

Қазақстан Республикасы Тәуелсіздігінің 30 жылдығына арналған «Сейфуллин оқулары – 17: «Қазіргі аграрлық ғылым: цифрлық трансформация» атты халықаралық ғылыми – тәжірибелік конференцияға материалдар = Материалы международной научно – теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 17: «Современная аграрная наука: цифровая трансформация», посвященной 30 – летию Независимости Республики Казахстан.- 2021.- Т.1, Ч.2 - С.321-325

Регулирование напряжения питающих сетей с помощью РПН СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Ахметбаев Д.С., доктор техн.наук, и.о. профессора

Молқы Б.С. магистрант 2 курса

Қабылдинов І.Б. магистрант 2 курса

Алибеков А.В. магистрант 2 курса

Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина, г.Нур-Султан.

Аннотация В работе предложен системный подход к определению рациональных коэффициентов трансформации трансформаторов распределительных сетей. Получены аналитические выражения для коэффициентов трансформации трансформаторов с позиции синтеза распределительных сетей в области допустимых режимов по напряжению. Для решения нелинейных уравнений относительно коэффициентов трансформации был использован метод Ньютона-Рафсона. При этом отпадает необходимость в расчетах установившихся режимов электрических сетей.

Введение Современные системы электроснабжения потребителей характеризуются значительной протяженностью и многоступенчатой трансформацией напряжений. В каждой ступени напряжения системы электроснабжения имеют место потери напряжения. Они зависят от параметров схемы замещения электрической сети и от ее нагрузки.

В целях обеспечения допустимых отклонений напряжения на зажимах электроприемников применяют различные способы и средства улучшения и регулирования напряжения. Под улучшением напряжения, понимается какое – либо мероприятие, проводимое на длительный период времени. Под регулированием понимается автоматическое изменение напряжения по желаемому закону.

1 Уравнение баланса напряжения трансформатора с РПН

Рассмотрим двухобмоточный трансформатор, имеющий ответвления в обмотках высшего напряжения, переключение которых приводит к изменению коэффициента трансформации. Принципиальная и схема замещения трансформатора показаны на рисунке 1.

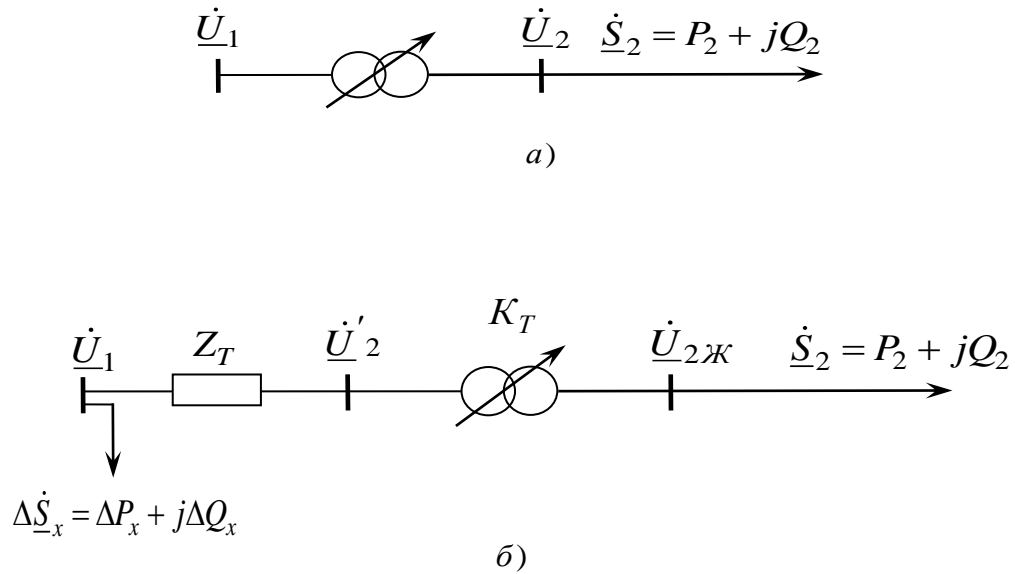


Рисунок 1 – Схемы двухобмоточного трансформатора:

а – принципиальная схема; б – схема замещения

Нагрузка трансформатора характеризуется полной комплексной мощностью \dot{S}_2 . Трансформатор характеризуется коэффициентом трансформации [4-7]:

$$k = \frac{U_{отв}}{U_{2Н}} = \frac{U'_2}{U_{2Ж}}, \quad (1)$$

где $U_{отв}$ - напряжение регулировочного ответвления первичной обмотки;

$U_{2Н}$ - номинальное напряжение вторичной обмотки;

U'_2 - приведенное расчетное напряжение вторичной обмотки;

$U_{2Ж}$ - желательное напряжение вторичной обмотки.

Допустим, что из расчета известна величина напряжения \dot{U}_1 на стороне первичной обмотки трансформатора. Известна также величина напряжения $U_{2Ж}$, которую желательно иметь на вторичной стороне трансформатора с целью обеспечения условия встречного регулирования. Требуется выбрать коэффициент трансформации, обеспечивающий заданный режим напряжения.

Напряжение вторичной обмотки трансформатора, приведенное к первичной обмотке определяется по схеме, изображенной на рисунке 6.2,б в виде:

$$\underline{\dot{U}}'_2 = \underline{\dot{U}}_1 - \frac{P_2 R_T + Q_2 X_T}{\hat{U}'_2} - j \frac{P_2 X_T + Q_2 R_T}{\hat{U}'_2}. \quad (2)$$

На практике, с достаточной степенью точности расчеты выполняются по модулям напряжений $\underline{\dot{U}}'_1$ и $\underline{\dot{U}}'_2$ так как сдвиг по фазе между векторами этих напряжений значительно мал [3,4]. Тогда, уравнение (2) приобретает более простую форму

$$U'_2 = U_1 - \frac{P_2 R_T + Q_2 X_T}{U_2},$$

(3)

где U_1, U'_2 - модули соответствующих напряжений.

Уравнение баланса напряжения (3) может быть преобразовано с учетом (1) и записано в виде:

$$U_{2Ж}^2 \cdot K_T^2 - U_1 U_{2Ж} \cdot K_T + P_2 R_T + Q_2 X_T = 0. \quad (4)$$

В результате преобразования уравнения электрического состояния трансформатора получено квадратное уравнение относительно коэффициента трансформации трансформатора. Корни квадратного уравнения могут быть различными. Решение имеет место для дальнейшего анализа, если корни будут действительными, один из которых является расчетным значением коэффициента трансформации трансформатора. Решение (4) может быть записано в виде:

$$K_T = \frac{U_1}{2U_{2Ж}} \pm \sqrt{\left(\frac{U_1}{2U_{2Ж}}\right)^2 - \frac{P_2 R_T + Q_2 X_T}{U_{2Ж}^2}},$$

Напряжение стандартного ответвления первичной обмотки трансформатора связано с номером ответвления по известной формуле [7÷9]:

$$U_{отв} = U_{вн} (1 \pm n U_{доб} \%),$$

где $U_{вн}$ - номинальное напряжение первичной обмотки трансформатора;

$U_{доб} \%$ - добавка напряжения в % одной степени регулирования;

n - количество ступеней регулирования.

Количество ступеней регулировочного ответвления (n) связано с коэффициентом трансформации K_T по формуле:

$$n = \frac{K_T \cdot U_{2Н} - U_{вн}}{U_{доб\%} \cdot U_{вн}} \cdot 100,$$

Таким образом, решение задачи с помощью уравнения (4) сводится к задаче синтеза, которая заключается в определении коэффициента трансформации, обеспечивающего заданный режим по напряжению вторичной обмотки трансформатора.

2. Реализация алгоритмов расчета коэффициентов трансформации трансформаторов

На основе комплексной программе осуществляется поиск и определение весов всех возможных и специфических деревьев графа. По данным деревьев графа определяется матрица коэффициентов распределения задающих токов, значения которых равны [11,12]:

$$C := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -0.5747 + 0.0122 \cdot i & -0.3138 - 0.0409 \cdot i & -0.5747 + 0.0122 \cdot i & -0.3138 - 0.0409 \cdot i \\ -0.4253 - 0.0122 \cdot i & 0.3138 + 0.0409 \cdot i & -0.4253 - 0.0122 \cdot i & 0.3138 + 0.0409 \cdot i \\ -0.4253 - 0.0122 \cdot i & -0.6862 + 0.0409 \cdot i & -0.4253 - 0.0122 \cdot i & -0.6862 + 0.0409 \cdot i \end{pmatrix}$$

Затем формализуется нелинейная система уравнений относительно коэффициентов трансформации трансформаторов (7), которая решается на основе известных методов, например, методом Ньютона. Сравнительные результаты расчетов, выполненные для схемы рис.1 с параметрами, представлены в табл.1.

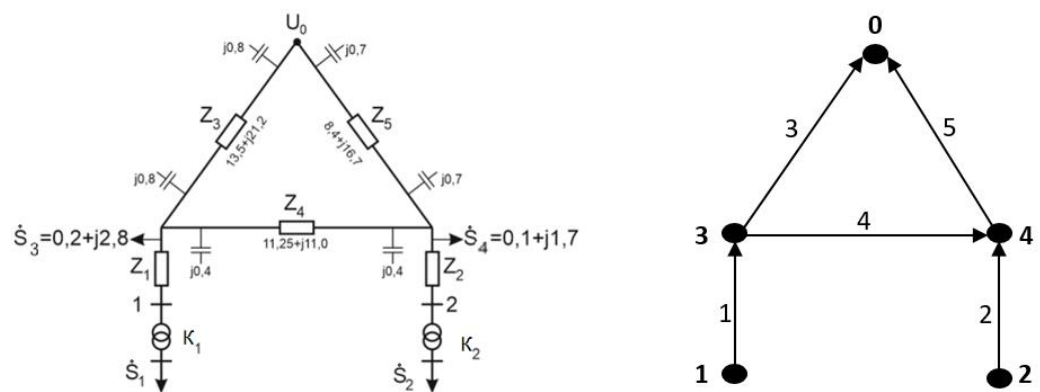


Рис. 1 а) Расчетная схема сети с параметрами б) ориентированный граф

Таблица 1. Результаты расчетов коэффициентов трансформации и регулировочных ответвлений

Нагрузки подстанций		Напряжения узлов		Коэффициенты трансформации				Номер регулировочного ответвления			
				k1		k2		n1		n2	
S ₁ МВ·А	S ₂ МВ·А	U ₀ кВ	U _ж кВ	класс ический метод	Системный метод	класс ический метод	Системный метод	класс ический метод	Системный метод	класс ический метод	Системный метод
42+ 21i	28+ 7i	12 5	10, 5	0,093 3	0,092 6	0,091 6	0,089 5	1,40	1,84	3,43	3,85
36+ 18i	24+ 6i	12 5	10, 5	0,091 6	0,091 2	0,089 0	0,088 6	2,45	2,76	4,15	4,45
30+ 15i	20+ 5i	12 5	10, 5	0,091 0	0,089 8	0,088 0	0,087 8	3,45	3,65	4,83	5,04
24+ 12i	16+ 4i	11 5	10	0,092 8	0,092 6	0,090 9	0,091 9	1,67	1,84	2,43	2,27
18+ 9i	12+ 3i	11 5	10	0,091 2	0,091 1	0,089 8	0,090 6	2,73	2,82	3,65	3,14
12+ 6i	8+2 i	11 5	10	0,089 6	0,089 6	0,088 7	0,089 3	3,73	3,78	4,33	3,98

Список литературы

1. Веников В.А., Идельчик В.И., Лисеев М.С. Регулирование напряжения в электроэнергетических системах. М.: Энергоатомиздат, 1985.- 120с.
2. Регулирование напряжения в электрических сетях. Доклады Мельникова Н.А., Маркушевича Н.С., Баркона Я.Д., Солдаткиной Л.А. М.: Энергия, 1968.-606с.
3. Баркан Я.Д. Автоматизация регулирования напряжения в распределительных сетях. М.: Энергия, 1972.-120с.
4. Гераскин О.Т. Графы электрической сети и топологические формулы// Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. 1971.- .- № 4.- С.66-75.
5. Dauren S. Akhmetbayev, Daurenbek A. Aubakir , Yermek Zh. Sarsikeyevev , Bakhtybek A. Bainiyazov ,Mikhail A. Surkov , Vitaliy I. Rozhko, Gulbahit N. Ansabekova , Assel S. Yerbolova , Azamat T. Suleimenov, Miramgul S. Tokasheva. Development of topological method for calculating current distribution coefficients in complex power networks, // Results in Physics, 2017, 7, стр.,1644-1649.
6. Джандигулов А.Р., Ахметбаев Д.С. Реализация нового топлогического алгоритма расчета коэффициентов токораспределения в сложных электрических сетях. Программа для ЭВМ. Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом. №1552 от 31 января 2019г.

7. Джандигулов А.Р., Ахметбаев Д.С. Нахождение всех остовных графов заданного графа. Программа для ЭВМ. Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом. №1551 от 31 января 2019г.