

# Функции защиты

## Максимальная токовая в фазах

код ANSI 50-51

Эта функция включает 4 независимые максимальные токовые защиты, разделенные на две группы по 2 элемента: группу А и группу В.

Эти группы могут выбираться при параметрировании:

- работа только с группой А или группой В с возможностью переключения с одной группы на другую в зависимости от состояния логического входа I13 или с помощью дистанционного управления (ТС3, ТС4)

I13=0 - группа А;

I13=1 - группа В;

- работа с группой А и группой В для работы с 4 независимыми уставками;

- включение / отключение каждой группы (А, В).

### Работа

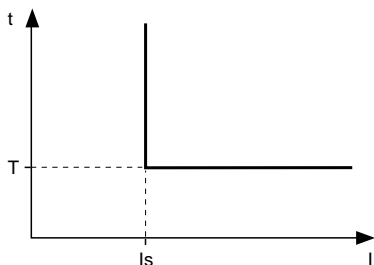
Максимальная токовая защита в фазах является трехфазной.

Она запускается когда один, два или три тока достигают уставки срабатывания.

Данная защита имеет выдержку времени. Выдержка может быть независимой (постоянной DT) или зависимой (обратно зависимой SIT, очень обратно зависимой VIT или LTI, чрезвычайно обратно зависимой EIT, ультра обратно зависимой UIT, RI) - см. кривые в приложении.

### Защита с независимой выдержкой времени

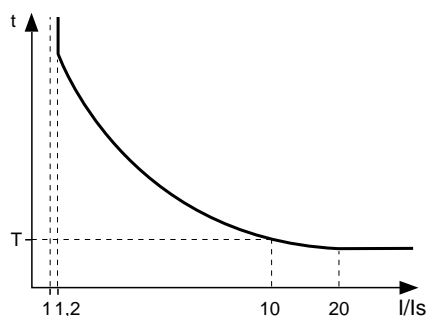
Is соответствует уставке срабатывания, выраженной в амперах, а T - задержке в срабатывании защиты.



Принцип защиты с независимой выдержкой времени

### Защита с зависимой выдержкой времени

Работа защиты с зависимой выдержкой времени соответствует стандартам МЭК 60255-3 и BS 142.



Принцип защиты с зависимой выдержкой времени

Is соответствует вертикальной асимптоте кривой, а T - задержке в срабатывании для 10Is.

Кривая определяется по следующим уравнениям:

- обратно зависимая выдержка SIT

$$t = \frac{0,14}{(I/Is)^{0,02} - 1} \cdot \frac{T}{2,97};$$

- очень обратно зависимая выдержка VIT или LTI

$$t = \frac{13,5}{(I/Is) - 1} \cdot \frac{T}{1,5};$$

- чрезвычайно обратно зависимая выдержка EIT

$$t = \frac{80}{(I/Is)^2 - 1} \cdot \frac{T}{0,808};$$

- ультра обратно зависимая выдержка UIT

$$t = \frac{315}{(I/Is)^{2,5} - 1} \cdot T;$$

- выдержка типа RI

$$t = \frac{0,315}{0,339 - 0,236 (I/Is)^{-1}} \cdot T.$$

Функция учитывает изменения тока в течение выдержки времени.

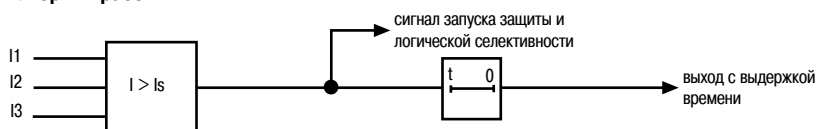
Для токов с очень большой амплитудой защита имеет характеристику с независимой выдержкой времени:

- если  $I > 20I_n$ , то время отключения - это время, соответствующее 20 Is;

- если  $I > 40I_n$ , то время отключения - это время, соответствующее 24 In.

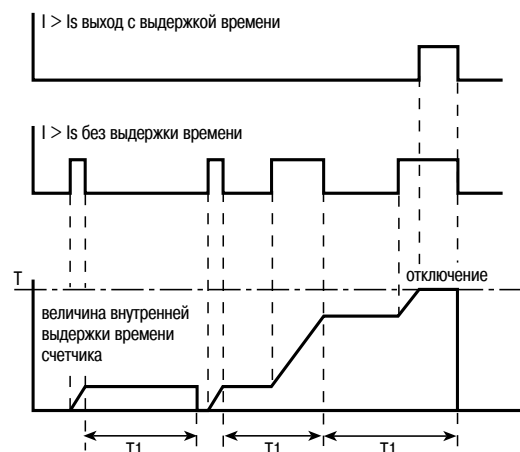
(In - номинальный ток трансформатора тока, устанавливаемый при вводе основных параметров).

### Алгоритм работы



### Срабатывание защиты с накоплением выдержки времени

Функция включает регулируемое время удержания T1 (независимая характеристика DT) (удержание таймера)



## Характеристики

### Кривая

регулировка	независимая, зависимая (обратно зависимая, очень обратно зависимая, LIT, чрезвычайно обратно зависимая, ультра обратно зависимая, RI)
-------------	---

### Уставка Is

регулировка	с незав. выдержкой	$0,3 I_n \leq I_s \leq 24 I_n$ , в амперах
	с завис. выдержкой	$0,3 I_n \leq I_s \leq 2,4 I_n$ , в амперах

разрешение	1 А или 1 цифра
------------	-----------------

точность <sup>(1)</sup>	±5%
-------------------------	-----

коэффициент возврата	93,5% ±5%
----------------------	-----------

### Выдержка времени T (время для 10 Is )

регулировка	с незав. выдержкой	без выдержки времени $50 \text{ мс} \leq T \leq 300 \text{ с}$
	с завис. выдержкой <sup>(2)</sup>	$100 \text{ мс} \leq T \leq 12,5 \text{ с}$

разрешение	10 мс или 1 цифра
------------	-------------------

точность <sup>(1)</sup>	с незав. выдержкой	±2% или от -10 до +25 мс
	с завис. выдержкой	класс 5 или от -10 до +25 мс

T1 выдержка времени накопления (таймер удержания)	0; 0,05 - 300 с
--	-----------------

### Временные характеристики

время срабатывания	запуск < 35 мс при 2 Is (25 мс, тип.)
	без выдержки времени < 50 мс при 2 Is (25 мс, тип.)

время превышения	< 35 мс
------------------	---------

время возврата	< 50 мс (для T1 = 0)
----------------	----------------------

<sup>(1)</sup> В стандартных условиях (МЭК 60255-6).

<sup>(2)</sup> Диапазон уставок в зависимом режиме:

обратно зависимая выдержка (SIT): от 0,04 до 4,20;

очень обратно зависимая выдержка (VIT): от 0,07 до 8,33;

чрезвычайно обратно зависимая выдержка (EIT): от 0,13 до 15,47;

ультра обратно зависимая выдержка (LTI): от 0,01 до 0,93.

## Защита от замыкания на землю

**Код ANSI** 50N-51N или 50G-51G

Эта функция включает 4 независимые защиты от замыканий на землю, разделенные на две группы по 2 элемента: группу А и группу В.

Эти группы могут выбираться с помощью параметрирования:  
 ■ работа только с группой А или группой В с возможностью переключения с одной группы на другую в зависимости от состояния логического входа I13 или с помощью дистанционного управления (ТС3, ТС4)

I13=0 - группа А;

I13=1 - группа В;

■ работа с группой А и группой В для работы с 4 независимыми уставками;

■ включение / отключение каждой группы (А, В).

### Работа

Защита от замыканий на землю является однофазной.

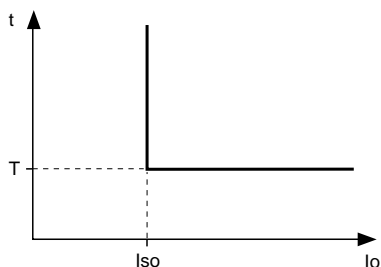
Она запускается, когда ток замыкания на землю достигает уставки срабатывания.

Данная защита имеет выдержку времени. Выдержка может быть независимой (постоянной **DT**) или зависимой (обратно зависимой **SIT**, очень обратно зависимой **VIT** или **LTI**, чрезвычайно обратно зависимой **EIT**, ультра обратно зависимой **UIT, RI**) - см. кривые в приложении.

Защита имеет возможность ограничить 2-ю гармонику, что позволяет обеспечить большую стабильность при пуске трансформатора (измерение тока нулевой последовательности суммой трехфазных ТТ). Ограничение можно заблокировать при параметрировании.

### Защита с независимой выдержкой времени

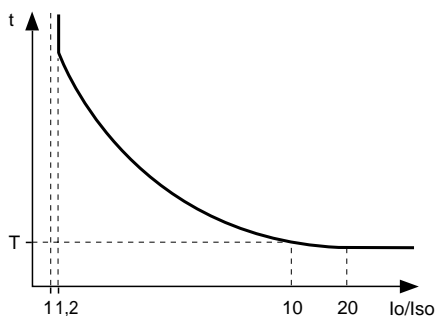
Is соответствует уставке срабатывания, выраженной в амперах, а T - задержке в срабатывании защиты.



Принцип защиты с независимой выдержкой времени

### Защита с зависимой выдержкой времени

Работа защиты с зависимой выдержкой времени соответствует стандартам МЭК 60255-3 и BS 142.



Принцип защиты с зависимой выдержкой времени

Is соответствует вертикальной асимптоте кривой, а T - задержке в срабатывании для 10Is.

Кривая определяется по следующим уравнениям :

■ обратно зависимая выдержка **SIT**

$$t = \frac{0,14}{(Io/Iso)^{0,02} - 1} \cdot \frac{T}{2,97} ;$$

■ очень обратно зависимая выдержка **VIT** или **LTI**

$$t = \frac{13,5}{(Io/Iso) - 1} \cdot \frac{T}{1,5} ;$$

■ чрезвычайно обратно зависимая выдержка **EIT**

$$t = \frac{80}{(Io/Iso)^2 - 1} \cdot \frac{T}{0,808} ;$$

■ ультра обратно зависимая выдержка **UIT**

$$t = \frac{315}{(Io/Iso)^{2,5} - 1} \cdot T ;$$

■ выдержка типа **RI**

$$t = \frac{0,315}{0,339 - 0,236 (Io/Iso)^{-1}} \cdot T .$$

Функция учитывает изменения тока в течение выдержки времени.

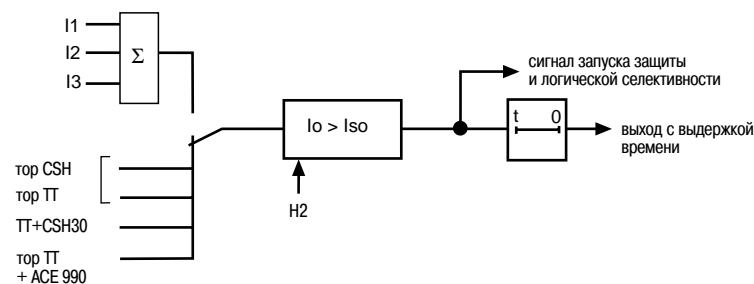
Для токов с очень большой амплитудой защита имеет характеристику с независимой выдержкой времени:

■ если  $I > 20I_0$ , то время отключения - это время, соответствующее  $20 I_0$ ;

■ если  $I > 15I_0$ , то время отключения - это время, соответствующее  $15 I_0$ .

( $I_0$  - номинальный ток трансформатора тока, устанавливаемый при вводе основных параметров)

### Алгоритм работы



### Срабатывание защиты с накоплением выдержки времени

Функция включает регулируемое время удержания T1 (независимые характеристики DT) (удержание таймера)



## Характеристики

Кривая		
регулировка		независимая, зависимая (обратно зависимая, очень обратно зависимая, LT, чрезвычайно обратно завис., ультра обратно завис., RI)
Уставка Iso		
регулировка	с незав. выдержкой	$0,1 I_{no} \leq Iso \leq 15 I_{no}$ (A)
	сумма TT <sup>(1)</sup>	$0,1 I_{no} \leq Iso \leq 15 I_{no}$
	с датчиком CSH	
	ном. ток 2 A	0,2 - 30 A
	ном. ток 20 A	2 - 300 A
	TT + CSH30	$0,1 I_{no} \leq Iso \leq 15 I_{no}$ (мин. 0,1 A)
	тор с ACE 990	$0,1 I_{no} < Iso < 15 I_{no}$
регулировка	с завис. выдержкой	$0,1 I_n \leq Iso \leq I_n$ <sup>(1)</sup> (A)
	сумма TT <sup>(1)</sup>	$0,1 I_n \leq Iso \leq I_n$
	с датчиком CSH	
	ном. ток 2 A	0,2 - 2 A
	ном. ток 20 A	2 - 20 A
	TT + CSH30	$0,1 I_n \leq Iso \leq 1 I_n$ (мин. 0,1 A)
	тор с ACE 990	$0,1 I_n \leq Iso \leq I_n$
разрешение		0,1 A или 1 цифра
точность <sup>(2)</sup>		±5%
коэффициент возврата		93,5 ±5% для Iso > 0,1 I <sub>no</sub>
Ограничение 2-й гармоники		
фиксированная уставка		17%
Выдержка времени T (время для 10 Is)		
регулировка	с незав. выдержкой	без выдержки времени 50 мс ≤ T ≤ 300 с
	с завис. выдержкой <sup>(3)</sup>	100 мс ≤ T ≤ 12,5 с
разрешение		10 мс или 1 цифра
точность <sup>(2)</sup>	с незав. выдержкой	±2% или от -10 до +25 мс
	с завис. выдержкой	класс 5 или от -10 до +25 мс
T1 выдержка времени накопления		0; 0,05 - 300 с
Временные характеристики		
время срабатывания		запуск < 35 мс при 2 Iso (25 мс, тип.)
		без выдержки времени < 50 мс при 2 Iso (25 мс, тип.)
время превышения		< 35 мс
время возврата		< 40 мс (для T1 = 0)

<sup>(1)</sup> I<sub>no</sub> = I<sub>n</sub>, если измерение производится внутренней суммой трех фазных токов.

I<sub>no</sub> = номиналу датчика, если измерение производится тором CSH.

I<sub>no</sub> = I<sub>n</sub> TT, если измерение производится 1- или 5 А-ным трансформатором тока.

<sup>(2)</sup> В стандартных условиях (МЭК 60255-6).

<sup>(3)</sup> Диапазон уставок в зависимом режиме:

обратно зависимая выдержка (SIT): от 0,04 до 4,20;

очень обратно зависимая выдержка (VIT): от 0,07 до 8,33;

чрезвычайно обратно зависимая выдержка (EIT): от 0,13 до 15,47;

ультра обратно зависимая выдержка (LTI): от 0,01 до 0,93.

## Обратная последовательность / небаланс

Код ANSI 46

### Работа

Защита от обратной последовательности / небаланса:

- запускается, когда составляющая обратной последовательности фазного тока больше уставки;
- имеет выдержку времени, которая может быть независимой или зависимой (см. кривую).

Ток обратной последовательности  $I_i$  вычисляется для трехфазных токов:

$$I_i = \frac{1}{3} \times (I_1 + a^2 I_2 + a I_3),$$

где  $a = e^{j \frac{2\pi}{3}}$ .

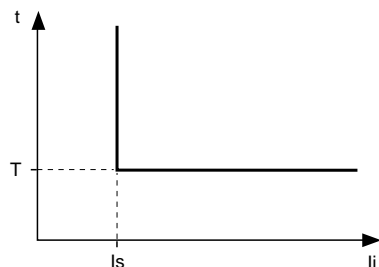
В случае если к Sepam подсоединены только 2 трансформатора тока, ток обратной последовательности вычисляется по формуле:

$$I_i = \frac{1}{\sqrt{3}} \times (I_1 - a^2 I_3),$$

где  $a = e^{j \frac{2\pi}{3}}$ .

Эти две формулы эквивалентны при отсутствии тока нулевой последовательности (замыкания на землю).

### Защита с независимой выдержкой времени



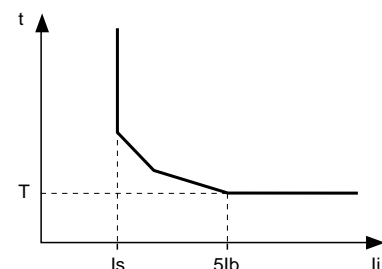
Защита с независимой выдержкой времени

Для  $I_i > I_s$  выдержка времени заранее определена (независима от  $I_i$ ) и равна  $T$ .

### Защита с зависимой выдержкой времени

Для  $I_i > I_s$  выдержка времени зависит от значения  $I_i/I_b$  ( $I_b$ : базовый ток защищаемого оборудования, определяемый при установке общих параметров).

$T$  соответствует выдержке времени для  $I_i / I_b = 5$ .



Принципы защиты с зависимой выдержкой времени

Кривая определяется по следующим уравнениям:

- для  $I_s/I_b \leq I_i/I_b \leq 0,5$

$$t = \frac{3,19}{(I_i/I_b)^{1,5}} \cdot T;$$

- для  $0,5 \leq I_i/I_b \leq 5$

$$t = \frac{4,64}{(I_i/I_b)^{0,96}} \cdot T;$$

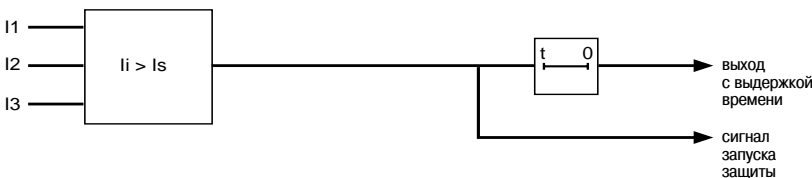
- для  $I_i/I_b > 5$

$$t = T.$$

Данная функция также учитывает изменения тока обратной последовательности во время выдержки времени.

Измерение тока обратной последовательности, выраженного в процентах от базового тока, возможно даже в том случае, если защита заблокирована.

### Алгоритм работы



### Характеристики

Кривая		
регулировка	независимая, зависимая	
Уставка Is		
регулировка	независимая выдержка	10% $I_b \leq I_s \leq 500\% I_b$
	зависимая выдержка	10% $I_b \leq I_s \leq 50\% I_b$
разрешение	1%	
точность <sup>(1)</sup>	±5%	
Выдержка времени T (время при 5 Ib)		
регулировка	независимая выдержка	100 мс ≤ T ≤ 300 с
	зависимая выдержка	100 мс ≤ T ≤ 1 с
разрешение	10 мс или 1 цифра	
точность <sup>(1)</sup>	независимая выдержка	±2% или ±25 мс
	зависимая выдержка	±5% или ±35 мс
коэффициент возврата	93,5 ±5%	
Временные характеристики		
время срабатывания	пуск < 55 мс	
время превышения	< 35 мс	
время возврата	< 55 мс	

<sup>(1)</sup> В стандартных условиях (МЭК 60255-6).

## Обратная последовательность / небаланс

### Как определить время отключения для разных значений тока обратной последовательности для данной кривой?

Используя диаграмму, пользователь находит значение  $K$ , соответствующее желаемому току обратной последовательности. Время отключения равно  $KT$ .

#### Пример

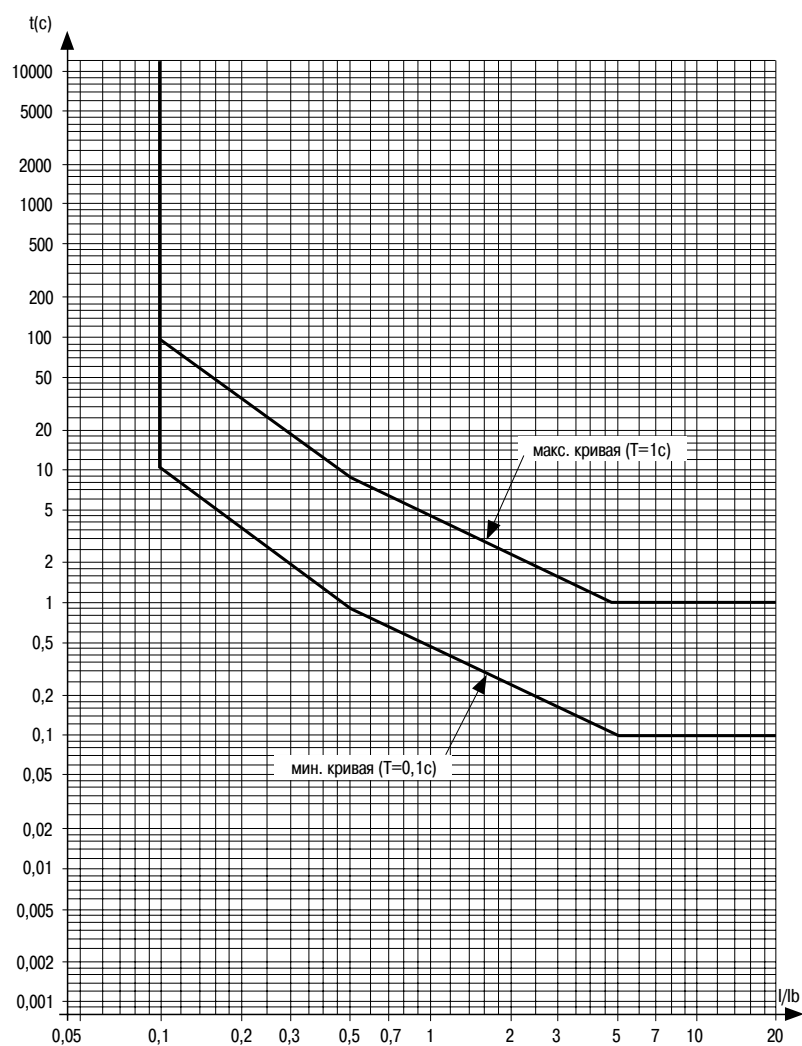
Дана кривая отключения с уставкой  $T = 0,5$  с.

Каково будет время отключения при  $0,6$  Ib?

Используя диаграмму, найдем значение  $K$ , соответствующее  $60\%$  Ib.

По диаграмме определяем  $K = 7,55$ . Время отключения равно:  $0,5 \times 7,55 = 3,755$  с.

Кривая отключения с зависимой выдержкой времени



li (% lb)	K
10	99,95
15	54,50
20	35,44
25	25,38
30	19,32
33,33	16,51
35	15,34
40	12,56
45	10,53
50	9,00
55	8,21
57,7	7,84
60	7,55
65	7,00
70	6,52
75	6,11
80	5,74
85	5,42
90	5,13
95	4,87
100	4,64
110	4,24
120	3,90
130	3,61
140	3,37
150	3,15
160	2,96
170	2,80
180	2,65
190	2,52
200	2,40
210	2,29
220	2,14
230	2,10
240	2,01
250	1,94
260	1,86
270	1,80
280	1,74
290	1,68
300	1,627

li (% lb) (продолжение)	K
310	1,577
320	1,53
330	1,485
340	1,444
350	1,404
360	1,367
370	1,332
380	1,298
390	1,267
400	1,236
410	1,18
420	1,167
430	1,154
440	1,13
450	1,105
460	1,082
470	1,06
480	1,04
490	1,02
≥ 500	1

## Тепловая перегрузка

**Код ANSI 49**

Данная функция используется для защиты оборудования (двигателей, трансформаторов, генераторов, линий, конденсаторов) от перегрузок и основана на измерении потребляемого тока.

## Работа

### Рабочие кривые

Защита дает команду на отключение, когда подъем температуры  $E$ , вычисленный по измерению эквивалентного тока  $I_{eq}$ , превысит уставку  $E_s$ .

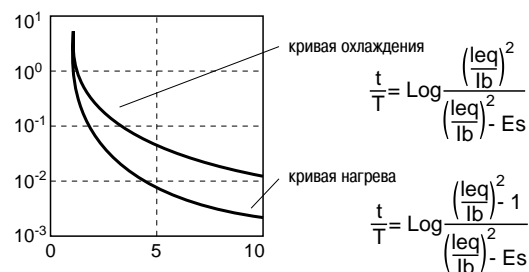
Наибольший допустимый постоянный ток:

$$I = I_b \sqrt{E_s}$$

Время отключения защиты устанавливается с помощью постоянной времени  $T$ .

Рассчитанный подъем температуры зависит от потребляемого тока и предыдущего теплового состояния:

- кривая охлаждения определяет время отключения защитой при запуске из холодного состояния;
- кривая нагрева определяет время отключения защитой при 100% номинальном нагреве.



### Уставка аварийной сигнализации, уставка отключения

На подъем температуры могут быть установлены две уставки:

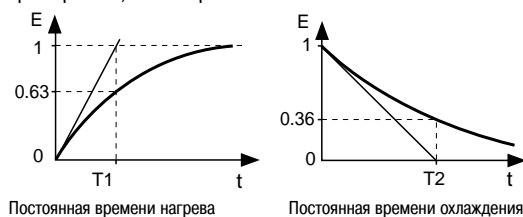
- $E_s1$ : аварийная сигнализация;
- $E_s2$ : отключение.

### Уставка горячего состояния

Когда функция используется для защиты двигателя, эта фиксированная уставка предназначена для определения горячего состояния двигателя и защиты количества пусков в час.

### Постоянные времени нагрева и охлаждения

Для вращающихся машин охлаждение более эффективно во время работы, чем во время остановки машины. Работа и



Постоянная времени нагрева

Постоянная времени охлаждения

остановка оборудования определяются по значению тока:

- работа, если  $I > 0,1 I_b$ ;
- остановка, если  $I < 0,1 I_b$ .

Могут быть установлены две постоянные времени:

- T1: постоянная времени нагрева для работающего оборудования;
- T2: постоянная времени охлаждения для остановленного оборудования.

### Учет гармоник

Тепловая защита работает с действующим значением трехфазного тока, который учитывает все гармоники, вплоть до 17.

### Учет температуры окружающей среды

Большинство машин предназначено для работы при максимальной температуре окружающей среды, равной 40 °C. Функция защиты от тепловой перегрузки учитывает температуру окружающей среды (Sepam 1000<sup>+</sup>, имеющий дополнительный модуль<sup>(1)</sup> присоединения температурных датчиков) с тем, чтобы увеличить рассчитанное значение нагрева, когда измеряемая температура превышает 40 °C.

Фактор увеличения:  $f_a = \frac{T_{\text{макс.}} - 40^\circ}{T_{\text{мин.}} - T}$ , где

$T_{\text{макс.}}$  - максимальная температура оборудования  
 $T$  - измеряемая температура окружающей среды

### Адаптация защиты к тепловым характеристикам машины

Тепловая защита электродвигателя часто устанавливается на основе кривых нагрева и охлаждения, указываемых изготовителем машины. Для полного соответствия этим экспериментальным кривым необходимо установить дополнительные параметры:

- начальный подъем температуры,  $E_{so}$ , используемый для сокращения времени холодного отключения.

Модифицированная кривая охлаждения:  $\frac{t}{T} = \text{Log} \frac{\left(\frac{I_{eq}}{I_b}\right)^2 - E_{so}}{\left(\frac{I_{eq}}{I_b}\right)^2 - E_s}$ ;

- вторая группа параметров (постоянные времени и уставки) используется для учета тепловых характеристик с заблокированными роторами; она учитывается, когда ток больше, чем регулируемая уставка  $I_s$ .

### Учет тока обратной последовательности

В случае если двигатель имеет ротор со специальной обмоткой, наличие составляющей обратной последовательности увеличивает подъем температуры в двигателе. Составляющая обратной последовательности тока учитывается в защите следующим образом:

$$I_{eq} = \sqrt{I_{ph}^2 + K \cdot I_i^2}, \quad \text{где } I_{ph} - \text{наибольший фазный ток};$$

$$I_i - \text{составляющая обратной последовательности тока};$$

$$K - \text{регулируемый фактор}.$$

$K$  может иметь следующие значения: 0 - 2,25 - 4,5 - 9.

Для асинхронного двигателя  $K$  определяется следующим образом:

$$k = 2 \cdot \frac{C_d}{C_n} \cdot \frac{1}{g \cdot \left(\frac{I_d}{I_b}\right)^2} - 1, \quad \text{где } C_n, C_d - \text{номинальный вращающий и пусковой вращающий момент};$$

$$I_b, I_d - \text{базовый и пусковой ток};$$

$$g - \text{номинальное скольжение}.$$

<sup>(1)</sup> Модуль MET148 и RTC8 используются для определения температуры окружающей среды.



### Блокировка пуска

Защита от тепловой перегрузки может блокировать включение выключателя электродвигателя до тех пор, пока повышенная температура не опустится ниже значения, при котором возможен повторный пуск.

Функция блокировки находится в одной группе с защитой количества разрешенных пусков в час, а сигнал START INHIBIT (блокировка пуска) выдает информацию оператору.

### Блокировка отключения

Отключение защиты от тепловой перегрузки может быть заблокировано активизацией входа (в соответствии с установленными параметрами), когда это требуется.

### Учет для двух рабочих режимов

Силовой трансформатор часто имеет два рабочих режима (например, ONAN и ONAF).

Две группы параметров защиты от тепловой перегрузки учитывают оба этих рабочих режима.

Переключение с одного режима на другой выполняется по входу I26 (в соответствии с установленными параметрами). Это происходит без потери значения величины нагрева.

### Информация для пользователя

Пользователь может получить следующую информацию:

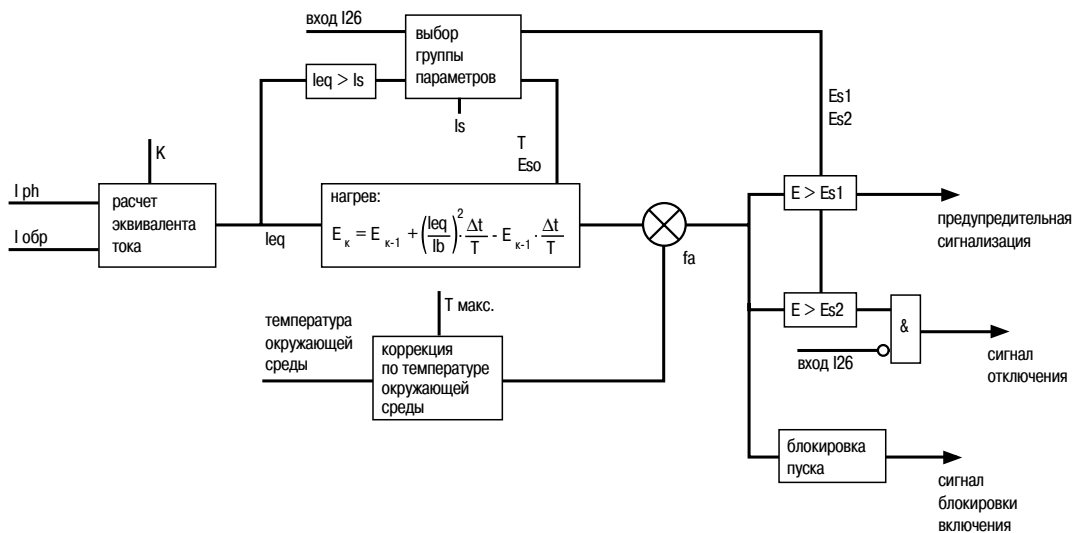
- время до повторного пуска (в случае блокировки пуска);
- время до отключения (при постоянной нагрузке);
- подъем температуры.

### Характеристики

Уставки		Группа А	Группа В
уставка	уставка авар. сигнализации Es1	50 - 300%	50 - 300%
	уставка отключения Es2	50 - 300%	50 - 300%
	начальный нагрев Eso	0 - 100%	0 - 100%
разрешение		1%	1%
Постоянные времена			
уставка	работа T1	1 - 120 мин	1 - 120 мин
	остановка T2	5 - 600 мин	5 - 600 мин
разрешение		1 мин	1 мин
Учет составляющей обратной последовательности			
уставка	К	0 - 2,25 - 4,5 - 9	
Максимальная температура оборудования (класс изоляции)			
уставка	Tмакс.	от 60 до 200 °с	
разрешение		1°	
Время отключения			
точность <sup>(1)</sup>		2%	
Измерения		Диапазон	Разрешение
нагрев		0 - 800%	1%
время до отключения		0 - 999 мин	1 мин
время до разрешения пуска		0 - 999 мин	1 мин
Изменение установленных параметров			
по уставке тока для двигателя		0,25 - 8 Ib	
по цифровому входу для трансформатора		I26	

<sup>(1)</sup> В стандартных условиях (МЭК 60255-8).

### Алгоритм работы



## Пример параметрирования защиты от тепловой перегрузки

### Пример 1

Известны следующие данные:

- постоянная времени нагрева и охлаждения:
- T1 = 25 мин;
- T2 = 70 мин;
- максимальный ток в постоянном режиме: I<sub>макс./I<sub>b</sub></sub> = 1,05.

#### Выбор уставки отключения Es2

$$Es2 = (I_{\text{макс./I}_b})^2 = 110\%$$

Примечание: если двигатель потребляет ток 1,05 I<sub>b</sub> в постоянном режиме, то нагрев, рассчитанный защитой от тепловой перегрузки, будет достигать 110%.

#### Выбор уставки сигнализации Es1

$$Es1 = 90\% (I/I_b = 0,95).$$

К обратной последовательности: 4,5 (типовое значение).

Другие параметры защиты от тепловой перегрузки устанавливать нет необходимости. Они будут приняты в расчет по умолчанию.

### Пример 2

Известны следующие данные:

- тепловые характеристики двигателя в виде кривых нагрева и охлаждения (см. сплошные кривые на рис. 1);
- постоянная времени охлаждения T2;
- максимальный ток в постоянном режиме: I<sub>макс./I<sub>b</sub></sub> = 1,05.

#### Выбор уставки отключения Es2

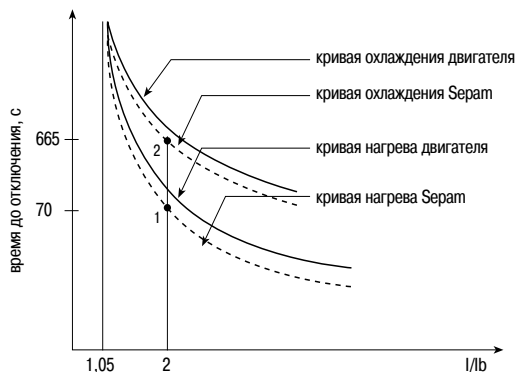
$$Es2 = (I_{\text{макс./I}_b})^2 = 110\%.$$

#### Выбор уставки сигнализации Es1

$$Es1 = 90\% (I/I_b = 0,95).$$

Кривые нагрева и охлаждения, приводимые производителем <sup>(1)</sup>, могут быть использованы для определения постоянной времени нагрева T1.

**Рисунок 1: тепловые характеристики двигателя и кривые отключения защитой от тепловой перегрузки**



<sup>(1)</sup> Когда производитель двигателя приводит и постоянную времени T1, и кривые нагрева и охлаждения, то рекомендуется использование кривых, так как они более точные.

Для перегрузки, кратной 2\*I<sub>b</sub>, величина t/T1 = 0,0339 <sup>(2)</sup>.

Для того, чтобы Sepam выполнял аварийное отключение в точке 1 (t = 70 с), T1 составляет 2065 с ≈ 34 мин.

С уставкой T1 = 34 мин получим время отключения из холодного состояния (точка 2). В этом случае оно равно t/T1 = 0,3216, следовательно t ⇒ 665 с, т. е. примерно 11 мин. Это значение совместимо с тепловой характеристикой холодного двигателя.

Фактор обратной последовательности рассчитывается с использованием уравнения, приведенного на стр. 34.

Другие параметры защиты от тепловой перегрузки устанавливать нет необходимости. Они будут приняты в расчет по умолчанию.

### Пример 3

Известны следующие данные:

- тепловые характеристики двигателя в виде кривых нагрева и охлаждения (см. сплошные кривые на рис. 1);
- постоянная времени охлаждения T2;
- максимальный ток в постоянном режиме: I<sub>макс./I<sub>b</sub></sub> = 1,1.

#### Выбор уставки отключения Es2

$$Es2 = (I_{\text{макс./I}_b})^2 = 120\%.$$

#### Выбор уставки сигнализации Es1

$$Es1 = 90\% (I/I_b = 0,95).$$

Постоянная времени T1 рассчитывается исходя из того, что защита от тепловой перегрузки производит аварийное отключение через 100 с (точка 1).

$$t/T1 = 0,069 (I/I_b = 2 \text{ и } Es2 = 120\%): \\ \Rightarrow T1 = 100 \text{ с} / 0,069 = 1449 \text{ с} \approx 24 \text{ мин}.$$

Время отключения из холодного состояния составляет:

$$t/T1 = 0,3567 \Rightarrow t = 24 \text{ мин} * 0,3567 = 513 \text{ с (точка 2')}.$$

Это время отключения слишком велико по сравнению с пределом для этого тока перегрузки, равным 400 с (точка 2).

Если постоянная времени T1 ниже, то защита от тепловой перегрузки сработает раньше, т.е. ниже точки 2.

Риск того, что запуск горячего двигателя будет невозможен также существует в этом случае (см. рис. 2, на котором нижняя кривая горячего состояния Sepam пересекает кривую запуска U = 0.9 Un).

**Параметр Es0** вводится для того, чтобы разрешить эти сложности.

В этом примере защита от тепловой перегрузки должна сработать через 400 с после запуска из холодного состояния.

Следующее уравнение используется для определения величины **Es0**:

$$E_{S0} = \left[ \frac{I_{\text{processed}}}{I_b} \right]^2 - e^{-\frac{t_{\text{necessary}}}{T1}} \cdot \left[ \left[ \frac{I_{\text{processed}}}{I_b} \right]^2 - E_{S2} \right],$$

где:

t<sub>necessary</sub>: время отключения, необходимое для запуска из холодного состояния;

I<sub>processed</sub>: ток оборудования.

<sup>(2)</sup> Таблица содержит цифровые значения кривых нагрева Sepam, соответствующие уравнению, приведенному на стр. 34.

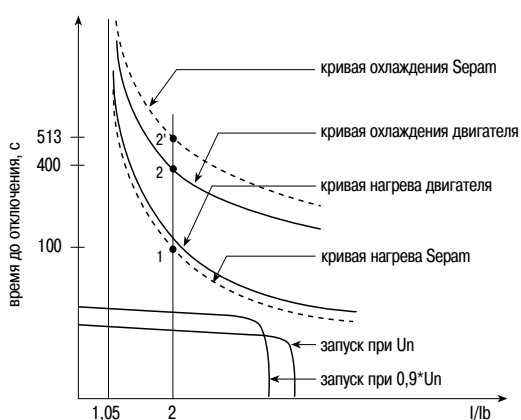
В цифровом выражении это составит:

$$E_{S0} = 4 - e^{-\frac{400 \text{ с}}{24 \cdot 60 \text{ с}} \cdot [4 - 1,2]} = 0,3035 \approx 31\%$$

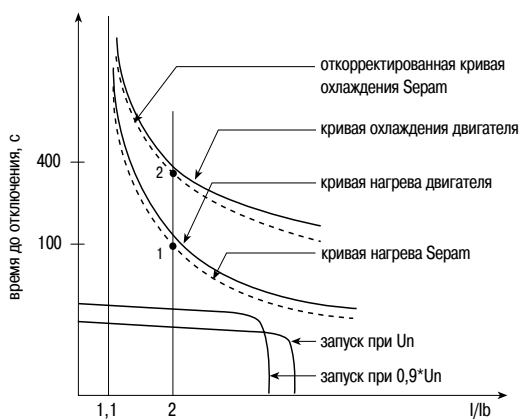
С регулировкой  $E_{S0} = 31\%$  точка 2' передвинется ниже для достижения меньшего времени отключения, что соответствует тепловым параметрам холодного двигателя (см. рис. 3).

Примечание: уставка  $E_{S0} = 100\%$  показывает, что кривые нагрева и охлаждения идентичны.

**Рисунок 2: кривые нагрева и охлаждения не соответствуют тепловым характеристикам двигателя**



**Рисунок 3: кривые нагрева и охлаждения соответствуют тепловым характеристикам двигателя с помощью ввода начальной величины нагрева  $E_{S0}$**



### Использование дополнительной группы регулировок

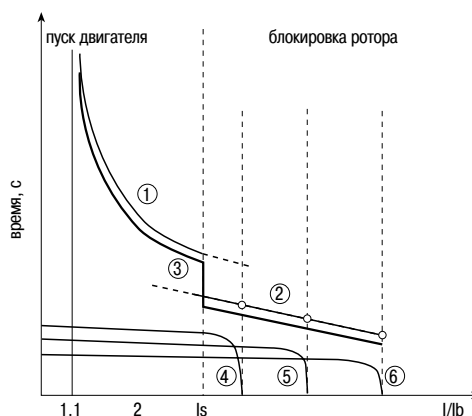
Когда ротор двигателя заблокирован или вращается очень медленно, тепловой режим отличается от работы в номинальном режиме. В таких условиях двигатель может быть поврежден из-за перегрева ротора или статора. Для двигателей большой мощности перегрев ротора часто является ограничивающим фактором.

Параметры защиты от тепловой перегрузки, выбранные для работы с небольшой перегрузкой, более недействительны.

Для защиты двигателя в этом случае может быть использована защита от затынутого пуска.

Тем не менее, производители двигателей иногда приводят тепловые кривые для заблокированного ротора для различных напряжений во время пуска.

**Рисунок 4: характеристики заблокированного ротора**



- ①: тепловая характеристика, двигатель вращается
- ②: тепловая характеристика, двигатель заблокирован
- ③: кривая отключения (Sepam)
- ④: пуск при 65%  $U_n$
- ⑤: пуск при 80%  $U_n$
- ⑥: пуск при 100%  $U_n$

Для принятия в расчет этих кривых может быть использовано второе реле защиты от тепловой перегрузки.

Теоретически, постоянные времени в этом случае, по теории, меньше. Тем не менее, они не должны быть определены тем же путем, как для первого реле защиты.

Защита от тепловой перегрузки переключается с первого на второе реле, если эквивалентный ток  $I_{eq}$  превышает величину  $I_s$  (уставка тока).

## Функции защиты (продолжение)

Кривые охлаждения  
для  $E_{so} = 0$

$l/b$ Es (%)	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80
50	0,6931	0,6042	0,5331	0,4749	0,4265	0,3857	0,3508	0,3207	0,2945	0,2716	0,2513	0,2333	0,2173	0,2029	0,1900	0,1782	0,1676
55	0,7985	0,6909	0,6061	0,5376	0,4812	0,4339	0,3937	0,3592	0,3294	0,3033	0,2803	0,2600	0,2419	0,2257	0,2111	0,1980	0,1860
60	0,9163	0,7857	0,6849	0,6046	0,5390	0,4845	0,4386	0,3993	0,3655	0,3360	0,3102	0,2873	0,2671	0,2490	0,2327	0,2181	0,2048
65	1,0498	0,8905	0,7704	0,6763	0,6004	0,5379	0,4855	0,4411	0,4029	0,3698	0,3409	0,3155	0,2929	0,2728	0,2548	0,2386	0,2239
70	1,2040	1,0076	0,8640	0,7535	0,6657	0,5942	0,5348	0,4847	0,4418	0,4049	0,3727	0,3444	0,3194	0,2972	0,2774	0,2595	0,2434
75	1,3863	1,1403	0,9671	0,8373	0,7357	0,6539	0,5866	0,5302	0,4823	0,4412	0,4055	0,3742	0,3467	0,3222	0,3005	0,2809	0,2633
80	1,6094	1,2933	1,0822	0,9287	0,8109	0,7174	0,6413	0,5780	0,5245	0,4788	0,4394	0,4049	0,3747	0,3479	0,3241	0,3028	0,2836
85	1,8971	1,4739	1,2123	1,0292	0,8923	0,7853	0,6991	0,6281	0,5686	0,5180	0,4745	0,4366	0,4035	0,3743	0,3483	0,3251	0,3043
90	2,3026	1,6946	1,3618	1,1411	0,9808	0,8580	0,7605	0,6809	0,6147	0,5587	0,5108	0,4694	0,4332	0,4013	0,3731	0,3480	0,3254
95		1,9782	1,5377	1,2670	1,0780	0,9365	0,8258	0,7366	0,6630	0,6012	0,5486	0,5032	0,4638	0,4292	0,3986	0,3714	0,3470
100		2,3755	1,7513	1,4112	1,1856	1,0217	0,8958	0,7956	0,7138	0,6455	0,5878	0,5383	0,4953	0,4578	0,4247	0,3953	0,3691
105		3,0445	2,0232	1,5796	1,3063	1,1147	0,9710	0,8583	0,7673	0,6920	0,6286	0,5746	0,5279	0,4872	0,4515	0,4199	0,3917
110			2,3979	1,7824	1,4435	1,2174	1,0524	0,9252	0,8238	0,7406	0,6712	0,6122	0,5616	0,5176	0,4790	0,4450	0,4148
115			3,0040	2,0369	1,6025	1,3318	1,1409	0,9970	0,8837	0,7918	0,7156	0,6514	0,5964	0,5489	0,5074	0,4708	0,4384
120				2,3792	1,7918	1,4610	1,2381	1,0742	0,9474	0,8457	0,7621	0,6921	0,6325	0,5812	0,5365	0,4973	0,4626
125				2,9037	2,0254	1,6094	1,3457	1,1580	1,0154	0,9027	0,8109	0,7346	0,6700	0,6146	0,5666	0,5245	0,4874
130					2,3308	1,7838	1,4663	1,2493	1,0885	0,9632	0,8622	0,7789	0,7089	0,6491	0,5975	0,5525	0,5129
135					2,7726	1,9951	1,6035	1,3499	1,1672	1,0275	0,9163	0,8253	0,7494	0,6849	0,6295	0,5813	0,5390
140						2,2634	1,7626	1,4618	1,2528	1,0962	0,9734	0,8740	0,7916	0,7220	0,6625	0,6109	0,5658
145						2,6311	1,9518	1,5877	1,3463	1,1701	1,0341	0,9252	0,8356	0,7606	0,6966	0,6414	0,5934
150						3,2189	2,1855	1,7319	1,4495	1,2498	1,0986	0,9791	0,8817	0,8007	0,7320	0,6729	0,6217
155							2,4908	1,9003	1,5645	1,3364	1,1676	1,0361	0,9301	0,8424	0,7686	0,7055	0,6508
160							2,9327	2,1030	1,6946	1,4313	1,2417	1,0965	0,9808	0,8860	0,8066	0,7391	0,6809
165								2,3576	1,8441	1,5361	1,3218	1,1609	1,0343	0,9316	0,8461	0,7739	0,7118
170								2,6999	2,0200	1,6532	1,4088	1,2296	1,0908	0,9793	0,8873	0,8099	0,7438
175								3,2244	2,2336	1,7858	1,5041	1,3035	1,1507	1,0294	0,9302	0,8473	0,7768
180									2,5055	1,9388	1,6094	1,3832	1,2144	1,0822	0,9751	0,8861	0,8109
185									2,8802	2,1195	1,7272	1,4698	1,2825	1,1379	1,0220	0,9265	0,8463
190									3,4864	2,3401	1,8608	1,5647	1,3555	1,1970	1,0713	0,9687	0,8829
195										2,6237	2,0149	1,6695	1,4343	1,2597	1,1231	1,0126	0,9209
200										3,0210	2,1972	1,7866	1,5198	1,3266	1,1778	1,0586	0,9605

**Кривые охлаждения  
для Eso = 0**

I/lb Es (%)	1,85	1,90	1,95	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80	4,00	4,20	4,40	4,60
50	0,1579	0,1491	0,1410	0,1335	0,1090	0,0908	0,0768	0,0659	0,0572	0,0501	0,0442	0,0393	0,0352	0,0317	0,0288	0,0262	0,0239
55	0,1752	0,1653	0,1562	0,1479	0,1206	0,1004	0,0849	0,0727	0,0631	0,0552	0,0487	0,0434	0,0388	0,0350	0,0317	0,0288	0,0263
60	0,1927	0,1818	0,1717	0,1625	0,1324	0,1100	0,0929	0,0796	0,069	0,0604	0,0533	0,0474	0,0424	0,0382	0,0346	0,0315	0,0288
65	0,2106	0,1985	0,1875	0,1773	0,1442	0,1197	0,1011	0,0865	0,075	0,0656	0,0579	0,0515	0,0461	0,0415	0,0375	0,0342	0,0312
70	0,2288	0,2156	0,2035	0,1924	0,1562	0,1296	0,1093	0,0935	0,081	0,0708	0,0625	0,0555	0,0497	0,0447	0,0405	0,0368	0,0336
75	0,2474	0,2329	0,2197	0,2076	0,1684	0,1395	0,1176	0,1006	0,087	0,0761	0,0671	0,0596	0,0533	0,0480	0,0434	0,0395	0,0361
80	0,2662	0,2505	0,2362	0,2231	0,1807	0,1495	0,1260	0,1076	0,0931	0,0813	0,0717	0,0637	0,0570	0,0513	0,0464	0,0422	0,0385
85	0,2855	0,2685	0,2530	0,2389	0,1931	0,1597	0,1344	0,1148	0,0992	0,0867	0,0764	0,0678	0,0607	0,0546	0,0494	0,0449	0,0410
90	0,3051	0,2868	0,2701	0,2549	0,2057	0,1699	0,1429	0,1219	0,1054	0,092	0,0811	0,0720	0,0644	0,0579	0,0524	0,0476	0,0435
95	0,3251	0,3054	0,2875	0,2712	0,2185	0,1802	0,1514	0,1292	0,1116	0,0974	0,0858	0,0761	0,0681	0,0612	0,0554	0,0503	0,0459
100	0,3456	0,3244	0,3051	0,2877	0,2314	0,1907	0,1601	0,1365	0,1178	0,1028	0,0905	0,0803	0,0718	0,0645	0,0584	0,0530	0,0484
105	0,3664	0,3437	0,3231	0,3045	0,2445	0,2012	0,1688	0,1438	0,1241	0,1082	0,0952	0,0845	0,0755	0,0679	0,0614	0,0558	0,0509
110	0,3877	0,3634	0,3415	0,3216	0,2578	0,2119	0,1776	0,1512	0,1304	0,1136	0,1000	0,0887	0,0792	0,0712	0,0644	0,0585	0,0534
115	0,4095	0,3835	0,3602	0,3390	0,2713	0,2227	0,1865	0,1586	0,1367	0,1191	0,1048	0,0929	0,0830	0,0746	0,0674	0,0612	0,0559
120	0,4317	0,4041	0,3792	0,3567	0,2849	0,2336	0,1954	0,1661	0,1431	0,1246	0,1096	0,0972	0,0868	0,0780	0,0705	0,0640	0,0584
125	0,4545	0,4250	0,3986	0,3747	0,2988	0,2446	0,2045	0,1737	0,1495	0,1302	0,1144	0,1014	0,0905	0,0813	0,0735	0,0667	0,0609
130	0,4778	0,4465	0,4184	0,3930	0,3128	0,2558	0,2136	0,1813	0,156	0,1358	0,1193	0,1057	0,0943	0,0847	0,0766	0,0695	0,0634
135	0,5016	0,4683	0,4386	0,4117	0,3270	0,2671	0,2228	0,1890	0,1625	0,1414	0,1242	0,1100	0,0982	0,0881	0,0796	0,0723	0,0659
140	0,5260	0,4907	0,4591	0,4308	0,3414	0,2785	0,2321	0,1967	0,1691	0,147	0,1291	0,1143	0,1020	0,0916	0,0827	0,0751	0,0685
145	0,5511	0,5136	0,4802	0,4502	0,3561	0,2900	0,2414	0,2045	0,1757	0,1527	0,1340	0,1187	0,1058	0,0950	0,0858	0,0778	0,0710
150	0,5767	0,5370	0,5017	0,4700	0,3709	0,3017	0,2509	0,2124	0,1823	0,1584	0,1390	0,1230	0,1097	0,0984	0,0889	0,0806	0,0735
155	0,6031	0,5610	0,5236	0,4902	0,3860	0,3135	0,2604	0,2203	0,189	0,1641	0,1440	0,1274	0,1136	0,1019	0,0920	0,0834	0,0761
160	0,6302	0,5856	0,5461	0,5108	0,4013	0,3254	0,2701	0,2283	0,1957	0,1699	0,1490	0,1318	0,1174	0,1054	0,0951	0,0863	0,0786
165	0,6580	0,6108	0,5690	0,5319	0,4169	0,3375	0,2798	0,2363	0,2025	0,1757	0,1540	0,1362	0,1213	0,1088	0,0982	0,0891	0,0812
170	0,6866	0,6366	0,5925	0,5534	0,4327	0,3498	0,2897	0,2444	0,2094	0,1815	0,1591	0,1406	0,1253	0,1123	0,1013	0,0919	0,0838
175	0,7161	0,6631	0,6166	0,5754	0,4487	0,3621	0,2996	0,2526	0,2162	0,1874	0,1641	0,1451	0,1292	0,1158	0,1045	0,0947	0,0863
180	0,7464	0,6904	0,6413	0,5978	0,4651	0,3747	0,3096	0,2608	0,2231	0,1933	0,1693	0,1495	0,1331	0,1193	0,1076	0,0976	0,0889
185	0,7777	0,7184	0,6665	0,6208	0,4816	0,3874	0,3197	0,2691	0,2301	0,1993	0,1744	0,1540	0,1371	0,1229	0,1108	0,1004	0,0915
190	0,8100	0,7472	0,6925	0,6444	0,4985	0,4003	0,3300	0,2775	0,2371	0,2052	0,1796	0,1585	0,1411	0,1264	0,1140	0,1033	0,0941
195	0,8434	0,7769	0,7191	0,6685	0,5157	0,4133	0,3403	0,2860	0,2442	0,2113	0,1847	0,1631	0,1451	0,1300	0,1171	0,1062	0,0967
200	0,8780	0,8075	0,7465	0,6931	0,5331	0,4265	0,3508	0,2945	0,2513	0,2173	0,1900	0,1676	0,1491	0,1335	0,1203	0,1090	0,0993

## Функции защиты (продолжение)

Кривые охлаждения  
для  $E_{so} = 0$

$I/I_b$ Es (%)	4,80	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,00	12,50	15,00	17,50	20,00
50	0,0219	0,0202	0,0167	0,0140	0,0119	0,0103	0,0089	0,0078	0,0069	0,0062	0,0056	0,0050	0,0032	0,0022	0,0016	0,0013
55	0,0242	0,0222	0,0183	0,0154	0,0131	0,0113	0,0098	0,0086	0,0076	0,0068	0,0061	0,0055	0,0035	0,0024	0,0018	0,0014
60	0,0264	0,0243	0,0200	0,0168	0,0143	0,0123	0,0107	0,0094	0,0083	0,0074	0,0067	0,0060	0,0038	0,0027	0,0020	0,0015
65	0,0286	0,0263	0,0217	0,0182	0,0155	0,0134	0,0116	0,0102	0,0090	0,0081	0,0072	0,0065	0,0042	0,0029	0,0021	0,0016
70	0,0309	0,0284	0,0234	0,0196	0,0167	0,0144	0,0125	0,0110	0,0097	0,0087	0,0078	0,0070	0,0045	0,0031	0,0023	0,0018
75	0,0331	0,0305	0,0251	0,0211	0,0179	0,0154	0,0134	0,0118	0,0104	0,0093	0,0083	0,0075	0,0048	0,0033	0,0025	0,0019
80	0,0353	0,0325	0,0268	0,0225	0,0191	0,0165	0,0143	0,0126	0,0111	0,0099	0,0089	0,0080	0,0051	0,0036	0,0026	0,0020
85	0,0376	0,0346	0,0285	0,0239	0,0203	0,0175	0,0152	0,0134	0,0118	0,0105	0,0095	0,0085	0,0055	0,0038	0,0028	0,0021
90	0,0398	0,0367	0,0302	0,0253	0,0215	0,0185	0,0161	0,0142	0,0125	0,0112	0,0100	0,0090	0,0058	0,0040	0,0029	0,0023
95	0,0421	0,0387	0,0319	0,0267	0,0227	0,0196	0,0170	0,0150	0,0132	0,0118	0,0106	0,0095	0,0061	0,0042	0,0031	0,0024
100	0,0444	0,0408	0,0336	0,0282	0,0240	0,0206	0,0179	0,0157	0,0139	0,0124	0,0111	0,0101	0,0064	0,0045	0,0033	0,0025
105	0,0466	0,0429	0,0353	0,0296	0,0252	0,0217	0,0188	0,0165	0,0146	0,0130	0,0117	0,0106	0,0067	0,0047	0,0034	0,0026
110	0,0489	0,0450	0,0370	0,0310	0,0264	0,0227	0,0197	0,0173	0,0153	0,0137	0,0123	0,0111	0,0071	0,0049	0,0036	0,0028
115	0,0512	0,0471	0,0388	0,0325	0,0276	0,0237	0,0207	0,0181	0,0160	0,0143	0,0128	0,0116	0,0074	0,0051	0,0038	0,0029
120	0,0535	0,0492	0,0405	0,0339	0,0288	0,0248	0,0216	0,0189	0,0167	0,0149	0,0134	0,0121	0,0077	0,0053	0,0039	0,0030
125	0,0558	0,0513	0,0422	0,0353	0,0300	0,0258	0,0225	0,0197	0,0175	0,0156	0,0139	0,0126	0,0080	0,0056	0,0041	0,0031
130	0,0581	0,0534	0,0439	0,0368	0,0313	0,0269	0,0234	0,0205	0,0182	0,0162	0,0145	0,0131	0,0084	0,0058	0,0043	0,0033
135	0,0604	0,0555	0,0457	0,0382	0,0325	0,0279	0,0243	0,0213	0,0189	0,0168	0,0151	0,0136	0,0087	0,0060	0,0044	0,0034
140	0,0627	0,0576	0,0474	0,0397	0,0337	0,0290	0,0252	0,0221	0,0196	0,0174	0,0156	0,0141	0,0090	0,0062	0,0046	0,0035
145	0,0650	0,0598	0,0491	0,0411	0,0349	0,0300	0,0261	0,0229	0,0203	0,0181	0,0162	0,0146	0,0093	0,0065	0,0047	0,0036
150	0,0673	0,0619	0,0509	0,0426	0,0361	0,0311	0,0270	0,0237	0,0210	0,0187	0,0168	0,0151	0,0096	0,0067	0,0049	0,0038
155	0,0696	0,0640	0,0526	0,0440	0,0374	0,0321	0,0279	0,0245	0,0217	0,0193	0,0173	0,0156	0,0100	0,0069	0,0051	0,0039
160	0,0720	0,0661	0,0543	0,0455	0,0386	0,0332	0,0289	0,0253	0,0224	0,0200	0,0179	0,0161	0,0103	0,0071	0,0052	0,0040
165	0,0743	0,0683	0,0561	0,0469	0,0398	0,0343	0,0298	0,0261	0,0231	0,0206	0,0185	0,0166	0,0106	0,0074	0,0054	0,0041
170	0,0766	0,0704	0,0578	0,0484	0,0411	0,0353	0,0307	0,0269	0,0238	0,0212	0,0190	0,0171	0,0109	0,0076	0,0056	0,0043
175	0,0790	0,0726	0,0596	0,0498	0,0423	0,0364	0,0316	0,0277	0,0245	0,0218	0,0196	0,0177	0,0113	0,0078	0,0057	0,0044
180	0,0813	0,0747	0,0613	0,0513	0,0435	0,0374	0,0325	0,0285	0,0252	0,0225	0,0201	0,0182	0,0116	0,0080	0,0059	0,0045
185	0,0837	0,0769	0,0631	0,0528	0,0448	0,0385	0,0334	0,0293	0,0259	0,0231	0,0207	0,0187	0,0119	0,0083	0,0061	0,0046
190	0,0861	0,0790	0,0649	0,0542	0,0460	0,0395	0,0344	0,0301	0,0266	0,0237	0,0213	0,0192	0,0122	0,0085	0,0062	0,0048
195	0,0884	0,0812	0,0666	0,0557	0,0473	0,0406	0,0353	0,0309	0,0274	0,0244	0,0218	0,0197	0,0126	0,0087	0,0064	0,0049
200	0,0908	0,0834	0,0684	0,0572	0,0485	0,0417	0,0362	0,0317	0,0281	0,0250	0,0224	0,0202	0,0129	0,0089	0,0066	0,0050

**Кривые нагрева  
для Eso = 0**

I/lb Es (%)	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80
105		0,6690	0,2719	0,1685	0,1206	0,0931	0,0752	0,0627	0,0535	0,0464	0,0408	0,0363	0,0326	0,0295	0,0268	0,0245	0,0226
110		3,7136	0,6466	0,3712	0,2578	0,1957	0,1566	0,1296	0,1100	0,0951	0,0834	0,0740	0,0662	0,0598	0,0544	0,0497	0,0457
115			1,2528	0,6257	0,4169	0,3102	0,2451	0,2013	0,1699	0,1462	0,1278	0,1131	0,1011	0,0911	0,0827	0,0755	0,0693
120			3,0445	0,9680	0,6061	0,4394	0,3423	0,2786	0,2336	0,2002	0,1744	0,1539	0,1372	0,1234	0,1118	0,1020	0,0935
125				1,4925	0,8398	0,5878	0,4499	0,3623	0,3017	0,2572	0,2231	0,1963	0,1747	0,1568	0,1419	0,1292	0,1183
130				2,6626	1,1451	0,7621	0,5705	0,4537	0,3747	0,3176	0,2744	0,2407	0,2136	0,1914	0,1728	0,1572	0,1438
135					1,5870	0,9734	0,7077	0,5543	0,4535	0,3819	0,3285	0,2871	0,2541	0,2271	0,2048	0,1860	0,1699
140					2,3979	1,2417	0,8668	0,6662	0,5390	0,4507	0,3857	0,3358	0,2963	0,2643	0,2378	0,2156	0,1967
145						1,6094	1,0561	0,7921	0,6325	0,5245	0,4463	0,3869	0,3403	0,3028	0,2719	0,2461	0,2243
150						2,1972	1,2897	0,9362	0,7357	0,6042	0,5108	0,4408	0,3864	0,3429	0,3073	0,2776	0,2526
155						3,8067	1,5950	1,1047	0,8508	0,6909	0,5798	0,4978	0,4347	0,3846	0,3439	0,3102	0,2817
160							2,0369	1,3074	0,9808	0,7857	0,6539	0,5583	0,4855	0,4282	0,3819	0,3438	0,3118
165							2,8478	1,5620	1,1304	0,8905	0,7340	0,6226	0,5390	0,4738	0,4215	0,3786	0,3427
170								1,9042	1,3063	1,0076	0,8210	0,6914	0,5955	0,5215	0,4626	0,4146	0,3747
175								2,4288	1,5198	1,1403	0,9163	0,7652	0,6554	0,5717	0,5055	0,4520	0,4077
180								3,5988	1,7918	1,2933	1,0217	0,8449	0,7191	0,6244	0,5504	0,4908	0,4418
185									2,1665	1,4739	1,1394	0,9316	0,7872	0,6802	0,5974	0,5312	0,4772
190									2,7726	1,6946	1,2730	1,0264	0,8602	0,7392	0,6466	0,5733	0,5138
195									4,5643	1,9782	1,4271	1,1312	0,9390	0,8019	0,6985	0,6173	0,5518
200										2,3755	1,6094	1,2483	1,0245	0,8688	0,7531	0,6633	0,5914

I/lb Es (%)	1,85	1,90	1,95	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80	4,00	4,20	4,40	4,60
105	0,0209	0,0193	0,0180	0,0168	0,0131	0,0106	0,0087	0,0073	0,0063	0,0054	0,0047	0,0042	0,0037	0,0033	0,0030	0,0027	0,0025
110	0,0422	0,0391	0,0363	0,0339	0,0264	0,0212	0,0175	0,0147	0,0126	0,0109	0,0095	0,0084	0,0075	0,0067	0,0060	0,0055	0,0050
115	0,0639	0,0592	0,0550	0,0513	0,0398	0,0320	0,0264	0,0222	0,0189	0,0164	0,0143	0,0126	0,0112	0,0101	0,0091	0,0082	0,0075
120	0,0862	0,0797	0,0740	0,0690	0,0535	0,0429	0,0353	0,0297	0,0253	0,0219	0,0191	0,0169	0,0150	0,0134	0,0121	0,0110	0,0100
125	0,1089	0,1007	0,0934	0,0870	0,0673	0,0540	0,0444	0,0372	0,0317	0,0274	0,0240	0,0211	0,0188	0,0168	0,0151	0,0137	0,0125
130	0,1322	0,1221	0,1132	0,1054	0,0813	0,0651	0,0535	0,0449	0,0382	0,0330	0,0288	0,0254	0,0226	0,0202	0,0182	0,0165	0,0150
135	0,1560	0,1440	0,1334	0,1241	0,0956	0,0764	0,0627	0,0525	0,0447	0,0386	0,0337	0,0297	0,0264	0,0236	0,0213	0,0192	0,0175
140	0,1805	0,1664	0,1540	0,1431	0,1100	0,0878	0,0720	0,0603	0,0513	0,0443	0,0386	0,0340	0,0302	0,0270	0,0243	0,0220	0,0200
145	0,2055	0,1892	0,1750	0,1625	0,1246	0,0993	0,0813	0,0681	0,0579	0,0499	0,0435	0,0384	0,0341	0,0305	0,0274	0,0248	0,0226
150	0,2312	0,2127	0,1965	0,1823	0,1395	0,1110	0,0908	0,0759	0,0645	0,0556	0,0485	0,0427	0,0379	0,0339	0,0305	0,0276	0,0251
155	0,2575	0,2366	0,2185	0,2025	0,1546	0,1228	0,1004	0,0838	0,0712	0,0614	0,0535	0,0471	0,0418	0,0374	0,0336	0,0304	0,0277
160	0,2846	0,2612	0,2409	0,2231	0,1699	0,1347	0,1100	0,0918	0,0780	0,0671	0,0585	0,0515	0,0457	0,0408	0,0367	0,0332	0,0302
165	0,3124	0,2864	0,2639	0,2442	0,1855	0,1468	0,1197	0,0999	0,0847	0,0729	0,0635	0,0559	0,0496	0,0443	0,0398	0,0360	0,0328
170	0,3410	0,3122	0,2874	0,2657	0,2012	0,1591	0,1296	0,1080	0,0916	0,0788	0,0686	0,0603	0,0535	0,0478	0,0430	0,0389	0,0353
175	0,3705	0,3388	0,3115	0,2877	0,2173	0,1715	0,1395	0,1161	0,0984	0,0847	0,0737	0,0648	0,0574	0,0513	0,0461	0,0417	0,0379
180	0,4008	0,3660	0,3361	0,3102	0,2336	0,1840	0,1495	0,1244	0,1054	0,0906	0,0788	0,0692	0,0614	0,0548	0,0493	0,0446	0,0405
185	0,4321	0,3940	0,3614	0,3331	0,2502	0,1967	0,1597	0,1327	0,1123	0,0965	0,0839	0,0737	0,0653	0,0583	0,0524	0,0474	0,0431
190	0,4644	0,4229	0,3873	0,3567	0,2671	0,2096	0,1699	0,1411	0,1193	0,1025	0,0891	0,0782	0,0693	0,0619	0,0556	0,0503	0,0457
195	0,4978	0,4525	0,4140	0,3808	0,2842	0,2226	0,1802	0,1495	0,1264	0,1085	0,0943	0,0828	0,0733	0,0654	0,0588	0,0531	0,0483
200	0,5324	0,4831	0,4413	0,4055	0,3017	0,2358	0,1907	0,1581	0,1335	0,1145	0,0995	0,0873	0,0773	0,0690	0,0620	0,0560	0,0509

## Функции защиты (продолжение)

Кривые нагрева  
для  $E_{so} = 0$

I/lb	4,80	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,00	12,50	15,00	17,50	20,00
Es (%)																
105	0,0023	0,0021	0,0017	0,0014	0,0012	0,0010	0,0009	0,0008	0,0007	0,0006	0,0006	0,0005	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001
110	0,0045	0,0042	0,0034	0,0029	0,0024	0,0021	0,0018	0,0016	0,0014	0,0013	0,0011	0,0010	0,0006	0,0004	0,0003	0,0003
115	0,0068	0,0063	0,0051	0,0043	0,0036	0,0031	0,0027	0,0024	0,0021	0,0019	0,0017	0,0015	0,0010	0,0007	0,0005	0,0004
120	0,0091	0,0084	0,0069	0,0057	0,0049	0,0042	0,0036	0,0032	0,0028	0,0025	0,0022	0,0020	0,0013	0,0009	0,0007	0,0005
125	0,0114	0,0105	0,0086	0,0072	0,0061	0,0052	0,0045	0,0040	0,0035	0,0031	0,0028	0,0025	0,0016	0,0011	0,0008	0,0006
130	0,0137	0,0126	0,0103	0,0086	0,0073	0,0063	0,0054	0,0048	0,0042	0,0038	0,0034	0,0030	0,0019	0,0013	0,0010	0,0008
135	0,0160	0,0147	0,0120	0,0101	0,0085	0,0073	0,0064	0,0056	0,0049	0,0044	0,0039	0,0035	0,0023	0,0016	0,0011	0,0009
140	0,0183	0,0168	0,0138	0,0115	0,0097	0,0084	0,0073	0,0064	0,0056	0,0050	0,0045	0,0040	0,0026	0,0018	0,0013	0,0010
145	0,0206	0,0189	0,0155	0,0129	0,0110	0,0094	0,0082	0,0072	0,0063	0,0056	0,0051	0,0046	0,0029	0,0020	0,0015	0,0011
150	0,0229	0,0211	0,0172	0,0144	0,0122	0,0105	0,0091	0,0080	0,0070	0,0063	0,0056	0,0051	0,0032	0,0022	0,0016	0,0013
155	0,0253	0,0232	0,0190	0,0158	0,0134	0,0115	0,0100	0,0088	0,0077	0,0069	0,0062	0,0056	0,0035	0,0025	0,0018	0,0014
160	0,0276	0,0253	0,0207	0,0173	0,0147	0,0126	0,0109	0,0096	0,0085	0,0075	0,0067	0,0061	0,0039	0,0027	0,0020	0,0015
165	0,0299	0,0275	0,0225	0,0187	0,0159	0,0136	0,0118	0,0104	0,0092	0,0082	0,0073	0,0066	0,0042	0,0029	0,0021	0,0016
170	0,0323	0,0296	0,0242	0,0202	0,0171	0,0147	0,0128	0,0112	0,0099	0,0088	0,0079	0,0071	0,0045	0,0031	0,0023	0,0018
175	0,0346	0,0317	0,0260	0,0217	0,0183	0,0157	0,0137	0,0120	0,0106	0,0094	0,0084	0,0076	0,0048	0,0034	0,0025	0,0019
180	0,0370	0,0339	0,0277	0,0231	0,0196	0,0168	0,0146	0,0128	0,0113	0,0101	0,0090	0,0081	0,0052	0,0036	0,0026	0,0020
185	0,0393	0,0361	0,0295	0,0246	0,0208	0,0179	0,0155	0,0136	0,0120	0,0107	0,0096	0,0086	0,0055	0,0038	0,0028	0,0021
190	0,0417	0,0382	0,0313	0,0261	0,0221	0,0189	0,0164	0,0144	0,0127	0,0113	0,0101	0,0091	0,0058	0,0040	0,0030	0,0023
195	0,0441	0,0404	0,0330	0,0275	0,0233	0,0200	0,0173	0,0152	0,0134	0,0119	0,0107	0,0096	0,0061	0,0043	0,0031	0,0024
200	0,0464	0,0426	0,0348	0,0290	0,0245	0,0211	0,0183	0,0160	0,0141	0,0126	0,0113	0,0102	0,0065	0,0045	0,0033	0,0025



## Минимальный фазный ток

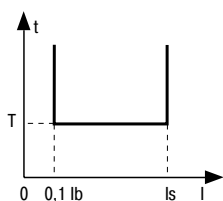
Код ANSI

37

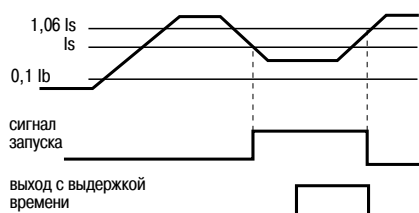
### Работа

Эта защита однофазная:

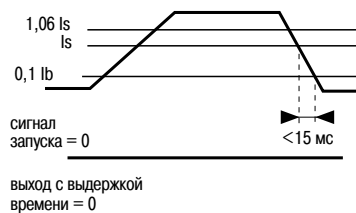
- она запускается, когда ток фазы I падает ниже уставки  $I_s$ ;
- она не активна, когда ток  $I_s$  меньше 10%  $I_b$ ;
- защита не чувствительна к снижению тока, вызванного отключением выключателя;
- имеет независимую выдержку времени T.



Принцип работы

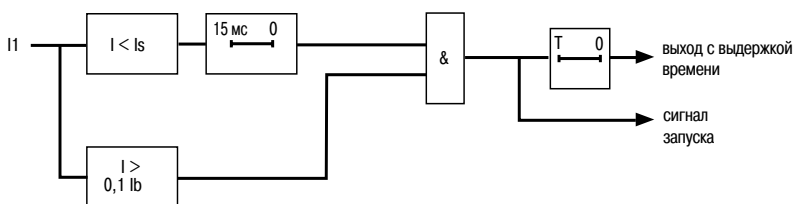


Случай снижения тока



Случай отключения выключателя

### Алгоритм работы



### Характеристики

#### Уставка $I_s$

уставка	$15\% I_b \leq I_s \leq 100\% I_b$ с шагом 1%
точность	$\pm 5\%$
коэффициент возврата	$106 \pm 5\%$ для $I_s > 0,1 I_n$

#### Выдержка времени T

уставка	$50 \text{ мс} \leq T \leq 300 \text{ с}$
точность <sup>(1)</sup>	$\pm 2\%$ или $\pm 25 \text{ мс}$
разрешение	10 мс или 1 цифра

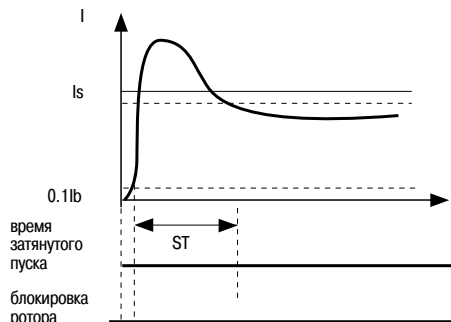
#### Временные характеристики

время срабатывания	$< 50 \text{ мс}$
время превышения	$< 35 \text{ мс}$
время возврата	$< 40 \text{ мс}$

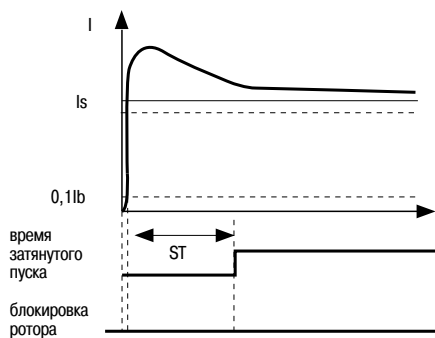
<sup>(1)</sup> В стандартных условиях (МЭК 60255-6).

## Затянутый пуск, блокировка ротора

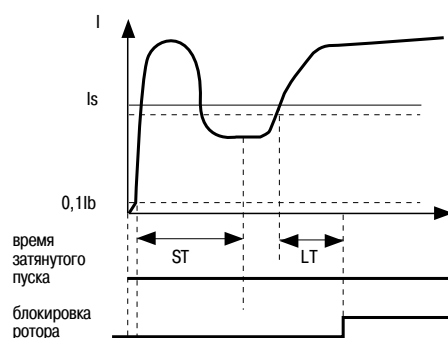
Код ANSI 48 - 51LR



Случай нормального пуска



Случай затянутого пуска



Случай блокировки ротора

### Работа

Данная функция трехфазная.

Она состоит из трех частей:

■ **затянутое время пуска:** во время пуска защита срабатывает, когда один из трех фазных токов больше уставки  $I_s$  в течение периода времени, большего, чем выдержка времени ST (нормальное время пуска),

■ **блокировка ротора:**

□ при нормальной работе (после пуска) защита срабатывает, когда один из трех фазных токов больше уставки в течение периода времени, большего, чем выдержка времени LT - тип независимой выдержки;

□ **блокировка пуска:** двигатели большой мощности могут иметь очень большое время пуска из-за их инерции или уменьшения напряжения питания. Это время пуска больше, чем разрешенное время блокировки ротора. Для правильной защиты таких двигателей можно настроить выдержку времени LTS таймера, который инициирует пуск, если старт был определен ( $I > I_s$ ) и если скорость вращения двигателя нулевая. Для нормального пуска вход I23 (датчик нулевой скорости) блокирует эту защиту.

### Самозапуск двигателя

Когда проходит самозапуск двигателя, он потребляет ток, близкий к пусковому току ( $> I_s$ ) без первоначального прохождения этого тока через значение, меньшее  $10\% I_b$ .

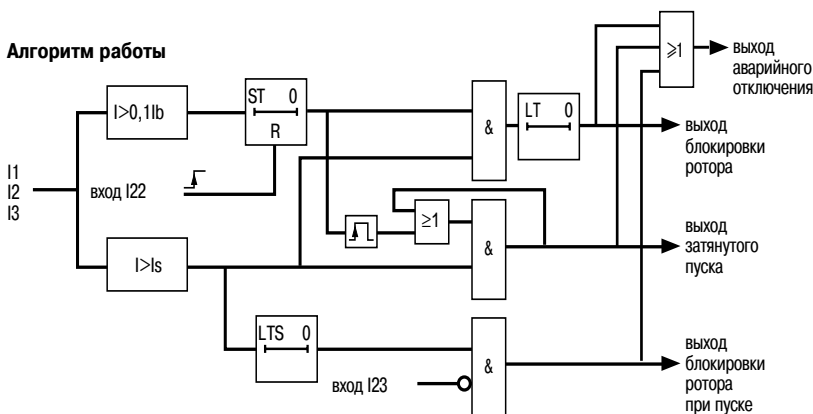
Эта информация может быть использована для:

□ повторного срабатывания защиты **затянутого пуска**;

□ установки выдержки времени LT защиты **блокировки ротора** на более низкое значение.

Пуск определяется, когда потребляемый ток превысит на 10% базовый ток  $I_b$ .

### Алгоритм работы



### Характеристики

#### Уставка $I_s$

уставка	$50\% I_b \leq I_s \leq 500\% I_b$
разрешение	1%
точность <sup>(1)</sup>	$\pm 5\%$
коэффициент возврата	$93,5 \pm 5\%$

#### Выдержка времени ST и LT

уставка	ST	$500 \text{ мс} \leq T \leq 300 \text{ с}$
	LT	$50 \text{ мс} \leq T \leq 300 \text{ с}$
	LTS	$50 \text{ мс} \leq T \leq 300 \text{ с}$

разрешение 10 мс или 1 цифра

точность <sup>(1)</sup>  $\pm 2\%$  или  $\pm 25 \text{ мс}$

<sup>(1)</sup> В стандартных условиях (МЭК 60255-6).

## Количество пусков в час

Код ANSI

66

### Работа

Данная функция трехфазная.


Она запускается, когда количество пусков достигает следующих пределов:

- максимального количества разрешенных пусков в час (P) (Nt);
- максимального разрешенного количества последовательных «горячих» пусков (Nc);
- максимального разрешенного количества последовательных «холодных» пусков (Nf);
- функция показывает количество разрешенных пусков, оставшихся до максимума, в случае, если защита не запущена;
- время ожидания до разрешения пуска в случае запуска защиты.

Пуск определяется, когда потребляемый ток становится на 10% больше тока I<sub>b</sub> после того, как он был ниже этого значения в течение выдержки времени T.

### Получение данных

Данные о количестве пусков и времени ожидания могут быть получены:

- с дисплея <sup>(1)</sup> при помощи кнопки ;
- с экрана ПК, имеющего программное обеспечение SFT 2841;
- через связь.

### Сброс данных

Данные счетчиков количества пусков могут быть установлены на 0 при использовании пароля:

- с дисплея при помощи кнопки «clear» <sup>(1)</sup>;
- с экрана ПК, имеющего программное обеспечение SFT 2841;
- через связь.

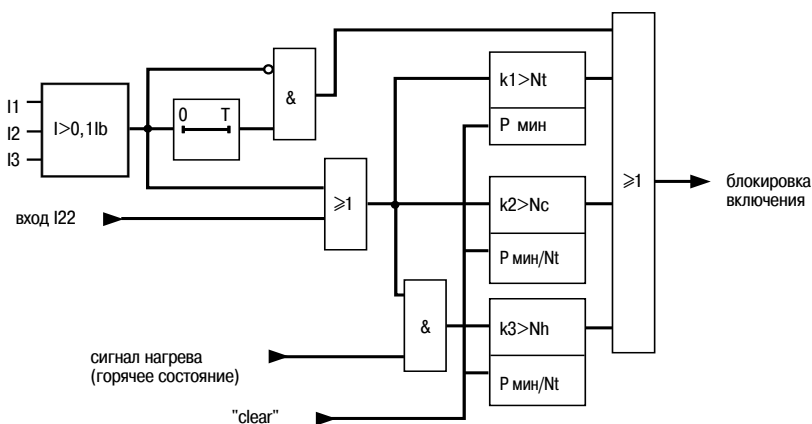
Количество последовательных пусков - это пуски, подсчитанные в течение последних P/Nt минут, где Nt является разрешенным количеством пусков в час.

Горячее состояние двигателя соответствует превышению первой уставки Es1 (50% нагрева) функции тепловой защиты.

При повторном пуске двигателя он подвергается нагрузке, подобной той, которой он подвергается при пуске без первоначального прохождения тока через значение, меньшее 10% I<sub>b</sub>. В этом случае количество пусков не увеличивается.

Однако количество пусков увеличивается, когда повторный пуск происходит по сигналу логического входа (вход I22).

### Алгоритм работы



### Характеристики

Период времени P	
уставка	1 - 6 ч
разрешение	1
Общее количество пусков Nt	
уставка	1 - 60
разрешение	1
Количество последовательных пусков Nt и Nc	
уставка <sup>(2)</sup>	1 - Nt
разрешение	1
Выдержка времени T	
уставка	0 мин ≤ T ≤ 90 мин
разрешение	1 мин или 1 цифра
Измерение времени ожидания	
диапазон измерения	0 - 360 мин
разрешение	1 мин
Измерение количества оставшихся пусков N	
диапазон измерения	0 - 60
разрешение	1

<sup>(1)</sup> Sepam с опцией усовершенствованного UMI.

<sup>(2)</sup> C Nh ≤ Nc.

## Минимальное напряжение прямой последовательности и контроль направления вращения фаз

Код ANSI 27D - 47

### Работа

**Минимальное напряжение прямой последовательности**  
Защита запускается, когда составляющая прямой последовательности  $V_d$  системы трехфазного напряжения меньше уставки  $V_{sd}$  при:

$$\vec{V}_d = (1/3) [\vec{V}_1 + a \vec{V}_2 + a^2 \vec{V}_3],$$

$$\vec{V}_d = (1/3) [U_{21} - a^2 U_{32}],$$

$$V = \frac{U}{\sqrt{3}} \quad \text{и} \quad a = e^{j \frac{2}{3}};$$

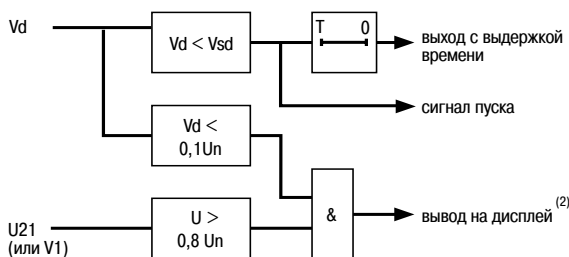
- защита включает независимую выдержку времени  $T$ ;
- защита позволяет обнаружить снижение электрического момента двигателя.

### Направление вращения фаз

Эта защита определяет направление вращения фаз.

Защита полагает направление вращения фаз обратным в том случае, когда напряжение прямой последовательности меньше 10%  $U_{np}$  и линейное напряжение больше 80%  $U_{np}$ .

### Алгоритм работы



### Характеристики

Уставки $V_{sd}$	
уставка	15- 60% $U_{np}$
точность <sup>(1)</sup>	±2%
коэффициент возврата	(103±2,5)%
разрешение	1%
Выдержки времени $T$	
уставка	50 мс - 300 с
точность <sup>(1)</sup>	±2% или ±25 мс
разрешение	10 мс или 1 цифра
Временные характеристики	
время срабатывания	пуск < 55 мс
время превышения	< 35 мс
время возврата	< 35 мс

<sup>(1)</sup> В стандартных условиях (МЭК 60255-6).

<sup>(2)</sup> Выводит на дисплей сообщение «rotation» вместо измерения напряжения прямой последовательности.

## Минимальное линейное напряжение

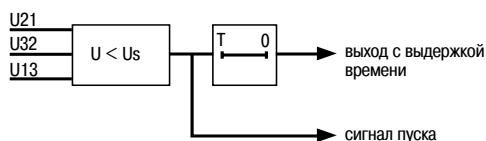
Код ANSI 27

### Работа

Эта защита трехфазная:

- она запускается, когда одно из соответствующих линейных напряжений меньше уставки  $U_s$ ;
- защита имеет независимую выдержку времени.

### Алгоритм работы



### Характеристики

Уставка $U_s$	
уставка	5 - 100% $U_{np}$
точность <sup>(1)</sup>	±2% или 0,005 $U_{np}$
разрешение	1%
коэффициент возврата	(103±2,5)%
Выдержки времени $T$	
уставка	50 мс - 300 с
точность <sup>(1)</sup>	±2% или ±25 мс
разрешение	10 мс или 1 цифра
Временные характеристики	
время срабатывания	пуск < 35 мс (25 мс, тип.)
время превышения	< 35 мс
время возврата	< 40 мс

<sup>(1)</sup> В стандартных условиях (МЭК 60255-6).

## Максимальное линейное напряжение

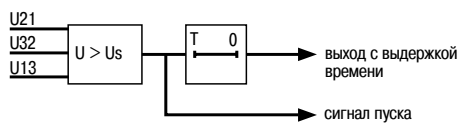
Код ANSI 59

### Работа

Данная защита трехфазная:

- запускается, когда одно из соответствующих линейных напряжений больше уставки  $U_s$ ;
- имеет независимую выдержку времени.

### Алгоритм работы



## Напряжение нулевой последовательности

Код ANSI 59N

### Работа

Эта защита запускается, когда напряжение нулевой последовательности  $V_0$  больше уставки  $V_{s0}$  при

$$\vec{V}_0 = \vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_3;$$

- защита имеет независимую выдержку времени  $T$ ;
- напряжение нулевой последовательности вычисляется либо по 3 фазным напряжениям, либо измеряется с помощью внешнего трансформатора напряжения.

### Характеристики

#### Уставка $U_s$

уставка	5 - 150% $U_{np}$
точность <sup>(1)</sup>	$\pm 2\%$ или 0,005 $U_{np}$
разрешение	1%
коэффициент возврата	97 $\pm$ 1%

#### Выдержки времени $T$

уставка	50 мс - 300 с
точность <sup>(1)</sup>	$\pm 2\%$ или $\pm 25$ мс
разрешение	10 мс или 1 цифра

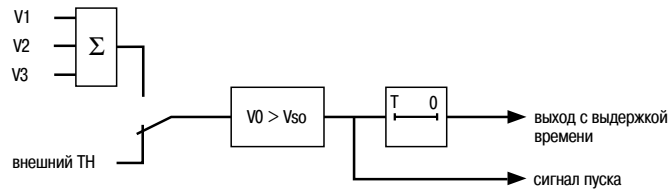
#### Временные характеристики

время срабатывания	пуск < 35 мс (25 мс, тип.)
время превышения	< 35 мс
время возврата	< 40 мс

<sup>(1)</sup> В стандартных условиях (МЭК 60255-6).

<sup>(2)</sup> 135%  $U_{np}$  с PT 230 В /  $\sqrt{3}$ .

### Алгоритм работы



### Характеристики

#### Уставка $V_{s0}$

уставка	2 - 80% $U_{np}$ , если $V_{ns0}^{(2)} = \text{сумма } 3 \text{ В}$ 2 - 80% $U_{np}$ , если $V_{ns0}^{(2)} = U_{ns} / \sqrt{3}$ 5 - 80% $U_{np}$ , если $V_{ns0}^{(2)} = U_{ns} / 3$
точность <sup>(1)</sup>	$\pm 2\%$ или 0,005 $U_{np}$
разрешение	1%
коэффициент возврата	97 $\pm$ 1%

#### Выдержки времени $T$

уставка	50 мс - 300 с
точность <sup>(1)</sup>	$\pm 2\%$ или $\pm 25$ мс
разрешение	10 мс или 1 цифра

#### Временные характеристики

время срабатывания	пуск < 55 мс
время превышения	< 35 мс
время возврата	< 55 мс

<sup>(1)</sup> В стандартных условиях (МЭК 60255-6).

<sup>(2)</sup>  $V_{ns0}$  является одним из основных параметров.

## Минимальное напряжение

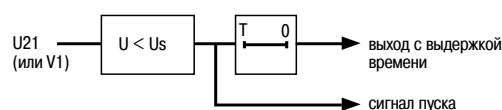
**Код ANSI** 27R

### Работа

Данная защита однофазная:

- запускается, когда линейное напряжение  $U_{21}$  меньше уставки  $U_s$ ;
- имеет независимую выдержку времени.

### Алгоритм работы



### Характеристики

Уставки $U_s$	
уставка	5 - 100% $U_{np}$
точность	$\pm 2\%$ или 0,005 $U_{np}$
коэффициент возврата	(103 $\pm$ 2,5)%
разрешение	1%
Выдержки времени T	
уставка	50 мс - 300 с
точность <sup>(1)</sup>	$\pm 2\%$ или $\pm 25$ мс
разрешение	10 мс или 1 цифра
Временные характеристики	
время срабатывания	< 40 мс
время превышения	< 20 мс
время возврата	< 30 мс

<sup>(1)</sup> В стандартных условиях (МЭК 60255-6).

## Максимальная частота

**Код ANSI** 81H

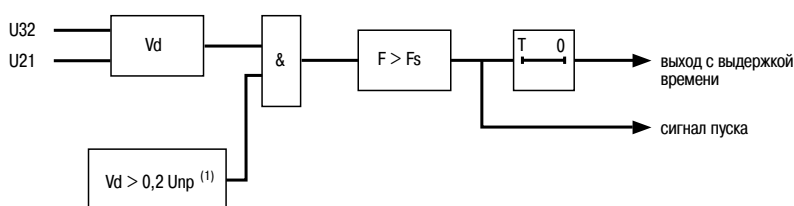
### Работа

Данная функция запускается, когда частота напряжения прямой последовательности больше уставки и когда напряжение прямой последовательности больше 20%  $U_{np}$  ( $U_{np}/\sqrt{3}$ ).

Если присоединен только один ТН ( $U_{21}$ ), защита запускается, когда частота больше уставки и если напряжение  $U_{21}$  больше 20% от  $U_{np}$ .

Защита имеет независимую выдержку времени T.

### Алгоритм работы



<sup>(1)</sup> Или  $U_{21} > 0,2 U_{np}$  (если имеется только один ТН).

Если есть только один датчик ( $U_{21}$ ), сигнал напряжения подведен к клеммам 1 и 2 разъема ССТ 640, независимо от фазы.

### Характеристики

Уставка $F_s$	
уставка	50 - 53 Гц или 60 - 63 Гц
разрешение	0,1 Гц
точность <sup>(1)</sup>	0,1 Гц
разница срабатывания/отключения	0,2 $\pm$ 0,1 Гц
Выдержки времени T	
уставка	100 мс - 300 с
точность <sup>(1)</sup>	$\pm 2\%$ или $\pm 25$ мс
разрешение	10 мс или 1 цифра
Временные характеристики	
время срабатывания	запуск < 100 мс (80 мс, тип.)
время превышения	< 100 мс
время возврата	< 100 мс

<sup>(1)</sup> В стандартных условиях (МЭК 60255-6) и  $df/dt < 3$  Гц/с.

## Минимальная частота

Код ANSI 81L

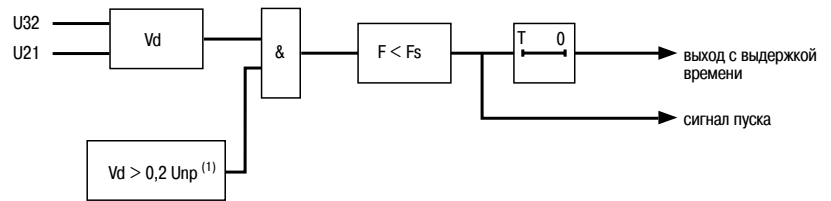
### Работа

Данная функция запускается, когда частота напряжения прямой последовательности меньше уставки и когда напряжение прямой последовательности больше 20%  $U_{пр}$  ( $U_{пр}/\sqrt{3}$ ).

Если присоединен только один ТН (U21), защита запускается, когда частота меньше уставки и если напряжение прямой последовательности больше 20%  $U_{пр}$ .

Защита имеет независимую выдержку времени T.

### Алгоритм работы



<sup>(1)</sup> Или  $U_{21} > 0,2 U_{пр}$  (если имеется только один ТН).

Если есть только один датчик (U21), сигнал напряжения подведен к клеммам 1 и 2 разъема ССТ 640, независимо от фазы.

### Характеристики

#### Уставка $F_s$

уставка	45 - 50 Гц или 55 - 60 Гц
разрешение	0,1 Гц
точность <sup>(1)</sup>	0,1 Гц
разность порога срабатывания/отпускания	0,2±0,1 Гц

#### Выдержки времени T

уставка	100 мс - 300 с
точность <sup>(1)</sup>	±2% или ±25 мс
разрешение	10 мс или 1 цифра

#### Временные характеристики

время срабатывания	пуск < 100 мс (80 мс, тип.)
время превышения	< 100 мс
время возврата	< 100 мс

<sup>(1)</sup> В стандартных условиях (МЭК 60255-6) и  $df/dt < 3$  Гц/с.

## Автоматическое повторное включение (АПВ)

Код ANSI 79

### Инициализация устройства повторного включения

Устройство повторного включения готово к работе, если соблюдены следующие условия:

- устройство повторного включения введено в работу;
- выключатель включен;
- выдержка времени блокировки не запущена;
- ни одно из условий блокировки автоматического повторного включения не действует (см. ниже).

### Циклы

- Случай устраненного повреждения:

□ если после команды на повторное включение повреждение не проявляется по истечении выдержки времени выделения, происходит инициализация устройства повторного включения и на дисплее появляется сообщение (см. Пример 1).

- Случай неустраненного повреждения, окончательное отключение:

□ после отключения защитой с/без выдержки времени, запускается выдержка времени восстановления изоляции, связанная с первым активным циклом. Когда он заканчивается, дается команда на включение и эта команда запускает выдержку времени выделения. В случае если защита обнаружит повреждение до окончания этой выдержки времени, дается команда на отключение и активизируется следующий цикл автоматического повторного включения;

□ если неисправность не устраняется после всех активных циклов, дается команда на окончательное отключение. На дисплей выводится сообщение и включение блокируется до тех пор, пока пользователь не квитирует неисправность в соответствии с уставками защит.

- Включение на короткое замыкание

Если выключатель включается на короткое замыкание или если повреждение возникает до конца выдержки времени блокировки, автоматическое повторное включение блокируется.

### Условия блокировки устройства повторного включения

Устройство повторного включения блокируется при появлении одного из следующих условий:

- прием команды на включение или аварийное отключение;
- устройство автоматического повторного включения не введено в работу;
- прием команды на блокировку на входе блокировки I26;
- появление неисправности, связанной с выключателем, например, отказ цепей управления или отключение;
- получение внешней команды на отключение на входе I21 или I22.

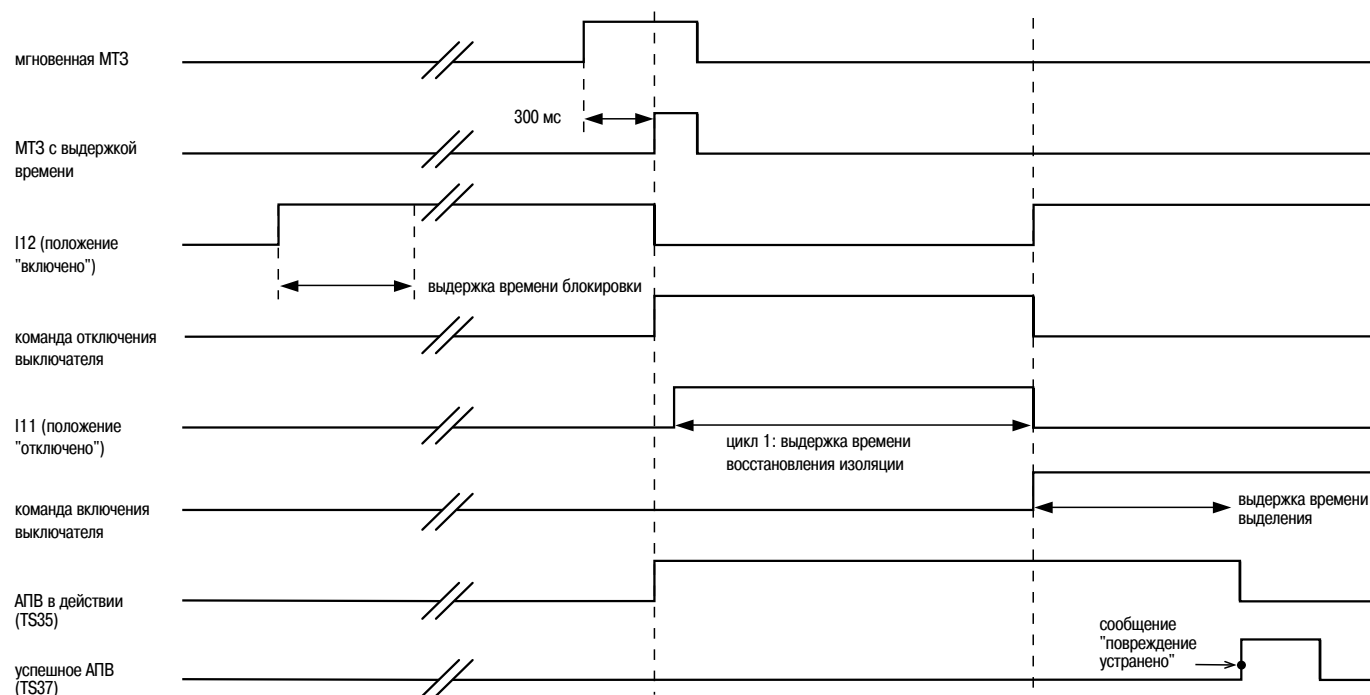
### Характеристики

Циклы повторного включения		уставки
количество циклов		1 - 4
активация цикла 1 <sup>(1)</sup>	O/C 1	мгнов./выд. врем./неактивн.
	O/C 2	мгнов./выд. врем./неактивн.
	E/F 1	мгнов./выд. врем./неактивн.
	E/F 2	мгнов./выд. врем./неактивн.
активация циклов 2, 3 и 4 <sup>(1)</sup>	O/C 1	мгнов./выд. врем./неактивн.
	O/C 2	мгнов./выд. врем./неактивн.
	E/F 1	мгнов./выд. врем./неактивн.
	E/F 2	мгнов./выд. врем./неактивн.

### Выдержки времени

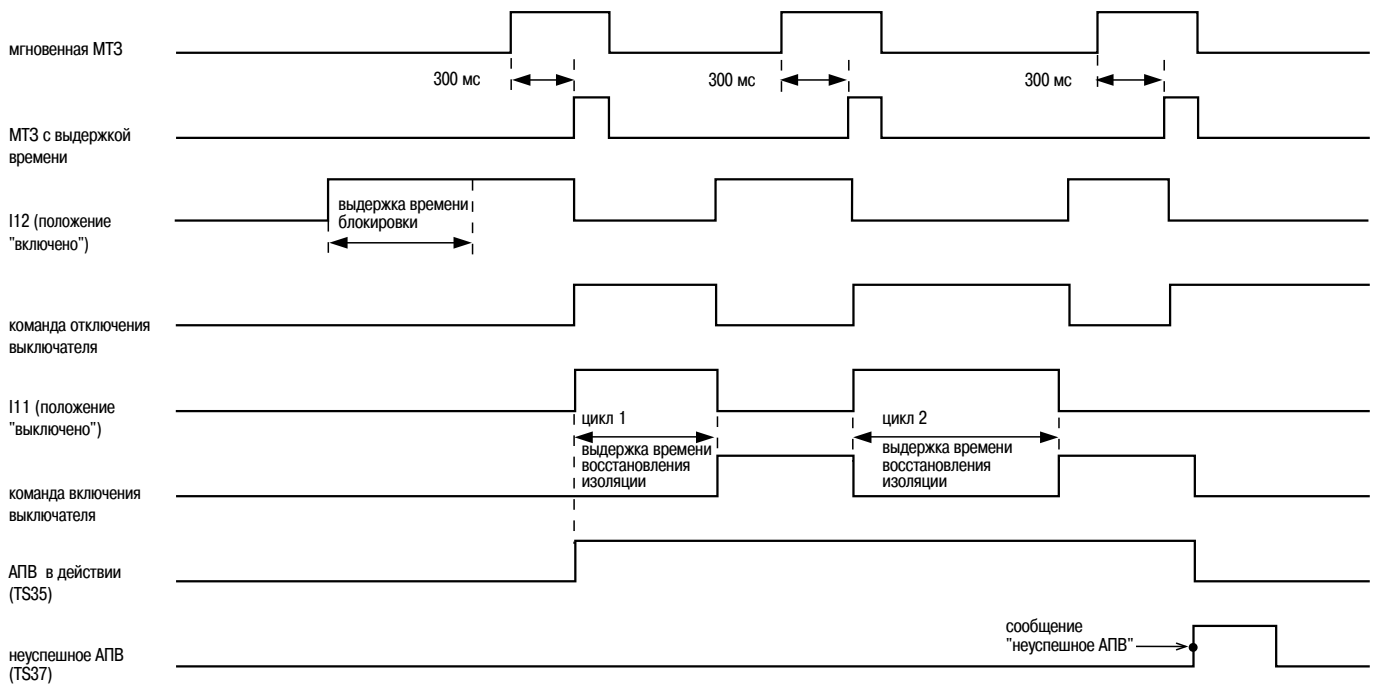
выдержка времени выделения		0,05 - 300 с
выдержка времени восстановления изоляции	цикл 1	0,05 - 300 с
	цикл 2	0,05 - 300 с
	цикл 3	0,05 - 300 с
	цикл 4	0,05 - 300 с
выдержка времени блокировки		0,05 - 300 с
точность		±2% или 25 мс
разрешение		10 мс или 1 цифра

<sup>(1)</sup> Если во время цикла автоматического повторного включения защита становится неактивной относительно триггеров отключения, устройство автоматического повторного включения блокируется.



Пример 1: случай успешного АПВ после первого цикла. Активация с выдержкой времени 300 мс максимальной токовой защиты (МТЗ).





Пример 2: случай неуспешного АПВ после двух циклов, запущенных максимальной токовой защитой с выдержкой времени 300 мс.

## Контроль температуры

Код ANSI 49T - 38

### Работа

Данная защита связана с температурными датчиками RTD Pt100 платиновыми (100 Ом при 0°) или никелевыми (100 Ом, 120 Ом) в соответствии со стандартами МЭК 60751 и DIN 43760.

■ запускается, когда контролируемая температура больше уставки  $T_s$ ;

■ имеет две независимых уставки:

□ уставку аварийной сигнализации;

□ уставку отключения;

■ защита определяет случаи обрыва и короткого замыкания температурных датчиков RTD:

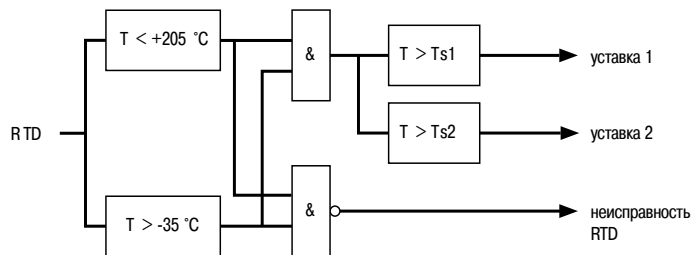
□ короткое замыкание датчика RTD обнаруживается в случае, когда измеряемая температура меньше  $-35\text{ }^\circ\text{C}$  (на дисплее появляется сообщение «\*\*\*\*»);

□ обрыв датчика RTD обнаруживается, когда измеряемая температура больше  $+205\text{ }^\circ\text{C}$  (на дисплее появляется сообщение «-\*\*\*\*»).

В случае обнаружения неисправности датчика RTD выходные реле блокируются: выходы защиты устанавливаются на 0.

Сообщение «неисправность RTD» имеется в матрице управления.

### Алгоритм работы



### Характеристики

Уставки $T_{s1}$ и $T_{s2}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{F}$
уставка	0 - 180 $^\circ\text{C}$	32 - 356 $^\circ\text{F}$
точность <sup>(1)</sup>	$\pm 1,5\text{ }^\circ\text{C}$	$\pm 2,7\text{ }^\circ\text{F}$
разрешение	1 $^\circ\text{C}$	1 $^\circ\text{F}$
разность порога срабатывания/отпускания	$3\pm 0,5\text{ }^\circ\text{C}$	

### Временные характеристики

время отключения	< 5 с
------------------	-------

<sup>(1)</sup> См. в главе «Измерение температуры» данные о снижении точности в зависимости от сечения кабелей.

## Защиты с зависимой выдержкой времени

Время срабатывания зависит от защищаемой переменной (фазный ток, ток замыкания на землю и т.д.).

Работа представлена характерными кривыми:

- $t = f(I)$  для функции **максимального фазного тока**;
- $t = f(I_0)$  для функции **замыкания на землю**.

Далее описание основывается на  $t = f(I)$ , но те же аргументы можно использовать и в отношении других переменных, таких, как  $I_0$  и т.д.

Кривая определяется по:

- типу (стандартная обратно зависимая **SIT**, очень обратно зависимая **VIT** или **LTI**, чрезвычайно обратно зависимая **EIT**, ультра обратно зависимая **UIT, RI**);
- уставке  $I_s$  соответствует вертикальная асимптота кривой;
- уставка выдержки времени  $T$  соответствует времени срабатывания для  $I = 10 I_s$ .

Эти три уставки выполняются в следующем хронологическом порядке: тип, ток  $I_s$ , выдержка времени  $T$ .

Изменение выдержки времени  $T$  на  $x\%$  изменяет все время срабатывания на кривой на  $x\%$ .

### Примеры решения задач

#### Задача 1

Зная тип зависимой характеристики, определите уставки тока  $I_s$  и выдержки времени  $T$ .

Теоретически ток  $I_s$  устанавливается на максимальный ток, который может быть постоянным: обычно это номинальный ток защищаемого оборудования (кабель, трансформатор).

Выдержка времени  $T$  устанавливается на рабочую точку  $10 I_s$  на кривой. Эта уставка определяется с учетом селективности по отношению к устройствам защиты, расположенным на разных уровнях радиальной распределительной сети.

#### Задача 2

Зная тип зависимой характеристики, уставку тока  $I_s$  и точку  $K(I_k, t_k)$  на рабочей кривой, определите уставку выдержки времени  $T$ .

На стандартной кривой того же типа найдите рабочее время  $t_{sk}$ , соответствующее относительному току:

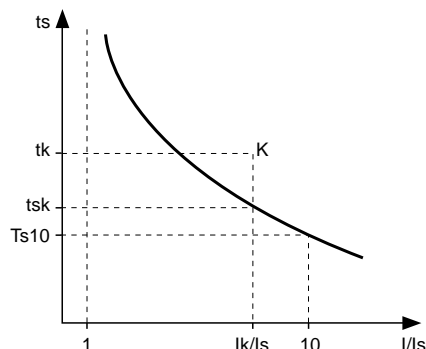
$$\frac{I_k}{I_s}$$

и рабочее время  $T_{s10}$ , соответствующее относительному току:

$$\frac{I}{I_s} = 10$$

Уставка выдержки времени, которая должна быть выполнена для того, чтобы рабочая кривая прошла через точку  $K(I_k, t_k)$ , вычисляется по формуле

$$T = T_{s10} \times \frac{t_k}{t_{sk}}$$



#### Практический метод:

В таблице на стр. 53 даны значения

$$T = \frac{ts}{ts10} \text{ как функция от } \frac{I}{I_s}$$

в колонке, соответствующей типу выдержки времени, найдите значение  $K = \frac{tsk}{Ts10}$  в строке, соответствующей  $\frac{I_k}{I_s}$ .

Уставка выдержки времени, которую следует использовать для того, чтобы рабочая кривая прошла

$$\text{через точку } K(I_k, T_k): T = \frac{t_k}{k}$$

#### Пример

Дано:

- тип выдержки времени: стандартное обратно зависимое время (SIT);
- уставка:  $I_s$ ;
- точка  $K$  на рабочей кривой:  $K(3,2 I_s; 4 \text{ с})$ .

**Вопрос:** какова уставка выдержки времени  $T$  (рабочее время при  $10 I_s$ )?

Найдите в таблице колонку «обратно зависимая»

строку  $\frac{I}{I_s} = 3,2$  и определите  $K = 2,00$ .

**Ответ:** уставка выдержки времени равна:  $T = \frac{4}{2} = 2 \text{ с}$

#### Задача 3

Зная уставки тока  $I_s$  и выдержки времени  $T$  для одного из типов выдержки времени (стандартная обратно зависимая, очень обратно зависимая, чрезвычайно обратно зависимая), найдите время срабатывания для значения тока  $I_A$ . На стандартной кривой того же типа найдите рабочее время  $t_{sA}$ , соответствующее относительному току:

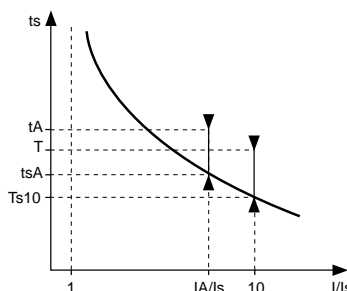
$$\frac{I_A}{I_s}$$

и рабочее время  $T_{s10}$ , соответствующее относительному току:

$$\frac{I}{I_s} = 10.$$

Время срабатывания  $t_A$  для тока  $I_A$  с уставками  $I_s$  и  $T$  будет равно:

$$t_A = t_{sA} \times \frac{T}{T_{s10}}$$



**Практический метод:**

В нижеприведенной таблице даны значения

$$K = \frac{ts}{Ts10} \text{ как функции от } \frac{I}{Is}$$

В колонке, соответствующей выдержке времени, найдите значение

$$K = \frac{tsA}{Ts10}$$

в строке, соответствующей  $\frac{IA}{Is}$ .

Рабочее время tA для тока IA с уставками Is и T будет равно Kt.

**Пример**

Дано:

- тип выдержки времени: очень обратно зависимая (VIT);
- уставка: Is;
- выдержка времени T = 0,8 с.

**Вопрос:** каково время срабатывания для тока IA = 6 Is ?

Найдите в таблице: колонку «Очень обратно зависимая»,

строку  $\frac{I}{Is} = 6$  и определите

K = 1,80.

**Ответ:** рабочее время t для тока IA будет равно

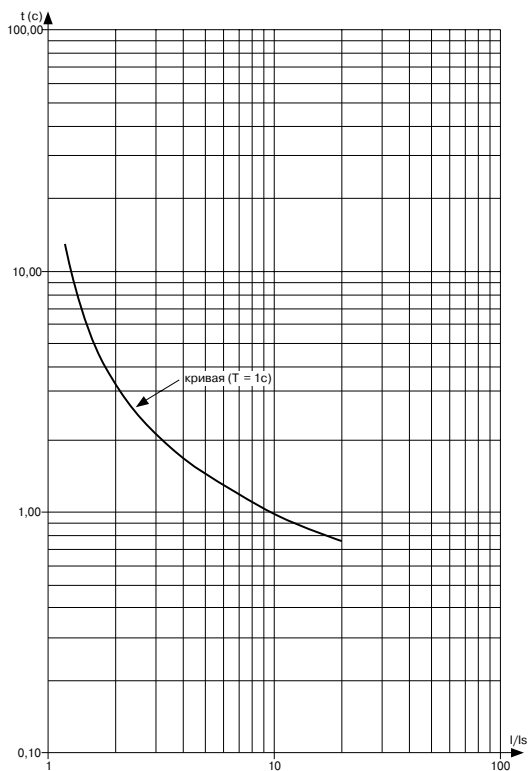
t = 1,80 x 0,8 = 1,44 с.

I/Is	Обратно зависим.	Очень обратно зав.	Чрезв. обр. зав.	Ультра обр. завис.
1,2	12,90	45,00	225,00	545,51
1,3	8,96	30,00	143,48	339,84
1,4	6,98	22,50	103,13	238,80
1,5	5,79	18,00	79,20	179,42
1,6	4,99	15,00	63,46	140,74
1,7	4,42	12,86	52,38	113,80
1,8	3,99	11,25	44,20	94,12
1,9	3,65	10,00	37,93	79,22
2,0	3,38	9,00	33,00	67,64
2,1	3,15	8,18	29,03	58,43
2,2	2,97	7,50	25,78	50,98
2,3	2,81	6,92	23,08	44,85
2,4	2,67	6,43	20,80	39,76
2,5	2,55	6,00	18,86	35,46
2,6	2,44	5,63	17,19	31,82
2,7	2,35	5,29	15,74	28,69
2,8	2,27	5,00	14,47	25,99
2,9	2,19	4,74	13,36	23,65
3,0	2,12	4,50	12,38	21,59
3,1	2,06	4,29	11,50	19,79
3,2	2,00	4,09	10,71	18,19
3,3	1,95	3,91	10,01	16,77
3,4	1,90	3,75	9,38	15,51
3,5	1,86	3,60	8,80	14,37
3,6	1,82	3,46	8,28	13,35
3,7	1,78	3,33	7,80	12,43
3,8	1,74	3,21	7,37	11,60
3,9	1,71	3,10	6,97	10,85
4,0	1,68	3,00	6,60	10,16
4,1	1,65	2,90	6,26	9,53
4,2	1,62	2,81	5,95	8,96
4,3	1,59	2,73	5,66	8,44
4,4	1,57	2,65	5,39	7,95
4,5	1,54	2,57	5,14	7,51
4,6	1,52	2,50	4,91	7,10
4,7	1,50	2,43	4,69	6,72
4,8	1,48	2,37	4,49	6,37
4,9	1,46	2,31	4,30	6,04
5,0	1,44	2,25	4,13	5,74
5,1	1,42	2,20	3,96	5,46
5,2	1,41	2,14	3,80	5,19
5,3	1,39	2,09	3,65	4,95
5,4	1,37	2,05	3,52	4,72
5,5	1,36	2,00	3,38	4,50
5,6	1,34	1,96	3,26	4,30
5,7	1,33	1,91	3,14	4,11
5,8	1,32	1,88	3,03	3,94
5,9	1,30	1,84	2,93	3,77
6,0	1,29	1,80	2,83	3,61
6,1	1,28	1,76	2,73	3,47
6,2	1,27	1,73	2,64	3,33
6,3	1,26	1,70	2,56	3,19
6,4	1,25	1,67	2,48	3,07
6,5	1,24	1,64	2,40	2,95

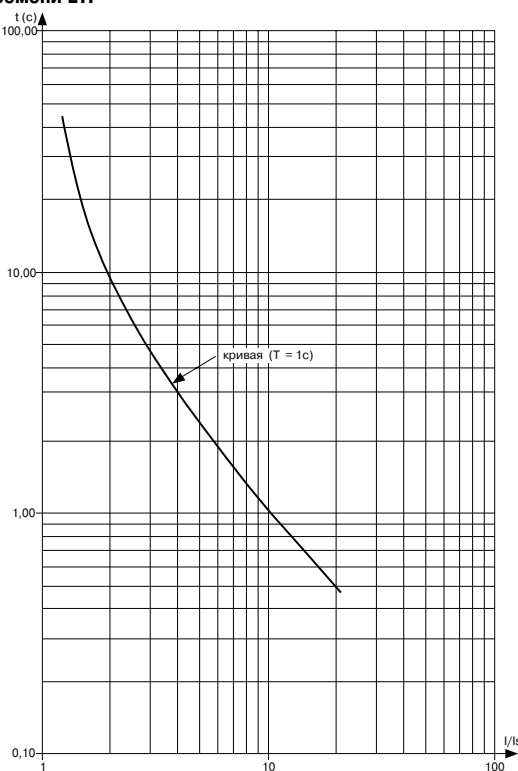
I/Is	Обратно зависим.	Очень обратно зав.	Чрезв. обр. зав.	Ультра обр. завис.
6,6	1,23	1,61	2,33	2,84
6,7	1,22	1,58	2,26	2,73
6,8	1,21	1,55	2,19	2,63
6,9	1,20	1,53	2,12	2,54
7,0	1,19	1,50	2,06	2,45
7,1	1,18	1,48	2,00	2,36
7,2	1,17	1,45	1,95	2,28
7,3	1,16	1,43	1,89	2,20
7,4	1,15	1,41	1,84	2,13
7,5	1,15	1,38	1,79	2,06
7,6	1,14	1,36	1,74	1,99
7,7	1,13	1,34	1,70	1,93
7,8	1,12	1,32	1,65	1,86
7,9	1,12	1,30	1,61	1,81
8,0	1,11	1,29	1,57	1,75
8,1	1,10	1,27	1,53	1,70
8,2	1,10	1,25	1,49	1,64
8,3	1,09	1,23	1,46	1,60
8,4	1,08	1,22	1,42	1,55
8,5	1,08	1,20	1,39	1,50
8,6	1,07	1,18	1,36	1,46
8,7	1,07	1,17	1,33	1,42
8,8	1,06	1,15	1,30	1,38
8,9	1,05	1,14	1,27	1,34
9,0	1,05	1,13	1,24	1,30
9,1	1,04	1,11	1,21	1,27
9,2	1,04	1,10	1,18	1,23
9,3	1,03	1,08	1,16	1,20
9,4	1,03	1,07	1,13	1,17
9,5	1,02	1,06	1,11	1,14
9,6	1,02	1,05	1,09	1,11
9,7	1,01	1,03	1,06	1,08
9,8	1,01	1,02	1,04	1,05
9,9	1,00	1,01	1,02	1,02
10,0	1,00	1,00	1,00	1,00
10,5	0,98	0,95	0,91	0,88
11,0	0,96	0,90	0,83	0,79
11,5	0,94	0,86	0,75	0,70
12,0	0,92	0,82	0,69	0,63
12,5	0,91	0,78	0,64	0,57
13,0	0,90	0,75	0,59	0,52
13,5	0,88	0,72	0,55	0,47
14,0	0,87	0,69	0,51	0,43
14,5	0,86	0,67	0,47	0,39
15,0	0,85	0,64	0,44	0,36
15,5	0,84	0,62	0,41	0,43
16,0	0,83	0,60	0,39	0,31
16,5	0,82	0,58	0,36	0,29
17,0	0,81	0,56	0,34	0,26
17,5	0,80	0,55	0,32	0,25
18,0	0,79	0,53	0,31	0,23
18,5	0,78	0,51	0,29	0,21
19,0	0,78	0,50	0,28	0,20
19,5	0,77	0,49	0,26	0,19
20,0	0,76	0,47	0,25	0,18

## Защиты с зависимой выдержкой времени (продолжение)

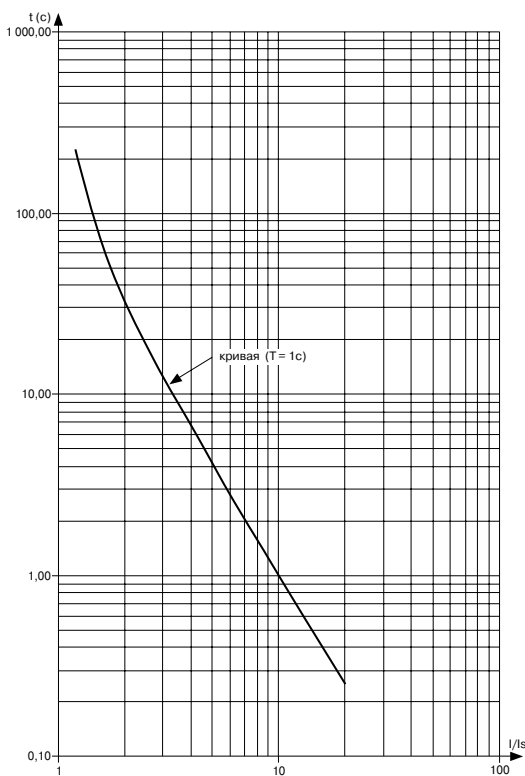
Кривая стандартной обратно зависимой выдержки времени SIT



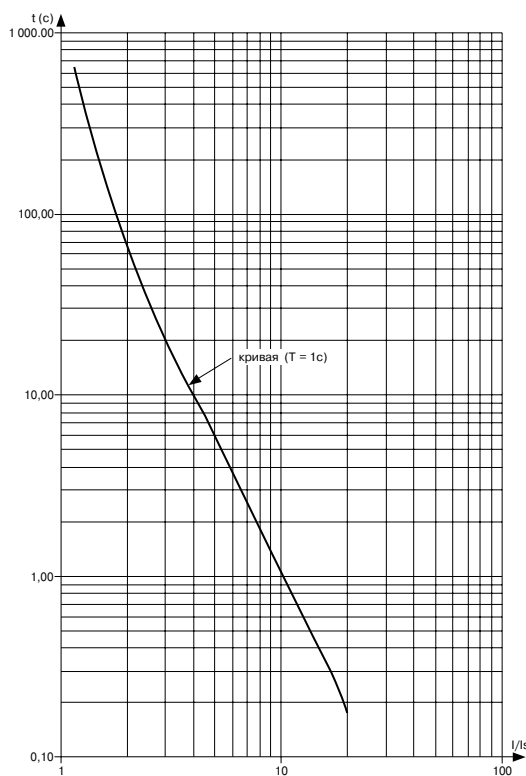
Кривая очень обратно зависимой выдержки времени VIT или длительно обратно зависимой выдержки времени LTI



Кривая чрезвычайно обратно зависимой выдержки времени EIT



Кривая ультра обратно зависимой выдержки времени UIT



**Кривая выдержки времени RI**

