

Надежность развивающихся систем энергетики

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ГЛАВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ СОЕДИНЕНИЙ ПОДСТАНЦИЙ

Драко М.А., РУП “Белэнергосетьпроект”, м.т.н., аспирант БНТУ

Старжинский А.Л., к.т.н., доцент БНТУ

Иркутск,
01-07.07.2018 г.



Надежность развивающихся систем энергетики

Постановка задачи

Интенсивное старение и износ оборудования ПС и ЭС, усложнение условий их работы стали определяющими факторами снижения надежности ЭСС в современных условиях (для Республики Беларусь износ электрооборудования ПС 35-330 кВ составляет 80%).

Основные способы обеспечения надежности ЭС: резервирование элементов, резервирование структуры и пропускной способности сети, включая схемы ПС, а также устройств РЗиА, таких как АПВ, АЛАР и др.

При эксплуатации надежность обеспечивается путем текущих и капитальных ремонтов, а также за счет применения высоконадежных выключателей и РУ.

Для Белорусской энергосистемы в связи со строительством АЭС, вопросы выбора главных схем проектируемых ПС являются весьма актуальными ПС.



Надежность развивающихся систем энергетики

Показатели надежности ПС за рассматриваемый промежуток времени

← средняя длительность
восстановления
электроснабжения и транзита

→ разрыв транзита

↓
среднее число погашений сборных шин
различных номинальных напряжений,
отдельных секций и присоединений



Надежность развивающихся систем энергетики

Отказы трансформаторов,
коммутационной аппаратуры

Ошибочные
действия персонала

Отказы устройств
регулирования напряжения и
реактивной мощности,
а также устройств РЗА

**Отказы ПС
в функционировании**



Надежность развивающихся систем энергетики

Методы расчета надежности схем типовых ПС

1	Аналитический
2	Таблично-аналитический
3	Таблично-логический
4	Метод использующий теорию марковских процессов
5	Метод дерева отказов
6	Модифицированный метод путей и сечений и др.

Применение методов определяется:

уровнем допущений, полнотой учитываемых факторов, структурой и содержанием требуемой исходной информации и др.



Надежность развивающихся систем энергетики

Анализ надежности схем электрических соединений проведен с использованием таблично-логического метода, который позволяет выявить все виды возможных аварий, возникающих при наложении (совпадении) событий отказов элементов главной схемы электрических соединений ПС на ремонтные и эксплуатационные режимы, которые отличаются составом и повреждаемостью оборудования.

Выявляются все виды возможных аварий при развитии аварий из-за отказов срабатывания устройств РЗА и КА.

Для всех выявляемых видов аварий вычисляются частоты их возникновения и определяются средние длительности их ликвидации.



Надежность развивающихся систем энергетики

Вывод расчетных выражений для частоты и длительности аварий основан на последовательном применении формулы полной вероятности при рассмотрении множества возможных наложений событий.

На основе таблично-логического метода расчета разработан пакет программ “ТОPAS”, который позволяет проводить анализ надежности главных схем электрических соединений, включающих в себя РУ любого класса напряжения, трансформаторы, высоковольтные линии электропередачи



Надежность развивающихся систем энергетики

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

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

где $L(i, j, s, k)$ – логическая функция, принимающая значение 0 или 1.



Надежность развивающихся систем энергетики

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

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

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

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;

$t_{\text{оп}}$ – время оперативных переключений, ч;

$Q(s/i)$ – вероятность отказа в срабатывании РЗ или КА.



Надежность развивающихся систем энергетики

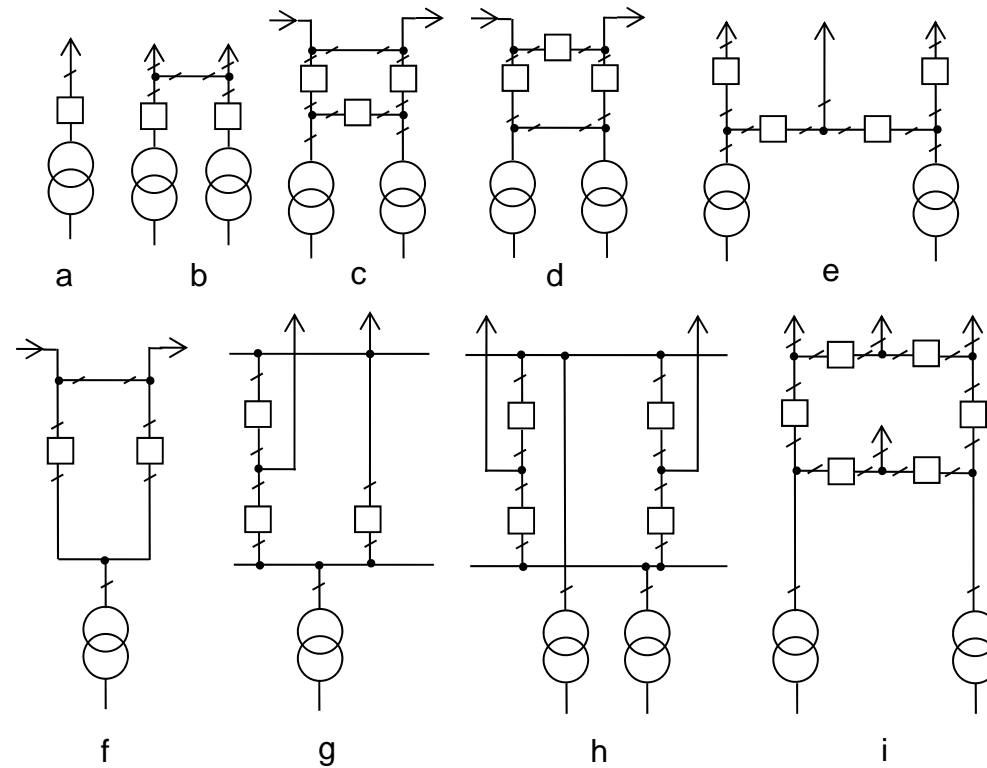


Рис. 1 – Упрощенные схемы типовых подстанций:

a – блок (линия - трансформатор) с выключателем; b – два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий; c – мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий; d – мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов; e – двоянный мостик; f – заход – выход; g – треугольник; h – четырехугольник; i – шестиугольник



Надежность развивающихся систем энергетики

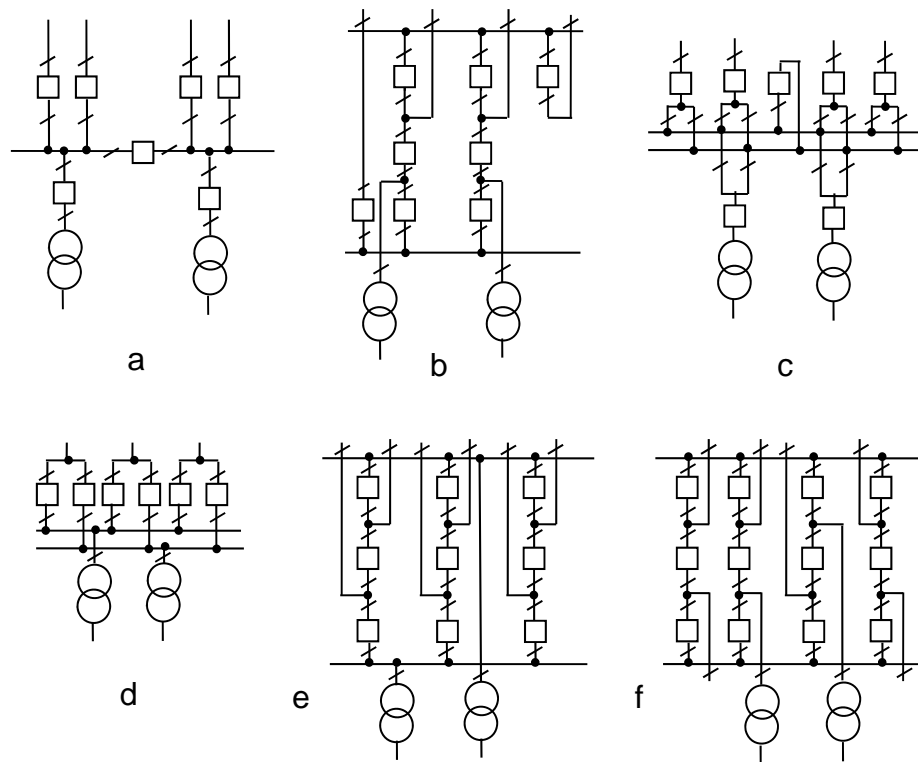


Рис. 2 – Сложные схемы типовых подстанций:

a – одна рабочая секционированная выключателем система шин; b – одна рабочая секционированная система шин с подключением ответственных присоединений через “полуторную” цепочку; c – две рабочие системы шин; d – трансформаторы - шины с присоединением линий через два выключателя; e – трансформаторы – шины с полуторным присоединением линий; f – полуторная схема



Надежность развивающихся систем энергетики

Исходные показатели надежности оборудования понижающих подстанций

Элемент РУ	Частота отказа λ , 1/год	Время послеаварийного восстановления $T_{в}$, ч	Частота планового ремонта $\lambda_{рем}$, 1/год	Длительность планового ремонта $T_{рем}$, ч
Трансформатор 330 кВ мощностью более 80 МВ·А	0,041	74	1,00	30
Трансформатор 110 кВ мощностью 10-80 МВА	0,014	76	0,75	28
Элегазовый выключатель напряжением 330 кВ	0,015	36,8	0,08	200
Элегазовый выключатель напряжением 110 кВ	0,01	30,7	0,08	100
Сборные шины 330 кВ (на одно присоединение)	0,013	5	0,166	3
Сборные шины 110 кВ (на одно присоединение)	0,016	5	0,166	4
Линия электропередачи 110 кВ на 1 км	0,013	14,4	2,0	14,5
Линия электропередачи 330 кВ на 1 км	0,0025	13,6	0,35	20



Надежность развивающихся систем энергетики

Принятые допущения:

1. Вероятность отказа выключателя при отключении КЗ - 0,002.
2. Время оперативных переключений - 0,5 ч.
3. Длина воздушных линий электропередачи - 40 км.



Надежность развивающихся систем энергетики

Результаты расчета надежности упрощенных типовых схем электрических соединений понижающих подстанций при полном погашении схемы

Название схемы	Частота отказа $\lambda_{\text{сум}}$, 1/год	Время послеаварийного восстановления $T_{\text{в}}$, ч	Коэффициент неготовности, $K_{\text{н}}$, о.е.
Блок (линия-трансформатор) с выключателем	0,544	16,78	$1,042 \cdot 10^{-3}$
Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий	1,12	0,5	$6,393 \cdot 10^{-5}$
Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий	1,17	0,5	$6,678 \cdot 10^{-5}$
Мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов	0,162	0,51	$9,4315 \cdot 10^{-6}$
Сдвоенный мостик	0,000578	0,5	$3,299 \cdot 10^{-8}$
Заход-выход	1,22	1,57	$2,1865 \cdot 10^{-4}$
Треугольник	0,0993	13,64	$1,5462 \cdot 10^{-4}$
Четырехугольник	0,00124	0,50	$7,0776 \cdot 10^{-8}$
Шестиугольник	0,000578	0,5	$3,299 \cdot 10^{-8}$



Надежность развивающихся систем энергетики

Результаты расчета надежности упрощенных типовых схем электрических соединений понижающих подстанций при полном погашении схемы

Название схемы	Частота отказа $\lambda_{\text{сум}}$, 1/год	Время послеаварийного восстановления $T_{\text{в}}$, ч	Коэффициент неготовности, $K_{\text{н}}$, о.е.
Одна рабочая секционированная выключателем система шин	$0,106 \cdot 10^{-1}$	0,73	$8,833 \cdot 10^{-7}$
Одна рабочая секционированная система шин с подключением ответственных присоединений через “полуторную” цепочку	$0,592 \cdot 10^{-4}$	0,5	$3,3789 \cdot 10^{-9}$
Две рабочие системы шин	$0,109 \cdot 10^{-1}$	0,68	$8,461 \cdot 10^{-7}$
Трансформаторы-шины с присоединением линий через два выключателя	$0,479 \cdot 10^{-3}$	0,5	$2,734 \cdot 10^{-8}$
Трансформаторы – шины с полуторным присоединением линий	$0,43 \cdot 10^{-5}$	0,5	$2,454 \cdot 10^{-10}$
Полуторная схема	$0,828 \cdot 10^{-6}$	0,5	$4,726 \cdot 10^{-11}$



Надежность развивающихся систем энергетики

Выводы

1. Для однострансформаторных ПС схема “заход-выход” повышает надежность более чем в 4,7 раза в сравнении со схемой “блок (линия – трансформатор) с выключателем”.
2. При рассмотрении сложных схем наименее надежные схемы “одна рабочая секционированная выключателем система шин” и “две рабочие системы шин”, т.к. в схемах используется один выключатель на присоединение.
3. Наиболее надежные схемы характеризуются большим количеством выключателей.



Надежность развивающихся систем энергетики

Спасибо за внимание!

Иркутск,
01-07.07.2018 г.