

## ОРГАНИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОРГАНА НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ТОКОВЫХ НАПРАВЛЕННЫХ ЗАЩИТАХ

*Инж. ГУРЬЯНЧИК О. А.*

*Белорусский национальный технический университет*

В микропроцессорных токовых направленных защитах принятое направление срабатывания обеспечивается их органами направления мощности (ОНМ). При этом направление мощности определяется углом между векторами тока и напряжения. Указанный угол характеризует направление мощности при коротких замыканиях (КЗ) и зависит от нахождения места повреждения относительно места установки защиты. Правильная и четкая фиксация направления мощности при КЗ обеспечивается при использовании 90-градусной схемы включения, когда определяется угол между векторами тока поврежденной фазы и линейного напряжения двух других фаз [1]. При этом в случае одно- и двухфазных КЗ вблизи места установки защиты напряжение, подводимое к ОНМ, не падает до нуля. «Мертвая зона» по напряжению появляется только при возникновении близких симметричных КЗ.

В основу построения ОНМ могут быть положены следующие подходы:

- 1) непосредственная обработка отсчетов мгновенных значений токов и напряжений;
- 2) определение в явном виде углов между векторами напряжения и тока;
- 3) использование ортогональных составляющих (ОС) токов и напряжений.

Реализация первого подхода предполагает, что токи и напряжения должны быть предварительно отфильтрованы элементами аналоговой и цифровой фильтраций, в противном случае при отличии сигналов от синусоидальных не будет обеспечена требуемая точность.

Определение углов между векторами тока и напряжения в явном виде представляется не-

целесообразным, поскольку усложняет алгоритм функционирования ОНМ за счет необходимости вычисления обратных тригонометрических функций.

Наиболее просто алгоритм функционирования ОНМ может быть реализован при использовании ОС токов и напряжений.

Условия срабатывания ОНМ с диапазонами углов, равными  $\pi$ , имеют вид

$$\psi \leq \pi, \quad (1)$$

где  $\psi$  – угол между векторами напряжения и тока, подводимыми к ОНМ.

Представив (1) в более удобном для реализации виде, получим

$$\cos \psi \geq 0. \quad (2)$$

Выразив  $\psi$  через фазы векторов тока  $\varphi_i$  и напряжения  $\varphi_u$  (рис. 1), а также принимая во внимание угол максимальной чувствительности ОНМ  $\varphi_{мч}$ , условие (2) представим следующим образом [2]:

$$\cos \varphi_u - \varphi_{мч} - \varphi_i \geq 0. \quad (3)$$

После несложных преобразований (3) можно записать

$$\begin{aligned} & \cos \varphi_u \cos \varphi_i + \sin \varphi_u \sin \varphi_i \cos \varphi_{мч} + \\ & + \sin \varphi_u \cos \varphi_i - \cos \varphi_u \sin \varphi_i \sin \varphi_{мч} \geq 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Принимая во внимание то, что для синусоидального сигнала с текущей фазой  $\varphi$  знаки  $\cos \varphi$  и  $\sin \varphi$  совпадают со знаками мгновенных значений соответственно его косинусной и синусной ОС, условие срабатывания ОНМ для момента  $t_n$  имеет вид

$$u_{cn}i_{cn} + u_{sn}i_{sn} a + u_{sn}i_{cn} - u_{cn}i_{sn} b \geq 0, \quad (5)$$

где  $a = \cos \varphi_{\text{мч}}$ ;  $b = \sin \varphi_{\text{мч}}$ ;  $u_{cn}$ ,  $u_{sn}$  – соответственно косинусная и синусная ОС напряжения;  $i_{cn}$ ,  $i_{sn}$  – соответственно косинусная и синусная ОС тока.

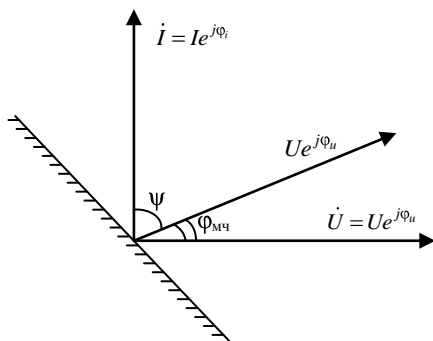


Рис. 1

Наиболее распространенным методом устранения «мертвой зоны» по напряжению является организация работы ОНМ «по памяти» [3]. При устойчивом снижении напряжения ниже заданного уровня она может быть реализована одним из следующих способов:

- 1) путем запоминания состояния ОНМ в целом без его изменения до выхода из режима работы «по памяти»;
- 2) путем формирования отсчетов ОС напряжения при измеряемых отсчетах ОС тока с проверкой условия срабатывания ОНМ.

Основной недостаток первого способа заключается в том, что в режиме работы «по памяти» ОНМ фактически не контролирует направление мощности.

В основе реализации второго способа лежит такая последовательность операций.

По известным для момента времени  $t_n$  синусной  $u_{sn}$  и косинусной  $u_{cn}$  ОС напряжения вычисляется его амплитудное значение

$$U_{mn} = \sqrt{u_{sn}^2 + u_{cn}^2}. \quad (6)$$

Дальше полученное значение  $U_{mn}$  сравнивается с заданным минимальным значением  $U_{\text{min}}$ .

При положительном результате сравнения, когда  $U_{mn} > U_{\text{min}}$ , ОНМ работает в обычном режиме, в противном случае переводится в режим работы «по памяти» и новые величины  $u_{sn}$ ,  $u_{cn}$  вычисляются по их предыдущим значениям  $u_{s\ n-1}$ ,  $u_{c\ n-1}$ :

$$\begin{cases} u_{sn} = u_{s\ n-1} k_1 + u_{c\ n-1} k_2; \\ u_{cn} = u_{c\ n-1} k_1 - u_{s\ n-1} k_2, \end{cases} \quad (7)$$

где  $k_1 = \cos \omega \Delta t$ ;  $k_2 = \sin \omega \Delta t$ ;  $\omega$  – угловая частота;  $\Delta t$  – шаг дискретизации входных напряжений.

По полученным значениям  $u_{sn}$ ,  $u_{cn}$  и имеющимся значениям  $i_{sn}$ ,  $i_{cn}$  проверяется условие срабатывания ОНМ и организуется запоминание отчетов ОС напряжения.

Проверка работоспособности и эффективности изложенных выше принципов организации функционирования ОНМ в микропроцессорных токовых направленных защитах проводилась методом вычислительного эксперимента. В основу реализации данного метода положены математические модели входных каналов тока и напряжения, включающие модели входных преобразователей, аналоговых фильтров низших частот, формирователей ОС токов и напряжений, а также представленный выражениями (5)–(7) алгоритм функционирования ОНМ.

Угловая характеристика ОНМ рассмотренного исполнения при  $\varphi_{\text{мч}} = -45^\circ$ , построенная по результатам вычислительного эксперимента, приведена на рис. 2.

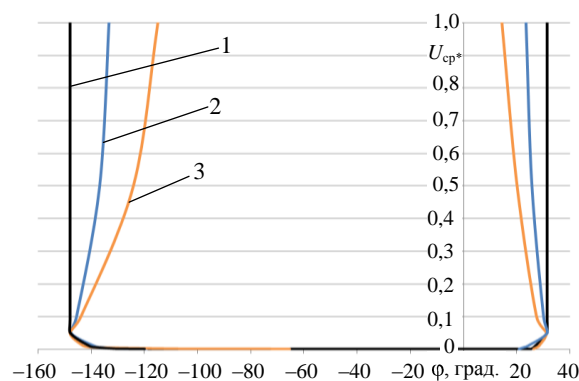


Рис. 2. Угловая характеристика ОНМ:  
1 – при частоте  $f = 50$  Гц; 2 – 49,5 Гц; 3 – 50,5 Гц

При частоте 50 Гц диапазон углов срабатывания ОНМ составляет порядка  $180^\circ$ . Отклонение частоты от номинального значения на  $\pm 0,5$  Гц приводит к сужению указанного диапазона углов.

Однако данные изменения не являются существенными, так как угол между напряже-

нием и током при КЗ на защищаемой линии находится с запасом в области действия ОНМ, а при внешнем КЗ – вне области действия.

При организации работы ОНМ «по памяти» путем формирования отсчетов ОС напряжения в случае отклонения частоты от номинального значения на 0,5 Гц накапливаемая за период сигнала угловая ошибка может достигать 3,5°. В конечном итоге это приведет к тому, что ОНМ периодически будет изменять свое состояние.

Для устранения этого недостатка требуется введение соответствующей частотной коррекции. В противном случае ОНМ с такой организацией работы «по памяти» может использоваться только в составе быстродействующих ступеней направленных защит.

Основным недостатком рассмотренных подходов к организации работы ОНМ «по памяти» является то, что при отсутствии напряжения до возникновения КЗ и последующем включении на трехфазное КЗ невозможно обеспечить эффективное выявление повреждений. В этом случае команда на отключение должна вырабатываться в соответствии с заранее принятой стратегией.

## ВЫВОДЫ

Предложенный метод организации работы органа направления мощности «по памяти», основанный на формировании отсчетов ортогональных составляющих напряжения по измененным отсчетам ортогональных составляющих тока, позволяет не только устранить «мертвую зону» по напряжению, но и обеспечить постоянный контроль направления мощности. Выявленную при проведении вычислительного эксперимента частотную зависимость предложенного метода можно устранить введением частотной коррекции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Федосеев, А. М.** Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей: учеб. пособие для вузов / А. М. Федосеев. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 520 с.
2. **Романюк, Ф. А.** Принципы построения цифрового органа направления мощности / Ф. А. Романюк, А. А. Тишечкин, Д. С. Бескровный // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1999. – № 1. – С. 20–23.
3. **Шнеерсон, Э. М.** Цифровая релейная защита / Э. М. Шнеерсон. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 549 с.

Поступила 24.04.2013