

## **ФИЛЬТРОВАЯ ЗАЩИТА ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК**

**Канд. техн. наук, доц. ПОЛУЯНОВ М. И., СЧАСТНАЯ Е. С.**

*Белорусский национальный технический университет*

Одна из важнейших задач в области электроснабжения промышленности, строительства и других отраслей народного хозяйства – защита при аварийных режимах электроустановок и линий от поражения электрическим током. Для этой цели потребительские электроустановки оснащаются несколькими защитными аппаратами, каждый из которых удовлетворительно реагирует на один-два аварийных режима. Некоторые же аварии, такие как обрыв линейного провода, пробой фазной изоляции и другие, сопровождаются токами, сопоставимыми с токами нагрузок. Поэтому защиты потребителей, реагирующие на величину фазного тока, не могут отличить аварийную ситуацию от нормального режима и допускают длительное протекание таких аварий. Следовательно, одного их признаков – величины тока – недостаточно для четкого обнаружения нарушений нормальной работы. Поэтому защиты потребительских электроустановок должны не только сравнивать величину аварийного тока с током срабатывания, но и непрерывно анализировать ситуацию в защищаемом объекте и в зависимости от результатов такого анализа различным образом реагировать на токи одинаковой величины. Например, перегрузка и обрыв линейного провода, сопровождающиеся равными токами, должны быть отключены с различными временами, поскольку первая ситуация может самостраниться, а вторая, являясь аварийной, может привести к повреждению электроустановки. Точно так же при однофазных коротких замыканиях электроустановки должны быть отключены даже быстрее, чем при двух- или трехфазных, так как на их корпусах в этих случаях появляются опасные для людей потенциалы прикосновения. Между тем ни токовые, ни тепловые элементы, реагирующие на величину тока в фазных проводах, не могут произвести анализ аварийных режимов и отличить их друг от друга.

Трехфазные короткие замыкания и перегрузки электроустановок сопровождаются только токами прямой последовательности, различные виды внутренних повреждений и несимметричных коротких замыканий – токами прямой и обратной последовательностей. Если же происходит повреждение изоляции на корпус и это создает опасные для людей потенциалы прикосновения, то появляются в дополнении к первым двум токи нулевой последовательности. Таким образом, наличие тока обратной последовательности является характерным отличительным признаком всех несимметричных аварийных режимов, а тока нулевой последовательности – только режимов, создающих угрозу поражения людей электрическим током. Следовательно, фильтры токов симметричных составляющих могут послужить основой защитных устройств, непрерывно анализирующих ситуацию в защищаемом объекте и способных различить разные виды нарушений нормальной работы. Защитное устройство в этом случае должно

содержать фильтры токов трех последовательностей, на выходах которых включены исполнительные элементы. При этом фильтр тока прямой последовательности и исполнительный элемент на его выходе с времязависимой характеристикой служат только для выявления трехфазных коротких замыканий и перегрузок электроприемников. Фильтр тока обратной зависимости и исполнительный элемент с небольшой независимой выдержкой времени ( $0,1-0,5$  с) и установкой срабатывания  $(0,1-0,15)I_n$  служат для выявления несимметричных аварий всех видов. Фильтр тока нулевой последовательности и исполнительный элемент на его выходе с установкой срабатывания  $0,01-0,03$  А и минимальной (около  $0,05$  с) выдержкой времени служат для выявления опасных для людей аварийных режимов (последние составляют основу высокочувствительных аппаратов ЗОУП-25, РУД и других, защищающих от прикосновения к токоведущим частям).

При симметричных и несимметричных коротких замыканиях в питающей сети и перегрузках электроприемника токи одной или нескольких последовательностей больше токов нагрузок, поэтому защита поврежденного участка не представляет затруднений. Внутренние же повреждения электроустановок, сопровождающиеся незначительными аварийными токами (межвитковые замыкания, пробой изоляции на корпус), а также обрывы питающего провода требуют более детального рассмотрения. С этой целью нами определены токи поврежденной фазы, прямой, обратной и нулевой последовательностей при перечисленных режимах, а также напряжение на корпусе при пробое изоляции на корпус (рис. 1). Для этого по методу узловых потенциалов найдены напряжения в нейтральной точке звезды фазных нагрузок и в точке повреждения при пробое изоляции одной из фаз на корпус, напряжение смещения нейтрали при межвитковых замыканиях одной фазы, а затем определены фазные токи и токи симметричных составляющих. Токи обратной последовательности при обрыве питающего провода построены по типовой рабочей характеристике  $I = f(P)$  асинхронного электродвигателя, у которого они зависят от нагрузки на валу. Для электроприемников с постоянной нагрузкой (например, электродвигатели) токи обратной последовательности неизменны и в  $\sqrt{3}$  раз меньше токов оставшихся двух фаз. При этом мы пренебрегали сопротивлениями питающей сети и явлением автотрансформации, имеющим место при межвитковых замыканиях в электродвигателе.

Как видно из полученных результатов, при установке срабатывания исполнительного элемента на выходе фильтра тока обратной последовательности  $0,15I_n$  (в нормальном режиме токи обратной последовательности из-за несимметрии питающего напряжения или несимметрии исполнения электроприемников достигают величины порядка  $0,1I_n$ ) обеспечивается удовлетворительная защита таких распространенных электроприемников, как, например, калориферы, водонагреватели и асинхронные двигатели, при всех обрывах линейных проводов независимо от нагрузки, при витковых замыканиях не менее 35 % фазной обмотки и при пробоях на корпус изоляции витков, удаленных не менее чем на 45 % от нейтральной точки звезды нагрузки (рис. 1). Витковые замыкания меньшей части фазной обмотки и пробой изоляции на корпус ближе к нейтральной точке звезды при

данной установке срабатывания исполнительного элемента на выходе фильтра тока обратной последовательности отключаться не будут. При этом, однако, напряжение на корпусе электроприемника не превысит считавшейся безопасной величины 24 В ( $U_k < 0,1U_n$ ). Поэтому защитное устройство, содержащее даже два токовых фильтра (прямой и обратной последовательности), способно качественно улучшить защиту электроприемников и повысить электробезопасность их эксплуатации.

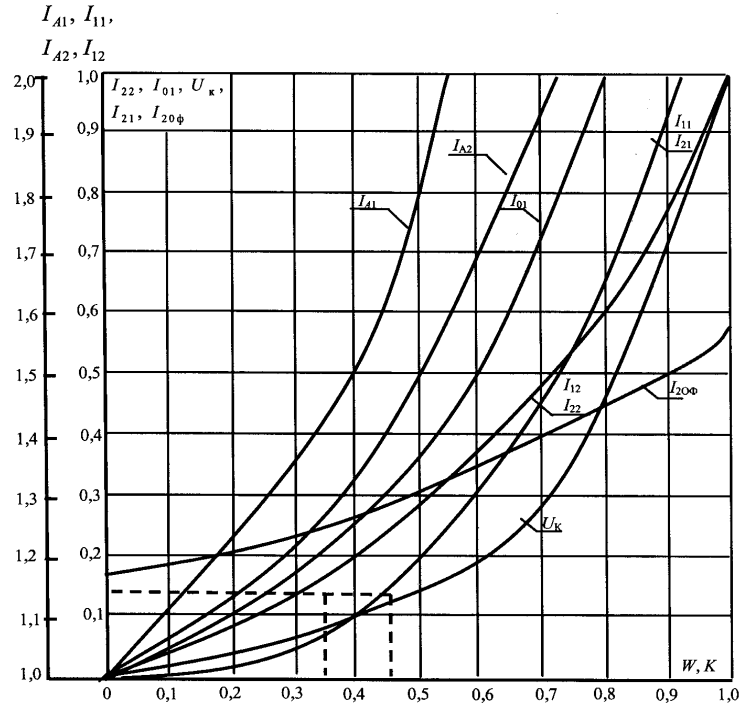


Рис. 1. Токи поврежденной фазы, прямой, обратной и нулевой последовательностей и напряжение на корпусе электроприемника в зависимости от места пробоя изоляции и нагрузки при обрыве фазного провода:  $I_{A1}$ ,  $I_{11}$ ,  $I_{A2}$ ,  $I_{12}$ ,  $I_{21}$ ,  $I_{22}$  – токи поврежденной фазы прямой, обратной и нулевой последовательностей и напряжение на корпусе электроприемника при пробое изоляции на корпус;  $I_{A2}$ ,  $I_{12}$ ,  $I_{22}$  – те же токи при внутренних замыканиях в электроприемнике;  $I_{20ф}$  – ток обратной последовательности при обрыве фазного провода;  $W$ ,  $K$  – количество поврежденных витков и нагрузка электроприемника соответственно

Вследствие этого фильтровая защита потребителей может быть ограничена лишь двумя данными фильтрами токов и исполнительными элементами с указанными выше свойствами на их выходах. В этом случае фильтровый защитный аппарат наиболее целесообразно построить на базе совмещенного фильтра токов прямой и обратной последовательностей [1] (рис. 2), в котором должны быть выполнены следующие условия подбора параметров элементов:

$$M_1 = M_2 = M, \quad R + M = -a^2(Z + M) \quad (\text{для рис. 2а});$$

$$M_1 = M_2 = M, \quad Z + M = -a^2(R + M) \quad (\text{для рис. 2б}),$$

где  $M_1$  и  $M_2$  – сопротивления исполнительных элементов, включенных на выходы токов прямой и обратной последовательностей соответственно;

$R$  и  $Z$  – сопротивления активного и реактивного элементов современного фильтра;  $a^2$  – единичный вектор  $e^{j240^\circ}$ .

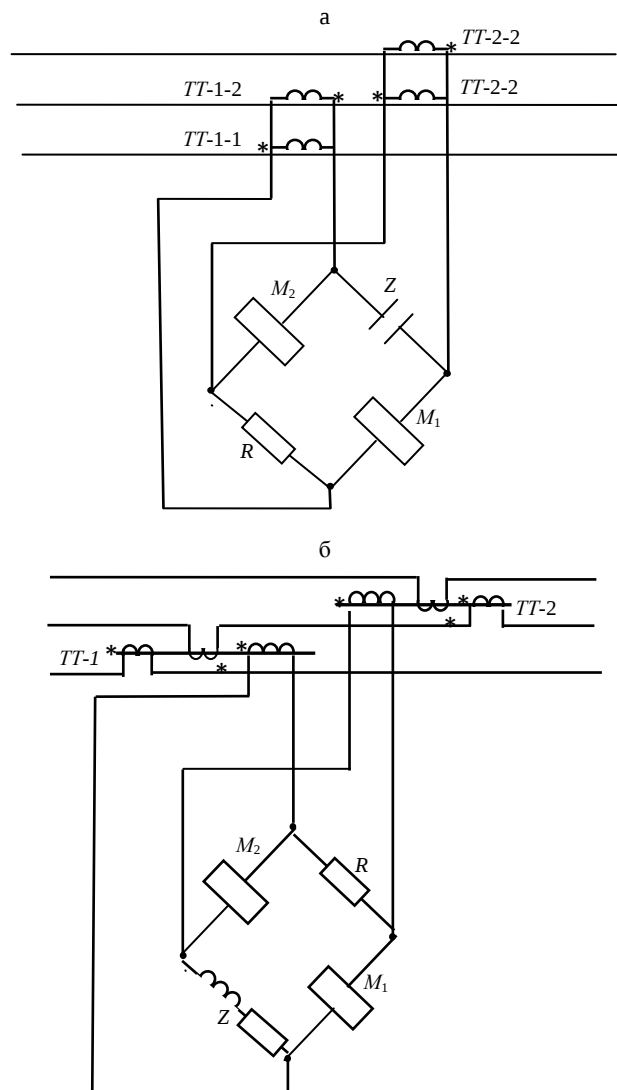


Рис. 2. Защитное устройство на базе совмещенного фильтра токов прямой и обратной последовательностей с: а – емкостным элементом; б – индуктивным элементом в фильтре;  $M_1$  – исполнительный элемент на выходе тока прямой последовательности;  $M_2$  – то же обратной последовательности

Защитный аппарат, построенный на современном фильтре токов, производит непрерывный анализ ситуации в защищаемом объекте, способен различить ситуации с разными токами, вызванными разными причинами, например аварийными и технологическими и различным образом реагировать на них, а также обладает другими полезными свойствами. Во-первых, исполнительные элементы, включенные на выходы токов разных последовательностей, резервируют друг друга в ряде аварийных режимов. Во-вторых, аппарат обладает свойством самоконтроля исправности, так как любое его внутреннее нарушение приводит к расстройке совмещенного

фильтра токов, а значит, к изменению токов, протекающих по исполнительным элементам. Два отдельных фильтра, в отличие от совмещенного, таким свойством не обладают. В-третьих, данный защитный аппарат может быть унифицирован для потребителей всех мощностей. Настройка на требуемую мощность в этом случае производится подбором коэффициентов трансформации трансформаторов тока. И, наконец, данный аппарат, защищая трехфазный электроприемник от комплекса аварийных режимов, способен заменить собой блок из нескольких аппаратов, таких как автоматический выключатель с электромагнитными и тепловыми расцепителями, тепловое реле и реле обрыва фаз. Все это позволяет сделать вывод о целесообразности применения фильтров токов симметричных составляющих, и в частности, совмещенных фильтров прямой и обратной последовательностей для защиты трехфазных электроприемников.

### **В ы в о д**

Целесообразно применять совмещенные фильтры токов прямой и обратной последовательностей для защиты трехфазных приемников при различных нарушениях их нормальной работы.

### **Л И Т Е Р А Т У Р А**

1. Вагнер, К. Ф. Метод симметричных составляющих / К. Ф. Вагнер, Р. Д. Эванс. – М.; Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1936.

Представлена кафедрой  
электротехники и электроники

Поступила 8.08.2007

УДК 621.311

## **СРАВНЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕУПРАВЛЯЕМЫХ РЕАКТОРОВ С УСТАНОВКАМИ ПРОДОЛЬНОЙ ЕМКОСТНОЙ КОМПЕНСАЦИИ И УПРАВЛЯЕМЫХ ШУНТИРУЮЩИХ РЕАКТОРОВ НА ДАЛЬНИХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

**Канд. техн. наук ЛЕ ТХАНЬ БАК**

*Санкт-Петербургский государственный технический университет*

Для компенсации избыточной реактивной мощности и повышения пропускной способности линий электропередачи 500 кВ длиной 1488 км во Вьетнаме использованы шунтирующие реакторы с устройствами продольной компенсации (ШР с УПК) (рис. 1, табл. 1). Во Вьетнаме при применении ШР с УПК в системе электропередачи 500 кВ можно решить проблему ограничения повышения напряжения в конце линии при малых нагруз-