

$T_a$  – постоянная времени цепи КЗ.

При рассматриваемых условиях амплитуда периодической составляющей  $I_{mk} = \frac{U_m}{Z_k}$  остается неизменной. Начальное значение аperiodической составляющей находится из условия, что в цепи с индуктивностью ток в момент нарушения режима сохраняется неизменным, т. е.  $i(-0) = i(+0)$ . Ток до нарушения режима при  $t = (-0)$  из выражения (2):

$$i(-0) = I_m \sin(\alpha - \varphi_n).$$

Ток с момент нарушения режима при  $t = (+0)$  из выражения (2):

$$i(+0) = I_{mk} \sin(\alpha - \varphi_k) + i_0.$$

Следовательно,

$$i_0 = I_m \sin(\alpha - \varphi_n) - I_{mk} \sin(\alpha - \varphi_k).$$

Закон изменения полного тока КЗ выражается формулой:

$$i_k = I_{mk} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_k) + [I_m \sin(\alpha - \varphi_n) - I_{mk} \sin(\alpha - \varphi_k)] e^{-\frac{t}{T_a}}. \quad (3)$$

Из (3) следует, что величина тока во время переходного процесса определяется не только временем  $t$ , фазой включения  $\alpha$ , углом  $\varphi_k$  и постоянной времени  $T_a$ , но также предшествующим режимом цепи.

Наиболее просто можно исследовать протекание переходного процесса в простейшей трехфазной цепи по выражению (4) на ЭВМ в среде MathCAD. В этом случае имеется возможность проследить характер изменения и величину тока при различных начальных условиях.

### Литература

1. Евминов Л.И. Электромагнитные переходные процессы в системах электроснабжения. – Гомель, 2003.
2. Дьяков В. MathCAD 2000. – М., 2002.

УДК 621.3

## СИНХРОННЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

*Халматов А.В.*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент **МАЗУРКЕВИЧ В.Н.**

Синхронные выключатели АВВ – многоцелевые, гибкие устройства с полностью сконфигурированным программным обеспечением. Они могут применяться во всех типах распределительной сети с любым режимом работы нейтрали.

Синхронные выключатели изготовлены с высоким качеством и гарантируют надёжность работы в течение всего срока службы. Они найдут своё применение там, где предъявляются повышенные требования к качеству электроэнергии.

С 1997 г. АВВ представляет на рынок новую серию выключателей среднего напряжения с магнитным приводом, вместо привода основанного на работе пружинного механизма.

Развивая успех в части использования магнитного привода, АВВ разработала новую управляемую технологию переключения, которая позволяет синхронизировать с питающей сетью операции включения и отключения.

Используемое в представляемом нами синхронном выключателе типа VM 1 синхронное переключение является известной концепцией, применяемой обычно в технике высоких напряжений, чтобы избежать либо снизить коммутационные перенапряжения или вызванные ими нарушения режима работы энергосистемы.

По сравнению с обычным коммутационным оборудованием синхронный выключатель имеет ряд важных преимуществ:

- воздействие переходных процессов на элементы сети значительно уменьшено;
- созданная на базе синхронных выключателей сеть является надёжной, простой, имеет низкую стоимость и обеспечивает отличное качество электроэнергии;
- увеличен срок службы самого выключателя, улучшены его рабочие характеристики и др.

Имея магнитный привод с помощью электронного контролера можно управлять движением выключателя, компенсируя влияние окружающей среды, старение выключателя и т. д., и таким образом гарантировать, что время включения и отключения выключателя останется стабильным в течение всего срока службы выключателя.

Используемый в выключателе типа VM 1 производства ABB Calor EMag Mittelspannung GmbH (Германия) магнитный привод позволяет легко и просто осуществить пофазное управление выключателем, тем самым обеспечить операции включения и отключения, синхронизированные с сетью, вне зависимости от того, когда даётся сигнал на производство операции, даётся ли он вручную или автоматически, по месту или дистанционно.

Переходные процессы, возникающие при коммутации, являются причиной различных нарушений в системах распределения электроэнергии; от низкого качества электроэнергии из-за несвоевременного отключения защит, до недопустимых перенапряжений, которые могут вызвать серьёзные повреждения элементов сети, а также приводят к сокращению срока службы элементов сети. Если броски тока ограничены местом установки выключателя, то броски напряжения передаются к удалённым местам сети, распространяясь на различные уровни напряжения.

Установка синхронных выключателей значительно снижает вредное воздействие на элементы сети сверхтоков и перенапряжение, которые появляются при коммутационных операциях (таблица 1).

Таблица 1. Сравнение методов, используемых  
для уменьшения вредного влияния переходных процессов

Управление переходным процессом при помощи	Преимущества	Недостатки
Фиксированная катушка индуктивности	Простота в эксплуатации. Эффективность снижения величины тока	Потери и помехи
Предвключённый резистор	Включается на короткое время до переключения	Сложность, низкая надёжность
Предвключённая катушка индуктивности	Включается на короткое время до переключения. Отсутствуют потери. Эффективнее фиксированной катушки.	Сложность, низкая надёжность
Синхронный выключатель	Эффективное снижение напряжения во время производства операций включения и отключения. Уменьшение износа выключателя.	Проблемы надёжности при обычном решении синхронного выключателя; проблемы устраняются при помощи новых синхронных выключателей

В современных энергетических рынках качество электроэнергии становится важным эксплуатационным индикатором. Увеличивающееся применение промышленной

электроники, например, регулируемых электроприводов, приводит к тому, переходные процессы, в которых ранее незначительные колебания напряжения рассматривались как приемлемые, могут вызвать повреждения, приводящие к незначительному ущербу. Синхронные выключатели успешно решают эту проблему.

Использование синхронных выключателей может значительно снизить бросок тока намагничивания, когда трансформатор становится под напряжение, и, таким образом, избежать статистических случаев отключения от защит и других проблем, связанных с большим содержанием гармоник в бросках тока намагничивания (таблица 2).

**Таблица 2. Снижение бросков тока намагничивания трансформатора (амплитуда) в относительных единицах при использовании синхронного выключателя**

Причина	Переключающее устройство	Бросок тока
Наличие остаточной намагниченности (наихудший случай)	Обычный выключатель	До 7,5
Наличие остаточной намагниченности, концепция включения, пренебрегающая величиной остаточной намагниченности	Синхронный выключатель	До 3,0
Наличие остаточной намагниченности, концепция оптимального включения	Синхронный выключатель	0,05

**Коммутация линий сверхвысокого напряжения.** Традиционный способ ограничения перенапряжений, возникающих при включении и АПВ ненагруженных сверхвысоковольтных линий состоит в использовании выключателей, оборудованных предвключаемыми резисторами. Однако метод управляемой коммутации линейных выключателей всё более широко рассматривается как альтернативное решение в ситуации, когда с целью защиты от перенапряжения применяют также ограничители перенапряжений для оптимального ограничения коммутационных перенапряжений. Выключатели на такой уровень напряжения обычно имеют пополюсное управление.

Для нескомпенсированных линий управляемую коммутацию выключателей можно организовать двумя разными способами.

Заряд, распределённый на линии после операции отключения, не записывается. При включении, управление выключателем организуют таким образом, чтобы включать ток приблизительно в момент, когда мгновенное напряжение на подстанции равно нулю. Тем самым удаётся ограничить большие перенапряжения независимо от фактически распределённого заряда. Этот способ прост и часто обеспечивает подходящий результирующий уровень перенапряжения, особенно, когда применяется в сочетании с ограничителями перенапряжений. Во многих случаях распределённый заряд будет фактически нулевым или близким к нулю. Это будет иметь место, когда после операции отключения прошло достаточно времени, или даже при быстрых операциях повторного включения, если линия оборудована магнитными трансформаторами напряжения.

Коммутационные перенапряжения ограничиваются эффективнее, когда заряд, распределённый на линии, записывается и учитывается управляющим устройством. Это решение особенно полезно в условиях, когда ожидается большой распределённый заряд, т. е. при быстрых операциях повторного включения в условиях применения ёмкостных трансформаторов напряжения. Величину распределённого заряда могут записывать ёмкостные трансформаторы напряжения.

В поперечно скомпенсированных линиях взаимодействие между линейной ёмкостью и индуктивностью реактора будет приводить к колебаниям напряжения в линии после отключения. Из-за различия частот на разных сторонах выключателя имеет форму частотных биений. В этом случае, из-за колебаний напряжения на линии, ёмкостные

трансформаторы напряжения будут обеспечивать верные сигналы напряжения. Управляемое включение выключателя должно выполняться на минимуме частоты биения или минимуме напряжения на стороне питания.

УДК 621.316.925

## МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ ЗАЩИТЫ ПО НАПРЯЖЕНИЮ МР-600

*Радюк А.В.*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент **ТИШЕЧКИН А.А.**

Микропроцессорное реле МР-600 предназначено для защиты от понижения и повышения напряжения, понижения и повышения частоты, а также для сбора и передачи информации по каналам связи на диспетчерские управляющие комплексы. Устанавливается на понижающих и распределительных подстанциях распределителей 110/35/10/6 кВ. МР-600 представляет собой комбинированное многофункциональное устройство, объединяющее различные функции защиты, измерения, контроля, местного и дистанционного управления.

Устройство выполняет следующие функции:

- защита от снижения напряжения;
- защита от повышения напряжения;
- защита от повышения напряжения нулевой последовательности;
- защита от повышения напряжения обратной последовательности;
- защита от снижения напряжения прямой последовательности;
- защита от снижения частоты с возможностью ЧАПВ;
- защита от повышения частоты;
- блокирующей логики;
- индикации фазных действующих значений напряжения;
- индикации линейных значений напряжения;
- индикации напряжения прямой и обратной последовательности;
- индикации напряжения нулевой последовательности;
- индикации значения частоты сети;
- задания внутренней конфигурации (ввод защит и автоматики, количество ступеней защиты и т. д.) программным способом;
- местного и дистанционного ввода, хранения и отображения уставок защит и автоматики;
- регистрации аварийных параметров защищаемого присоединения и срабатывания измерительных органов;
- получения дискретных сигналов управления и блокировок, выдачи команд управления, аварийной и предупредительной сигнализации;
- обмена информацией с верхним уровнем (АСУ ТП);
- непрерывной самодиагностики аппаратной и программной части.

Пользовательский интерфейс:

- ЖКИ дисплей 2 x 16 символов с подсветкой;
- порт RS-485/232 на лицевой панели для программирования и диагностики;
- светодиоды: 8, из них 4 назначаются программно;
- клавиатура 8 клавиш;
- язык: русский.

Связь: