

УДК 621.314.5

ПЕРЕДАЧА ПОСТОЯННОГО ТОКА НА БАЗЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ КАК ЭЛЕМЕНТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Н.В. Корбуков, Б.Г. Булатов, М.Е. Гольдштейн

Рассмотрены нормальный и послеаварийные режимы 7-узловой сети 220 кВ, содержащей передачу постоянного тока на базе преобразователей напряжения. Проанализировано влияние передачи на потери в сети при разных активных и реактивных мощностях преобразователей.

Ключевые слова: режимы электрической сети, электропередача постоянного тока, преобразователь напряжения.

Одно из ключевых требований, предъявляемых к энергосистеме, – это управляемость. Для его выполнения в энергосистеме должны быть активно-адаптивные элементы, способные с высоким быстродействием регулировать потоки активных и реактивных мощностей. Одними из таких элементов являются передачи и вставки постоянного тока на базе преобразователей напряжения (ППТН), позволяющие независимо регулировать потоки активных и реактивных мощностей как по величине, так и по направлению. Рассмотрим некоторые свойства ППТН при анализе как нормальных, так и послеаварийных длительных режимов энергосистемы, содержащей такие передачи.

Анализ проведем на базе 7-узловой сети 220 кВ с помощью программы расчета сети Networks, разработанной на кафедре ЭССиС ЮУрГУ (рис. 1). При интеграции модели ППТН в Networks была использована модель длительных режимов передачи с учетом базовых ограничений [1, 2, 3].

В нормальном режиме исследуемой энергосистемы (рис.1) наибольшая нагрузка узла 4 получает электроэнергию по ЛЭП 2-4, и в случае отключения этой линии мощность вынуждена протекать по пути 2-3-5-6-4, что приводит к недопустимому режиму по напряжениям в узлах. Поэтому узлы 3 и 4 должны быть связаны линией на переменном или постоянном токе. В случае с ППТН, по активной мощности она рассчитана на 100 МВт, и на двух преобразовательных подстанциях в узлах 3 и 4 принятые ограничения допускают генерацию в сеть до 50 МВАр реактивной мощности. Проанализируем послеаварийные режимы при отключениях ЛЭП № 4 (1 цепь), 5, 6, 7, 8 в случаях с включенными ППТН или ЛЭП № 9.

Результаты расчета потокораспределения и напряжений в узлах в различных нормальных и послеаварийных режимах сети приведены в таблице 1. При неизменной уставке по мощности передачи ее мощность не меняется при изменении режимов сети в широких пределах в то время, как ЛЭП № 9

загружается в зависимости от режима сети, от 51 до 146 МВт. Это говорит о большем потенциале по разгрузке линий при наличии в сети ППТН.

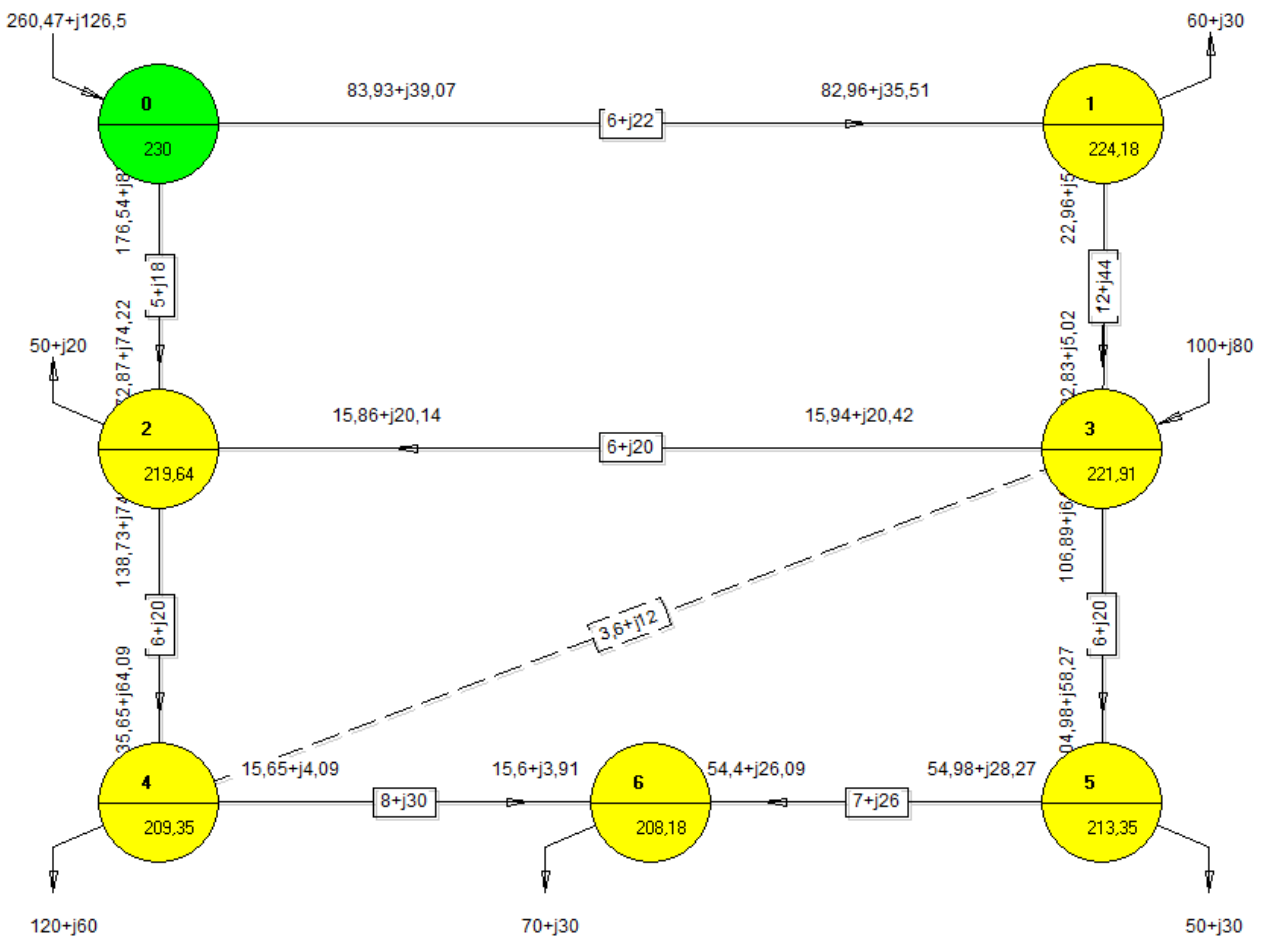


Рис. 1. Сеть в программе Networks

Кроме того, за счет генерации 50 МВар в узлах 3 и 4 ППТН обеспечивает более высокие уровни напряжений в сети. При проявлениях нарушения устойчивости энергосистемы преобразователи передачи могут форсировать выдачу реактивной мощности, снизив передаваемую активную мощность, таким образом еще больше поднимая сетевые напряжения.

Сравним величину потерь в ЛЭП №9 и ППТН, а также суммарные потери в сети в нормальном режиме. Потери в ППТН нелинейно зависят от мощности и складываются из потерь в преобразователях, трансформаторах, реакторах и потерь в вентилеях – коммутационных и на интервале проводимости, эта зависимость представлена в модели в виде функции, аппроксимирующей реальную экспериментальную зависимость потерь передачи CrossSoundCable [4]:

$$\Delta P(P_d) = 0,0002P_d^2 + 0,01P_d + 1,2$$

Таблица 1

Нормальный и послеаварийные режимы сети

	S ₄ ,MBA	S ₅ ,MBA	S ₆ ,MBA	S ₇ ,MBA	S ₈ ,MBA	S ₃₄ ,MBA	U ₂ ,кВ	U ₃ ,кВ	U ₄ ,кВ	U ₅ ,кВ	U ₆ ,кВ
Нормальный режим без 3-4	139+j74	107+j65	16+j20	16+j4	55+j28	0	219,3	221,6	208,2	212,5	206,8
Вкл. ЛЭП №9	80+j36	79+j44	-30-j6	43+j21	28+j12	84	221,0	219,7	215,6	213,5	211,3
Вкл. ППТН	71+j22	74+j55	-39+j49	47+j10	24+j22	100	226,6	229,8	222,7	223,1	219,8
Откл.ЛЭП №4 (1 цепь)	120+j70	129+j80	-1+j9	-5-j6	76+j41	0	219,2	220,0	200,7	209,4	201,9
Откл.ЛЭП №4,вкл.ЛЭП №9	56+j26	82+j46	-50-j16	39+j19	31+j13	105	221,1	218,4	213,5	212,0	209,4
Откл.ЛЭП №4, вкл.ППТН	60+j20	86+j59	-48+j46	36+j7	34+j25	100	226,4	229,2	220,1	221,8	217,9
Откл.ЛЭП №5	259+j187	107+j65	106+j83	126+j82	-50-j30	0	213,8	223,9	190,0	165,6	172,5
Откл.ЛЭП №5,вкл.ЛЭП №9	101+j51	79+j44	-15+j1	124+j77	-51-j32	146	219,5	219,0	211,6	190,6	196,6
Откл.ЛЭП №5, вкл.ППТН	152+j101	74+j55	24+j97	124+j77	-50-j30	100	223,0	231,9	209,2	184,9	191,9
Откл.ЛЭП №6	131+j64	115+j75	16+j20	8-j4	63+j37	0	218,6	225,6	209,3	216,0	209,6
Откл.ЛЭП №6,вкл.ЛЭП №9	103+j41	76+j44	-30-j6	46+j21	25+j11	65	221,3	218,5	214,9	212,5	210,3
Откл.ЛЭП №6, вкл.ППТН	88+j4	58+j77	-39+j49	64-j10	7+j44	100	224,5	233,2	221,5	224,9	219,8
Откл.ЛЭП №7	122+j68	124+j72	3+j15	16+j4	71+j34	0	219,8	221,2	210,4	211,5	205,2
Откл.ЛЭП №7,вкл.ЛЭП №9	70+j32	124+j72	-39-j13	43+j21	71+j34	51	220,8	218,7	216,1	208,9	202,4
Откл.ЛЭП №7, вкл.ППТН	23+j11	123+j71	-78+j36	28+j12	71+j33	100	226,2	226,6	224,5	216,4	209,2
Откл.ЛЭП №8	198+j117	50+j31	63+j50	71+j35	55+j28	0	217,9	224,0	202,3	219,9	194,6
Откл.ЛЭП №8,вкл.ЛЭП №9	88+j40	50+j31	-24-j3	71+j34	31+j13	106	220,8	219,8	214,8	215,6	207,6
Откл.ЛЭП №8, вкл.ППТН	95+j49	50+j31	-19+j68	71+j34	24+j22	100	225,4	230,5	218,0	226,2	210,1

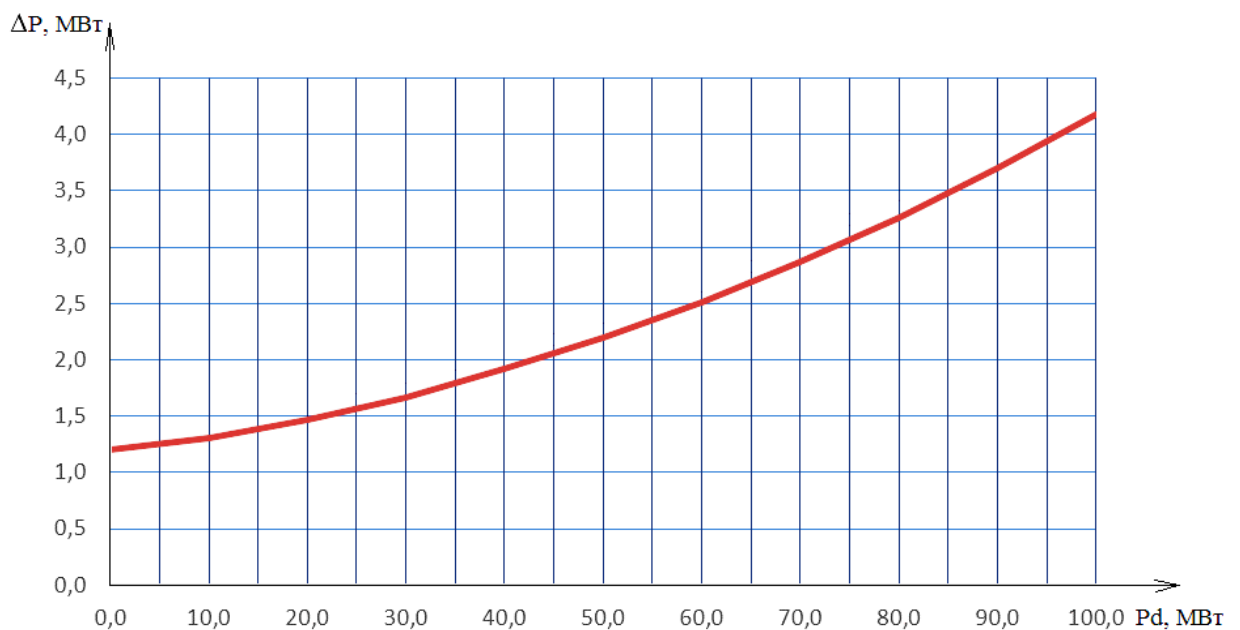


Рис. 2. Функция потерь в ППТН от активной мощности

На холостом ходу ППТН суммарные потери в преобразователях составляют 1,2 % от номинальной мощности передачи (рис. 2), а при полной нагрузке – 4,2 %. Таким образом, в нормальном режиме сети потери в ППТН составляют 4,2 МВт. Для ЛЭП № 9 потери при нагрузке 100 МВт составляют 1 МВт. Однако, благодаря возможности генерации ППТН реактивной мощности в сеть за счет более высоких уровней напряжений в нормальном режиме полные сетевые потери составляют 10,8 МВт. В случае работы сети с ЛЭП № 9 полные потери в сети – 10,2 МВт. Таким образом, несмотря на более высокие потери в ППТН чем в передаче переменного тока, полные сетевые потери оказались сопоставимы по сравнению с вариантом с ЛЭП № 9, а ППТН создает дополнительные функциональные свойства сети, превращая ее в активно-адаптивную сеть.

Выводы

На основе анализа нормальных и послеаварийных режимов 7-узловой сети 220 кВ, содержащей ППТН показано влияние передачи на полные потери в сети при разных активных и реактивных мощностях преобразователей.

Библиографический список

1. Гольдштейн, М.Е. Универсальная математическая модель системы с вентильными асинхронными связями / М.Е. Гольдштейн, К.Ю. Филяев // *Электричество*. – 2008. – № 6. – С.12–18.
2. Гольдштейн, М.Е. Математическая модель длительных режимов передачи постоянного тока на базе преобразователя напряжения / М.Е. Гольдштейн, Н.В. Корбуков // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: «Энергетика»*. – 2012. – № 37. – С. 126–128.
3. Гольдштейн, М.Е. Допустимые длительные режимы передачи постоянного тока на базе преобразователя напряжения / Н.В. Корбуков, М.Е. Гольдштейн // *Электроэнергетика глазами молодежи: науч. тр. IV междунар. науч.-техн. конф., г. Новочеркасск, 14–18 октября 2013 г.* / Мино образования и науки РФ, Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: Лик, 2013. – Т. 1. – С. 148–151.
4. Van Eeckhout, B. The economic value of VSC HVDC compared to HVAC for offshore wind farms, in *Offshore (Conroe, TX)2008*, K.U. Leuven.

[К содержанию](#)