

# Совместное применение БМРЗ-ДФЗ и ДФЗ-201 в составе ДФЗ линий 110–220 кВ

Дифференциально-фазная защита – основная защита линии с абсолютной селективностью. Для работы защиты необходимо несколько комплектов, установленных на разных концах линии.

При реконструкции и развитии электрической сети часто возникают ситуации, когда с разных концов линии устанавливаются устройства различных производителей. ОАО «ВНИИР» был разработан стандарт [1], в котором определяется возможность взаимной совместимости микропроцессорных терминалов ДФЗ различных производителей. Этот стандарт не рассматривает совместимость микропроцессорных терминалов ДФЗ с панелью ДФЗ-201. В то же время 75 % устройств РЗА в России старше 20 лет и на многих объектах установлены панели дифференциально-фазной защиты ДФЗ-201.

**С**пециалистами НТЦ «Мехатроника» проведен анализ возможности совместного применения терминалов БМРЗ-ДФЗ и панели ДФЗ-201 в составе ДФЗ линий 110–220 кВ. Совместное применение микропроцессорного терминала и панели ДФЗ-201 возможно при выполнении следующих условий:

- комплекты защиты должны иметь одинаковый набор блокирующих и отключающих пусковых органов;
- должно обеспечиваться перекрытие сигналов манипуляции при внешних КЗ.

Далее рассмотрим задачу обеспечения перекрытия сигналов манипуляции при внешних КЗ. Защита не должна срабатывать при всех видах внешних КЗ, при этом должны рассматриваться следующие режимы:

- 1 – возникновение внешнего КЗ;
- 2 – установившийся режим внешнего КЗ;
- 3 – переход одного вида внешнего КЗ в другой;
- 4 – реверс мощности при отключении КЗ на обходной связи;
- 5 – отключение внешнего КЗ.

При проведении испытаний было выявлено, что при выполнении органа манипуляции (ОМ) на основе преобразования Фурье обеспечивается перекрытие импульсов манипуляции только в установившемся режиме внешнего КЗ (режим 2, рис. 1 б). Во всех других случаях в цепи приема возможно появление паузы и срабатывание защиты из-за различия переходных процессов в ОМ.

Предотвращение срабатывания защиты в режимах 3, 4, 5 может быть достигнуто за счет блокировки при реверсе мощности. Защита фиксирует внешнее КЗ по срабатыванию отключающих пусковых органов и отсутствию срабатывания ОСФ с заданной

выдержкой времени. После фиксации внешнего КЗ в схему вводится дополнительная задержка на время переходного процесса в ОМ. В панели ДФЗ-201 блокировка при реверсе мощности отсутствует, поэтому необходим принудительный пуск приемопередатчика со стороны терминала БМРЗ-ДФЗ. Принудительный пуск приемопередатчика в терминале БМРЗ-ДФЗ происходит при выявлении переходного процесса в ОМ, но только после фиксации внешнего КЗ. При переходе внешнего КЗ во внутреннюю защиту срабатывает с дополнительной задержкой на 50 мс.

При возникновении внешнего КЗ (режим 1, рис. 1 а) переходные процессы в ОМ также отличаются, но предотвращение срабатывания защиты за счет выявления переходного процесса в ОМ недопустимо, т.к. приведет к замедлению защиты при внутренних КЗ. Идентичность переходных процессов в ОМ обеспечивается только при идентичности АЧХ и ФЧХ ОМ терминала БМРЗ-ДФЗ и панели ДФЗ-201. В связи с этим встает задача моделирования ОМ панели ДФЗ-201 в терминале БМРЗ-ДФЗ.

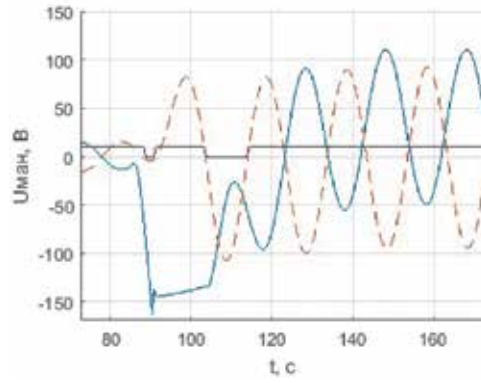
## МОДЕЛЬ ОРГАНА МАНИПУЛЯЦИИ

Задача моделирования ОМ панели ДФЗ-201 состоит в получении напряжения манипуляции Уман из фазных токов. В [2] приведена принципиальная электрическая схема цепей тока и напряжения панели ДФЗ-201. На основе данной схемы составим принципиальную схему фильтра ОМ (рис. 2 а). Для получения схемы замещения фильтра ОМ воспользуемся методом эквивалентного генератора (рис. 2 б).

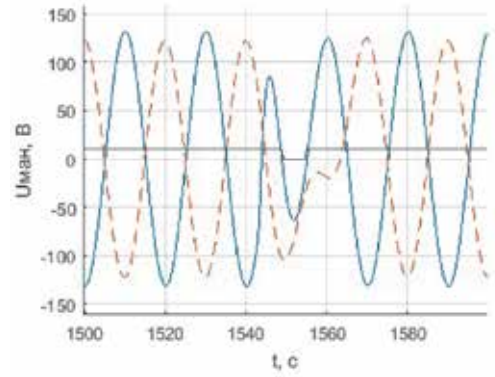
По принципиальной схеме фильтра ОМ (рис. 2 а) определим ЭДС эквивалентного генератора:

**Рис. 1.**

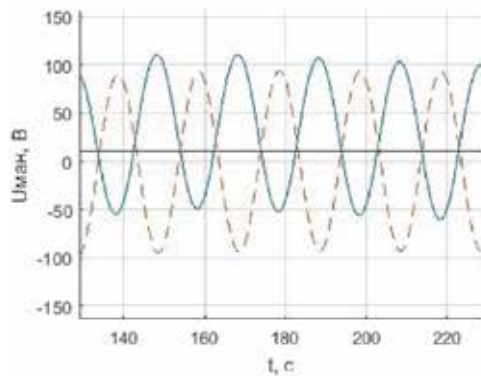
Осциллограммы внешних КЗ.  
 — напряжение манипуляции панели ДФЗ-201;  
 - - - напряжение манипуляции, вычисленное на основе преобразования Фурье;  
 — сигнал в цепи приема.



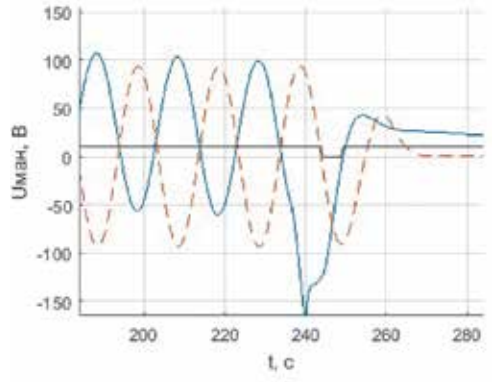
а) возникновение внешнего КЗ



б) возникновение внешнего КЗ



в) реверс мощности



г) отключение внешнего КЗ

$$\dot{E} = i_a \cdot \frac{2}{3} \cdot r - (i_b + i_c) \cdot \frac{1}{3} \cdot r + (i_c - i_b) \cdot j \cdot x_m \quad (1)$$

где  $i_a, i_b, i_c$  – комплексные значения токов;  $r = 0,29$  Ом – сопротивление резистора ОМ;  $x_m$  – индуктивность ОМ.

Индуктивность ОМ  $x_m$  зависит от коэффициента комбинированного фильтра:

$$x_m = \frac{r \cdot (K_{ман} - 1)}{\sqrt{3} \cdot (K_{ман} + 1)} \quad (2)$$

где  $K_{ман}$  – коэффициент комбинированного фильтра, для которого в панели ДФЗ-201 возможны следующие значения 4, 6, 8.

Комплексное значение напряжения манипуляции  $\dot{U}_{ман}$  определим по формуле:

$$\dot{U}_{ман} = \frac{\dot{E} \cdot Z_n}{r_\phi + j \cdot X_\phi + Z_n} \cdot K_{2-ТН} \quad (3)$$

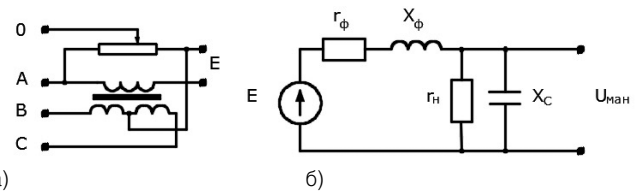
где  $\dot{E}$  – комплексное значение ЭДС ОМ;  $Z_n$  – комплексное сопротивление нагрузки ОМ, Ом;  $r_\phi$  – активное внутреннее сопротивление фильтра ОМ, Ом;  $X_\phi$  – индуктивное внутреннее сопротивление фильтра ОМ, Ом;  $K_{2-ТН}$  – коэффициент трансформации повышающего трансформатора 2-ТН (таблица 1).

Сопротивление нагрузки фильтра ОМ определим по данным [2]:

$$Z_n = \frac{\frac{r_n}{j \cdot \omega_0 \cdot C}}{1 + \frac{r_n}{j \cdot \omega_0 \cdot C}} \quad (4)$$

где  $r_n = 39$  кОм – активное сопротивление нагрузки фильтра;  $C = 0,1$  мкФ – емкость нагрузки фильтра.

Внутреннее сопротивление фильтра ОМ было измерено при проведении испытаний при разных значениях коэффициента комбинированного фильтра, в таблице 1 приведены результаты измерений.



**Рис. 2.** Орган манипуляции панели ДФЗ-201. а) – принципиальная схема фильтра ОМ; б) – схема замещения фильтра ОМ

Рассчитаем действующее значение и фазу напряжения манипуляции по формуле (4). В таблице 2 приведены данные [3], результаты расчетов и опытные данные. Погрешность расчета напряжения не превышает 10 %, погрешность расчета угла 2°, что подтверждает корректность схемы замещения и ее параметров.

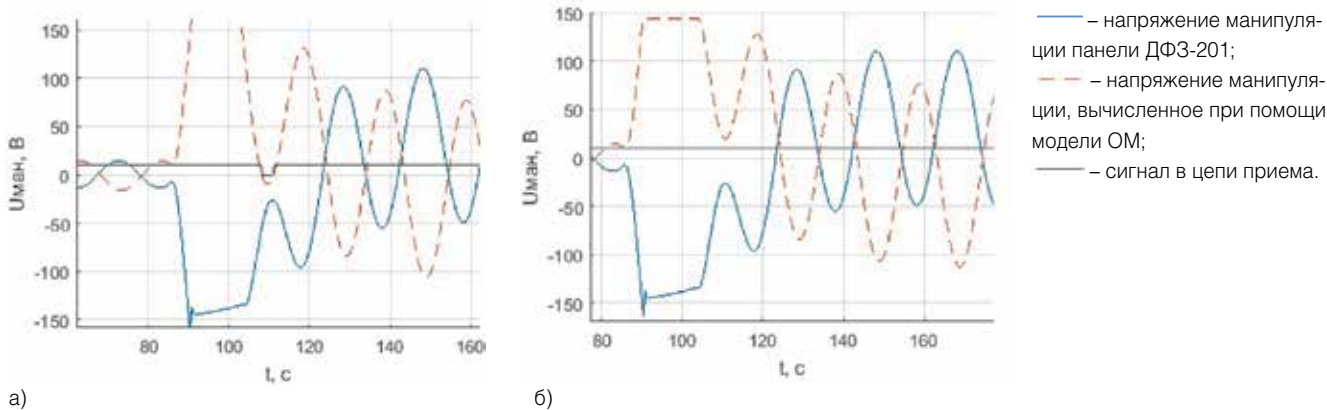
**Таблица 1.** Внутреннее сопротивление фильтра ОМ

$K_{ман}$	$r_\phi$ , кОм	$X_\phi$ , кОм	К2-ТН
4	17,7	29,6	9300/56
6	14,4	30,9	9300/67
8	14,6	31,2	9300/72

**Таблица 2.** Расчетное и измеренное значение напряжения манипуляции

Значения токов	$K_{ман}$	Данные [3]	Расчетное $\dot{U}_{ман}^*$	Измеренное $\dot{U}_{ман}$
$I_a = 5$ А	4	97,5 В -66°	97 В -67°	93 В -66°
$I_{bc} = 5$ А		100 В -156°	101 В -157°	97 В -158°
$I_a = 5$ А	6	87,5 В -70°	87 В -71°	82 В -71°
$I_{bc} = 5$ А		110 В -160°	107 В -161°	105 В -162°
$I_a = 5$ А	8	85 В -73°	81 В -73°	78 В -72°
$I_{bc} = 5$ А		112,5 В -163°	110 В -163°	105 В -164°

Примечание: \* – учтено сопротивление вольтметра, подключенного к ОМ, равное 143 кОм



**Рис. 3.** Осциллограммы токов манипуляции при установке ДФЗ-201 и БМРЗ-ДФЗ.  
а) – модель ОМ без учета насыщения стабилитронов; б) – модель ОМ с учетом насыщения стабилитронов

### РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ОРГАНА МАНИПУЛЯЦИИ В ТЕРМИНАЛЕ БМРЗ-ДФЗ

В панели ДФЗ-201 преобразование фазных токов в сигнал напряжения манипуляции  $U_{ман}$  происходит в аналоговом виде, поэтому передаточную функцию ОМ ДФЗ-201 запишем в операторной форме:

$$U_{ман}(s) = H_U(s) \cdot E(s) \tag{5}$$

Передаточная функция по напряжению:

$$H_U(s) = \frac{1}{\frac{1}{s \cdot C} + r_n} = \frac{r_n}{r_\phi + s \cdot L_\phi + \frac{1}{\frac{1}{s \cdot C} + r_n}} = \frac{r_n}{s^2 \cdot L_\phi \cdot C \cdot r_n + s \cdot (L_\phi + C \cdot r_n \cdot r_\phi) + r_n + r_\phi} \tag{6}$$

При переходе из операторной области в z-пространство получим коэффициенты БИХ-фильтра  $b_n$  и  $a_m$ . Напряжение манипуляции в терминале БМРЗ-ДФЗ рассчитывается по формуле:

$$U_{ман} = \sum_{n=0}^{N-1} E(k-n) \cdot b_n - \sum_{m=0}^{M-1} E(k-m) \cdot a_m \tag{7}$$

В качестве мгновенного значения ЭДС  $E(k)$  принимается вещественная часть комплексного значения ЭДС  $\dot{E}$ , рассчитанной по формуле (1).

При проведении испытаний было выявлено, что значительное влияние на переходный процесс в ОМ оказывают стабилитроны, включенные в цепи нагрузки ОМ панели ДФЗ-201. При превышении напряжением манипуляции  $U_{стаб} \approx 150$  В происходит открытие одного из стабилитронов. Напряжение  $U_{ман}$  поддерживается постоянным и равным  $U_{стаб}$ . Закрытие стаби-

литрона происходит при прекращении протекания тока через стабилитрон, что обеспечивается при равенстве тока в резисторе  $r_n$  и в сопротивлении  $Z_\phi$ .

На рис. 3 б) представлены осциллограммы внешнего КЗ при моделировании ОМ панели ДФЗ-201 в терминале БМРЗ-ДФЗ с учетом насыщения стабилитронов. По осциллограмме видно, что в отличие от случая, представленного на рисунке 3 а) в цепи приема отсутствует пауза, то есть при моделировании ОМ панели ДФЗ-201 в терминале БМРЗ-ДФЗ предотвращается срабатывание защиты при возникновении внешних КЗ.

Для обеспечения совместного применения терминалов БМРЗ-ДФЗ и панели ДФЗ-201 в составе ДФЗ линий 110–220 кВ в терминалах БМРЗ-ДФЗ предусмотрен комплекс мероприятий, предотвращающих срабатывание защиты при внешних КЗ:

- моделирование органа манипуляции панели ДФЗ-201 с учетом насыщения стабилитронов;
- принудительный пуск приемопередатчика при коммутациях в сети после фиксации внешнего КЗ.

Указанные меры позволяют обеспечить отсутствие срабатывания защиты при внешних КЗ и надежную работу при внутренних КЗ, что подтверждается протоколом испытаний.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.120.70.196-2014 Методические указания по совместному применению микропроцессорных устройств РЗА различных производителей в составе дифференциально-фазных и направленных защит с передачей блокирующих и разрешающих сигналов для ЛЭП напряжением 110–220 кВ. Введ. 2014-12-30.
2. Панели защитные типов ДФЗ-201 УХЛ4 и ДФЗ-20104 Техническое описание и инструкция по эксплуатации ИАЕЖ.656264.012ТО.
3. РД 34.35.407-1966 Инструкция по наладке и проверке релейной части дифференциально-фазной высокочастотной защиты типа ДФЗ-2.

ООО «НТЦ «Механотроника»  
г. Санкт-Петербург  
тел. 8-800-250-63-60  
www.mtrele.ru



**МЕХАНОТРОНИКА**  
Интеллектуальные устройства релейной защиты