

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.317-321

РАСЧЕТ МОЩНОСТИ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

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

Дүйсенқұл С.Б. магистрант 2 курса

Сарсенбина А.К. магистрант 2 курса

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

1. Введение

В работе излагается методика расчета мощностей компенсирующих устройств на основе топологии распределительной сети. Приводится преобразованное топологическое уравнение напряжений узлов электрической сети сложной структуры относительно мощности компенсирующих устройств. Разрабатываются алгоритмы расчетов реактивных мощностей компенсирующих устройств, необходимых для обеспечения допустимых отклонений напряжения, с позиции синтеза режимов по напряжению.

Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях распространяется на всех потребителей электроэнергии и является обязательным для всех энергоснабжающих организаций независимо от их ведомственной принадлежности [1]. Известно, что передача реактивной мощности из сети 6- 35 кВ в низковольтную сеть, как правило, оказывается экономически не выгодной. С целью обеспечения нормативных показателей качества электроэнергии требуется непрерывное управление режимами компенсирующих устройств, которое связано с большими трудностями из-за взаимного влияния и разнообразия режимов [2]. Напряжение в различных точках распределительных сетей различно и зависит от параметров сети и режима потокораспределения [3,4]. Жесткие требования к поддержанию напряжения в технически определенных пределах вызывает необходимость его автоматического регулирования. Одним из основных способов регулирования напряжения в электрических сетях является применение компенсирующих устройств на понижающих подстанциях, работающих на принципе стабилизации напряжения [5]. Установка компенсирующего устройства в произвольной точке сети приводит к перераспределению реактивной мощности по распределительной сети в целом. Достижение желаемого уровня напряжения при этом, становится достаточно сложной задачей. Поэтому разработка системного метода определения необходимой реактивной мощности компенсирующих устройств является актуальной

задачей в условиях цифровизации управления напряжением в электрических сетях.

2. Топологические уравнения коэффициентов токораспределения и узловых напряжений

В работе [4] разработана методика расчета коэффициентов распределения задающих токов на основе топологии электрической сети. Разработанные алгоритмы реализованы в виде программного комплекса поиска и определения всех возможных и специфических деревьев направленного графа сложной электрической сети [8]. Коэффициенты распределения задающих токов формализуются на основе топологического выражения [7]:

$$C_{ij} = \frac{\sum F_{ij}}{\sum F}, \quad (1)$$

где $\sum F_{ij}$ - алгебраическая сумма специфических деревьев i -ой ветви относительно j -го узла, $\sum F$ - арифметическая сумма возможных деревьев графа.

Уравнение (1) легко преобразуется для разомкнутых сетей и определяется в виде:

$$C = M^{-1},$$

где M - первая матрица инциденции

Узловые напряжения определяются выражением, формализованным на основе топологии электрической сети [8]:

$$\dot{U} = \dot{U}_0 - \underline{C}^t \underline{Z}_d \underline{C} \hat{U}_d^{-1} \hat{S}, \quad (2)$$

где \underline{C} - матрица комплексных коэффициентов распределения задающих токов; \underline{Z}_d - диагональная матрица комплексных сопротивлений ветвей; \dot{U}_0 - напряжение базисного узла; \hat{U}_d - диагональная матрица сопряженного комплекса узловых напряжений; \hat{S} - столбцевая матрица сопряженного комплекса узловых нагрузок; t - знак транспонирования матрицы.

3. Моделирование мощности компенсирующих устройств

Предположим, что обеспечение требуемого напряжения достигается включением статических конденсаторов на шинах обмотки низкого напряжения трансформатора. Следовательно, значения желаемого напряжения на шинах понижающей подстанции можно считать заданной величиной. Тогда, требуется найти мощности КУ, установленные для обеспечения желаемого напряжения узлов.

Аналитическая зависимость между мощностями компенсирующих устройств и параметрами режима и сети может быть установлена на основе преобразования уравнения (2).

Рассмотрим сложную электрическую сеть энергосистемы, где желательное значение напряжений узлов обеспечиваются путем регулирования мощности КУ. Тогда уравнение (2) запишется в виде:

$$\dot{U}_{i\dot{j}c} = \dot{U}_0 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij}^t Z_j C_{ji} \dot{U}_{i\dot{j}c}^{-1} \dot{S}_i - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij}^t Z_j C_{ji} \dot{U}_{i\dot{j}c}^{-1} j Q_{kj}, \quad (3)$$

где $\dot{U}_{i\dot{j}c}$ - комплексное желательное значение напряжения i -го узла, Q_{kj} - мощность КУ j -го узла.

Уравнение (3) относительно вещественной части для напряжения i -го узла распределительной сети записывается в следующем виде:

$$\omega_{\dot{U}_i}(Q_k) = -U_{i\dot{j}c} + U_0 + \sum_{j=1}^n U_{\Delta ij} \cos(-\varphi_j + \psi_{ij}) + \sum_{j=1}^n Z_{ij} U_{j\dot{j}c}^{-1} Q_{kj} \sin \psi_{ij} = 0 \quad (4)$$

Из (4) видно, что мощности КУ определяются решением системы из n линейных уравнений.

4. Пример расчета мощности компенсирующих устройств

В качестве примера приводиться расчет необходимых мощностей КУ для участка реальной распределительной сети 10 кВ «Валиханова», изображенной на рис.1.

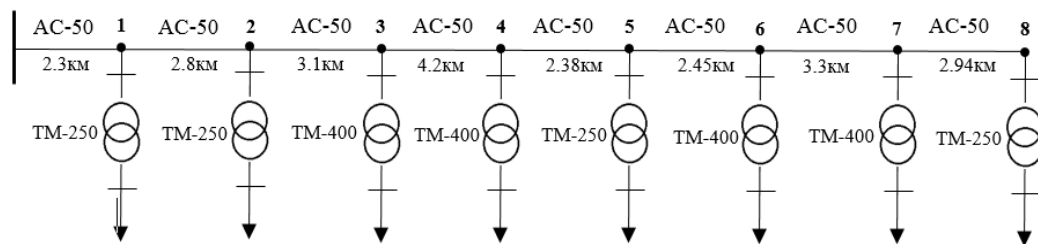


Рис. 1– Схема сети 10 кВ

Параметры, необходимые для выполнения расчетов, представлены в матричной форме:

-сопротивления ветвей, мощность узловых нагрузок:

$$Z_B = \begin{bmatrix} 1.368 + j0.902 \\ 1.666 + j1.098 \\ 1.845 + j1.215 \\ 2.499 + j1.646 \\ 1.416 + j0.933 \\ 1.458 + j0.96 \\ 1.963 + j1.294 \\ 1.749 + j1.152 \end{bmatrix}; S = \begin{bmatrix} S_{p1} \\ S_{p2} \\ S_{p3} \\ S_{p4} \\ S_{p5} \\ S_{p6} \\ S_{p7} \\ S_{p8} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.123 + j0.034 \\ 0.12 + j0.031 \\ 0.189 + j0.042 \\ 0.185 + j0.052 \\ 0.111 + j0.037 \\ 0.184 + j0.057 \\ 0.193 + j0.047 \\ 0.126 + j0.031 \end{bmatrix};$$

-коэффициенты распределения узловых токов

$$C = M^{-1} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}.$$

Принимая $U_0=10,5$ кВ, определим напряжения узлов без компенсации по формуле (2):

$$U = U_0 - C^T \cdot Z_B \cdot C \cdot U \cdot S = \begin{bmatrix} 10.302 - j0.066 \\ 10.085 - j0.138 \\ 9.87 - j0.209 \\ 9.633 - j0.285 \\ 9.53 - j0.318 \\ 9.444 - j0.347 \\ 9.371 - j0.373 \\ 9.346 - j0.382 \end{bmatrix} \text{кВ.}$$

Из проведенных расчетов видно, что узловые отклонения напряжения лежат в допустимых пределах только для первых пяти узлов. С целью проверки разработанных алгоритмов определим значения необходимых мощностей КУ с позиции синтеза режима по напряжению. Предположим, что желаемые значения напряжения узлов заданы: $U_{1ж}=10.325$ кВ, $U_{2ж}=10.136$ кВ, $U_{3ж}=9.953$ кВ, $U_{4ж}=9.758$ кВ, $U_{5ж}=9.679$ кВ, $U_{6ж}=9.618$ кВ, $U_{7ж}=9.582$ кВ, $U_{8ж}=9.58$ кВ и требуется найти мощности компенсирующих устройств, обеспечивающие заданный режим.

Решив систему(4) определяем мощности КУ, которые равны:

$$Q_{ку} = \begin{bmatrix} 0.075 \\ 0.069 \\ 0.074 \\ -0.148 \\ 0.319 \\ 0.12 \\ 0.005 \\ -0.144 \end{bmatrix} \text{МВАр.}$$

Установка КУ с мощностями определенными выше, должны обеспечить желаемые значения напряжений узлов. С целью проверки правильности определения мощности КУ проведем расчеты режима напряжений с учетом реактивных мощностей компенсирующих устройств по формуле (2).

Для наглядности анализа, полученные результаты представлены в табл.1.

Таблица 1– Сравнительная оценка расчетов

№	Мощности узловых нагрузок $P+jQ$, МВА	Напря ж. узлов без учета компен с U , кВ	Желае мые значен ия узлов напря ж. $U_{ж}$, кВ	Мощност и компенс. устройств , $Q_{ку}$, Мвар	Узловые мощности с учетом компенс. устройств $P+j(Q-Q_{ку})$, МВА	Расче тн. значе ния желеаемыхн апряж . $U_{жр}$,к В	Пог- реш- ности %
1	0.123 +j0.034	10.3	10.325	0.075	0.123 – j0.041	10.335	-0,01
2	0.12 +j0.031	10.085	10.136	0.069	0.12–j0.038	10.151	-0,015
3	0.189 +j0.042	9.87	9.953	0.074	0.189 – j0.032	9.964	-0,011
4	0.185 +j0.052	9.633	9.758	-0.148	0.185 + j0.2	9.753	0,005
5	0.111 + 0.037	9.53	9.679	0.319	0.111 – j0.282	9.678	0,001
6	0.184 +j0.057	9.444	9.618	0.12	0.184 – j0.063	9.591	0,027
7	0.193+j0.047	9.371	9.582	0.005	0.193 – j0.042	9.501	0,081
8	0.126 +j0.031	9.346	9.58	-0.14	0.126 + j0.171	9.5	0,08

Выполненные расчеты подтверждают эффективность топологического алгоритма к определению необходимых мощностей компенсирующих устройств, для обеспечения желаемых напряжений в узлах распределительных сетей. Нетрудно заметить, что в узлах 4 и 8 требуются ректорные установки. Поэтому, требуется системный подход к определению желаемого уровня напряжения потребителей с учетом экономических показателей производства.

Список использованной литературы

1. Указания по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях .ВНИИЭ.М.: Энергия, 1974,-73 с.
2. Архипов Н.К. Режим напряжения в электрических распределительных сетях. М.: изд-во ВЗЭИ, 1964.-131с.
3. Железко Ю.С. Определение мощности и мест установки местного регулирования напряжения // Электрические станции. Москва. 1972.- № 11.- С.34-36.
4. 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 POWERNETWORKS, //Results in Physics, 2017, 7, стр.,1644-1649.
5. 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.
6. 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.
7. DaurenAkhmetbayev, Arman Akhmetbayev, Azamat Suleymenov, Michal Kolcun . Modeling the Set Mode of Complex Power Grid,Based on Infeed Coefficients// Proceedings of the 9thInternational Scientific Symposium ELEKTROENERGETIKA 2017, 12.-14. 9. 2017, StaráLesná, Slovak Republic.
8. D.S. Akhmetbaev, A.R. Dzhandigulov, A.D. Akhmetbaev.Topological algorithm for forming nodal stresses of complex networks energy systems. Web of Conferences139, 01066(2019)