

ЛЕКЦИЯ № 5

по дисциплине: «Электробезопасность»

ТЕМА: Анализ опасности поражения током в электрических сетях.

Цель: Изучить методы и особенности расчета электрических параметров человека при случайном попадании под напряжение в электрических сетях переменного тока.

План лекции:

1. Введение.
2. Однофазные сети.
3. Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью.
4. Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью.
5. Заключение.

Литература:

1. П.А. Долин Основы техники безопасности в электроустановках. – М., Энергоатомиздат, 1984г. – 448с.
2. Л.Я. Патрикеев, А.Н. Фомин, Н.А. Куликова Электробезопасность. Сборник методических указаний к практическим и лабораторным занятиям. – Севастополь, СНИЯЭиП, 2002г. – 196с.
3. Б.А. Князевский, П.А. Долин, Т.П. Марусова и др. Охрана труда под ред. Б.А. Князевского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1982. - С. 129 – 144.

1. Введение.

Сети переменного тока бывают однофазными и многофазными.

В промышленности применяют преимущественно трехфазные сети и значительно реже однофазные.

Однофазные сети могут быть двухпроводными изолированными от земли или с заземленным проводом и однопроводными, когда роль второго провода играет земля, рельс и т.д. (рис. 1).

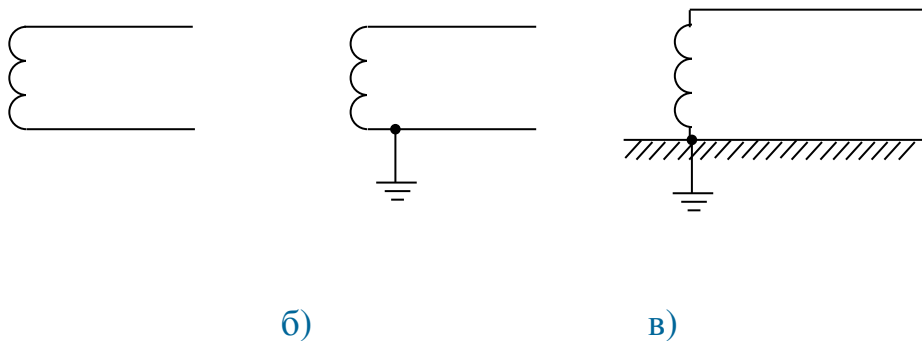


Рис. 1. Схемы однофазных сетей:

а - двухпроводная изолированная от земли;

б - двухпроводная с заземленным проводом; в - однопроводная

Трехфазные сети в зависимости от режима нейтрали источника тока (т.е. в зависимости от того, изолирована от земли или заземлена нейтраль) и наличия нейтрального или нулевого проводника могут быть выполнены по четырем схемам (рис. 2):

-)трехпроводной с изолированной нейтралью;
-)трехпроводной с заземленной нейтралью;
-)четырёхпроводной с изолированной нейтралью;
-)четырёхпроводной с заземленной нейтралью.

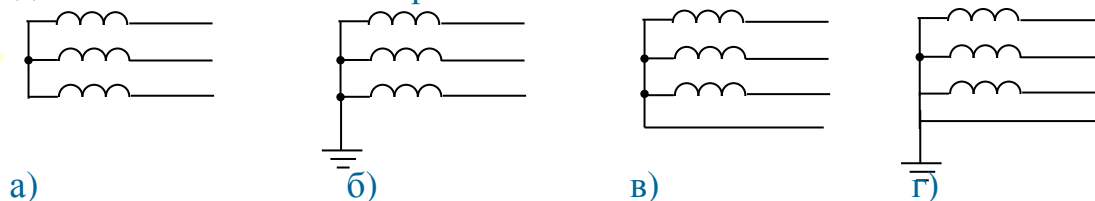


Рис. 2. Схемы трехфазных сетей:

а - трехфазная с изолированной нейтралью;

б - трехфазная с заземленной нейтралью;

в - четырехпроводная с изолированной нейтралью;

г - четырехпроводная с заземленной нейтралью

Нейтраль или нейтральная точка обмотки источника или потребителя энергии, есть точка, напряжения которой относительно всех внешних выводов обмотки одинаковы по абсолютному значению. Нейтралью обладают многофазные источники и потребители энергии, обмотка которых соединена звездой. Заземленная нейтральная точка носит название нулевой точки. Нейтраль, заземленная путем непосредственного присоединения к заземлителю или через малое сопротивление (трансформатор тока и т.п.) называется также глухозаземленной нейтралью. Проводник, присоединенный к нейтральной точке, называется нейтральным проводником, а присоединенный к нулевой точке - нулевым проводником. В странах СНГ при напряжении до 1000 В применяют в основном две из указанных схем сетей трехфазного тока - трехпроводную с изолированной нейтралью напряжением 36, 42, 127, 220, 380 и 660 В и четырехпроводную с заземленной нейтралью напряжением 220/127, 380/220, 660/380 В .



2. ОДНОФАЗНЫЕ СЕТИ

Сеть, изолированная от земли

Требуется оценить опасность прикосновения человека к одному из проводов сети, то есть определить напряжение $U_{пр}$, под которым окажется человек, и ток I_h , проходящий через него, как при нормальном режиме работы сети, так и при аварийном (т.е. при замыкании какого-либо провода на землю).

Считаем, что нам известны напряжение сети U , V , сопротивление изоляции проводов относительно земли r_1 и r_2 , сопротивление тела человека R_h и сопротивление замыкания провода на землю $r_{зм}$.

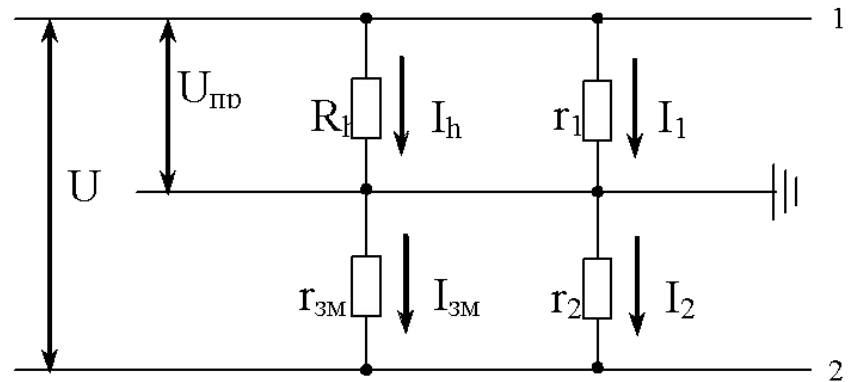
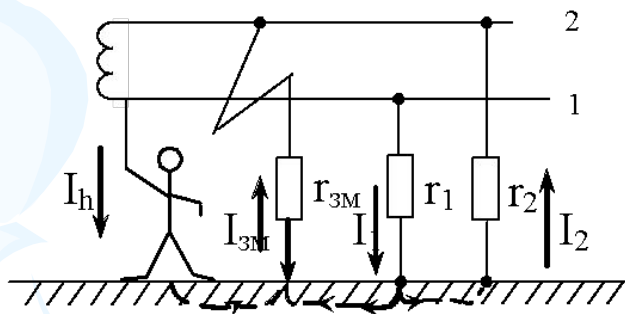
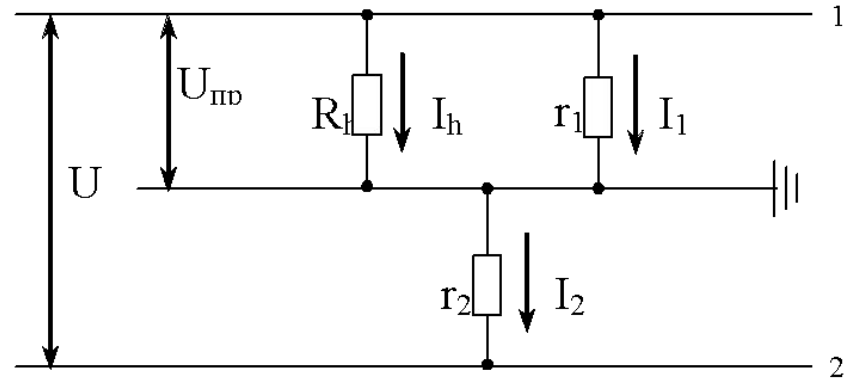
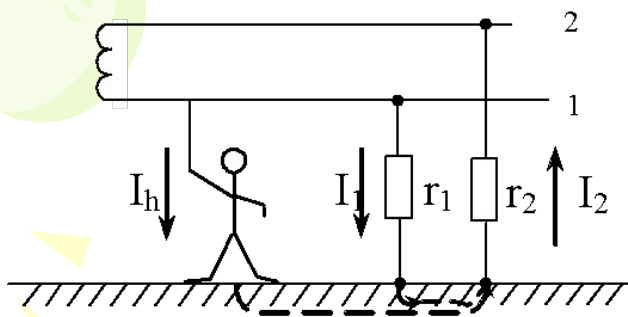


Рис. 3. Прикосновение человека к проводу однофазной двухпроводной сети:
 а - при нормальном режиме ее работы; б - при аварийном режиме;
 1, 2 - номера проводов

При нормальном режиме работы сети из схемы замещения (рис. 3,а) можно записать:

$$U = U_{np} + I_2 r_2 = U_{np} + (I_h + I_1) r_2$$

где I_1 и I_2 - токи, проходящие через сопротивление изоляции r_1 и r_2 соответственно, А.
Учитывая, что

$$I_h = U_{np} / R_h \text{ и } I_1 = U_{np} / r_1, \text{ получим } U = U_{np} + (U_{np} / R_h + U_{np} / r_1) r_2 = U_{np} (r_1 r_2 + r_1 R_h + r_2 R_h) / r_1 R_h, \text{ откуда искомое напряжение прикосновения, В,}$$
$$U_{np} = U r_1 R_h / (r_1 r_2 + r_1 R_h + r_2 R_h), \quad (1)$$

а ток, проходящий через тело человека, А,

$$I_h = U_{np} / R_h = U r_1 / (r_1 r_2 + r_1 R_h + r_2 R_h). \quad (2)$$

Следовательно, если человек прикоснулся к проводу однофазной двухпроводной линии, изолированной от земли, то чем выше значение r (сопротивления проводов относительно земли), тем меньше U_{np} .

Вывод:

1. Чем лучше изоляция проводов относительно земли, тем меньше опасность однофазного прикосновения к проводу.
2. Прикосновение к проводу с меньшим сопротивлением изоляции менее опасно.

При аварийном режиме, когда один из проводов сети, например 2, замкнут на землю через сопротивление $r_{зм}$ (см. рис. 3,б), которое обычно мало по сравнению с r_1 , r_2 и R_h и может быть принято равным нулю, $U_{пр}$ и I_h на основании выражений (1) и (2) будут иметь наибольшие возможные значения:

$$U_{пр} \approx U, \quad I_h \approx U/R_h.$$

Таким образом, при замыкании провода на землю человек, прикоснувшийся к исправному проводу, оказывается под напряжением, равным почти полному напряжению линии независимо от сопротивления изоляции проводов.

Сеть с заземленным проводом

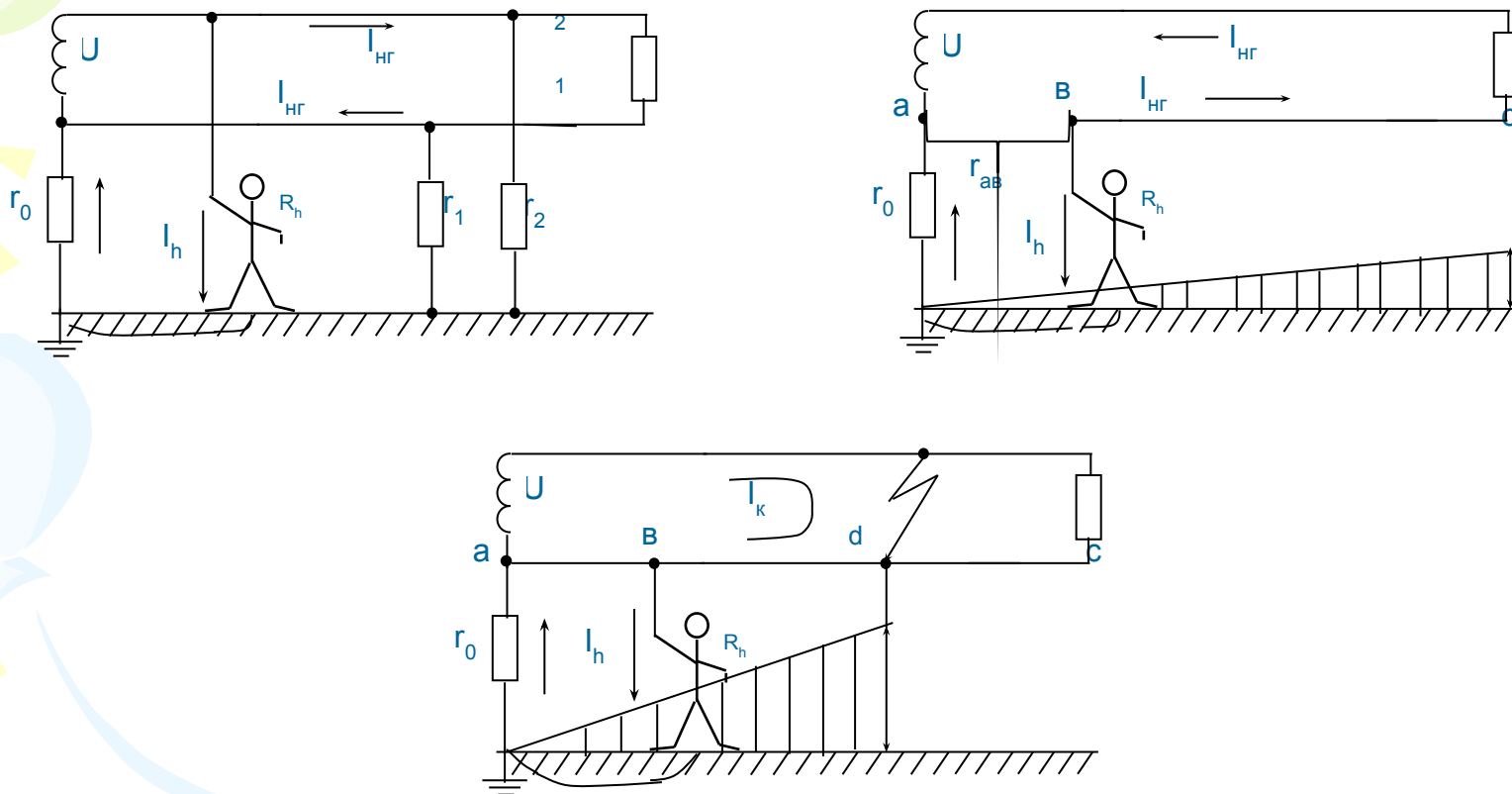


Рис. 4. Прикосновение человека к проводам однофазной двухпроводной сети с заземленным проводом: а - прикосновение к незаземленному проводу; б - прикосновение к заземленному проводу при нормальном режиме сети; в - прикосновение к заземленному проводу при коротком замыкании между проводами



При прикосновении человека к незаземленному проводу в сети с заземленным проводом (рис. 4,а)

$$I_h = U / (R_h + r_0); \quad (3)$$

$$U_{пр} = U R_h / (R_h + r_0), \quad (4)$$

где r_0 – сопротивление заземления провода, Ом.

При учете сопротивления пола r_n и обуви $r_{об}$ выражение (3) примет вид

$$I_h = U / (R_h + r_n + r_{об} + r_0). \quad (5)$$

При прикосновении к заземленному проводу в нормальных условиях работы сети (рис. 4,б) напряжение прикосновения невелико, наибольшее его значение соответствует прикосновению человека к точке «с» и составляет не более 5 % напряжения сети U (поскольку сечение проводов выбирается из условия потери напряжения не более 10 %), а при прикосновении к точке «в» (рис. 4,б) напряжение прикосновения равно потере напряжения в заземленном проводе на участке от места его заземления «а» до места касания.

$$U_{пр} = I_{нг} \cdot r_{ав}, \quad (6)$$

где $I_{нг}$ - ток нагрузки, проходящий по проводу, А;

$r_{ав}$ - сопротивление провода на участке $ав$, Ом.

При коротком замыкании между проводами (рис. 4,в) ток резко возрастает и потеря напряжения в проводах достигает почти 100 %. При одинаковом сечении обоих проводов напряжение в точке d близко к половине напряжения сети.

$U_{пр}$ возрастает практически пропорционально увеличению тока в проводе и при коротких замыканиях может достигать опасных для человека значений.

Типовые схемы включения человека в трехфазную электрическую цепь

- двухфазное прикосновение (прямое) – одновременное прикосновение к двум фазным проводникам, действующей электроустановки (поз.1 на рис.1);
- однофазное прикосновение (прямое) – прикосновение к проводнику одной фазы действующей электроустановки (поз.2 на рис.1);
- косвенное прикосновение к открытым проводящим частям, оказавшимся под напряжением в результате повреждения изоляции (прикосновение к корпусу потребителя электроэнергии с поврежденной изоляцией) (поз.3 на рис.1).

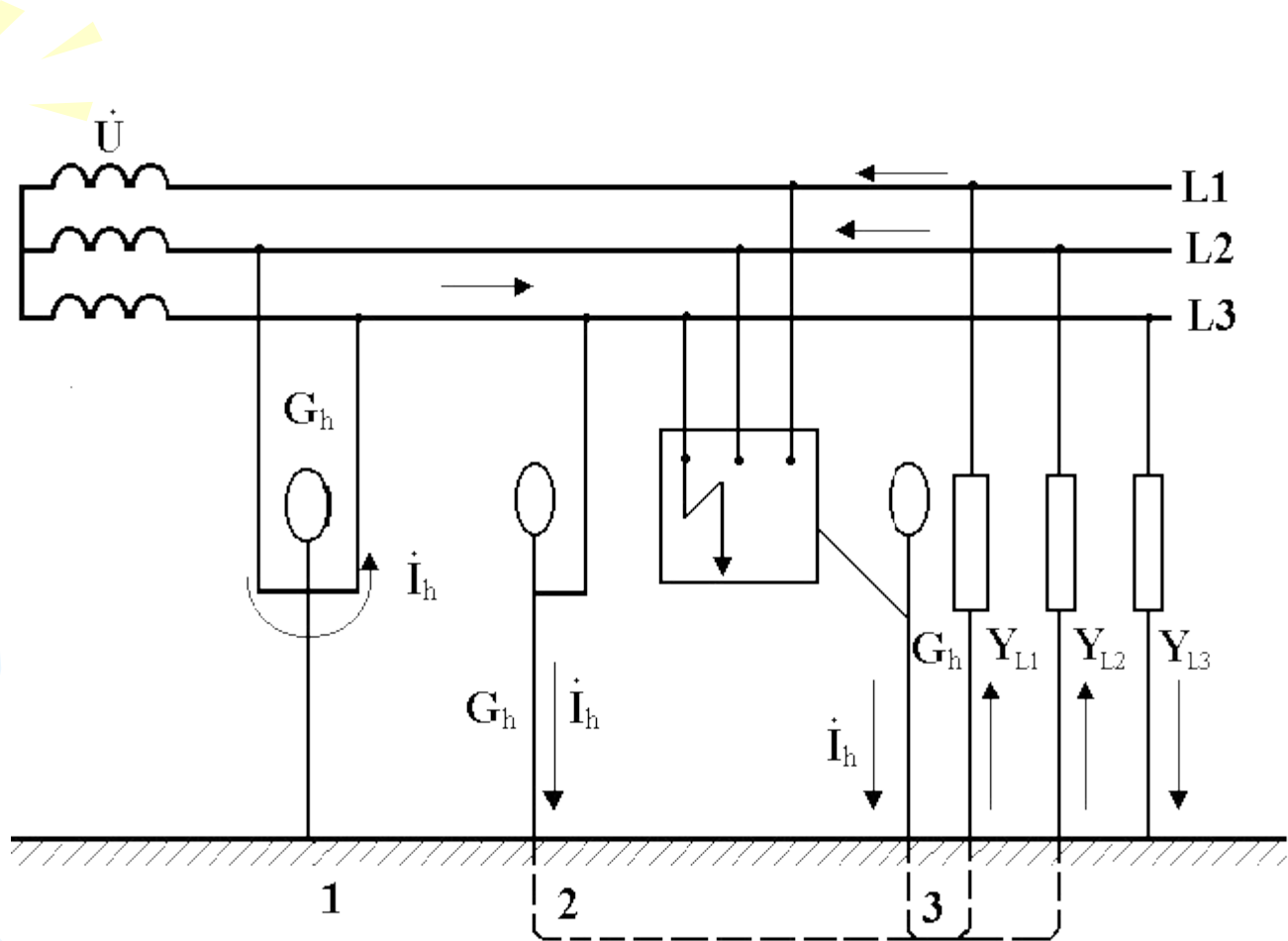


Рис.1. Типовые схемы включения человека в электрическую цепь

При **двухфазном прикосновении** человек попадает под линейное напряжение сети вне зависимости от типа сети, режима нейтрали, режима работы сети, проводимости фазных проводов Y_{L1} , Y_{L2} , Y_{L3} относительно земли. Такая схема включения человека в электрическую цепь представляет большую опасность.

Случаи двухфазного прикосновения происходят сравнительно редко и являются, как правило, результатом работы под напряжением в электроустановках до 1 кВ, что является нарушением правил и инструкций выполнения работ.

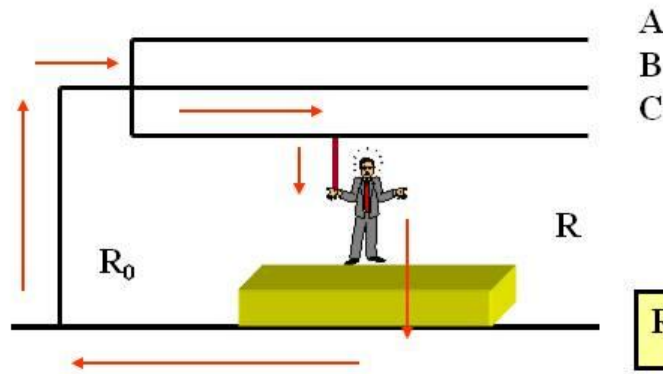
При **однофазном прикосновении** человек попадает под напряжение U_h , значение которого зависит от многих факторов.

Эта схема включения человека в электрическую цепь тока является менее опасной, чем двухфазное прикосновение, и на практике она встречается значительно чаще. Например, электротравмы со смертельным исходом при однофазном прикосновении составляют 70- 80% от общего числа, причем, большинство из них происходит в сетях напряжением до 1 кВ.

Далее, при анализе электробезопасности сетей различных типов, будет рассматриваться только однофазное прикосновение.

Однофазное прикосновение к сети с ЗНТ

Этот случай менее опасен, чем двухфазное прикосновение, так как в *цепь поражения* включается сопротивление обуви $R_{об}$ и пола $R_{п}$.



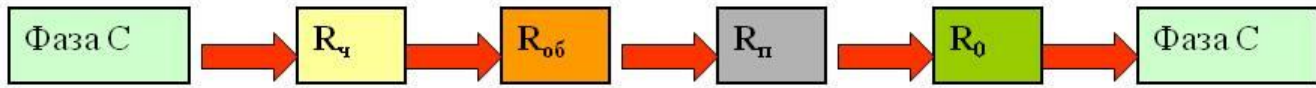
$$I_q = \frac{U_\phi}{R_0 + R} = \frac{U_\phi}{R}$$

$$U_{пр} = \frac{U_\phi \cdot R_q}{R}$$

$$R = R_q + R_{об} + R_{п}$$

Путь тока - «рука-нога»

Цепь поражения:



Сети с ЗНТ применяются на предприятиях, в городах, на селе.

3. Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью

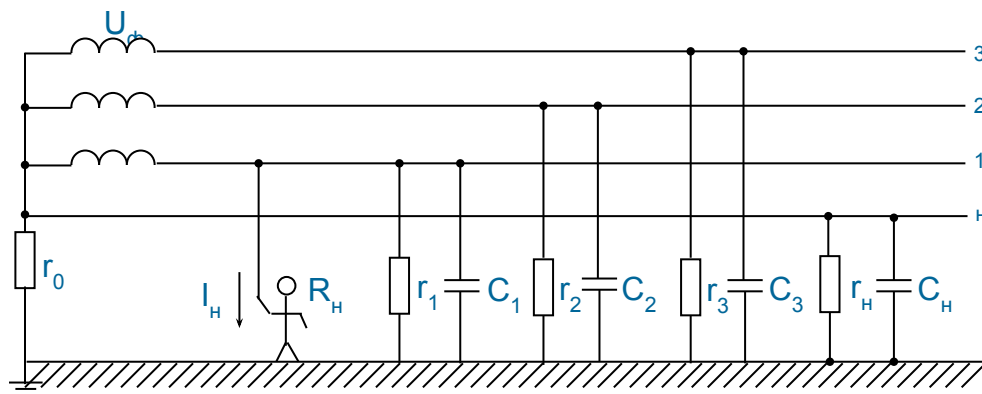


Рис. 2. Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью в нормальном режиме работы:
1, 2, 3 - номера фазных проводов; н - нулевой провод;
 $r_1, r_2, r_3, C_1, C_2, C_3$ - сопротивления и емкости фаз; r_n, C_n - сопротивление и емкость нулевого провода

Выражения напряжения прикосновения и тока через человека в символической форме имеют вид:

$$U_{np} = U_1 - U_0$$

$$I_h = U_{np} \cdot \underline{Y}_h = (U_1 - U_h)$$

С учетом того, что для симметричной трехфазной системы

$$U_1 = U_\phi, \quad U_2 = a^2 U_\phi, \quad U_3 = a U_\phi$$

где a - фазный оператор трехфазной системы, учитывающий сдвиг фаз

$$a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

Для определение напряжения прикосновения и тока, проходящего через тело человека, в случае прикосновения его к одной из фаз трехфазной сети рассмотрим прикосновение человека к фазному проводу трехфазной четырехпроводной сети, у которой нейтраль заземлена через активное сопротивление r_0 .

В случае прикосновения (рис. 5) человека к фазе трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью выражения для U_{np} и I_h в общем случае при

$$r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq r_n \quad \text{и} \quad c_1 \neq c_2 \neq c_3 \neq c_n \neq 0$$

$$U_{np} = U_{\phi} \frac{\underline{Y}_2(1-a^2) + \underline{Y}_3(1-a) + \underline{Y}_n + \underline{Y}_0}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 + \underline{Y}_n + \underline{Y}_0 + \underline{Y}_h}$$

$$I_h = U_{np} \underline{Y}_n = U_{\phi} \underline{Y}_n \frac{\underline{Y}_2(1-a^2) + \underline{Y}_3(1-a) + \underline{Y}_n + \underline{Y}_0}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 + \underline{Y}_n + \underline{Y}_0 + \underline{Y}_h}$$

При нормальном режиме работы сети проводимости фазных и нулевых проводов относительно земли по сравнению с Y_0 имеют малые значения и с некоторым допущением могут быть приравнены к нулю, т.е.

$$\underline{Y}_1 = \underline{Y}_2 = \underline{Y}_3 = \underline{Y}_H = 0.$$


В этом случае напряжение прикосновения U_{np} в действительной форме будет

$$U_{np} = U_{\phi} \cdot \frac{Y_0}{\underline{Y}_0 + \underline{Y}_h} \quad \text{или} \quad U_{np} = U_{\phi} \cdot \frac{R_h}{R_h + r_0}, \quad (9)$$

а ток через человека


$$I_h = U_{\phi} / (R_h + r_0) \quad (10)$$

Согласно требованиям ПУЭ наибольшее значение r_0 составляет 60 Ом, сопротивление тела человека не ниже нескольких сотен Ом.



Выводы. 1. При прикосновении к одной из фаз трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью в нормальном режиме работы человек оказывается практически под фазным напряжением U_{ϕ} , а ток, проходящий через него, равен частному от деления U_{ϕ} на R_h .

2. Ток, проходящий через человека, прикоснувшегося к фазе трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью в период нормальной ее работы, практически не изменяется с изменением сопротивления изоляции и емкости проводов относительно земли, если сохраняется условие, что полные проводимости проводов относительно земли весьма малы по сравнению с проводимостью заземления нейтрали.



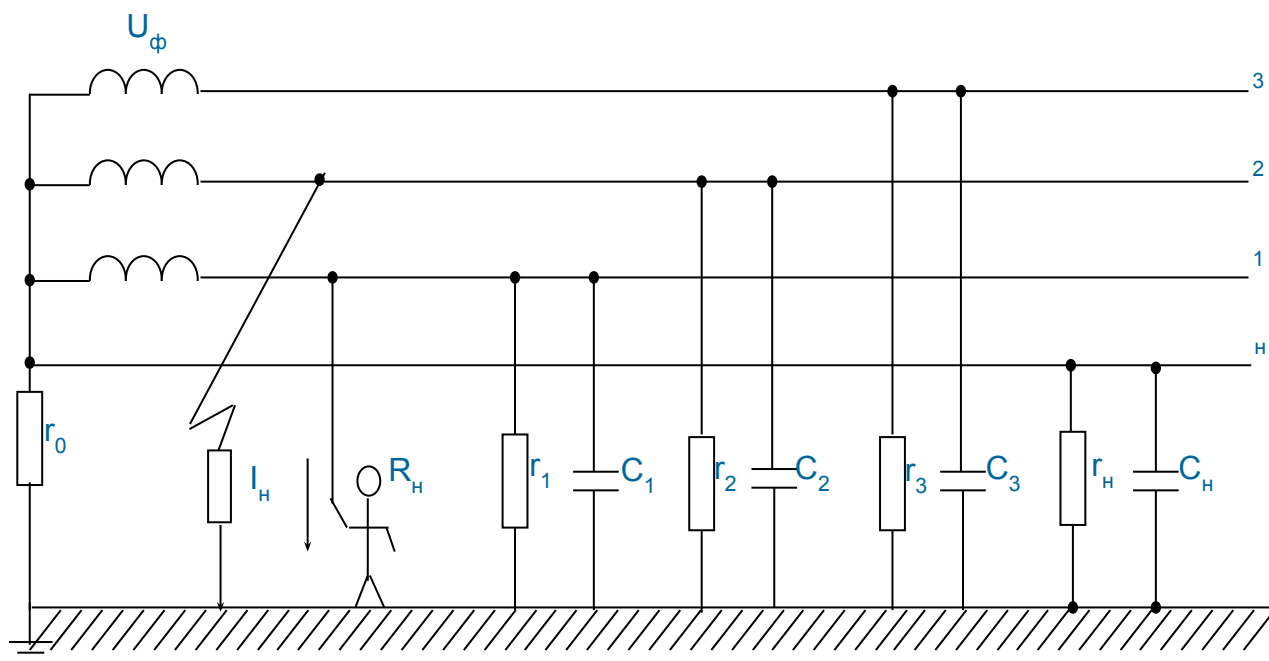


Рис. 3. Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью в аварийном режиме работы:
 1, 2, 3 - номера фазных проводов; н - нулевой провод;
 $r_1, r_2, r_3, C_1, C_2, C_3$ - сопротивления и емкости фаз; r_n, C_n - сопротивление и емкость нулевого провода

При аварийном режиме, когда одна из фаз сети замкнута на землю через относительно малое активное сопротивление r_{3M} формулы расчета параметров прикосновения имеют вид

$$U_{np} = U_{\phi} R_h \frac{r_{3M} + r_0 \sqrt{3}}{r_{3M} r_0 + R_h (r_{3M} + r_0)} ; \quad (11)$$

$$I_h = U_{\phi} \frac{r_{3M} + r_0 \sqrt{3}}{r_{3M} r_0 + R_h (r_{3M} + r_0)} . \quad (12)$$

Возможны два характерных случая.

1. Если принять, что сопротивление замыкания провода на землю r_{3M} равно нулю, то в данном случае человек окажется под воздействием линейного напряжения сети.
2. Если принять равным нулю сопротивление заземления нейтрали r_0 , то напряжение, под которым окажется человек, будет равно фазному напряжению.

Однако в практических условиях сопротивление r_{3M} и r_0 всегда больше нуля, поэтому напряжение, под которым оказывается человек, прикоснувшийся в аварийный период к исправному фазному проводу трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью, всегда меньше линейного, но больше фазного.

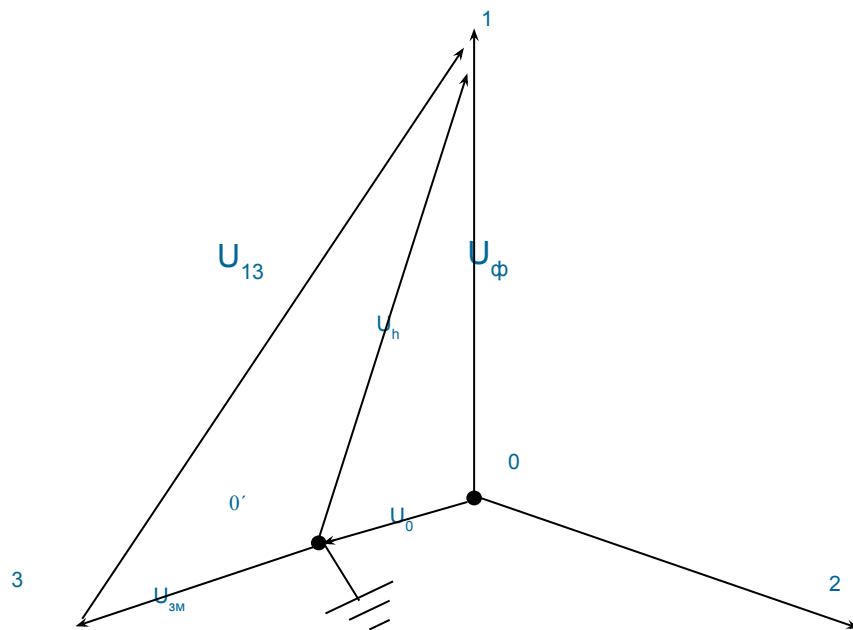


Рис. 4. Векторная диаграмма напряжений

Прикосновение человека к исправному фазному проводу сети с глухозаземленной нейтралью в аварийный период более опасно, чем при нормальном режиме.

Пример 1

Человек прикоснулся к фазному проводу трехфазной четырехпроводной электрической сети напряжением 380/220 В в аварийный период, т.е. когда другой фазный провод был замкнут на землю через сопротивление $r_{зм}$. Определить ток I_h , проходящий через человека.

Дано: $r_{зм} = 100$ Ом; $r_0 = 4$ Ом; $R_h = 1000$ Ом; $r_1 = r_2 = r_3 = r_H = r = 100$ кОм;
 $C_1 = C_2 = C_3 = C_H = C = 0,1$ мкФ ($X_C = 32$ кОм).

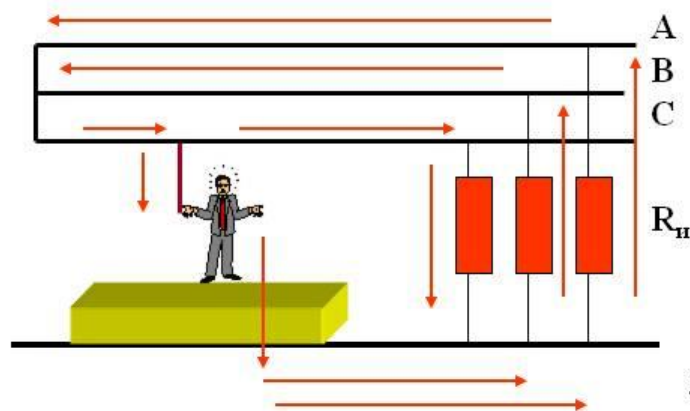
Решение. Поскольку $Y_1 \ll Y_{зм}$, т.е. $\left(\frac{1}{10^4} + j \frac{1}{32 \cdot 10^3} \right) \ll \frac{1}{100}$,

принимая проводимости всех проводов относительно земли равными нулю. Тогда ток через человека определяется по формуле

$$I_h = U_\phi \frac{r_{зм} + r_0 \sqrt{3}}{r_{зм} r_0 + R_h (r_{зм} + r_0)} = 220 \frac{100 + 4\sqrt{3}}{100 \cdot 4 + 1000(100 + 4)} = 226 \text{ мА.}$$

Однофазное прикосновение к сети с ИНТ

Этот случай менее опасен, чем для сети с ЗИТ при нормальном сопротивлении изоляции $R_{и}$ (Ом), но опасность для сети большой протяжённости может возрасти из-за наличия ёмкостного тока.



При одинаковом $R_{и}$ каждой фазы суммарное сопротивление изоляции равно:

$$\sum R_{и} = R_{и} / 3,$$

Путь тока -
«рука-нога»

т. к. $1/R_{и} = 1/R_{иA} + 1/R_{иB} + 1/R_{иC}$

$$I_{ч} = \frac{U_{\phi}}{R + R_{и} / 3}$$

Сети с ИНТ применяют при небольшой протяжённости линий, на судах. Они требуют постоянного контроля $R_{и}$.

4. Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью

При нормальном режиме работы рассматриваемой сети (рис. 8) напряжение $U_{пр}$ и ток I_h в период касания человека к одной фазе, например, фазе 1, определяется уравнениями (7) и (8), в которых $U_N = U_0 = 0$.

Выражение для тока в комплексной форме будет иметь вид

$$I_h = U_{\phi} \underline{y}_h \frac{Y_2(1-a^2) + Y_3(1-a)}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 + \underline{Y}_h}$$

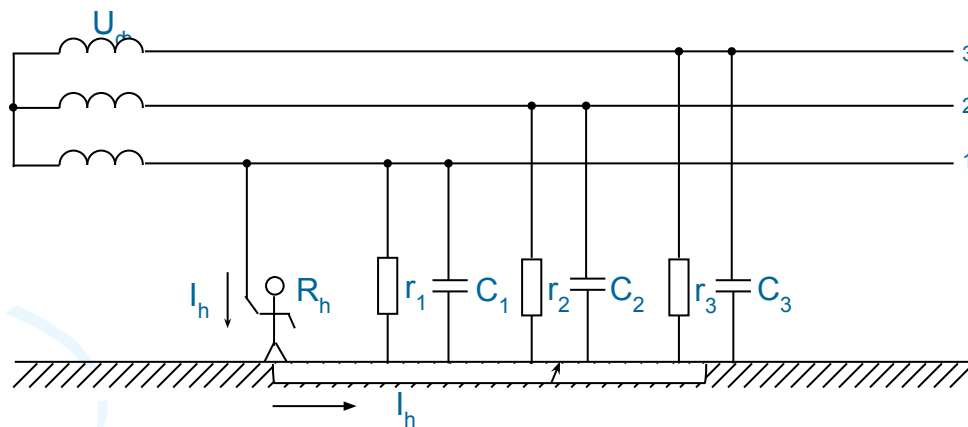


Рис. 5. Прикосновение человека к проводу трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью при нормальном режиме работы

Пользуясь этим выражением, оценивают опасность прикосновения к фазному проводу для следующих трех случаев.

1. При равенстве сопротивлений изоляции и емкостей проводов относительно земли, т.е. при

$$r_1 = r_2 = r_3 = r; C_1 = C_2 = C_3 = C, \text{ а следовательно, при } \underline{Y}_1 = \underline{Y}_2 = \underline{Y}_3 = \underline{Y}$$

ток через человека в комплексном форме, если учесть, что, $a^2 + a + 1 = 0$

$$\underline{I}_h = U_\phi \underline{Y}_h \frac{\underline{Y}(1 - a^2 + 1 - a)}{3\underline{Y} + \underline{Y}_h} = \frac{U_\phi}{1/\underline{Y}_h + 1/3\underline{Y}}$$

или

$$\underline{I}_h = \frac{U_\phi}{R_h + \underline{Z}/3}, \quad (13)$$

где \underline{Z} - комплекс полного сопротивления провода относительно земли, Ом:

$$\underline{Z} = 1/\underline{Y} = \frac{1}{1/r + j\omega c}$$

В действительной форме этот ток равен

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h \sqrt{1 + \frac{r(r + 6R_h)}{9R_h^2(1 + r^2\omega^2 c^2)}}}. \quad (14)$$

2. При равенстве сопротивлений изоляции и отсутствии емкостей, то есть при $r_1 = r_2 = r_3 = r_H = r; C_1 = C_2 = C_3 = C_H = 0$ и, следовательно, при

$\underline{Y} = \frac{1}{r}$ и $\underline{Z} = r$, что может иметь место в коротких воздушных сетях, ток, проходящий через тело человека, в действительной форме будет

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r/3}. \quad (15)$$

3. При равенстве емкостей и весьма больших сопротивлениях изоляции то есть при $r_1 = r_2 = r_3 = \infty$ $C_1 = C_2 = C_3 = C$ и, следовательно, при $\underline{Y} = j\omega C = j/x_c$ и $\underline{Z}_{\bar{r}} 1/\underline{Y} = -j x_c$, что может иметь место в кабельных сетях, ток через человека в комплексной форме

$$\underline{I}_h = \frac{U_\phi}{R_h + 1/j \cdot 3\omega C} = \frac{U_\phi}{R_h - j x_c / 3},$$

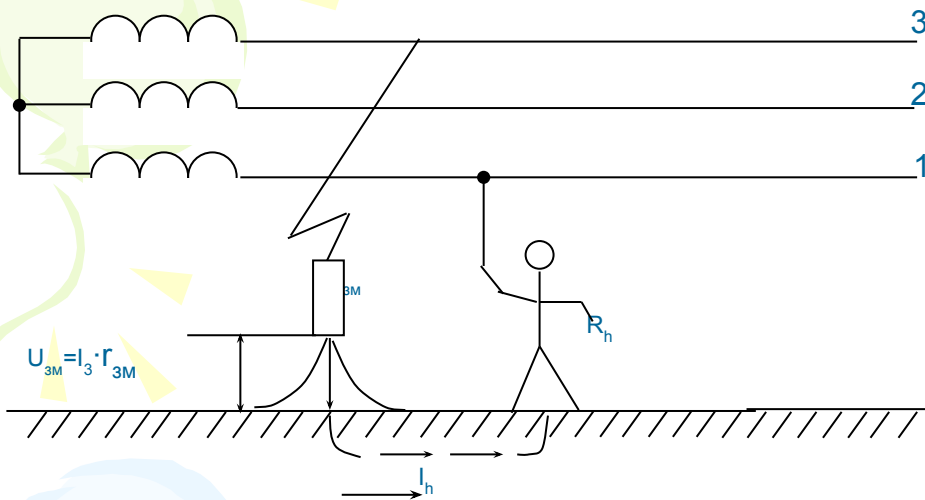
где $x_c = 1/\omega C$ - емкостное сопротивление, Ом.

В действительной форме, ток, А

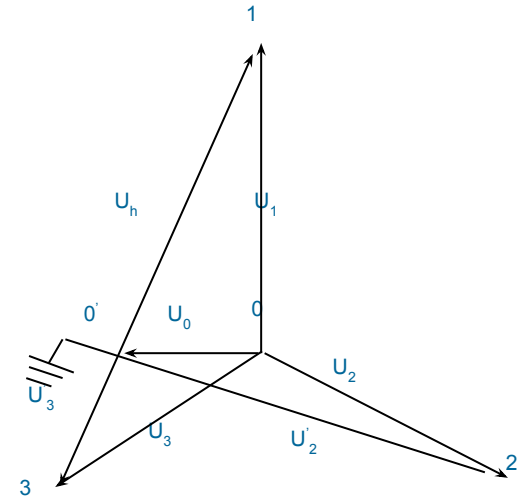
$$I_h = \frac{U_\phi \cdot 3\omega C}{\sqrt{9R_h^2 \omega^2 C^2 + 1}} = \frac{U_\phi}{\sqrt{R_h^2 + (x_c / 3)^2}}. \quad (16)$$

Вывод. В сетях с изолированной нейтралью опасность для человека, прикоснувшегося к одному из фазных проводов в период нормальной работы сети, зависит от сопротивления изоляции проводов относительно земли: с увеличением сопротивления опасность уменьшается.

При аварийном режиме сети (рис. 6), когда возникло замыкание фазы на землю через малое активное сопротивление $r_{зм}$, проводимости двух других фаз можно принять равными нулю.



а)



б)

Рис. 6. Прикосновение человека к проводу трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью при аварийном режиме:
 а - схема сети; б - векторная диаграмма напряжений, при условии, что $\underline{U}_1 = \underline{U}_2 = 0$

$$\underline{Y}_3 = \frac{1}{r_{зм}}; \quad \underline{Y}_1 = \underline{Y}_2 = 0, \quad \text{тогда} \quad \underline{I}_h = U_\phi \underline{Y}_h \frac{\underline{Y}_3(1-a)}{\underline{Y}_3 + \underline{Y}_h}$$

В действительной форме

$$I_h = \frac{U_\phi \sqrt{3}}{R_h + r_{зм}} \quad (17)$$



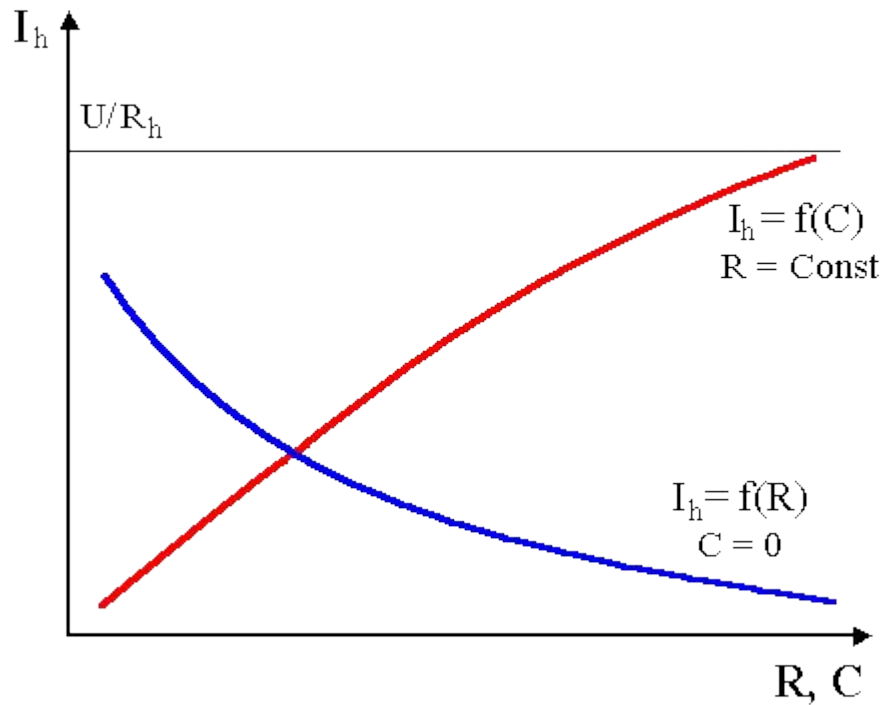
Напряжение прикосновения

$$U_{np} = I_h \cdot R_h = U_\phi \sqrt{3} \frac{R_h}{R_h + r_{зм}} . \quad (18)$$

Если принять, что $r_{зм} = 0$ или $r_{зм} \ll R_h$, то $U_{np} = U_\phi \sqrt{3}$, то есть человек окажется под линейным напряжением сети.

В действительных условиях $r_{зм}$ всегда больше нуля, поэтому напряжение, под которым окажется человек, прикоснувшийся в аварийный период к исправной фазе трехфазной сети с изолированной нейтралью, будет значительно больше фазного и несколько меньше линейного напряжения сети.

Таким образом, это прикосновение во много раз опаснее прикосновения к той же фазе сети при нормальном режиме работы. Такое прикосновение также является более опасным, чем прикосновение к исправной фазе трехфазной сети с заземленной нейтралью.



Зависимость значения тока, протекающего через тело человека, прикоснувшегося к фазному проводу в сети с изолированной нейтралью с симметричными параметрами в нормальном режиме работы, от сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли

Пример 2

Человек прикоснулся к фазе трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью

380 В; $R_h = 1000$ Ом. Определить I_h для двух случаев:

- 1) при $c_1 = c_2 = c_3 = c_H = 0$ и $r_1 = r_2 = r_3 = r = 3 \cdot 10^3$ Ом;
- 2) при $c_1 = c_2 = c_3 = c_H = 0,03$ мкФ и $r_1 = r_2 = r_3 = r = \infty$

Решение. Находим:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r/3} \quad I_h = \frac{220}{1000 + 3000/3} = 0,11 \text{ А} = 110 \text{ мА}$$

$$I_h = \frac{U_\phi \cdot 3\omega c}{\sqrt{9R_h^2 \omega^2 c^2 + 1}} = \frac{U_\phi}{\sqrt{R_h^2 + (x_c/3)^2}} \quad I_h = \frac{220}{\sqrt{1000^2 + (100 \cdot 10^3 / 3)^2}} = 0,0066 \text{ А} = 6,6 \text{ мА}.$$

Пример 3

Человек прикоснулся к проводу трехфазной трехпроводной сети 380 В с изолированной нейтралью в период, когда другой провод был замкнут на землю через сопротивление r_{3M} .

Необходимо определить ток, проходящий через человека, при указанных значениях сопротивления замыкания провода на землю.

Дано: $r_1 = r_2 = r_3 = r = 100$ кОм, $C_1 = C_2 = C_3 = C = 0,1$ мкФ
($X_C = 32$ кОм); $R_h = 1000$ Ом, $r_{3M} = 100$ Ом

Решение. Полная проводимость исправного провода относительно земли $\underline{Y} = \frac{1}{10^4} + j/(32 \cdot 10^3)$

значительно меньше полной проводимости замыкания провода на землю $\underline{Y}_{3M} = \frac{1}{r_{3M}}$

т.е. $\left(\frac{1}{10^4} + j/(32 \cdot 10^3) \right) \ll \frac{1}{r_{3M}} = \frac{1}{100}$, можно принять $\underline{Y}_1 = \underline{Y}_2 = 0$ и $\underline{Y}_3 = \underline{Y}_{3M} = \frac{1}{r_{3M}}$, тогда

$$I_h = \frac{U_\phi \sqrt{3}}{R_h + r_{3M}}$$

$$I_h = 220\sqrt{3} / (1000 + 100) = 0,345 \text{ А.}$$

Целевые предназначения систем заземления

Аббревиатура букв расшифровывается так:

T (terre — земля) — заземлено;

N (neuter — нейтраль) — присоединено к нейтрали источника (занулено);

I (isole) — изолировано.

В ГОСТ введены обозначения нулевых проводников:

N — нулевой рабочий проводник;

PE — нулевой защитный проводник;

PEN — совмещенный нулевой рабочий и защитный проводник заземления.

Система TN – система в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электропроводки присоединены к глухозаземленной нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников.

Термин глухозаземленная означает, что проводник N (нейтраль) присоединен не к дугогасящему реактору, а к заземляющему контуру, который непосредственно смонтирован вблизи трансформаторной подстанции.

Система TN: подсистема TN-C

TN—C — нулевой рабочий и нулевой защитный проводники объединены в одном проводнике по всей системе (C — combined — объединённый).

Достоинства подсистемы TN-C.

Наиболее распространенная подсистема, экономичная и простая.

Недостатки подсистемы TN-C

У такой системы нет отдельного проводника PE (защитное заземление). Это означает, что в жилом доме в розетках отсутствует заземление.

Система заземления TN-C используется в старом жилом фонде и не может быть рекомендована для новых построек.

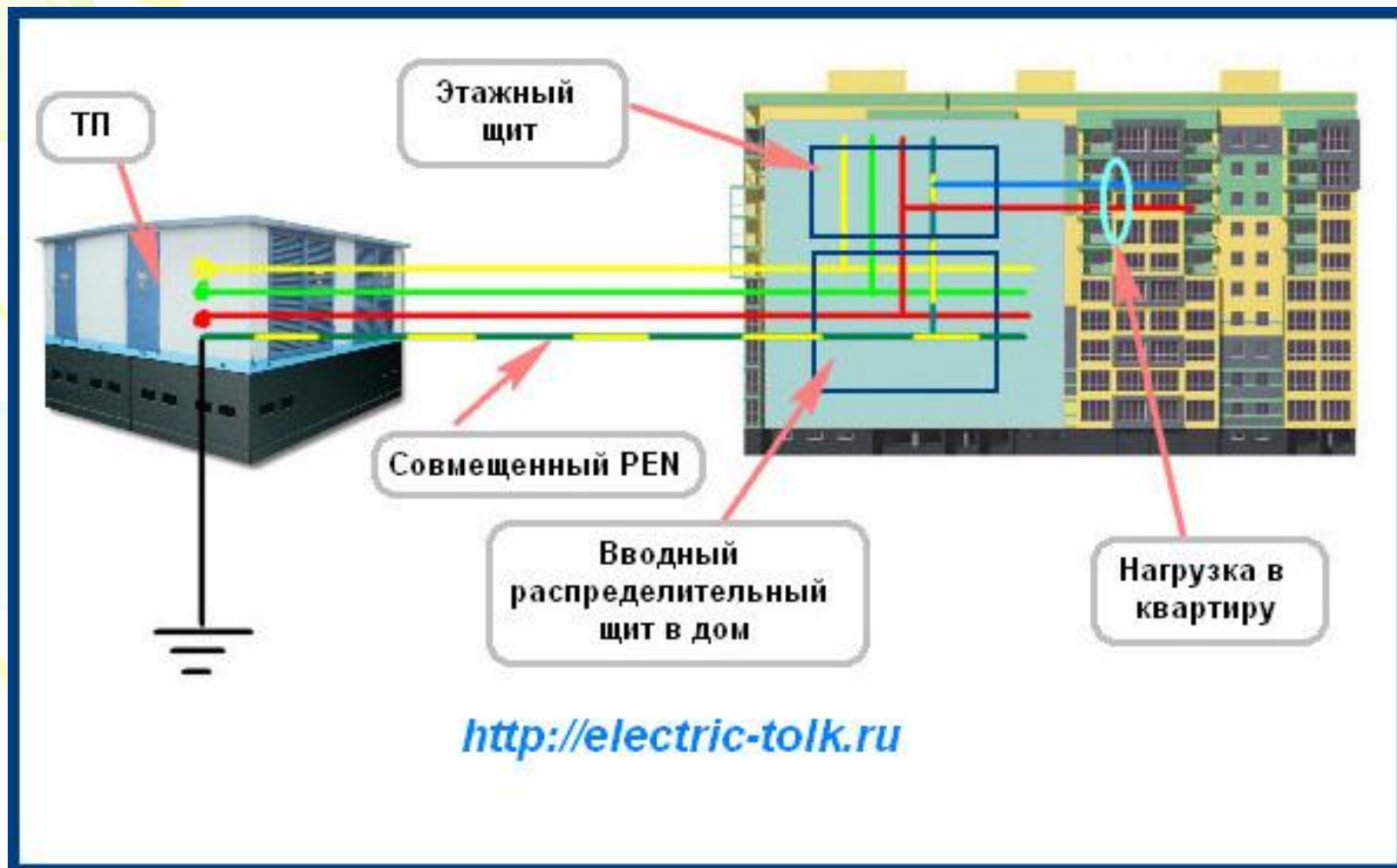


Схема системы TN-C



Система TN: подсистема TN-S

TN—S — нулевой рабочий и нулевой защитный проводники работают раздельно по всей системе (S — separated — раздельный).

Достоинства подсистемы TN-S.

Наиболее современная и безопасная система заземления. Рекомендуются при строительстве новых зданий.

Способствует хорошей защите человека, оборудования, а так же защиты зданий.

Недостатки подсистемы TN-S.

Менее распространена. Требуется прокладка от трансформаторной подстанции пятижильного провода в трехфазной сети или трехжильного кабеля в однофазной сети, что ведет к удорожанию проекта.

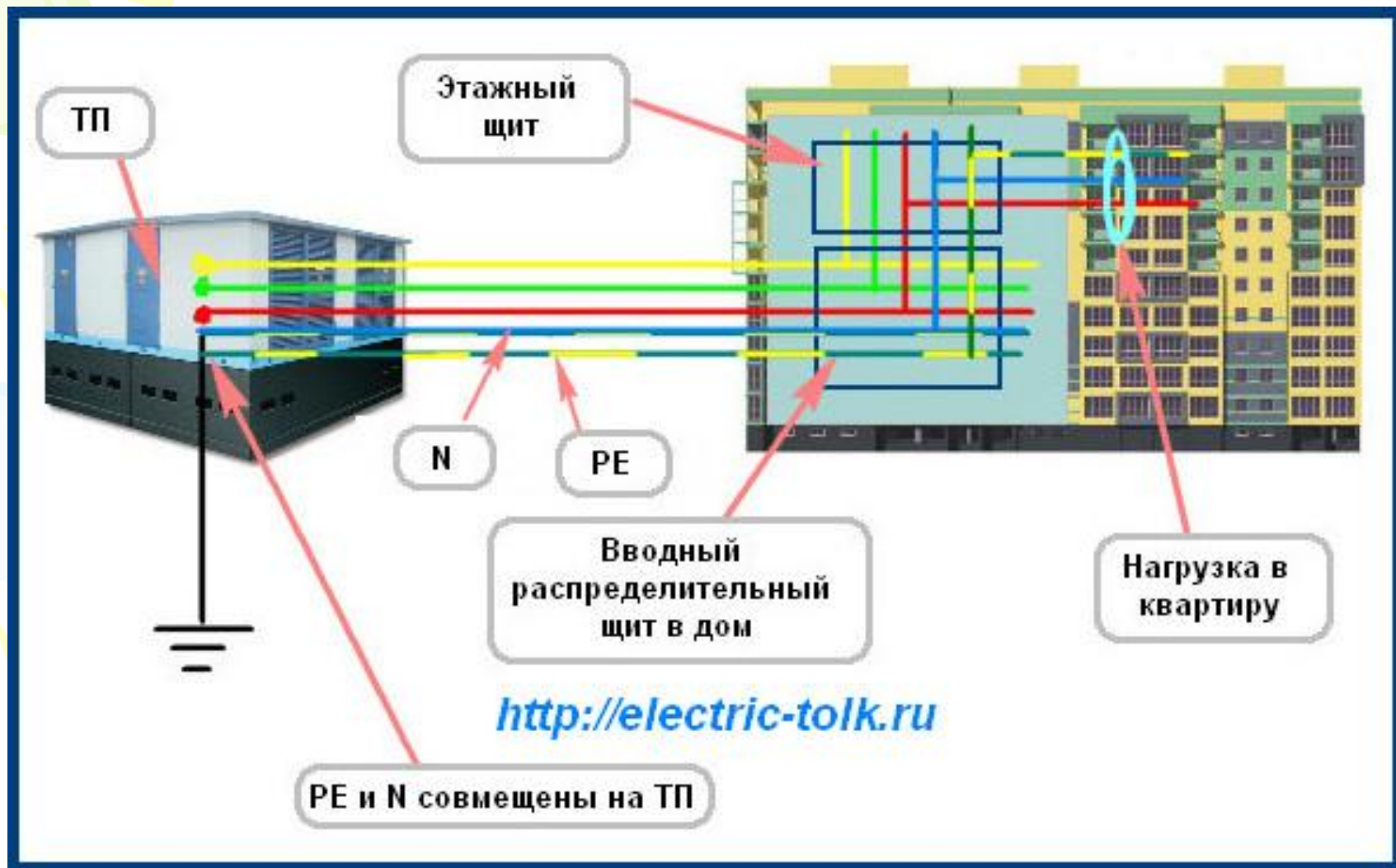


Схема системы TN-S

Система TN: подсистема TN-C-S

TN-C-S — нулевой рабочий и нулевой защитный проводники объединены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания до ввода в здание, такую систему возможно расщепить на проводник N и проводник PE. После расщепления такая система требует повторного заземления

Достоинства подсистемы TN-C-S.

Подсистема TN-C-S рекомендована для широкого применения. Технически достаточно легко выполняема. При переходе с подсистемы TN-C требует несложной модернизации.

Недостатки подсистемы TN-C-S.

Нуждается в модернизации стояков в подъездах. При обрыве PEN проводника электроприборы могут оказаться под опасным потенциалом.

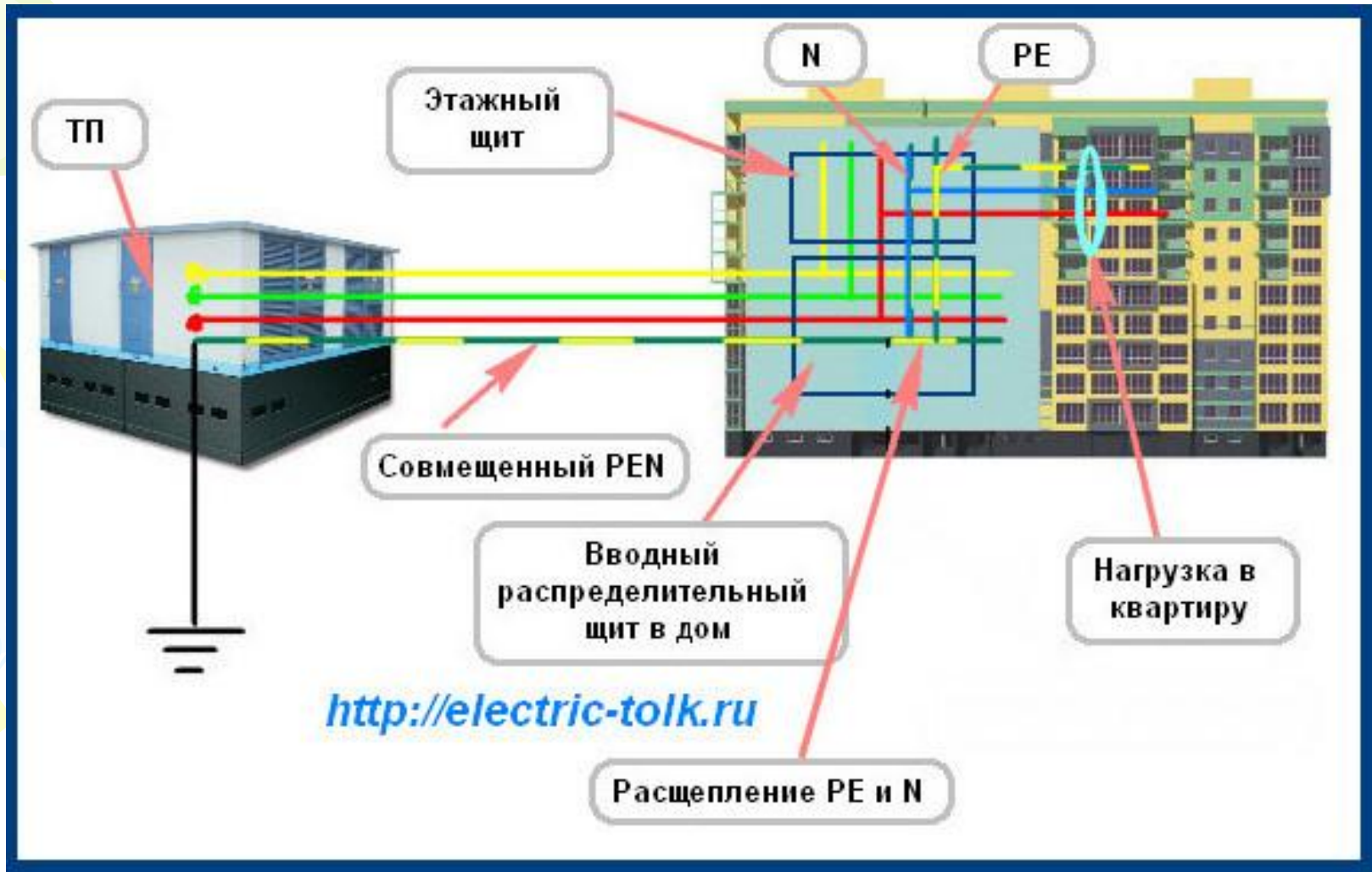


Схема системы TN-C-S

Система ТТ

ТТ — нейтраль источника глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к заземлителю, электрически независимому от заземлителя нейтрали источника питания.

До недавнего времени система заземления ТТ была запрещена в нашей стране. Сейчас эта система остается достаточно востребованной и используется для мобильных зданий, таких как вагончики, ларьки, павильоны, дома и др. Допускается только в тех случаях, когда условия электробезопасности в системе TN не могут быть обеспечены.

Такая система требует высококачественного повторного заземления, с высокими требованиями к сопротивлению. Самым эффективным заземлением в этом случае, является модульно-штыревое заземление. Во всех перечисленных системах рекомендуется для безопасности применять УЗО (устройство защитного отключения).

Распределение трехфазной нагрузки

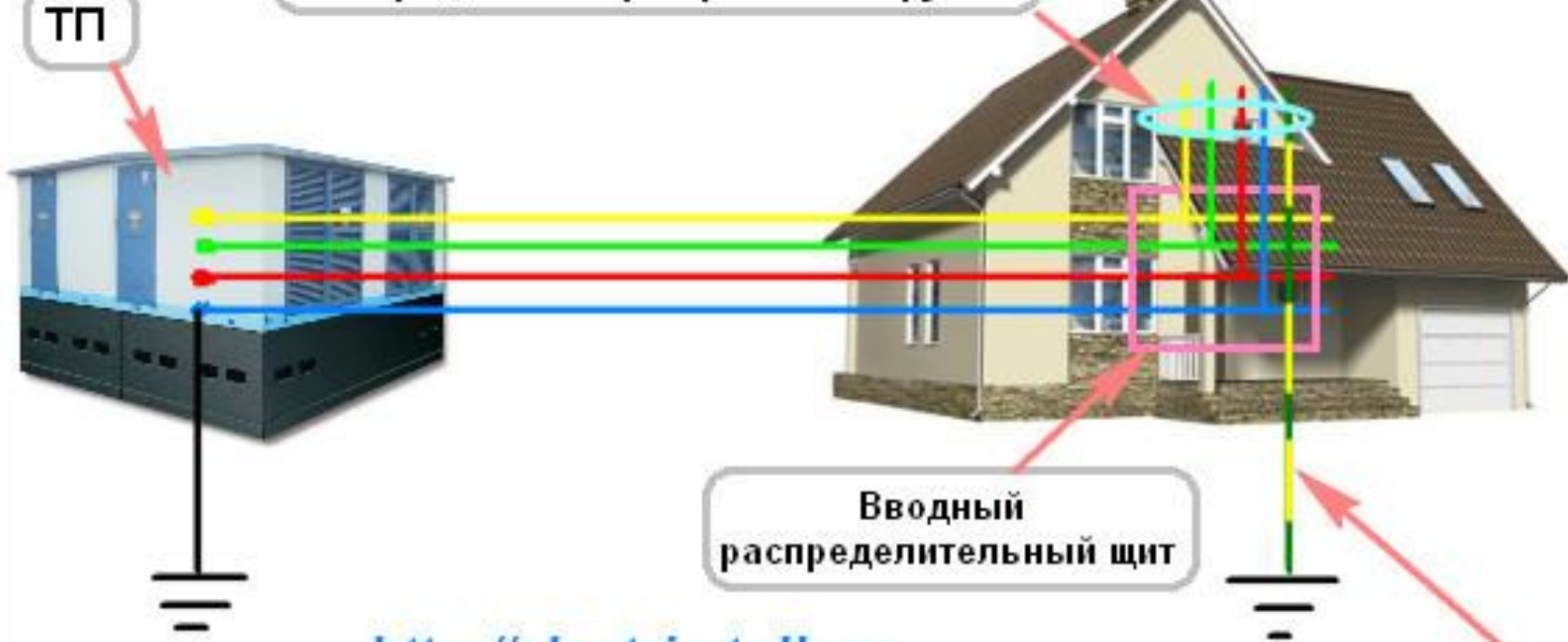
ТП

Вводный
распределительный щит

Модульно-штыревое заземление

<http://electric-tolk.ru>

Схема системы ТТ





Система IT

Система IT — в такой системе нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части электроустановки заземлены.

Система IT – это схема заземления лабораторий и медицинских учреждений, в которой проводятся опыты и работы с чувствительной аппаратурой. А все токи и электромагнитные поля сведены к минимуму.

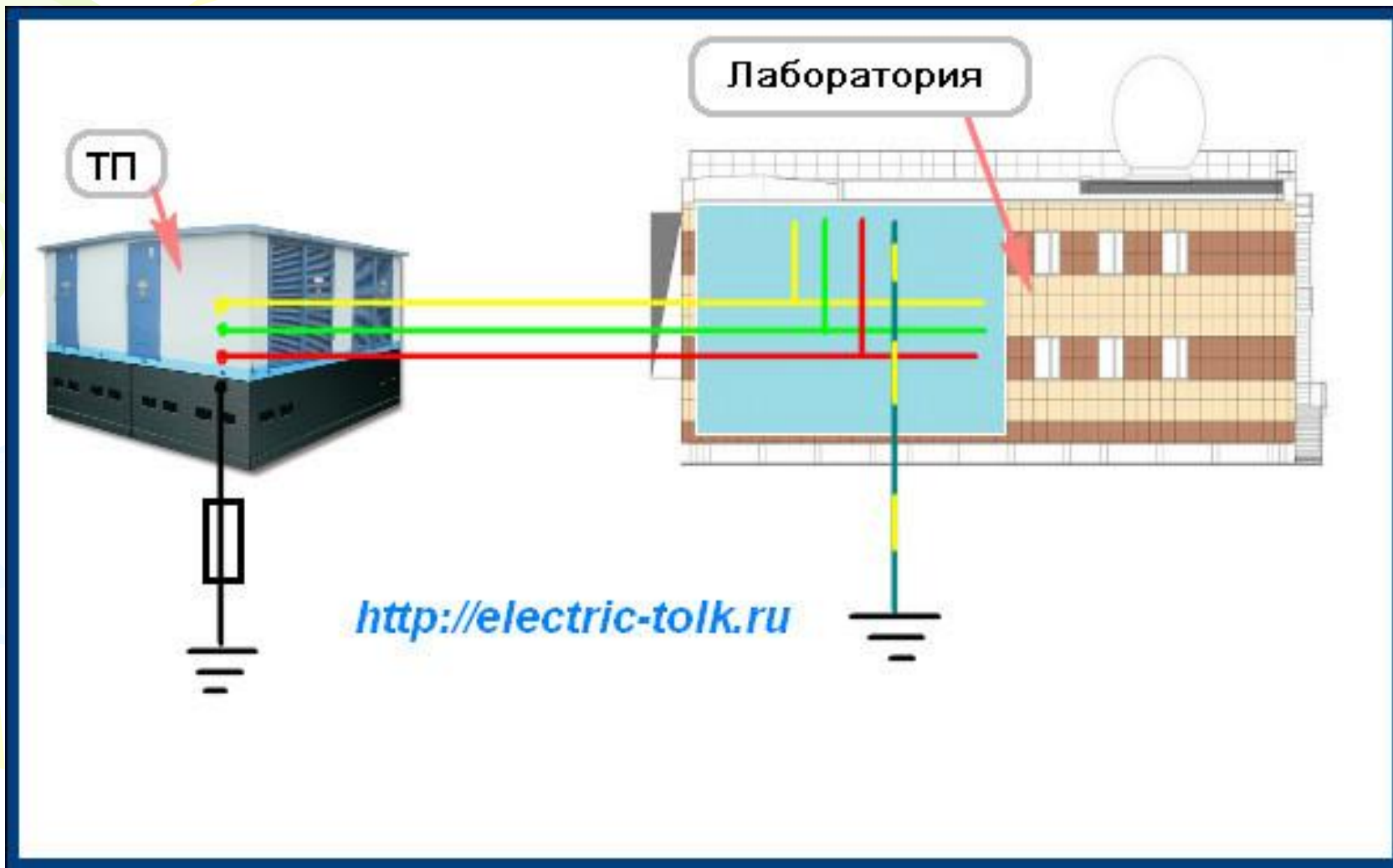


Схема системы IT