

real power loss and maximization of network savings using bio-inspired optimization algorithms. — *Electrical Power and Energy Systems* 69, 2015, pp. 441–455.

13. Eberhart R.C., Kennedy J. A new optimizer using particles swarm theory. — *Proceedings of the 6th International Symposium on Micro Machine and Human Science*, 4–6 October 1995, pp. 39–43.

14. Kennedy J., Eberhart R.C. Particle swarm optimization, *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks IV*. Piscataway, NJ: IEEE Service Center, 1995, pp. 1942–1948.

15. Santos Coelho L.D., Mariani V.C. Particle Swarm Optimization with Quasi-Newton Local Search for Solving Economic Dispatch Problem. — *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Taipei (Taiwan)*. October 8–11, 2006.

16. Das D., Kothari P., Kalam A. Simple and efficient method for load flow solution of radial distribution networks. — *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 1995, vol. 17, iss. 5, pp. 335–346.

[20.03.2017]

* * *

Электричество, 2017, № 6, с. 23–30

DOI:10.24160/0013-5380-2017-6-23-30

Показатели надежности вариантов резервирования схем электроснабжения на среднем и низком уровнях напряжения

КОНЮХОВА Е.А.

На основании разработанных методик составлены логические схемы и рассчитаны показатели надежности для вариантов схем электроснабжения на СН и НН с одно- и двухтрансформаторными ТП с разными видами и разной степенью резервирования потребителей РУНН. Значения среднего времени работы до первого отказа (наработки на отказ) находятся в пределах от 2 до 19 лет. Для увеличения времени работы схемы электроснабжения до первого отказа наиболее эффективными являются варианты с резервированием на низком напряжении.

Ключевые слова: схемы электроснабжения, логические схемы, показатели надежности, параметр потока отказов, время наработки на отказ

В статье представлено определение показателей надежности вариантов резервирования электрических схем на среднем и низком напряжении (СН и НН) относительно потребителей распределительного устройства на низком напряжении (РУНН). Для достижения указанной цели поставлены следующие основные задачи: рассмотрение вариантов схем электроснабжения на СН и НН с разной степенью резервирования; составление логических схем надежности и расчет их показателей надежности; анализ и оценка полученной информации.

Варианты схем электроснабжения [1]. Для од- нотрансформаторных ТП - СН/НН:

1) без резервирования — краткое обозначение — 1Т, без рез.;

2) резервирование линии среднего напряжения (ЛС, петля) без резервирования на НН — 1Т, рез. ЛС;

3) резервирование трансформатора линией низкого напряжения (ЛН связи) без резервирования РУНН — 1Т, рез. ЛН, без рез. РУНН;

4) резервирование всей цепи СН-НН при секционировании шин на РУНН и с установкой секционного аппарата (СА) на шинах РУНН; для двухтрансформаторных ТП-СН/НН:

5) резервирование при установке СА на шинах НН ТП без резервирования на РУНН—2Т, рез. САНН, без рез. РУНН;

6) резервирование при установке СА на шинах НН ТП и при секционировании шин на РУНН и установкой СА на шинах на РУНН и установкой СА на шинах РУНН—2Т, рез. САНН, рез. РУНН.

Число трансформаторов, присоединенных к линии СН: $N_{ТЛ} = 1; 2; 3; 4$.

Исходные данные для определения показателей надежности электроснабжения потребителей РУНН: $N_{П.ИП}$ — число присоединений на одной секции шин ИП-СН; N_P — число разъединителей на вводах СН в ТП при схеме с резервированием линией СН (петля) для рабочей и резервной цепи ($N_P = 2N_{ТЛ}$, при других схемах $T_P = 0$); $L_{ЛС}$ — длина линии среднего напряжения от ИП до последнего ТП; $L_{ЛСрез}$ — длина резервной линии среднего напряжения (петли); $N_{П.ТП}$ — число присоединений на одной секции шин вторичного напряжения ТП; $L_{ЛН}$ — длина линий низкого напряжения ТП-РУНН при радиальной схеме; $L_{ЛНрез}$ — длина резервных линий связи (перемычек) на НН между двумя ТП.

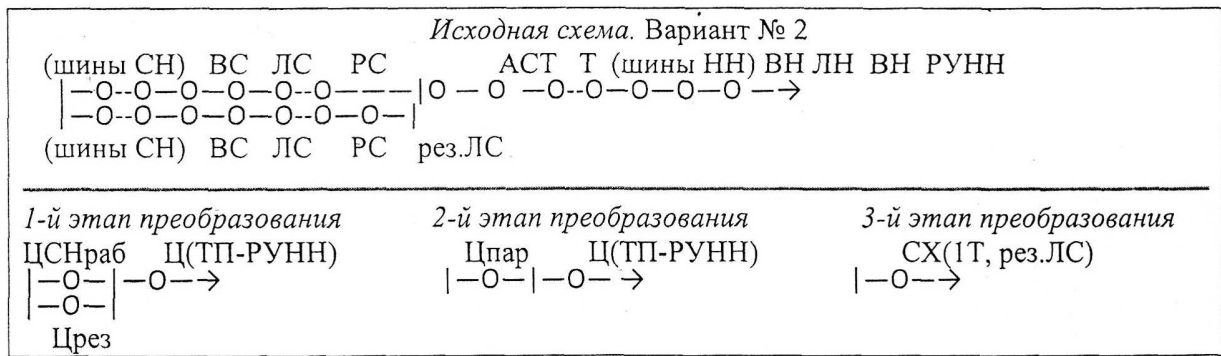


Рис. 2

рабочей цепи СН ИП-ТП:

$$\omega_{\text{ЦСНраб}} = \omega_{\text{ИП}} + \omega_{\text{ВС}} + \omega_{\text{ЛС}} + \omega_{\text{Р}}; \quad (8)$$

резервной цепи СН ИП-ТП:

$$\omega_{\text{ЦСНрез}} = \omega_{\text{НП}} + \omega_{\text{ВС}} + \omega_{\text{ЛС}} + \omega_{\text{Р}} + \omega_{\text{резЛС}}; \quad (9)$$

разъединителей на вводах СН в ТП при схеме с резервированием линией СН (петля) для рабочей цепи и резервной цепи — см. (5);

рабочей цепи ТП-РУНН:

$$\omega_{\text{Ц(ТП-РУНН)}} = \omega_{\text{АСТ}} + \omega_{\text{Т}} + \omega_{\text{ТП}} + 2\omega_{\text{ВН}} + \omega_{\text{ЛН}}. \quad (10)$$

Вероятность безотказной работы: рабочей цепи [1, 2]:

$$r_{\text{ЦСНраб}} = e^{-\omega_{\text{ЦСНраб}}};$$

резервной цепи СН:

$$r_{\text{ЦСНрез}} = e^{-\omega_{\text{ЦСНрез}}}.$$

Вероятность отказа:

рабочей цепи СН:

$$f_{\text{ЦСНраб}} = 1 - r_{\text{ЦСНраб}};$$

резервной цепи:

$$f_{\text{ЦСНрез}} = 1 - r_{\text{ЦСНрез}}.$$

2-й этап. Преобразование параллельных цепей:

вероятность отказа параллельной цепи:

$$f_{\text{Цпар}} = f_{\text{ЦСНраб}} f_{\text{ЦСНрез}};$$

вероятность безотказной работы для системы из двух параллельно соединенных в логической схеме надежности элементов в течение одного года:

$$r_{\text{Цпар}} = 1 - f_{\text{Цпар}}.$$

Параметр потока отказов для системы из двух параллельно соединенных в логической схеме надежности элементов:

$$\omega_{\text{Цпар}} = -\ln(r_{\text{Цпар}}).$$

3-й этап. Преобразование последовательных элементов. Параметр потока отказов схемы рис. 2 (вариант № 2) с однотрансформаторными ТП при резервировании линией СН без резервирования питания РУНН:

$$\omega_{\text{сх(1Т,резЛС)}} = \omega_{\text{пар(1Т,резЛС)}} + \omega_{\text{ц(ТП-РУНН)}}. \quad (11)$$

Логическая схема и показатели надежности для схем электроснабжения с резервированием трансформаторов на низком напряжении (рез. Т) и без резервирования РУНН: вариант № 3 с однотрансформаторными ТП с резервированием ТП линией связи НН (1Т, рез. ЛН); вариант № 5 с двухтрансформаторными ТП с двумя секциями шин на НН, установкой секционного аппарата САНН (2Т, рез. САНН, без рез. РУНН).

Рабочая цепь ЦСН: шины СН ИП→выключатель СН (ВС)→линия СН (ЛС)→аппараты ввода СН (АСТ) в ТП→трансформатор (Т).

Резервная цепь ЦСН: шины СН ИП→выключатель СН (ВС)→линия СН (ЛС)→аппараты ввода СН (АСТ) в ТП→трансформатор (Т)→шины НН ТП→рез. НН.

Для варианта № 3: рез. Т — линия связи НН (ЛНсв).

Для варианта № 5: рез. Т — секционный аппарат (САНН).

Рабочая цепь НН: шины НН ТП→выключатель НН (ВН)→линия НН (ЛН)→выключатель НН (ВН)→РУНН.

На рис. 3 показаны исходная логическая схема надежности при электрической схеме с резервированием трансформаторов линией связи НН для однотрансформаторных ТП секционным аппаратом для двухтрансформаторных ТП без резервирования питания РУНН и этапы её преобразования.

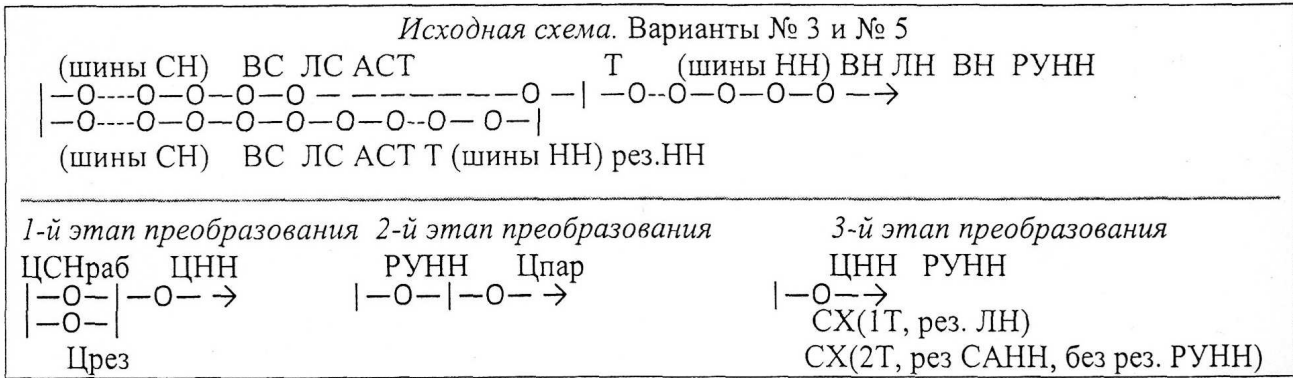


Рис. 3

1-й этап. Преобразование последовательных цепей. *Параметр потока отказов:*

рабочей цепи СН ИП-ТП:

$$\omega_{\text{ЦСНраб}} = \omega_{\text{ИП}} + \omega_{\text{ВС}} + \omega_{\text{ЛС}} + \omega_{\text{АСТ}} + \omega_{\text{Т}}; \quad (12)$$

резервной цепи ИП-ТП:

$$\omega_{\text{Црез}} = \omega_{\text{ИП}} + \omega_{\text{ВС}} + \omega_{\text{ЛС}} + \omega_{\text{АСТ}} + \omega_{\text{Т}} + \omega_{\text{ТП}} + \omega_{\text{резНН}}; \quad (13)$$

линии связи НН (3) для варианта № 3:

$$\omega_{\text{резТ}} = \omega_{\text{ЛННсв}};$$

секционного аппарата на шинах НН ТП для варианта № 5:

$$\omega_{\text{резТ}} = \omega_{\text{САНН}};$$

цепи НН ТП-РУНН:

$$\omega_{\text{ЦНН}} = \omega_{\text{ТП}} + 2\omega_{\text{ВН}} + \omega_{\text{ЛН}}. \quad (14)$$

Вероятность безотказной работы:

рабочей цепи [1, 2]:

$$r_{\text{ЦСНраб}} = e^{-\omega_{\text{ЦСНраб}}};$$

резервной цепи СН:

$$r_{\text{Црез}} = e^{-\omega_{\text{Црез}}}.$$

Вероятность отказа:

рабочей цепи СН:

$$f_{\text{ЦСНраб}} = 1 - r_{\text{ЦСНраб}};$$

резервной цепи:

$$f_{\text{Црез}} = 1 - r_{\text{Црез}}.$$

2-й этап. Преобразование параллельных цепей.

Вероятность:

отказа параллельной цепи:

$$f_{\text{Цпар}} = f_{\text{ЦСНраб}} f_{\text{Црез}};$$

безотказной работы для системы из двух параллельно соединенных в логической схеме надежности элементов в течение одного года:

$$r_{\text{Цпар}} = 1 - f_{\text{Цпар}}.$$

Параметр потока отказов для системы из двух параллельно соединенных в логической схеме надежности элементов: $\omega_{\text{Цпар}} = -\ln(r_{\text{Цпар}})$.

3-й этап. Преобразование последовательных элементов. Параметр потока отказов схемы рис. 3 (вариант № 3) с однострансформаторными ТП при резервировании ТП линией НН без резервирования питания РУНН:

$$\omega_{\text{сх}(1\text{Т,рез.ЛН})} = \omega_{\text{Цпар}(1\text{Т,рез.ЛН})} + \omega_{\text{ЦНН}}. \quad (15)$$

Параметр потока отказов схемы рис. 3 (вариант № 5) с двухтрансформаторными ТП с двумя секциями шин на НН, установкой секционного аппарата САНН без резервирования питания РУНН:

$$\begin{aligned} &\omega_{\text{сх}(2\text{Т,рез.САНН,без резРУНН})} = \\ &= \omega_{\text{Цпар}(2\text{Т,рез.САНН,без резРУНН})} + \omega_{\text{ЦНН}}. \quad (16) \end{aligned}$$

Логическая схема и показатели надежности для схемы электроснабжения (вариант № 4) с однострансформаторными ТП и с резервированием РУНН.
Рабочая цепь: шины СН ИП→выключатель СН (ВС)→линия СН (ЛС)→аппараты ввода СН (АСТ) в ТП→трансформатор (Т)→шины НН ТП→выключатель НН (ВН)→линия НН (ЛН)→выключатель НН (ВН)→РУНН.

Резервная цепь: шины СН ИП→выключатель СН (ВС)→линия СН (ЛС)→аппараты ввода СН (АСТ) в ТП→трансформатор (Т)→шины НН ТП→выключатель НН (ВН)→линия НН (ЛН)→выключатель НН (ВН)→секционный аппарат (СА) на шинах РУНН→РУНН.

На рис. 4 приведены исходная логическая схема надежности при электрической схеме с одно-

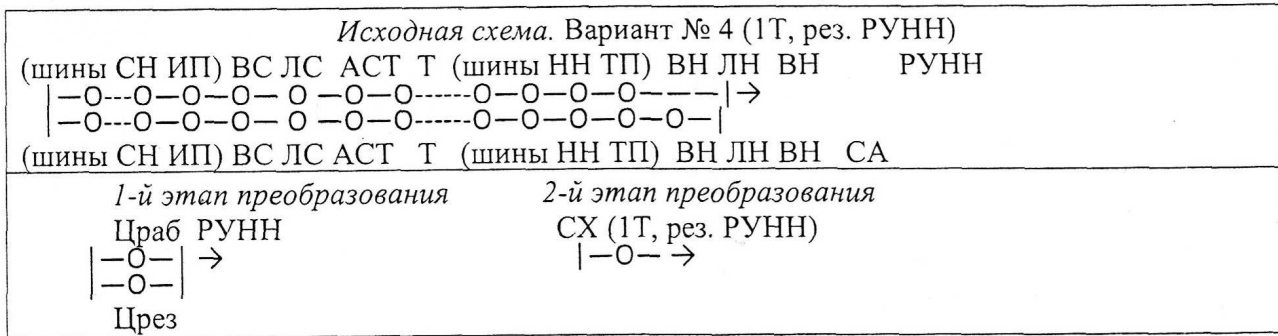


Рис. 4

трансформаторными ТП, с резервированием РУНН и этапы её преобразования.

1-й этап. Преобразование последовательных цепей. Параметр потока отказов рабочей цепи (ИП-СН)-(РУНН):

$$\omega_{\text{Цраб}} = \omega_{\text{ИП}} + \omega_{\text{ВС}} + \omega_{\text{ЛС}} + \omega_{\text{АСТ}} + \omega_{\text{Т}} + \omega_{\text{ТП}} + 2\omega_{\text{ВН}} + \omega_{\text{ЛН}}; \quad (17)$$

то же резервной цепи (ИП-СН)-(РУНН):

$$\omega_{\text{Црез}} = \omega_{\text{ИП}} + \omega_{\text{ВС}} + \omega_{\text{ЛС}} + \omega_{\text{АСТ}} + \omega_{\text{Т}} + \omega_{\text{ТП}} + 2\omega_{\text{ВН}} + \omega_{\text{ЛН}} + \omega_{\text{СА}}; \quad (18)$$

то же секционного аппарата на шинах РУНН:

$\omega_{\text{СА}}$.

Вероятность безотказной работы:

рабочей цепи:

$$r_{\text{Цраб}} = e^{-\omega_{\text{Цраб}}};$$

резервной цепи:

$$r_{\text{Црез}} = e^{-\omega_{\text{Црез}}}.$$

Вероятность отказа:

рабочей цепи: $f_{\text{Цраб}} = 1 - r_{\text{Цраб}}$.

резервной цепи: $f_{\text{Црез}} = 1 - r_{\text{Црез}}$.

2-й этап. Преобразование параллельных цепей. Вероятность отказа схемы: $f_{\text{СХ}} = f_{\text{Цраб}} f_{\text{Црез}}$. Вероятность безотказной работы для системы из двух параллельно соединенных в логической схеме надежности элементов в течение одного года: $r_{\text{СХ}} = 1 - f_{\text{СХ}} = f_{\text{Цраб}} f_{\text{Црез}}$.

Параметр потока отказов для схемы рис. 4 с однотономными ТП, с резервированием РУНН:

$$\omega_{\text{СХ}}(1\text{Т, рез. РУНН}) = -\ln(r_{\text{СХ}}). \quad (19)$$

Логическая схема при электрической схеме варианта № 6 с двухтрансформаторными ТП с установкой секционного аппарата НН, при секционировании шин на РУНН и установкой секционного аппарата на шинах РУНН (2Т, рез. САНН, рез. РУ).

На рис. 5 приведены исходная логическая схема надежности при электрической схеме с с двухтрансформаторными ТП с установкой секционного аппарата НН, при секционировании шин на РУНН и установкой секционного аппарата на шинах РУНН и 1-й этап её преобразования.

После 1-го этапа преобразования всех последовательных цепей исходной схемы рис. 5 получаем схему «мостик».

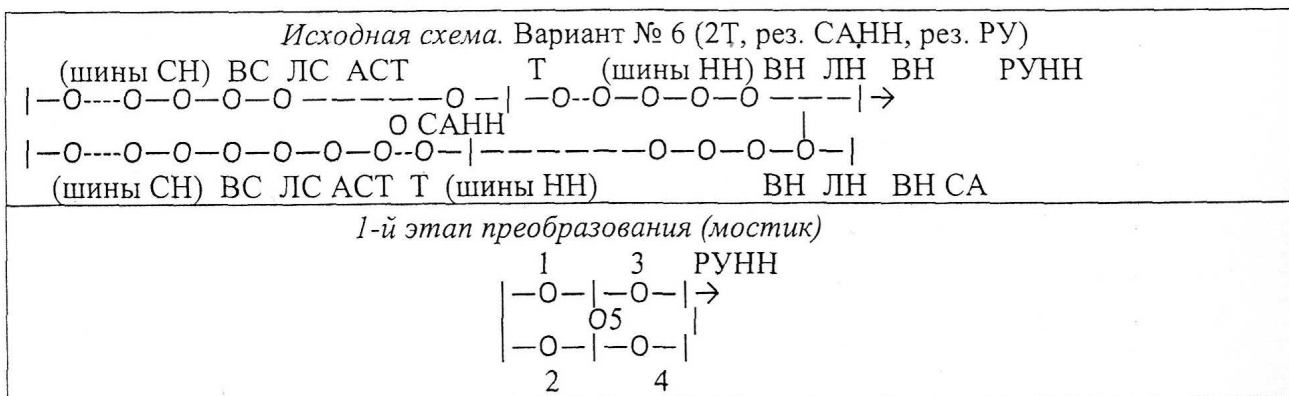


Рис. 5

1-й этап. Параметры потока отказов последовательных цепей «мостик»:

$$\omega_1 = \omega_{ИП} + \omega_{ВС} + \omega_{ЛС} + \omega_{АСТ} + \omega_{Т}; \quad (20)$$

$$\omega_2 = \omega_{ИП} + \omega_{ВС} + \omega_{ЛС} + \omega_{АСТ} + \omega_{Т} + \omega_{ТП}; \quad (21)$$

$$\omega_3 = \omega_{ТП} + 2\omega_{ВН} + \omega_{ЛН}; \quad (22)$$

$$\omega_4 = 2\omega_{ВН} + \omega_{ЛН} + \omega_{СА}; \quad (23)$$

$\omega_{СА}$ – параметр потока отказов секционного аппарата на шинах РУНН;

$\omega_5 = \omega_{САНН}$ – параметр потока отказов секционного аппарата на шинах ТП.

Вероятность безотказной работы секционного аппарата на шинах НН ТП:

$$r_5 = r_{САНН} = e^{-\omega_5}. \quad (24)$$

Вероятность отказа секционного аппарата на шинах НН ТП:

$$f_5 = 1 - r_5. \quad (25)$$

2-й этап. На схеме рис. 6 две параллельные цепи: «1»–«2» и «3»–«4», для которых определим показатели надежности.

Вероятность безотказной работы:

цепи «1»: $r_1 = e^{-\omega_1};$

цепи «2»: $r_2 = e^{-\omega_2};$

Вероятность отказа:

цепи «1»: $f_1 = 1 - r_1;$

цепи «2»: $f_2 = 1 - r_2.$

Аналогично определяются показатели надежности цепей «3» и «4» рис. 6.

3-й этап. Вероятность отказа элементов «6» и «7» рис. 6:

$$f_6 = f_1 f_2; \quad f_7 = f_3 f_4.$$

Вероятность безотказной работы элементов «6» и «7»:

$$r_6 = 1 - f_6 = 1 - f_1 f_2; \quad r_7 = 1 - f_7 = 1 - f_3 f_4.$$

Параметры потока отказов элементов «6» и «7»:

$$\omega_6 = -\ln(r_6); \quad \omega_7 = -\ln(r_7).$$

4-й этап. Элементы «6» и «7» соединены последовательно, следовательно, параметр потока отказов схемы рис. 6: $\omega_8 = \omega_6 + \omega_7.$

Вероятность безотказной работы схемы их двух последовательных элементов «6» и «7» рис. 6 (при условии работы САНН):

$$r_8 = r_6 r_7 = (1 - f_1 f_2)(1 - f_3 f_4) = e^{-\omega_8}. \quad (26)$$

Вероятность отказа схемы рис. 6:

$$f_8 = 1 - r_8. \quad (27)$$

5-й этап. На схеме рис. 7 две последовательные цепи: «1»–«3» и «2»–«4», для которых определим показатели надежности.

6-й этап. Параметры потока отказов элемента «9» и элемента «10»:

$$\omega_9 = \omega_1 + \omega_3; \quad \omega_{10} = \omega_2 + \omega_4.$$

Вероятности безотказной работы элемента «9» и элемента «10»:

$$r_9 = r_1 r_3 = e^{-\omega_1} e^{-\omega_3} = e^{-\omega_9};$$

$$r_{10} = r_2 r_4 = e^{-\omega_2} e^{-\omega_4} = e^{-\omega_{10}}.$$

Вероятности отказов элемента «9» и элемента «10»:

$$f_9 = 1 - r_9; \quad f_{10} = 1 - r_{10}.$$

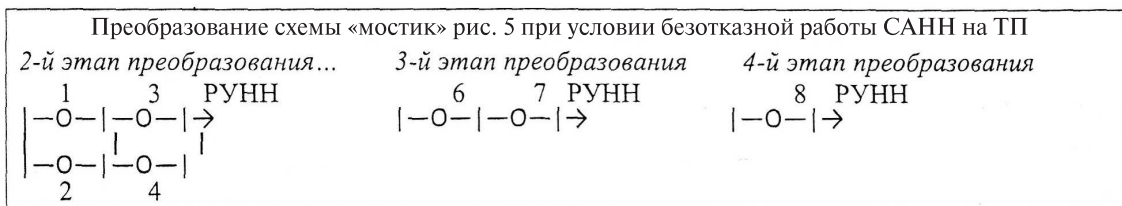


Рис. 6

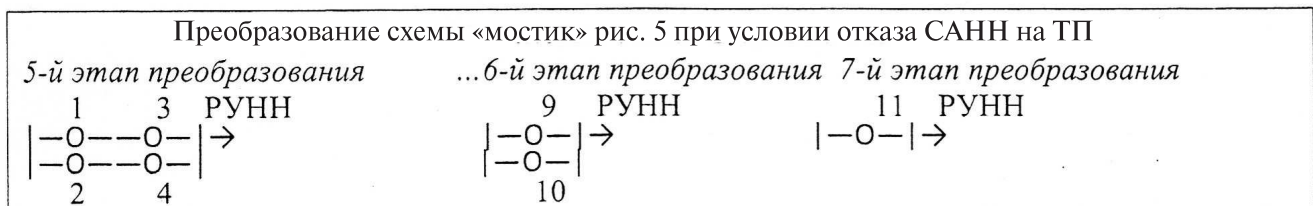


Рис. 7

Номер п/п	Вариант схемы	Значение параметра потока отказов работы схем $\omega_{сх}$, 1/г, при разных значениях $N_{т.л}$					
		1	2	3	4	5	Среднее
1	1Т, без рез.	0,368	0,364	0,423	0,383	0,392	0,386
2	1Т, петля ЛС	0,277	0,289	0,356	0,327	0,348	0,319
3	1Т1, рез. ЛН	0,255	0,260	0,313	0,266	0,270	0,273
4	1Т, рез. РУНН	0,110	0,097	0,127	0,118	0,135	0,117
5	2Т, САНН-без.рез. РУНН	0,269	0,268	0,322	0,291	0,302	0,290
6	2Т, САНН+рез. РУНН	0,054	0,053	0,054	0,059	0,059	0,055

7-й этап. Элементы «9» и «10» соединены параллельно, тогда вероятность их одновременного отказа: $f_{11} = f_9 f_{10}$.

Вероятность безотказной работы схемы рис. 7 при условии отказа САНН:

$$r_{11} = 1 - f_{11} = 1 - (1 - r_1 r_2)(1 - r_3 r_4). \quad (28)$$

Параметр потока отказов работы схемы рис. 7:

$$\omega_{11} = \ln(r_{11}). \quad (29)$$

Вероятность надежной работы электрической схемы с резервированием трансформаторов САНН с резервированием питания РУНН (рис. 5) по формуле полной вероятности [1, 2] с учетом (25); (26); (28):

$$\begin{aligned} r_{сх(2Т.рез.САНН,рез.РУНН)} &= r_5 r_8 + f_5 r_{11} = \\ &= r_5 \{(1 - f_1 f_2)(1 - f_3 f_4)\} + f_5 \{1 - (1 - r_1 r_2)(1 - r_3 r_4)\}. \end{aligned} \quad (30)$$

Параметр потока отказов работы схемы рис. 5 (вариант № 6) с двухтрансформаторными ТП с установкой секционного аппарата НН (САНН), при секционировании шин на РУНН и установкой секционного аппарата (СА) на шинах РУНН:

$$\begin{aligned} \omega_{сх(2Т,рез.САНН,рез.РУНН)} &= \\ &= -\ln(r_{(2Т,рез.САНН,рез.РУНН)}). \end{aligned} \quad (31)$$

Пример расчета показателей надежности вариантов схем электроснабжения РУНН. В примере рассмотрен вариант следующих исходных данных схем электроснабжения:

$N_{т.л}$	$L_{ЛС}$, км	$N_{п.ИП}$
1	0,53	10
2	0,74	5
3	0,91	4
4	1,05	3
5	1,17	2

При этом $N_{п.ТП} = 10$; $L_{ЛН} = 0,1$ км; $L_{ЛНрез.} = 0,15$ км.

Далее приведены использованные в расчете значения интенсивности отказов элементов схем

электроснабжения РУНН. Для всех вариантов схем электроснабжения РУНН были рассчитаны показатели надежности в соответствии с логическими схемами и выше изложенными ранее методиками:

Элемент	Интенсивность отказов элементов [3]
Присоединение к шинам СН	0,005 1/г
Выключатель СН	0,015 1/г
Линия СН	0,1 1/г км
Разъединитель СН	0,020 1/г
Аппарат СН ввода в ТП	0,020 1/г
Трансформатор	0,07 1/г
Присоединение к шинам	0,01 1/г
Выключатель НН	0,05 1/г
Линия НН	0,25 1/г км

В таблице приведены значения параметра потока отказов работы схем $\omega_{сх} = f(N_{т.л})$ по вариантам резервирования для схем электроснабжения РУНН.

На рис. 8 представлена диаграмма значений времени наработки на отказ $T_{нар.сх} = f(N_{т.л})$ по вариантам резервирования (1-й÷6-й) для схем электроснабжения РУНН при $N_{т.л} = 1 \div 5$:

$$T_{нар.сх} = 1 / \omega_{сх}. \quad (32)$$

Вывод. Из представленных результатов расчетов показателей надежности следует, что параметр потока отказов работы схем $\omega_{сх}$ (0,053÷0,423), 1/г. Значения времени наработки на отказ $T_{нар.сх}$ от 2-х до 19-ти лет, максимальны при $N_{т.л} = 2$ или 1 и имеют тренд к уменьшению при $N_{т.л} = 3 \div 5$. Для увеличения $T_{нар.сх}$ наиболее эффективными являются варианты с резервированием на распределительном устройстве низкого напряжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конохова Е.А. Электроснабжение: Учебник для вузов. – М.: Изд. дом МЭИ, 2014, 500 с.
2. Конохова Е.А., Киреева Э.А. Надежность электроснабжения промышленных предприятий. – Библиотечка электротехника. Приложение к журналу «Энергетик», 2001, № 12, с 48–86.

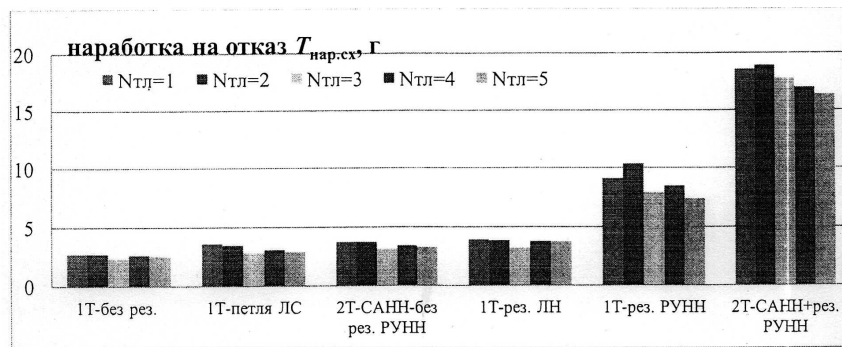


Рис. 8

3. Анищенко В.А., Колосова И.В. Основы надежности систем электроснабжения: Учебное пособие. — Минск, БНТУ, 2007, 30 с.

[06.03.2017]

Автор: Конюхова Елена Александровна окончила Дальневосточный политехнический институт в

1961 г. В 1999 г. защитила докторскую диссертацию «Регулирование напряжения промышленного предприятия при взаимосвязанном выборе режима напряжения и компенсации реактивной мощности» в МЭИ. Профессор кафедры «НИУ «МЭИ».

Elektrichestvo (Electricity), 2017, No. 6, pp. 23–30

DOI:10.24160/0013-5380-2017-6-23-30

Reliability Indicators of Medium- and Low-Voltage Redundant Power Supply Arrangements

KONYUKHOVA Elena A. («National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia) — Professor, Dr. Sci. (Eng.)

The developed assessment techniques were used to calculate the reliability indicators for power supply arrangements at medium and low voltage with the use of one- and two-transformer substations involving different types and ratios of redundancy provided for consumers connected to low-voltage switchgears. The average values of operation time to the first failure (mean time to failure) lie in the range from 2 to 19 years. Versions with redundancy at the low voltage are shown to be the most efficient ones in terms of increasing the time of power supply system operation to the first failure.

Key words: power supply arrangements, logic schemes, reliability indicators, failure flow parameters, mean time to failure

REFERENCES

1. Konyukhova Ye.A. *Elektrosnabzheniye: Uchebnik dlya vuzov* (Electrosupply: a Textbook for high schools). Moscow, Publ. House «MPEI», 2014, 500 p.

2. Konyukhova Ye.A., Kireyeva E.A. *Bibliotekha elektrotekhnika. Prilozheniye k zhurnaly «Energetik» — in Russ. (Library of electrical*

engineering. The supplement to the magazine «Energetik», 2001, No. 12, p. 48–86.

3. Anishchenko V.A., Kolosova I.V. *Osnovy nadezhnosti sistem elektrosnabzheniya: Uchebnoye posobiye* (Basics of reliability of power supply systems. Tutorial). Minsk, BNTU, 2007, 30 p.

[06.03.2017]