

УДК 621.321

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ГЛАВНЫХ СХЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПОДСТАНЦИЙ

Крапивина Т.С., Янушкевич К.С.

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

Электроэнергетические системы являются динамическими системами сложного типа, состоящими из большого числа составляющих элементов (генераторы, трансформаторы, линии электропередачи, коммутационные аппараты и др.). При этом сложность системы определяется не только числом элементов, но главным образом наличием связей между ними. Для ЭЭС сложность определяется тем, что все ее элементы функционально связаны единством процесса производства, распределения и потребления электрической энергии.

Проблема оценки и выбора рациональной степени надежности электрических станций и электроэнергетических систем является одной из наиболее важных проблем на современном уровне развития электроэнергетики.

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. Пакет данных программ предназначен для вычисления частот и длительностей возможных аварийных режимов схемы, сопровождающихся отключением от сети генераторов, воздушных линий, трансформаторов связи, определения снижения генерируемой в систему мощности и соответствующего недоотпуска электрической энергии с учетом имеющегося в системе резерва.

Эффективный способ описания схем электрических соединений ЭС достигается при использовании коммутационного графа, ветвями которого являются коммутационные аппараты (КА) различных типов, а узлами - остальные связываемые ими элементы схемы. Гибким и эффективным подходом при моделировании надёжности схем электрических соединений ЭС является логико-цифровой компьютерный анализ, позволяющий производить описание схем с использованием наиболее экономичных матриц, обеспечивающих минимальную трудоёмкость подготовки исходных данных и минимум занимаемой компьютерной оперативной памяти на этапе выполнения расчётов.

Для расчёта надёжности станции используются такие показатели как:

- ✓ частоты отказов;
- ✓ длительности послеаварийного восстановления;
- ✓ частоты плановых ремонтов;
- ✓ длительности плановых ремонтов;
- ✓ вероятности отказа в срабатывании основных комплектов релейных защит при возникновении КЗ;
- ✓ вероятности отказа в срабатывании при отключении КЗ (только для выключателей).

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:

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

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

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;

$t_{O.П.}$ - время оперативных переключений (ч);

$Q(s/i)$ - вероятность отказа в срабатывании s -го устройства РЗ или КА.

Произведем расчет трех схем электрических соединений напряжением 330 кВ, предварительно пронумеровав все элементы (рис.1). Показатели надежности элементов схемы напряжением 330 кВ представлены в табл.1.

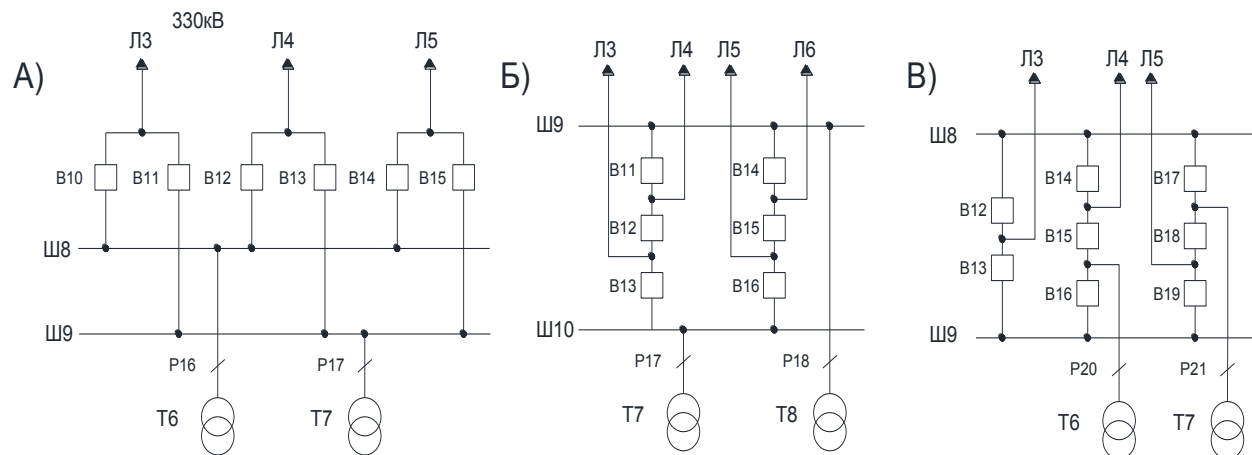


Рисунок 1. Схемы электрических соединений напряжением 330 кВ

Таблица 1 – Показатели надежности элементов

Элементы схемы	Частота отказа, 1/год	Время восстановления, ч	Частота планового ремонта, 1/год	Длительность планового ремонта, ч
Схема а «трансформаторы - шины с присоединением линий на два выключателя»				
Мнимые генераторы	0,00010	0	0	0
Высоковольтные линии	0,00200	9	0,500	20
Трансформаторы	0,04100	74	1	30
Шины	0,01300	5	0,166	3
Выключатели	0,02600	30	0,2	137
Схема б «трансформаторы - шины с полуторным присоединением линий»				
Мнимые генераторы	0,00010	0	0	0
Высоковольтные линии	0,00200	9	0,500	20
Трансформаторы	0,04100	74	1	30
Выключатели	0,01300	5	0,166	3
Схема в Полуторная схема				
Мнимые генераторы	0,00010	0	0	0

Высоковольтные линии	0,00200	9	0,500	20
Трансформаторы	0,04100	74	1	30
Шины	0,01300	5	0,166	3
Выключатели	0,02600	30	0,2	137

Схема а) («трансформаторы - шины с присоединением линий на два выключателя») позволяет в случае возникновения КЗ на шине, а также при ремонте одного из выключателей сохранить электроснабжение потребителей. Однако вследствие присоединения линий на два выключателя увеличивается количество операций, необходимых по выводу линии в ремонт. Также в случае КЗ на шине будет лишена часть генерации.

Схема б) («трансформаторы - шины с полуторным присоединением линий») схожа с полуторной схемой. Отличие состоит в том, что присоединение трансформаторов выполнено напрямую к шине. К недостаткам такой схемы в дополнение к минусам полуторной схемы можно отнести отключение трансформатора при КЗ на шинах, а также полное погашение ПС при КЗ на двух шинах одновременно, в то время как для полуторной схемы даже при таком повреждении при правильном проектировании схемы можно сохранить электроснабжение потребителей.

Схема в) (полуторная схема) обладает следующими достоинствами:

- При ревизии любого выключателя все присоединения остаются в работе
- Высокая надёжность (все цепи остаются в работе даже при повреждениях на сборных шинах)

- Ремонт оборудования происходит без нарушения работы цепей
- Количество необходимых операций разъединителями значительно меньше, чем в схеме с двумя рабочими и обходной системами шин

Однако такая схема обладает и недостатками:

- Отключение КЗ на линии производится двумя выключателями, что увеличивает общее количество ревизий выключателей

- Удорожание конструкции РУ при нечётном числе присоединений
- Снижение надёжности в случае, когда число линий не совпадает количеству трансформаторов (возможное отключение одновременно двух линий (трансформаторов))

- Усложнение цепей РЗ

- Увеличение количества выключателей в схеме

Получим следующие результаты:

Таблица 2 - Результаты анализа надёжности

Код аварии	Суммарная частота, 1/год	Среднее время восстановления, ч	Коэффициент неготовности
Схема а)	«трансформаторы - шины с присоединением линий на два выключателя»		
1Т 1Л	0,117	0,51	0,0000068
2Т 3Л	0,0213	0,50	0,0000012
Схема б)	«трансформаторы - шины с полуторным присоединением линий»		
1Т 1Л	0,224	35,47	0,00091
2Т 4Л	0,096	1,18	0,000129
Схема в)	полуторная схема		
1Т 1Л	0,112	0,50	0,00000639
2Т 3Л	0,0000981	0,50	0,000000056

По результатам расчётов можно сделать вывод: наиболее надёжной считается полуторная схема. Для данной схемы вероятность возникновения отказов и время простоя

оборудования наименьшее. Наихудшей считается схема «трансформатор - шины с полуторным присоединением линий» вследствие того, что в случае возникновения КЗ на сборных шинах, действием защит будут отключены выключатели как со стороны линий, так и со стороны трансформаторов. Сравнивая коэффициенты неготовности, можно отметить, что при коде аварии 1Т 1Л коэффициент полуторной схемы меньше коэффициента неготовности схемы «трансформатор - шины с полуторным присоединением линий» в 142,4 раза, а при коде аварии 2Т 3Л – в 23035,7 раза. 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.