

Лекция №8

Короткие замыкания в электрических сетях

КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

1. Общие сведения о коротком замыкании

★ Токи короткого замыкания (КЗ) возникают вследствие случайных замыканий между различными фазами токоведущих частей электроустановок. Такие замыкания резко уменьшают сопротивление соответствующей цепи, что приводит к недопустимому увеличению тока.

★ В современных мощных электрических системах токи короткого замыкания могут достигать десятков и сотен тысяч ампер. Такие токи в электрических аппаратах и в проводниках вызывают большие электродинамические (механические) силы, а также сильное термическое действие (нагрев).

★ Для уменьшения вредного воздействия этих токов короткозамкнутые цепи необходимо быстро отключать.

★ **Отключение в цепях ДО и ВЫШЕ 1000 В** производится выключателями и предохранителями.

КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

★ Основной причиной коротких замыканий является повреждение изоляции фаз. Это может быть следствием естественного старения изоляции или недоброкачественных профилактических испытаний, либо следствием механического соединения проводов от постороннего воздействия (ураганный ветер, падение деревьев и др.), повреждения изоляции, а также атмосферных или коммутационных перенапряжений.

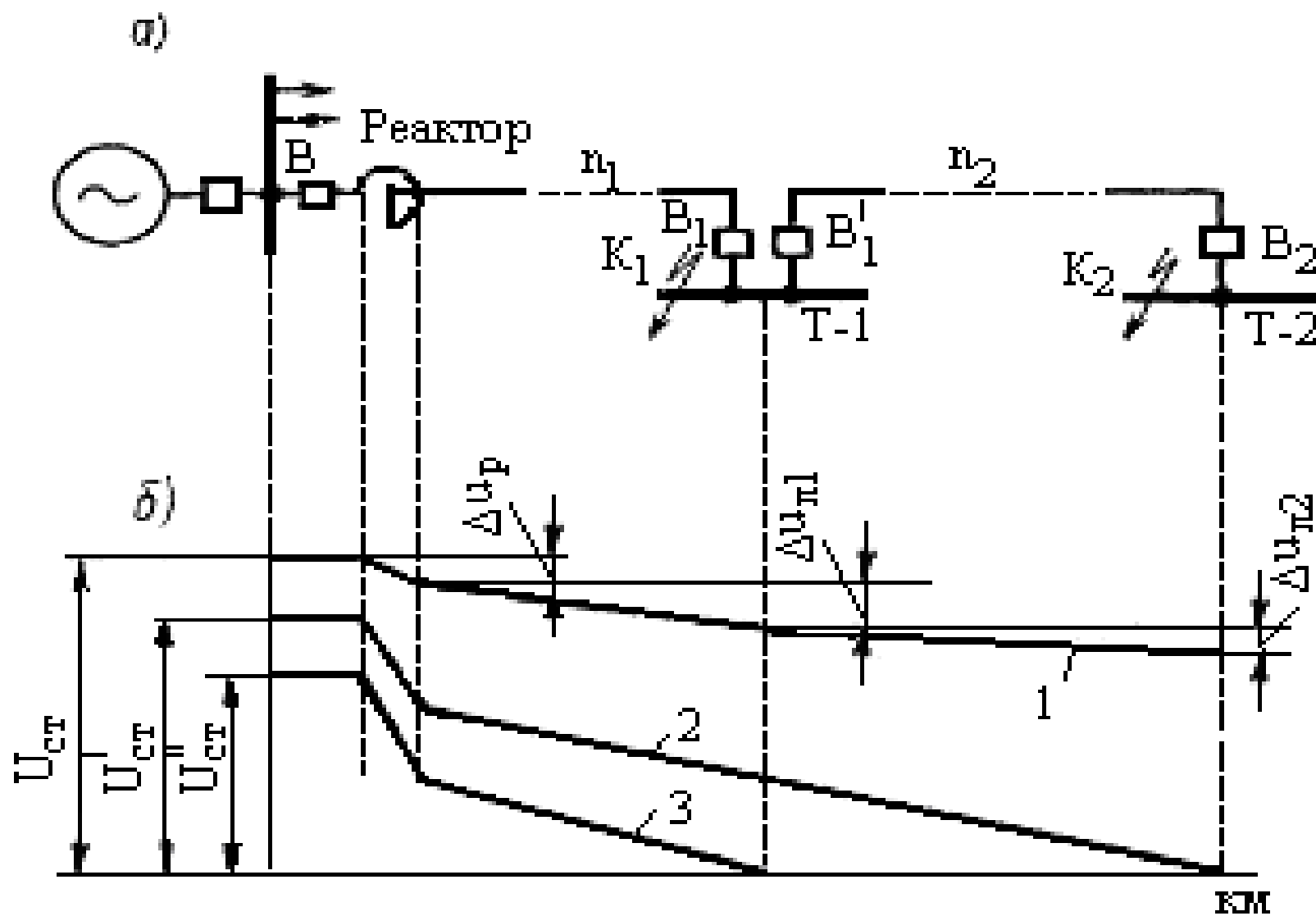
★ Вторая причина коротких замыканий : ошибочное действие персонала.

КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

- ★ Короткое замыкание вызывает нарушение нормального электроснабжения потребителей вследствие полного или частичного снижения напряжения.
- ★ Диаграмма на следующем слайде иллюстрирует это на примере радиальной сети.

Диаграмма 1 напряжений соответствует нормальному режиму, диаграмма 2 – режиму короткого замыкания на шинах второй тяговой подстанции; диаграмма 3 – режиму короткого замыкания на шинах первой тяговой подстанции.

КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ



КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

2 . Вид КЗ в электрических сетях с глухо заземленной нейтралью

★ В трехфазных сетях с любым способом заземления нейтрали возможны три основные вида КЗ, статистика которых иллюстрируется таблицей:

Трехфазное	двухфазное		Однофазное
1-7%	5-20%		60-90%

Возможны также трёхфазные и двухфазные КЗ с землёй, но в данном разделе их не рассматриваем.

★ В системах с изолированной нейтралью напряжением 6...10...35 кВ (городской электротранспорт и др.) с применением кабельных сетей основными видами короткого замыкания являются трех- и однофазное на землю.

★ РАССМОТРИМ ПРОСТУЮ РАДИАЛЬНУЮ СЕТЬ, в которой могут возникать указанные в таблице виды КЗ, а так же векторные диаграммы напряжений и токов.

КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

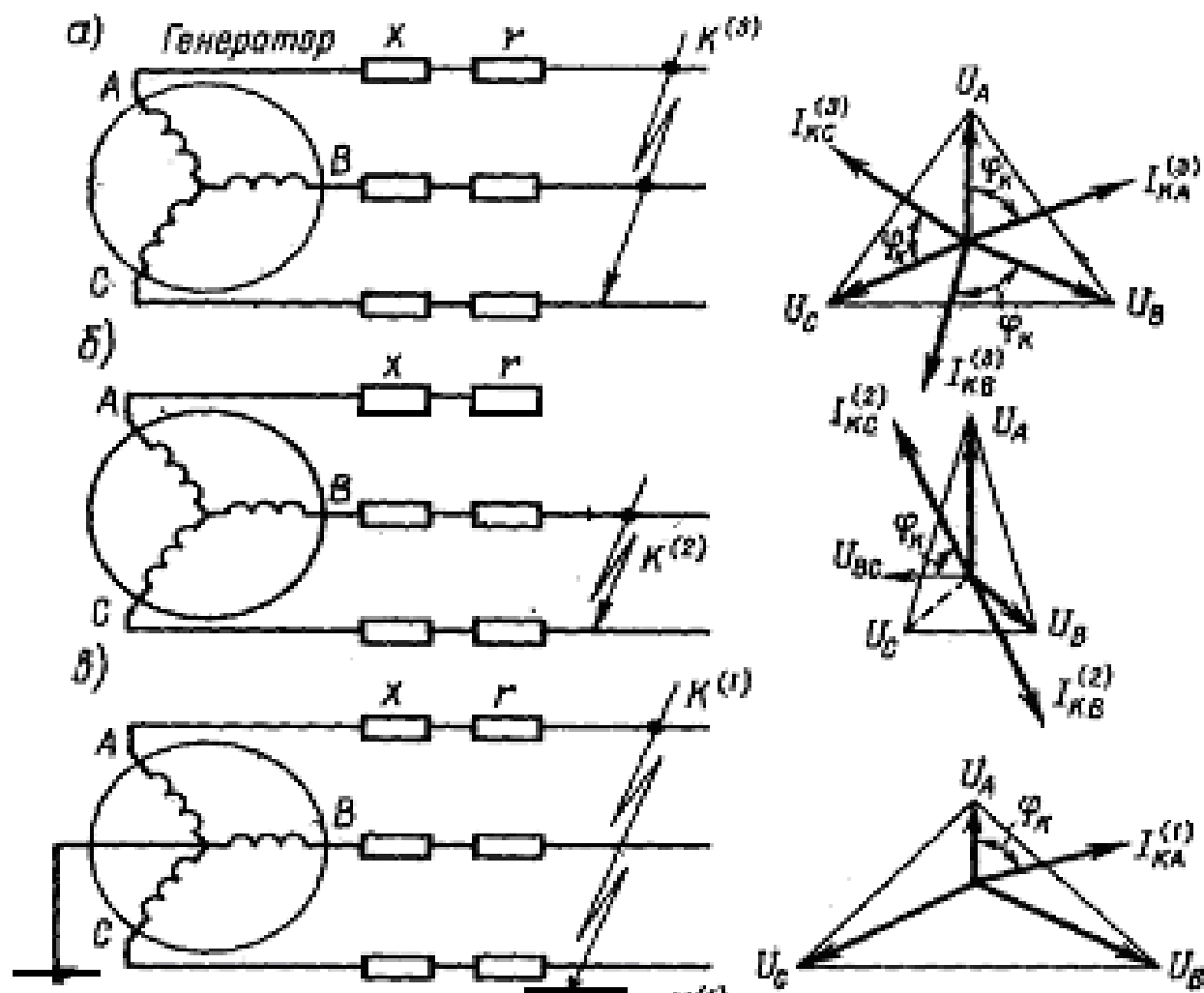
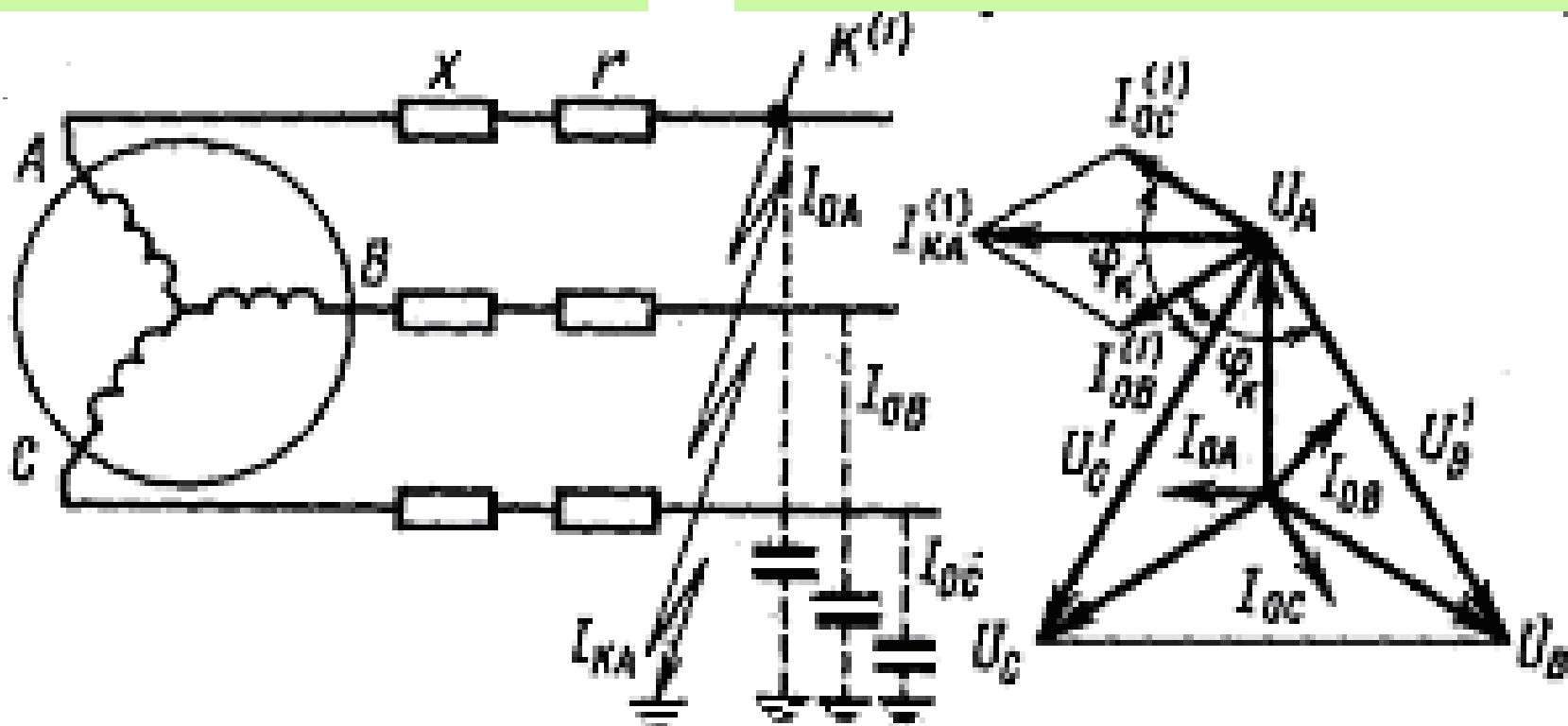


Рис. 1 Основные виды КЗ и векторные диаграммы напряжений и токов:
а) - трёхфазное; б) – двухфазное; в) – однофазное на землю в СЗН

КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

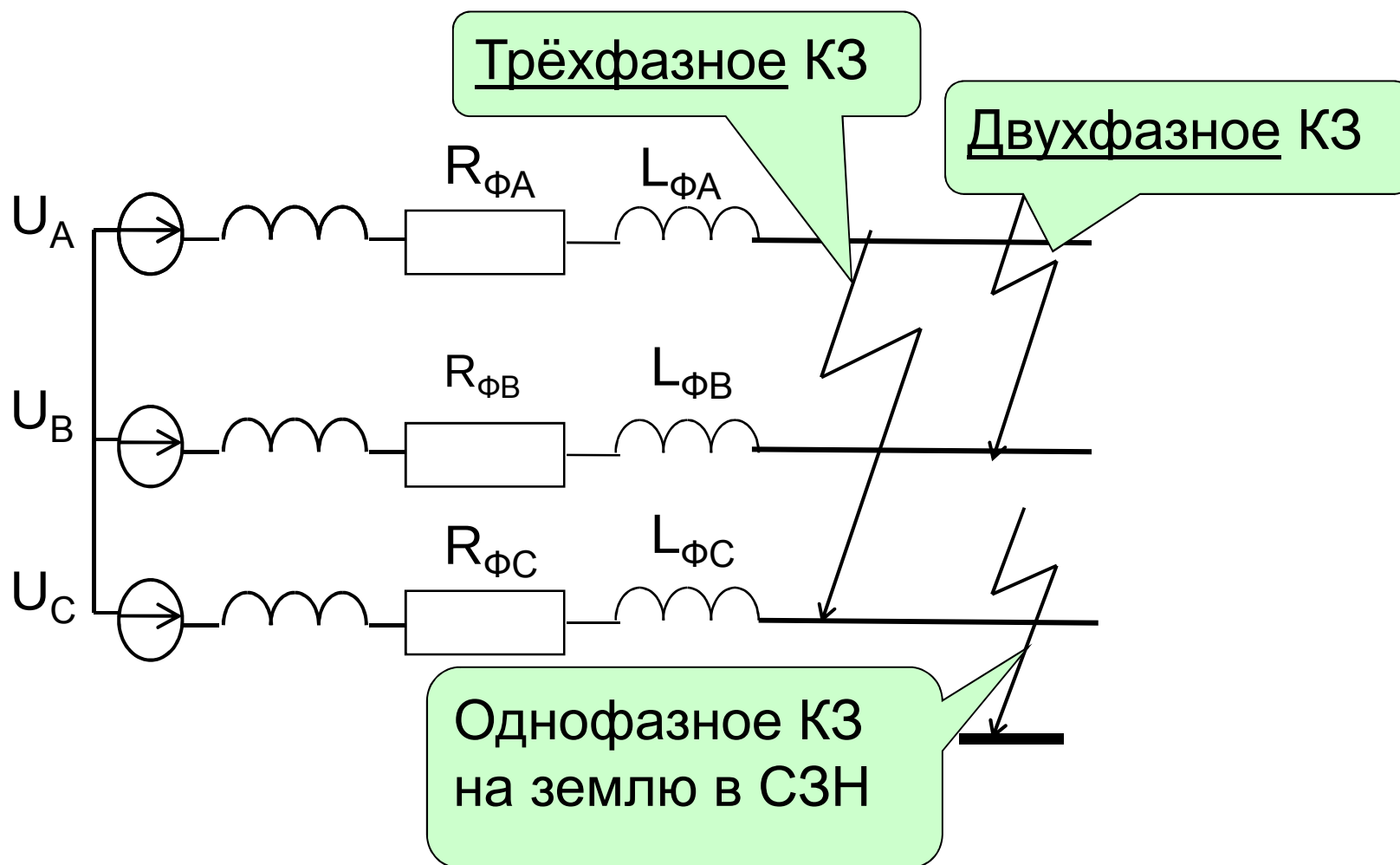
Однофазное замыкание на землю в СИН (БЫЛО РАССМОТРЕНО РАНЕЕ)

Рис. Схема и векторная диаграмма однофазного замыкания на землю в СИН



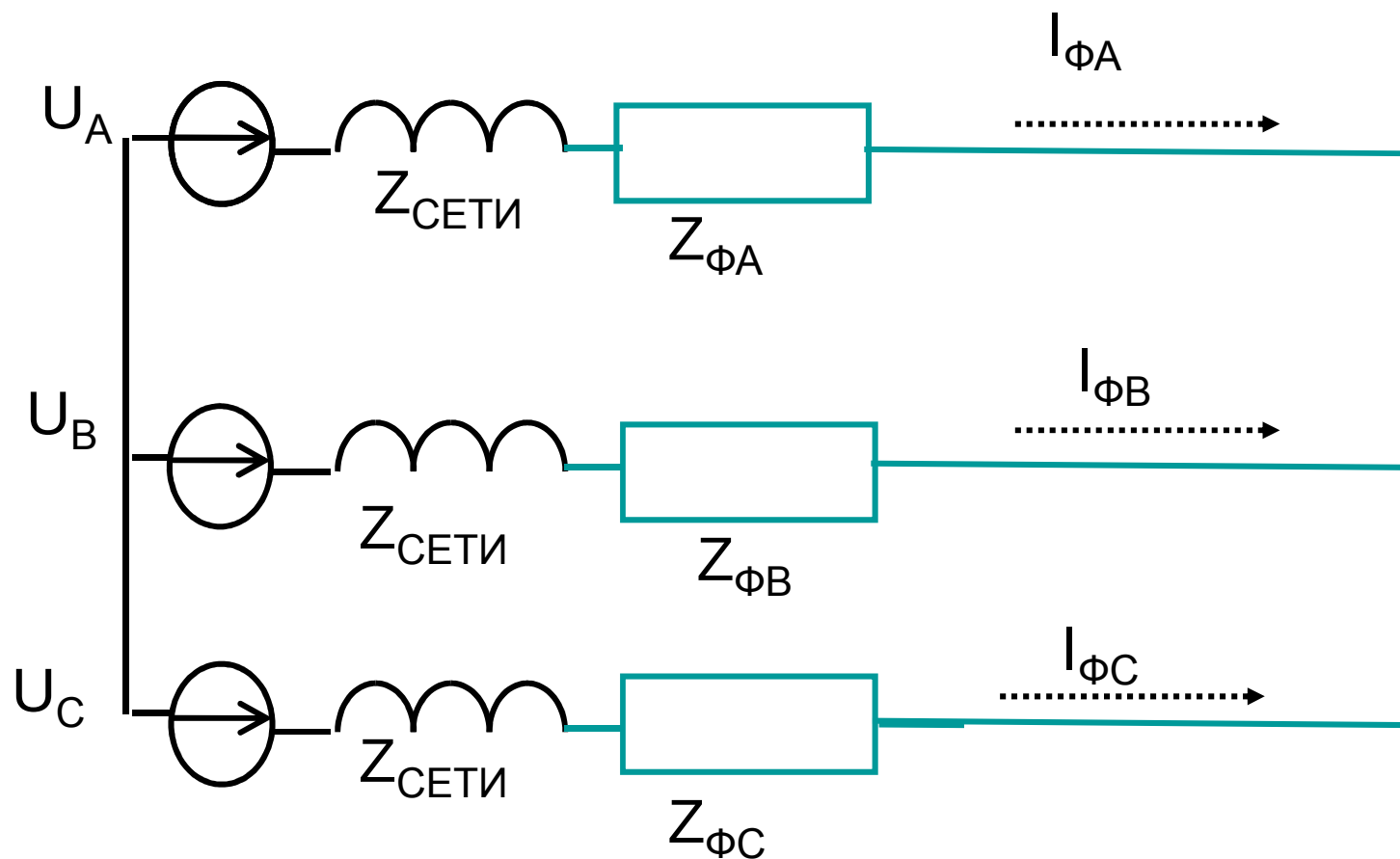
КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ



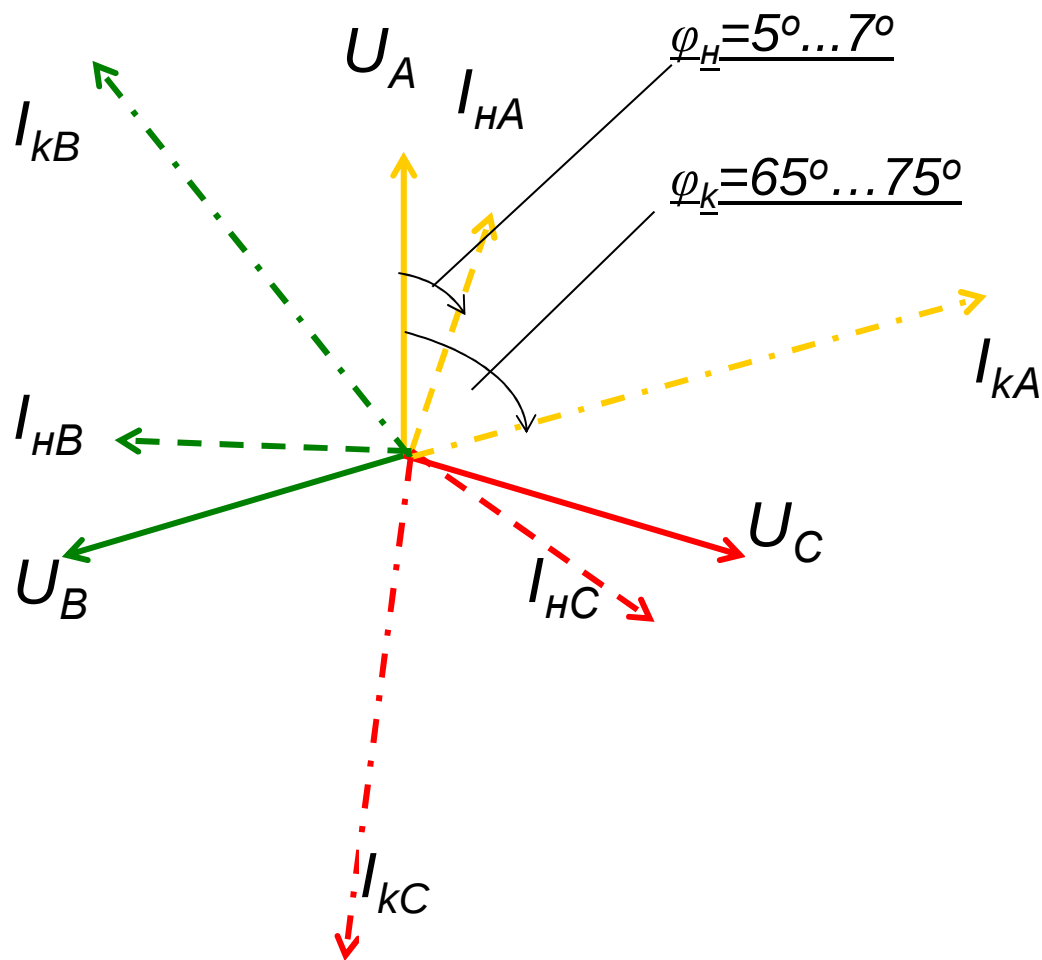
КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Расчётная схема при трёхфазном КЗ



КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Векторная диаграмма напряжений и токов нормального режима и трёхфазного КЗ



2.1. Трехфазное КЗ

Трехфазное КЗ является симметричным, т. к. не нарушается симметрия фазных напряжений и токов: U_{ϕ} и I_{ϕ} .

При этом полагают сопротивления всех фаз до точки КЗ одинаковыми. Как следует из векторной диаграммы:

- Токи КЗ I_K возрастают на порядок и выше, напряжения фазные и междуфазные несколько снижаются.
- Угол сдвига между током и напряжением соответствующих фаз резко возрастает с $\varphi_n = 50^\circ \dots 70^\circ$ при нормальном режиме до $\varphi_K = 65^\circ \dots 70^\circ$.
- Численно его можно определить как

$$\varphi_K = \arctg X^{(3)} / R^{(3)}$$

при этом активное X , индуктивное R и полное Z сопротивления определяют в - [Ом / фазу] .

КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Ток в фазе при трёхфазном КЗ

$$I_{KA}^{(3)} = I_{KB}^{(3)} = I_{KC}^{(3)} = \frac{U_{\phi}}{Z_K^{(3)}} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3} Z_K^{(3)}} \quad (1)$$

Значение $Z_K^{(3)}$ будет определено позднее.

КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

2.2. Двухфазное КЗ

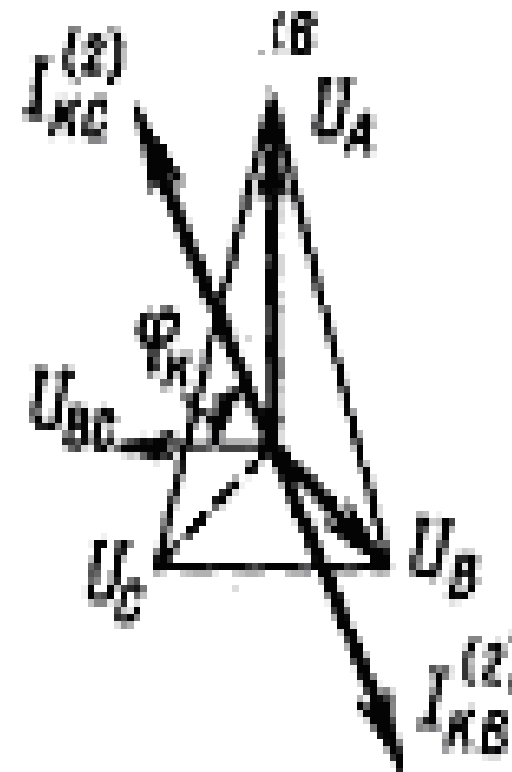
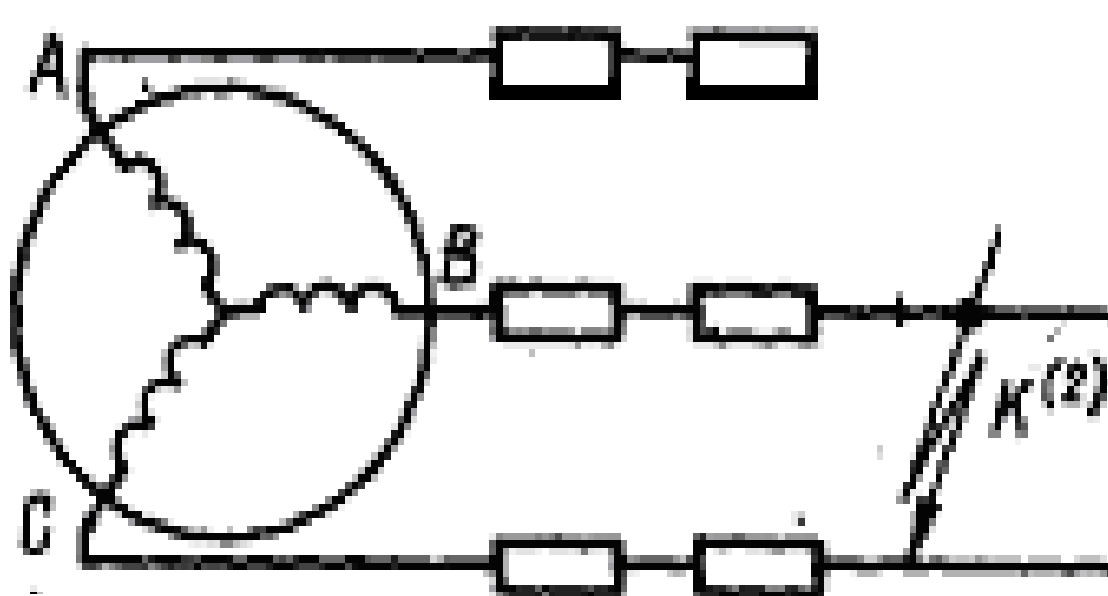
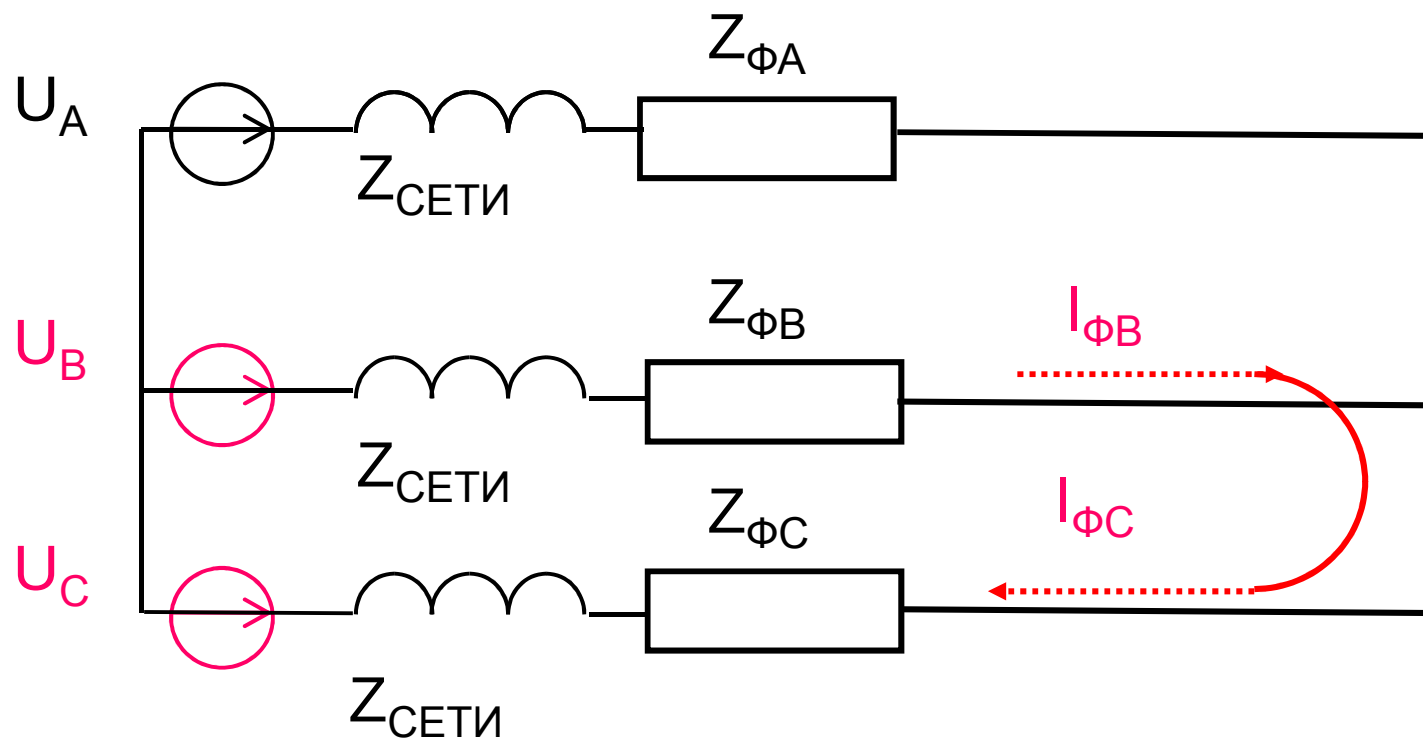


Рис. Двухфазное КЗ фаз B и C и векторная диаграмма напряжений и токов

КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

РАСЧЁТНАЯ СХЕМА ДВУХФАЗНОГО КЗ



КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Двухфазное КЗ является не симметричным, ток $I_K^{(2)}$ протекает под действием междупазного напряжения $U_{\phi\phi}$, а сопротивление цепи равно двойному фазному

$$Z_K^{(2)} = Z_{\phi\phi} + Z_{\phi\phi}, \text{ тогда}$$

$$I_K^{(2)} = U_{\phi\phi} / 2 Z_K^{(2)} \quad (2)$$

Значение $Z_K^{(2)}$ будет определено позднее.

КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

2.3 Однофазное КЗ на землю в системе с глухо заземлённой нейтралью

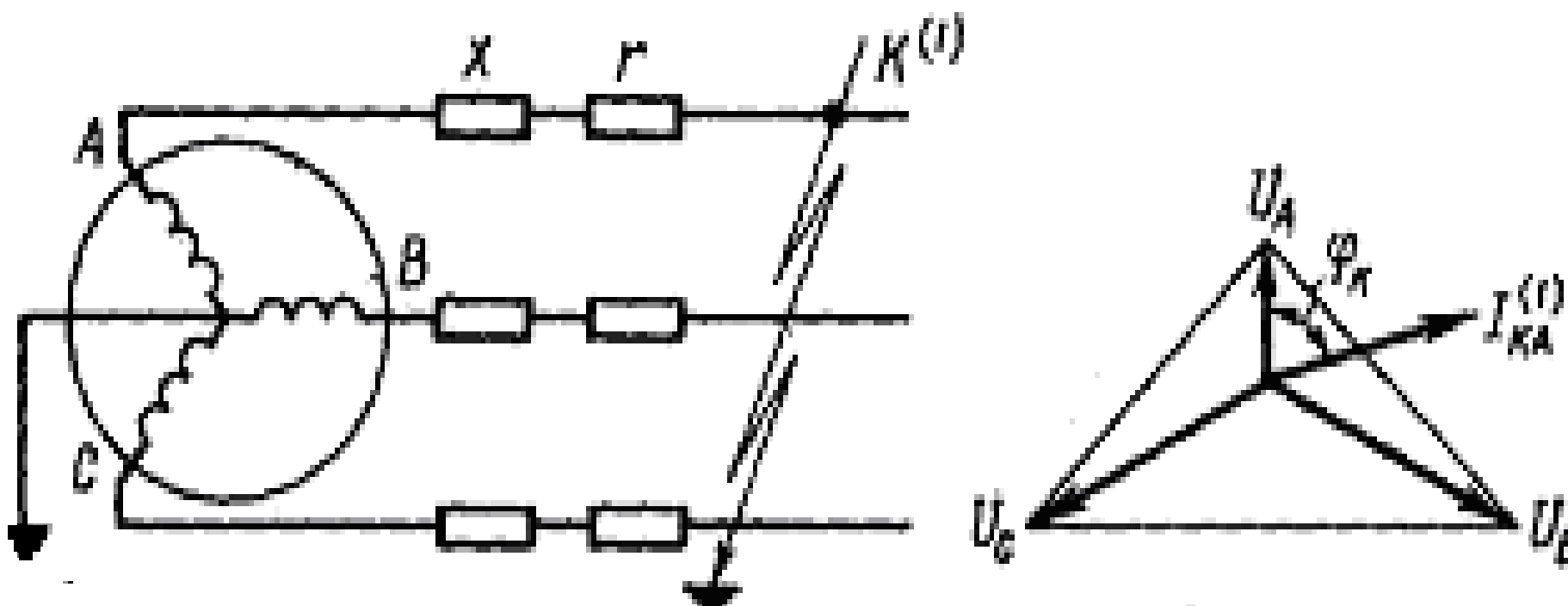


Рис. Однофазное КЗ и векторная диаграмма напряжений и токов

КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Однофазное КЗ на землю является не симметричным.

Угол между током и напряжением

$$\varphi_K = \arctg x / R$$

Ток КЗ

$$I_{KA}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{Z_K^{(1)}}$$

(3)

3. Методы расчета токов короткого замыкания

- Для определения расчётного вида КЗ необходимо определить значения токов трёх-, двух- и однофазного КЗ в заданной точке.
- При любом виде КЗ в цепи протекания тока могут быть: линии электропередачи, реакторы, трансформаторы, генераторы.
- Индуктивное сопротивление каждого провода (фазы) линии электропередачи для двухфазного и трёхфазного КЗ можно определить как разность собственного индуктивного сопротивления провода X_L и сопротивления взаимной индукции X_M Ом/км

$$X^{(2)} = X^{(3)} = X_L - X_M = 0,145 \cdot \lg \frac{a}{r_{\text{Э}}} \quad (4)$$

где $r_{\text{Э}}$ – эквивалентный радиус провода; a – расстояние между проводами

КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Для однофазного КЗ в одноцепной линии справедливо приближённое соотношение, полученное из предположения возврата тока по эквивалентной фиктивной двухпроводной линии, образованной проводами с эквивалентными радиусами $r_{\text{Э}}$, отстоящими друг от друга на расстояние $D_{\text{Э}}$. Тогда аналогично (4)

$$X^{(1)} = 2 \cdot 0,145 \cdot \lg \frac{D_{\text{Э}}}{r_{\text{Э}}}$$

КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Из (4) и (5) следует, что

$$X^{(3)}=X^{(2)}<X^{(1)} \quad (7)$$

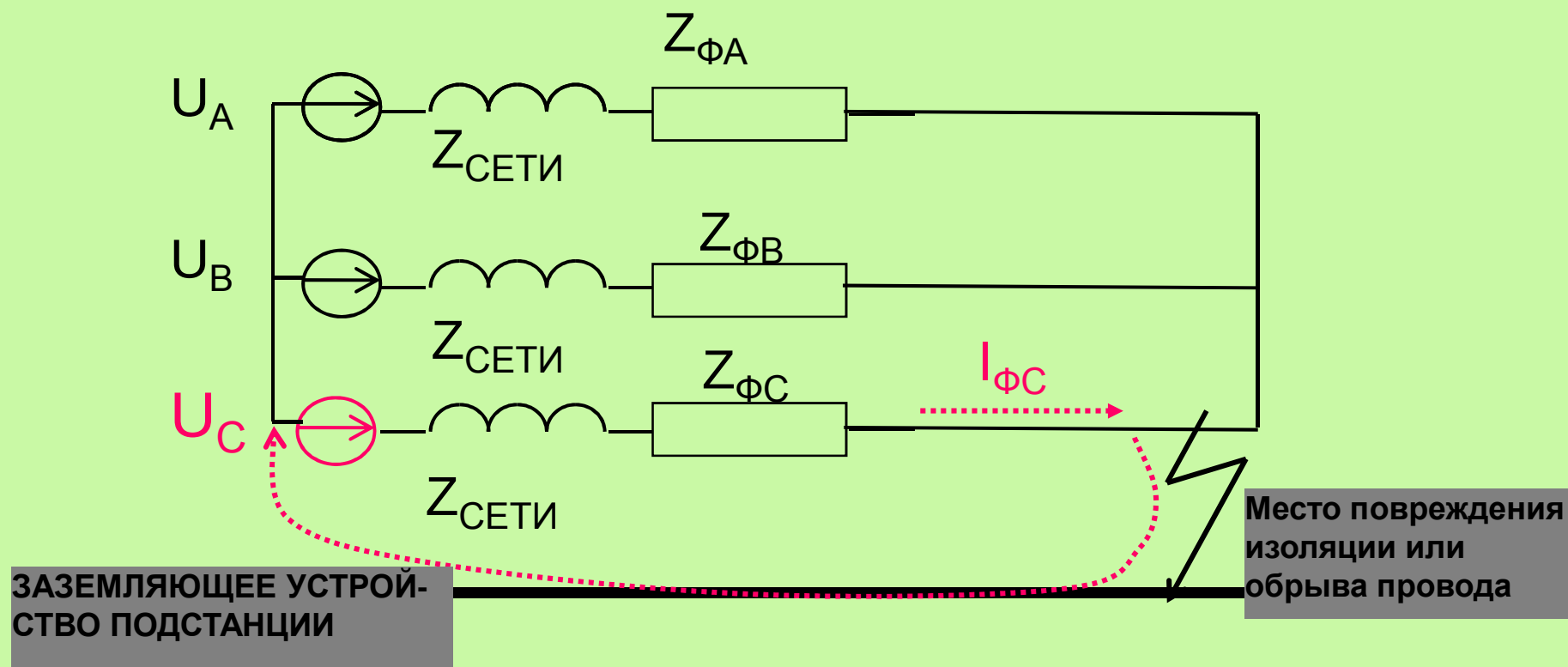
и за расчётный режим следует принять трёхфазное КЗ.

В практических расчётах для определения X используют вычисленные удельные значения для воздушных линий 220...10 кВ – 0,3...0,4 Ом/км; Активные сопротивления по сортаментам проводов в Ом/км приведены в справочниках серии «Провода, шнуры, кабели».

В отношении однофазного КЗ на землю в СЗН во избежание ошибки, связанной с приближённым соотношением (7) поступают следующим образом.

КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Расчётная схема при однофазном замыкании на землю



КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Фактически ток однофазного КЗ возвращается в нейтраль трансформатора не по фиктивной двухпроводной линии, как было предположено в теоретическом анализе и получено выражение (5), а по цепи:

сопротивление заземлителя в месте замыкания

$R_{\Sigma}^{(1)}$ $\longrightarrow$ земля $\longrightarrow$ контур заземления подстанции ($R_{\Sigma} < 0,5 \text{ Ом}$).

Учитывая, что в реальных условиях сеть имеет N подстанций, а сопротивлениями в месте замыкания и земли можно пренебречь, то может возникнуть ситуация, когда

КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

$$Z^{(1)} = \sqrt{\sum \left(\frac{R_3}{N}\right)^2 + X_{\Phi.np}^2} \quad (8)$$

будет меньше $Z^{(3)}$ и ток однофазного КЗ будет больше трёхфазного.

Чтобы это не произошло не все нейтралы трансформаторов соединяют с землёй (посчитывают необходимое N), создавая эффективно заземлённую систему.