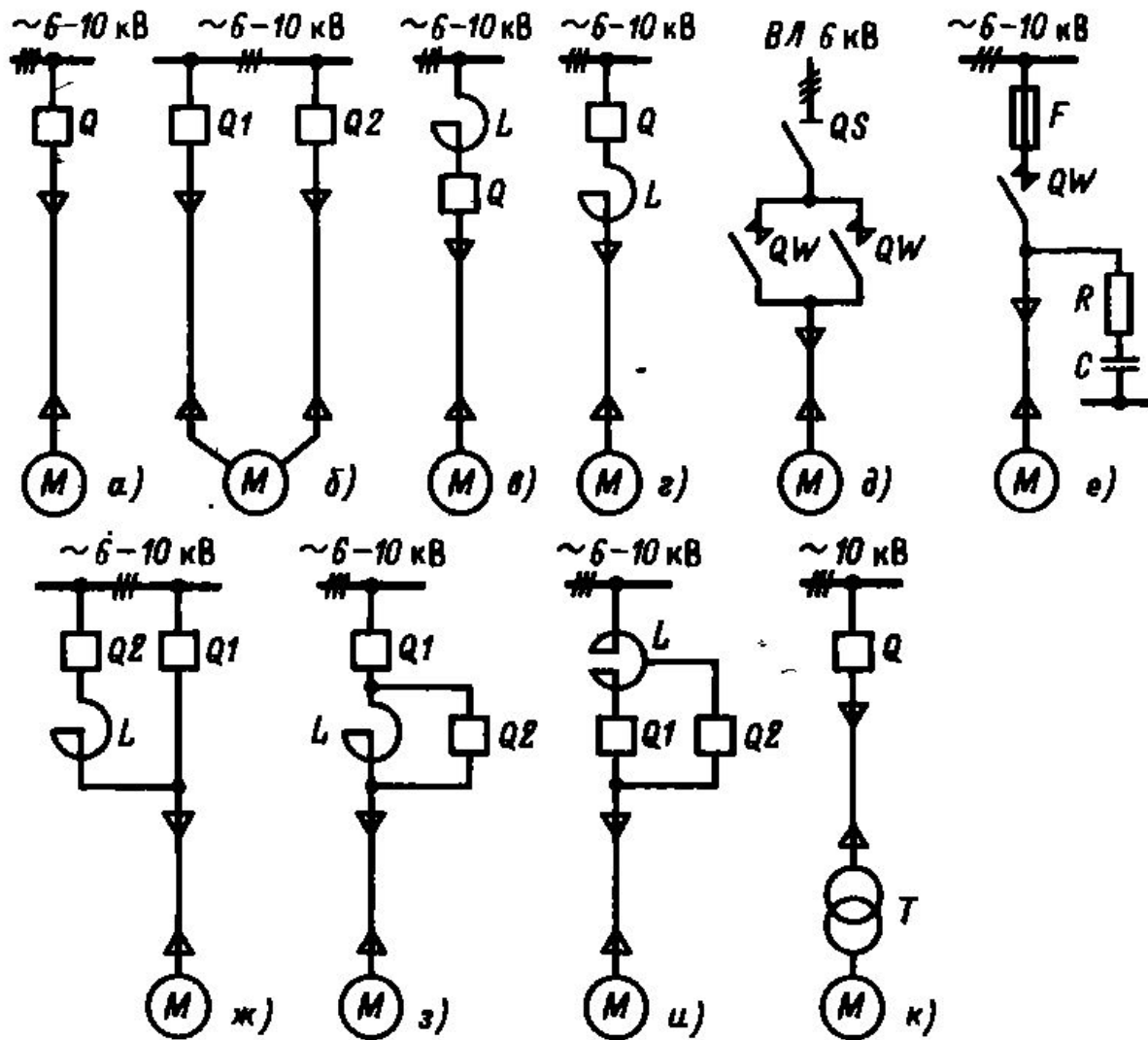


Рис. 6. Схемы подключения ЭД к питающей сети

# Виды повреждений ЭД

- Междофазные и витковые повреждения
- Однофазные замыкания
- Двойные замыкания на землю
- Повреждения в цепях возбуждения синхронного двигателя

# Виды ненормальных режимов ЭД

- Сверхтоки технологической перегрузки

$t_{пер} = A/(k^2 - 1)$ ; А- коэффициент, зависящий от типа ЭД (Закрытые ЭД  $A=250$ , открытые АД  $A=150$ )

- Сверхтоки при понижении напряжения

$$M_{вр} = kU_c^2$$

- Сверхтоки при обрыве фазы (несимметричные перегрузки).

- Сверхтоки синхронных электродвигателей при асинхронном режиме

$$M_{вр} = (kE_q U_c / X_d) \cdot \sin\delta$$



# Задачи релейной защиты ЭД

- **своевременное выявление электрических повреждений (желательно на ранних стадиях их возникновения и развития) в ЭД и пусковой аппаратуре, а также опасных для них ненормальных режимов;**
- **формирование и выдача управляющих воздействий на коммутационные аппараты, систему возбуждения, приводные механизмы и пусковую аппаратуру для уменьшения объемов разрушений, отключения линии, предотвращения развития ненормального режима, быстрого восстановления нормальной работы**

# Основные и резервные защиты ЭД

...

# Виды защит ЭД выше 1000 В

- защита от многофазных замыканий;
- защита от однофазных замыканий на землю;
- защита от токов перегрузки;
- защита минимального напряжения (защита от потери питания);
- защита от асинхронного режима (на СД).

# Защиты асинхронных ЭД свыше 1000 В (ПУЭ п. 5.3.43 – 5.3.54)

## 1. Защита от многофазных замыканий:

- Токовая однорелейная отсечка без выдержки времени, отстроенная от пусковых токов ( $P_{\text{дв}} < 2000$  кВт)
- Токовая двухрелейная отсечка без выдержки времени, отстроенная от пусковых токов ( $P_{\text{дв}} \geq 2000$  кВт или  $P_{\text{дв}} < 2000$  кВт при  $K_{\text{ч}} < K_{\text{чдоп}}$ ). При отсутствии защиты от ОЗЗ при  $P_{\text{дв}} \geq 2000$  отсечка должна быть трехрелейной.
- Продольная дифференциальная токовая защита ( $P_{\text{дв}} \geq 5000$  кВт или  $P_{\text{дв}} < 5000$  кВт при  $K_{\text{ч}} < K_{\text{чдоп}}$ ). При наличии защиты от ОЗЗ – двухрелейное исполнение, при отсутствии – трехрелейное.

# Токовая однорелейная и двухрелейная отсечка

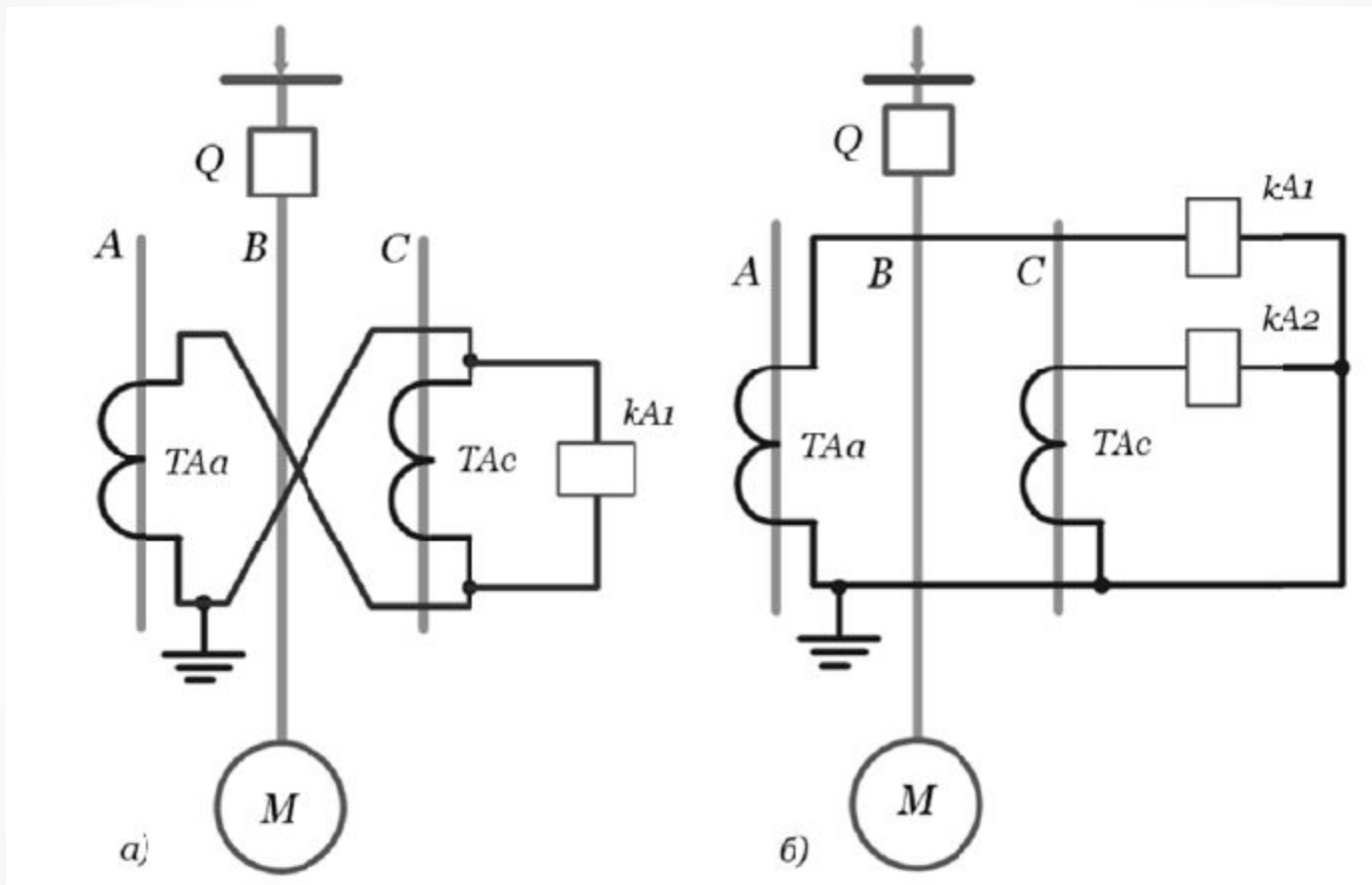


Схема с включением ТТ на разность токов практически не применяется!!!

# Выбор уставок ТО ЭД

Ток срабатывания ТО выбирается с учетом отстройки от максимального пускового тока:

$$I_{с.р.} = \frac{K_{отс} \cdot K_{сх} \cdot I_{пуск.мах}}{K_A} = \frac{K_{отс} \cdot K_{сх} \cdot K_{пуск} \cdot I_{н.д}}{K_A}, \quad (1.1)$$

где  $K_{отс}$  – коэффициент отстройки,  $K_{отс} = 1,8$  – для реле типа РТ–80,  $K_{отс} = 1,4$  – для реле типа РТ–40,  $K_{пуск}$  – кратность пускового тока, значение которого приводится в каталогах.

## Проверка чувствительности ТО ЭД

Чувствительность токовой отсечки проверяется при двухфазном КЗ на выводах ЭД в минимальном режиме работы системы:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз. min}}^{(2)}}{I_{\text{в.}}} \geq 2, \quad (1.2)$$

где  $I_{\text{кз. min}}^{(2)}$  – минимальное значение тока двухфазного КЗ на выводах ЭД.

# Продольная дифференциальная защита АД на реле РТ –40

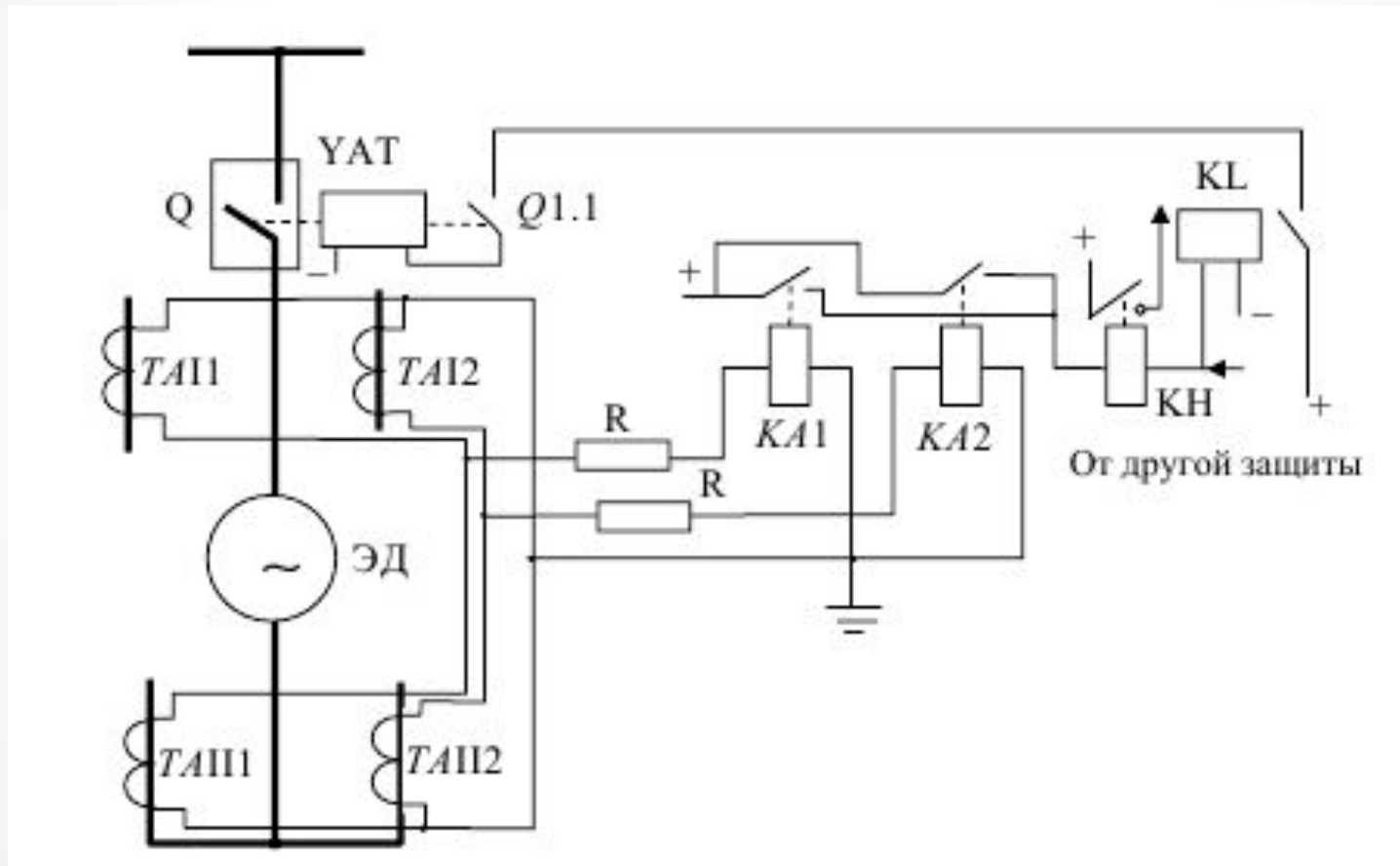


Рис. 1.1. Продольная дифференциальная защита асинхронного ЭД  
на реле РТ –40



# Продольная дифференциальная защита АД, включенного через промежуточные НТА

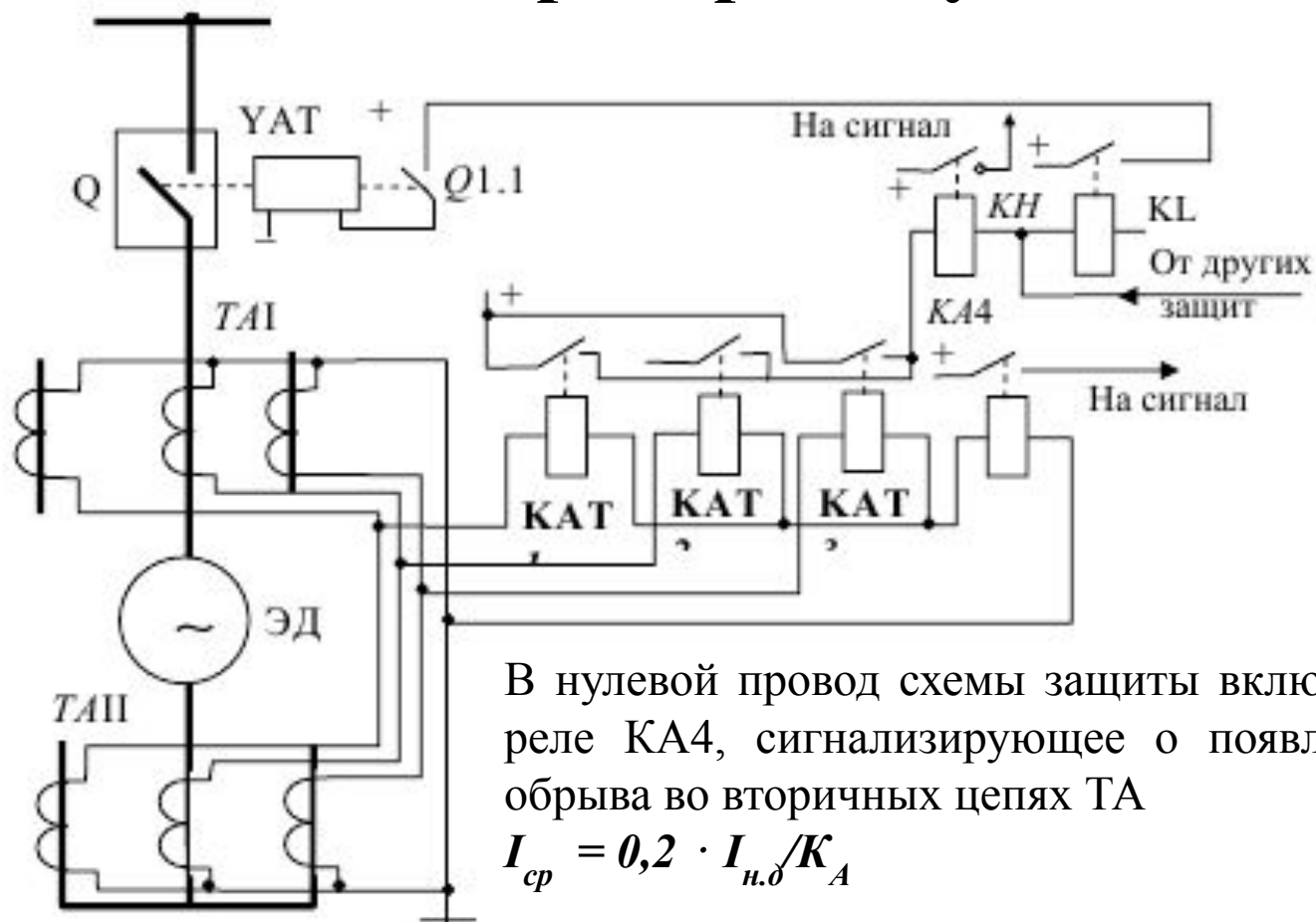


Рис. 1.2. Продольная дифференциальная защита асинхронного ЭД,  
включенного через промежуточные НТА

# Расчет продольной дифференциальной защиты в общем случае

Ток срабатывания защиты должен удовлетворять условию:

$$K_{с.з.} = K_{над} I_{нб.рсч.мах} \cdot A \quad (1.3)$$

Для определения  $I_{нб.рсч.мах}$  рассматривают два режима:

– *трехфазное КЗ на шинах ЭД (при  $t = 0$ ), при этом*

$$I_{нб.рсч.мах} = \frac{K_{одн} \cdot K_{ан} \cdot \varepsilon \cdot I_{кз.вн.мах}^{(3)}}{100 \cdot K_A}, \quad (1.4)$$

$K_{одн}$  – коэффициент однотипности ТТ (0,5...1),  $K_{ан}$  – коэффициент учитывающий наличие апериодической составляющей (1...2),  $\varepsilon=10\%$ ,

$I_{кз.вн.мах}^{(3)}$  – максимальный ток внешнего КЗ

– *асинхронный режим (синхронные ЭД), при котором*

$$I_{нб.рсч.мах} = \frac{K_{одн} \cdot K_{ан} \cdot \varepsilon \cdot I_{ур.мах}}{100 \cdot K_A}, \quad (1.5)$$

$I_{ур}$  – максимальный уравнивающий ток в обмотке статора

При выборе тока  $I_{с.з}$  принимается большее из двух условий – (1.4) и (1.5). Для уменьшения  $I_{нб.рсч.тах}$  ТА подбирают с мало отличающимися характеристиками намагничивания, сопротивления плеч защиты должны быть одинаковыми, при этом последовательно с реле тока включают добавочные резисторы  $R = 5...10$  Ом (рис. 1.1) или применяют реле типа РНТ–565 (рис. 1.2)

□ Для реле типа РТМ:  $K_{над} = 1,3$ ,  $K_{одн} = 0,5$ ,  $\varepsilon = 10$  % и реле тока с добавочным резистором  $K_{ап} = 1,5...2$ ,

□ Для реле типа РНТ:  $K_{ап} = 1,0...1,3$ .

При этом  $I_{с.з} \leq 0,75 \cdot I_{н.д.}$

# Расчет дифференциальной защиты, выполненной на реле РНТ-565

Параметры защиты выбираются из условия ее надежного несрабатывания в режиме пуска, самозапуска и при внешних КЗ:

$$I_{\text{ср.}} = \frac{K_{\text{отс}} \cdot I_{\text{нб}^*} \cdot I_{\text{пск. max}}}{K_A}, \quad (1.6)$$

где  $K_{\text{отс}} = 1,1$ ,  $I_{\text{нб}^*} = 0,37$  – для схемы соединения ТА «неполная Y–неполная Y»;  $I_{\text{нб}^*} = 0,30$  – для схемы соединения «Y–Y»;  $I_{\text{нб}^*} = 0,32$  – для схемы соединения «Y–Δ»;  $I_{\text{нб}^*} = 0,45$  – для схемы соединения «неполная Y–Δ»;  $I_{\text{пск. max}}$  – наибольшее действующее значение тока, протекающего через ТА в режиме пуска или самозапуска.

Для отстройки от токов НБ при переходных режимах, а также от обрыва в токовых цепях ТА  $I_{\text{с.з}}$  рекомендуется применять не меньше  $2 I_{\text{н.д}}$

# Расчет дифференциальной защиты, выполненной на реле РНТ-565

Число витков рабочей обмотки реле:

$$\omega_{\text{раб}} = \frac{F_{\text{ср}}}{I_{\text{ср}}} = \frac{100}{I_{\text{ср}}} \quad (1.7)$$

*Принимается ближайшее меньшее число витков.*

где  $F_{\text{ср}} = 100$  А витка – МДС срабатывания реле РНТ-565.

Реле ДЗТ–11 позволяет принимать  $I_{\text{с.з.мин}}$  при отсутствии торможения  $(0,75...1,4) \cdot I_{\text{н.д.}}$ . На ЭД может быть использована защита, входящая в комплект устройства ЯРЭ-2201, при этом можно достичь  $I_{\text{с.з.мин}} = 0,5 \cdot I_{\text{н.д.}}$ .

# Проверка чувствительности дифференциальной защиты, выполненной на реле РНТ-565

Проверка чувствительности защиты производится при двухфазном КЗ на линейных выводах обмотки статора в реле протекает наименьший ток:

$$I_{p.k.} = \frac{I_{к.min}^{(2)}}{K_A} \quad (1.8)$$

При этом наименьший коэффициент чувствительности

$$K_{ч} = \frac{I_{p.k.} \cdot \omega_p}{100} \geq 2 \quad (1.9)$$

# Внешний вид РНТ-565



**Структура условного обозначения  
РНТ ХХХ Х4**

РНТ – реле с насыщающим  
трансформатором ;

ХХХ - условный номер разработки  
(565, 566, 566/2, 567, 567/2)

Х4 - климатическое исполнение (УХЛ,  
0) и категория размещения (4) по  
ГОСТ 15150-69

## 2. Защита от однофазных замыканий на землю

**Предусматривается для:**

$P_{дв} \leq 2$  МВт (*отсутствие компенсации*) и  $I_{33} \geq 10$  А,

$P_{дв} \leq 2$  МВт (*при наличии компенсации*) и остаточный ток в нормальных условиях  $I_{ост} \geq 10$  А,

$P_{дв} > 2$  МВт при  $I_{33} \geq 5$  А

**Ток срабатывания:**

При  $P_{дв} \leq 2$  МВт,  $I_{с.з.} \leq 10$  А

При  $P_{дв} > 2$  МВт,  $I_{с.з.} \leq 5$  А

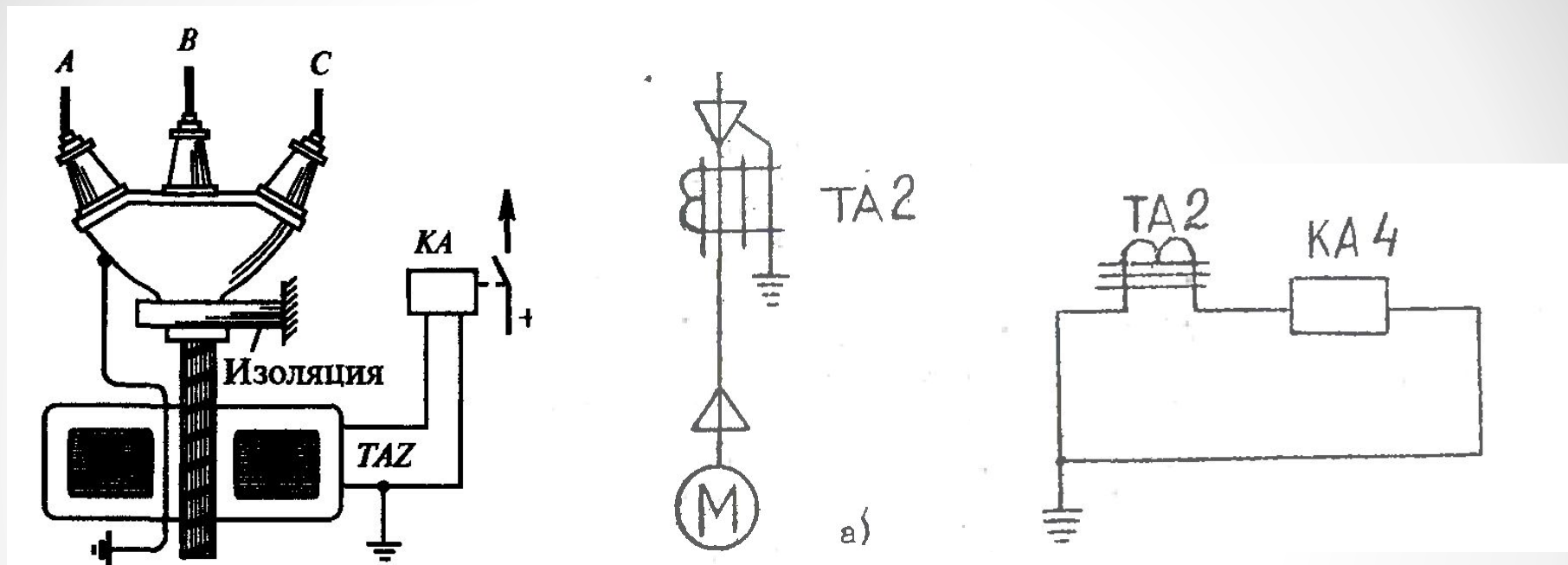
$t_{с.з.}$  - min

У СД защита должна также действовать на АГП.

*Защита выполняется с использованием ТНП.*

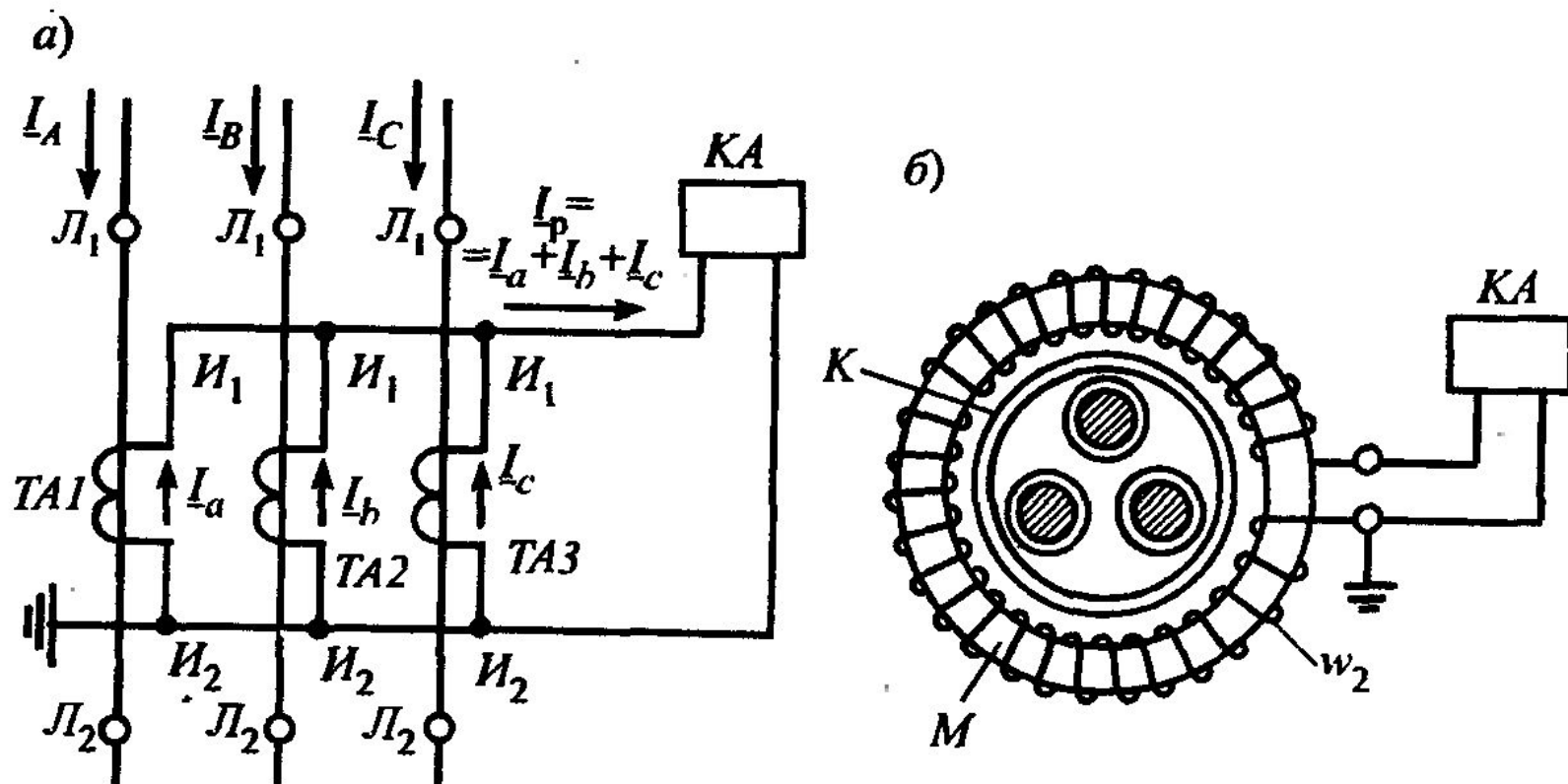


# Схема подключения защиты от ЗЗ



ГТНП устанавливаются, как правило, в РУ. Если установка ГТНП в РУ невозможна или может вызвать увеличение  $t_{с.з'}$ , допускается устанавливать их у выводов электродвигателя в фундаментной яме.

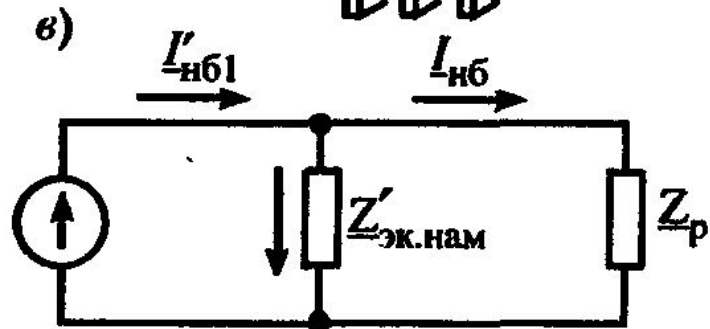
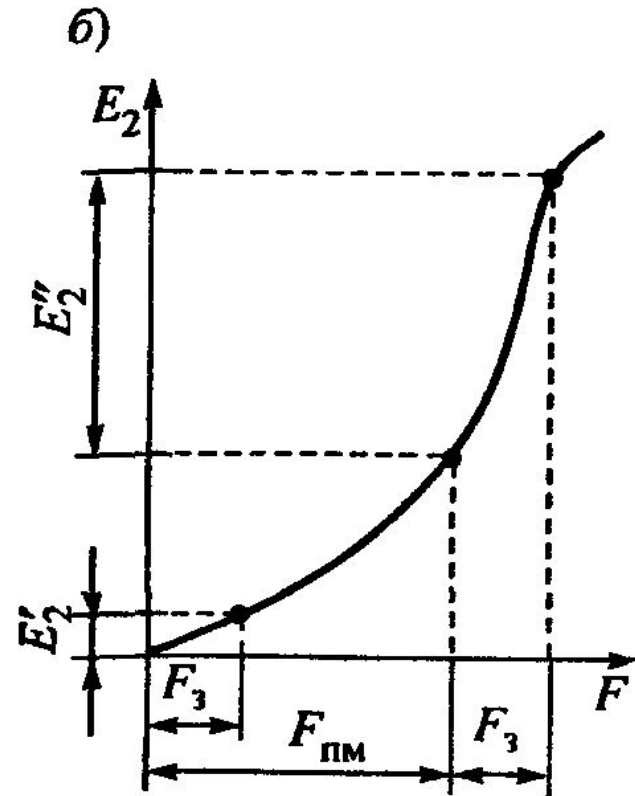
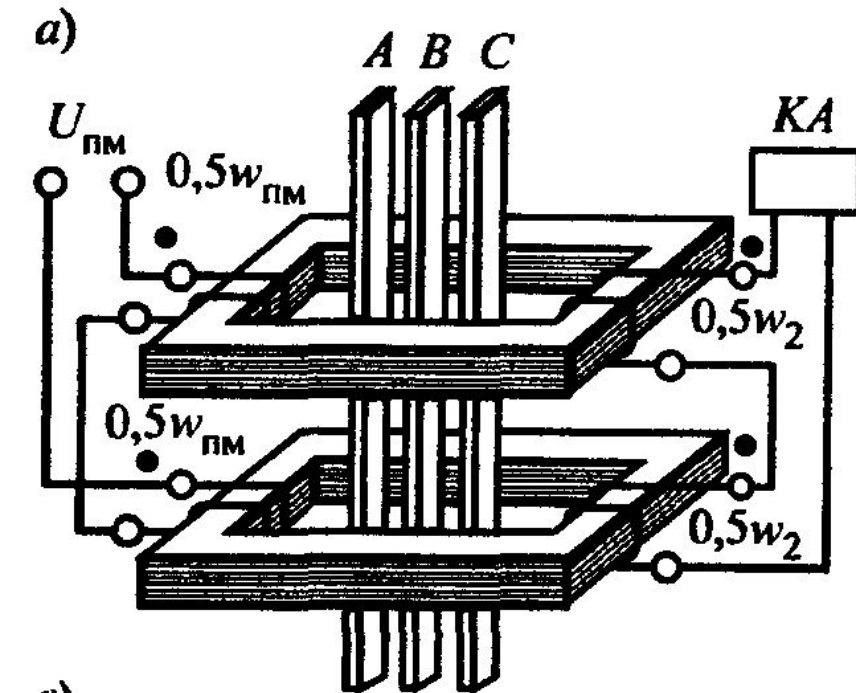
# Трансформатор тока нулевой последовательности



$$I_0 = (I_A + I_B + I_C) / 3.$$

$$I_p = 3I_0 / K_I - I_{нб}.$$

# ТТНП с подмагничиванием

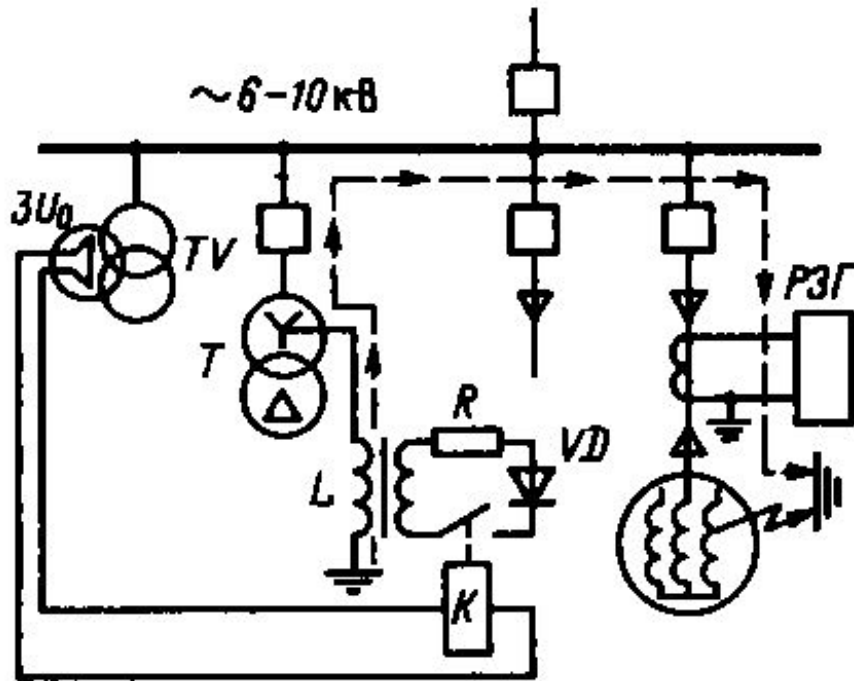


Если число кабелей, соединяющих РУ с ЭД, больше трех, то используются ТА нулевой последовательности с подмагничиванием переменным током

## Виды защит от ЗЗ ЭД

1. Защита, реагирующая на искусственно создаваемые высшие гармоники тока ЗЗ.
2. Защита, реагирующая на действующее значение  $I_0$  (РТЗ-51)
3. Токовые направленные защиты от ЗЗ (ЗЗП-1)

# Принцип фиксации замыкания фазы статора ЭД на корпус с использованием наложенного тока



При появлении  $3U_0$  подключается устройство генерирующее ток частотой 100 Гц ( $ДГР$ ,  $R$  и  $VD$ ).

Для защиты используется 2-я гармоника тока (39% от наложенного тока – около 2 А)

# Преимущества и недостатки защиты от ЗЗ с наложенным током

## Преимущество:

независимость действия защиты:

- от степени компенсации емкостного тока в сети, от уровня и стабильности естественных высших гармоник в токе нулевой последовательности
- от значения переходного сопротивления в месте повреждения

## Недостатки:

- необходимость отстройки от помех, создаваемых дугой в месте замыкания на корпус
- незначительное увеличение тока в месте замыкания на землю.

## **Требования по чувствительности**

Для ненаправленных защит минимальный коэффициент чувствительности должен составлять примерно 1,25 для кабельных и примерно 1,5 для воздушных линий, а для направленной токовой защиты — примерно 2.

# Расчет уставок защиты от ЗЗ (РТЗ-51)

Ток срабатывания защиты рассчитывается из условия несрабатывания защиты при внешнем однофазном замыкании на землю по выражению:

$$I_{сз} \geq k_{отс} k_{\delta} I_C, \quad (1.10)$$

где  $I_C$  — установившееся значение собственного емкостного тока защищаемого присоединения;  $k_{отс}$  — коэффициент отстройки, принимаемый равным 1,2—1,3;  $k_{\delta}$  — коэффициент, учитывающий бросок собственного емкостного тока в момент зажигания дуги; благодаря улучшенной отстройке от высших гармонических в реле типа РТЗ-51  $k_{\delta} = 2-2,5$ .



# Расчет уставок защиты от ЗЗ (РТЗ-51)

Значение  $I_C$  определяется как сумма емкостных токов ЭД  $I_{C.д}$  и линии ( $I_{Cл}$ ) от места установки ТТНП до линейных выводов ЭД:

$$I_{\Sigma} = I_{Cл} + I_{C.д} \quad (1.11)$$

Собственный емкостный ток ЭД определяется по формуле:

$$I_{C.д} = \frac{2\pi f 3C_D U_{ном}}{\sqrt{3}} \quad (1.12)$$

Значение  $I_{C.д}$  получается в амперах, если номинальная частота сети  $f$  выражена в герцах, емкость фазы статора  $C_D$  — в фарадах, а номинальное напряжение ЭД  $U_{ном}$  - в вольтах.

# Расчет уставок защиты от ЗЗ (РТЗ-51)

Емкость фазы статора принимается по данным завода-изготовителя. Для ориентировочных расчетов при отсутствии сведений завода-изготовителя можно пользоваться следующими приближенными формулами:

*-для неявнополюсных СД и АД с короткозамкнутым ротором:*

$$C_D = \frac{0,0187 S_{ном} 10^{-6}}{1,2 \cdot \sqrt{U_{ном} (1 + 0,08 U_{ном})}} \quad (1.13)$$

$S_{ном}$  — номинальная полная мощность ЭД, МВА,  $U_{ном}$  — номинальное напряжение ЭД, кВ;

*-для остальных ЭД:*

$$C_D = \frac{40 \cdot \sqrt[4]{S_{ном}^3} 10^{-6}}{3 \cdot (U_{ном} + 3600) \cdot \sqrt[4]{n_{нд}^3}} \quad (1.14)$$

где  $n_{нд}$  — номинальная частота вращения ротора (об/мин).

# Расчет уставок защиты от ЗЗ (РТЗ-51)

Собственный емкостный ток линии определяется по формуле:

$$I_{\epsilon} = I_{\epsilon_0} l m \quad (1.15)$$

где  $I_{\epsilon_0}$  — собственный емкостный ток единицы длины линии, А/км, ;  $l$  — длина линии, км;  $m$  — число проводов (кабелей) в фазе линии.

# Расчет уставок защиты от ЗЗ (РТЗ-51)

Собственный емкостный ток линии определяется по формуле:

$$I_{\epsilon} = I_{\epsilon_0} l m \quad (1.16)$$

где  $I_{\epsilon_0}$  — собственный емкостный ток единицы длины линии, А/км, ;  $l$  — длина линии, км;  $m$  — число проводов (кабелей) в фазе линии.

Вычисленное по (1.10) значение  $I_{\epsilon_3}$  может оказаться меньшим минимального тока срабатывания защиты  $I_{\epsilon_3.min}$ , указанного в табл. 1. В этом случае ток срабатывания принимается по условию:

$$I_{\epsilon_3} = I_{\epsilon_3.min} \quad (1.17)$$

# Расчет уставок защиты от ЗЗ (РТЗ-51)

Таблица 1

Тип ТТП	Количество ТТП и их соединение							
	1	2	3	4	2	3	4	5
	последовательно				параллельно			
ТЗЛ	$\frac{0,68}{3,96}$	$\frac{1,25}{6,80}$	$\frac{1,95}{9,83}$	$\frac{2,48}{14,6}$	$\frac{0,97}{4,25}$	$\frac{1,19}{4,80}$	$\frac{1,43}{5,95}$	Нет данных
ТЗЛМ	$\frac{0,60}{3,26}$	$\frac{1,08}{6,35}$	$\frac{1,60}{9,60}$	$\frac{2,16}{13,00}$	$\frac{0,89^*}{4,62}$	$\frac{1,08^*}{5,10}$	$\frac{1,33^*}{5,66}$	$\frac{1,67^*}{6,60}$
ТЗР	$\frac{0,90}{3,80}$	$\frac{1,26}{6,20}$	Нет данных		$\frac{1,41}{6,10}$	Нет данных		Нет данных
ТЗРЛ	$\frac{0,81}{4,17}$	$\frac{1,34}{7,90}$	$\frac{1,95}{11,70}$	$\frac{2,56}{15,44}$	$\frac{1,00}{5,00}$	$\frac{1,20}{6,10}$	$\frac{1,52}{7,20}$	Нет данных

Примечания 1 Таблица составлена по результатам испытаний, проведенных ПТП «Уралэнергочермет» и по данным института «Атомтеплоэлектропроект» (отмечены знаком \*)

2 Токи срабатывания даны при номинальной частоте  $f_{ном} = 50$  Гц

3 В числителе приведены минимальные, а в знаменателе — максимальные токи срабатывания

# Расчет уставок защиты от ЗЗ (РТЗ-51)

При определении окончательной уставки защиты с реле, подключенным к ТТНП в КРУ, необходимо помнить, что ток срабатывания защиты должен быть не только с определенным запасом ( $k_{зан} = 1,2-1,3$ ) — меньше опасного для ЭД тока 5 А, но и обеспечивать чувствительность защиты линии.

$$4A \geq I_{в.л.} \geq 3 \cdot I_c ; I_{\Sigma} \geq (4 \div 5) \cdot I_c , \quad (1.18)$$

Если условие (1.18) не выполняется из-за большого собственного емкостного тока линии, то ТТНП следует перенести к линейным выводам ЭД, а расчет повторить, принимая  $I_c = I_{с.д.}$

## Пример расчета защиты ЭД на РТЗ-51

Определить уставки защиты от замыкания на корпус обмотки статора СД типа СТД 5000-2 ( $U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ ), подключенного к сети с изолированной нейтралью, суммарный емкостный ток которой  $I_{c\Sigma} = 6 \text{ А}$ . Расчетное значение емкости статора на 3 фазы составляет 0,085 мкФ. ЭД связан с КРУ линией, состоящей из 3 кабелей сечением 150 мм<sup>2</sup> каждый. Длина линии 35 м. Реле защиты подключено к 3 соединенным ТТНП типа ТЗЛМ.

## Пример расчета защиты ЭД на РТЗ-51

Собственный емкостный ток электродвигателя СТД-5000-2 по (1.12) равен:

$$I_{\epsilon} = \frac{2\pi f 3C_D U_{ном}}{\sqrt{3}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 3 \cdot (0,085 / 3) \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}} \approx 0,16 \quad ,$$

Собственный емкостный ток линии по формуле (1.16):

$$I_{\epsilon} = I_{\epsilon_0} l m = 1,3 \cdot 0,035 \cdot 3 = 0,14$$

Первичный ток срабатывания защиты по (1.10) с учетом (1.11) составит:

$$I_{сз} \geq k_{отс} k_{\epsilon} (I_{C.д} + I_{C.л}) = 1,25 \cdot 2,5 \cdot (0,16 + 0,14) = 0,94$$



## Пример расчета защиты ЭД на РТЗ-51

Так как полученное значение  $I_{с.з.} = 0,94$  А оказывается меньше  $I_{с.з.мин} = 1,08$  А, приведенного в таблице 2 для 3-х параллельно соединенных ТТНП типа ТЗЛМ, защиту приходится загрузить, приняв  $I_{с.з.} = I_{с.з.мин} = 1,08$  А.

Проверка по чувствительности к однофазным замыканиям на землю и в линии к ЭД и в обмотке статора:

$$I_{с.з.} \leq \frac{I_{с\Sigma} - I_c}{K_{ч.мин}} = \frac{6 - (0,14 + 0,16)}{1,25} = 4,56 \quad ;$$

$$I_{с.з.} \leq 4$$

## Внешний вид реле РТЗ-51



1. Пределы регулирования тока срабатывания – от 0,02 до 0,12 А
2. Время срабатывания реле при подаче на вход двукратного тока срабатывания – 0,06 с
3. Потребляемая мощность в длительном режиме по цепи питания, не более
  - на переменном токе в длительном режиме - 6,5 ВА
  - на переменном токе в режиме срабатывания - 7,5 ВА
  - на постоянном токе - 10 Вт

## Внешний вид ТЗЛМ-1



Номинальное напряжение, кВ -  
0,66

Номинальная частота, Гц - 50

Односекундный ток термической  
стойкости вторичной обмотки, А  
– 140 А

Коэффициент трансформации -  
25/1

Трансформаторы  
устанавливаются на кабель:  
диаметром до 70 мм –  
ТЗЛМ-1, диаметром до 100  
мм – ТЗЛМ-1-1 и ТЗЛМ-1-2.

## Расчет уставок защиты от ЗЗ (ЗЗП-1)

Защита от ЗЗ на ЗЗП-1 применяется когда защита на РТЗ-51 не проходит по чувствительности. В частности такое наблюдается, когда не выполняется условие:

$$I_{c\Sigma} \geq (4 \div 5) \cdot I_c, \quad (1.19)$$

Выбор уставок направленной токовой защиты нулевой последовательности типа ЗЗП-1 производится по первичному току. Устройство ЗЗП-1 имеет три уставки, на которых ток срабатывания защиты по первичному току соответственно равен:

на уставке 1—0,07 А + 30%;

на уставке 2 — 0,5 А±30%;

на уставке 3 — 2 А±30%.

## Расчет уставок защиты от ЗЗ (ЗЗП-1)

Первичный ток срабатывания определяется исходя из требования обеспечения необходимого коэффициента чувствительности

$$I_{c.з.} \leq \frac{I_{c\Sigma} - I_c}{K_\psi} \quad (1.20)$$

где  $K_\psi$  — коэффициент чувствительности, принимаемый равным 2.

По полученному значению  $I_{c.з.}$  принимается ближайшая меньшая уставка устройства по току  $I_{c.з. \min}$ , а затем проверяется условие обеспечения  $K_\psi \geq 2$  исходя из принятой уставки и 30% разброса:

$$K_\psi = \frac{I_{c\Sigma} - I_c}{1,3 \cdot I_{c.з. \min}} \geq 2, \quad (1.21)$$

В сетях, где суммарный емкостный ток велик, допустимо загрублять защиту по току срабатывания, если  $K_\psi \geq 2$ . Условие  $I_{c.з. \min} \leq 4 \text{ А}$  обеспечивается автоматически т.к. нет уставки более 2 А.

# Внешний вид реле ЗЗП-1



**З** - защита;  
**З** - земляная;  
**П** - полупроводниковая;  
**1** - номер конструктивной модификации

## **Входные параметры:**

Напряжение питания: 24 В  
постоянного тока

Ток срабатывания защиты (3I<sub>о</sub>):

- на 1 уставке 0,07 - 0,021 А
- на 2 уставке 0,5 - 0,15 А
- на 3 уставке 2,0 - 0,6 А

## **Выходные параметры:**

Коммутируемый ток: до 2 А

Напряжение: 24-250 В

**Габариты:** 157 x 134 x 198 (В x Ш x Д)

**Вес:** 1,7 кг

# Схема подключения ЗЗП-1М

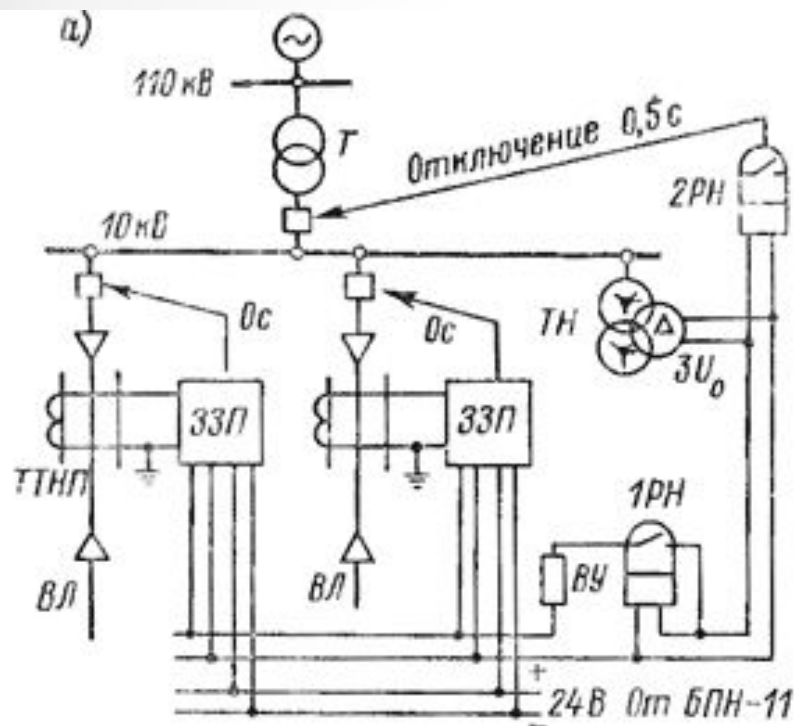
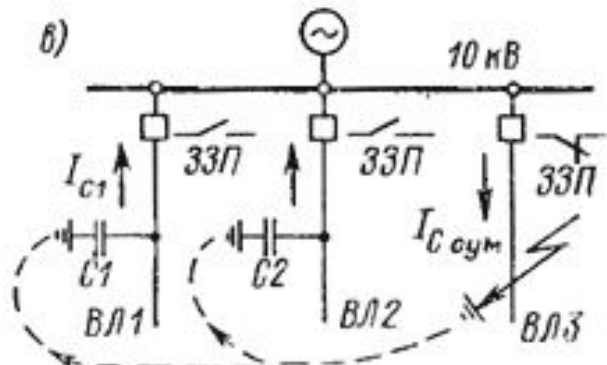
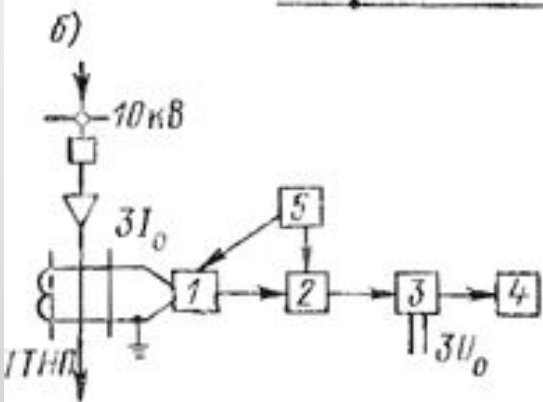


Рис. 3. Принципиальная схема включения (а), структурная схема (б) направленной защиты типа ЗЗП-1М и схема распределения емкостных токов при однофазном замыкании на землю в сети 10 кВ (в).

Защита ЗЗП-1М состоит из следующих основных органов: согласующего устройства 1, усилителя переменного тока 2, фазочувствительного усилителя (органа направления мощности) 3, выходного реле 4 и блока питания 5.



## Защита от перегрузки

- *Защита от перегрузки должна предусматриваться на ЭД, подверженных перегрузке по технологическим причинам, и на электродвигателях с особо тяжелыми условиями пуска и самозапуска (длительность прямого пуска непосредственно от сети 20 с и более), перегрузка которых возможна при чрезмерном увеличении длительности пускового периода вследствие понижения напряжения в сети.*
- *Защиту от перегрузки следует предусматривать в одной фазе с зависимой или независимой от тока выдержкой времени, отстроенной от длительности пуска электродвигателя в нормальных условиях и самозапуска после действия АВР и АПВ.*



Действие защиты на отключение электродвигателя допускается в тех случаях, когда:

- отключение электродвигателя не приводит к нарушению технологического процесса;
- разгрузку невозможно осуществить без останова;
- отсутствует постоянный дежурный персонал, который мог бы принять меры к разгрузке;
- имеют место тяжелые условия пуска и самозапуска.

## Уставки реле защиты от перегрузки

Ток срабатывания реле МТЗ от перегрузки выбирается по выражению:

$$I_{p.} = \frac{K_{отс} \cdot K_{сх} \cdot I_{ном}}{K_B \cdot K_A} \quad (1.8)$$

где  $K_{отс}$  — коэффициент отстройки, учитывающий ошибку реле и необходимый запас; принимается равным 1,05 при действии защиты на сигнал и 1,1 - 1,2 при действии на отключение;  $K_{сх}$  — коэффициент схемы, учитывающий соединение трансформаторов тока и реле;  $K_B$  — коэффициент возврата реле, принимается равным 0,8 для реле серии РТ-80 и 0,85 для реле серии РТ-40;  $I_{ном}$  — номинальный ток ЭД;  $K_A$  — коэффициент трансформации ТТ.

## Уставки реле защиты от перегрузки

Выдержка времени защиты от перегрузки выбирается из условия надежного несрабатывания защиты при пуске или самозапуске ЭД по выражению:

$$K_{в.} \geq t'_{отс} \cdot t_n, \quad (1.8)$$

где  $K'_{отс} = 1,2-1,3$  - коэффициент отстройки;  $t_n$  — время пуска для электродвигателей, не подлежащих самозапуску, или время самозапуска для самозапускающихся ЭД.

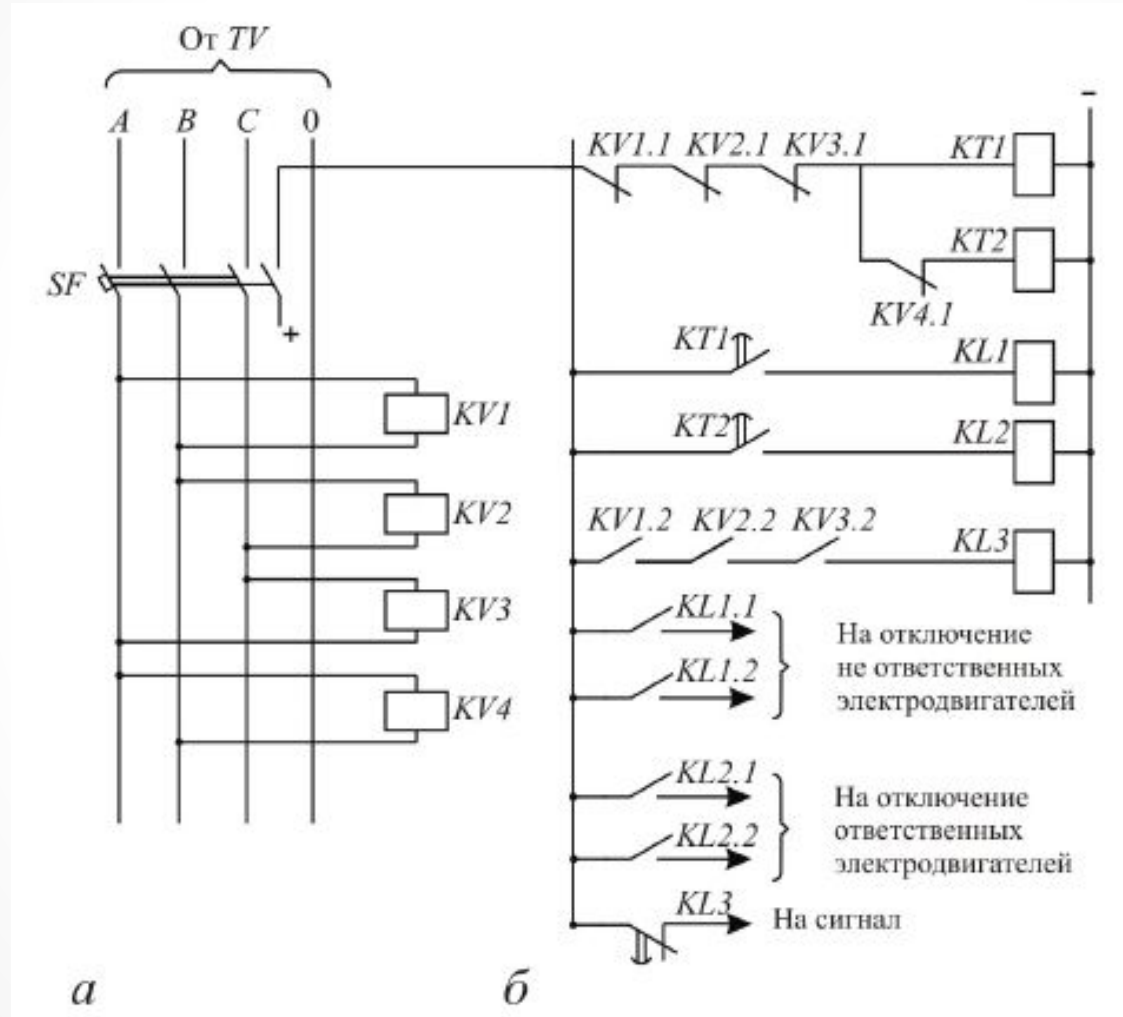
# Защита от потери питания

Выполняется двухступенчатой:

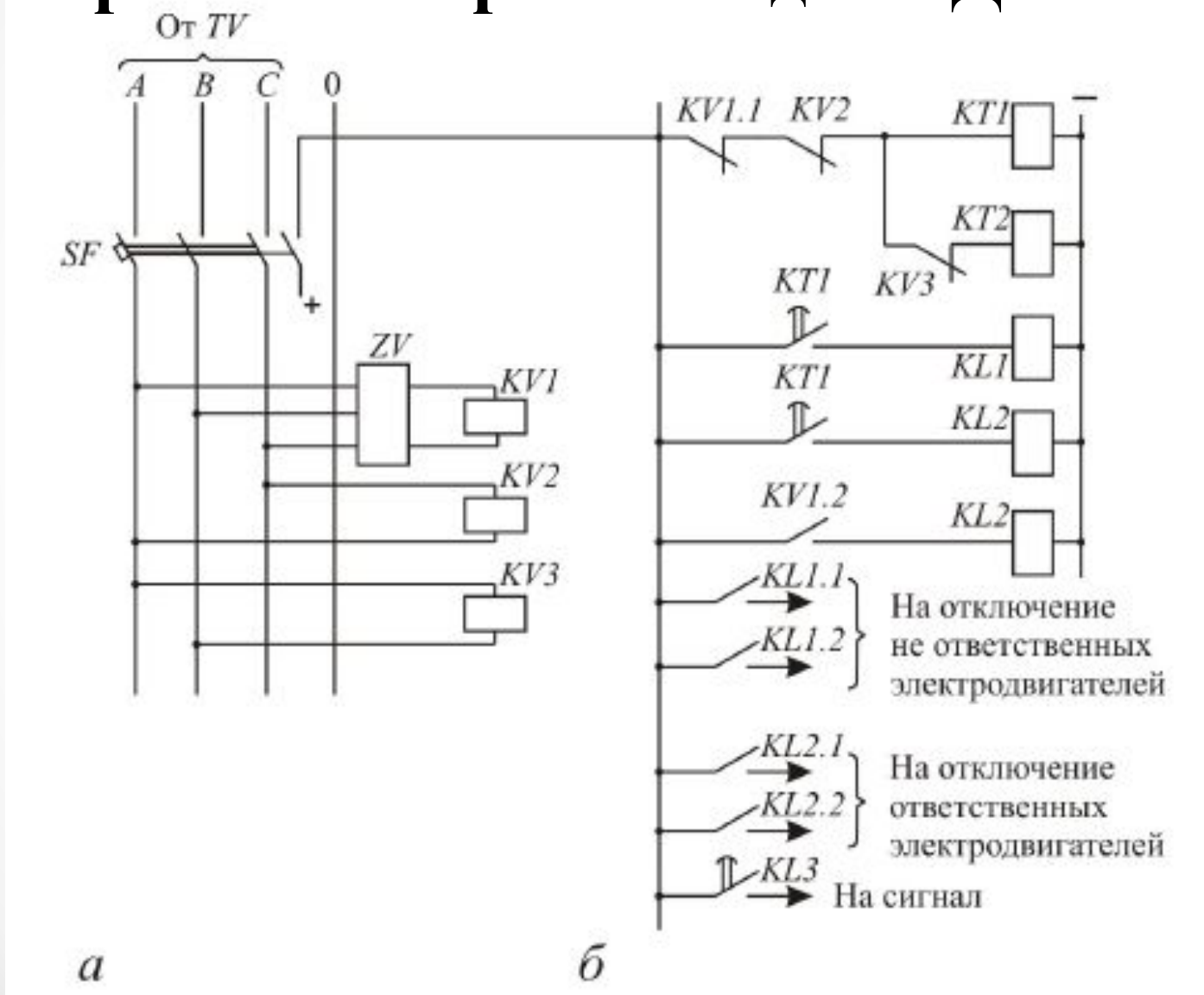
**1 ступень** -  $U_{с.з}^I = 0,7U_H$  - предназначена для облегчения самозапуска ответственных ЭД, она отключает ЭД неответственных механизмов.  $t_{сз} = 0,5...1,5$  с.

**2 ступень** -  $U_{с.з}^{II} = 0,5U_H$  - отключает часть электродвигателей ответственных механизмов, самозапуск которых недопустим по условиям техники безопасности или из-за особенностей технологического процесса.  $t_{сз} = 10...15$  с.

# Схема групповой минимальной защиты напряжения ЭД 6-10 кВ



# Схема групповой минимальной защиты напряжения с реле ОП для ЭД 6-10 кВ



# Расчет защиты от потери питания

Предварительно должны быть проанализированы все возможные режимы, приводящие к кратковременным или длительным снижениям напряжения и к перерывам электроснабжения всего узла нагрузки, где имеются защищаемые ЭД.

В отношении каждого ЭД необходимо решить, должен ли он отключаться при потере питания или в процессе самозапуска, и если должен, то когда и с какой выдержкой времени.

С этой целью целесообразно разделить ЭД на группы по степени ответственности механизмов, по их возможности участвовать в самозапуске после восстановления питания. Примерный перечень таких групп АД и расчетные формулы для определения параметров срабатывания защиты минимального напряжения для узла нагрузки, в котором отсутствуют СД, приведен в табл. 1.

Таблица 1

Основной признак группы ЭД	Условия выбора параметров срабатывания	Расчет первичного напряжения срабатывания	Расчет времени срабатывания
<p>Самозапуск предусматривается и обеспечивается при любых реальных режимах потери питания (время перерыва питания <math>t_{п,п}</math>)</p>	<p>Несрабатывание в условиях пониженного напряжения при самозапуске <math>U_{сам}</math>, отключение ЭД по условию техники безопасности при длительном исчезновении напряжения</p>	$U_{с.з} \leq \frac{U_{сам}}{k_{отс} k_B}$ $k_{отс} = 1,2,$ $k_B = 1,25$	$t > t_{п,п}$
<p>Самозапуск невозможен по условиям технологии при любых перерывах питания продолжительностью более <math>t_{п,п}</math> и снижении напряжения до <math>0,7 U_{ном}</math></p>	<p>Отключение ЭД при <math>U \leq 0,7 U_{ном}</math> до наступления самозапуска</p>	$U_{с.з} = 0,7 U_{ном}$	$t < t_{п,п}$
<p>Самозапуск после отключения близкого КЗ со временем <math>t_k</math> возможен и обеспечивается, а после перерывов электроснабжения длительностью <math>t \geq t_{п,п}</math> не обеспечивается или не предусматривается</p>	<p>Несрабатывание в условиях пониженного напряжения <math>U_{сам,к}</math> при самозапуске после отключения КЗ, отключение ЭД до начала самозапуска после перерыва электроснабжения длительностью <math>t \geq t_{п,п}</math></p>	$U_{с.з} \leq \frac{U_{сам,к}}{k_{отс} k_B}$ $k_{отс} = 1,2,$ $k_B = 1,25$	$t_k < t < t_{п,п}$



# Пример защиты асинхронного электродвигателя

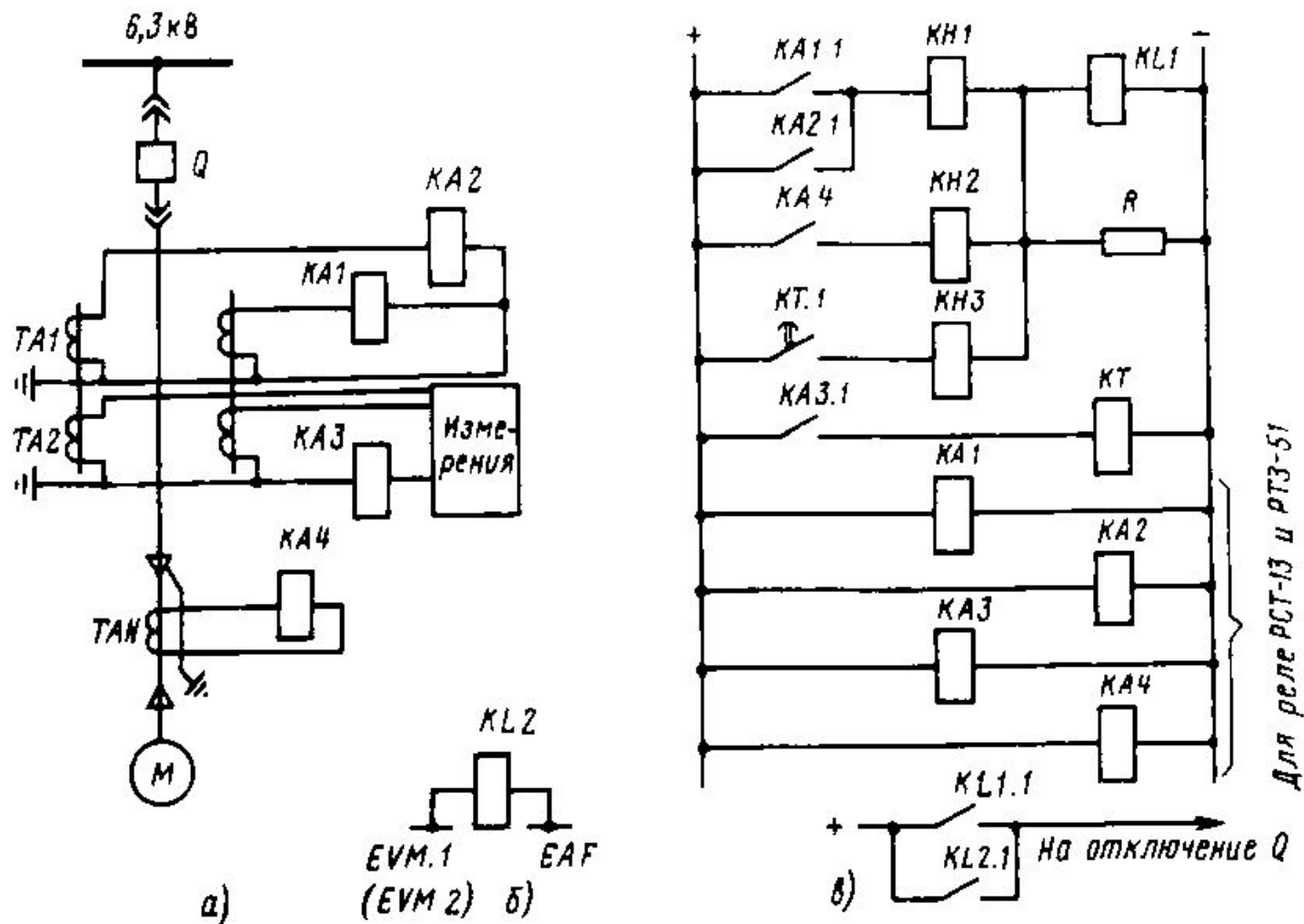


Рис. 5. Схема защиты АД 6,3 кВ мощностью до 4000 кВт собственных нужд ТЭС и АЭС

# Пример защиты асинхронного электродвигателя

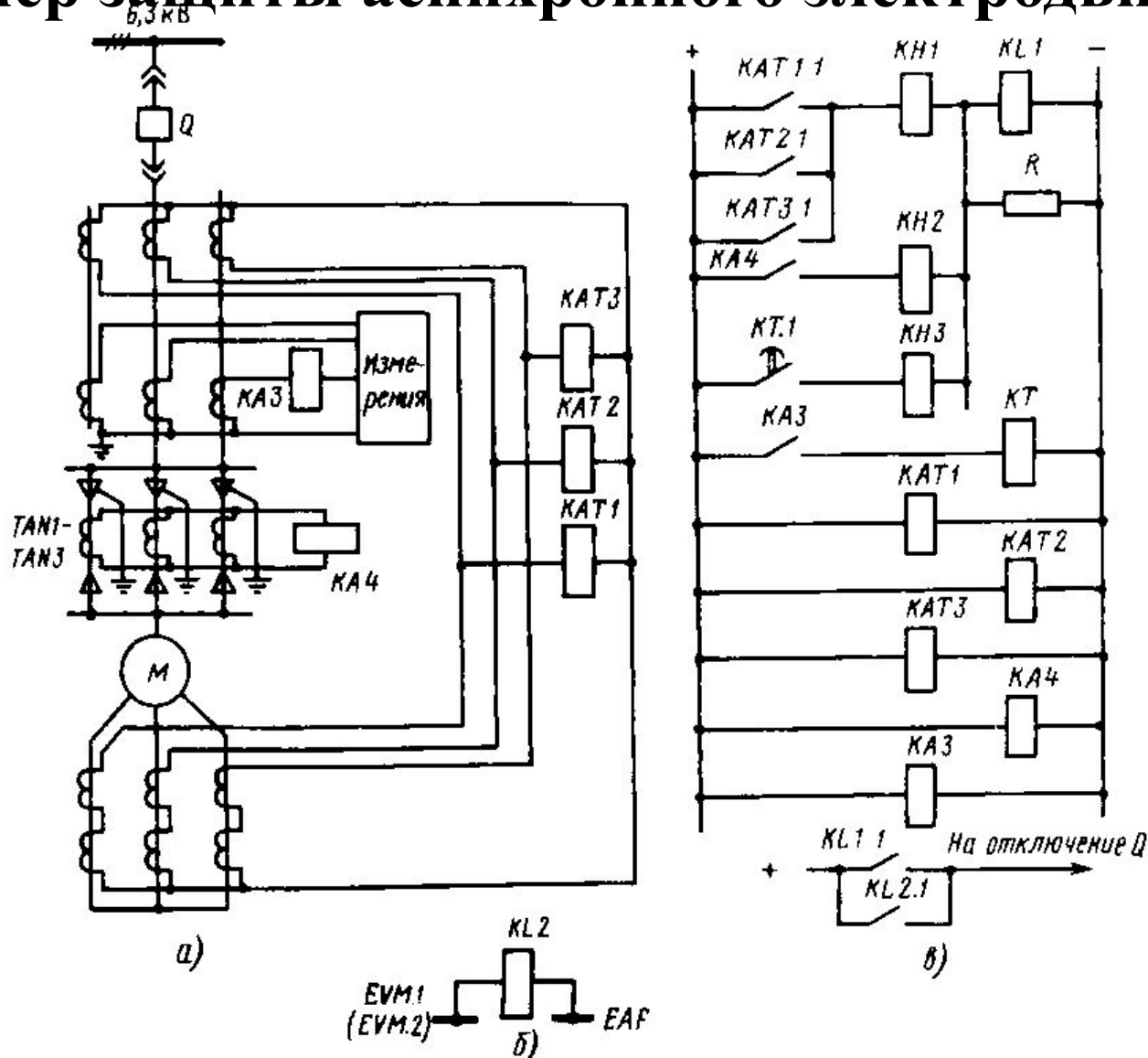


Рис. 6. Схема защиты АД 6,3 кВ мощностью 4000 кВт и выше

# Выбор и расчет защит АД (пример)

Выполнить расчет защит АД марки 2А3МП-2000/6000-У4.

Дано:

Номинальные данные					Пусковые характеристики		
$P_H$ , кВт	$U_H$ , кВ	$n$ , об/мин	$\eta$ , %	$\cos\phi$	$I_{\Pi}/I_H$	$M_{\Pi}/M_H$	$M_{\max}/M_H$
2000	6	3000	96,5	0,91	4,8	0,8	2,1

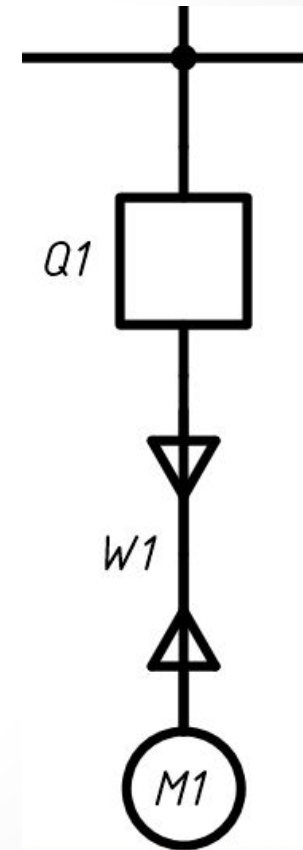
$l_{W1} = 3 \text{ км}$ ,  $l_{\Sigma} = 15 \text{ км}$

W1 выполнена кабелем марки ПВП-6, сечением  $70 \text{ мм}^2$

Ток 2-х фазного КЗ на зажимах ЭД в минимальном режиме

$I_{kmin}^{(2)} = 2160 \text{ А}$ .

Измерительный ТН марки НОМ 6000/100,  $k_{тн} = 60$ .



# Выбор и расчет защит АД (пример)

## РЕШЕНИЕ

### 1. Определение параметров АД

Полная мощность ЭД

$$S_{н.дв} = \frac{P_n}{\cos \varphi} = \frac{2000}{0,91} = 2197,802 \text{ кВА}$$

Номинальный ток ЭД

$$I_{н.дв} = \frac{S_{н.дв}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta} = \frac{2197,802}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,965} = 219,414 \text{ А}$$

На питающем фидере принимаются к использованию ТТ с  $K_1 = 300/5$  марки ТПЛ-10

Пусковой ток:

$$I_{II} = I_H \cdot k_{II} = 219,414 \cdot 4,8 = 1053,19 \text{ А}$$

# Выбор и расчет защит АД (пример)

## 2. Расчет защиты АД от многофазных замыканий в обмотке статора

Согласно п. 5.3.46 ПУЭ для АД с  $P_{ном} \geq 2000$  кВт применяется двухрелейная отсечка без выдержки времени, отстроенная от пусковых токов при выведенных пусковых устройствах.

Ток срабатывания реле:

$$I_{cp} = \frac{k_{cx} \cdot k_{отс} \cdot I_{П}}{k_I} = \frac{1 \cdot 1,1 \cdot 1053,19}{60} = 19,3 \text{ А}$$

Значение  $k_{отс}$  при выполнении токовой отсечки с реле РСТ-11 принимается равным 1,1.

$K_u$  определяется при металлическом КЗ между двумя фазами на линейных вводах защищаемого ЭД в условиях, обуславливающих протекание наименьшего тока в реле при минимальном режиме работы питающей системы.  $I_{kmin}^{(2)} = 2160$  А.

$$k_{\div} = \frac{I_{kmin}^{(2)}}{I_{cp} k_I} = \frac{2160}{19,53 \cdot 60} = 1,84 > 2$$

# Выбор и расчет защит АД (пример)

Следовательно будет применяться отсечка выполненная на РНТ-565, имеющая лучшую отстройку от апериодических составляющих во вторичном токе ТТ.

Ток срабатывания реле

$$I_{cp} = \frac{k_{отс} \cdot I_{НБ*} \cdot I''_{max}}{k_I} = \frac{1,1 \cdot 0,37 \cdot 1053,19}{60} = 7,14 A$$

$k_{отс} = 1,1$  – коэффициент отстройки  $I_{НБ*} = 0,37$  – ток небаланса, для схемы неполная звезда – неполная звезда.

Число витков рабочей обмотки реле определяется по формуле

$$W_{расч} = \frac{F_{cp}}{I_{cp}} = \frac{100}{7,14} = 14,006 \approx 14$$

где  $F_{cp} = 100 A$  – магнитодвижущая сила срабатывания реле тока РНТ -565

# Выбор и расчет защит АД (пример)

Минимальный ток в реле при двухфазном КЗ на линейных выводах обмотки статора:

$$I_{PK} = \frac{I_{K3 \min}^{(2)}}{k_T} = \frac{2160}{60} = 36 A$$

Наименьший коэффициент чувствительности

$$K_{ч \min} = \frac{I_{PK} \cdot W_P}{100} = \frac{36 \cdot 14}{100} = 5,04 \geq 2$$

Так как коэффициент чувствительности удовлетворяет требованиям ПУЭ, принимаем в качестве МТО ЭД, дифференциальную токовую защиту на основе РНТ-565.

# Выбор и расчет защит АД (пример)

## 3. Расчет защиты от замыканий на землю

Пример для ЗЗ рассмотрен выше. **Посчитать самостоятельно.**

## 4. Защита от токов перегрузки.

Принимается к установке защита с независимой от тока характеристикой выдержки времени с реле тока РСТ-11 и реле времени типа РВ01 при включении реле на ток фазы

$$I_{cp} = \frac{k_{omc} \cdot k_{cx} \cdot I_{ном}}{k_{\epsilon} \cdot k_A} = \frac{1,1 \cdot 1 \cdot 219,414}{0,9 \cdot 60} = 4,47 \text{ A}$$

$k_{omc} = 1,1$ ;  $k_{cx} = 1$  – при включении реле на ток фазы;  $k_{\epsilon} = 0,9$  (для реле РСТ-11)

Выдержка времени защиты от перегрузки выбирается из условия надежного несрабатывания защиты при пуске или самозапуске ЭД по выражению

$$t_{cz} \geq k'_{omc} \cdot t_n, \quad k'_{omc} = 1,2; \quad t_n = 5 \text{ с} \text{ – время пуска ЭД.}$$

$$t_{cz} \geq 1,2 \cdot 5, \quad t_{cz} \geq 6 \text{ с.}, \quad t_{cz} = 6 \text{ с.}$$



# Выбор и расчет защит АД (пример)

Т.к. уставка по току составляет 4,47 А для установки принимается реле РСТ-11-19 с максимальной уставкой 6 А.

## Уставка РСТ 11-19

Формула уставки  $I_{уст} = I_{мин}(1+N)$ , для РСТ-11-19 минимальная уставка по току 1,5 А.

N-сумма чисел на шкале уставок (0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6)

На панели необходимо установить шлицы чисел 0,4 и 1,6 горизонтально. Тогда уставка по току составит 4,5 А.

## Уставка РВ-01

Выбираем реле РВ-01 с диапазоном уставки от 0,1 до 50 сек.

Формула для уставки:  $T_{уст} = (0,1+N)$ , где N - сумма чисел шлицов расположенных горизонтально.

Для того, чтобы выставить уставку 6,0 сек необходимо установить шлицы чисел 3,2; 1,6; 0,8; 0,2; 0,1; в горизонтальное положение.

# Выбор и расчет защит АД (пример)

## 5. Защита минимального напряжения.

Считается, что самозапуск предусматривается. Защита действует на отключение ЭД по условию техники безопасности при длительном исчезновении напряжения.

**Напряжение самозапуска расчетная величина!**

В примере принято минимально допустимое значение  $U_{сам} = 0,7U_{ном}$ .

Первичное напряжение срабатывания защиты:

$$U_{сз} \leq \frac{U_{сам}}{k_{отс} \cdot k_{в}}, \text{ где } k_{отс} = 1,2; k_{в} = 1,25$$

$$U_{сам} = 0,7U_{ном} = 0,7 \cdot 6000 = 4200 \quad U_{сз} \leq \frac{4200}{1,2 \cdot 1,25} \quad U_{сз} \leq 2800 \text{ В}$$

Уставка реле напряжения:

Время срабатывания защиты выбирается из условия

$$U_p \leq \frac{U_{в}}{k_{тн}} = \frac{2800}{60} = 46,67$$

$$t_{в} \triangleright t_{тн}; t_{сз} \approx 1,5 \quad \therefore t_{сз} = 2 \text{ .}$$

К установке принимается реле типа РСН17-23 с диапазоном уставок

- 12-60 В и реле типа РВ-01 с диапазоном уставок 0,1 – 5,0 сек.

# Выбор и расчет защит АД (пример)

## Уставки реле типа РСН17-23:

Формула уставки  $U_{уст} = U_{мин}(1+N)$ , для РСТ-11-19 минимальная уставка по току 1,5 А.  $U_{мин} = 24 В$ .

$N$ -сумма чисел на шкале уставок (0,8; 0,4; 0,2; 0,1)

На панели необходимо установить шлицы чисел 0,8 и 0,1 горизонтально. Тогда уставка по току составит 45,6 А.

## Уставка РВ-01

Выбираем реле РВ-01 с диапазоном уставки от 0,3 до 3 сек.

Формула для уставки:  $T_{уст} = (0,1+N)$ , где  $N$  - сумма чисел шлицов расположенных горизонтально.

Для того, чтобы выставить уставку 2,0 сек необходимо установить шлицы чисел 1;0,9; 0,1; в горизонтальное положение.

# Защита СД напряжением выше 1000 В

Дополнительные условия:

## 1. Токовая отсечка

наряду с условием

$$I_{с.р.} = \frac{K_{отс} \cdot K_{сх} \cdot I_{пуск.мах}}{K_A} = \frac{K_{отс} \cdot K_{сх} \cdot K_{пуск} \cdot I_{н.д}}{K_A}, \quad (1.9)$$

Необходимо обеспечить отстройку от сверхпереходного тока  $I''_{\delta}$ , посылаемого ЭД в точку повреждения на шинах, к которым ЭД подключен:

$$I_{с.р.} = \frac{K_{отс} \cdot K_{сх} \cdot I''_{\delta}}{K_A} \quad (1.10)$$

$$I''_{\delta} = \frac{E''_q \cdot I}{X''_d} \quad (1.11)$$

$E''_q$  и  $X''_d$  – сверхпереходные ЭДС и сопротивление электродвигателя. Если ЭД подключен к шинам через постоянно включенный реактор с сопротивлением  $X_p$ , то при определении тока  $I''_{\delta}$  необходимо принимать  $(X''_d + X_p)$

## 2. Продольная дифференциальная токовая защита

Как и для токовой отсечки, при выборе тока срабатывания продольной дифференциальной защиты необходимо исключить ее действие не только при пусках ЭД, но и при внешних КЗ. Вместо  $I_{(кз.)вн.мах}^{(3)}$  взять ток  $I_{\delta}$

$$I_{\text{нб.рсч.мах}} = \frac{(\epsilon/100) \cdot K_{\text{ап}} \cdot K_{\text{одн}} \cdot I_{\text{кз.вн.мах}}^{(3)}}{K_A}$$

## 3. Защита от потери питания

При потере питания и действии устройств АПВ и АВР происходит несинхронное включение синхронных ЭД. Ток несинхронного включения может значительно превышать значение пускового тока, поэтому такие включения не всегда допустимы по условию предотвращения повреждения ЭД. Кроме того, при несинхронном включении возбужденного ЭД снижается вероятность его ресинхронизации.

Следовательно, при потере питания может возникнуть потребность отключать СД или снимать с них возбуждение с последующей ресинхронизацией.

# Защита от асинхронного режима

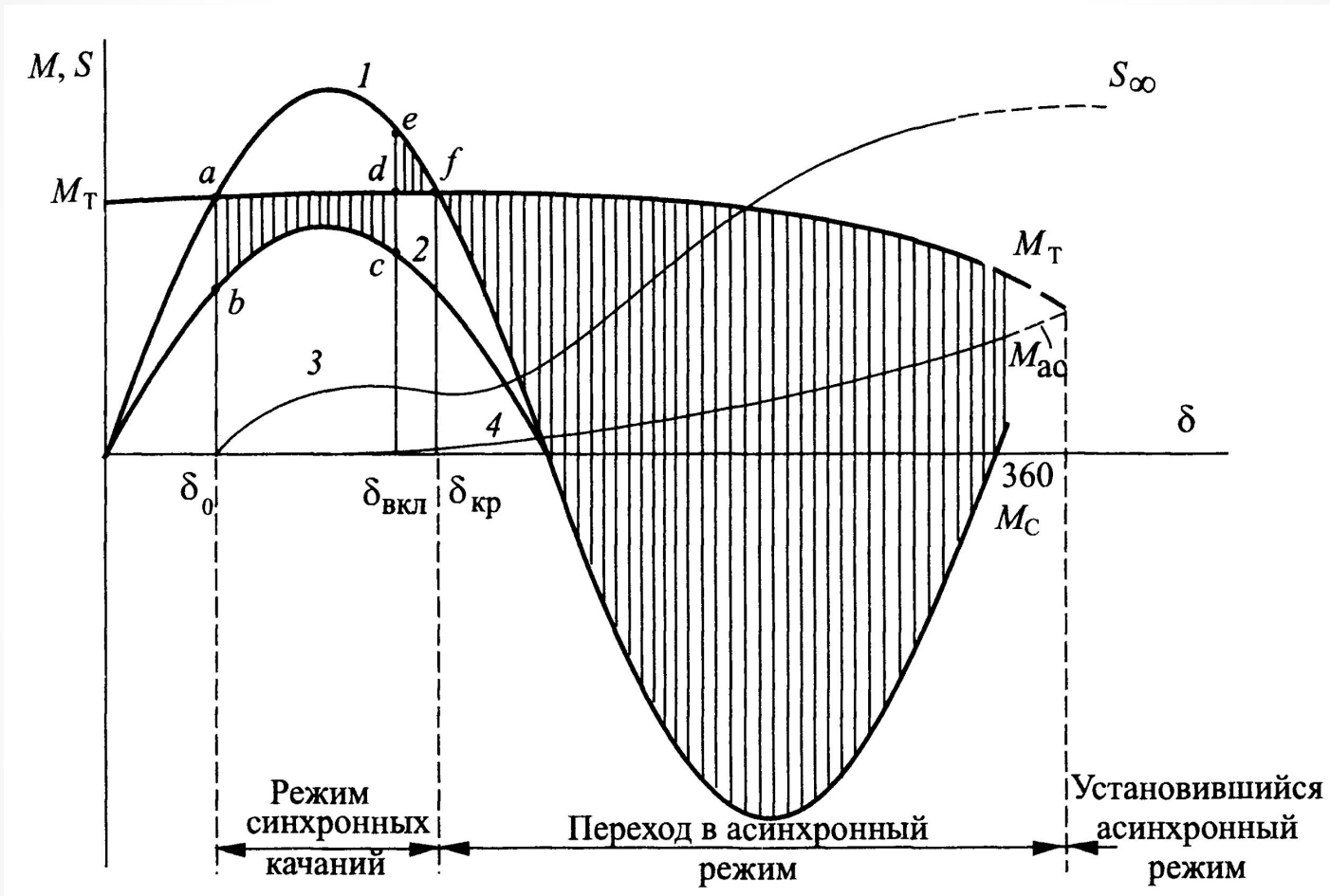
Ее выполняют одним из следующих способов:

- с помощью реле, реагирующего на увеличение тока в обмотке статора;
- с помощью устройства, реагирующего на появление переменного тока в обмотке ротора;
- с помощью устройства, действующего на принципе отсчета числа электрических проворотов ротора при асинхронном режиме.

## Группы защит от асинхронного режима

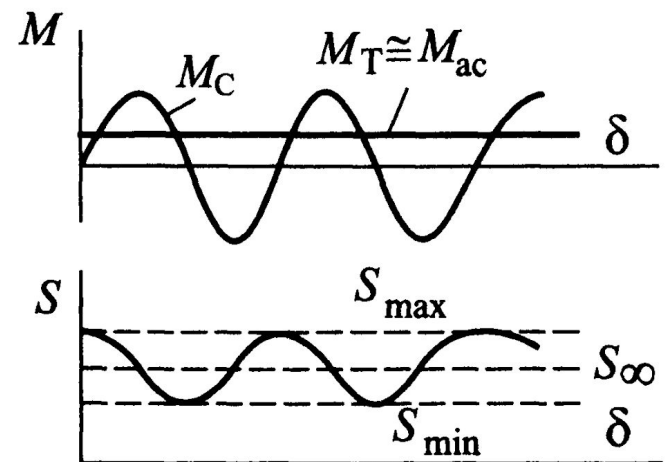
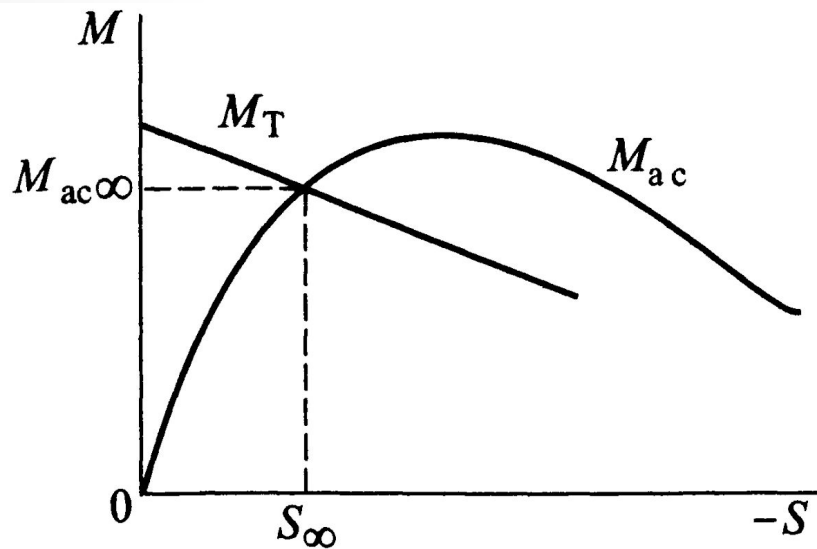
1. Фиксирующие наступление асинхронного хода по выходу внутреннего угла СД за предельное значение или по его периодическому изменению.
2. Защиты, использующие косвенную информацию: увеличение тока статора, появление переменной составляющей в токе ротора, изменение знака реактивной мощности, сопротивления машины или фазового угла.

# Асинхронный режим СМ





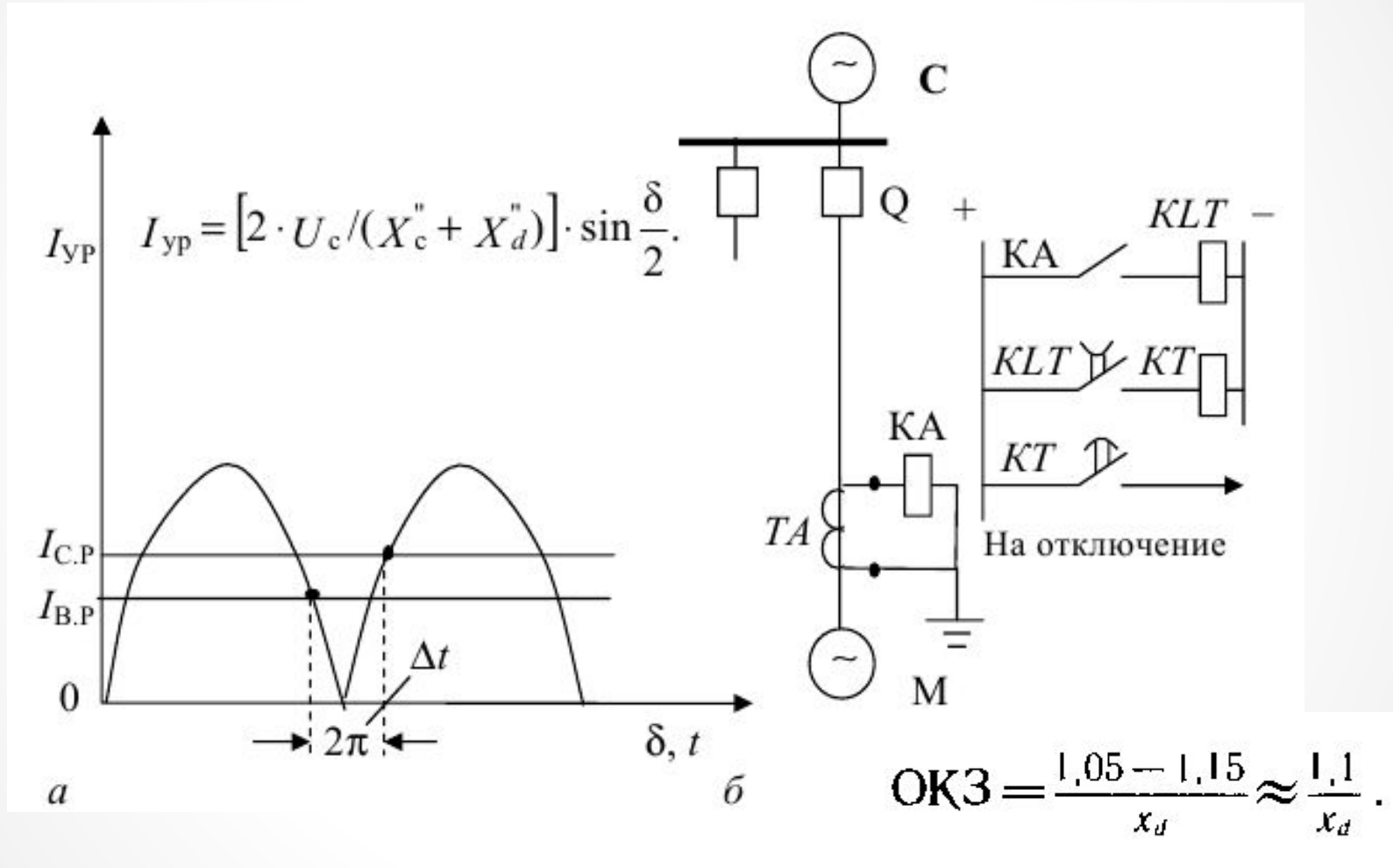
# Асинхронный режим СМ



# Требования к защите от асинхронного режима

1. Защита должна отличать, возбужденный или невозбужденный СД перешел в асинхронный режим.
2. Защита должна действовать при  $s > s_k$ . Выдержка времени должна быть небольшой, однако, но не менее времени отключения КЗ, не приводящих к нарушению результирующей устойчивости СД.
3. Если асинхронный режим не связан с потерей возбуждения, защита должна действовать на гашение поля.
4. Защита должна действовать на автоматическую разгрузку СД, если его втягивание в синхронизм при полной загрузке невозможно.
5. При неудачной ресинхронизации защита должна действовать на отключение СД от сети.
6. Пуск, самозапуск, форсировка возбуждения и другие эксплуатационные переходные режимы не должны вызывать срабатывания защиты.

# Схема защиты ЭД от асинхронного режима



Если  $OK3 > 1$  защита выполняется с зависимой выдержкой времени (на реле РТ-80)

Схемы защит от асинхронного режима могут предусматривать:

- 1) ресинхронизацию;
- 2) ресинхронизацию с автоматической кратковременной разгрузкой механизма до такой нагрузки, при которой обеспечивается втягивание электродвигателя в синхронизм
- 3) отключение электродвигателя и повторный автоматический пуск;
- 4) отключение электродвигателя

# Расчет защиты от асинхронного режима

Ток срабатывания реле МТЗ выбирается по выражению:

$$I_{p.} = \frac{K_{отс} \cdot K_{сх} \cdot I_{ном}}{K_{в} \cdot K_{А}} \quad (1.8)$$

где  $K_{отс}$  — коэффициент отстройки, равный 1,1 - 1,2;

Время действия ступени защиты, действующей на перевод СД в асинхронный режим без возбуждения и разгрузку механизма, принимается на ступень селективности больше времени отключения КЗ в сети, сопровождающихся протеканием в месте установки защиты тока  $I \geq I_{с.з.}$ , но не менее 1,5 с.

Время ступени действия ступени защиты, действующей на отключение определяется по формуле:

# Расчет защиты от асинхронного режима

Время ступени действия ступени защиты, действующей на отключение определяется по формуле:

$$K_{\text{в.}} \geq t'_{\text{отс}} \cdot n ,$$

Время возврата промежуточного реле, обеспечивающего устойчивое действие защиты при колебаниях тока статора в асинхронном режиме, принимается наибольшим возможным для данного типа реле (РП-252):  $t_{\text{в}} = 1,1-1,4$  с.

Уставка срабатывания реле, реагирующего на снижение тока возбуждения электродвигателя, принимается равной:

$$I_{\text{ср.р}} = (1,3 - 1,5) \cdot I_{f0} ,$$

где  $I_{f0}$  — ток возбуждения при холостом ходе и номинальном напряжении.

# Защита ЭД напряжением до 1000 В

## 1. Защита от многофазных замыканий:

Защита от КЗ в электродвигателях переменного и постоянного тока должна предусматриваться:

1) в электроустановках с заземленной нейтралью - во всех фазах или полюсах;

2) в электроустановках с изолированной нейтралью:

*при защите предохранителями* - во всех фазах или полюсах;

*при защите автоматическими выключателями* - не менее чем в двух фазах или одном полюсе, при этом в пределах одной и той же электроустановки защиту следует осуществлять в одних и тех же фазах или полюсах.

**2. Защита от замыканий на землю — в сетях с глухозаземленной нейтралью**

**3. Защита от токов перегрузки**

- на электромагнитных реле
- на тепловых расцепителях и электротепловых реле
- температурная защита

**Защита от перегрузки не требуется для ЭД с повторно-кратковременным режимом работы.**

Защита электродвигателей переменного тока от перегрузок должна выполняться:

- *в двух фазах при защите электродвигателей от КЗ предохранителями;*
- *в одной фазе при защите электродвигателей от КЗ автоматическими выключателями.*

*Защита электродвигателей постоянного тока от перегрузок должна выполняться в одном полюсе.*



# Схема температурной защиты ЭД

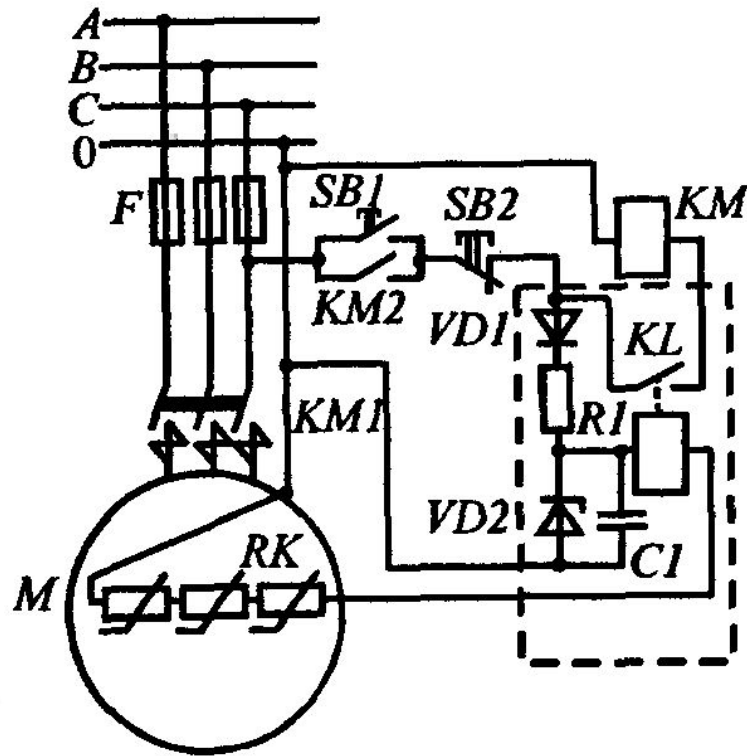
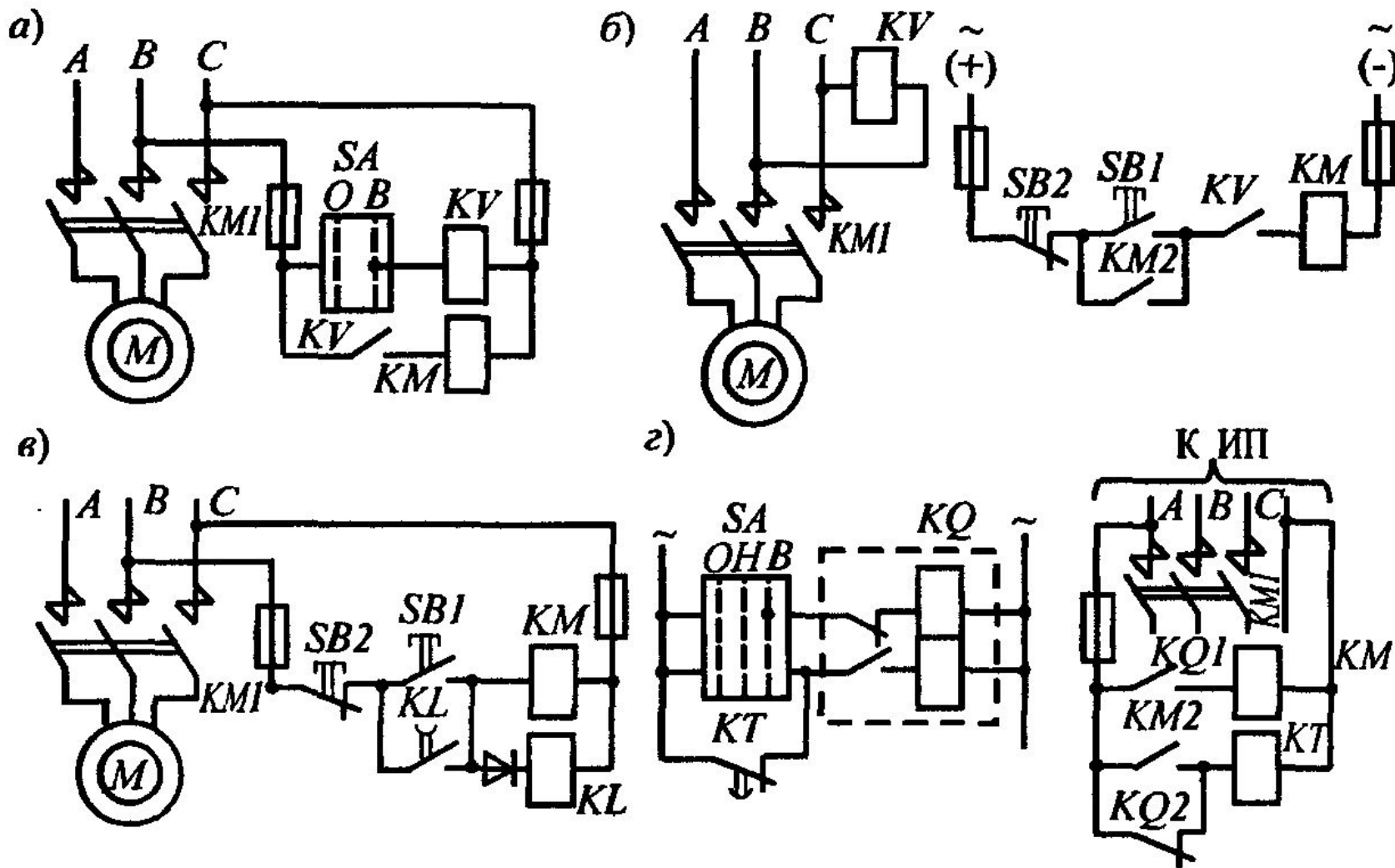
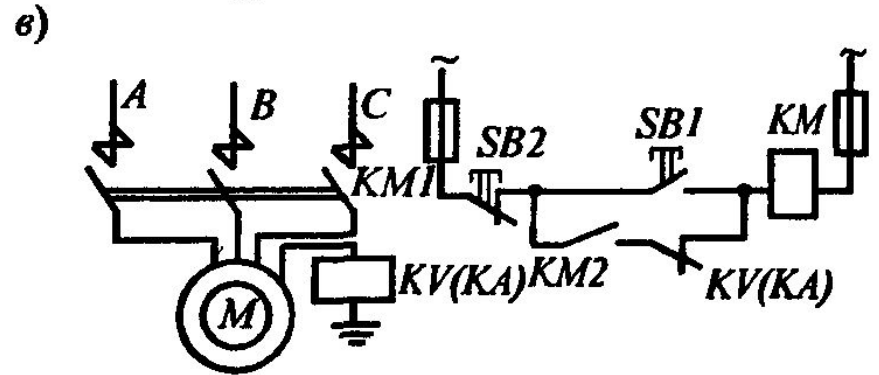
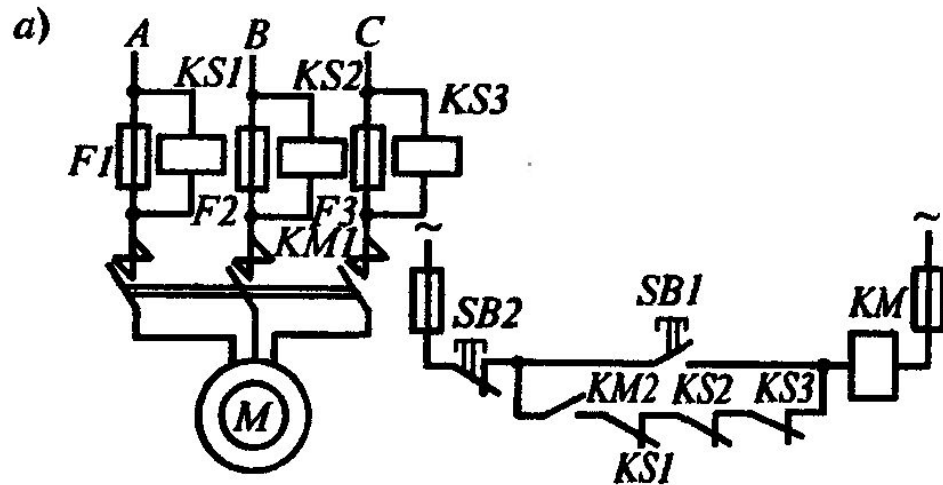


Рисунок 1 – Температурная защита ЭД

# 4. Защита минимального напряжения

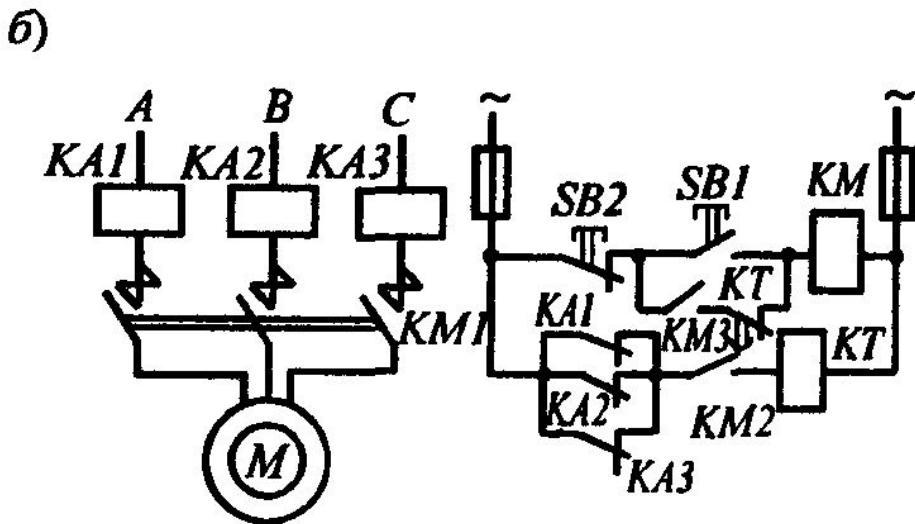


# 5. Защита от обрыва фазы



$$U_{c.p} \approx 0,3 U_{\text{НОМ}} / K_U$$

$$I_{c.p} \approx 0,3 I_{\text{Д.НОМ}} / K_I$$



## **6. Защита от асинхронного режима**

Предусматривается **при невозможности**  
**втягивания в синхронизм с полной нагрузкой.**

Защита **от асинхронного** режима  
предусматривается **с помощью защиты от**  
**перегрузки по току статора.**

## Дополнительная литература

1. Корогодский В. И. и др. Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1 кВ./В. И. Корогодский, С. Л. Кужеков, Л. Б. Паперно.— М.: Энергоатомиздат, 1987.— 248 с: ил.