

УДК 621.321

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ УПРОЩЕННЫХ СХЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПОДСТАНЦИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 110/10 КВ

Морозов А.Г., Мороз А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Старжинский А.Л.

Схемы РУ подстанций должны удовлетворять экономически целесообразному уровню надежности. Уровень надежности схемы РУ в различных режимах работы может быть жестко регламентирован.

Результаты расчета надежности могут быть использованы для последующей оценки: частоты возможного полного или частичного погашения ПС, возможного недоотпуска электроэнергии, устойчивости работы энергосистемы, нарушения функционирования подключенных объектов и т. п.

При обосновании схем рассматриваются нормальный, ремонтные и послеаварийные режимы их работы.

В нормальном режиме все элементы схемы находятся в работе, и ПС должна обеспечивать передачу всей получаемой мощности в систему (за вычетом расходов на собственные нужды) и полное электроснабжение потребителей.

В ремонтном режиме один (или, при соответствующем обосновании, более) из элементов отключается для проведения планового ремонта.

Послеаварийные режимы — это режимы работы схемы после отказа (аварии) одного из элементов схемы. В качестве расчетных аварий рассматривается единичный отказ элемента схемы и отказ одного элемента во время ремонта другого. Нерасчетные аварийные режимы (отказ двух или трех элементов схемы), сопровождающиеся значительными разовыми экономическими последствиями, могут приниматься во внимание в случае, когда сравниваемые при расчетных авариях варианты схем равнозначны.

В послеаварийных режимах допускается снижение или даже перерыв транзитных потоков мощности, а также ограничение электроснабжения потребителей, но при наличии технико-экономического обоснования, которое является сопоставлением экономических последствий отказов элементов схемы (например, ущерб потребителей) с затратами на увеличение пропускной способности схемы, исключающей ограничение электроснабжения потребителей.

Обобщенным критерием при выборе схемы РУ при равном обеспечении качества функционирования ПС является минимум затрат на строительство и эксплуатацию РУ и подстанции в целом.

Для расчёта надёжности в этой работе используется программа «ТОPAS». Пакет прикладных программ «ТОPAS» позволяет проводить анализ надежности главных схем электрических соединений, включающих в себя распределительные устройства любого класса напряжения, генераторные присоединения, высоковольтные линии электропередачи, присоединения резервных трансформаторов собственных нужд и трансформаторы связи между ними.

Вычисление логических показателей надёжности главной схемы осуществляется на основе определения количества комбинаций событий (конъюнкций) $C(k)$, приводящих к отказу её функционирования k -го вида:

$$C(k) = \sum_i \sum_j \sum_s L(k), \quad (1)$$

где $L(k)$ - логическая функция, принимающая значение 0 или 1.

Вычисление частот отказов функционирования k -го вида $\lambda(k)$ и длительностей аварийного восстановления $T(k)$ в общем случае осуществляется по выражениям:

$$\lambda(k) = \sum_j \sum_i q(j) \lambda(i) Q(s/i) L(k); \quad (2)$$

$$T(k) = \frac{1}{\lambda(k)} \sum_j \sum_i q(j) \lambda(i) \min \left\{ \frac{t(j)}{2}; t(i); t_{0.п.} \right\} Q(s/i) L(k), \quad (3)$$

где $q(j)$ - относительная длительность j -го ремонтного режима (о.е.); $\lambda(i)$ - частота повреждения i -го элемента схемы (1/год); $t(i)$ - длительность послеаварийного восстановления i -го элемента схемы (ч); $t(j)$ - длительность j -го ремонтного режима работы схемы; $t_{О.П.}$ - время оперативных переключений (ч); $Q(s/i)$ - вероятность отказа в срабатывании s -го устройства РЗ или КА.

Коэффициент неготовности потребителей $K_{н}$ вычисляется по выражению:

$$K_{н} = \frac{T(k)\lambda}{8760} \tag{4}$$

Произведем расчет трех простейших схем электрических соединений подстанций напряжением 110 кВ, предварительно пронумеровав все элементы (рис 1). Показатели надежности элементов схемы напряжением 110 кВ представлены в таблице 1.

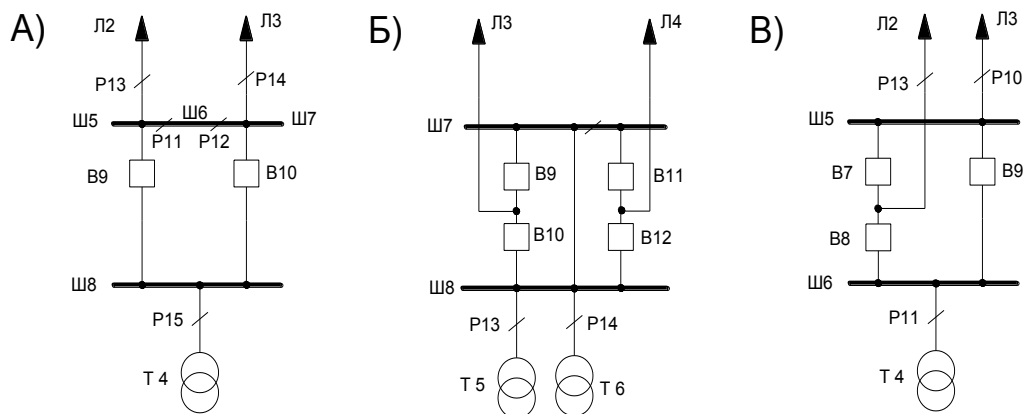


Рисунок 1. Схемы электрических соединений напряжением 110 кВ

Таблица 1 – Показатели надежности элементов электрической сети

Элементы схемы	Частота отказа, 1/год	Время восстановления, ч	Частота планового ремонта, 1/год	Длительность планового ремонта, ч
Воздушные выключатели	0,01	30,7	0,080	100
Силовые трансформаторы	0,014	76,0	0,750	28,0
Воздушные линии на 1 км	0,52	14,4	2,000	14,5
Сборные шины 110 кВ	0,048	5,0	0,166	4,0

Схема а) Заход-выход

Схема применяется на напряжении 110–220 кВ для проходных или ответвительных однострансформаторных ПС с двусторонним питанием, начальный этап более сложной схемы.

В схеме устанавливается два выключателя со стороны линии, которые позволяют отключать поврежденный участок линии. Данная схема может применяться как с ремонтной перемычкой, так и без нее.

Схема б) Схемы четырехугольника

В РУ подстанций при четырех присоединениях и необходимости секционирования транзитных линий и мощности трансформаторов от 125 МВ-А при напряжении 110, 220 кВ и любой мощности при напряжении 330—750 кВ.

Схема в) Треугольник

Схема применяется как для однатрансформаторных ПС 110-220 кВ, так и для ПС 330-750 кВ как начальный этап более сложных схем

После расчета в программе «ТОPAS» получим следующие результаты:

Таблица 2 - Результаты анализа надежности:

Код аварии	Суммарная частота, 1/год	Среднее время восстановления, ч	Коэффициент неготовности
Схема а)	«Заход-выход»		
1Т 2Л	0,0001	0,50	0,000424
1 Л		14,90	0,000602
Схема б)	«Схемы четырехугольника»		
1Т	0,0002	0,50	0,002445
2Т 2Л	0,629	4,31	0,0003013
1Л		14,90	0,000000084
Схема в)	«Треугольник»		
1Т 2Л	0,0001	0,50	0,0004235
1Л		14,90	0,00030136

Примечание: В укрупненных кодах запись 1 Л обозначает потерю линии; 1Т 2Л – отключение одновременно одного любого трансформатора и две воздушных линии.

По результатам расчётов можно сделать вывод: схема «четырёхугольника» в 5,8 раза надежнее, чем схема «треугольник». Для данной схемы вероятность возникновения отказов и время простоя оборудования наименьшее. Наихудшей считается схема «Заход-выход». При проектировании подстанций с такими схемами необходимо предусмотреть установку надёжных коммутационных аппаратов (элегазовых выключателей), позволяющие снизить вероятность их возможных отказов, а также время простоя оборудования.

Литература

1. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. – 3-е изд. – М., Энергоатомиздат, 1987 г.
2. Электротехнический справочник: в 4 т. Т.3. Производство, передача и распределение электрической энергии/ Под общ. Ред. Профессоров МГЭИ. – 9-е изд. – М.: Издательство МЭИ, 2004г.
3. Схемы электрических соединений подстанции: учебное пособие/ С.Е.Кокинб С.А. Дмитриев, А.И.Хальясмаа– Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2015. – 100 с.