

Применение современных технологий и методов позволяют получить высокую стабильность электрических характеристик ОПН. К таким методам относятся ультразвуковое формообразование оксидноцинковой керамики, ультразвуковая металлизация оксидноцинковой керамики и др.

Вывод

В последнее время энерговооруженность и энергонасыщенность производственных процессов резко возросло. Увеличился уровень электромагнитных помех. Современные электронные системы очень чувствительны к электромагнитным помехам, что может привести к неправильной работе. Решать вопросы ЭМС необходимо на ранних стадиях проектирования. Обеспечение минимальной восприимчивости к внешним и внутренним ЭМП, а также обеспечение минимального уровня создаваемых ЭМП позволяет решить проблему ЭМС. ЭМС в сетях НН различных предприятий, в том числе собственных нужд станций и подстанций, требует пристального внимания. Во многих случаях импульсные и коммутационные перенапряжения могут привести к повреждению не только слаботоочного, но и сильноточного оборудования. Основным элементом защиты от внутренних, временных и грозовых перенапряжений является ОПН.

УДК 621.316

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ОРГАНЫ ТОКОВОЙ НАПРАВЛЕННОЙ ЗАЩИТЫ

Костров И.М., Касперович Т.И.

Научный руководитель – ГУРЬЯНЧИК О.А.

Токовая направленная защита – это защита с относительной селективностью, реагирующая на ток и направление (знак) мощности КЗ в месте ее установки. Применяется для защиты от КЗ линий в радиальных сетях с несколькими источниками питания и кольцевых сетях с одним источником питания. В общем случае токовая направленная защита представляет собой обычную токовую защиту, дополненную органом направления мощности (ОНМ). Далее в данной работе будет рассмотрен ОНМ.

Выполнение ОНМ функций фиксации направления мощности КЗ. Характеристической величиной ОНМ является угол сдвига фаз, между подводимыми к нему U_p и I_p

$$\varphi_p = \angle(U_p I_p).$$

Таким образом, что бы контролировать направление мощности нужно контролировать угол между U_p и I_p . Рассмотрим это на примере.

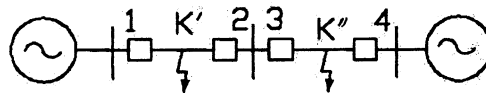


Рис. 1. Защищаемая сеть

Какие из комплектов данной схеме должны работать, мы определим с помощью диаграмм в различных точках сети.

За положительное направление тока принято его направление от шин в линию. Положительный ток отстает от соответствующего напряжения на угол, который считается так же положительным, а если опережает, то отрицательным.

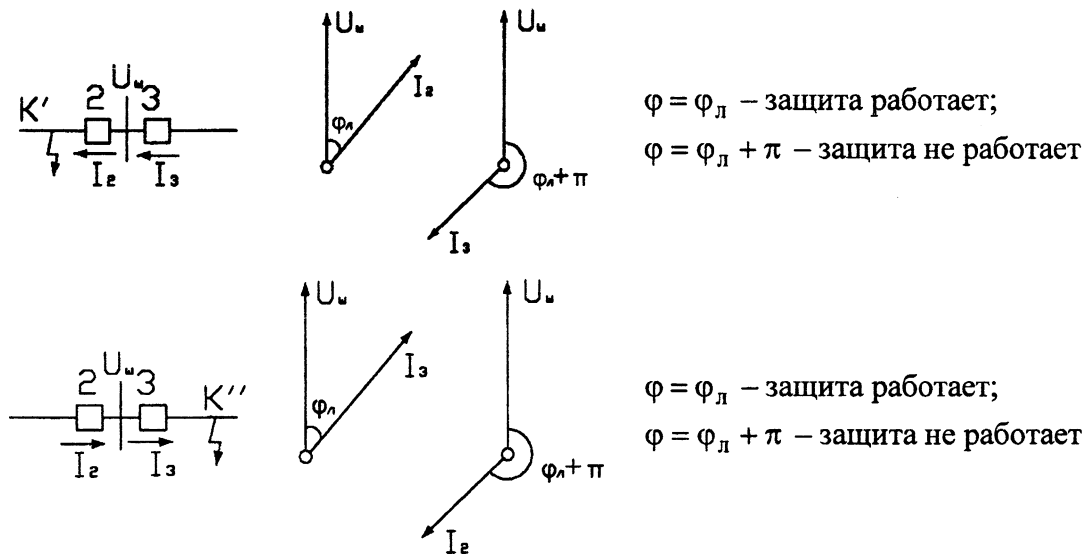


Рис. 2. Действие ОНМ в сети с двусторонним питанием

Характеристики ОНМ. Работа обычно используемых ОНМ при нулевом пороге чувствительности вне зависимости от их выполнения характеризуется диапазоном возможных углов срабатывания $\varphi_p = \angle(\underline{U}_p \perp \underline{I}_p) = 180^\circ$ и определяется выражением

$$-(90^\circ + \alpha) < \varphi_p < (90^\circ - \alpha), \quad (1)$$

где $\alpha = \text{const}$ – некоторый угол, специально создаваемый для обеспечения четкой работы ОНМ для принятой схемы его включения. Орган не может срабатывать при подведении к нему только U_p ($I_p = 0$) или I_p ($U_p = 0$), так как не будет условия для сравнения фаз двух величин. Поэтому ОНМ могут срабатывать только при конечных значениях U_p и I_p тем меньших, чем меньше их порог чувствительности, например противодействующий механический момент у электромеханических органов. С учетом этого введено понятие об угле максимальной чувствительности $\varphi_p = \varphi_{p \max \text{ ч}}$, при котором ОНМ работает при минимальных значениях подведенных величин. Угол α выбирают так, чтобы он был равен $-\varphi_{p \max \text{ ч}}$. Тогда условие срабатывания (1) приобретает вид

$$-(90^\circ - \varphi_{p \max \text{ ч}}) < \varphi_p < (90^\circ + \varphi_{p \max \text{ ч}}).$$

Основными характеристиками ОНМ являются: угловая – зависимость $\underline{U}_{c,p} = f(\varphi_p)$ при $I_{c,p} = \text{const}$ и вольтамперная – зависимость $\underline{U}_{c,p} = f(I_{c,p})$ при $\varphi_p = \text{const}$, даваемая обычно для угла максимальной чувствительности, т. е. $\varphi_{c,p} = \varphi_{p \max \text{ ч}}$. Угловая и вольтамперная характеристики в прямоугольной системе координат для ОНМ, приближающихся к идеальным (с порогом чувствительности, близким к нулю), представлены соответственно на рисунках 3а и 3б.

Вид реальных характеристик отличается от идеальных и в значительной мере определяется элементной базой, на которой выполнен ОНМ. Так, например, ОНМ, осуществленные на интегральной микропроцессорной базе с операционными усилителями, имеют рассматриваемые характеристики близкие к идеальным. Часто использовавшиеся ранее индукционные ОНМ, характеризуемые в условиях срабатывания $M_{\text{эм}} = kU_{c,p} I_{c,p} \cos(\varphi_{c,p} - \varphi_{p \max \text{ ч}}) = M_{\text{мех,с}}$, имеют характеристики, приведенные на рисунках 4а и 4б. За счет насыщения магнитной системы при больших I_p их вольтам-

перные характеристики (рисунок 4б) имеют минимальное конечное $U_{c,p \min}$. За счет конечного максимального $U_{c,p \max} = U_{\text{ном}}$ их угловые характеристики имеют сокращенный (по сравнению со 180°) диапазон углов $\varphi_{c,p}$.

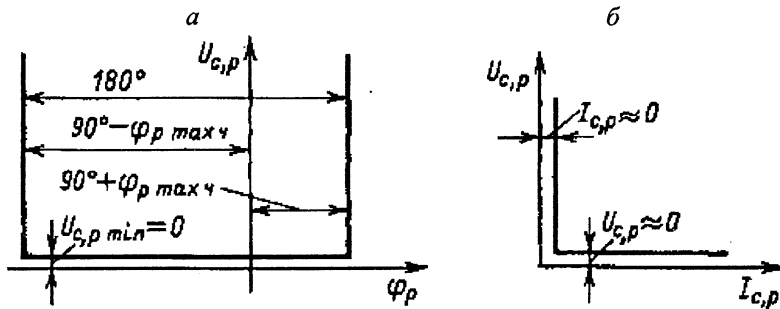


Рис. 3. Характеристики идеального органа направления мощности в прямоугольной системе координат: а – угловая; б – вольтамперная

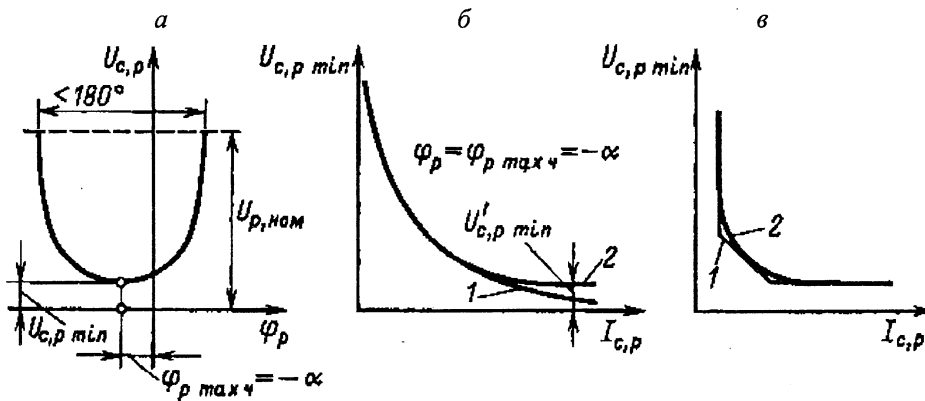


Рис. 4. Характеристики реального ОНМ в прямоугольной системе координат: а – угловая; б – вольтамперная для индукционного ОНМ; в – вольтамперная для полупроводникового ОНМ

Работа полупроводниковых ОНМ, выполненных на схемах сравнения абсолютных значений величин, также определяется характеристиками, зависящими от конкретных значений U_p и I_p . Их вольтамперная характеристика при больших I_p и малых U_p определяется выражением $U_p \cos(\varphi_p - \varphi_{p \max \text{ ч}})$, а при малых I_p и больших U_p – соответственно $I_p \cos(\varphi_p - \varphi_{p \max \text{ ч}})$; при $U_p = kI_p$, она определяется выражением

$$U_p \left[\left| \frac{\cos(\varphi_p - \varphi_{p \max \text{ ч}})}{2} \right| - \left| \frac{\sin(\varphi_p - \varphi_{p \max \text{ ч}})}{2} \right| \right]$$

и оказывается состоящей из трех участков (рисунок 4в). При использовании современной микроэлектронной элементной базы предпочтение отдается ОНМ со схемой сравнения по углу.

Принципы включения ОНМ на \underline{U}_p и \underline{I}_p . В настоящее время обычно применяются пофазные органы с одним \underline{U}_p и одним \underline{I}_p , включаемые на полные напряжения и токи фаз. В отечественной технике получили распространение для некоторых специальных защит органы с одним \underline{U}_p и одним \underline{I}_p но включаемые на трехфазные фильтры симметричных составляющих.

Обычно при включении на полные напряжения и токи фаз не применяются схемы с использованием одноименных \underline{U}_p и \underline{I}_p .

Один из основных недостатков таких схем – наличие мертвых зон при всех видах учитываемых КЗ. Применения они не получили. Основной рекомендуемой является так называемая 90°-ная схема включения. В этой схеме сочетаются токи фаз (рисунок 5а), например, $\underline{I}_p = \underline{I}_A$ и междуфазные напряжения двух других фаз, соответственно $\underline{U}_p = \underline{U}_{BC}$. Для оценки работы схемы и выбора $\varphi_{p \max ч}$ оказалось целесообразным воспользоваться непосредственным выявлением фазных соотношений между \underline{U}_p и \underline{I}_p при разных видах КЗ [1]. При К⁽³⁾ векторная диаграмма тока $\underline{I}_A^{(3)}$ и остаточного напряжения $\underline{U}_{BC}^{(3)}$ приведена на рисунке 5б. Угол $\varphi_p^{(3)} = \angle(\underline{U}_{BC}^{(3)}, \underline{I}_A^{(3)}) = 270^\circ + \varphi_s^{(3)}$, где $\varphi_p^{(3)}$ – угол между $\underline{U}_A^{(3)}$ и $\underline{I}_A^{(3)}$.

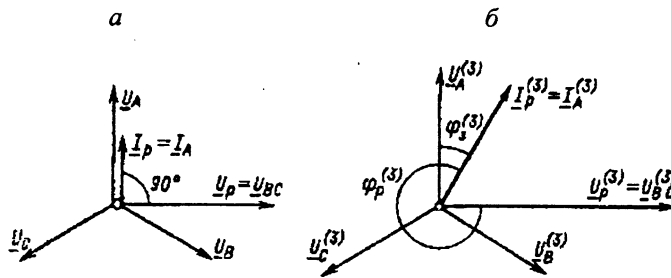


Рис. 5. 90°-ная схема включения органа направления мощности

Этот угол с учетом R_n может изменяться в пределах 0–90°. Поэтому справедливо соотношение $270^\circ \leq \varphi_p^{(3)} \leq 360^\circ$ или $-90^\circ \leq \varphi_p^{(3)} \leq 0^\circ$. Угол $\varphi_{p \max ч}$ с учетом того, что $-90^\circ < (\varphi_p^{(3)} - \varphi_{p \max ч}) < 90^\circ$, должен удовлетворять условию $0^\circ < -\varphi_{p \max ч} < 90^\circ$. При $\varphi_{p \max ч} = 0^\circ$ ($\alpha = 0$) схема могла бы отказывать в действии при повреждении через R_n в начале линии. При других видах КЗ допустимые пределы изменения $\varphi_{p \max ч}$ выявляются аналогичным образом. Проведенное рассмотрение работы схемы при разных видах и местах КЗ дало возможность определить ее следующие свойства:

- обеспечивает четкую защиту при всех видах КЗ;
- может отказывать в действии при металлических междуфазных КЗ вблизи места установки защиты;
- может неправильно действовать, при неисправностях в цепях переменного напряжения;
- ОНМ, включенный на токи фазы, может неправильно действовать в сетях с глухозаземленной нейтралью;
- может неправильно действовать при некоторых видах КЗ за трансформатором со схемой соединения «звезда-треугольник».

Возможны и другие схемы включения ОНМ на полные напряжения и токи фаз (например, 30°-ная). Однако в отечественной практике для токовых направленных защит, включаемых на полные напряжения и токи фаз, всегда применяется 90°-ная схема включения, так как другие схемы преимущества перед ней не имеют.

Литература

1. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1952.

2. Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
3. Федосеев А.М., Федосеев М.А. Релейная защита электроэнергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1992.
4. Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1998.

УДК 621.315

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ ТЯЖЕНИЙ РАСЩЕПЛЕННЫХ ФАЗ ГИБКОЙ ОШИНОВКИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ

Садовский В.А., Ходос А.Л.

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор СЕРГЕЙ И.И.

Теоретические и экспериментальные исследования электродинамической стойкости гибких проводников ведутся в странах, участвующих в работе Международной электротехнической комиссии. Актуальность и сложность решения проблемы электродинамического действия токов короткого замыкания (КЗ) на гибкие провода электроустановок привели к объединению усилий специалистов ряда стран под эгидой международных энергетических организаций СИГРЭ и МЭК.

Проблема оценки электродинамической стойкости гибких проводников – это проблема оценки смещений проводников при их колебаниях во время КЗ и после него, оценки тяжений в проводниках во время колебаний, вызванных электродинамическими силами, проблема надежного определения моментов времени, когда после отключения тока КЗ сближение проводников максимально и опасно с точки зрения пробоя изоляции, проблема (при увеличенных смещениях) уверенной оценки возможности реализации максимального сближения во время бестоковой паузы, проблема оценки опасности схлестывания проводников при КЗ.

В 1999 г. в Беларуси введен в действие Межгосударственный стандарт СНГ ГОСТ 30323–95, который регламентирует использование компьютерных и упрощенных методов расчета динамики проводов при КЗ [1].

Упрощенные методы расчета характеризуются небольшим объемом вычислительных операций и доступностью его применения широким кругом специалистов. В настоящее время известны два упрощенных метода расчета: СИГРЭ и МЭК [2] и МЭИ (ТУ) [3]. Оба метода базируются на расчетной модели провода в виде физического маятника с массой, сосредоточенной в его центре тяжести, и дифференциальном принципе решения задачи электродинамического действия токов короткого замыкания на гибкие провода электроустановок. При таком решении задачи необходимо вводить ряд допущений, что ограничивает область их применения на практике. Выбор физического маятника в качестве расчетной модели – это результат теоретических и экспериментальных исследований поведения проводников при КЗ. Сопоставление многочисленных опытных данных, полученных на специально построенных экспериментальных установках, с расчетами [2] показали, что модель жесткого маятника дает возможность получать инженерные оценки смещений проводников и тяжений в них, достаточно хорошо согласующиеся с результатами опытов.

На кафедре «Электрические станции» БНТУ также ведутся работы по разработке упрощенного метода расчета электродинамической стойкости проводов при КЗ. Особенностью метода является то, что он основывается на интегральном и энергетическом