

ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В СЕТИ 6 ... 35 кВ С ИЗОЛИРОВАННОЙ, КОМПЕНСИРОВАННОЙ И ЗАЗЕМЛЕННОЙ ЧЕРЕЗ РЕЗИСТОР НЕЙТРАЛЯМИ

Короткевич М.А., Протас А.М.

(Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь, г. Минск)

В Республике Беларусь в электрических сетях напряжением 6...35 кВ, работающих с изолированной нейтралью или компенсацией емкостных токов, главное преимущество которых наиболее эффективно реализуется в воздушных сетях и состоит в возможности обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей в течение определенного времени при однофазных замыканиях на землю, постепенно внедряется заземление нейтрали через резистор и немедленное отключение линий с возникшими на них однофазными замыканиями на землю.

Рассмотрим уровни перенапряжений, имеющие место при металлических и дуговых замыканиях на землю в сети с различными способами заземления нейтрали.

Сеть с изолированной нейтралью.

При металлическом замыкании фазы на землю, напряжение замкнувшейся фазы считается равным нулю, а напряжение смещения нейтрали U_N достигает фазного значения. Тогда напряжение поврежденных фаз относительно земли становятся равными линейным значениям и остаются такими до прекращения однофазного замыкания на землю.

Относительно протекания процесса повторных дуговых зажиганий на землю в литературе существуют различные мнения, связанные с продолжительностью горения дуги (половина периода промышленной или собственной частоты), возникающих уровнях перенапряжений на поврежденных и здоровых фазах, а также значений напряжений смещения нейтрали в момент первого и повторного зажиганий заземляющей дуги.

Укажем наиболее часто встречающиеся оценки отмеченных параметров (табл. 1). При этом объяснения процесса горения дуги по всем указанным в табл. 1 теориям, начинается с того, что первое зажигание дуги происходит при максимальном отрицательном значении напряжения поврежденной фазы. Повторные же зажигания дуги представляются в виде металлических замыканий. Так как высокочастотный ток в переходном процессе больше емкостного тока частотой 50 Гц, то обрыв дуги совершается в момент перехода через нуль высокочастотного тока, т.е. в момент максимума напряжения высокочастотных колебаний.

По теории У. Петерсена [1], частота собственных колебаний при зажигании дуги f_1 определяется суммарной индуктивностью цепи замыкания на землю ($1,5L$) и емкостями неповрежденных фаз $2C$.

При учете затухания в контуре с сопротивлением r и междуфазных емкостей C_m предельные значения перенапряжений достигают $3,9U_{\phi m}$, а наибольшее напряжение на поврежденной фазе равно $3,6U_{\phi m}$.

Представление повторных зажиганий дуги в виде металлических замыканий освобождает от необходимости учета у дуги вольт-амперной зависимости и позволяет рассматривать напряжение на дуге с четко выраженным пиками гашения и зажигания.

Из табл. 1 видно, что после каждого гашения дуги по теории У. Петерсена имеет место постоянное нарастание напряжения смещения нейтрали. Восстановление напряжения на поврежденной фазе после гашения дуги имеет колебательный характер с высокочастотным пиком, превышающим величину фазного напряжения. После полупериода перенапряжения изменяют свой знак.

Таблица 1 – Изменение напряжений смещения нейтрали, поврежденных и неповрежденных фаз дуговых замыканий в сетях с изолированной нейтралью

Напряжен ия фаз U_A , U_B , U_C и нейтрали U_N	Напряжение фаз по отношению к номинальному фазному напряжению в момент времени						Продолжительн ость горения заземляющей дуги, с	Периодич ность повторных зажиганий дуги, с	Примечание
	Предшеству- юще го замыкания	Замы- кания фазы на землю	Погасания заземля- ющей дуги	Предшеству- юще го повторному зажиганию дуги	Повтор- ного зажига- ния дуги	Повтор- ного погаса- ния дуги			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U_A	0,5	2,5	2,17	1,17	-0,5	-4,17	$1/2f_l$	0,01	Теория Петерсена [1]
U_B	0,5	2,5	2,17	1,17	-0,5	-4,17			
U_C	-1,0	0	0,67	2,67	0	-3,6			
U_N	0	1,67	1,67	1,67	-0,3	-2,78			
U_A	0,5	2,5	-1,5	-0,5	-0,5	3,5	0,01	0,02	Теория Д. Петерса Х. Слепяна [1]
U_B	0,5	2,5	-1,5	-0,5	-0,5	3,5			
U_C	-1,0	0	0	0	-2,0	0			
U_N	0	0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0			
U_A	1,0	0	0	1,0	0	0	$1/2f_l$	0,01	По данным [2]
U_B	0,5	1,5	2,3	-0,5	-1,5	-3,5			
U_C	0,5	1,5	2,3	-0,5	-1,5	-3,5			
U_N	0	1,0	1,5	0	-1,0	-2,3			

Так как электрическая прочность промежутка в месте повреждения ограничена, то ограничены колебания напряжений на емкостях неповрежденных фаз и напряжения смещения нейтрали. Следовательно, значения дуговых перенапряжений тоже имеют свой предел.

По теории Дж. Петерса и Х. Слепяна, максимальное перенапряжение на здоровых фазах достигают $3,5U_{\phi m}$; на поврежденной ($-2U_{\phi m}$); напряжение смещения нейтрали после каждого гашения дуги ($-U_{\phi m}$). Перенапряжения знака не изменяют.

С учетом затуханий свободных колебаний, максимальные перенапряжения не превышают ($3,0-3,1U_{\phi m}$).

В соответствии с [2] максимальные значения напряжения поврежденных фаз при первом зажигании дуги составляет $2,3U_{\phi m}$, при повторном значении $-3,5U_{\phi m}$.

Данные табл. 1 указывают на различные в оценках изменения напряжения в переходных процессах при дуговых замыканиях на поврежденных фазах (от 0 до ($-3,6U_{\phi}$)), неповрежденных фазах (от $0,5U_{\phi}$ до ($-4,1U_{\phi}$)), нейтрали (от 0 до ($-2,78U_{\phi}$)).

Для нормальной изоляции перенапряжения большой опасности не представляют, но они охватывают всю сеть и продолжаются до тех пор, пока не ликвидируется дуговое замыкание перемежающего характера. При наличии элементов сети с ослабленной изоляцией, дуговые перенапряжения могут приводить к междуфазным перекрытиям, вызывающим их аварийное отключение.

Сеть с компенсированной нейтралью.

Рациональным режимом работы дугогасящих реакторов считается режим их резонансной настройки, т.е. когда имеет место резонанс (равенство) емкостных токов линии и сдвинутого по отношению к нему на 180° индукционного тока, создаваемого катушкой реактора.

Максимальная длительность работы реактора при наибольшем токе и номинальном напряжении не должна превышать 6 часов.

Считается, что резонансная настройка дугогасящего реактора обеспечит минимальный ток в месте замыкания, минимальную скорость восстановления напряжения на поврежденной фазе после гашения дуги и минимальный уровень дуговых перенапряжений.

Однако в практике эксплуатации электрических сетей обеспечить режим резонансной настройки дугогасящих аппаратов не представляется возможным. Это связано с тем, что емкость сети, подключененная к данной секции шин напряжением 10 или 35 кВ центров питания или подстанций непрерывно изменяется за счет отключения отдельных линий для плановых и аварийных ремонтов, а также подключения новых линий или включения линий после выполнения на них работ технического обслуживания и ремонта. В условиях непрерывного изменения емкости сети и отсутствия системы плавной автоматической настройки компенсации, резонанс емкостных токов линий и индукционного тока реактора не может быть оперативно обеспечен в каждый момент времени.

Расстройка полной компенсации приводит к увеличению тока в месте повреждения и опасности появления значительных перенапряжений. Так, в электрической сети одного города за три года было зафиксировано 36 случаев одновременного повреждения нескользких (от 2 до 14 участков) питающих или распределительных линий напряжением 10 кВ, отходящих от одной и той же секции шин центра питания из-за перенапряжений на шинах 10 кВ центра питания и на шинах 10 кВ распределительных пунктов, возникших при однофазном замыкании на кабельных линиях в условиях расстройки компенсации емкостных токов дугогасящими реакторами. Особенно вероятны такие перенапряжения при несимметрии емкостных проводимостей линий или появления фазных режимов (например, недовключение или неодновременного включения в цепи заземляющих трансформаторов контактов фаз выключателей, обрыве токоведущего проводника). Ток расстройки на практике в ряде случаев, оказывается достаточным и для поддержания горения заземляющей дуги.

При применении дугогасящих реакторов основные недостатки сети с изолированной нейтралью те только не устраняются, но и дополняются специфическими недостатками, а именно увеличением в (20...100) раз напряжения смещения нейтрали при несимметрии фазных проводимостей, большей опасностью для изоляции неполнофазных режимов, более сложной релейной защитой и ограниченной продолжительностью работы реактора (до 6 часов).

Сеть с заземленной через резистор нейтралью.

Так как в настоящее время сети напряжением (6-10) кВ и 35 кВ достаточно надежны (имеется резервирование как на данном, так и на более высоком или более низком напряжениях, средства автоматического ввода резерва и т.п.), то будем рассматривать лишь возможность немедленного автоматического отключения однофазных замыканий.

Следовательно значение электрического сопротивления резистора должно выбираться исходя из необходимости гашения дуги, возникшей в месте повреждения, путем отключения места повреждения и дальнейшего восстановления диэлектрических свойств изоляции за время бестоковой паузы системы автоматического повторного включения.

Включение резистора в изолированную нейтраль сети приводит к появлению активного тока замыкания и увеличению в (1,2...2,0) раза тока замыкания на землю, а также к снижению напряжения смещения нейтрали, имеющее место из-за несимметрии емкостей фаз сети.

Однако при учете индуктивного сопротивления заземляющего трансформатора и большого активного сопротивления в месте однофазного замыкания, соответствующего обрыву провода с касанием его земли, ток замыкания на землю снижается более чем в два раза по сравнению с током замыкания в случае металлического соединения фазного провода с землей.

До отключения однофазного замыкания на землю (расчетной продолжительностью до 10 с) в сети с нейтралью, заземленной через резистор, также как и в сети с изолированной нейтралью, будет происходить горение дуги и перенапряжения по значению такие же как при первом зажигании дуги, будут также воздействовать на изоляцию.

Нами показано [3], что апериодическое затухание высокочастотных колебаний на поврежденных фазах реальной сети достигается при сопротивлении резистора в нейтрали не менее 100 и 400 Ом (соответственно в сети с кабельными и воздушными линиями напряжением 10 кВ) и 200 Ом (в сети с воздушными линиями напряжением 35 кВ).

Подключенный к сети резистор разрядит ее емкость за время, меньшее полупериода промышленной частоты, что указывает также на отсутствие возможности возникновения феррорезонансных явлений в цепи измерительных трансформаторов напряжения.

Тем не менее, в сети с резистором в нейтрали не обеспечивается эффективное заземление нейтрали. Поэтому фазную изоляцию следует выполнять также как и в сети с изолированной или компенсированной нейтралью, на линейное напряжение. Однако применение резисторов для заземления нейтрали сети не требует модернизации системы заземления и не приводит к утяжелению условий работы коммутационных аппаратов. Количество отключений линий из-за однофазных и междуфазных замыканий в случае заземления нейтрали через резистор возрастает примерно в 2,5 раза по сравнению с работой сети и изолированной нейтралью при одновременном снижении в большее число раз продолжительности воздействия на изоляцию перенапряжений в случае однофазных замыканий на землю.

На трехфазной модели-тренажере городской кабельной электрической сети напряжением 10 кВ для каждого из указанных видов рабочего заземления нейтрали нами фиксировались с помощью электронного осциллографа и персонального компьютера параметры электрического режима при однофазных замыканиях на землю (фазные и междуфазные значения напряжения, тока замыкания на землю и ток в нейтрали сети). При

этом оказалось, что значения перенапряжений в сети с изолированной и компенсированной нейтралями не превышали указанных [1] в соответствии с теорией Дж. Петерса и Х. Слепяна. В сети с заземлением нейтрали через резистор перенапряжения не происходили $2,3U_{\phi_m}$, т.е. были такими же, как и при первом зажигании дуги.

Литература

1. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. –М.: Энергия, 1974. – 152 с.
2. Защита сетей 6...35 кВ от перенапряжений: Под ред. Ф.Х. Халилова, Г.А. Евдокунина, А.И. Таджибаева. –СПб.: Энергоатомиздат, Санкт-Петербургское отделение, 2002. -272 с.
- 3.Короткевич М.А. Эксплуатация электрических сетей /М.А. Короткевич. –Минск: Вышэйшая школа, 2005. – 364 с.