Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. XXXIУ, 1978 г.

АНАЛИЗ РУДНИЧНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ С ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ

В.М.КВЯТКОВСКИЙ, Н.В.НЕФЕДОВА,
Я.Э.ШКЛЯРСКИЙ

Имея в виду целесообразность применения продольно-поперечной компенсации в подземных сетях калийных рудников[x], произведем анализ режимов работы рудничной распределительной сети, характерный для производственного объединения „Белоруськалий" с целью выявления наиболее экономичной степени компенсации потерь напряжения и реактивной мощности.

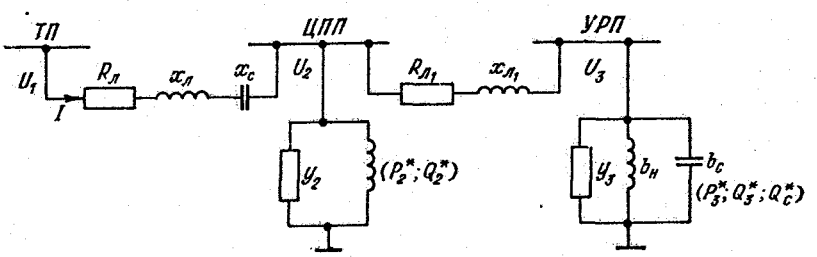


Рис.1. Расчетная схема рудничной распределительной сети

Сети с компенсирующими устройствами рассчитаны в соответствии с принятыми условиями (рис.I).

I. Установками продольной компенсации полностью компенсируется лишь реактивное сопротивление линии, питающей шины центральной подземной подстанции ЦПП, т.е. $x_c = x_л$.

2. Общая нагрузка $Y_н = g_н - jb_н$ подземной распределительной сети делится на две части:

[x] См. в настоящем сборнике В.М. Квятковский, Е.М. Проскуряков, Л.Н. Смирнова, Я.Э. Шклярский. Особенности продольно-поперечной компенсации потерь напряжения и реактивной мощности в рудничных распределительных сетях.

$$Y_3 = kY_н = k(g_н - j\,b_н)$$

и

$$Y_2 = (1-k)Y_н = (1-k)(g_н - j\,b_н)\ ,$$

где $Y_н$ - общая проводимость нагрузки подземной распределительной сети; Y_3 - часть нагрузки, подключенная в конце наиболее протяженных и нагруженных кабельных линий 6 кВ; Y_2 - остальная часть нагрузки, подключенная непосредственно к шинам ЦПП.

3. Установками поперечной компенсации компенсируется часть реактивной проводимости нагрузки, т.е. $b_c = k\,b_н$. При этом коэффициент $k = Y_3 / Y_н$ может рассматриваться как степень поперечной компенсации $k = b_c / b_н$ общей реактивной проводимости нагрузки.

4. Параметры нагрузки не зависят от режима сети, причем

$$b_н / g_н = \text{const}\ .$$

При расчете варьируется величина коэффициента k от 0 до I и определяются относительные уровни напряжения
в номинальном режиме

$$\tau_{12} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{|Z_{2э}|}{\sqrt{(R_{2э}+R_л)^2 + x_{2э}^2}}\ , \qquad (I)$$

где

$$Z_{2э} = R_{2э} + jx_{2э} = \frac{Z_2}{(1-k)Y_н Z_2 + 1}\ ; \quad Z_2 = R_{л1} + jx_{л1} + \frac{1}{k g_н}\ ;$$

$$\tau_{23} = \frac{U_3}{U_2} = \frac{\frac{1}{k g_н}}{\sqrt{\left(R_{л1} + \frac{1}{k g_н}\right)^2 + x_{л1}^2}}\ ; \qquad (2)$$

в режиме холостого хода

$$\tau_{12} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{|Z_2|}{\sqrt{(R_2+R_л)^2 + x_2^2}}\ , \qquad (3)$$

где $Z_2 = R_2 + jx_2 = R_{л1} + j\left(x_{л1} - \frac{1}{k b_н}\right)$;

$$\tau_{23} = \frac{U_3}{U_2} = \frac{\frac{1}{k b_н}}{\sqrt{R_{л1}^2 + \left(x_{л1} - \frac{1}{k b_н}\right)^2}}\ , \qquad (4)$$

а также

$$\tau = \frac{U_3}{U_2} = \tau_{12}\tau_{23}\ . \qquad (5)$$

Для условий калийных рудников ПО „Белоруськалий" параметры цепи (рис.I) можно принять равными, (отн.ед.): $x_л$ = 0,I3-0,I7; $R_л$ = 0,0I3-0,02; $x_{л1}$ = = 0,0I35l; $R_{л1}$ = 0,0336l (при l = 6 км); $x_{л1}$ = 0,08; $R_{л1}$ = 0,2; $Y_н$ = = 0,6- j0,8 (в номинальном режиме).

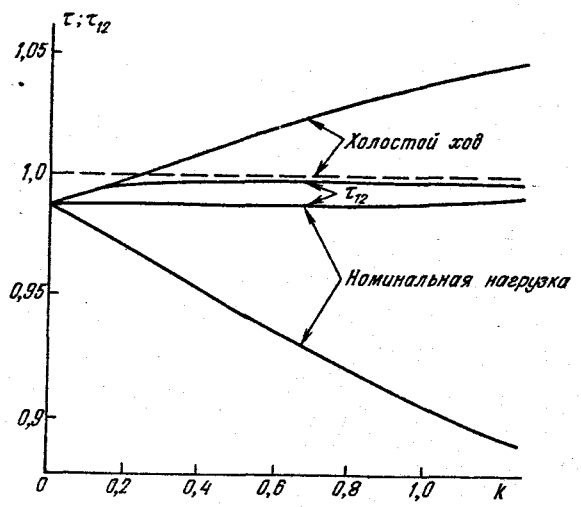


Рис.2. Влияние степени компенсации на добавку напряжения

По формулам (I)-(5) определяем $\tau_{12}(k);\tau_{23}(k)$; $\tau(k)$ для $k = 0 \div 1$ в номинальном режиме и режиме холостого хода, и строим графики этих величин.

Как следует из рис.2, уровень напряжения на шинах ЦПП практически не зависит от величины k и почти не меняется в широком диапазоне изменения нагрузки от холостого хода до номинальной нагрузки. Уровень же напряжения на шинах участкового распределительного пункта УРП зависит от величины k и существенно различен в режимах холостого хода и номинальной нагрузки. Следовательно, на шинах УРП при больших значениях k и резких изменениях нагрузки могут возникать значительные колебания напряжения. Если ограничить эти колебания напряжения примерно 5%, то, как это следует из графика, величина k не должна превышать 0,3.

Принимая это значение k, рассчитаем режимы работы сети при напряжении $U_1^* = \text{const}$; мощности нерегулируемой батареи параллельных конденсаторов НБК

$$Q_c^* = Q_{cн}^* \cdot k = Q_{cн}\left(\frac{U_c^*}{U_{cн}^*}\right)^2 ,$$

где U_c^* - фактическое напряжение на конденсаторах; $U_{cн}^*$ - номинальное напряжение НБК; $Q_{cн}^*$ - номинальная мощность НБК; активной мощности нагрузки, не зависящей от напряжения на зажимах приемника; реактивной мощности приемника, зависящей от величины приложенного напряжения на его зажимах.

Последняя зависимость одинакова для различных значений реактивной мощности и имеет вид[x]:

$$Q^* = Q_н^* \cdot k_Q ,$$

где $k_Q = f\left(\frac{U^*}{U_н^*}\right)$.

[x] Ф.Р. Карпов. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях. М., Энергия, 1975.

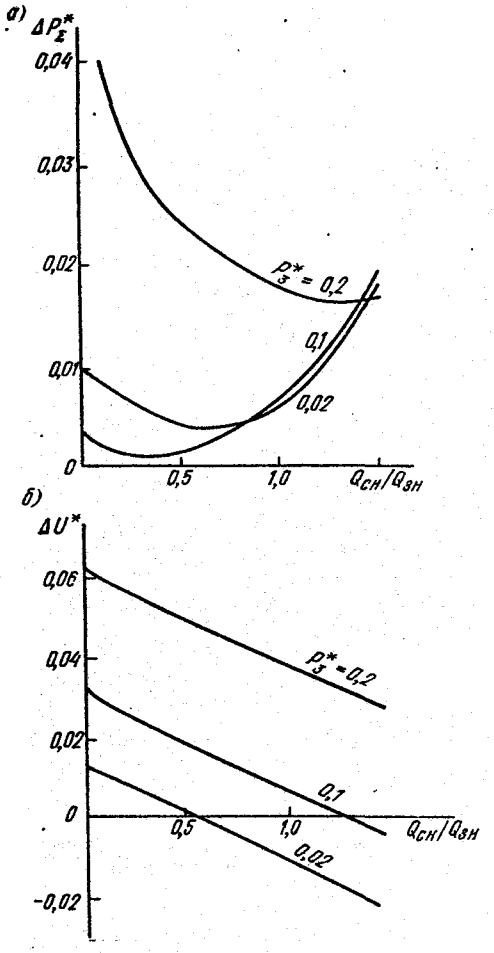


Рис.3. Изменения потерь:
а – активной мощности, б – напряжения

Так как зависимость статических характеристик нагрузки нелинейна, для расчета выбираем метод последовательных приближений[x]. Расчет начинаем с конца фидера. Задаем величину напряжения U_3^*, величины активной мощности P_3^* и реактивной Q_3^* по графику нагрузки рабочей смены, затем по общепринятым формулам определяем напряжение U_1^*. Если полученная величина отличается от заданной, расчет повторяют. По найденным значениям этих величин можно определить значения тока и потери мощности в любой точке сети при совместном включении продольных и поперечных компенсаторов.

Задаваясь графиками активной и реактивной мощности типовой рабочей смены, рассчитаем сеть, изменяя мощность НБК от 0 до $I,5Q_{ЗН}^*$. По полученным результатам строим графики зависимостей ΔU^*, ΔP^* от мощности НБК (рис.3).

Как видно из рис.3, потеря напряжения $\Delta U^* = U_1^* - U_2^*$ линейно изменяется с увеличением мощности НБК. Однако отклонения напряжения, вызванные изменением нагрузки от полной до минимальной, те же, что и при отсутствии батареи. С ростом мощности батареи повышается уровень напряжения U_3^*.

Суммарные потери активной мощности ΔP_Σ^* минимальны в режиме максимальных нагрузок при степени компенсации $Q_{СН}^*/Q_{ЗН}^* = I$ и снизятся на 45–50% по сравнению с некомпенсированной сетью. Увеличение и уменьшение мощности батареи приводит к возрастанию потерь. При степени компенсации больше I возрастают потери в отходящей линии и несколько снижаются потери активной мощности ΔP_1^* в питающей.

[x] Электрические системы. Т.II. М., Высшая школа, 1971.

При меньших нагрузках $P_3^* = (0,1$ и $0,02)$ минимум суммарных потерь активной мощности достигается при меньших мощностях НБК. При увеличении мощности НБК ток питающей линии I^* уменьшается примерно 3;5% на каждый процент увеличения мощности батареи. При степени компенсации I это уменьшение достигает 25% (относительно I^* при отсутствии компенсации). Снижение I^* примерно в тех же размерах происходит и при нагрузке $0,5P_{max}$.

При малых нагрузках (в ремонтные смены и выходные дни) значение I^* возрастает с увеличением мощности батареи сверх величины, определяющей условия резонанса. Ток I_1^* отходящей линии практически сохраняет свою величину при различных значениях активной мощности нагрузки при условии полной компенсации реактивной мощности в режиме максимальной нагрузки, после же установления батареи конденсаторов он уменьшается почти в два раза. Это разрешает уменьшить сечение кабелей отходящей линии.

Уменьшение нагрузки линий смещает минимум тока в сторону меньших мощностей батареи конденсаторов. Представляет интерес изменение $tg\varphi_1$ на шинах трансформаторной подстанции ТП. В режиме полной нагрузки этот показатель изменяется от 1,51 до 0,813, т.е. почти в два раза, оставаясь при этом индуктивным. Характер нагрузки остается также индуктивным при средней нагрузке фидера. При малых нагрузках (выходные дни и ремонтные смены) и полной компенсации характер нагрузки фидера изменяется с индуктивного на емкостной. Если в этом режиме отключать часть (половину) батарей конденсаторов, характер нагрузки фидера сохранится индуктивным, что снизит токи и потери.

Зная потери активной мощности и график нагрузки, можно вычислить потери энергии ΔA за любой промежуток времени. Обычно их определяют за год. Минимальные значения они имеют при $Q_{сн}^*/Q_{зн}^* \approx 0,7 \div 0,8$. Потери же энергии при полной компенсации мало отличаются от минимума и составляют примерно 0,6 от ΔA при отсутствии компенсации. Таким образом, уменьшение потерь энергии в год при степени компенсации, равной I, составит примерно $0,37 \cdot 10^6$ кВт·ч.

Следовательно, в целях получения наибольшего экономического эффекта за счет уменьшения потерь мощности установки поперечной компенсации целесообразно включать в конце наиболее протяженных и нагруженных линий, при этом общая степень компенсации реактивной мощности сети не должна превышать 0,3.

Установка батарей конденсаторов на удаленных горных участках позволяет снизить величину тока отходящей линии на 40% и применять кабели меньшего сечения.

Потери энергии за год при принятом графике нагрузки уменьшаются на 40%.