

(код продукции)

МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ РС830-М1

Методические указания по выбору уставок защит
двигателей, реализуемых при помощи устройств

РС 830-М1

ЕАБР.656122.005 Д1

2018

Изн. № подл.	Подп. и дата	Изн. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Оглавление

Условные обозначения	3
1.Определение исходных величин	4
1.1.Пусковой ток двигателя	4
1.2.Максимальный ток для определения небалансов	4
1.3.Погрешность трансформаторов тока	4
2.Дифференциальная защита двигателя	5
2.1.Реализация дифференциальной защиты	5
2.2.Дифференциальная защита с торможением (ДТ), с током срабатывания меньше номинального тока двигателя	6
2.3.Дифференциальная защита с торможением (ДТ), с током срабатывания больше номинального тока двигателя	9
2.4.Дифференциальная отсечка (ДО)	10
2.5.Дифференциальная защита от небаланса (ДН).	10
3.Максимальная токовая защита	10
3.1.Токовая отсечка	11
3.2.Защита от перегрузки	11
4.Защита от затяжного пуска (ЗЗП) и блокировки ротора (ЗБР)	12
5.Защита от неполнофазных режимов	12
6.Защита от замыканий на землю (ЗНЗ)	12
7.Защиты по напряжению (ЗН)	13
7.1.Защита минимального напряжения (ЗМН)	13
7.2.Защита от недопустимого повышения напряжения (ЗПН)	14
7.3.Защита по напряжению обратной последовательности	14
7.4.Защита по напряжению нулевой последовательности	14
8.Защита минимального тока (ЗМТ)	15
9.Защита от выпадения из синхронизма (ЗВС)	15
10.Защита от асинхронного хода	15
11.Защита от потери питания (ЗПП)	15
12.Защита от обратного вращения (ОВВ)	16
13.Идентификация пуска двигателя (ИПД)	16
14.Защита от перегрева (тепловая защита ТЗ) на основании тепловой модели	16
Литература	20

Подп. и дата					
Взам. инв. №					
Инв. № дубл.					
Подп. и дата					
Инв. № подл.	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
	Разраб.				
	Пров.				
	Т. контр.				
	Н. контр.				
	Утв.				
ЕАБР.656122.005 Д1					
МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ РС830-М1 Методические указания					
Лит		Лист		Листов	
		2		20	
РЗА СИСТЕМЗ					

Условные обозначения

$P_{ТТ}$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока

I_n дв – номинальный ток двигателя

$I_{пуск}$ – пусковой ток электродвигателя

$k_{пуск}$ – кратность пускового тока

$T_{пуск}$ – длительность пуска двигателя

$I_{мах}$ – максимальный ток двигателя, используемый для вычисления небаланса

$K_{сх}^{(3)}$ – коэффициент схемы соединения трансформаторов тока и реле

I_{T0} – начальный ток торможения 2ст защиты

K_n (K_k) – коэффициент участия тока стороны начала (конца) в токе торможения

$I_{Tогр}$ – уставка ограничения тока торможения 2ст защиты

$I_{огр}$ – ток срабатывания 2ст защиты в точке ограничения торможения

$I_{нб}$ – ток небаланса

ε – относительная погрешность трансформаторов тока

$K_{ч дт}$ – коэффициент чувствительности дифференциальной защиты с торможением

$I_{Т ч}$ – ток торможения, при котором определяется коэффициент чувствительности, при повреждении в зоне защиты

$I_{д ср ч}$ – ток срабатывания защиты в точке характеристики, в которой определяется коэффициент чувствительности

K_T – уставка коэффициента торможения в относительных единицах

$I_{до}$ – уставка тока срабатывания дифференциальной отсечки (1ст)

$K_{ч до}$ – коэффициент чувствительности отсечки

$I_{дн}$ – уставка тока срабатывания дифференциальной защиты от небаланса

$T_{дн}$ – уставка времени срабатывания дифференциальной защиты от небаланса

ΔT – ступень селективности по времени

Инв. № подл	Подп. и дата						
	Взам. инв. №						
	Инв. № дубл.						
	Подп. и дата						
	Инв. № подл						
					ЕАБР.656122.005 Д1		Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			3

1.Определение исходных величин

1.1.Пусковой ток двигателя

1.1.1.Пусковой ток при прямом пуске асинхронного и синхронного двигателя

$$I_{\text{ПР ПУСК}} = k_{\text{ПУСК}} I_{\text{Н ДВ}}, \quad (1.1)$$

где:

- $k_{\text{ПУСК}}$ — кратность пускового тока;

- $I_{\text{Н}}$ — номинальный ток двигателя.

Кратность пускового тока составляет 5 – 8. Ее точное значение определяется заводскими характеристиками двигателя и приводимого механизма.

1.1.2.Пусковой ток при реакторном пуске двигателя

$$I_{\text{Р ПУСК}} = U_{\text{Н}} / \sqrt{3} (X_{\text{С}} + X_{\text{д}} + X_{\text{Р}}), \quad (1.2)$$

где:

- $U_{\text{Н}}$ — номинальное напряжение двигателя;

- $X_{\text{С}}, X_{\text{д}}, X_{\text{Р}}$ — реактивные сопротивления питающей системы, двигателя и реактора.

$$X_{\text{д}} = U_{\text{Н}} / \sqrt{3} I_{\text{ПР ПУСК}} \quad (1.3)$$

1.1.3.Пусковой ток при использовании систем плавного пуска определяется параметрами указанных систем.

1.2.Максимальный ток для определения небалансов

1.2.1.При участии двигателя в самозапуске

$$I_{\text{МАХ}} = (1,3-1,4) I_{\text{ПР ПУСК}}. \quad (1.4)$$

1.2.2.При не участии синхронного двигателя в самозапуске определяющим является ток подпитки от двигателя внешнего КЗ

$$I_{\text{МАХ}} = 1,1 I_{\text{ПР ПУСК}}. \quad (1.5)$$

1.2.3.Для асинхронного двигателя, не участвующего в самозапуске максимальный ток принимается равным пусковому току

$$I_{\text{МАХ}} = I_{\text{ПУСК}}. \quad (1.6)$$

1.3.Погрешность трансформаторов тока

1.3.1.Если выполняются условия проверки трансформаторов тока на 10% погрешность, то в установившемся режиме относительную погрешность принимают

$$\varepsilon = 0,1 \quad (1.7)$$

1.3.2.В переходном режиме погрешность значительно больше, но если вводится блокировка, действующая при переходном процессе, то относительную погрешность принимают в соответствии с выражением (1.7).

1.3.3.Если не вводится блокировка, действующая при переходном процессе, то относительную погрешность следует принимать

$$\varepsilon = 0,7-0,9 \quad (1.8)$$

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата					
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕАБР.656122.005 Д1				
					Лист				
					4				

2. Дифференциальная защита двигателя

2.1. Реализация дифференциальной защиты

Дифференциальная защита в устройстве имеет 3 ступени:

- дифференциальная отсечка (ДО);
- дифференциальная защита с торможением (ДТ);
- дифференциальная защита от небаланса (ДН).

Дифференциальная отсечка является ступенью защиты с максимальным быстродействием, не имеет блокировок, действующих в переходных режимах, и должна отстраиваться от всех видов небалансов по величине тока срабатывания.

Дифференциальная защита с торможением имеет максимальную чувствительность, за счет торможения может изменять ток срабатывания и чувствительность при изменении нагрузки двигателя, в случае выполнения блокировок, действующих в переходном режиме, может не отстраиваться от повышенного небаланса этого режима, но в таком случае действие защиты автоматически замедляется до затухания переходного процесса*.

Дифференциальная защита от небаланса предназначена для выявления неисправности цепей тока, по току срабатывания отстраивается только от небаланса тока нагрузки, за счет чего имеет повышенную чувствительность, от других видов небаланса отстраивается по времени и действует на сигнал.

Различают два способа выполнения дифференциальной защиты двигателя:

1. С током срабатывания меньше номинального тока двигателя. В таком варианте защита имеет максимальную чувствительность, позволяющую минимизировать разрушения при внутренних повреждениях в обмотках двигателя, но отсутствует возможность во всех случаях исключить избыточные срабатывания при неисправности цепей тока. Если режим двигателя по нагрузке оказывается таким, что при неисправности цепей тока не происходит избыточного срабатывания ДТ, то появление указанной неисправности сигнализируется действием ступени ДН.

2. С током срабатывания больше номинального тока двигателя. В таком варианте чувствительность защиты меньше, при появлении неисправности цепей тока в режиме работы двигателя под нагрузкой (наиболее длительный режим) не происходит избыточного срабатывания защиты, появление неисправности выявляется действием ступени ДН. Ограничение возможности использования такого способа защиты может возникать, если достигаемая чувствительность оказывается меньше нормируемой.

*В первом исполнении устройства блокировка, действующая в переходном режиме, отсутствует.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕАБР.656122.005 Д1					Лист
										5

С учетом схемы подключения токовых цепей устройства (рис.2.1)

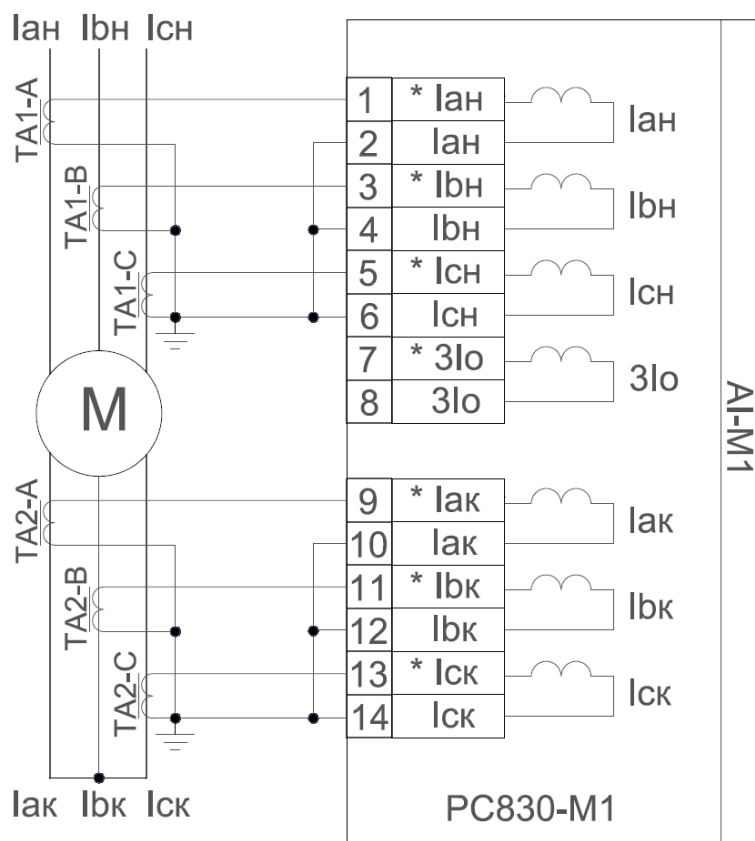


Рис.2.1.Схема подключения токовых цепей устройства

если отсутствуют особые соображения, то коэффициенты участия тока начала K_n и тока конца в токе торможения следует выбирать так, чтобы торможение осуществлялось только током конца, т.е:

$$K_H=0, K_K=1. \quad (2.1)$$

Это позволит при внутренних КЗ в обмотках двигателя исключить торможение и повысить чувствительность ДТ.

2.2.2.Ток срабатывания ДТ на начальном участке тормозной характеристики $I_{дт0}$ (рис.1.2)

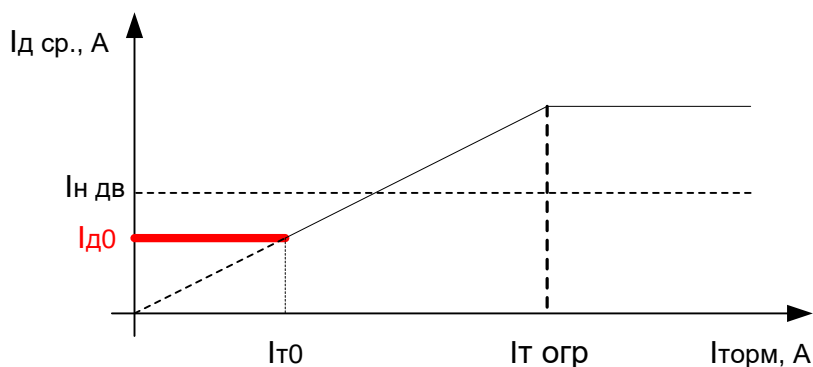


Рис.1.2. Начальный участок тормозной характеристики

рекомендуется принимать

$$I_{Д0}=(0,4-0,6)I_{н \text{ дв}}/n_{\text{тт}}, \quad (2.2)$$

где:

- $I_{\text{дв}}$ - номинальный ток двигателя (первичное значение);
- $\eta_{\text{т}}$ - коэффициент трансформации трансформаторов тока.

2.2.3. Коэффициент торможения

$$K_T = K_H (k_{\text{ПЭР}} \varepsilon + \delta), \quad (2.3)$$

где:

- K_H – коэффициент надежности, $K_H=1,2$;
- $K_{\text{ПЕР}}$ – коэффициент снижения тормозного тока за счет насыщения периодической составляющей, $K_{\text{ПЕР}}=2,5$;
- ε – погрешность трансформаторов тока в соответствии с пунктами 1.3.2 и 1.3.3;
- δ – параметр, учитывающий погрешность измерения тока устройством с необходимыми запасами, для устройств серии РС830 рекомендуется $\delta=0,05$.

2.2.4. Начальный ток торможения выбирают так, чтобы отстройка от небалансов во всех точках тормозной характеристики была одинаковой, что соответствует прохождению продолжения участка торможения через начало координат

$$I_{T0} = I_{D0}/K_T. \quad (2.4)$$

Если полученное в соответствии с выражением (2.4) значение I_{T0} выходит за пределы допустимых величин уставок (1,5...4А), то следует принять I_{T0} равное ближайшему допустимому значению уставки (1,5 или 4А).

2.2.5. Ток ограничения торможения $I_{Tогр}$ (рис.1.3)

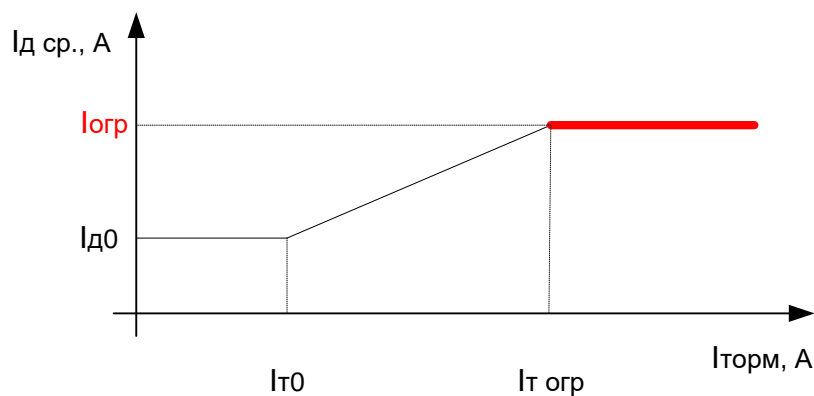


Рис.1.3.Участок ограничения торможения

выбирается по максимальному току $I_{\text{МАХ}}$, определяемому согласно пункта 1.2

$$I_{\text{Т огр}} = I_{\text{МАХ}} / n_{\text{ТТ}} \quad (2.5)$$

2.2.6. Коэффициент чувствительности определяется при минимальном токе КЗ на выводах питания двигателя $I_{\text{К МИН}}$ (стороны начала).

Если в соответствии с (2.1) принято $K_n=0$ и торможение осуществляется только током конца то режим, при котором определяется коэффициент чувствительности, соответствует начальному участку тормозной характеристики (рис. 1.4)

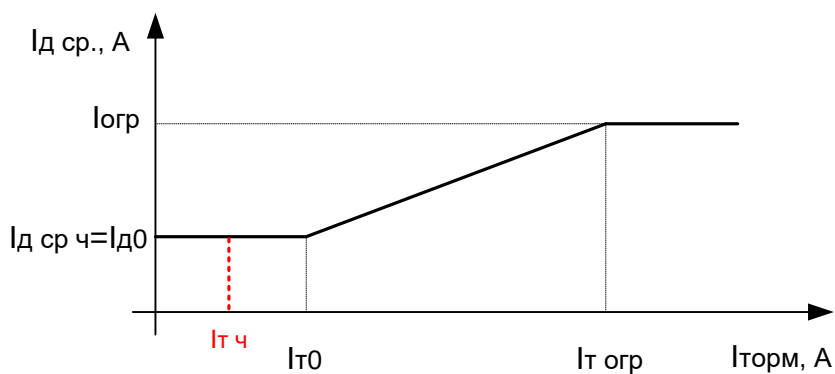


Рис.1.4

$$K_{\text{ч дт}} = I_{\text{Д0}} / n_{\text{ТТ}} I_{\text{К МИН}} \quad (2.6)$$

Если по любым причинам условие (2.1) не принято, то коэффициент чувствительности должен приниматься как худшее значение для начального участка (рис.1.4) и участка торможения (рис.1.5)

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕАБР.656122.005 Д1					
										Лист
										8

рекомендуется принимать

$$I_{d0}=1,1I_n \text{ дв}/n_{\text{тт}}, \quad (2.8)$$

2.3.3.Остальные параметры дифзащиты при выборе тока срабатывания больше номинального тока двигателя принимаются в соответствии с пунктами 2.2.3-2.2.7 настоящих методических указаний без изменений.

2.3.4.Уставка по времени ДТ, если отсутствуют особые соображения, принимается равной нулю.

2.4.Дифференциальная отсечка (ДО)

2.4.1.Ток срабатывания дифференциальной отсечки определяется условиями отстройки от небаланса при максимальном токе $I_{\text{МАХ}}$, определяемом согласно пункта 1.2

$$I_{\text{до}}=k_{\text{отс}} \epsilon I_{\text{МАХ}}/n_{\text{тт}}, \quad (2.9)$$

где:

- $k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, $k_{\text{отс}}=1,5$;

- ϵ – погрешность трансформаторов тока в переходном режиме, принимается согласно пункта 1.3.3, $\epsilon=0,7-0,9$.

2.4.2.Коэффициент чувствительности ДО определяется при минимальном токе КЗ на выводах двигателя (стороны начала)

$$K_{\text{ч до}}= I_{\text{к мин}} / n_{\text{тт}} I_{\text{до}}, \quad (2.10).$$

2.4.3.Уставка по времени ДО, если отсутствуют особые соображения, принимается равной нулю.

2.5.Дифференциальная защита от небаланса (ДН).

2.5.1.Ток срабатывания ДН $I_{\text{дн}}$, предназначенной для выявления неисправности цепей тока дифзащиты, определяется по условиям отстройки от небаланса, вызванного током нагрузки двигателя

$$I_{\text{дн}}=k_n \epsilon I_{\text{нг}}/n_{\text{тт}}, \quad (2.11)$$

- k_n – коэффициент надежности, $k_n=1,2$;

- ϵ – погрешность трансформаторов тока в установившемся режиме, принимается согласно пункта 1.3.1, $\epsilon=0,1$;

- $I_{\text{нг}}$ – ток нагрузки двигателя, при отсутствии данных о реальной нагрузке двигателя вместо $I_{\text{нг}}$ можно использовать номинальный ток двигателя $I_n \text{ дв}$.

2.5.2.Уставка по времени ДН $T_{\text{дн}}$ выбирается по условиям отстройки от максимального времени переходного режима, в качестве которого следует принимать время пуска двигателя $T_{\text{пуск}}$

$$T_{\text{дн}}= T_{\text{пуск}} + \Delta T, \quad (2.12)$$

где ΔT – степень отстройки, $\Delta T=1 \text{ с}$.

3.Максимальная токовая защита

Максимальная токовая защита (МТЗ) используется для организации токовой отсечки (ТО) и защиты от перегрузки.

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕАБР.656122.005 Д1					10

3.1.Токовая отсечка

3.1.1.Токовая отсечка (ТО) используется в качестве защиты от междуфазных КЗ двигателя и выполняется без выдержки времени.

3.1.2.Ток срабатывания ТО $I_{ТО}$ выбирается по условиям отстройки от максимального тока двигателя $I_{МАХ}$ при пуске, самозапуске или подпитке внешнего КЗ от двигателя (пункт 1.2)

$$I_{ТО}=k_H k_A I_{МАХ}/n_{ТТ}, \quad (3.1)$$

где:

- k_H — коэффициент надежности, $k_H=1,2$;

- k_A — коэффициент, учитывающий увеличение погрешности за счет апериодической составляющей $k_A=1,2$;

3.1.3.Коэффициент чувствительности ТО определяется при минимальном токе КЗ на выводах питания двигателя (стороны начала)

$$K_{чТО}= I_{к\ мин} /n_{ТТ} I_{ТО}, \quad (3.2).$$

3.2.Защита от перегрузки

При наличии отдельной защиты от неполнофазных режимов, защиты от асинхронного хода и защиты от блокировки ротора, защита от перегрузки, предназначенная в общем случае для реагирования и на эти режимы, на работу в них может не проверяться. В таком случае защиту от перегрузки рекомендуется выполнять двухступенчатой.

3.2.1.Первую ступень защиты от перегрузки рекомендуется выполнять в виде МТЗ с зависимой характеристикой, согласованной с тепловой характеристикой двигателя. При этом обычно наиболее близкой к тепловой характеристике двигателя оказывается ампер-секундная характеристика 7 (тепловая характеристика без памяти) с видом зависимости $t_{cp}=35T_y/(I/I_y-1)$.

3.2.2.Ток срабатывания первой ступени защиты от перегрузки $I_{пер1}$ рекомендуется принимать равным 1,15 номинального тока двигателя I_n :

$$I_{пер1}=1,15 I_n/n_{ТТ} \quad (3.3).$$

3.2.3.Если отсутствуют подробные данные по тепловой характеристике двигателя и принята ампер-секундная характеристика МТЗ в соответствии с рекомендациями пункта 3.2.1, то уставку по времени указанной характеристики T_y рекомендуется принимать

$$T_y=A/54,$$

где:

- A — постоянная времени охлаждения двигателя.

3.2.4.Если отсутствуют данные о постоянной времени охлаждения двигателя, то ее значение можно приближенно определить по эмпирической формуле

$$A=T_{доп}(I_{доп}^2/I_n^2 - 1),$$

где:

- $T_{доп}$ — допустимое время работы при токе $I_{доп}$;

- I_n — номинальный ток двигателя.

3.2.5.Действие первой ступени защиты от перегрузки должно осуществляться на разгрузку приводимого агрегата или на отключение двигателя.

3.2.6.Вторая ступень защиты от перегрузки может выполняться в виде МТЗ с независимой характеристикой, отстроенной от времени пуска двигателя.

Инв. № подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	3.2.2.Ток срабатывания первой ступени защиты от перегрузки $I_{пер1}$ рекомендуется принимать равным $1,15$ номинального тока двигателя I_n :	
					$I_{пер1}=1,15 I_n/n_{ТТ}$	(3.3).
					3.2.3.Если отсутствуют подробные данные по тепловой характеристике двигателя и принята ампер-секундная характеристика МТЗ в соответствии с рекомендациями пункта 3.2.1, то уставку по времени указанной характеристики T_y рекомендуется принимать	
					$T_y=A/54,$	
					где: - A – постоянная времени охлаждения двигателя.	
Инв. № подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	3.2.4.Если отсутствуют данные о постоянной времени охлаждения двигателя, то ее значение можно приближенно определить по эмпирической формуле	
					$A=T_{доп}(I_{доп}^2/I_n^2 - 1),$	
					где: - T_{доп} – допустимое время работы при токе I_{доп} ;	
					- I_n – номинальный ток двигателя.	
					3.2.5.Действие первой ступени защиты от перегрузки должно осуществляться на разгрузку приводимого агрегата или на отключение двигателя.	
Инв. № подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	3.2.6.Вторая ступень защиты от перегрузки может выполняться в виде МТЗ с независимой характеристикой, отстроенной от времени пуска двигателя.	
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕАБР.656122.005 Д1	Лист
						11

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

12

6.2.С целью исключения неправильной работы ступени направленной ЗН31 от перезаряда емкостей в момент наступления замыкания на землю ее выдержку времени следует принять 0,1с.

6.3.В соответствии с требованиями ПУЭ (л.) при токах замыкания на землю больше 10А для двигателей номинальной мощностью до 2МВт или больше 5А для двигателей номинальной мощностью более 2МВт, ЗН31 должна действовать на отключение. В других случаях действие ЗН31 можно выполнять на сигнал. При действии на сигнал можно рекомендовать увеличение выдержки времени ЗН31 до 1-2с.

6.4.Уставку пуска по ЗU0 следует принимать равной 0,25 номинального напряжения нулевой последовательности, возникающего при полном замыкании на землю.

6.5.Степень направленной ЗН31 можно не отстраивать от небалансов ЗI0 и частичного тока замыкания на землю, генерируемого емкостью присоединения защищаемого двигателя, так как пуск по ЗU0 исключает срабатывание при отсутствии замыкания на землю, а направленность ступени обеспечивает селективность действия при замыкании на землю на других присоединениях. Поэтому уставку по току ЗI0 следует выбирать по условию обеспечения чувствительности при полноте замыкания на землю, соответствующей пуску по ЗU0, т.е. 0,25:

$$ЗI0_{ср1}=0,25 I_{ЗНЗ} \Sigma / n_{ТТ0}, \quad (6.1)$$

где:

- $I_{ЗНЗ} \Sigma$ – суммарное значение емкостного тока замыкания на землю всей электрически связанной сети, к которой присоединен двигатель;

- $n_{ТТ0}$ – коэффициент трансформации трансформатора тока нулевой последовательности.

6.6.Защита от двойных замыканий на землю реализуется 2 ступенью ЗН32, которая выполняется не направленной.

6.7.Ток срабатывания защиты от двойных замыканий на землю ЗI0ср2 выбирается по условию отстройки от небаланса, вызванного максимальным током двигателя:

$$ЗI0_{ср2}= k_H k_{НС} I_{МАХ} / n_{ТТ0}, \quad (6.2)$$

где:

- k_H – коэффициент надежности, $k_H=1,2$;

- $k_{НС}$ – коэффициент несимметрии, $k_{НС}=0,015$;

- $I_{МАХ}$ – максимальный ток двигателя при пуске, самозапуске или подпитке внешнего КЗ в соответствии с пунктом 1.2.

6.8.Время срабатывания защиты от двойных замыканий на землю принимается равным нулю, действие защиты выполняется на отключение.

7.Защиты по напряжению (ЗН)

7.1.Защита минимального напряжения (ЗМН)

Защиту минимального напряжения ответственного двигателя рекомендуется выполнять двухступенчатой. Первая ступень ЗМН1 предназначается для отключения других неответственных двигателей с целью обеспечения возможности самозапуска защищаемого ответственного двигателя. Вторая ступень ЗМН2 предназначена для отключения защищаемого ответственного двигателя по условиям технологического процесса или по требованиям безопасности при полном исчезновении или глубокой просадке напряжения.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Инв. № инв.	Подп. и дата	выполняется не направленной.				
						6.7.Ток срабатывания защиты от двойных замыканий на землю 3I0ср2 выбирается по условию отстройки от небаланса, вызванного максимальным током двигателя:				
						$3I0ср2= k_H k_{HC} I_{MAX}/n_{ТТО}, \quad (6.2)$				
						где:				
						- k_H — коэффициент надежности, $k_H=1,2$;				
- k_{HC} — коэффициент несимметрии, $k_{HC}=0,015$;										
- I_{MAX} — максимальный ток двигателя при пуске, самозапуске или подпитке внешнего КЗ в соответствии с пунктом 1.2.										
6.8.Время срабатывания защиты от двойных замыканий на землю принимается равным нулю, действие защиты выполняется на отключение.										
7.Защиты по напряжению (ЗН)										
7.1.Защита минимального напряжения (ЗМН)										
Защиту минимального напряжения ответственного двигателя рекомендуется выполнять двухступенчатой. Первая ступень ЗМН1 предназначена для отключения других неотчетственных двигателей с целью обеспечения возможности самозапуска защищаемого ответственного двигателя. Вторая ступень ЗМН2 предназначена для отключения защищаемого ответственного двигателя по условиям технологического процесса или по требованиям безопасности при полном исчезновении или глубокой просадке напряжения.										
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<i>ЕАБР.656122.005 Д1</i>		Лист			
							13			

7.1.1.Напряжение срабатывания первой ступени $U_{ЗМН1}$ выбирают больше напряжения, при котором гарантируется самозапуск защищаемого ответственного двигателя и обычно составляет 0,6-0,7 номинального напряжения двигателя U_N :

$$U_{ЗМН1}=(0,6-0,7) U_N/K_{ТН} , \quad (7.1)$$

где:

- $K_{ТН}$ – коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

7.1.2.Время срабатывания первой ступени ЗМН1 выбирается меньше времени действия защиты от КЗ, после действия которой осуществляется самозапуск, и составляет 0,5-0,8с.

7.1.3.Действие первой ступени ЗМН1 назначается на отдельное выходное реле терминала, от которого осуществляется отключение неответственных двигателей.

7.1.4.Напряжение срабатывания второй ступени $U_{ЗМН2}$ выбирают так, чтобы гарантировался ее возврат при напряжении самозапуска защищаемого ответственного двигателя и обычно составляет 0,4-0,5 номинального напряжения двигателя:

$$U_{ЗМН2}=(0,4-0,5) U_N/K_{ТН} , \quad (7.2)$$

7.1.5.Время срабатывания второй ступени ЗМН2 выбирается больше времени срабатывания защиты от КЗ, после действия которой осуществляется самозапуск, и обычно составляет 3-8с.

7.1.6.Действие защиты должно назначаться по междуфазным напряжениям с логикой «ИЛИ»

7.2.Защита от недопустимого повышения напряжения (ЗПН)

7.2.1.Уставки по напряжению и времени срабатывания ЗПН определяются значениями максимального допустимого напряжения для двигателя и времени его действия в соответствии с паспортными данными двигателя.

7.2.2.Действие ЗПН должно назначаться по междуфазным напряжениям с логикой «ИЛИ».

7.3.Защита по напряжению обратной последовательности

Защита по напряжению обратной последовательности может использоваться как защита от неполнофазных режимов. Но более эффективной защитой от неполнофазных режимов для двигателя является защита по току обратной последовательности, рекомендации по выбору уставок которой приведены в пункте 5. Применение в качестве защиты от неполнофазных режимов защиты по напряжению обратной последовательности оправдано в случае замены готовых решений, ориентированных на применение другого оборудования, в процессе реконструкции без пересчета уставок защит. При этом уставки защиты по напряжению обратной последовательности принимаются такими же, как ее уставки в устройствах заменяемых защит.

7.4.Защита по напряжению нулевой последовательности

Защита по напряжению нулевой последовательности может применяться для неселективной сигнализации повреждения изоляции в сети, к которой подключен двигатель.

7.4.1.Уставку пуска по $3U_0$ следует принимать равной 0,25 номинального напряжения нулевой последовательности, возникающего при полном замыкании на землю в сети.

7.4.2.Уставку по времени защиты по напряжению нулевой последовательности следует принимать по условиям работы сигнализации на объекте, обычно 1-10с.

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕАБР.656122.005 Д1					14

8.Защита минимального тока (ЗМТ)

Защита минимального тока используется как защита от аварийной потери нагрузки двигателя. Ток и время срабатывания ЗМТ определяются параметрами приводимого механизма и технологического процесса.

8.1.Ток срабатывания ЗМТ выбирается меньше минимального тока нагрузки двигателя в любом нормальном режиме его работы и обычно составляет 0,2-0,6 номинального тока двигателя.

8.2.Время срабатывания ЗМТ выбирается по условиям отстройки от времени действия защит минимального напряжения и защиты от потери питания и обычно составляет 2-5с.

9.Защита от выпадения из синхронизма (ЗВС)

Защита от выпадения из синхронизма или от потери возбуждения для синхронного двигателя работает по снижению его $\cos\varphi$.

9.1.Уставка по снижению $\cos\varphi$ выбирается отдельно для емкостного и индуктивного $\cos\varphi$ по условиям отстройки от возможных нормальных изменений указанного параметра во всех эксплуатационных режимах с учетом настроек системы регулирования возбуждения.

10.Защита от асинхронного хода

Асинхронный ход синхронного двигателя характеризуется изменениями тока статора почти от нуля при совпадении фазы ЭДС двигателя и питающего напряжения вплоть до удвоенного тока КЗ при их встречном направлении. Защита от асинхронного хода может выполняться ступенью МТЗ с временем срабатывания меньше периода изменения тока при асинхронном ходе и временем возврата больше указанного периода.

10.1.Ток срабатывания защиты выбирается по условиям отстройки от тока статора при форсировке возбуждения.

10.2.Работа защиты должна блокироваться сигналом «Пуск двигателя». Для этого сигнал «Пуск двигателя» назначают на одно из КЛ. Выход последнего назначают на вход ДФ в инверсном режиме. На другой вход ДФ назначают выход принятой ступени МТЗ. Объединение входов ДФ назначают по логике «И». Дополнительной функции ДФ присваивают пользовательское имя «З Ас Х» (защита от асинхронного хода).

10.3.Время срабатывания дополнительной функции «З Ас Х» устанавливают равным нулю (она будет срабатывать с выдержкой ступени МТЗ и задержкой до завершения режима пуска двигателя), а время возврата – равным необходимому времени возврата защиты от асинхронного хода (больше периода изменения тока при асинхронном ходе).

11.Защита от потери питания (ЗПП)

Защита от потери питания синхронного двигателя предназначена для отключения двигателя от шин при потере питания и предотвращения подпитки других потребителей от продолжающего вращаться по инерции двигателя. ЗПП действует на отключение двигателя и гашение поля. Дополнительным эффектом от работы ЗПП может быть ускорение снижения напряжения на шинах и уменьшение времени действия АВР.

11.1.ЗПП выполняется на основе защиты по частоте (ЗЧ) на понижение, блокируемой функцией контроля активной мощности (КАМ) при направлении и величине мощности, соответствующих режиму нормального питания двигателя от шин.

11.2.Для организации блокирования ЗЧ от ступени КАМ выход «Пуск КАМ» назначают на КЛ, логическим выходом которого осуществляют блокировку ЗЧ.

11.3. Частоту срабатывания ЗЧ выбирают меньше уставки первой очереди АЧР.

11.4.Направленность КАМ должна быть выбрана «Вперед».

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕАБР.656122.005 Д1	Лист
											15

11.5.Уставку по нижней границе активной мощности **Р_{нг}** выбирают меньше минимального значения активной мощности **Р_{мин}**, которая может потребляться двигателем по режиму работы приводимого механизма с учетом коэффициентов трансформации по току **n_{тг}** и напряжению **К_{тн}**:

$$\mathbf{P_{нг} < P_{мин} / n_{тг} K_{тн}. \quad (11.1)}$$

11.6.Уставку по верхней границе активной мощности **Р_{вг}** выбирают больше максимального значения активной мощности **Р_{мах}**, которая может генерироваться вращающимся по инерции без питающего напряжения двигателем на его выбеге:

$$\mathbf{P_{вг} > P_{мах} / n_{тг} K_{тн}. \quad (11.2)}$$

11.7.Коэффициенты возврата по нижней и верхней границе активной мощности принимают равными 1.

11.8.Уставку минимального порога контроля активной мощности принимают равной нулю.

12.Защита от обратного вращения (ОВВ)

Защита от обратного вращения используется для блокировки включения двигателя до его полной остановки после отключения выключателя. Уставка по времени защиты **Т_{ОВВ}** выбирается больше максимального времени остановки двигателя совместно с приводимым механизмом и определяется их характеристиками. Значение этого времени может быть определено экспериментальным путем при выполнении пуско-наладочных работ.

13.Идентификация пуска двигателя (ИПД)

13.1.Уставка по току нижней границы **I_{нг}** функции ИПД выбирается по условию превышения номинального тока двигателя **I_{н дв}** с учетом коэффициента трансформации трансформаторов тока **n_{тг}**

$$\mathbf{I_{нг} = 1,1 I_{н дв} / n_{тг} \quad (13.1)}$$

13.2.Уставка по току верхней границы **I_{вг}** выбирается с запасом меньше минимально возможного значения пускового тока **I_{пуск мин}**

$$\mathbf{I_{вг} = 0,8 I_{пуск мин} / n_{тг} \quad (13.2)}$$

13.3.Уставка по времени контроля пускового тока **Т_{кп}** принимается по условию отстройки от разбросов времени включения выключателя и переключения его блк-контактов. Ее можно принять **Т_{кп}=0,5с**.

13.4.Уставку по длительности пуска принимают равной времени протекания пускового режима для данного двигателя с данным приводимым механизмом.

13.5.Разрешение контроля блок-контактов выключателя рекомендуется включать, если доверяют надежности указанных блок-контактов.

14.Защита от перегрева (тепловая защита ТЗ) на основании тепловой модели

Выбор уставок защиты от перегрева сводится к определению постоянной времени нагрева при включенном двигателе **Т_{вкл}**, постоянной времени охлаждения при отключенном двигателе **Т_{откл}** и трех уставок ступеней защиты по относительному перегреву: уставки предупредительной сигнализации **Е_{пред}**, уставки аварийного отключения **Е_{откл}**, уставки возврата защиты **Е_{возв}**, после которого снимается запрет на включение отключенного тепловой защитой двигателя.

Кроме того, по паспортным данным двигателя и исходя из конкретных параметров окружающей среды задаются уставками номинальный ток двигателя **I_{н дв}**, номинальная температура окружающей среды, при которой заданы номинальные параметры двигателя

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕАБР.656122.005 Д1					16

$t_{окр\ ном}$, температура окружающей среды, при которой реально работает двигатель $t_{окр}$, начальная температура двигателя в момент начала работы тепловой модели $t_{нач}$. Если температура окружающей среды в месте работы двигателя меняется в течение года, то значение $t_{окр}$ надо задавать как среднее значение для сезона и изменять его при смене сезонов. Если двигатель включается после того как длительное время не работал, то значение $t_{нач}$ принимается равным температуре воздуха в месте установки двигателя в момент его включения.

14.1.Постоянная времени нагрева приближенно может быть определена выражением

$$T_{вкл}=t_{доп} (K^2-1)/60\ln[(K^2-1)/(K^2-K_{MAX})] , \quad (14.1)$$

где:

- $t_{доп}$ – допустимое время работы двигателя с кратностью тока по отношению к номинальному, равной K ;
- K_{MAX} – предельная кратность перегрева по отношению к перегреву при номинальных параметрах двигателя.

Значение K_{MAX} можно определить в зависимости от класса изоляции двигателя согласно таблице 14.1 (л4)

Таблица14.1

Класс изоляции	A	E	B	F	H
K_{MAX}	-	1,231	1,125	1,278	1,217

14.2.Значени постоянной времени охлаждения $T_{откл}$ зависит от организации системы охлаждения двигателя. Если двигатель имеет охлаждение, независимое от скорости вращения двигателя, постоянная времени охлаждения принимается равной постоянной времени нагрева

$$T_{откл}= T_{вкл} \quad (14.2)$$

Если охлаждение осуществляется вентилятором на валу двигателя

$$T_{откл}= (2-4)T_{вкл} \quad (14.3)$$

14.3.Значения постоянных времени нагрева и охлаждения двигателя, приближенно определенные по выражениям 14.1 - 14.3, можно уточнить путем экспериментальных измерений при пуско-наладочных работах.

14.4.Для определения постоянной времени нагрева $T_{вкл}$ экспериментальным путем двигатель включают на время $t_{раб}$, соизмеримое с величиной $T_{вкл}$ по выражению 14.1. При этом нагрузка двигателя должна быть фиксированной (от 50% до 100% номинальной величины). При этом напряжение сети должно соответствовать номинальному напряжению ЭД (паспортные данные). В процессе эксперимента производится измерение величины потребляемого тока $I_{раб}$, а также начальной t_0 (перед началом эксперимента) и конечной t_k

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Лист ЕАБР.656122.005 Д1 17				
					Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

(по истечении времени $t_{\text{раб}}$) температуры обмоток ЭД, температуры окружающей среды $T_{\text{окр}}$. На основании полученных данных (а также на основании паспортных данных о номинальном токе ЭД $I_{\text{н дв}}$, критической температуре обмоток $T_{\text{кр}}$ и номинальной температуре окружающей среды $T_{\text{окр.ном.}}$) тепловая постоянная времени $T_{\text{вкл}}$ может быть вычислена следующим образом:

$$T_{\text{вкл}} = - \frac{t_{\text{раб}}}{\ln \left(1 - \frac{\tau_{\text{к}} - \tau_0}{(\tau_{\text{кр}} - \tau_{\text{окр.ном.}}) \cdot \left(\frac{I_{\text{раб}}}{I_{\text{н дв}}} \right)^2 + \tau_{\text{окр}} - \tau_0} \right)} \quad (14.4)$$

Значение $T_{\text{кр}}$ определяется классом изоляции в соответствии с таблицей 14.2 (л5)

Таблица 14.2

Класс	Y	A	E	B	F	H	C
$\tau_{\text{кр}}, \text{K}$	363	378	393	403	428	453	473

14.5.Постоянная времени охлаждения $T_{\text{откл}}$ определяет инерционность процесса остывания ЭД. Может быть вычислена опытным путем после проведения эксперимента по определению постоянной времени нагрева $T_{\text{вкл}}$. В процессе эксперимента производится наблюдение за двигателем в отключенном состоянии (после предварительного нагрева в процессе длительной работы) с измерением начальной τ_0 (перед началом эксперимента) и конечной $\tau_{\text{к}}$ (по истечении времени $t_{\text{откл}}$) температуры обмоток ЭД, при температуре окружающей среды $T_{\text{окр}}$.

$$T_{\text{откл}} = - \frac{t_{\text{откл}}}{\ln \left(1 - \frac{\tau_0 - \tau_{\text{к}}}{\tau_0 - \tau_{\text{окр}}} \right)} \quad (14.5)$$

14.6.Для определения уставок предупредительной сигнализации $E_{\text{уст пред}}$, аварийного отключения $E_{\text{откл}}$ и возврата защиты $E_{\text{возв}}$, после которого снимается запрет на включение, рассмотрим поведение двигателя и его тепловой модели в установившемся режиме при длительном протекании по обмоткам неизменного тока. При этом длительность протекания тока во много раз превышает постоянную времени нагрева $T_{\text{вкл}}$, чем и определяется установившийся характер процесса. В таком режиме установившееся значение перегрева E при номинальном токе и значении других параметров, соответствующих номинальному режиму двигателя, $E_{\text{уст ном}}=100\%$. При прочих неизменных факторах и токе I отличном от

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕАБР.656122.005 Д1					18

номинального установившееся значение перегрева (в соответствии с общими физическими свойствами нагревания проводников током) определится выражением

$$E_{уст} = 100(I/I_{н\ дв})^2 \quad (14.6)$$

14.7. Уставку предупредительной сигнализации $E_{пред}$ рекомендуется выбирать соответствующей длительной работе с током 0,9 номинального

$$E_{пред} = 100(I/I_{н\ дв})^2 = 100 \times 0,9^2 \approx 80\%.$$

14.8. С учетом того, что в соответствии с отечественными стандартами для любого двигателя допустима работа при токе, 1,05 номинального без ограничения длительности, уставку аварийного отключения $E_{откл}$ рекомендуется выбирать соответствующей длительной работе с током 1,1 номинального

$$E_{откл} = 100(I/I_{н\ дв})^2 = 100 \times 1,1^2 \approx 120\%.$$

При выборе уставок для импортных двигателей следует руководствоваться конкретными значениями токов допустимой длительной работы для этих двигателей.

Если конкретные образцы защиты двигателя не позволяют установить рассчитанное значение уставки, то рекомендуется ставить ближайшее возможное значение, но действие ступени выполнять не на отключение, а на сигнал.

14.9. Уставку возврата защиты $E_{возв}$, после которого снимается запрет на включение, рекомендуется выбирать так, чтобы после возврата защиты пуск двигателя не вызывал увеличение значения перегрева больше, чем до 100%. Перегрев $E_{пуск}$, возникающий в результате действия пускового тока $I_{пуск}$ на протяжении времени пуска $T_{пуск}$ определится выражением

$$E_{пуск} = 100 \left(\frac{I_{пуск}}{I_{н\ дв}} \right)^2 \left(1 - e^{-\frac{T_{пуск}}{T_{вкл}}} \right)$$

$$E_{возв} = 100 - E_{пуск} \quad (14.7)$$

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕАБР.656122.005 Д1					Лист
										19

Литература

- 1.Шабад М.А.. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. Ленинград, «Энергоатомиздат», 1985.
- 2.Беркович М.А. и др. Основы техники релейной защиты. М. Энергоатомиздат, 1984.
- 3.Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. Учебник для вузов. М. «Энергия», 1976.
- 4.Терминалы релейной защиты синхронных и асинхронных электродвигателей 6-10кВ. Расчет уставок. Методические указания. (СТО ДИВГ – 046 – 2017).
5. МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ РС830-М1. РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ. ЕАБР.656122.005 РЭ.

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕАБР.656122.005 Д1	Лист
											20