

УДК 621.311

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА СЕТИ ПРИ УЧЕТЕ И НЕУЧЕТЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАГРУЗКИ ПО НАПРЯЖЕНИЮ

Астровский А.Г, Курченя Ю.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Мышковец Е.В.

Физическая природа потребления энергии электрической нагрузкой такова, что ее активная и реактивная мощности зависят от подведенного напряжения и частоты в электрической системе. Такие зависимости носят название статических характеристик нагрузок по частоте и по напряжению. Разные типы электрических нагрузок имеют различные статические характеристики. В совокупности различных типов электроприемников рассматриваются статические характеристики смешанной нагрузки.

Статические характеристики используются при регулировании частоты и напряжения в электроэнергетических системах. В общем они записываются как $P=F(U,f)$, $Q=F(U,f)$.

Здесь мы будем рассматривать зависимости мощности нагрузки только от напряжения – статические характеристики нагрузки по напряжению $P=F(U)$, $Q=F(U)$.

Рассмотрим процедуру расчета режима на примере сети, приведенной на рисунке 1. В качестве исходной информации здесь выступают режимное напряжение источника питания U_A , сопротивление линий, реактивные проводимости линий, представленные зарядными мощностями, зависящими от напряжения, нагрузки в узлах $S1$ и $S2$ с их известными статическими характеристиками.

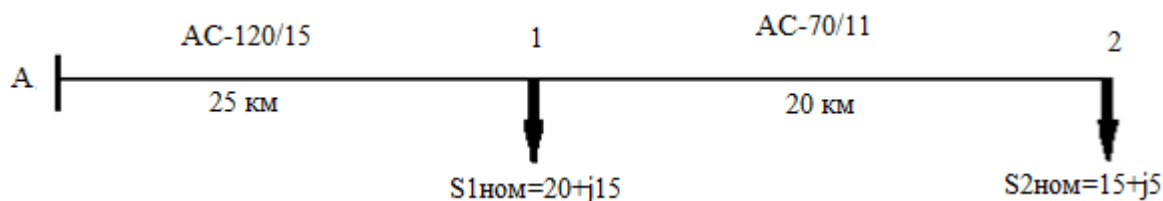


Рисунок 1. Схема сети.

Номинальное напряжение заданной сети 110 кВ. Зададимся параметрами линий:

$r_{A1} = 0.244$ Ом/км - удельное активное сопротивление линии А-1.

$x_{A1} = 0.42$ Ом/км - удельное индуктивное сопротивление линии А-1.

$b_{0A1} = 2.66 \cdot 10^{-6}$ См/км- удельная реактивная проводимость линии А-1.

$r_{12} = 0.42$ Ом/км - удельное активное сопротивление линии 1-2.

$x_{12} = 0.44$ Ом/км - удельное индуктивное сопротивление линии 1-2.

$b_{012} = 2.55 \cdot 10^{-6}$ См/км- удельная реактивная проводимость линии 1-2.

Рассчитываем сопротивления линий:

$$R_{a1} = r_{A1} \cdot L_1 = 0.244 \cdot 25 = 6.10 \text{ Ом},$$

$$R_{12} = r_{12} \cdot L_2 = 0.422 \cdot 20 = 8,44 \text{ Ом},$$

$$X_{a1} = x_{A1} \cdot L_1 = 0,427 \cdot 25 = 10,675 \text{ Ом},$$

$$X_{12} = x_{12} \cdot L_2 = 0,444 \cdot 20 = 8,88 \text{ Ом}.$$

Первая итерация ($U_2 = U_{ном}$).

Находим значение нагрузки с учетом типовых статических характеристик, приняв их в виде:

$$P_2 = P_{2n} \cdot (0.83 - 0.3 \cdot \frac{U_2}{U_{ном}} + 0.47 \cdot (\frac{U_2}{U_{ном}})^2) = 15 \text{ МВт},$$

$$Q_2 = Q_{2n} \cdot (5.5 - 10.7 \cdot \frac{U_2}{U_{ном}} + 6.2 \cdot (\frac{U_2}{U_{ном}})^2) = 5 \text{ Мвар}.$$

Находим зарядную мощность в конце линии 1-2:

$$Q_{312к} = \frac{U_2^2 \cdot b_{012} \cdot L_2}{2} = 0.309 \text{ Мвар}.$$

Находим активную и реактивную мощность в конце линии 1-2:

$$P_{12к} = P_2 = 15 \text{ МВт},$$

$$Q_{12к} = Q_2 - Q_{312к} = 4.691 \text{ Мвар}.$$

Вычисляем мощность в начале линии 1-2 и напряжение в узле 1:

$$P_{12н} = P_2 + \frac{P_{12к}^2 + Q_{12к}^2}{U_2^2} \cdot R_{12} = 15.172 \text{ МВт},$$

$$Q_{12н} = Q_{12к} + \frac{P_{12к}^2 + Q_{12к}^2}{U_2^2} \cdot X_{12} = 4.873 \text{ Мвар},$$

$$U_1 = U_2 + \frac{P_{12к} \cdot R_{12} + Q_{12к} \cdot X_{12}}{U_2} = 111.172 \text{ кВ}.$$

По значению напряжения в узле U_1 из статических характеристик $P_1 = f(U_1)$ и $Q_1 = f(U_1)$ находим мощности P_1 и Q_1 и вычисляем зарядные мощности:

$$P_1 = P_{1н} \cdot (0.83 - 0.3 \cdot \frac{U_1}{U_{ном}} + 0.47 \cdot (\frac{U_1}{U_{ном}})^2) = 20.18 \text{ МВт},$$

$$Q_1 = Q_{1н} \cdot (5.5 - 10.7 \cdot \frac{U_1}{U_{ном}} + 6.2 \cdot (\frac{U_1}{U_{ном}})^2) = 15.373 \text{ Мвар},$$

$$Q_{312н} = \frac{U_1^2 \cdot b_{012} \cdot L_2}{2} = 0.317 \text{ Мвар},$$

$$Q_{3A1к} = \frac{U_1^2 \cdot b_{0A1} \cdot L_1}{2} = 0.414 \text{ Мвар}.$$

Находим мощность в конце линии А-1:

$$P_{A1к} = P_1 + P_{12н} = 35.352 \text{ МВт},$$

$$Q_{12к} = Q_1 + Q_{12н} - Q_{312н} = 19.928 \text{ Мвар}.$$

Вычисляем мощность в начале линии А-1:

$$P_{A1н} = P_{A1к} + \frac{P_{A1к}^2 + Q_{12к}^2}{U_1^2} \cdot R_{a1} = 36.16 \text{ МВт},$$

$$Q_{A1н} = Q_{12к} + \frac{P_{A1к}^2 + Q_{12к}^2}{U_1^2} \cdot X_{a1} = 21.341 \text{ Мвар}.$$

По заданному напряжению источника питания U_a и мощности в начале линии А-1 вычисляют последовательно U_1 и первое приближение U_2 :

$$U_1 = U_a - \frac{P_{A1н} \cdot R_{a1} + Q_{A1н} \cdot X_{a1}}{U_a} = 112.135 \text{ кВ},$$

$$U_2 = U_1 - \frac{P_{12н} \cdot R_{12} + Q_{12н} \cdot X_{12}}{U_1} = 110.598 \text{ кВ}.$$

Вторая итерация:

$$P_2 = P_{2n} \cdot (0.83 - 0.3 \cdot \frac{U_{21}}{U_{ном}} + 0.47 \cdot (\frac{U_{21}}{U_{ном}})^2) = 15.052 \text{ МВт},$$

$$Q_2 = Q_{2n} \cdot (5.5 - 10.7 \cdot \frac{U_{21}}{U_{ном}} + 6.2 \cdot (\frac{U_{21}}{U_{ном}})^2) = 5.047 \text{ Мвар}.$$

$$Q_{312к} = \frac{U_{21}^2 \cdot b_{012} \cdot L_2}{2} = 0.312 \text{ Мвар},$$

$$P_{12к} = P_2 = 15.052 \text{ МВт},$$

$$Q_{12к} = Q_2 - Q_{312к} = 4.735 \text{ Мвар}.$$

$$P_{12н} = P_2 + \frac{P_{12к}^2 + Q_{12к}^2}{U_{21}^2} \cdot R_{12} = 15.224 \text{ МВт},$$

$$Q_{12н} = Q_{12к} + \frac{P_{12к}^2 + Q_{12к}^2}{U_{21}^2} \cdot X_{12} = 4.916 \text{ Мвар}.$$

$$U_1 = U_{21} + \frac{P_{12к} \cdot R_{12} + Q_{12к} \cdot X_{12}}{U_{21}} = 112.127 \text{ кВ}.$$

$$P_1 = P_{1н} \cdot (0.83 - 0.3 \cdot \frac{U_1}{U_{ном}} + 0.47 \cdot (\frac{U_1}{U_{ном}})^2) = 20,251 \text{ МВт},$$

$$Q_1 = Q_{1н} \cdot (5.5 - 10.7 \cdot \frac{U_1}{U_{ном}} + 6.2 \cdot (\frac{U_1}{U_{ном}})^2) = 15.528 \text{ Мвар}.$$

$$Q_{312н} = \frac{U_1^2 \cdot b_{012} \cdot L_2}{2} = 0.321 \text{ Мвар},$$

$$Q_{3A1к} = \frac{U_1^2 \cdot b_{0A1} \cdot L_1}{2} = 0.418 \text{ Мвар}.$$

$$P_{A1к} = P_1 + P_{12н} = 35.475 \text{ МВт},$$

$$Q_{12к} = Q_1 + Q_{12н} - Q_{312н} = 20.123 \text{ Мвар}.$$

$$P_{A1н} = P_{A1к} + \frac{P_{A1к}^2 + Q_{12к}^2}{U_1^2} \cdot R_{a1} = 36.282 \text{ МВт},$$

$$Q_{A1н} = Q_{12к} + \frac{P_{A1к}^2 + Q_{12к}^2}{U_1^2} \cdot X_{a1} = 21.536 \text{ Мвар}.$$

$$U_{12} = U_a + \frac{P_{A1н} \cdot R_{a1} + Q_{A1н} \cdot X_{a1}}{U_a} = 112.11 \text{ кВ},$$

$$U_{22} = U_{12} + \frac{P_{12н} \cdot R_{12} + Q_{12н} \cdot X_{12}}{U_{12}} = 110.575 \text{ кВ}.$$

$$E \geq |U_{12} - U_{11}| = 0,024,$$

$$E \geq |U_{22} - U_{21}| = 0,024.$$

Третья итерация: В третью итерацию подставляем значения напряжений, вычисленные во второй итерации. В итоге получаем:

$$U_{13} = U_a + \frac{P_{A1н} \cdot R_{a1} + Q_{A1н} \cdot X_{a1}}{U_a} = 112.111 \text{ кВ},$$

$$U_{23} = U_{13} + \frac{P_{12н} \cdot R_{12} + Q_{12н} \cdot X_{12}}{U_{13}} = 110.576 \text{ кВ}.$$

$$E \geq |U_{1_3} - U_{1_2}| = 0,001,$$

$$E \geq |U_{2_3} - U_{2_2}| = 0,001.$$

Условия выполняются.

Теперь покажем результаты расчета установившегося режима этой же сети без учета статических характеристик нагрузки по напряжению.

$$U_1 = U_a + \frac{P_{A1n} \cdot R_{a1} + Q_{A1n} \cdot X_{a1}}{U_a} = 112.181 \text{ кВ},$$

$$U_2 = U_{1_3} + \frac{P_{12n} \cdot R_{12} + Q_{12n} \cdot X_{12}}{U_1} = 110.645 \text{ кВ}.$$

Напряжения, рассчитанные без учета статических характеристик нагрузки по напряжению, отличаются от напряжений, рассчитанных с учетом характеристик на 0.06%.

Учет статических характеристик нагрузки по напряжению позволяет более точно определить напряжение в узлах сети.

Литература

1. Поспелов Г.Е. Электрические системы и сети / Г.Е. Поспелов, В.Т. Федин, П.В. Лычев: под ред. В.Т. Федин. – Минск: Технопринт, 2004-720 с.