

4.4 Расчет электрических сетей до 1 кВ

Согласно ПУЭ электрические сети делятся на две группы: 1) сети защищаемые от токов перегрузки и токов короткого замыкания, 2) сети, защищаемые только от токов короткого замыкания.

В соответствии с § 3.1.10 ПУЭ защиту от перегрузки должны иметь электрические сети, выполненные с использованием самонесущего изолированного провода (СИП), а также следующие сети внутри помещений:

1) электрические сети, выполненные открыто проложенными проводниками с горючей наружной оболочкой или горючей наружной изоляцией;

2) групповые осветительные сети в жилых и общественных зданиях и сооружениях, в торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети для бытовых и переносных электроприемников (утюгов, чайников, плиток, комнатных холодильников, пылесосов, стиральных и швейных машин и т.п.), а также в пожароопасных зонах;

3) силовые сети в жилых и общественных зданиях и сооружениях, торговых помещениях, на промышленных предприятиях, - только в случае, когда по условиям технологического процесса или по режиму работы сети может возникать длительная перегрузка проводников;

4) сети специальных установок согласно требованиям раздела 7 ПУЭ.

5) проводники силовых, осветительных и вторичных цепей в сетях до 1 кВ во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Ia, В-II и В-IIa должны быть защищены от перегрузок и КЗ, а их сечения должны быть не менее сечения, принятого по расчетному току.

6) проводники ответвлений к электродвигателям с короткозамкнутым ротором до 1 кВ должны быть во всех случаях (кроме находящихся во взрывоопасных зонах классов В-Iб и В-Iг) защищены от перегрузок, а сечения их должны допускать длительную нагрузку не менее 125% номинального тока электродвигателя.

Все остальные сети не требуют защиты от перегрузки и защищаются от токов короткого замыкания.

Выбираемые сечения проводников должны быть не менее требуемых по расчетной допустимой нагрузке.

Допустимые длительные токи для проводов с резиновой или поливинилхлоридной изоляцией, шнуров с резиновой изоляцией и кабелей с резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной и резиновой оболочках приведены в ПУЭ в табл. 1.3.4 -1.3.11. Они приняты для температур: жил +65, окружающего воздуха +25 и земли +15°C.

Сечение проводов и кабелей до 1 кВ рассчитываются по нескольким условиям.

1) Нагрев длительным расчетным током

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{дл}}}{K_{\text{попр}}}, \quad (4.10)$$

2) Соответствие аппарату максимальной токовой защиты

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_3 K_3}{K_{\text{попр}}} \quad (4.11)$$

где $K_{\text{попр}}$ – поправочный коэффициент на условия прокладки проводов и кабелей;

K_3 – коэффициент защиты или кратность защиты, отношение длительно допустимого тока к току срабатывания защитного аппарата определяется видом защиты, характером сети, изоляцией проводника, условиями прокладки. Значения K_3 даются в справочных данных;

I_3 - ток срабатывания защитного аппарата, А.

Поправочный коэффициент $K_{\text{попр}}$ рассчитывается по выражению

$$k_{\text{попр}} = k_t \cdot k_{\text{п}} \cdot k_{\text{пв}} \quad (4.12)$$

где k_t - коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды, если она отличается от расчетной $+25^{\circ}\text{C}$, выбирается в ПУЭ по таблице 1.3.3 или таблица 4.2

$k_{\text{п}}$ - коэффициент, учитывающий условия прокладки, приведен в ПУЭ в таблице 1.3.12, как для проводов, проложенных открыто (в воздухе), с введением снижающих коэффициентов 0,68 для 5 и 6 проводников; 0,63 для 7 - 9 и 0,6 для 10-12 проводов или в таблице 4.3.

$k_{\text{пв}}$ - коэффициент, учитывающий продолжительность включения ПВ.

При нормальных условиях прокладки, соответствующих температуре $+25^{\circ}\text{C}$, одиночной прокладке проводника и продолжительности включения ПВ=100%, $k_{\text{попр}} = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$

При выборе снижающих коэффициентов контрольные и резервные провода и кабели не учитываются.

3) Выбор сетей по потере напряжения.

Согласно ПУЭ сети выбранные из условия длительного протекания и защиты проверяются по потере напряжения.

4.5 Потеря напряжения и падение напряжения

Чтобы объяснить понятия потеря и падение напряжения рассмотрим векторную диаграмму сети переменного тока, обладающую активным и

индуктивным сопротивлениями.

1) Рассмотрим линию с индуктивной нагрузкой на конце линии. Пояснение и векторная диаграмма приведены на рисунке 4.1.

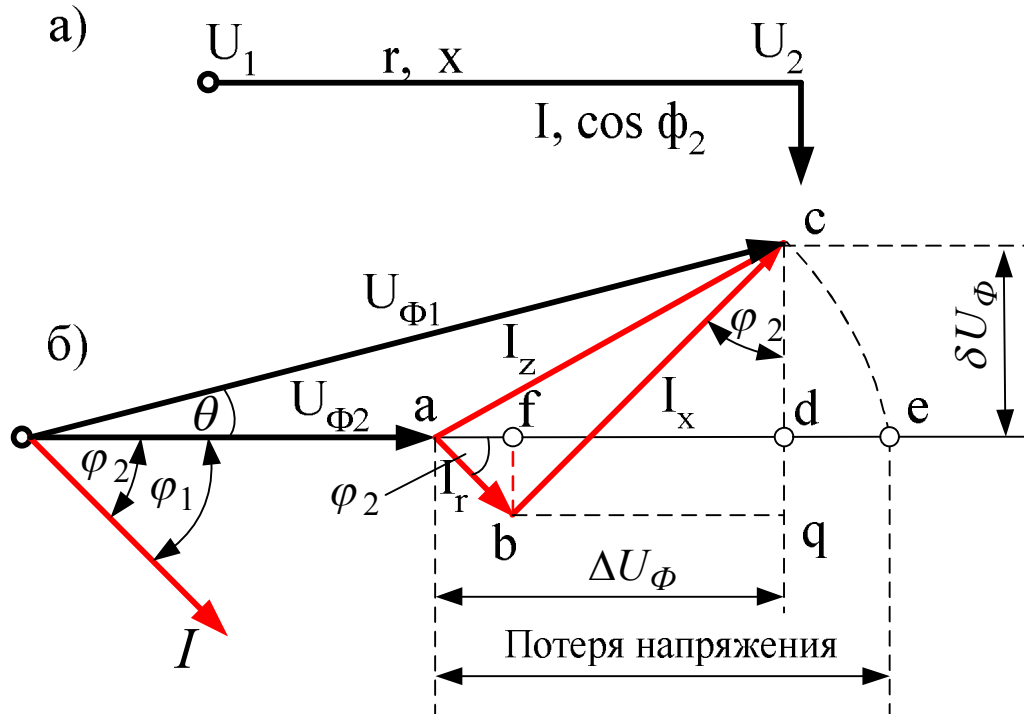


Рисунок 4.1 – Векторная диаграмма линии с нагрузкой на конце линии
а) поясняющая схема, б) векторная диаграмма

Вектор $0a$ – это вектор напряжения $U_{\phi 2}$ на конце линии. Под углом ϕ_2 к нему проведен вектор тока нагрузки I , в линии.

Падение напряжения в линии определяется треугольником падения напряжения abc . Вектор ab совпадает по фазе с вектором тока и показывает падение напряжения на активном сопротивлении линии. Вектор bc показывает падение напряжения на индуктивном сопротивлении линии. Вектор ac показывает падение напряжения в линии и представляет геометрическую разность между напряжениями в начале и конце линии

$$\overleftarrow{\Delta U_{\phi}} = \overleftarrow{U_{\phi 1}} - \overleftarrow{U_{\phi 2}}. \quad (4.13)$$

Отрезок ad - алгебраическая разность напряжений в начале и конце линии, без учета отрезка de , и называется продольной составляющей падения напряжения.

Поскольку в сетях до 35 кВ углы между $U_{\phi 1}$ и $U_{\phi 2}$ малы, продольная составляющая принимается равной падению напряжения, которая и учитывается при выборе сечений проводов.

Продольную составляющую падения напряжения или величину потери напряжения $\Delta U_\phi = U_{\phi 1} - U_{\phi 2} = ad$ представим через отрезки

$$\Delta U_\phi = ad = af + fd, \quad (4.14)$$

где отрезок $af = I \cdot r \cdot \cos \phi$;

отрезок $fd = I \cdot x \cdot \sin \phi$

Откуда получим

$$\Delta U_\phi = I \cdot r \cdot \cos \phi + I \cdot x \cdot \sin \phi \quad (4.15)$$

Линейная потеря напряжения определится через соотношения между фазными и линейными величинами

$$\Delta U = \sqrt{3} \Delta U_\phi = \sqrt{3} (I \cdot r \cdot \cos \phi + I \cdot x \cdot \sin \phi) \quad (4.16)$$

Перейдем к выражению потери напряжения через мощность нагрузки

$$\Delta U = \sqrt{3} \Delta U_\phi = \sqrt{3} \left(\frac{P \cdot r}{\sqrt{3} U} + \frac{Q \cdot x}{\sqrt{3} U} \right) = \frac{P \cdot r + Q \cdot x}{U} \quad (4.17)$$

У электроприемников за напряжение U принимается номинальное напряжение $U = U_{НОМ}$.

2) Рассмотрим линию с двумя индуктивными нагрузками i_1, i_2 представленную на рисунке 4.2.

По векторной диаграмме расчетный ток на первом участке сети определяется как геометрическая сумма нагрузочных токов $\overleftarrow{I}_1 = \overleftarrow{i}_1 + \overleftarrow{i}_2$. Вектор I_1 определяет общий сдвиг фаз. Напряжение в конце первого участка $U_{\phi 1}$, второго $U_{\phi 2}$. Треугольники падений напряжений строят на каждом участке, в конце первого и в конце второго.

Общая потеря напряжений равна сумме потерь напряжений в обоих участках и ее можно записать

$$\Delta U_\phi = (I_2 \cdot r_2 \cdot \cos \phi_2 + I_2 \cdot x_2 \cdot \sin \phi_2) + (I_1 \cdot r_1 \cdot \cos \phi_1 + I_1 \cdot x_1 \cdot \sin \phi_1) \quad (4.18)$$

При любом числе нагрузок получается

$$\Delta U = \sqrt{3} U_\phi (I \cdot r \cdot \cos \phi + I \cdot x \cdot \sin \phi) \quad (4.19)$$

Если расчет вести по токам нагрузки приемников i_1, i_2 , то

$$\Delta U = \sqrt{3} \Sigma (i \cdot R \cdot \cos \varphi + i \cdot X \cdot \sin \varphi) \quad (4.20)$$

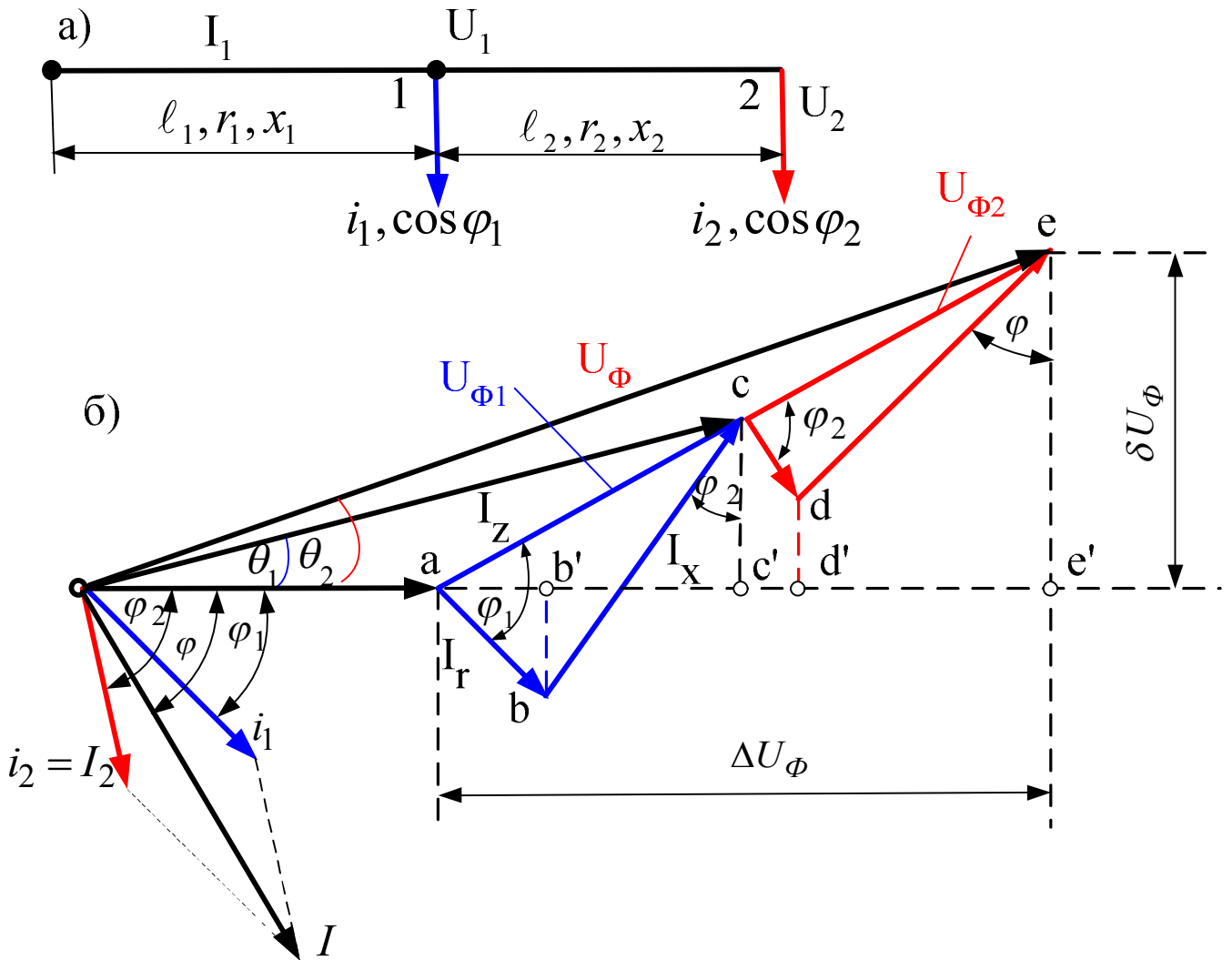


Рисунок 4.2 - Векторная диаграмма линии с двумя нагрузками
а) поясняющая схема, б) векторная диаграмма

В процентах это составит

$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3} \Sigma (i \cdot R \cdot \cos \varphi + i \cdot X \cdot \sin \varphi)}{U_{НОМ}} 100\% \quad (4.21)$$

Любая потеря напряжения создает отклонение напряжения. Согласно ПУЭ отклонение напряжения для силовых сетей должно быть не более $\pm 5\%$. Для сетей электрического освещения допустимое отклонение составляет $\pm 2,5\%$.

Минимальные сечения проводов по условиям механической прочности принимаются:

для силовых сетей с алюминиевыми жилами не менее $2,5 \text{ мм}^2$,
для освещения с алюминиевыми жилами не менее $2,0 \text{ мм}^2$;
для медных жил не менее $1,5 \text{ мм}^2$.