

УДК 621.316.11

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВВОД РЕЗЕРВА НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ
10 КВ С НЕСКОЛЬКИМИ ИСТОЧНИКАМИ ПИТАНИЯ
AUTOMATIC LOAD TRANSFER SWITCHES ON 10 KV POWER LINES
WITH MULTIPLE POWER SUPPLIES

Калентионок Е.В., к-т техн. наук, доцент, Горновская Е.Н., магистрант
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь
E. Kalentionok, Candidate of technical Sciences, Docent,
E. Gornovskaya, Undergraduate,
Belarussian national technical University, Minsk, Belarus

Аннотация. Рассмотрена проблема выбора оптимального источника резервного питания в случае аварийного отключения основного в сетях 10 кВ с несколькими источниками питания. Определение наилучшего места включения АВР основано на анализе оперативных данных, находящихся в распоряжении диспетчера без осуществления трудоемких расчетов режимов.

Abstract. The problem of choosing the optimal backup power source in the event of an emergency shutdown of the main one in 10 kV networks with multiple power sources is considered. Determining the best place to turn on the ATS is based on the analysis of operational data available to the dispatcher without performing time-consuming calculations of modes.

Ключевые слова: распределительная сеть, автоматический ввод резерва, потери мощности.

Key words: distribution network, automatic load transfer switches, power loss.

ВВЕДЕНИЕ

При возникновении аварийной ситуации необходимо быстро принять решение по устранению последствий. После отключения поврежденного отдельного участка электрической линии необходимо срабатывание АВР или перед диспетчером возникает вопрос: в какой точке сети наиболее эффективно включение резервного источника для электроснабжения оставшихся потребителей, в случае, когда резервных источников питания несколько. Выбор оптимальной точки включения резервного питания позволит электроснабжающей организации сэкономить денежные средства и обеспечить потребителей качественной электроэнергией.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для исследования приняли линию с четырьмя резервными источниками питания (рисунок 1 ИП № 2-5). На исследуемой линии предусмотрена возможность автоматического секционирования. Это означает, что при возникновении короткого замыкания поврежденный участок автоматически отделяется от неповрежденной сети.

Составим схему замещения для дальнейшего расчета режимов. Узлам исследуемой сети будем присваивать следующие номера:

$$\underset{1}{X} \underset{2}{XX} \quad (1)$$

где 1 – номер источника питания данного узла (в нормальном, доаварийном режиме);

2 – порядковый номер самого узла (пример: 01, 02...n, 00–для ЦП).

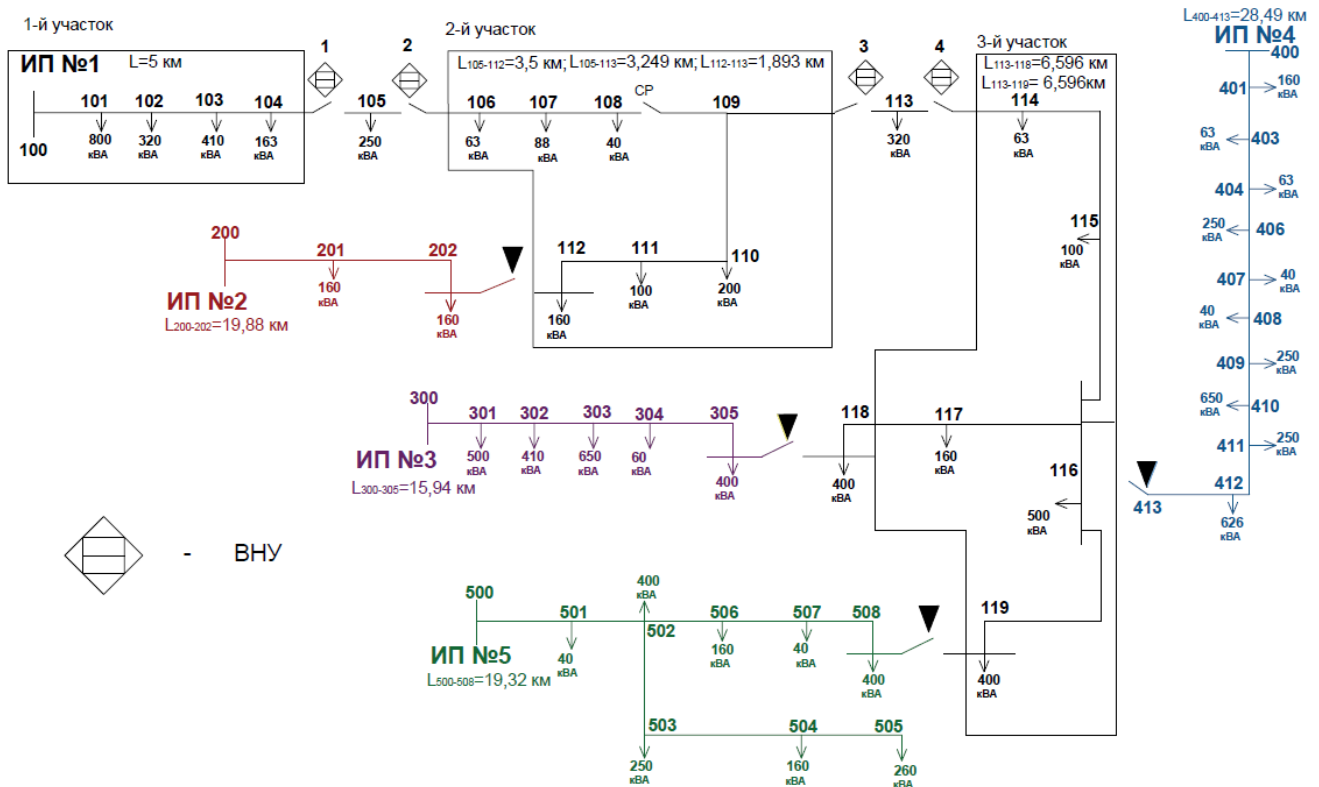


Рисунок 1 – Исследуемая схема сети

Параметры схемы замещения определим по формулам:

$$R_n = r_0 \cdot L, \text{ Ом}; \quad (2)$$

$$X_n = x_0 \cdot L, \text{ Ом}. \quad (3)$$

где r_0, x_0 – удельное активное и реактивное сопротивление линейного участка, Ом/км;

L – длина линейного участка, км.

Следующим этапом определяем потокораспределение по линиям для доаварийного и аварийного режимов по $S_{ном}$ трансформаторов (базовое потокораспределение).

Расчет режимов будем выполнять, изменяя коэффициент загрузки трансформаторов, потокораспределение по сети будет изменяться пропорционально коэффициенту загрузки:

$$S_{kз}^{m-n} = k_з \cdot S_{ном}^{m-n}, \text{кВА} \quad (4)$$

где m – номер начала участка;

n – номер конца участка;

$k_з$ – общий коэффициент загрузки трансформаторов в сети, о.е.;

Зададимся $\cos \varphi = 0,8$ и рассчитаем P, Q

$$P_{kз}^{m-n} = S_{kз}^{m-n} \cdot \cos \varphi, \text{кВт} \quad (5)$$

$$Q_{kз}^{m-n} = S_{kз}^{m-n} \cdot \sin \varphi, \text{квар} \quad (6)$$

$$I_{kз}^{m-n} = \frac{S_{kз}^{m-n}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{А} \quad (7)$$

Определение потерь мощности производим по следующим выражениям:

$$\Delta P_{kз}^{m-n} = \frac{(P_{kз}^{m-n})^2 + (Q_{kз}^{m-n})^2}{U_{ном}^2} \cdot R_{л}, \text{кВт} \quad (8)$$

$$\Delta Q_{kз}^{m-n} = \frac{(P_{kз}^{m-n})^2 + (Q_{kз}^{m-n})^2}{U_{ном}^2} \cdot X_{л}, \text{квар} \quad (9)$$

где $P_{kз}^{m-n}$ – активная мощность на участке $m-n$, кВт;

$Q_{kз}^{m-n}$ – реактивная мощность на участке $m-n$, квар;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение сети, кВ;

$R_{л}, X_{л}$ – активное и реактивное сопротивление линейного участка сети, Ом.

Для местных электрических сетей (35 кВ и ниже) характерны достаточно малые отклонения напряжения от номинального значения. Поэтому при расчете потерь напряжения его значение во всех точках сети принимается равным номинальному $U_{ном}$. Таким образом, расчет потерь напряжения ведется не по действительным напряжениям, а по номинальному [1, стр. 217].

$$\Delta U_{kз}^{m-n} = \frac{P_{kз}^{m-n} \cdot X_{л} + Q_{kз}^{m-n} \cdot R_{л}}{U_{ном}}, \text{кВ} \quad (10)$$

Перед расчетом режимов зададимся следующими условиями и ограничениями.

1. $\Delta P_{нагр} \rightarrow \min;$

2. $\Delta Q_{нагр} \rightarrow \min;$

3. $I_{нагр} \leq I_{дон};$

4. $U_{\min} \leq U_{\text{раб}} \leq U_{\max}$; примем ($U_{\min} = 9,0$ кВ; $U_{\max} = 11,0$ кВ).

Введем параметр $K_{кз}$

$$K_{кз} = L_{\max} \cdot I_{\text{нагр.ин}} \quad (11)$$

где L_{\max} – максимальная длина линии по магистрали, км;

$I_{\text{нагр.ин}}$ – ток нагрузки в начале питающего фидера, А.

Результаты расчета нормального режима сети приведены в таблице 1 (все точки нормального разрыва разомкнуты). $U_{\text{ин}} = 11$ кВ.

Таблица 1 – Результаты расчета нормального режима

	dP, кВт	dQ, квар	Umin, кВ	№ узла Umin	Ищп, А	$K_{кз}$, А*км	Примечание
Кз = 0,15							
ЦП1	11,16	4,67	10,69	118	35,76	530,89	Lmax = 14,85 км
ЦП2	0,21	0,12	10,94	202	2,52	50,22	Lmax = 19,91 км
ЦП3	1,99	1,15	10,87	305	15,92	253,80	Lmax = 15,94 км
ЦП4	16,13	7,55	10,41	412	18,85	537,24	Lmax = 28,49 км
ЦП5	3,95	1,87	10,78	508	13,48	260,42	Lmax = 19,32 км
Кз = 0,3							
ЦП1	44,63	18,69	10,39	118	71,52	1061,77	
ЦП2	0,84	0, 50	10,89	202	5,04	100,44	
ЦП3	7,96	4,6	10,75	305	31,84	507,60	
ЦП4	64,51	30,19	9,82	412	37,71	1074,48	
ЦП5	15,79	7,48	10,56	508	26,96	520,84	
Кз = 0,45							
ЦП1	100,41	42,05	10,08	118	107,29	1592,66	
ЦП2	1,88	1,12	10,83	202	7,57	150,67	
ЦП3	17,91	10,35	10,62	305	47,77	761,40	
ЦП4	145,14	67,92	9,22	412	56,56	1611,72	
ЦП5	35,52	16,83	10,34	508	40,44	781,27	
Кз = 0,6							
ЦП1	178,52	74,75	9,77	118	143,05	2123,54	
ЦП2	3,35	1,98	10,77	202	10,09	200,89	
ЦП3	31,84	18,40	10,50	305	63,69	1015,20	
ЦП4	183,51	85,88	9,00	412	63,60	1812,28	Кз.max = 0,506 (П.4)
ЦП5	63,14	29,9	10,12	508	53,91	19,32	
Кз = 0,75							
ЦП1	278,93	116,8	9,47	118	178,81	2654,43	
ЦП2	5,23	3,10	10,71	202	12,61	251,11	
ЦП3	49,75	28,75	10,37	305	79,61	1269,00	
ЦП5	98,65	46,74	9,89	508	67,39	1302,11	
Кз = 0,9							
ЦП1	392,79	164,5	9,18	118	212,19	3149,92	Кз.max = 0,89 (П.3)
ЦП2	7,54	4,46	10,66	202	15,13	301,33	
ЦП3	71,63	41,41	10,25	305	95,53	1522,80	
ЦП5	142,06	67,31	9,67	508	80,87	1562,53	

Далее предположим, что произошло аварийное отключение первого участка исследуемой линии. Участки 2 и 3 возможно запитать от источников питания № 2, № 3, № 4 и № 5. Поочередно для каждого варианта питания будем рассчитывать режим, изменяя коэффициент загрузки сети от 0,15 до 0,9 с шагом 0,15, отслеживая при этом соблюдение условий (3–4), при невыполнении которых расчет режимов для данного источника питания прекращается. После расчета всех аварийных режимов произведем сравнение уровня потерь мощности для каждого из режимов и выберем оптимальный вариант. Аналогичные расчеты произведем и для случая, когда произошло аварийное отключение участка № 2.

В ходе проведения эксперимента было выявлено, что наилучшим источником питания в аварийном режиме (при отключении первого участка исследуемой линии) будет ИП № 2. Коэффициент K_{k3} оказался наименьшим в наиболее оптимальном варианте по критерию минимума потерь.

В результате исследования режимов при отключении второго участка исследуемой линии наиболее выгодным с точки зрения минимума потерь является источник питания № 3. Коэффициент K_{k3} оказался наименьшим в наиболее оптимальном варианте по критерию минимума потерь.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование возможности секционирования неповрежденного участка линии и питание ее частей от разных источников эффективно с точки зрения снижения потерь и поддержания напряжения в заданных пределах.

Выбор резервного источника питания по критерию $K_{k3} = L_{\max} \cdot I_{\text{нагр.ли}} \rightarrow \min$, позволит обеспечить наименьший уровень потерь мощности в сети, при этом расчет коэффициента K_{k3} на основе статических (L_{\max}) и динамических ($I_{\text{нагр}}$) данных требует наименьших трудозатрат, чем полный расчет режимов для всей сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поспелов Г.Е. Электрические системы и сети: Учебник / Г.Е. Поспелов, В.Т. Федин, П.В. Лычев – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 720 с.