

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ УСТАВОК ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ МР801

Редакция 1.2. Дата: 11.05.2018.

Тормозная характеристика дифференциальной защиты (рис. 1) имеет три участка AB , BC , CD , четвертый участок DE обусловлен действием дифференциальной отсечки (ДТО).

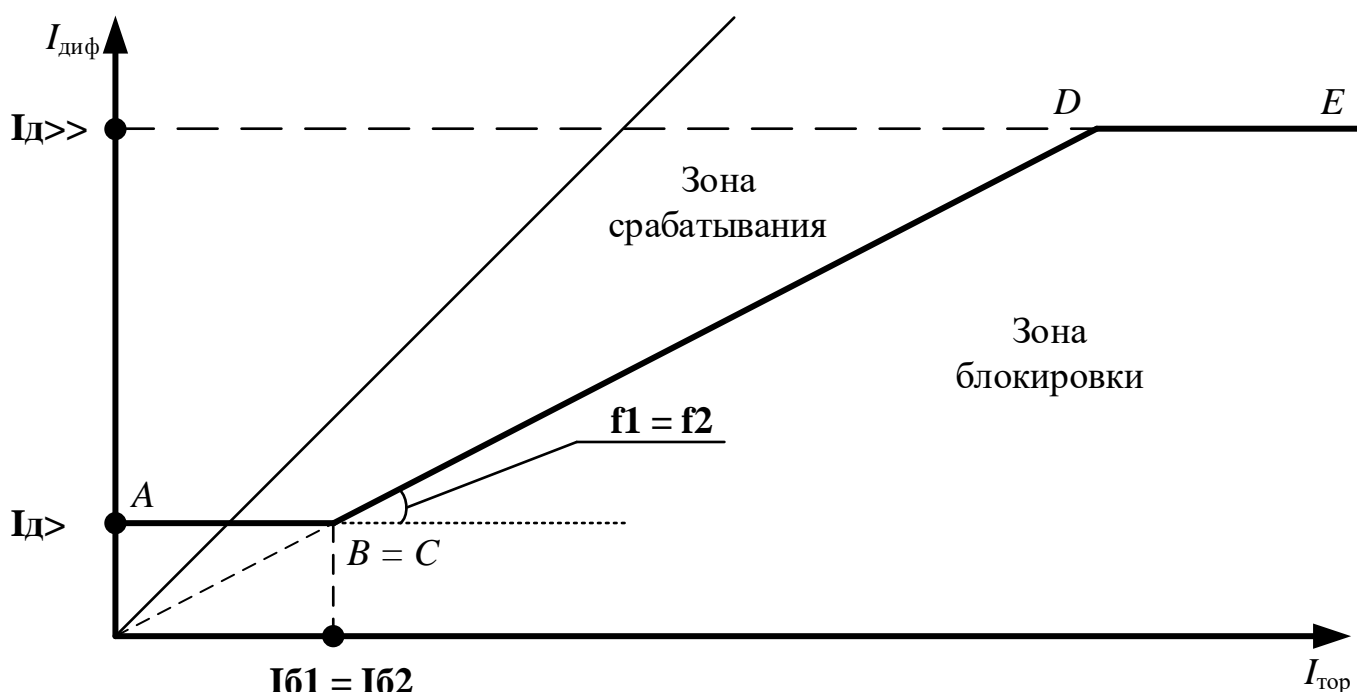


Рис. 1 – Тормозная характеристика

Для задания тормозной характеристики применяются следующие параметры:

$I_{д>}$ – дифференциальный ток начала торможения;

$I_{б1}$ – начальная точка участка BC , $f1$ – угол наклона BC ;

$I_{б2}$ – начальная точка участка CD , $f2$ – угол наклона CD ;

$I_{д>>}$ – дифференциальный ток конца торможения (ДТО);

Принцип действия дифференциальной защиты основывается на том, что общая сумма всех токов, протекающих через защищаемый объект в нормальном режиме равна нулю, а при повреждении в защищаемой зоне – току повреждения.

Дифференциальный ток рассчитывается

$$I_{\text{диф}} = |I_{C1} + I_{C2}|,$$

где I_{C1} , I_{C2} – соответственно токи сторон 1 и 2.

Тормозной ток рассчитывается

$$I_{\text{тор}} = |I_{C1}| + |I_{C2}|.$$

1. Расчёт параметров двигателя

Номинальный первичный ток двигателя рассчитывается

$$I_{\text{ном.ДВ}} = \frac{P_{\text{ном.ДВ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.ДВ}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi}, \text{ А};$$

где $I_{\text{ном.ДВ}}$ – номинальный ток двигателя, А;

$P_{\text{ном.ДВ}}$ – номинальная механическая мощность двигателя, Вт;

$U_{\text{ном.ДВ}}$ – номинальное напряжение двигателя, В;

η – КПД двигателя;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности двигателя.

В МР801 номинальный ток двигателя (**ИДВ**) задаётся относительно номинального первичного тока ТТ:

$$\mathbf{ИДВ} = \frac{I_{\text{ном.ДВ}}}{I_{\text{ном.ТТ}}}, \text{ о.е.};$$

где $I_{\text{ном.ТТ}}$ – номинальный первичный ток ТТ.

В зависимости от условий работы электродвигателя пусковые токи рассчитываются следующим образом:

а) В случае прямого пуска двигателя максимальный ток выбирается равным току прямого пуска двигателя:

$$I_{\text{макс}} = I_{\text{прям.пуск}} = k_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном.ДВ}}, \text{ А};$$

где $k_{\text{пуск}}$ – кратность пускового тока двигателя, при отсутствии паспортных данных принимается равной от 5 до 8.

б) В случае реакторного пуска двигателя максимальный ток выбирается равным току реакторного пуска, при условии что двигатель не участвует в самозапуске.

Реактивное сопротивление двигателя

$$x_{\text{д}} = \frac{U_{\text{ном.ДВ}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{прям.пуск}}}, \text{ Ом};$$

где $I_{\text{прям.пуск}}$ – первичный пусковой ток двигателя при прямом пуске, А;
 $U_{\text{ном.ДВ}}$ – номинальное напряжение двигателя, В.
Максимальный ток двигателя при реакторном пуске

$$I_{\text{макс}} = I_{\text{пуск.ДВ}} = \frac{U_{\text{ном.ДВ}}}{\sqrt{3} \cdot (x_c + x_d + x_p)}, \text{ А};$$

где x_c – индуктивное сопротивление сети, Ом;
 x_p – индуктивное сопротивление пускового реактора.

в) В случае, если возможен режим самозапуска асинхронного двигателя максимальный ток принимается равным току самозапуска двигателя:

$$I_{\text{макс}} = I_{\text{сз.ДВ}} = 1,4 \cdot k_{\text{апер}} \cdot I_{\text{прям.пуск}}, \text{ А};$$

где $k_{\text{апер}}$ – коэффициент учитывающий апериодическую составляющую, принимается равным 1,5;
коэффициент 1,4 учитывает увеличение напряжения на шинах питания в следствии работы АВР.

2. Выбор уставки $I_{\text{д}}$

Токовые уставки дифференциальной защиты задаются в о.е. по отношению к номинальному току двигателя.

Уставка $I_{\text{д}}$ должна быть отстроена от небаланса дифференциального тока при повреждении вторичных токовых цепей ТТ или от небаланса нормального режима.

Первый способ применяется в том случае, если недопустимо ложное отключение двигателя в случае повреждения вторичных цепей ТТ, и допускается работа двигателя при КЗ в конце обмотки статора.

Второй способ применяется в тех случаях, когда в первую очередь необходимо обеспечить сохранность электродвигателя, но при этом допускаются ложные отключения вследствие повреждения вторичных токовых цепей.

По условию отстройки от тока небаланса в условиях обрыва вторичных токовых цепей принимается

$$I_{\text{д}} = 1,2 \text{ о.е.}$$

Для определения обрыва вторичных токовых цепей в терминале МР801двг предусмотрена функция контроля небаланса дифференциального тока. Выбор уставок данной функции описан в пункте 7.

По условию отстройки от тока небаланса нормального режима принимается

$$I_{д>} \geq 0,3 \text{ о.е.}$$

Уставка $I_{д>}$ должна быть не менее 0,08 номинального вторичного тока ТТ.

В общем случае уставки участков BC ($I_{б1}$, f_1) и CD ($I_{б2}$, f_2) выбираются одинаковыми. При таком способе задания уставок участок BC не будет использоваться. При необходимости загрубения уставки в области высоких токов, или увеличении чувствительности в области токов соизмеримых с токами нагрузки, или повышении эффективности дифференциальной токовой отсечки могут использоваться два наклонных участка.

3. Выбор уставки f_2 (f_1)

Угол f_2 второго наклонного участка должен обеспечить несрабатывание ступени при сквозных токах, соответствующих режиму нормальной перегрузки. Такие токи возникают при пуске и самозапуске двигателя. Для обеспечения необходимой чувствительности и отстройки от токов небаланса рекомендуется принять

$$f_2 = 26^\circ.$$

4. Выбор уставки $I_{б2}$ ($I_{б1}$)

$$I_{б2} = \frac{I_{д>}}{\text{tg}(f_2)}, \text{ о.е.}$$

5. Выбор уставки $I_{д>>}$

Уставка срабатывания определяется отстройкой от максимального тока электродвигателя

$$I_{д>>} = K_{отс} \cdot K_{нб} \cdot I_{\text{макс}} / I_{\text{ном.дв}}, \text{ о.е.};$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается 1,5.

$K_{нб}$ – коэффициент учитывающий погрешность ТТ в переходном режиме. Принимается равным от 0,7 до 0,9;

6. Проверка по условию чувствительности к КЗ на вводах двигателя

Проверка чувствительности производится для ступени с торможением в режиме минимального тока КЗ. Значение коэффициента чувствительности должно удовлетворять условию $K_{\text{ч}} \geq 2$.

Так как тормозная характеристика задаётся в относительных значениях, то для проверки чувствительности следует оперировать относительным минимальным значением тока КЗ

$$I_{\text{КЗ.мин}}^* = \frac{I_{\text{КЗ.мин}}}{I_{\text{ном.ДВ}}}, \text{ о.е.}$$

Для различных уровней токов КЗ коэффициент чувствительности ($K_{\text{ч}}$) рассчитывается следующим образом

$$\begin{aligned} &\text{при } I_{\text{б1}} > I_{\text{КЗ.мин}}^*, \quad K_{\text{ч}} = I_{\text{КЗ.мин}}^* / I_{\text{д}} >; \\ &\text{при } I_{\text{б1}} < I_{\text{КЗ.мин}}^* < \left(\frac{I_{\text{д}} \gg}{\text{tg}(f_2)} \right), \quad K_{\text{ч}} = 1 / \text{tg}(f_2); \\ &\text{при } \left(\frac{I_{\text{д}} \gg}{\text{tg}(f_2)} \right) < I_{\text{КЗ.мин}}^*, \quad K_{\text{ч}} = I_{\text{КЗ.мин}}^* / I_{\text{д}} \gg. \end{aligned}$$

7. Расчёт уставок контроля целостности цепей ТТ

Данная функция необходима для предотвращения ложных срабатываний дифференциальной защиты двигателя в нагрузочных режимах при обрыве в цепях ТТ, который может внести существенную погрешность при расчете дифференциального тока.

Функция представляет собой токовую ступень от повышения дифференциального тока. Для надёжного определения тока небаланса, вызванного повреждением цепей ТТ, рекомендуется уставку **I_{дmin}** принимать 0,3 номинального тока двигателя.

$$I_{\text{дmin}} = 0,3, \text{ о.е.}$$

Уставка I_{дmin} должна быть не менее 0,08 номинального вторичного тока ТТ.

Время срабатывания алгоритма контроля целостности токовых цепей:

$$T_{\text{ср}} = T_{\text{КЦ}} = T_{\text{МАКС.РЗА}} + 300, \text{ мс};$$

где $T_{\text{МАКС.РЗА}}$ – максимальное время срабатывания самой медленнодействующей токовой защиты двигателя, мс.

Для блокировки дифференциальных ступеней при неисправности цепей тока уставка «**Режим**» должна быть задана как «**Блок+неисп**».

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Пример расчёта ДТЗ двигателя с отстройкой от обрыва вторичных токовых цепей.

Необходимо обеспечить защиту от междуфазных КЗ асинхронного двигателя. Пуск двигателя осуществляется от напряжения питающей сети. Двигатель может участвовать в режиме самозапуска. Прерывание питания двигателя недопустимо.

Таблица П1.1 – Параметры двигателя:

Номинальная мощность $P_{\text{ном.ДВ}}$	2000 кВт
Коэффициент мощности $\cos(\varphi)$	0,88
Номинальное напряжение $U_{\text{ном.ДВ}}$	6 кВ
КПД η	0,978
Кратность пускового тока $k_{\text{пуск}}$	7
Коэффициент ТТ базового трансформатора тока $K_{\text{ТТ.баз}}$	300/5 (10Р)
Значение тока трёхфазного КЗ на вводах двигателя $I_{\text{КЗ}}^{(3)}$	5,32 кА

1. Расчёт параметров двигателя

Номинальный первичный ток двигателя

$$I_{\text{ном.ДВ}} = \frac{P_{\text{ном.ДВ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.ДВ}} \cdot \eta \cdot \cos(\varphi)} = \frac{2000}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,978 \cdot 0,88} = 223,6 \text{ А.}$$

$$I_{\text{ДВ}} = \frac{223,6}{300} = 0,75 \text{ о.е.}$$

Ток прямого пуска

$$I_{\text{прям.пуск}} = k_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном.ДВ}} = 7 \cdot 223,6 = 1565 \text{ А.}$$

Максимальный ток двигателя будет соответствовать току режима самозапуска

$$I_{\text{макс}} = I_{\text{сз.ДВ}} = 1,4 \cdot k_{\text{апер}} \cdot I_{\text{прям.пуск}} = 1,4 \cdot 1,5 \cdot 1565 = 3287 \text{ А.}$$

2. Выбор уставки $I_{д>}$

Так как прерывание питания двигателя недопустимо то уставка $I_{д>}$ принимается:

$$I_{д>} = 1,2 \text{ о.е.}$$

3. Выбор уставки $f_2(f_1)$

$$f_2 = 26^\circ.$$

4. Выбор уставки $I_{б2} (I_{б1})$

$$I_{б2} = I_{б1} = \frac{I_{д>}}{\operatorname{tg}(f_2)} = \frac{1,2}{\operatorname{tg}26^\circ} = 2,46 \text{ о.е.}$$

5. Выбор уставки дифференциальной токовой отсечки $I_{д>>}$

$$I_{д>>} = K_{\text{отс}} \cdot K_{\text{нб}} \cdot I_{\text{макс}} / I_{\text{ном.дв}} = 1,5 \cdot 0,9 \cdot 3287 / 223,6 = 19,9 \text{ о.е.}$$

6. Выбор уставок контроля цепей ТТ

$$I_{\text{дmin}} = 0,3, \text{ о.е.}$$

$$T_{\text{ср}} = T_{\text{кц}} = T_{\text{макс.рза}} + 300 = 900 + 300 = 1200 \text{ мс.}$$

Таблица П1.2 – Уставки к примеру 1

	$I_{\text{дв}}$	$I_{\text{д>}}$	$I_{\text{дmin}}$	$f_2(f_1)$	$I_{\text{б2}} (I_{\text{б1}})$	$I_{\text{д>>}}$
В устройстве	0,75 $I_{\text{н}}$	1,2 $I_{\text{дв}}$	0,3 $I_{\text{дв}}$	26°	2,46 $I_{\text{дв}}$	19,85 $I_{\text{дв}}$
Вторичные	3,75 А	4,47 А	1,12 А	26°	9,16 А	73,9 А
Первичные	223,6 А	268 А	67,1 А	26°	550 А	4439 А

7. Проверка по условию чувствительности к минимальному току КЗ на вводах двигателя

Рассчитаем минимальный первичный ток КЗ (режим двухфазного КЗ)

$$I_{\text{кз.мин}} = I_{\text{кз}}^{(3)} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 5,32 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 4,61 \text{ кА.}$$

Относительное значение минимального тока КЗ

$$I_{\text{КЗ.мин}}^* = \frac{I_{\text{КЗ.мин}}}{I_{\text{ном.ДВ}}} = \frac{4607}{223,6} = 20,6 \text{ о.е.}$$

Так как $I_{\text{КЗ.мин}}^* > \mathbf{I61}$, то рассчитаем тормозной ток, соответствующий точке D на рис. 1 (начало участка ДТО)

$$I_{\text{тор.Д}} = \frac{I_{\text{д}}}{\text{tg}(f_2)} = \frac{19,9}{\text{tg}26^\circ} = 40,7 \text{ о.е.}$$

Поскольку выполняется условие

$$\mathbf{I61} < I_{\text{КЗ.мин}}^* < \left(\frac{I_{\text{д}}}{\text{tg}(f_2)} \right),$$
$$2,46 \text{ о.е} < 20,6 \text{ о.е} < 40,7 \text{ о.е.}$$

Найдём коэффициент чувствительности

$$K_{\text{ч}} = 1 / \text{tg}(f_2) = 1 / \text{tg}(26) = 2,05 > 2.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Пример расчёта ДТЗ двигателя без отстройки от обрыва вторичных токовых цепей.

Необходимо обеспечить защиту асинхронного двигателя от междуфазных КЗ. Пуск двигателя осуществляется с помощью реактора. Двигатель не участвует самозапуске. Приоритетным является минимизация повреждений двигателя.

Таблица П2.1 – Параметры двигателя:

Номинальная мощность $P_{\text{ном.ДВ}}$	3200 кВт
Коэффициент мощности $\cos(\varphi)$	0,9
Номинальное напряжение $U_{\text{ном.ДВ}}$	6 кВ
КПД η	0,96
Кратность пускового тока $k_{\text{пуск}}$	5,2
Коэффициент ТТ базового трансформатора тока $K_{\text{ТТ.баз}}$	600/5 (5Р)
Максимальное значение тока трёхфазного КЗ $I_{\text{КЗ.макс}}^{(3)}$	10,3 кА
Минимальное значение тока трёхфазного КЗ $I_{\text{КЗ.мин}}^{(3)}$	9,43 кА
Номинальное индуктивное сопротивление реактора x_p	0,3 Ом

1. Расчёт параметров двигателя

Номинальный первичный ток двигателя

$$I_{\text{ном.ДВ}} = \frac{P_{\text{ном.ДВ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.ДВ}} \cdot \eta \cdot \cos(\varphi)} = \frac{3200}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,96 \cdot 0,9} = 356 \text{ А.}$$

$$I_{\text{ДВ}} = \frac{356}{600} = 0,59 \text{ о.е.}$$

Ток прямого пуска

$$I_{\text{прям.пуск}} = k_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном.ДВ}} = 5,2 \cdot 356 = 1851 \text{ А.}$$

Реактивное сопротивление двигателя

$$x_d = \frac{U_{\text{ном.ДВ}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{пуск.ДВ}}} = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 1851} = 1,87 \text{ Ом.}$$

Сопротивление системы рассчитывается, исходя из максимального тока трёхфазного КЗ

$$x_c = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{КЗ.макс}}^{(3)}} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 10,3} = 0,353 \text{ Ом.}$$

Относительное значение пускового тока:

$$I_{\text{макс}} = I_{\text{пуск.ДВ}} = \frac{U_{\text{ном.ДВ}}}{\sqrt{3} \cdot (x_c + x_d + x_p)} =$$

$$= \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot (0,353 + 1,87 + 0,3)} = 1373 \text{ А.}$$

2. Выбор уставки $I_{\text{д}}>$

Так как приоритетным является минимизация повреждений двигателя то уставка $I_{\text{д}}>$ принимается равной 0,3

$$I_{\text{д}}> = 0,3 \text{ о.е.}$$

3. Выбор уставки $f_2(f_1)$

$$f_2 = 26^\circ.$$

4. Выбор уставки $I_{\text{б2}} (I_{\text{б1}})$

$$I_{\text{б2}} = I_{\text{б1}} = \frac{I_{\text{д}}>}{\text{tg}(f_2)} = \frac{0,3}{\text{tg}26^\circ} = 0,62 \text{ о.е.}$$

5. Выбор уставки дифференциальной токовой отсечки $I_{\text{д}}>>$

$$I_{\text{д}}>> = K_{\text{отс}} \cdot K_{\text{нб}} \cdot I_{\text{макс}} / I_{\text{ном.ДВ}} = 1,5 \cdot 0,9 \cdot 1373 / 356 = 5,21 \text{ о.е.}$$

Таблица П2.2 – Уставки к примеру 2

	$I_{\text{дв}}$	$I_{\text{д}}>$	$f_2(f_1)$	$I_{\text{б2}} (I_{\text{б1}})$	$I_{\text{д}}>>$
В устройстве	0,59 In	0,3 Idв	26°	0,62 Idв	5,21 Idв
Вторичные	2,95 А	0,89 А	26°	1,83 А	15,4 А
Первичные	356 А	107 А	26°	220,7 А	1,85 кА

6. Проверка по условию чувствительности к минимальному току КЗ на вводах двигателя

Рассчитаем минимальный первичный ток КЗ (режим двухфазного КЗ):

$$I_{\text{КЗ.мин}} = I_{\text{КЗ.мин}}^{(3)} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 9,43 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 8,17 \text{ кА.}$$

Относительное значение минимального тока КЗ:

$$I_{\text{КЗ.мин}}^* = \frac{I_{\text{КЗ.мин}}}{I_{\text{ном.ДВ}}} = \frac{8170}{356} = 23 \text{ о.е.}$$

Так как $I_{\text{КЗ.мин}}^* > \mathbf{I_{б1}}$, то рассчитаем тормозной ток, соответствующий точке D (началу участка ДТО)

$$I_{\text{тор.Д}} = \frac{I_{\text{д}} \gg}{\text{tg}(f_2)} = \frac{5,21}{\text{tg}26^\circ} = 10,7 \text{ о.е.}$$

Поскольку

$$I_{\text{КЗ.мин}}^* > \left(\frac{I_{\text{д}} \gg}{\text{tg}(f_2)} \right);$$
$$23 > 10,7.$$

найдем коэффициент чувствительности следующим образом

$$K_{\text{ч}} = I_{\text{КЗ.мин}}^* / I_{\text{д}} \gg = 23 / 5,21 = 4,42 > 2.$$