

УДК 621.311:551.516.4

А.С.Чумаков (6 курс, каф. ИЭиТВН), Н.И.Гумерова, к.т.н., доц.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСА МЕР ЗАЩИТЫ ОТ ГРОВОВЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НА ПОДСТАНЦИЯХ 110 КВ В РЕГИОНАХ С ВЫСОКООМНЫМИ ГРУНТАМИ

Для подстанций ОАО «Колэнерго» класса 110 кВ проводился анализ грозоупорности при замене всех защитных устройств (преимущественно вентильных разрядников (ВР)) на нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН). Так как ОПН обладает лучшими характеристиками, чем ВР, а именно, вольт-амперная характеристика проходит ниже, т.е. возможно более глубокое ограничение напряжений, то одновременно рассматривалась задача оптимизации комплекса грозозащитных мероприятий. Полный комплекс включает грозозащитные тросы, сопротивление заземления опор воздушных линий (ВЛ) и защитные аппараты. Дополнительно необходимо выяснить, можно ли при этом избавиться от грозозащитных тросов. Если последнее невозможно, определить, какова необходимая минимальная длина тросового подхода.

Особенностью Кольского полуострова является высокое значение удельного сопротивления грунта ($\rho_{гр} \geq 700 \text{ Ом}\cdot\text{м}$), что гораздо больше средних величин для России (обычно принимают 100 Ом·м). Поэтому в соответствии с [1] сопротивления заземления опор варьировались в расчетах: 30, 60, 120 Ом. Последнее обстоятельство делает особо опасными воздействия молний на оборудование подстанций. Заземление опор, молниеотводов и других элементов является необходимым условием эффективной грозозащиты электрических сетей и подстанций: чем меньше сопротивление заземления, тем ниже величина грозовых перенапряжений, воздействующих на изоляцию. Кроме того, линии Кольской энергосистемы подвержены сильным ветровым нагрузкам, усугубляемым возможностью налипания снега и образования гололеда на проводах.

Все предложенные к анализу подстанции выполнены по схемам «Мостик» и производным от этой схемы: «Тупиковая с одним трансформатором», «Тупиковая с двумя трансформаторами», «Мостик с одним трансформатором». Все вариации схем определяются ремонтными режимами работы и являются временными. Однако, при 100 днях грозового сезона (при продолжительности грозового сезона 3 месяца), 10...20 дней функционирования подстанций в измененном режиме является существенным, даже при относительно небольшом числе грозовых часов на Кольском полуострове (не более 20).

В расчётах приняты опоры металлические башенного типа для одноцепных или двухцепных линий. Исходя из этих параметров определены вольт-секундные характеристики линейной изоляции, число прямых ударов молнии, параметры, определяющие возможную деформацию волн и т. д.

Надежность грозозащиты определяется по соответствию показателя надежности M , который представляет из себя математическое ожидание периода безаварийной работы оборудования подстанции, рекомендациям [2]. Так для класса напряжения 110 кВ рекомендуемая величина M составляет 300...400 лет. Соответственно M определяется как обратная величина β – вероятного количества за год опасных для оборудования волн, приходящих на подстанции с воздушных линий вследствие прямых ударов молнии в ВЛ. При этом рассматриваются как прорывы молнии непосредственно на фазный провод мимо тросовой защиты, так и удары в опоры и трос с последующим обратным перекрытием на фазный провод. Численные расчеты выполняются с помощью программного комплекса, разработанного в СПбГПУ, рекомендованного [2] к применению.

Результаты расчетов сведены в табл. 1, где приведены коэффициенты успешности грозозащиты k , определяемые как отношение расчетных показателей надежности к рекомендуемой величине (300 лет), и $L_{п}$ — минимальные необходимые длины защищенных подходов ВЛ. Курсивом выделены случаи с недостаточной грозоупорностью.

Таблица 1. Успешность защитных мероприятий: ОПН – грозозащитный трос – заземление опор

Режим работы	Сопротивление заземления опор ВЛ, Ом	Стандартная схема грозозащиты		Грозозащитный трос отсутствует					
				Дополнительные ОПН					
				нет		1		2	
		k	$L_{п}$, км	k	$L_{п}$, км	k	$L_{п}$, км	k	$L_{п}$, км
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Подстанции ПС-18А, 26, 31, 40Б, 48А, 54, 61, 62, 69, 72, 78, 106									
Нормальный раздельный режим	30	24,4	0,7	1,66	1,5	–	–	–	–
	60	6,06	1,0	<i>0,67</i>	1,5	7,37	1,0	–	–
	120	1,84	1,5	<i>0,31</i>	1,8	3,63	1,3	–	–
Нормальный замкнутый режим	30	8,09	0,7	5,2	0,7	–	–	–	–
	60	67,8	0,7	2,73	1,0	–	–	–	–
	120	10,9	1,0	1,45	1,0	–	–	–	–
Ремонтный режим 1 (мостик с двумя ВЛ и одним трансформатором)	30	15,7	0,7	<i>0,92</i>	1,0	–	–	–	–
	60	3,74	1,0	<i>0,35</i>	1,5	3,78	0,7	–	–
	120	<i>0,77</i>	1,5	<i>0,17</i>	>1,5	1,74	1,0	16,9	0,7
Ремонтный режим 2 (мостик с одной ВЛ и двумя трансформаторами)	30	∞	0	12,7	0,7	–	–	–	–
	60	201	0,4	4,29	0,7	–	–	–	–
	120	43,5	0,7	2,42	1,0	–	–	–	–

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сумма режимов (нормальный замкнутый + ремонтный 1)	30	8,95	0,7	2,69	1	–	–	–	–
	60	15,3	1	1,16	1,5	–	–	–	–
	120	3	1,5	<i>0,58</i>	>1,5	–	–	–	–
Подстанция ПС-80									
Нормальный раздельный режим	30	15,7	0,7	1,39	0,7	28	0,4	–	–
	60	5,71	1,0	<i>0,56</i>	1,3	7,94	0,7	–	–
	120	5,0	1,6	<i>0,27</i>	> 1,8	3,93	1,0	–	–
Нормальный замкнутый режим	30	∞	0	7,16	0,4	–	–	–	–
	60	182	0,4	2,32	0,7	–	–	–	–
	120	50,6	0,4	1,66	1,0	–	–	–	–
Ремонтный режим 1 (мостик с двумя ВЛ и одним трансформатором)	30	12,6	0,7	<i>0,88</i>	0,7	–	–	∞	0
	60	5,07	1,0	<i>0,34</i>	1,3	–	–	62,8	0,4
	120	<i>0,6</i>	1,6	<i>0,15</i>	> 1,8	–	–	42,3	0,4
Ремонтный режим 2 (мостик с одной ВЛ и двумя трансформаторами)	30	19,7	0,4	8,78	0,4	–	–	95,3	0,4
	60	5,71	0,7	3,09	0,7	–	–	90,9	0,4
	120	1,59	1,0	<i>0,7</i>	1,0	–	–	58,1	0,4
Сумма режимов (нормальный замкнутый +	30	12,6	0,7	2,94	0,7	–	–	–	–
	60	22,8	1	1,1	0,7	–	–	–	–

ремонтный 1)	120	2,9	1,6	0,55	0,7	–	–	–	–
Подстанция ПС-41А									
Нормальный со связью 1	30	598,2	0,4	12,8	0,4	–	–	–	–
	60	∞	0,4	3,93	0,7	–	–	–	–
	120	4,6	0,4	1,96	1,3	–	–	–	–
Ремонтный и аварийный (2 ВЛ, 1 трансформатор)	30	8,59	0,7	1,47	0,7	–	–	295	0,4
	60	11,5	1,0	0,55	1,3	–	–	179	0,4
	120	1,84	1,6	0,22	>1,8	–	–	53,8	0,4
Ремонтный (1 ВЛ, 2 трансформатора)	30	∞	0	12,5 2	0,4	∞	0	–	–
	60	44700	0,4	4,73	0,4	206	0,4	–	–
	120	1471	0,4	2,57	0,4	132	0,4	–	–
Ремонтный (тупиковый режим – без связи 1: 1 ВЛ, 1 трансформатор)	30	33	0,7	2,62	0,7	51,0	0,4	–	–
	60	9,56	1,0	1,71	0,8	13,9	0,7	–	–
	120	6,83	1,6	0,45	>1,8	6,6	1,0	–	–
Сумма режимов (нормальный + рем. Тупиковый + рем. аварийный)	30	36,4	0,7	4,4	0,7	–	–	–	–
	60	35,9	1,0	1,7	1,3	–	–	–	–
	120	3,6	1,6	0,7	>1,8	–	–	–	–

Анализ результатов расчетов грозоупорности показывает, что при выполнении стандартного комплекса защитных мероприятий, а именно, оснащения ВЛ на подходе грозозащитными тросами и установке при каждом из силовых трансформаторов ограничителя перенапряжений, грозоупорность всего ответственного оборудования подстанций отвечает рекомендациям Руководящих указаний, т. е. математическое ожидание прихода опасных волн при сопротивлениях заземления опор не более 120 Ом не меньше 300 лет. Следовательно, можно ожидать, что повреждения ответственного оборудования в результате грозовых воздействий на 14 рассмотренных подстанциях будут происходить не чаще, чем 1 раз в 10 лет. Практически при сопротивлении заземления опор 30 Ом и 60 Ом такая ситуация будет возникать на порядок реже.

Длины защитных тросовых подходов при сопротивлении заземления опор 30 Ом не должны превышать 0,7 км, что составляет 3 пролета и соответственно 4 опоры. Это существенно ниже, чем предлагается в ПУЭ (1–3 км), тем более, что рекомендации ПУЭ предназначены для опор с сопротивлением заземления не более 10 Ом.

Использование на подходах подстанций дополнительных ОПН (по одному на ВЛ) позволяет работать вообще при отсутствии тросовых подходов, либо уменьшить их протяженность до 0,4 км (2 пролета – 3 опоры) даже при сопротивлении заземления опор 120 Ом. При этом частота появления опасных перенапряжений будет не только не менее, чем при стандартной схеме защиты, но в некоторых случаях даже выше.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Правила устройства электроустановок. Раздел 4. Распределительные устройства и подстанции. Седьмое издание. М.:Атомиздат, 2003.
2. Руководство по защите электрических сетей 6–1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений / Под ред. Н.Н. Тиходева.- СПб.: ПЭИПК, 1999.