

ра ЭПС и зависеть от входных сопротивлений участков тяговой сети, нагруженных по концам на сопротивления СФ соответствующих ТП. Анализ частотных характеристик входных сопротивлений участков позволяет сделать вывод, что при определенных условиях вблизи частоты 50 Гц возможно появление резонансных явлений, которые могут привести к усилению соответствующих частотных составляющих тягового тока. Они способны вызвать сбой в работе кодовых рельсовых цепей с несущей частотой 50 Гц. Следует отметить, что резонансные явления в области частоты 50 Гц определяются в основном апериодической емкостью на выходе СФ и суммарной индуктивностью реакторов СФ и внутренней индуктивностью агрегатов ТП, которая характеризуется не только параметрами тягового трансформатора и выпрямителя, но и режимами работы системы внешнего электроснабжения. При значениях емкости порядка 200–400 мкФ усиление гармоник тока частотой 50 Гц наблюдается при суммарной индуктивности порядка 13–15 мГн. Ввиду того, что даже при двухзвенных СФ индуктивность двух реакторов не превышает 11 мГн, подобные явления можно наблюдать только при "слабой" питающей энергосистеме, а также на старых типах ТП, получающих питание по линии 10 кВ. В этом случае внутренняя индуктивность вполне может достигать значения 2–4 мГн. Резонансные явления на более высоких частотах могут наблюдаться даже при мощной системе внешнего электроснабжения и оборудовании ТП однозвенными резонансно-апериодическими СФ с индуктивностью реактора 3–5 мГн и выходной емкостью 200–400 мкФ. При этом может оказываться мешающее влияние на работу систем, использующих тональные рельсовые цепи и систему АЛС-ЕН, использующей сигналы с частотой 175 Гц.

Рассмотренная проблема, очевидно, потребует унификации схем и параметров СФ ТП. А учитывая повсеместный отказ от устаревших воздушных линий связи, в качестве альтернативы возможно предложить применение вместо СФ одного реактора с повышенным значением индуктивности.

УДК 629.423.2.064.5+621.314.632

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ВОЛНОВЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ НОРМИРОВАНИИ ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА ТОКА ЭПС

А. В. ЕРМОЛЕНКО, Д. В. ЕРМОЛЕНКО

Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта МПС России

Применение на электрифицированных железных дорогах электроподвижного состава (ЭПС) с мощным полупроводниковым электроприводом наряду с существенным повышением технико-экономических показателей может оказывать негативное влияние на качество электроэнергии питающих сетей. В то же время новая редакция ГОСТ 13109-97 предъявляет повышенные требования к коэффициенту искажения синусоидальности напряжения и к коэффициенту n -й гармонической составляющей напряжения в точке общего присоединения (ТОП). Это вызывает необходимость разработки внутриведомственной системы нормированных показателей качества электроэнергии, позволяющих обеспечить электромагнитную совместимость (ЭМС) в существующей системе электрической тяги, а также предъявить требования при проектировании новых типов ЭПС и перспективных систем тягового электроснабжения.

В разработанных ВНИИЖТом "Технических требованиях к показателям качества электроэнергии на ЭПС и устройствах тягового электроснабжения на электрифицированных железных дорогах переменного тока" приведены уровни гармонических составляющих токов фаз тягового трансформатора на уровне 27,5 кВ, способных вызвать искажение напряжения в ТОП на вводах 110 кВ наиболее удаленной от источника питания тяговой подстанции, до уровня, характеризуемого нормально допустимыми значениями n -х гармонических составляющих этого напряжения согласно требованиям ГОСТ 13109-97 (таблица 1). Искажение питающего напряжения зависит от входного сопротивления питающей системы электроснабжения в ТОП в сторону источника бесконечной мощности, за который принимаются районные подстанции. Нормативные значения получены для интенсивного движения на межподстанционных зонах при наиболее худших условиях работы системы внешнего электроснабжения – отключение одной из опорных подстанций при питании трех тяговых подстанций по одноцепной ЛЭП 110 кВ длиной 150 км при расположении ТОП вблизи наиболее удаленной от источника питания тяговой подстанции. Выдержано требование к модулю вход-

ного сопротивления системы тягового электроснабжения относительно токоприемника ЭПС на основной частоте 50 Гц (до 30 Ом) согласно ГОСТ 6962-75.

Таблица 1 – Действующее значение нечетных гармоник тока в фазах тягового трансформатора (на уровне 27,5 кВ) при интенсивной тяговой нагрузке, вызывающих нормально допустимое значение коэффициента n-й гармонической составляющей напряжения в точке общего присоединения на уровне 110 кВ

Номер гармоники n	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39
Частота, Гц	150	250	350	450	550	650	750	850	950	1050	1150	1250	1350	1450	1550	1650	1750	1850	1950
$I_{\text{гн}}, \text{ A}$	10,74	4,445	0,586	0,124	0,267	0,176	0,048	0,116	0,091	0,045	0,087	0,088	0,043	0,077	0,075	0,041	0,070	0,070	0,041
$K_{\text{гн}}, 110 \text{ норм. \%}$	1,5	1,5	1,0	0,4	1,0	0,7	0,2	0,5	0,4	0,2	0,4	0,4	0,2	0,37	0,36	0,2	0,34	0,34	0,2

Перенос требований к гармоническим составляющим тока фаз тягового трансформатора к гармоническим составляющим тока электровоза не вполне корректен. Действительно, испытания новых типов электровозов проводятся в условиях испытательных полигонов, где их питание осуществляется от мощной энергосистемы при отсутствии резонансных явлений. При этом гармонические составляющие тока могут значительно превышать указанные нормированные значения, создавая впечатление о непригодности электровоза предъявляемым требованиям по уровню гармонических составляющих тока. В то же время в эксплуатационных условиях уровни гармоник тока ЭПС определяются волновыми процессами в системе электроснабжения и существенно ограничиваются при увеличении входного сопротивления в сторону генератора на резонирующих частотах (соответствует условию нормирования гармоник тягового тока). Для примера проведены расчеты с целью выявления закономерностей влияния волновых процессов на степень усиления гармоник сетевого тока шестипульсовых выпрямительных преобразователей тяговых подстанций постоянного тока (таблица 2).

Таблица 2 – Амплитудные значения n-х гармонических составляющих фазных токов (I_A) и линейных напряжений ($U_{\text{ЛВ}}$) в ТОП, находящейся на шинах ЛЭП 110 кВ ТП для условий резонанса и при его отсутствии

Номер гармоники n	Частота, Гц	Для условий резонанса			При отсутствии резонансов		
		$l_{\text{ЛЭП}}, \text{ км}$	$I_A, \text{ A}$	$U_{\text{ЛВ}}, \text{ кВ}$	$l_{\text{ЛЭП}}, \text{ км}$	$I_A, \text{ A}$	$U_{\text{ЛВ}}, \text{ кВ}$
5	250	238	4,58	36,83	10	8,22	344,8
7	350	170	2,08	23,53		4,99	293,9
11	550	108	1,09	19,50		3,15	292,2
13	650	91	0,66	13,98		2,45	269,9
17	850	69	0,45	12,18		1,68	244,2
19	950	61,5	0,31	9,21		1,38	225,8
23	1150	50,5	0,23	8,62		0,94	189,5
5	1250	46,5	0,20	7,91		0,80	173,8
29	1450	39,6	0,15	6,21		0,53	136,4
31	1550	37	0,12	5,65		0,45	124,8
35	1750	32,5	0,11	5,29	10	0,30	97,1
	1850	30,7	0,09	5,08		0,27	92,3

Для каждой из канонических гармоник в спектре сетевого тока выпрямительного преобразователя (выпрямленный ток составляет порядка 1500 А) в диапазоне 250–1850 Гц определены условия возникновения резонанса тока, определяемого волновыми параметрами одноцепной ЛЭП 110 кВ. Как видно, с увеличением частоты гармоники длина ЛЭП ($l_{\text{ЛЭП}}$), при которой наблюдается резонанс, уменьшается и составляет для 1850 Гц 30,7 км. Для этих же гармоник в таблице приведены значения тока при питании от мощной энергосистемы (длина ЛЭП 110 кВ составляет 10 км). Уменьшение гармонических составляющих тока на частотах, соответствующих резонансу тока в ЛЭП, составляет 2–4 раза. Учет аналогичных электромагнитных процессов в условиях испытаний нового

ЭПС на экспериментальном кольце позволит правильно оценить уровень его ЭМС с системой электроснабжения.

УДК 656.257

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ СТРЕЛОЧНЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

А. Н. КОВРИГА

Белорусский государственный университет транспорта

Полувековой опыт эксплуатации двухпроводной схемы управления стрелочным электроприводом постоянного тока позволил выявить ее недостатки, основным из которых является возможность получения контроля стрелки, не соответствующего ее фактическому положению, т.е. ложного контроля. Так, только на Белорусской железной дороге при относительно небольшой части всех стрелок железных дорог, оборудованных этой схемой, за последние пять лет зафиксировано три случая получения ложного контроля. В 1997 году на ст. Оболь при замене монтажа электропривода из-за ошибок электромеханика и дежурного по станции была создана опасная ситуация с выездом поезда на неправильный путь. В 2000 году на ст. Неман произошел сход одиночного локомотива на стрелке с подвижным сердечником при ремонте стрелочного кабеля. В 2002 году на ст. Бигосово получен ложный контроль стрелок съезда с последующим взрезом одной из стрелок проходившим по ней поездом.

В настоящее время на Белорусской железной дороге и железных дорогах других стран происходит замена двухпроводной схемы другими схемами, например, пятипроводной схемой управления стрелочным электроприводом с двигателем переменного тока. Вместе с тем, совершенствование двухпроводной схемы в направлении повышения безопасности ее работы является задачей актуальной по ряду причин. К ним относится: непосредственное влияние надежности ее работы на безопасность движения поездов; большее количество стрелок железных дорог, оборудованных этой схемой управления; длительный период времени, требуемый для переоснащения стрелок другими схемами; большой объем работ, количество материальных и трудовых ресурсов, необходимых для ее замены.

Повышение безопасности работы схемы только за счет организационных мер (изменение инструкций, регламента работ, обучение обслуживающего персонала и т.д.) является недостаточным.

В течение нескольких лет на кафедре «Автоматика и телемеханика» БелГУТа проводились исследования по разработке рекомендаций и технических решений, направленных на защиту схем управления от опасных отказов. В докладе приводятся результаты этих исследований.

Разработка схемных решений, полностью исключающих опасные отказы и учитывающих все возможные ситуации и ошибочные действия лиц, причастных к управлению и обслуживанию схем, практически не представляется возможной без их глубокой модернизации.

Наиболее приемлемой для внедрения является схема с контрольной цепью переменного тока с полярной избирательностью и контролем уровня переменного тока в первичной обмотке контрольного трансформатора. Данная схема предполагает наличие двух контрольных блоков БДР (плюсового и минусового) с различными параметрами. Схема проходит эксплуатационные испытания на станции Гомель.

Вместе с тем использование двух блоков БДР позволяет организовать диагностику схемы управления путем анализа на посту ЭЦ значений контрольного тока. В докладе приведен один из вариантов построения системы диагностики.

Анализ пятипроводной схемы управления электроприводом с двигателем переменного тока и лабораторные испытания показали возможность получения опасного отказа – ложного контроля положения стрелки при накоплении неконтролируемых отказов типа сообщения между проводами или неразмыкания контактов автопереключателя. На кафедре разработаны схемные решения, позволяющие привести указанные отказы к защитным.

В отличие от двухпроводной схемы управления одиночной стрелкой, где все отказы контролируются, схема управления спаренной стрелкой имеет ряд неконтролируемых отказов, накопление которых может также привести к ложному контролю. В частности, это явилось причиной получения ложного контроля с последующим взрезом стрелки на станции Бигосово Бел. ж.д. В докладе