

# ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРАНСФОРМАЦИИ НА ПОТЕРИ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СЕТИ

Дегтярев Е.А. Email: Degtyarev653@scientifictext.ru

Дегтярев Евгений Александрович – магистрант,  
кафедра электроэнергетики и автоматики,  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

**Аннотация:** в статье рассматривается влияние изменения коэффициента трансформации на потоки реактивной мощности в сети и, как следствие, на потери активной мощности. Указана зависимость реактивной мощности от напряжения в конце исследуемого участка. Представлена методика расчёта установившегося режима сети. Приведена оценка возможности компенсации реактивной мощности изменением отпайки РПН. Установлено, что выбор оптимальной отпайки РПН силового трансформатора позволяет сократить мощность устанавливаемых компенсирующих устройств.

**Ключевые слова:** компенсация реактивной мощности, потери активной мощности, коэффициент трансформации.

## EFFECT OF TRANSFORMATION COEFFICIENT ON LOSSES OF ACTIVE POWER IN THE NETWORK

Degtyarev E.A.

Degtyarev Evgeny Aleksandrovich - Undergraduate,  
DEPARTMENT OF POWER ENGINEERING AND AUTOMATION,  
BELGOROD STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY BY V.G. SHUKHOV, BELGOROD

**Abstract:** the article discusses the effect of a change in the transformation ratio on the reactive power flows in the network and, as a result, on the active power losses. The dependence of the reactive power on the voltage at the end of the study area is indicated. Presents a method for calculating the steady-state network. An assessment is made of the possibility of reactive power compensation by changing the tap-changer tap. It has been established that the choice of the optimal tap-off of the on-load tap-changer of a power transformer allows reducing the power of installed compensating devices.

**Keywords:** reactive power compensation, active power loss, transformation ratio.

УДК 621.316.722.076.12

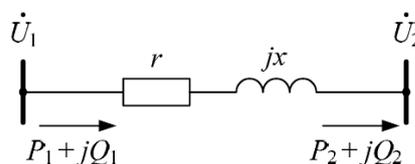


Рис. 1 Рассматриваемый участок сети

На участке сети (рис. 1) с сопротивлением  $z = r + jx$  вектор падения напряжения состоит из продольной и поперечной составляющей

$$\Delta U_{\text{прод}} = I_a r + I_p x \quad \text{и} \quad \Delta U_{\text{поп}} = I_a x + I_p r. \quad (1)$$

Выразив активную и реактивную составляющую тока через мощности в конце участка рассматриваемой сети:

$$I_a = \frac{P}{\sqrt{3}U} \quad \text{и} \quad I_p = \frac{Q}{\sqrt{3}U}, \quad (1)$$

получим

$$\Delta U_{\text{прод}} = \frac{Pr + Qx}{U} \quad \text{и} \quad \Delta U_{\text{поп}} = \frac{Px + Qr}{U}, \quad (2)$$

опустив поперечную составляющую, получим

$$U_2 = U_1 - \frac{Pr + Qx}{U_1}. \quad (3)$$

Так как в сетях высокого напряжения реактивное сопротивление много больше активного, можно принять, что

$$U_2 = U_1 - \frac{Qx}{U_1}. \quad (4)$$

Выразив Q, получим

$$Q = \frac{U_1(U_1 - U_2)}{x}. \quad (5)$$

Значит, при неизменном напряжении в начале участка поток реактивной мощности будет зависеть от напряжения в конце участка. Если в качестве такого участка принять силовой трансформатор, то за счет

регулируемого коэффициента трансформации можно изменять вторичное напряжение, влияя на реактивную мощность. Такая регулировка осуществляется устройством РПН (регулирование под нагрузкой).

На примере схеме на рис. 2 рассмотрим влияние коэффициента трансформации на изменение перетоков реактивной мощности и, следовательно, потери активной мощности.

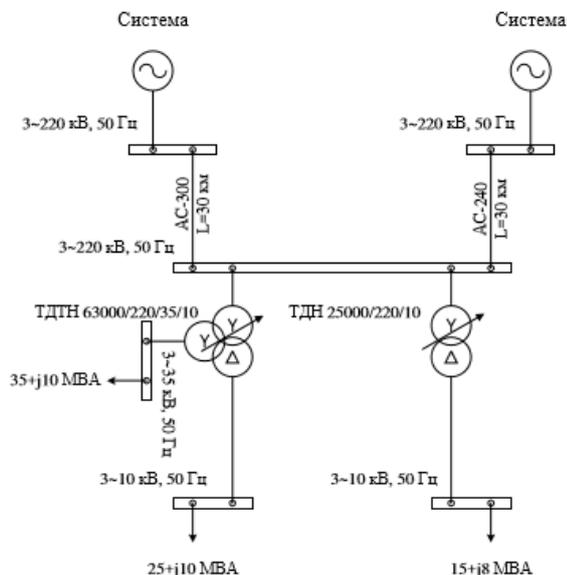


Рис. 2. Однолинейная электрическая схема

Расчёт установившегося режима ведётся в ППК Mathcad. Для каждого узла схемы (кроме базисного) составляются уравнения узловых напряжений в форме баланса мощностей.

$$WP1(U1, U2, U3, U4, U5, U6, d1, d2, d3, d4, d5, d6) := g11 \cdot U1^2 + g12 \cdot U1 \cdot U2 \cdot \cos(d1 - d2) + b12 \cdot U1 \cdot U2 \cdot \sin(d1 - d2) + P1$$

$$WP2(U1, U2, U3, U4, U5, U6, d1, d2, d3, d4, d5, d6) := g22 \cdot U2^2 + g21 \cdot U2 \cdot U1 \cdot \cos(d2 - d1) + g23 \cdot U2 \cdot U3 \cdot \cos(d2 - d3) \dots \\ + g26 \cdot U2 \cdot U6 \cdot \cos(d2 - d6) + g27 \cdot U2 \cdot U7 \cdot \cos(d2 - d7) \dots \\ + b21 \cdot U2 \cdot U1 \cdot \sin(d2 - d1) + b23 \cdot U2 \cdot U3 \cdot \sin(d2 - d3) \dots \\ + b26 \cdot U2 \cdot U6 \cdot \sin(d2 - d6) + b27 \cdot U2 \cdot U7 \cdot \sin(d2 - d7) + P2$$

$$WP3(U1, U2, U3, U4, U5, U6, d1, d2, d3, d4, d5, d6) := g33 \cdot U3^2 + g32 \cdot U3 \cdot U2 \cdot \cos(d3 - d2) + g34 \cdot U3 \cdot U4 \cdot \cos(d3 - d4) \dots \\ + g35 \cdot U3 \cdot U5 \cdot \cos(d3 - d5) + b32 \cdot U3 \cdot U2 \cdot \sin(d3 - d2) \dots \\ + b34 \cdot U3 \cdot U4 \cdot \sin(d3 - d4) + b35 \cdot U3 \cdot U5 \cdot \sin(d3 - d5) + P3$$

$$WP4(U1, U2, U3, U4, U5, U6, d1, d2, d3, d4, d5, d6) := g44 \cdot U4^2 + g43 \cdot U4 \cdot U3 \cdot \cos(d4 - d3) + b43 \cdot U4 \cdot U3 \cdot \sin(d4 - d3) + P4$$

$$WP5(U1, U2, U3, U4, U5, U6, d1, d2, d3, d4, d5, d6) := g55 \cdot U5^2 + g53 \cdot U5 \cdot U3 \cdot \cos(d5 - d3) + b53 \cdot U5 \cdot U3 \cdot \sin(d5 - d3) + P5$$

$$WP6(U1, U2, U3, U4, U5, U6, d1, d2, d3, d4, d5, d6) := g66 \cdot U6^2 + g62 \cdot U6 \cdot U2 \cdot \cos(d6 - d2) + b62 \cdot U6 \cdot U2 \cdot \sin(d6 - d2) + P6$$

$$WQ2(U1, U2, U3, U4, U5, U6, d1, d2, d3, d4, d5, d6) := -b22 \cdot U2^2 + -b21 \cdot U2 \cdot U1 \cdot \cos(d2 - d1) + -b23 \cdot U2 \cdot U3 \cdot \cos(d2 - d3) \dots \\ + -b26 \cdot U2 \cdot U6 \cdot \cos(d2 - d6) - b27 \cdot U2 \cdot U7 \cdot \cos(d2 - d7) \dots \\ + g21 \cdot U2 \cdot U1 \cdot \sin(d2 - d1) + g23 \cdot U2 \cdot U3 \cdot \sin(d2 - d3) \dots \\ + g26 \cdot U2 \cdot U6 \cdot \sin(d2 - d6) + g27 \cdot U2 \cdot U7 \cdot \sin(d2 - d7) + Q2$$

$$WQ3(U1, U2, U3, U4, U5, U6, d1, d2, d3, d4, d5, d6) := -b33 \cdot U3^2 + -b32 \cdot U3 \cdot U2 \cdot \cos(d3 - d2) + -b34 \cdot U3 \cdot U4 \cdot \cos(d3 - d4) \dots \\ + (-b35 \cdot U3 \cdot U5 \cdot \cos(d3 - d5) + g32 \cdot U3 \cdot U2 \cdot \sin(d3 - d2)) \dots \\ + g34 \cdot U3 \cdot U4 \cdot \sin(d3 - d4) + g35 \cdot U3 \cdot U5 \cdot \sin(d3 - d5) + Q3$$

$$WQ4(U1, U2, U3, U4, U5, U6, d1, d2, d3, d4, d5, d6) := -b44 \cdot U4^2 + -b43 \cdot U4 \cdot U3 \cdot \cos(d4 - d3) + g43 \cdot U4 \cdot U3 \cdot \sin(d4 - d3) + Q4$$

$$WQ5(U1, U2, U3, U4, U5, U6, d1, d2, d3, d4, d5, d6) := -b55 \cdot U5^2 + -b53 \cdot U5 \cdot U3 \cdot \cos(d5 - d3) + g53 \cdot U5 \cdot U3 \cdot \sin(d5 - d3) + Q5$$

$$WQ6(U1, U2, U3, U4, U5, U6, d1, d2, d3, d4, d5, d6) := -b66 \cdot U6^2 + -b62 \cdot U6 \cdot U2 \cdot \cos(d6 - d2) + g62 \cdot U6 \cdot U2 \cdot \sin(d6 - d2) + Q6$$

Рис. 3. Уравнения баланса мощностей

Решение данных уравнений находится по методу Ньютона.

$$\begin{pmatrix} U2 \\ U3 \\ U4 \\ U5 \\ U6 \\ d1 \\ d2 \\ d3 \\ d4 \\ d5 \\ d6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 220 \\ 220 \\ 35 \\ 10 \\ 10 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 30 \cdot \text{deg} \\ 30 \cdot \text{deg} \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} U1 \\ U2 \\ U3 \\ U4 \\ U5 \\ U6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 220 \\ 218.27 \\ 203.651 \\ 36.2 \\ 10.094 \\ 10.125 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} d1 \\ d2 \\ d3 \\ d4 \\ d5 \\ d6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.068 \\ -8.902 \\ -8.872 \\ 17.852 \\ 25.006 \end{pmatrix}$$

Рис. 4. Начальные приближения и результаты расчёта после пяти итераций

По результатам расчёта и с учетом положения отпайки РПН определяем суммарные потери активной мощности.

$$\begin{aligned}
 k_{34} &:= \frac{230 \cdot e^{0i \cdot \text{deg}} \cdot \left(1 - 4 \cdot \frac{1.5}{100}\right)}{38.5} = 5.616 & k_{34} &:= \frac{230 \cdot e^{0i \cdot \text{deg}} \cdot \left(1 - 8 \cdot \frac{1.5}{100}\right)}{38.5} = 5.257 \\
 k_{35} &:= \frac{230 \cdot e^{30i \cdot \text{deg}} \cdot \left(1 - 4 \cdot \frac{1.5}{100}\right)}{11} = 17.021 + 9.827i & k_{35} &:= \frac{230 \cdot e^{30i \cdot \text{deg}} \cdot \left(1 - 8 \cdot \frac{1.5}{100}\right)}{11} = 15.935 + 9.2i \\
 k_{26} &:= \frac{230 \cdot e^{30i \cdot \text{deg}} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{1}{100}\right)}{11} = 17.746 + 10.245i & k_{26} &:= \frac{230 \cdot e^{30i \cdot \text{deg}} \cdot \left(1 - 8 \cdot \frac{1}{100}\right)}{11} = 16.659 + 9.618i
 \end{aligned}$$

а) б)

Рис. 5. Коэффициенты трансформации при оптимальном (а) и не оптимальном (б) положении отпайки РПН

$$\begin{aligned}
 P_{xx23} + P_{xx26} + P_{12л} + P_{27л} + \Delta P_{12} + \Delta P_{23} + \Delta P_{34} + \Delta P_{35} + \Delta P_{26} + \Delta P_{27} &= 0.824 \\
 \text{а)} \\
 P_{xx23} + P_{xx26} + P_{12л} + P_{27л} + \Delta P_{12} + \Delta P_{23} + \Delta P_{34} + \Delta P_{35} + \Delta P_{26} + \Delta P_{27} &= 2.066 \times 10^4 \\
 \text{б)}
 \end{aligned}$$

Рис. 6. Суммарные потери активной мощности при оптимальном (а) и не оптимальном (б) положении отпайки РПН

В данном случае выбор оптимальной отпайки РПН позволяет уменьшить потери активной мощности более чем на 20000 МВт (по сравнению с самым не оптимальным).

Такой способ компенсации не требует дополнительных капитальных затрат, однако не позволяет провести полную компенсацию. Его рекомендуется применять до установки компенсирующих устройств для уменьшения их мощности и, следовательно, сокращения затрат.

#### Список литературы / References

1. Обухов С.Г. Математическое моделирование в системах электроснабжения: учебное пособие / С.Г. Обухов. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.
2. Ананичева С.С. Схемы замещения и установившиеся режимы электрических сетей: учебное пособие / С.С. Ананичева, А.Л. Мызин; 6-е изд., испр. Екатеринбург: УрФУ.
3. Идельчик В.И. Электрические системы и сети: учебник для вузов / В.И. Идельчик. Москва: Энергоатомиздат, 1989.
4. Метод Ньютона. Решение нелинейных алгебраических и трансцендентных уравнений методом Ньютона. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://statref.ru/ref\\_jgepolbewujg.html/](http://statref.ru/ref_jgepolbewujg.html/) (дата обращения: 07.12.2018).

5. *Лыкин А.В.* Математическое моделирование электрических систем и их элементов: учебное пособие / А.В. Лыкин. Новосибирск: Изд-во НГТУ.