



6.8 Компенсация реактивной мощности в сетях со специфическими нагрузками

К специфическим нагрузкам относятся приемники с нелинейной нагрузкой (нелинейные ВАХ), вентильные преобразователи, нагрузка с резко переменным графиком, несимметричная нагрузка. Характерная особенность такой нагрузки проявляется в создании несинусоидальности напряжения, значительных отклонениях приводящих к размаху напряжения, несимметрии.

Чисто нелинейные элементы - описываются нелинейными дифференциальными уравнениями.

Вопрос о возможности установки компенсирующих устройств рассматривается по специфике нагрузки.

Условие применения для вентильных преобразователей:

$$\frac{S_K}{S_{Н.Л}} \geq 200 \quad (6.17)$$

Условие применения для других нелинейных нагрузок

$$\frac{S_K}{S_{Н.Л}} \geq 100 \quad (6.18)$$

где S_K – мощность короткого замыкания, МВА

$S_{Н.Л}$ – суммарная мощность нелинейной нагрузки, МВА.

Если указанные условия выполняются, то КУ выбираются по общей методике.

Для нелинейной нагрузки выбор КУ зависит от несинусоидальности напряжения. При коэффициенте несинусоидальности $k_{НС}$ менее 5% рекомендуются батареи конденсаторов в комплекте с защитным реактором и фильтром. Мощность также определяется из условия баланса реактивной мощности.

Для резко переменной нагрузки следует выбирать быстродействующие источники реактивной мощности (ИРМ), основанные на принципе прямой или косвенной компенсации.

При несимметрии напряжения более 2% следует применять симметрирующие и фильтро-симметрирующие устройства.

7 ПОТЕРИ МОЩНОСТИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

7.1 Потери мощности в трансформаторах

Потери мощности в трансформаторах складываются из потерь активной и реактивной мощности.

Активные потери состоят из потерь, идущих на нагрев обмоток трансформатора и потерь, зависящих от тока нагрузки, потерь на нагрев стали не зависящих от нагрузки.

Потери на нагрев обмоток

$$\Delta P = 3I^2 R_T = 3 \left(\frac{S}{\sqrt{3}U} \right)^2 R_T = \frac{S^2}{U^2} R_T = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R_T \quad (7.1)$$

где R_T – активное сопротивление трансформатора

$$R_T = \frac{\Delta P_M U_H^2}{S_H^2} \quad (7.2)$$

ΔP_M – активные потери в меди обмотки, кВт

S_H – номинальная мощность трансформатора, кВА.

Полные активные потери определяются суммой выше названных потерь

$$\Delta P_T = \Delta P + \Delta P_{CT} = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R_T + \Delta P_{CT} \quad (7.3)$$

где ΔP_{CT} – потери в стали, кВт.

При известной нагрузке по паспортным данным можно рассчитать потери

$$\Delta P_T = \Delta P + \Delta P_{CT} = \Delta P_{M.H} \left(\frac{S}{S_H} \right)^2 + \Delta P_{CT} \quad (7.4)$$

или

$$\Delta P_T = \Delta P + \Delta P_{CT} = k_3^2 \Delta P_{M.H} + \Delta P_{CT}$$

где $k_3 = \beta$ – коэффициент загрузки трансформатора,

$\Delta P_{M.H}$ – номинальные активные потери в меди.

Реактивные потери - потери, вызванные рассеянием магнитного потока в трансформаторе, зависящие от тока нагрузки и потерь на намагничивание.

Потери, вызванные рассеянием магнитного потока

$$\Delta Q = 3I^2 x_T = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} x_T \quad (7.5)$$

x_T – реактивное сопротивление обмоток трансформатора, равное

$$x_T = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{U_H^2}{S_H} \quad (7.6)$$

U_K – напряжение короткого замыкания трансформатора, %

Полные реактивные потери трансформатора, также определяются суммой потерь

$$\Delta Q_T = \Delta Q + \Delta Q_\mu = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} x_T + \Delta Q_\mu \quad (7.7)$$

где $\Delta Q_\mu = \Delta Q_{XX}$

$$\Delta Q_\mu = \frac{i_{XX}}{100} S_H \quad (7.8)$$

i_{XX} - ток холостого тока, %

Полные реактивные потери с учетом каталожных данных трансформатора

$$\Delta Q_T = \Delta Q + \Delta Q_\mu = 3I^2 x_T + \Delta Q_\mu = 3I^2 \frac{u_K}{100} \cdot \frac{U^2}{S_H^2} + \frac{i_{XX}}{100} S_H \quad (7.9)$$

или

$$\Delta Q_T = \Delta Q + \Delta Q_\mu = \frac{S_H}{100} (u_K k_3^2 + i_{XX}) \quad (7.10)$$

При передаче реактивной мощности появляются потери активной мощности, определяемые экономическим эквивалентом реактивной мощности $k_{ЭК}$. Приведенные потери активной мощности на холостом ходу с учетом передачи реактивной мощности определяются

$$\Delta P_0 = \Delta P_{CT} + k_{ЭК} \Delta Q_M \quad (7.11)$$

Приведенные потери активной мощности при коротком замыкании с учетом передачи реактивной мощности определяются

$$\Delta P'_K = \Delta P_M + k_{ЭК} \Delta Q_M \quad (7.12)$$

При наличии на ПС n одинаковых параллельно работающих трансформаторов, приведенные активные потери мощности составят

$$\Delta P'_T = n \Delta P_{CT} + \left(\frac{\Delta P_M}{n} \right) \cdot \left(\frac{S_P}{S_H} \right)^2 \quad (7.13)$$

Для практических расчетов потери мощности в трансформаторах рассчитываются по выражениям:

активные потери

$$\Delta P = n \cdot \left(\Delta P_{XX} + k_3^2 \cdot \Delta P_{K3} \right), \quad (7.14)$$

где n – число трансформаторов подстанции,

ΔP_{XX} , ΔP_{K3} - паспортные данные трансформатора,

$k_3 = S_P / (n \cdot S_{H.T})$ - коэффициент загрузки трансформатора,
реактивные потери

$$\Delta Q = n \cdot \left(\Delta Q_{XX} + k_3^2 \cdot \Delta Q_{K3} \right), \quad (7.15)$$

где $\Delta Q_{XX} = \frac{I_{XX}}{100} S_{H.T}$, $\Delta Q_{K3} = \frac{U_{K3}}{100} S_{H.T}$ - потери в режиме XX и режиме

K3.

Значения потерь учитываются при определении мощности нагрузки на высоком напряжении трансформатора в форме Ф202-90 таблицы электрических нагрузок.

7.2 Потери электроэнергии в трансформаторах

Потери активной электроэнергии в меди можно определить по потерям мощности в меди ΔP_M , максимальной нагрузке S_P и времени потерь τ . Время

потерь определяется $\tau = f(T_H, \cos \varphi)$ по кривым рисунок 7.1, где $\cos \varphi$ принимается неизменным за определенное время (сутки, год).

$$\Delta W_M = \Delta P_{M.H} \left(\frac{S_P}{S_H} \right)^2 \tau \quad (7.16)$$

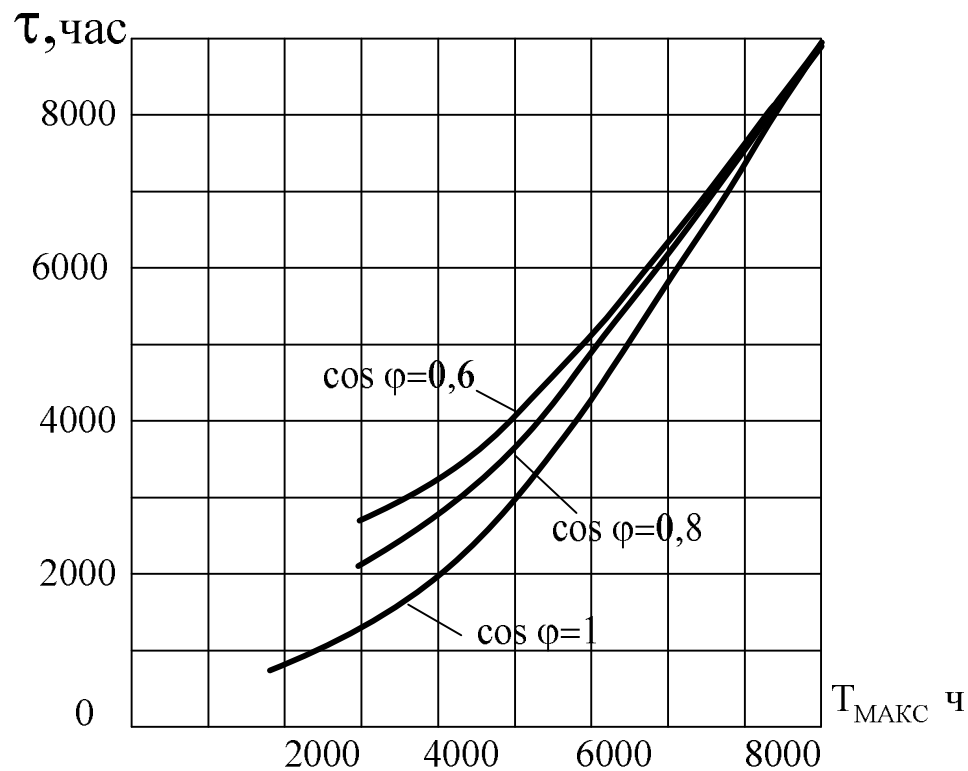


Рисунок 7.1 - График определения времени потерь τ

Потери активной электроэнергии в стали определяются потерями мощности на холостом ходу и продолжительностью включения трансформатора

$$\Delta W_{CT} = \Delta P_{CT} T_B \quad (7.17)$$

где $\Delta P_{CT} = \Delta P_{ХХ}$

Суммарные активные потери электроэнергии

$$\Delta W = \Delta P_{M.H} \left(\frac{S_P}{S_H} \right)^2 \tau + \Delta P_{CT} T_B = \Delta P_{M.H} k_3^2 \tau + \Delta P_{CT} T_B \quad (7.18)$$

Суммарные реактивные потери электроэнергии определяются по реактивным потерям мощности с учетом времени потерь и времени включения трансформатора

$$\Delta V = \Delta Q \tau + \Delta Q_{\mu} T_B = \frac{u_K S_H}{100} \tau + \frac{i_{XX} S_H}{100} T_B \quad (7.19)$$

или

$$\Delta V = \Delta Q \tau + \Delta Q_{\mu} T_B = \frac{S_H}{100} (u_K k_3^2 \tau + i_{XX} T_B) \quad (7.20)$$

7.3 Потери мощности и электроэнергии в реакторах

Потери мощности в реакторе определяются величиной потерь активной мощности в реакторах

$$\Delta P_P = k_3^2 3 \Delta P_{H.Ф} \quad (7.21)$$

где $\Delta P_{H.Ф}$ - номинальные потери активной мощности одной фазы в реакторе

$k_3 = I/I_H$ - коэффициент загрузки реактора по току.

Потери реактивной мощности в реакторе

$$\Delta Q_P = k_3^2 3 \Delta Q_{H.Ф} \quad (7.21)$$

где $\Delta Q_{H.Ф}$ - номинальные потери реактивной мощности одной фазы в реакторе

Потери энергии на фазу активной и реактивной мощностей

$$\Delta W_P = \Delta P_P T_B \quad (7.22)$$

$$\Delta V_P = \Delta Q_P T_B. \quad (7.23)$$

7.4 Потери мощности и электроэнергии в воздушных и кабельных линиях

Потери мощности и электроэнергии в линиях определяются по среднеквадратичному току для любого числа электроприемников с длительным режимом и для повторно-кратковременного режима с числом приемников более 20, с коэффициентом формы $k_{\Phi} = 1,05 \div 1,1$

$$\Delta P = 3I_{СК}^2 R \cdot 10^{-3} \quad (7.24)$$

$$\Delta W = \Delta P T_B \quad (7.25)$$

Среднеквадратичный ток – эквивалентный ток, который проходя по линии за время T_B , вызывает те же потери мощности и электроэнергии, что и действительный изменяющийся за то же время, ток. Среднеквадратичный ток определяется по среднему току и коэффициенту формы графика нагрузки.

$$I_{СК} = k_{\Phi} I_{СР} \quad (7.26)$$

где средний ток

$$I_{СР} = \frac{W}{T_B \sqrt{3} U_H \cos \varphi_{СР.Н}} \quad (7.27)$$

где W – расход активной электроэнергии за время T_B ,
 $\cos \varphi_{СР.Н}$ - средневзвешенный коэффициент мощности.

Потери реактивной мощности и реактивной энергии

$$\Delta Q = 3I_{СК}^2 X \cdot 10^{-3} \quad (7.28)$$

$$\Delta V = \Delta Q T_B \quad (7.29)$$

Зная расход электроэнергии за определенное время, а также максимальную мощность нагрузки, можно найти время $T_{МАКС}$. Время в течении которого, линия могла бы передать эту электроэнергию с максимальной нагрузкой.

$$T_{МАКС} = \frac{W}{P_{МАКС}} \quad (7.30)$$

$T_{\text{МАКС}}$ – время использования максимума нагрузки определяется характером производства и сменностью работы. В среднем для осветительной нагрузки оно составляет 1500-2000 часов, для односменных предприятий – (1800-2500), для 2-х сменных – (3500-4500), для 3-х сменных – (5000-7000).

Также можно определить максимальный ток за определенный промежуток времени

$$I_{\text{МАКС}} = \frac{W}{T_{\text{МАКС}} \sqrt{3} U_{\text{H}} \cos \varphi_{\text{СР.Н}}} \quad (7.31)$$

Потери энергии можно определить через время потерь τ

$$\Delta W = 3I_{\text{МАКС}}^2 R \cdot \tau \quad (7.32)$$

$$\Delta V = 3I_{\text{МАКС}}^2 X \cdot \tau \quad (7.33)$$

Через потери энергии можно определить потери мощности

$$\Delta P = \Delta W / \tau \quad (7.34)$$

$$\Delta Q = \Delta V / \tau \quad (7.35)$$

7.5 Потери в линиях

Потери активной мощности в трехфазной линии

$$\Delta P_{\text{Л}} = 3I_{\text{М}}^2 R = \frac{P_{\text{М}}^2 + Q_{\text{М}}^2}{U_{\text{H}}^2} R, \quad (7.36)$$

потери реактивной мощности в линии

$$\Delta Q_{\text{Л}} = 3I_{\text{М}}^2 \left\{ \frac{P_{\text{М}}^2 + Q_{\text{М}}^2}{U_{\text{H}}^2} X \right. \quad (7.37)$$

где $I_{\text{М}}$ – расчетный ток нагрузки,

R и X – активное и реактивное сопротивление линии,

$P_{\text{М}}$ – расчетная активная мощность,

$Q_{\text{М}}$ – расчетная реактивная мощность

Потери энергии в линии зависят от $\cos\varphi$ и числа часов использования максимума нагрузки, активные потери равны

$$\Delta W_{\text{Д}} = \Delta P \cdot \tau \quad (7.38)$$

реактивные потери равны

$$\Delta V_{\text{Д}} = \Delta Q \cdot \tau \quad (7.39)$$

где τ - время потерь определяется по рисунку 7.1.

7.6 Пути снижения потерь электроэнергии

- 1) Рациональный выбор числа и мощности трансформаторов
- 2) Исключение режима ХХ при малых нагрузках
- 3) Количество одновременно работающих трансформаторов выбирается из условия минимума потерь
- 4) Снижение потерь в линиях снижением сопротивления (параллельное включение)
- 5) Повышение уровня напряжения
- 6) При выборе схемы электроснабжения принимать вариант без реактора или с минимальными потерями в реакторе
- 7) Формирование более равномерного графика нагрузки. Это позволит снизить суммарный максимум нагрузки при неизменяемой установленной мощности и обеспечить питание большего числа потребителей
- 8) Снижение активного сопротивления шинпроводов, что достигается соответствующим расположением шин и конфигурацией шинного пакета (2-4 полосы на фазу)
- 9) Экономное и рациональное использование расходование электроэнергии, чему способствует чистота световых проемов, чистка светильников, побелка помещений, правильное размещение осветительных приборов, своевременное включение и отключение светильников, применение энергосберегающих ламп.