

УДК 621.311

СРАВНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЁЖНОСТИ «МОСТИКОВОЙ» СХЕМЫ ПОДСТАНЦИИ С ПРИ ЗАМЕНЕ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ

Ёч Э.И.

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

Для обеспечения надёжности электроснабжения при проектировании и эксплуатации энергосистем и электрических сетей необходимо производить расчёт надёжности, который включает в себя расчёт вероятности отказов элементов схемы, времени простоя оборудования. Для расчёта надёжности в этой работе используется программа «ТОPAS».

Моделирование, анализ множества состояний схемы и расчёт показателей надёжности осуществляются в соответствии с учётом характеристик повреждаемости, ремонтпригодности, профилактики основного электрического оборудования и возможности отказов в срабатывании устройств релейной защиты и автоматики (РЗ и А).

Эффективный способ описания схем электрических соединений ЭС достигается при использовании коммутационного графа, ветвями которого являются коммутационные аппараты (КА) различных типов, а узлами – остальные связываемые им 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 на этапе выполнения расчётов. Одной из таких матриц является матрица границ ветвей [В], для составления которой осуществляется последовательная нумерация элементов графа и последующая запись узлов, связываемых каждой его ветвью. Таким образом, являясь максимально заполненной, матрица [В] имеет размерность $[N,2]$, где N – число ветвей графа.

В соответствии с намеченными расчётными множествами аварийных состояний схемы рассматриваются конкретные пути их возможной реализации в j -м режиме работы (нормальном, плановом или аварийном ремонте) при повреждении её i -го оборудования с последующей нормальной локализацией аварии и при отказах в срабатывании устройств РЗ и А, КА, а также при переходе к его аварийному восстановлению после проведения оперативных переключений персоналом станции.

Для расчёта надёжности используются следующие показатели:

- частота отказов;
- время послеаварийного восстановления;
- частота планового ремонта;
- длительность планового ремонта;
- вероятность отказов в срабатывании при отключении КЗ (для выключателей);
- вероятность отказов в срабатывании РЗ при возникновении КЗ.

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:

$$\lambda(k) = \sum_i \sum_j q(j)\lambda(i)Q\left(\frac{s}{i}\right)L(k), \quad (2)$$

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

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 (ч);
 $t_{o.п.}$ – время оперативных переключений (ч);
 $Q\left(\frac{s}{i}\right)$ – вероятность срабатывания s -го устройства РЗ или КА.

В данной работе был выполнен расчёт надёжности «мостиковой» подстанции 110 кВ [1], для варианта, когда на стороне 110 кВ установлены маломасляные выключатели, отделители и короткозамкатели, а также для варианта, когда на стороне 110 кВ установлены элегазовые выключатели. Схемы данных вариантов приведены на рис. 1.

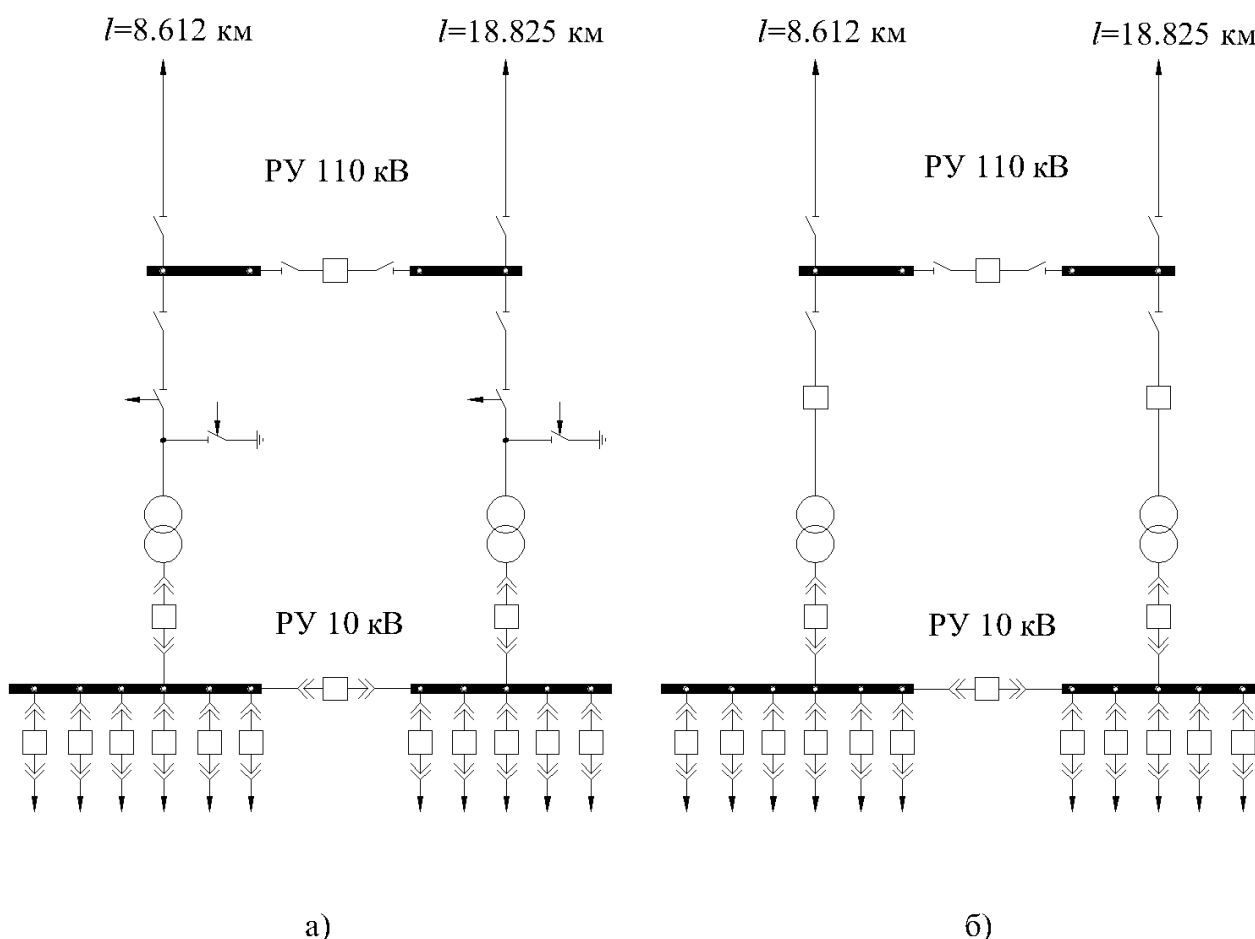


Рисунок. 1 – Структурная схема «мостиковой» подстанции: а) на 110 кВ установлены маломасляные выключатели, отделители и короткозамкатели; б) на стороне 110 кВ установлены элегазовые выключатели

Чтобы рассчитать надёжность рассматриваемых схем необходимо задать показатели надёжности каждого элемента рассматриваемых схем (берутся из справочных данных [2]). Для определения частот отказов и времени восстановления будем считать, что в плановый ремонт будет уходить один из выключателей на стороне 110 кВ, а в аварийный ремонт

рассмотрим случай поломки одного, двух и трёх выключателей одновременно на стороне 110 кВ. Показатели надёжности элементов для схем рис. 1. а) и б) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели надёжности элементов схемы рис. 1

Элементы схемы	Частота отказа, 1/год	Время п-аварийного восст., ч	Частота план. ремонта, 1/год	Длител. план-го рем-та, ч	Вероятн. отказа при откл. КЗ, о.е.	Вероятн. отказа в срабат. РЗ, о.е.
ЛЭП 110 кВ (на 100 км)	0,7	12,3	1,4	15,5	-	0,001
Тр-р 110 кВ	0,015	55,0	0,250	28,0	-	0,001
СШ 110 кВ (на одно присоединение)	0,016	5,0	0,166	4,0	-	0,001
СШ 10 кВ (на одно присоединение)	0,030	7,0	0,166	5,0	-	0,001
Маломасл. выкл. 110 кВ	0,063	21,0	0,140	29,8	0,010	-
Отдел. и короткозам. 110 кВ	0,013	7,0	0,330	8,5	0,020	-
Элегаз выкл. 110 кВ	0,005	25,0	0,130	25,0	0,003	-
Маломасл. выкл. 10 кВ	0,0720	6,0	0,140	8,5	0,006	-

Для анализа результатов расчётов надёжности рассмотрим несколько вариантов: отказ одного трансформатора, одной линии, двух трансформаторов и двух линии, одного трансформатора и одной линии. Сведём данные расчетов в таблицу 2.

Таблица. 1 – Результаты расчёта надёжности при различных применяемых КА

Код аварии	Схема подстанции с КА	Суммарная частота, 1/год	Среднее время восст., ч	Коэф. неготовности
1Т	С отделителями и короткозамыкателями	0,592	6,32	$4,271 \cdot 10^{-4}$
	С элегазовыми выключателями	0,591	6,33	$4,271 \cdot 10^{-4}$
1Т 1Л	С отделителями и короткозамыкателями	0,142	1,01	$1,637 \cdot 10^{-5}$
	С элегазовыми выключателями	$0,897 \cdot 10^{-1}$	1,02	$1,045 \cdot 10^{-5}$
2Т 2Л	С отделителями и короткозамыкателями	$0,357 \cdot 10^{-2}$	1,82	$7,417 \cdot 10^{-7}$
	С элегазовыми выключателями	$0,459 \cdot 10^{-2}$	1,28	$6,707 \cdot 10^{-7}$
1Л	С отделителями и короткозамыкателями	0,314	10,04	$3,599 \cdot 10^{-4}$
	С элегазовыми выключателями	0,299	10,52	$3,591 \cdot 10^{-4}$

Как видно из результатов расчётов при отключении одного трансформатора показатели надёжности при применении отделителей-короткозамыкателей и элегазовых выключателей, практически не отличаются, но для оставшихся случаев, элегазовые выключатели значительно надёжнее чем отделители-короткозамыкатели. Поэтому по критерию надёжности энергоснабжения предпочтительно применять элегазовые выключатели вместо отделителей-короткозамыкателей.

Литература

1. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ. Утверждено приказом Минэнерго России от 30.06.2003 г. № 288.
2. Электротехнический справочник: В 4 т. Т.3. Производство, передача и распределение электрической энергии. / Под общ. ред. профессоров МЭИ В. Г. Герасимова и др. (гл. редактор Попов). – 9-е изд. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 964 с.