

В.Н. БАЖЕНОВ, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ».
ЭХСОНИ СУБХОН, студент НТУ «ХПИ».

УСЛОВИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ УЗЛОВОЙ СХЕМЫ ПИТАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Рассмотрены условия функционирования дистанционной защиты распределительной сети переменного тока на примере узловой схемы питания двух участков напряжением 10 – 35 кВ. Рассмотренные условия применимы для всех видов технических средств релейной защиты, в том числе – электромеханических, которые могут быть использованы для выбора условий работы систем безопасности цифровых систем автоматизации электроснабжения.

Ключевые слова: распределительная сеть переменного тока, дистанционная релейная защита

Введение. При проектировании и эксплуатации распределительных сетей переменного тока напряжением 10 – 35 кВ особое внимание должно уделяться условиям срабатывания и несрабатывания устройств релейной защиты электроустановок. Анализ работы релейной защиты электроустановок распределительной сети – это по существу определение правильного (по требованию) и неправильного (излишнего, ложного и отказа) срабатывания устройства согласно тем условиям несрабатывания и срабатывания, которые предназначены для определенного вида устройства релейной защиты.

Целью данной работы явилась конкретизация условий работы дистанционной защиты на примере узловой схемы питания двух участков напряжением 10 – 35 кВ. Для рассмотрения условий функционирования дистанционной защиты выбраны расчетные точки короткого замыкания (рис. 1): К1 – повреждение в начале первого участка А – ПС, вблизи выключателя QА1; К2 – повреждение в конце первого участка А – ПС, вблизи пункта секционирования и выключателя QПА1; К3 – повреждение в начале второго участка ПС – В, вблизи выключателя QПВ1; К4 – повреждение в конце второго участка ПС – В, вблизи подстанции В; К5 – повреждение в начале

© В. Н. Баженов, И. И. Червоненко, С. Б. Борщев, 2015

смежного второго участка А – ПС, вблизи выключателя QА2.. В дальнейших рассуждениях принято, что при коротких замыканиях в любом месте распределительной сети переменного тока К1 – К4 должны срабатывать не менее, чем две дистанционные защиты на ближайшем к месту повреждения выключателе, и одна дистанционная – на смежном выключателе.

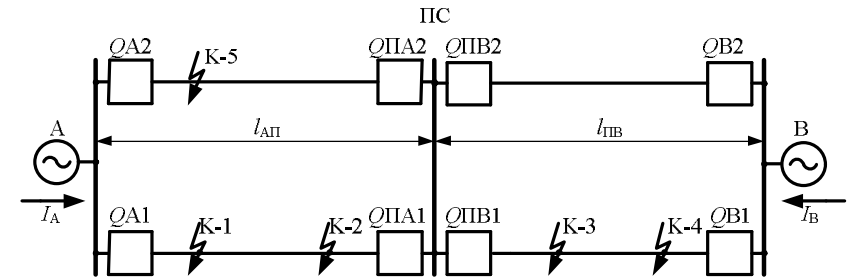


Рис. 1 – Расчетные точки короткого замыкания в распределительной сети

Сформулируем основные технические возможности дистанционных защит [1,2,3]. Первая ступень (1 зона ДЗ) дистанционной защиты – мгновенная защита с нормированной чувствительностью в пределах 85 – 90% защищаемого участка; вторая ступень (2 зона ДЗ) дистанционной защиты – 100% защита для своего участка; третья ступень (3 зона ДЗ) дистанционной защиты – резервная 100% защита для всей узловой схемы питания распределительной сети.

Обозначим коэффициенты, используемые в условиях срабатывания и несрабатывания устройств релейной защиты: $k_H=0,85 - 0,9$ – коэффициент надежной отстройки (условие несрабатывания) защиты минимального сопротивления от повреждений в конце объекта защиты; $k_3=1,1 - 1,3$ – коэффициент запаса для условий несрабатывания защит и блокировок в максимальных режимах распределительной сети; $k_B=1,1 - 1,2$ – коэффициент возврата защиты минимального типа; $k_4=1,2$ – нормированный коэффициент чувствительности (условие срабатывания) для третьей ступени дистанционной; $k_{41}=1,25$ – нормированный коэффициент чувствительности (условие срабатывания) для второй ступени дистанционной защиты к повреждениям в конце объекта защиты; $k_{42}=1,5$ – нормированный коэффициент чувствительности (условие

срабатывания) для третьей ступени дистанционной защиты к повреждениям в конце зоны защиты.

Условия функционирования дистанционных защит. Рассмотрим условия функционирования дистанционных защит. Первая ступень дистанционной защиты (ДЗ1) для выключателя QА1. Уставка данной защиты с абсолютной селективностью выбирается по условию несрабатывания от сопротивления, измеряемого защитой при к.з. в К2:

$$Z_{ДЗ1} \leq k_H \cdot Z_{К2, \min}, \quad (1)$$

где $Z_{К2, \min}$ – сопротивление, измеряемое первой ступенью при к.з. в конце первого участка в режиме максимума энергосистемы.

Также защита не должна срабатывать от максимальных нагрузочных режимов:

$$Z_{ДЗ1} \leq Z_{P, \min} / k_3 \quad (2)$$

где $Z_{P, \min}$ – минимальное сопротивление, измеряемое защитой, в рабочем максимальном режиме распределительной сети.

Характеристика защиты – ненаправленная, в виде окружности с центром в начале координат, $\varphi_{CP} = 0 - 360$. Свойство направленности обеспечивается токовой блокировкой. Данная дистанционная отсечка выполняется без выдержки времени $t_{CP} = 0$.

Токовая блокировка (БТ). Применяется для первой ступени дистанционной защиты. Уставка токового пуска выбирается больше тока в выключателе QА1 при к.з. К5 (см. рис. 1) по формуле:

$$I_{БТ} \geq k_3 \cdot I_{К5, \max}, \quad (3)$$

где $I_{К5, \max}$ – расчетный ток выключателя QА1 при к.з. в точке К5 равный току от подстанции В в максимальном режиме работы подстанции и прилегающей электрической сети.

Вторая ступень дистанционной защиты (ДЗ2). Защита должна защищать 100 % своего участка с нормированной чувствительностью:

$$Z_{ДЗ2} \geq k_{Ч1} \cdot Z_{К2, \max}, \quad (4)$$

где $Z_{К2, \max}$ – сопротивление повреждения в точке К2, измеряемое второй ступенью дистанционной защиты в режиме минимума энергосистемы А.

Однако, защита не должна срабатывать во время максимального рабочего режима с учетом возврата рассматриваемой защиты после отключения повреждения на смежном участке своей основной защитой:

$$Z_{ДЗ2} \leq Z_{P, \min} / (k_3 \cdot k_B), \quad (5)$$

где $Z_{P, \min}$ – минимальное сопротивление, измеряемое защитой в рабочем максимальном режиме распределительной сети. Характеристика 2 зоны защиты – направленная, в виде сегмента

окружности с углом $\varphi_{CP} = 0 - 120^\circ$ в 1 и 2 квадрантах комплексной плоскости. Выдержка времени принимается равной ступени селективности $t_{CP} = \Delta t$ с целью резервирования первой зоны. Третья ступень дистанционной защиты (ДЗ3). Желательно, чтобы защита чувствовала повреждения на смежном участке ПС – В в режиме минимума питающей энергосистемы:

$$Z_{ДЗ3} \geq k_{Ч} \cdot Z_{К4, \max}, \quad (6)$$

где $Z_{К4, \max}$ – сопротивление повреждения в точке К4, измеряемое третьей зоной дистанционной защиты в режиме минимума энергосистемы А и с учетом активного сопротивления дуги (5 – 8 Ом) в месте повреждения.

Обязательно 3 зона дистанционной защиты должна чувствовать повреждения на шинах пункта секционирования в расчетной точке К2:

$$Z_{ДЗ3} \geq k_{Ч2} \cdot Z_{К2, \max}, \quad (7)$$

где $Z_{К2, \max}$ – сопротивление повреждения в точке К2, измеряемое 3 зоной дистанционной защиты в режиме минимума энергосистемы А и с учетом активного сопротивления дуги (5 – 8 Ом) в месте повреждения.

Как правило, уставка 3 зоны дистанционной защиты по абсолютному значению не может быть отстроена от минимального сопротивления $Z_{P, \min}$ с фазовым углом в пределах 20 – 40 градусов, измеряемое защитой, в рабочем максимальном режиме распределительной сети. Поэтому отстройка от максимального рабочего режима возможна за счет угловой характеристики защиты в виде сектора 55 – 120 град. Выдержка времени принимается равной $t_{CP} = 3\Delta t$ для резервирования своих защит со стороны подстанции и защит пункта секционирования, а также отказов выключателя последнего.

Условия функционирования релейной защиты для выключателей QА1 и QПВ1 (здесь не показано) на примере узловой схемы питания распределительной сети сведены в таблицу условий функционирования защит (табл.1). Как видно, правильное функционирование релейной защиты во многом определяет высокую надежность работы систем электроснабжения. В последнее время становятся актуальными вопросы повышения надежной работы электроэнергетических систем в экстремальных условиях, вызванных, в первую очередь, применением кибернетического наступательного оружия. Для противодействия такому нападению предлагается создавать системы безопасности цифровых подстанций [4], как второй уровень системы релейной защиты и автоматики на контролируемой

электромеханике. Поэтому, рассмотренные условия срабатывания и несрабатывания применимы для всех видов технических средств релейной защиты, в том числе электромеханических, могут быть использованы для выбора условий работы систем безопасности цифровых систем автоматизации электроснабжения.

Таблица 1 – Условия функционирования дистанционных защит

Защита	Выключатель $QA1$	Выключатель $QPВ1$
ДЗ1	$Z_{ДЗ1} \leq k_H \cdot Z_{K2.min} , \quad (1)$ $Z_{ДЗ1} \leq Z_{P.min} / k_3 . \quad (2)$ $t_{CP} = 0;$ $\varphi_{CP} = 0 - 360^\circ$ (с БТ).	$Z_{ДЗ1} \leq k_H \cdot Z_{K4.min} , \quad (8)$ $Z_{ДЗ1} \leq Z_{PI.min} / k_3 . \quad (9)$ $t_{CP} = 0;$ $\varphi_{CP} = 0 - 120^\circ$.
БТ	$I_{BT} \geq k_3 \cdot I_{K5.max} . \quad (3)$	–
ДЗ2	$Z_{ДЗ2} \geq k_{ч1} \cdot Z_{K2.max} , \quad (4)$ $Z_{ДЗ2} \leq Z_{P.min} / (k_3 \cdot k_B) . (5)$ $t_{CP} = \Delta t ;$ $\varphi_{CP} = 0 - 120^\circ$.	$Z_{ДЗ2} \geq k_{ч1} \cdot Z_{K4.max} , \quad (10)$ $Z_{ДЗ2} \leq Z_{PI.min} / (k_3 \cdot k_B) . (11)$ $t_{CP} = \Delta t ;$ $\varphi_{CP} = 50 - 120^\circ$.
ДЗ3	$Z_{ДЗ3} \geq k_{ч} \cdot Z_{K4.max} , \quad (6)$ $Z_{ДЗ3} \geq k_{ч2} \cdot Z_{K2.max} . \quad (7)$ $t_{CP} = 3\Delta t ;$ $\varphi_{CP} = 55 - 120^\circ$.	$Z_{ДЗ3} \geq k_{ч2} \cdot Z_{K4.max} . \quad (12)$ $t_{CP} = 2\Delta t ;$ $\varphi_{CP} = 55 - 120^\circ$.

Выводы.

Сформулированы основные условия функционирования для дистанционных защит узловой схемы питания распределительной сети 10 – 35 кВ. Условия срабатывания защит определены нормированной чувствительностью к повреждениям для защит: первой зоны дистанционной защиты – короткие замыкания в пределах 85 – 90% защищаемого объекта; второй зоны дистанционной защиты – короткие замыкания в пределах 100% защищаемого объекта; третьей зоны дистанционной защиты – короткие замыкания в пределах 100% всей распределительной сети между двумя подстанциями. Условия несрабатывания защит заданы отстроенностью от внешних повреждений (1 и 2 зоны дистанционной защиты) и все ступени защит – от максимального рабочего режима распределительной сети.

Рассмотренные условия срабатывания и несрабатывания применимы для всех видов технических средств релейной защиты, в том числе – электромеханических, которые могут быть использованы для выбора условий работы систем безопасности цифровых систем автоматизации электроснабжения.

Список литературы: 1. *Фигурнов Е.П.* Релейная защита: учебник для вузов железнодорож. трансп. / *Е.П. Фигурнов* – М.: Желдориздат, 2002. – 720 с. 2. *Чернобровов Н. В.* Релейная защита энергетических систем / *Н.В. Чернобровов, В.А. Семенов* – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 800 с. 3. *Федосеев А.М.* Релейная защита электроэнергетических систем: Учеб. для вузов.– 2-е изд., перераб. и доп. / *А.М.Федосеев, М.А. Федосеев* – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 528 с. 4. *Шедрыков Б.Д.* Система безопасности цифровой подстанции (мысли вслух) // Релейная защита и автоматизация. – 2011. №01 (02). – с. 58-59.

Bibliography (transliterated): 1. Figurnov EP *Relay protection: a textbook for high schools railway. transp.* Moscow Zheldorizdat, 2002. Print. 2. VA Semenov *Relay protection of power systems* Moscow Energoatomizdat, 1998. Print. 3. Fedoseev AM Fedoseev MA *Relay protection of electric power systems:* Moscow Energoatomizdat., 1992. Print. 4. Schedryk BD *Security system digital substation (thinking out loud)* // *Automation and Protection.* - 2011. No. 01 58-59. Print

Поступила (received) 29.04.2015