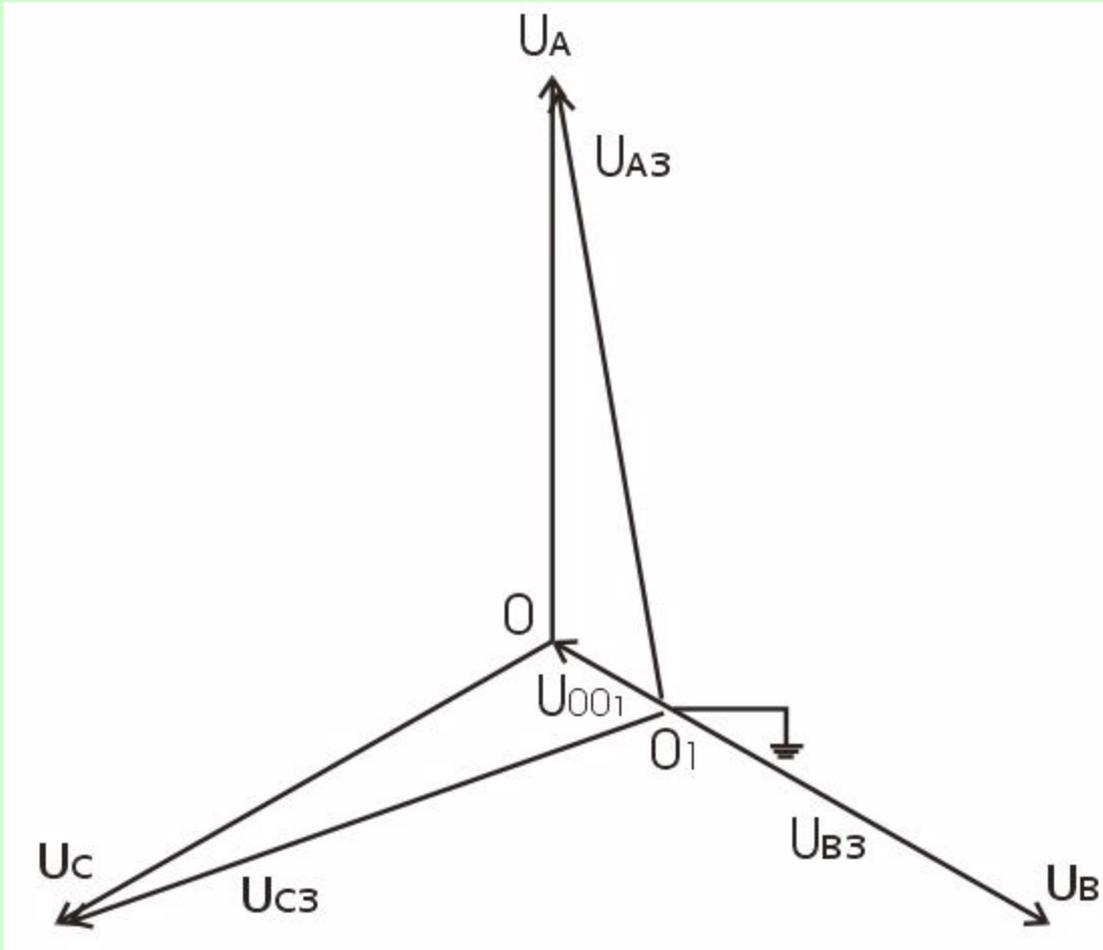


$$|U_{л}| = \sqrt{3} |U_{ф}|$$

**Земля**  $\theta_1$  - в общем случае эквипотенциальный проводник .

$U_{A3}$   $U_{B3}$   $U_{C3}$  - напряжения фаз относительно земли.

$U_{001}$  - напряжение смещения нейтрали.



$$\dot{U}_A = U_\phi$$

$$\dot{U}_B = a^2 U_\phi$$

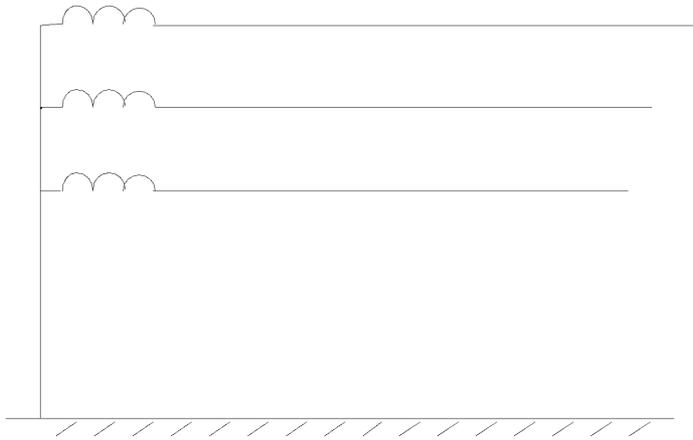
$$\dot{U}_C = a U_\phi$$

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

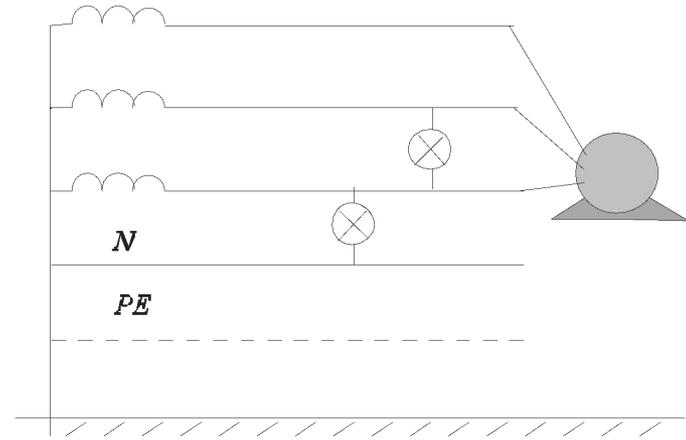
$a$  – фазный оператор трехфазной системы, учитывающий сдвиг фаз

# ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

## *СГЗН (TN)*

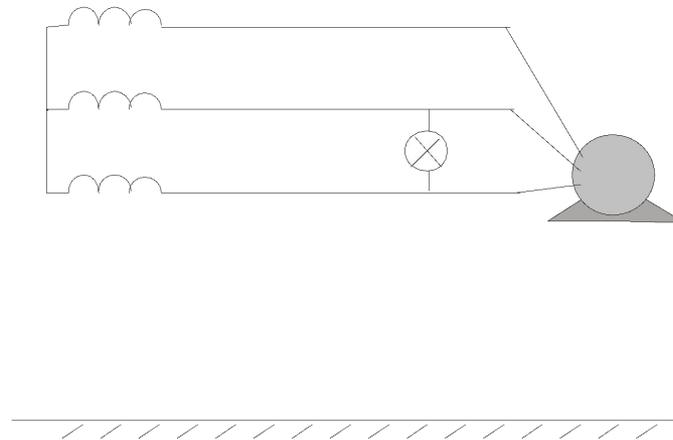


3φ 3провода



3φ 4-5 проводов

## *СИН (IT)*



# Электрические параметры, характеризующие связь сети с землей:

- сопротивление изоляции,
- емкость относительно земли,
- заземления.

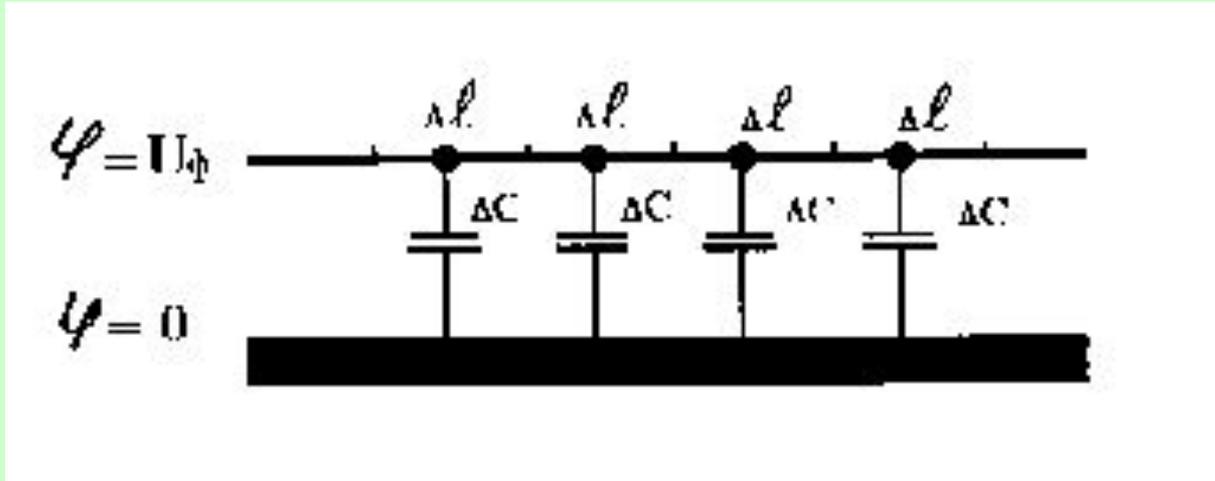
# СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ

**$R_{\text{и}}$  - показатель способности изоляционных конструкций пропускать электрический ток под действием приложенного к этим конструкциям постоянного напряжения**

$$r_{\phi} = \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{\phi i}} \right)^{-1}$$

$$R_{\text{и.ЭКВ}} = \left( \sum_{\phi=A,B,C} \frac{1}{r_{\phi}} \right)^{-1}$$

# ЕМКОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНО ЗЕМЛИ



$$x_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$C_{\phi} = \sum_{i=1}^n \Delta C_i$$

**Заземление** - это намеренное соединение металлических токоведущих или нетокведущих частей с землей.

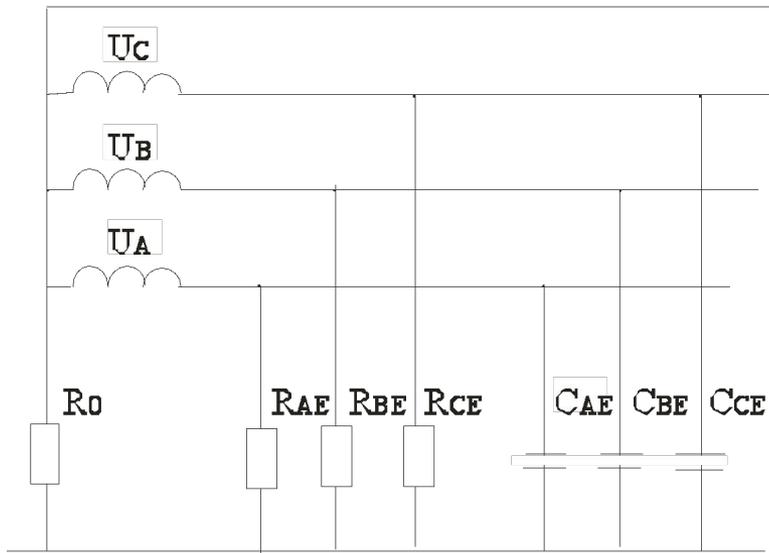
■ заземление нейтрали источника электроэнергии, рабочее заземление),

■ защита от поражения током (защитное заземление),

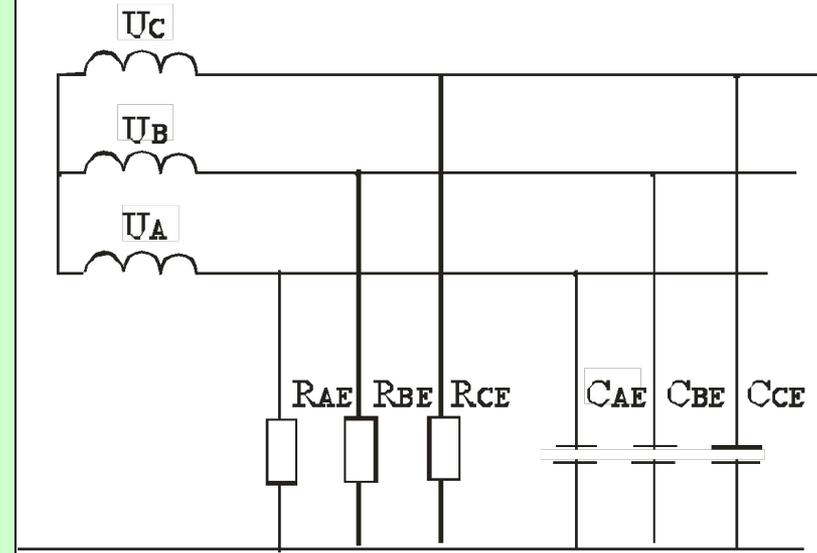
■ защита от радиопомех.

Рабочее напряжение $U_{\text{раб}}$ В	$R_z$ , Ом
127/220	8
220/380	4
380/660	2
Выше 1000	0.5

# ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ СХЕМЫ СЕТЕЙ



СГЗН



СИН

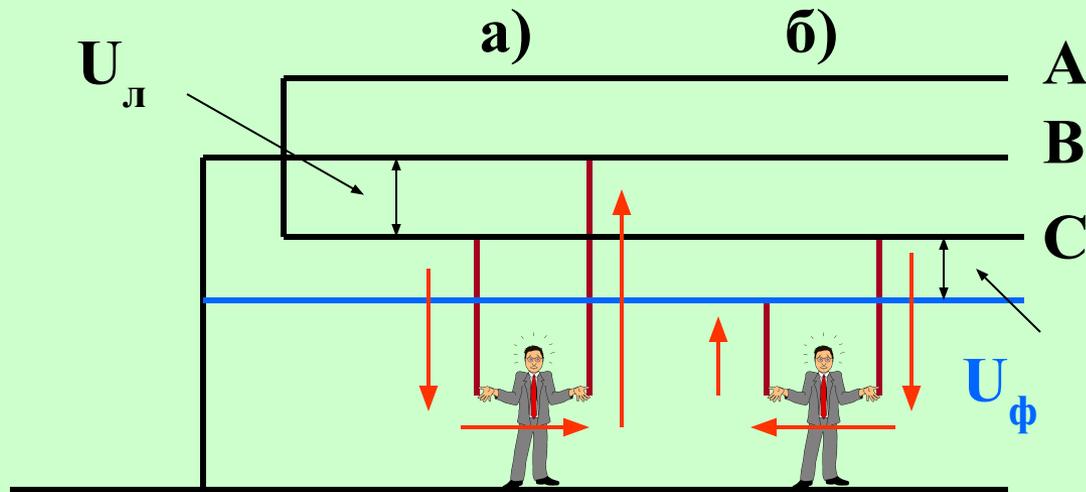
# **Возможные схемы включения человека в электрическую цепь**

1. Двухполюсное прикосновение.
2. Однополюсное прикосновение.
3. Остаточный заряд.
4. Напряжение шага.
5. Электрический пробой воздушного зазора.
6. Наведенный заряд.
7. Заряд статического электричества.

# Двухфазное прикосновение к токоведущим частям

а) - прикосновение к двум фазным проводам

б) – прикосновение к фазному и нулевому проводу



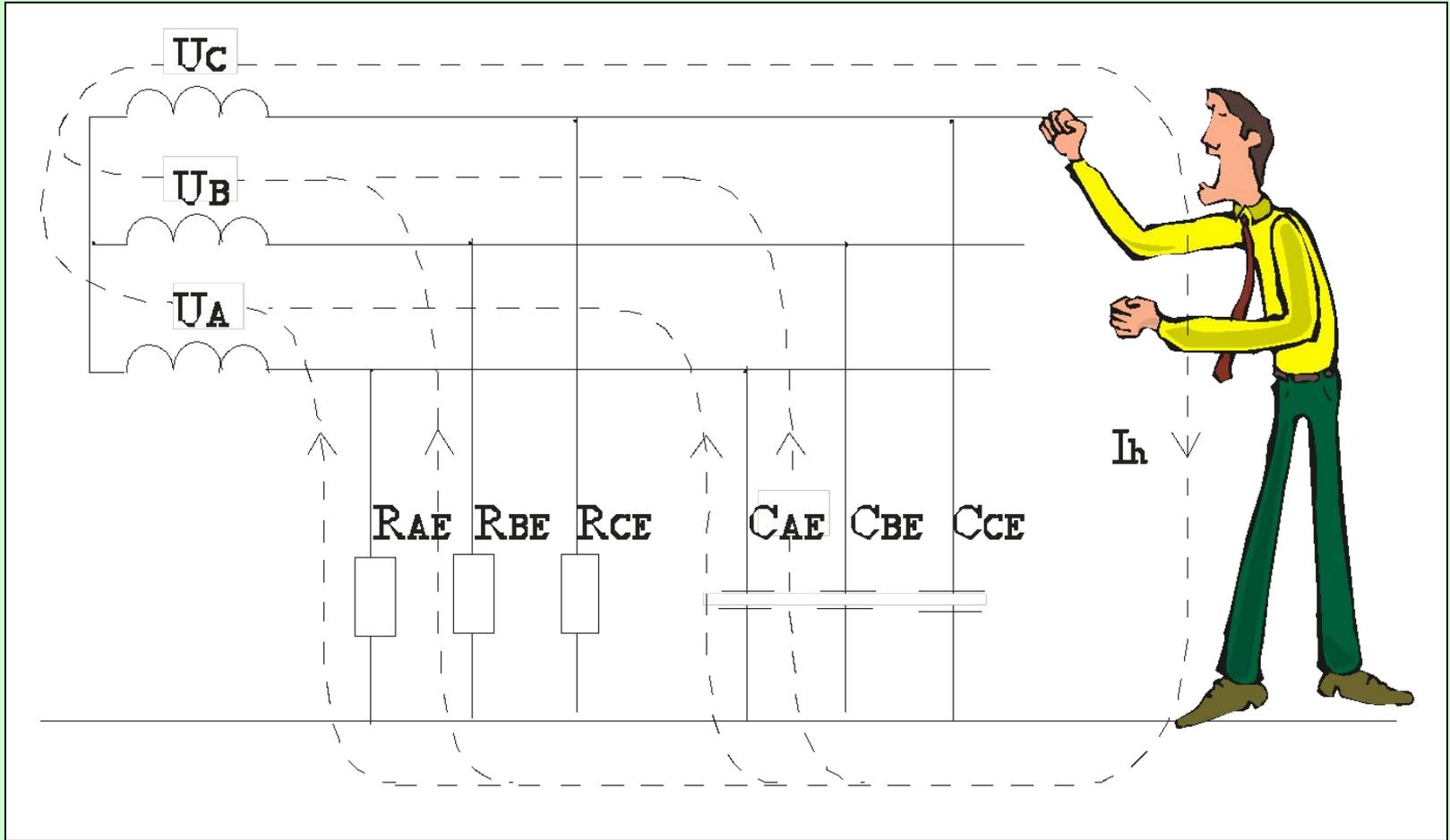
Путь тока -  
«рука-рука»

а)  $I_{ч} = U_{л} / R_{ч} , U_{нр} = I_{ч} \cdot R_{ч} = U_{л} = 380 \text{ В}$

б)  $I_{ч} = U_{ф} / R_{ч} , U_{нр} = I_{ч} \cdot R_{ч} = U_{ф} = 220 \text{ В}$

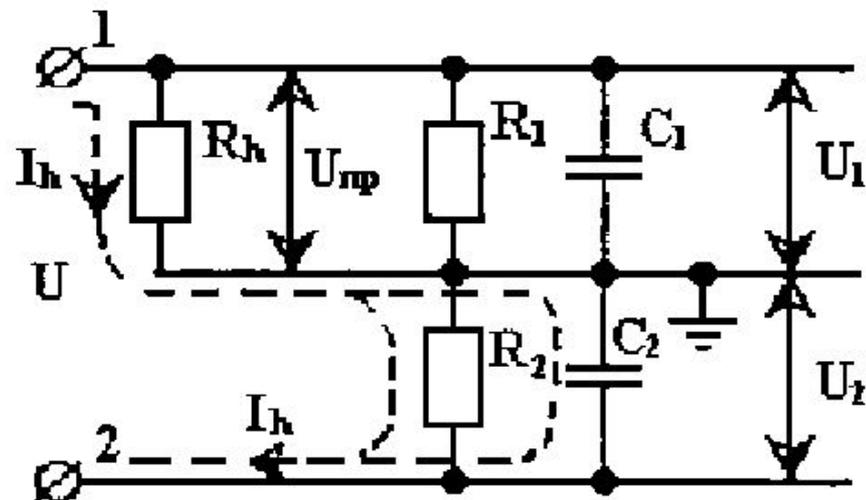
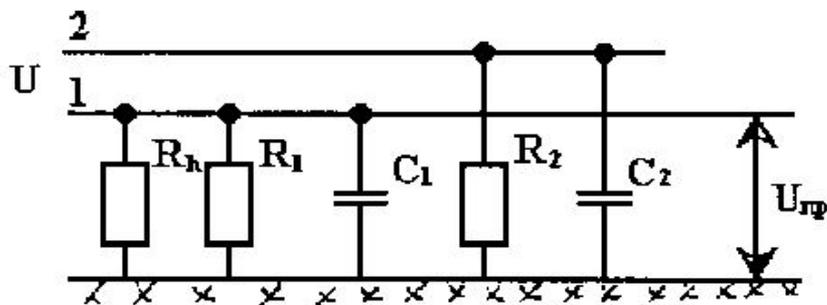
Сопротивление растеканию тока пола,  
на котором стоит человек , кОм

Материал пола	Степень влажности пола		
	Сухой	Влажный	Мокрый
Асфальт	2000	10,0	0,8
<b>Бетон</b>	<b>2000</b>	<b>0,9</b>	<b>0,1</b>
Дерево	30	3,0	0,3
Земля	20	0,8	0,3
Кирпич	10	1,5	0,8
<b>Линолеум</b>	<b>1500</b>	<b>50,0</b>	<b>4,0</b>
Метлахская плитка	25	2,0	0,3



IT

# ОПАСНОСТЬ ПРИКОСНОВЕНИЯ К ПОЛЮСУ однофазной СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА, изолированной от земли.



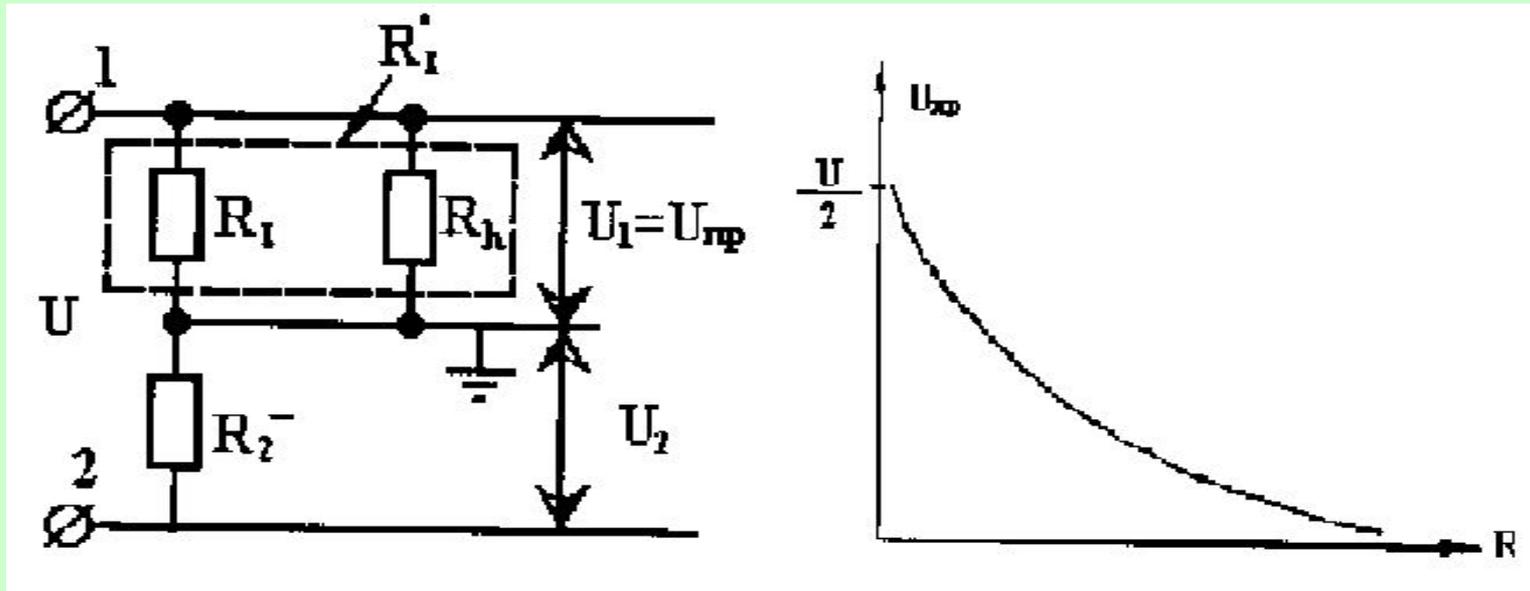
$$Z_1 = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_h} + j\omega C_1 \right)^{-1}$$

$$Z_2 = \left( \frac{1}{R_2} + j\omega C_2 \right)^{-1}$$

$$I_h = \frac{U_{гр}}{R_h}$$

$$U_{гр} = U_{1-2} = U_{раб} \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

Сеть с пренебрежимо малой емкостью.

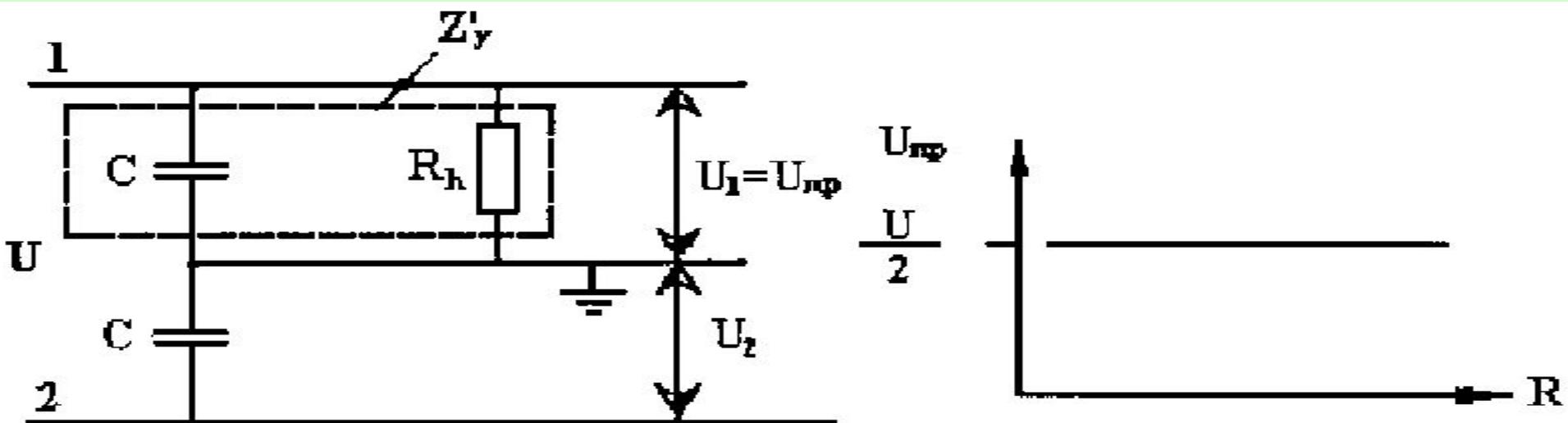


$$\exists R_1, R_2 \gg R_h \quad R_1' = R_1 R_h / (R_1 + R_h) \approx R_h \ll R_2, \quad U_{\text{пр}} \rightarrow 0$$

$$\exists R_1 \approx R_2 < R_h \quad R_1' \approx R_1 \approx R_2 \quad U_{\text{пр}} \approx U/2$$

$$\text{Если } R_2 \ll R_1 \quad U_{\text{пр}} \rightarrow U_{\text{раб}}$$

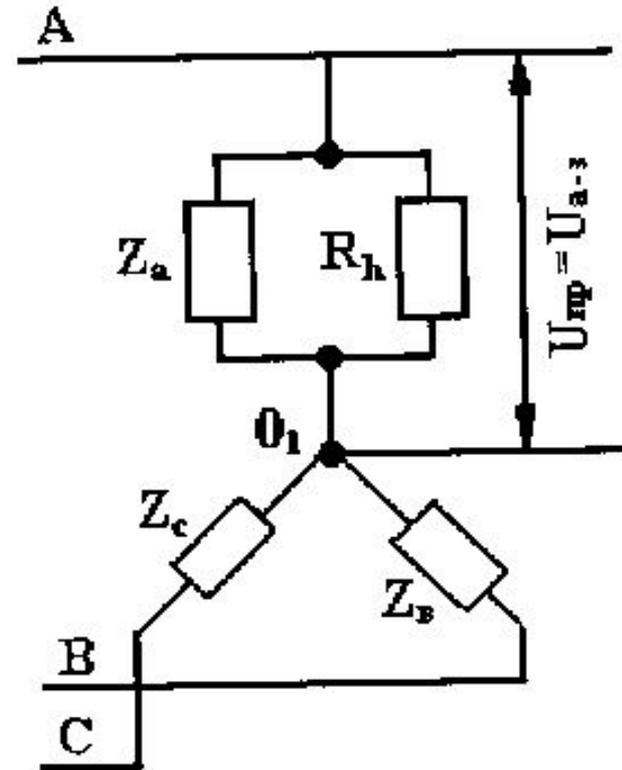
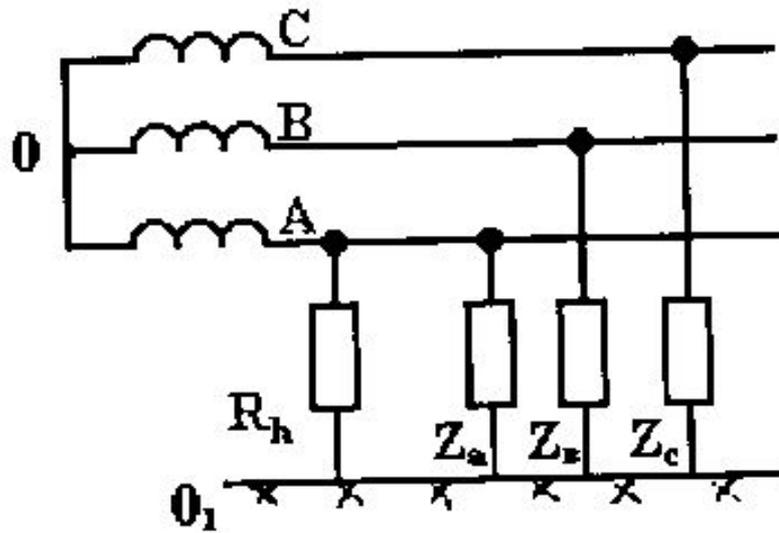
## Разветвленная сеть

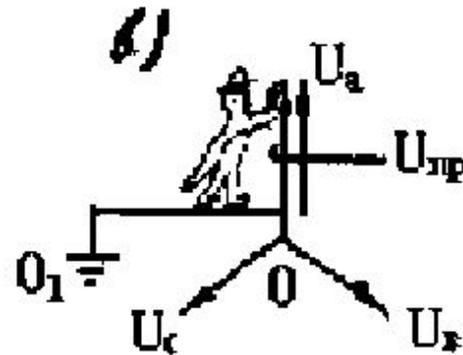
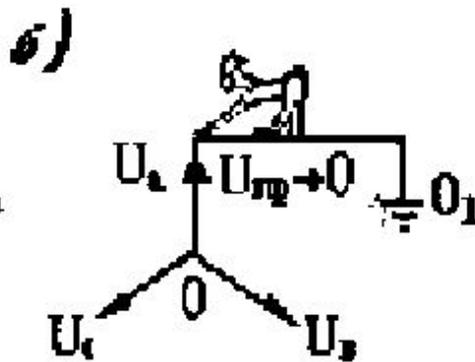
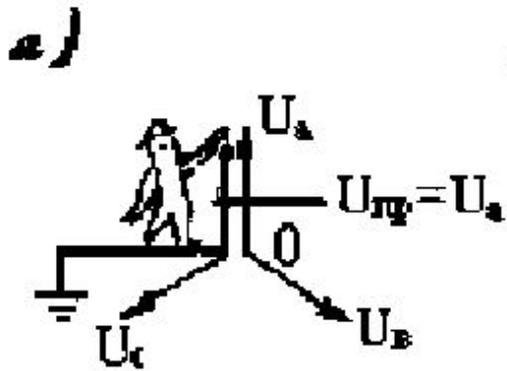


$$Z' = X_c$$

$$U_{\text{пр}} = U/2 = \text{const}$$

# ОПАСНОСТЬ ПРИКОСНОВЕНИЯ К ФАЗЕ ТРЕХФАЗНОЙ СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ



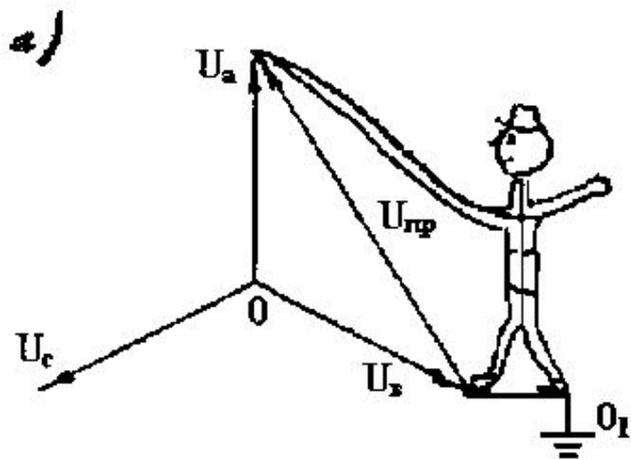


а)  $Z_a = Z_b = Z_c \ll R_h$        $U_{пр} \approx U_\phi$

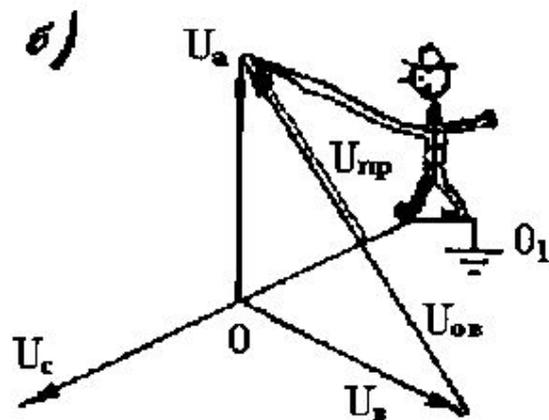
б)  $Z_a = Z_b = Z_c \gg R_h$        $Z_a' \ll Z_b = Z_c$        $U_{aз} \rightarrow 0, \quad U_{bз} = U_{cз} = U_\phi$

в)  $Z_a = Z_b = Z_c \approx R_h$   
 $0 < U_{aз} = U_{пр} < U_\phi$        $U_\phi > U_{bз} = U_{cз} > U_\phi$

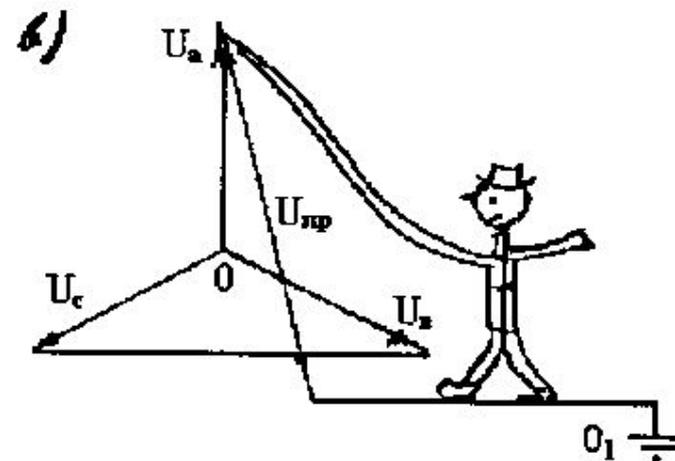
**Напряжение фаз относительно земли перераспределяется в зависимости от соотношения значений сопротивления фаз относительно земли и сопротивления тела человека**



замык. фазы В на землю

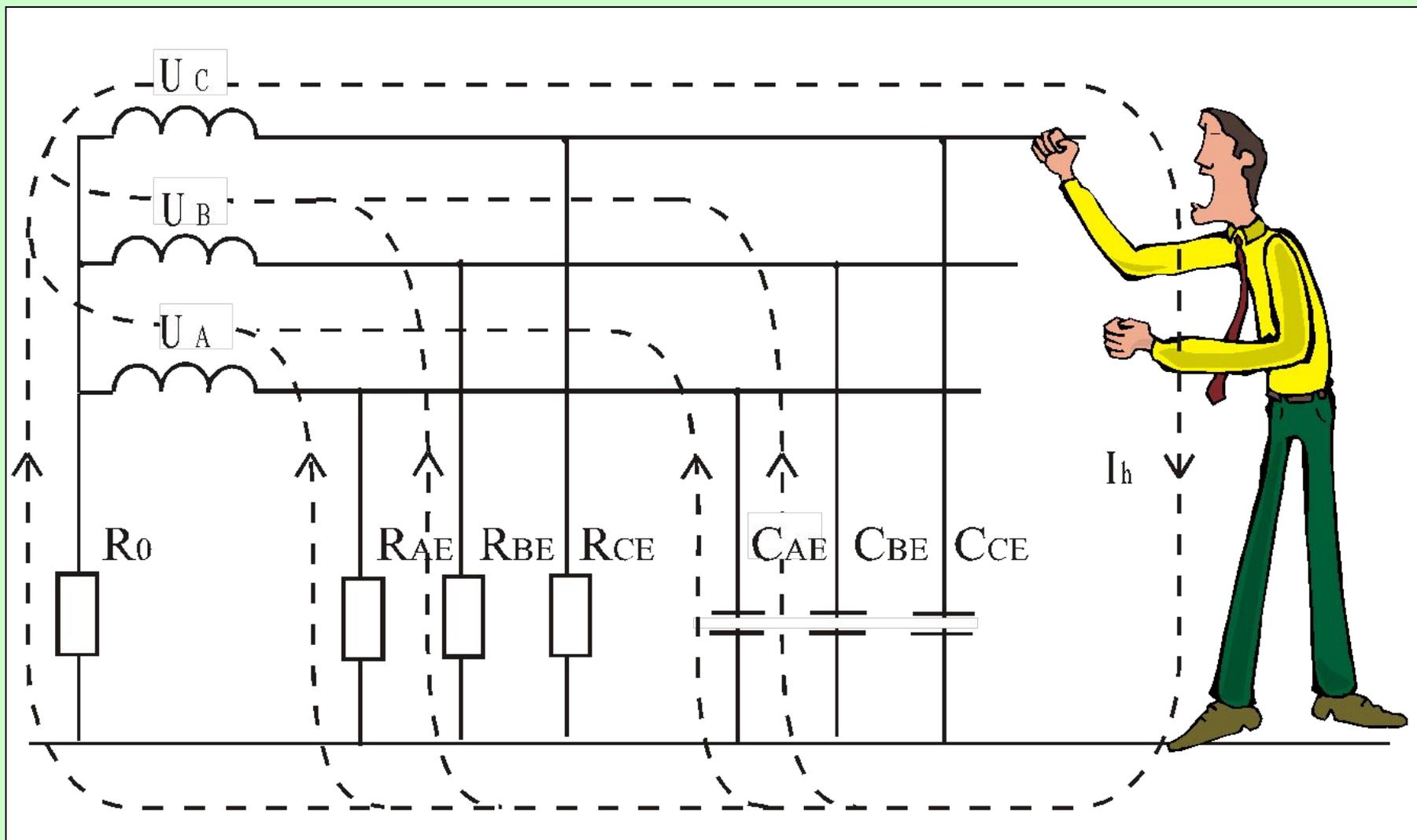


замык. фаз А и В на землю  
 $Z_a = Z_b \ll R_h \ll Z_c$



замык. фаз В и С на землю  
 $R_b \approx R_c \approx R_h \ll R_a$

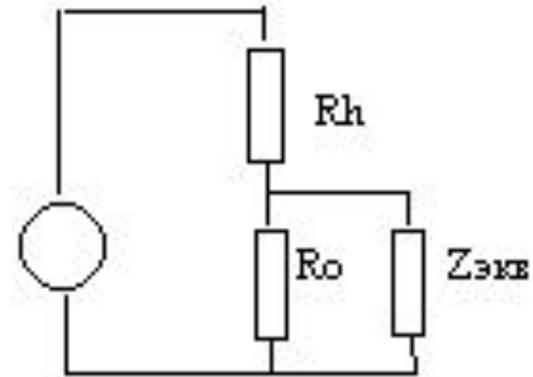
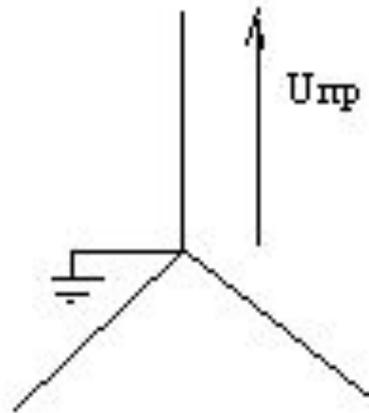
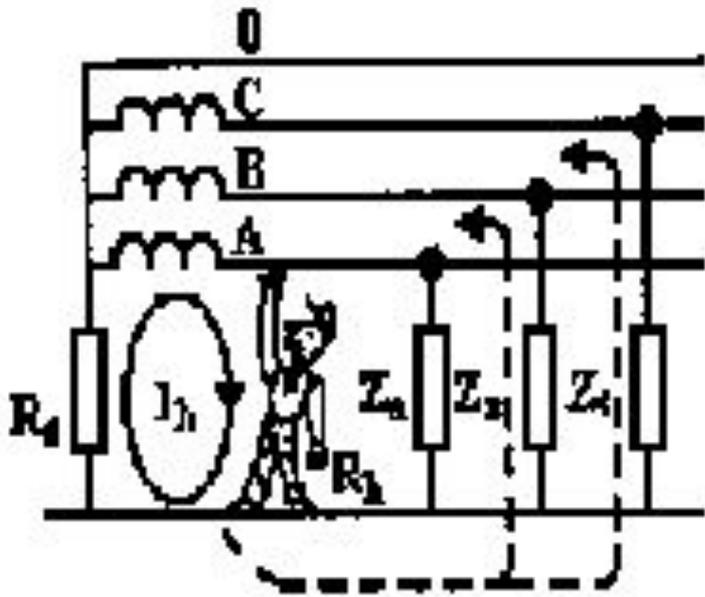
# ПРИКОСНОВЕНИЕ К ФАЗЕ СЕТИ С ГЛУХИМ ЗАЗЕМЛЕНИЕМ НЕЙТРАЛИ (TN)

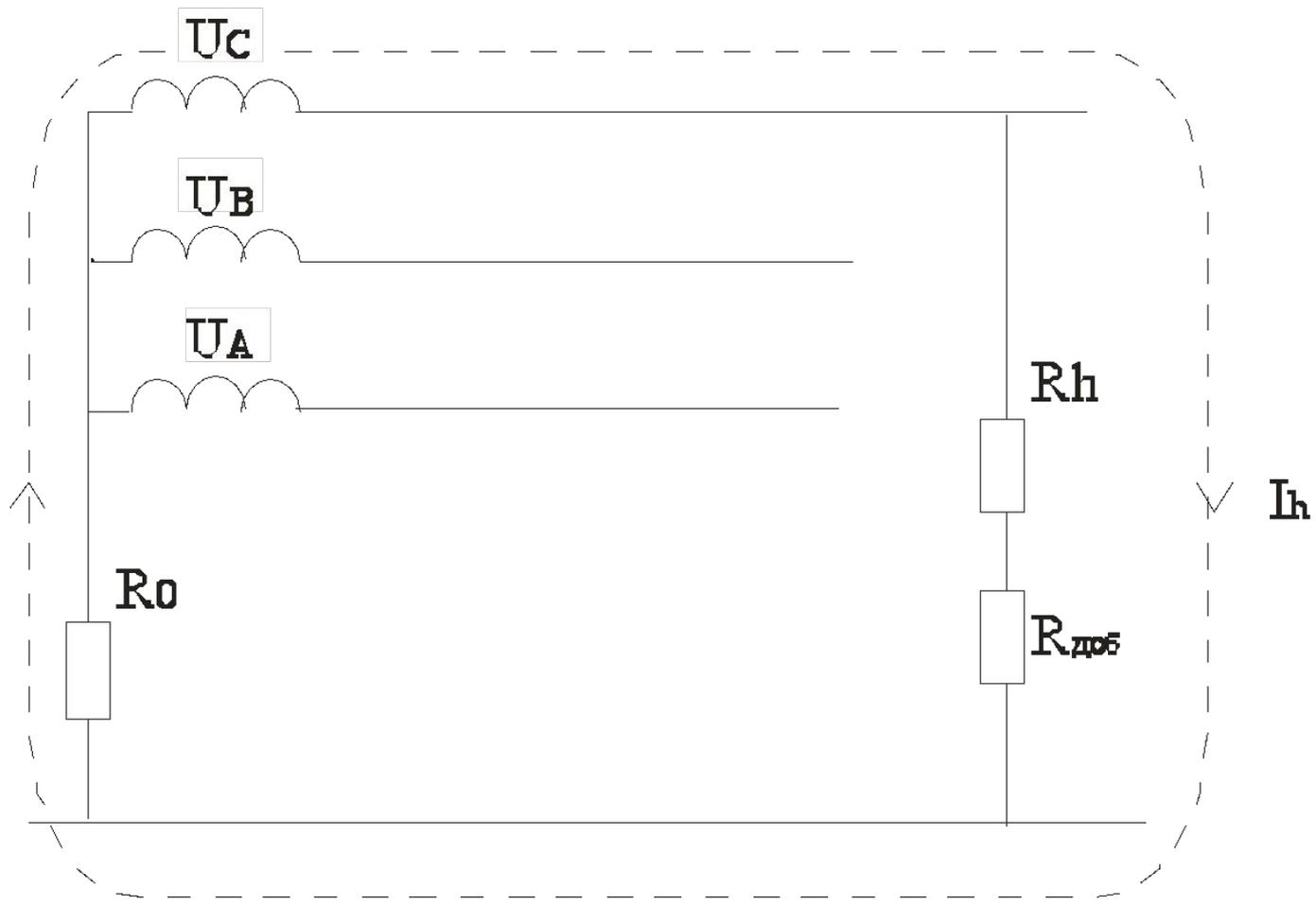


ⓘ Прикосновение к сети с исправной изоляцией.

$$Z_{из} \gg R_0$$

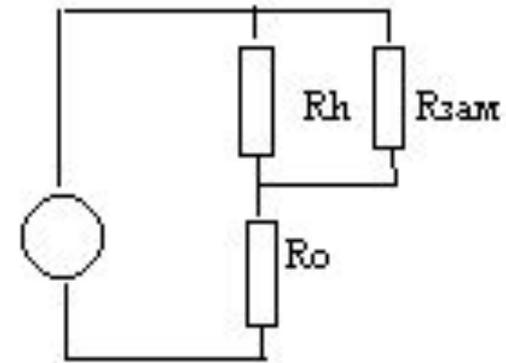
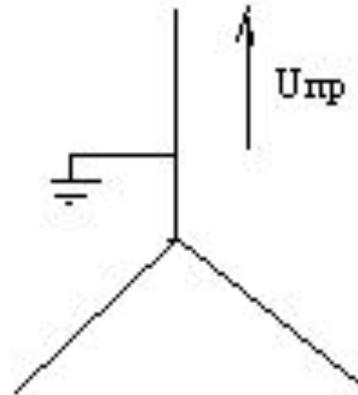
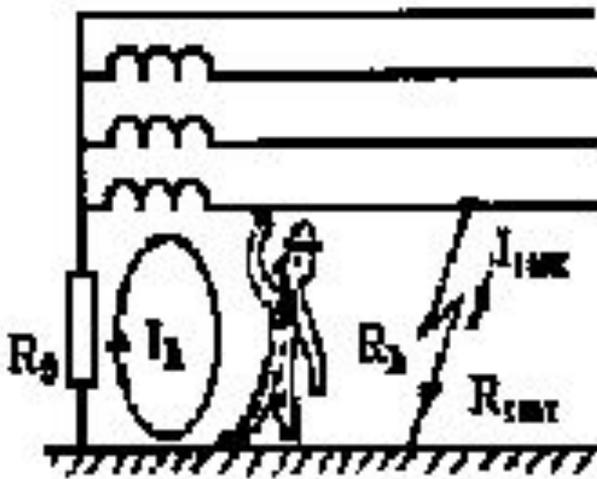
$U_{пр} = U_{\phi} \cdot R_h / (R_0 + R_h) \approx U_{\phi}$  независимо от значения  $Z_{\phi}$ .



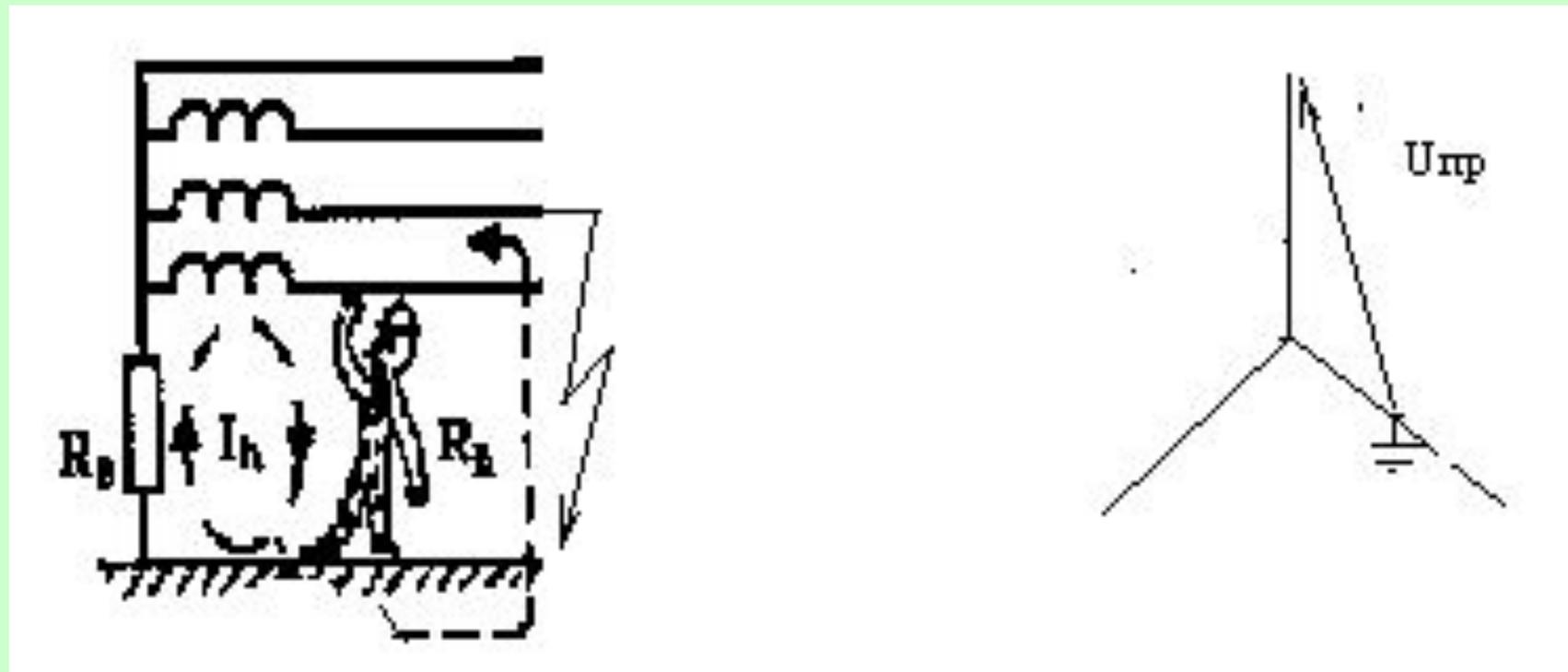


ⓘ Человек касается фазы, замкнувшейся на землю

$$U_{\text{пр}} = U_{\text{ф}} \cdot R_{\text{зам}} / (R_0 + R_{\text{зам}} + R_0 R_{\text{зам}} / R_h) < U_{\text{ф}}$$



ⓘ Одна из фаз имеет замыкание на землю, а человек касается исправной («здоровой») фазы



$$U_{\text{пр}} = U_{\phi} \frac{R_{\text{зам}} + R_0 R_{\text{зам}} \sqrt{3}}{R_0 + R_{\text{зам}} + R_0 R_{\text{зам}} / R_{\text{чел}}} > U_{\phi}$$

# Прикосновение к заземленному проводу.

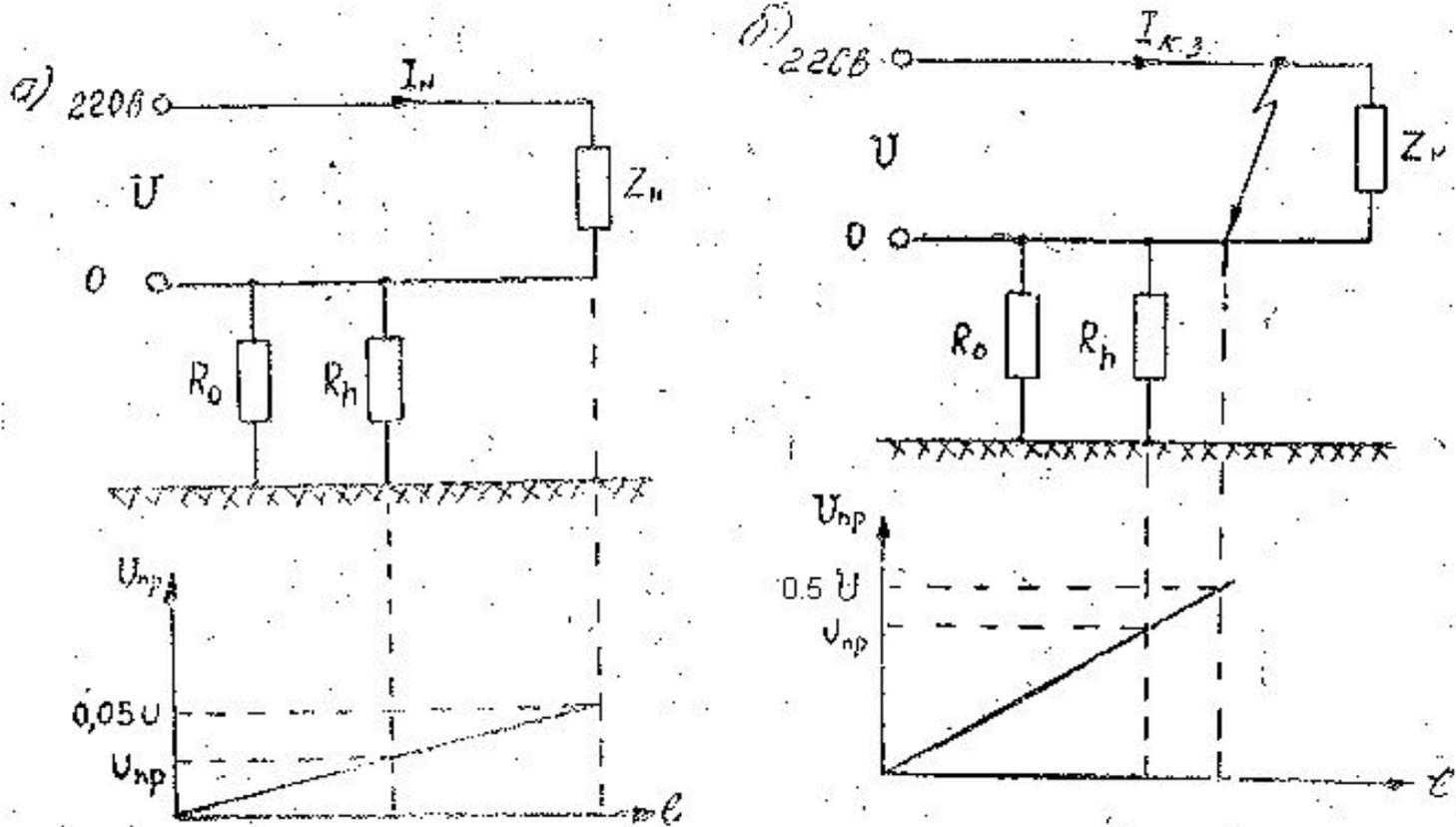


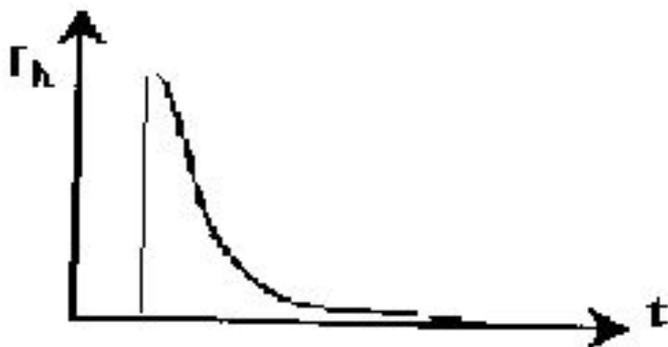
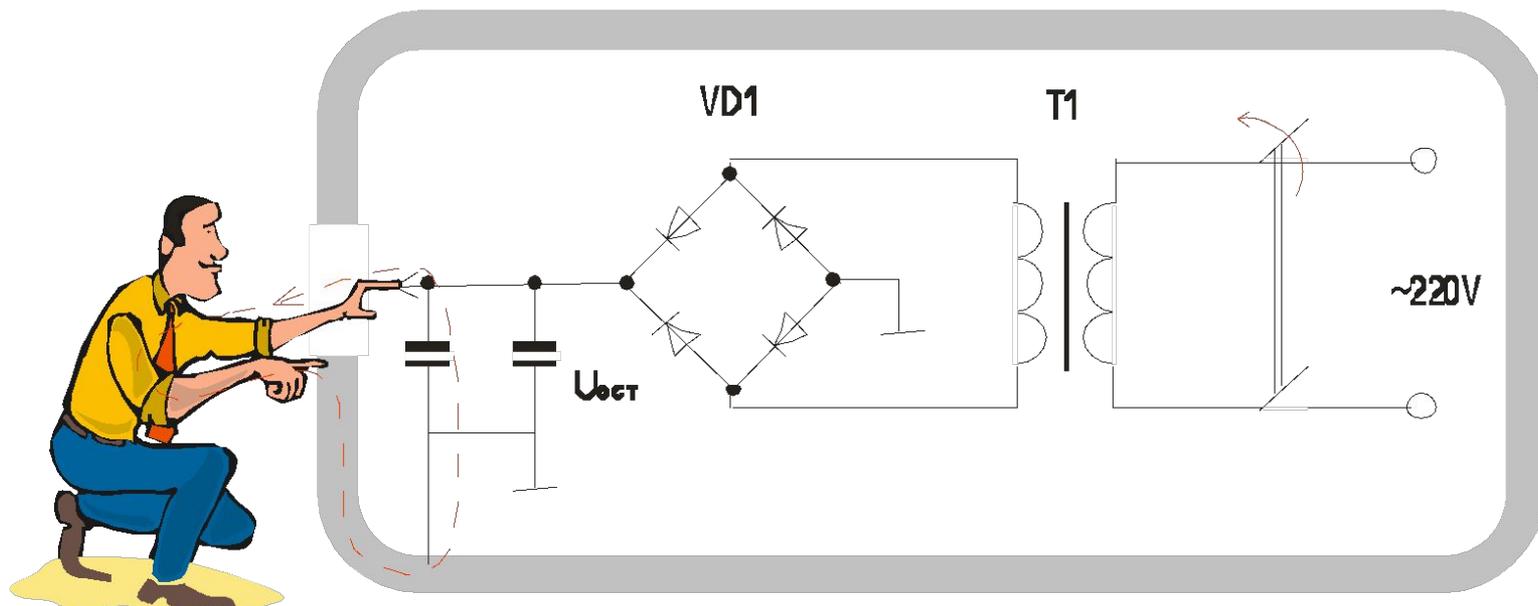
Рис. 2. Эквивалентная схема прикосновения человека к заземленному нулевому проводу: а — в нормальном режиме; б — в режиме короткого замыкания

$$U_{пр} = I_n r_{II}$$

$$\Delta U_{НОМ} = 5\% U_{раб}$$

$$\Delta U_{авар} \rightarrow 50\% U_{раб}$$

# Остаточный заряд

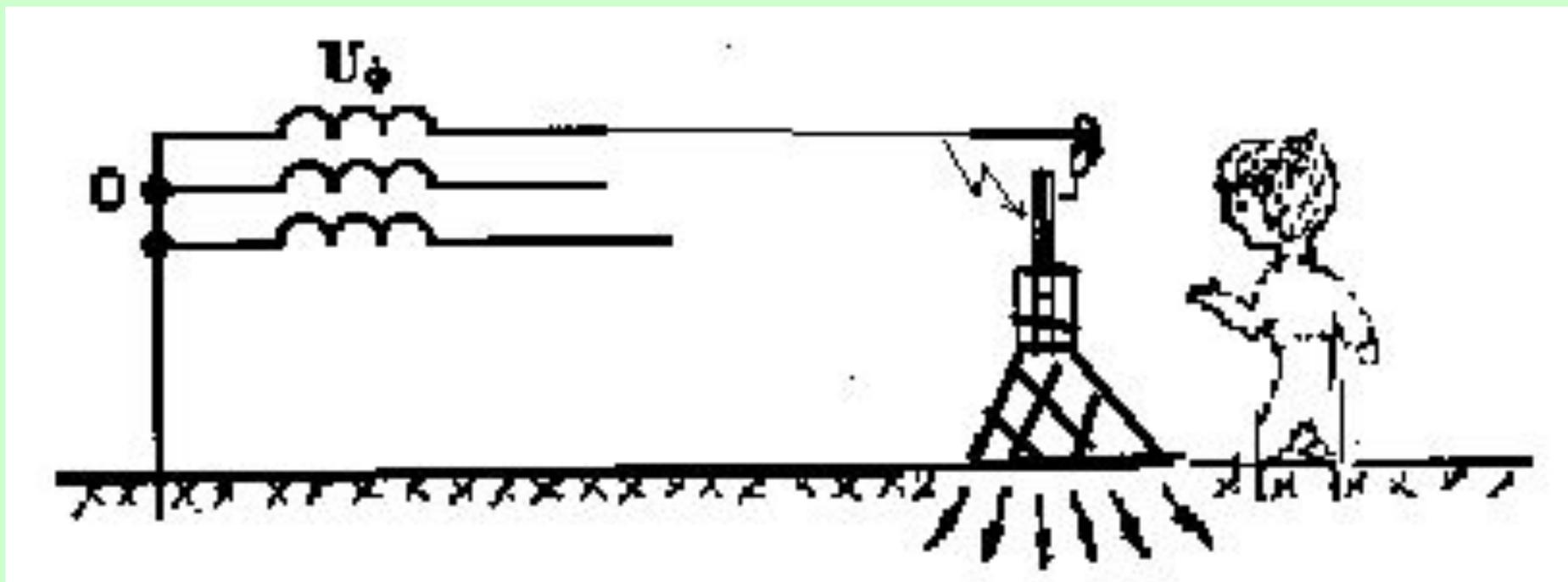


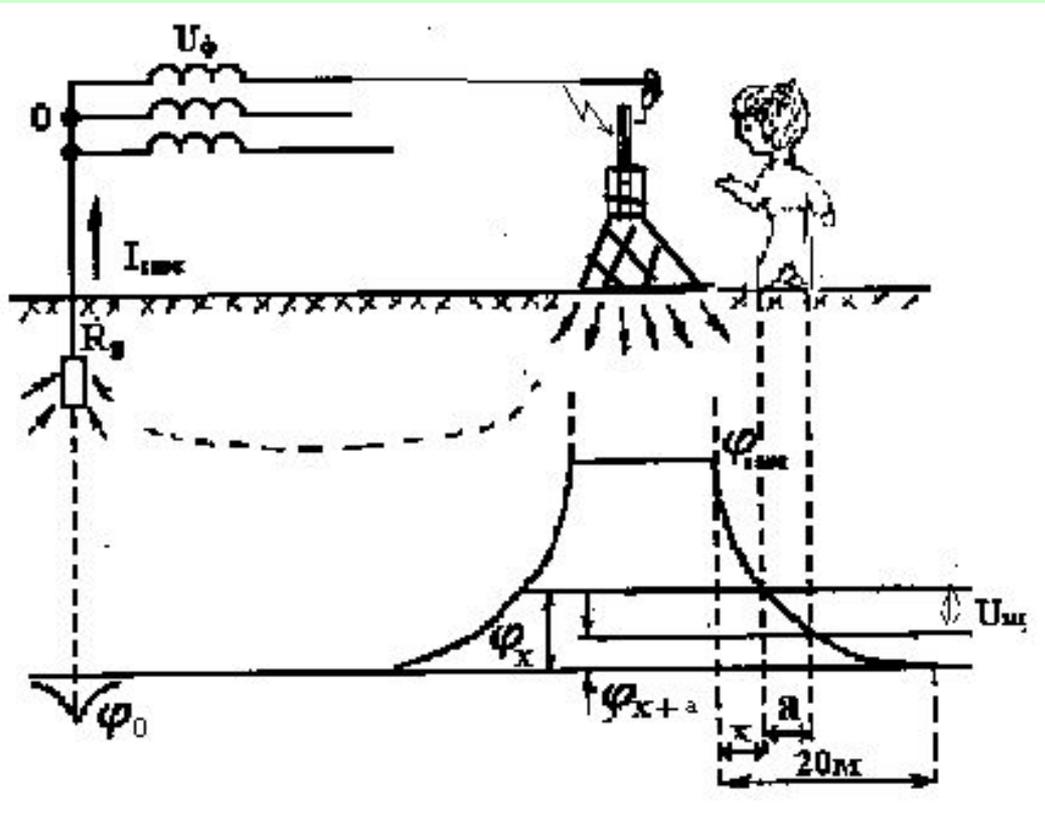
$$I_h = U_0 / R_h \cdot \exp(-t / R_h C)$$

**После снятия рабочего напряжения не берись за токоведущие части, предварительно не разрядив емкости!**

# Напряжение шага

Первопричина - приближение человека к месту замыкания токоведущих частей на землю.





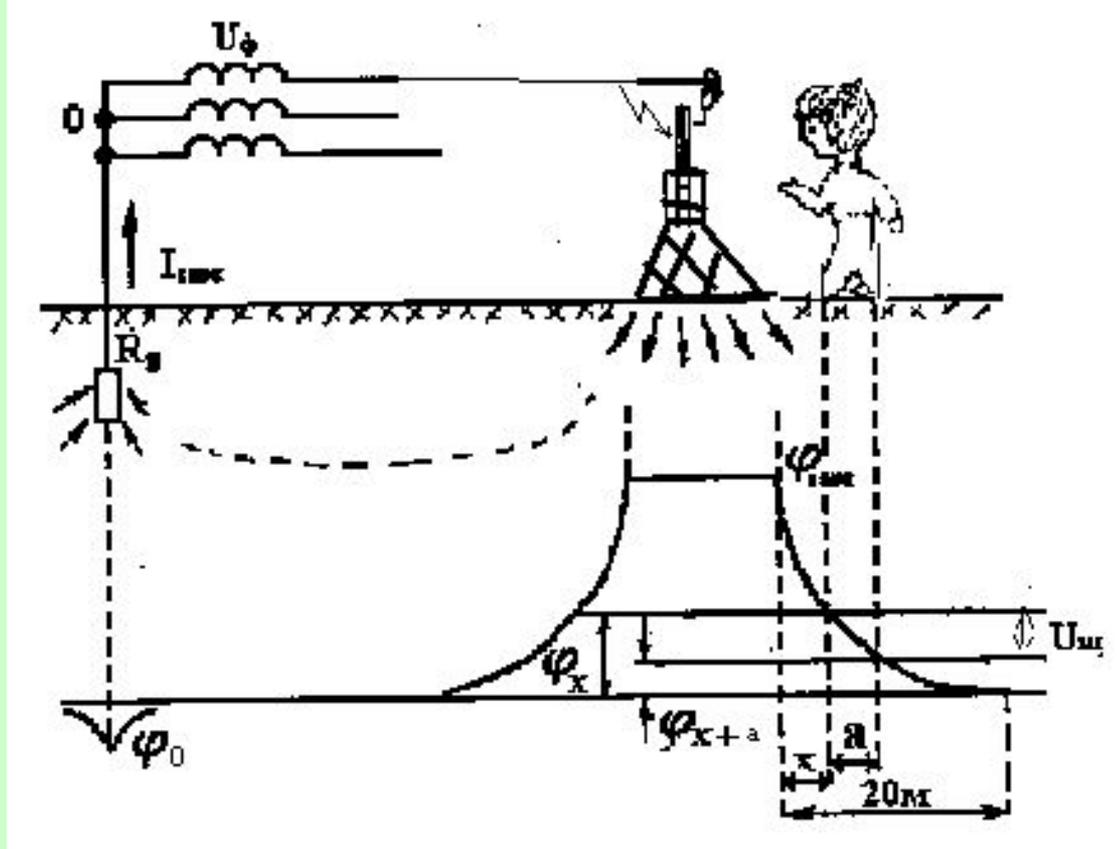
Поперечное сечение проводящего слоя земли можно принять за полусферу, площадь поверхности которой  $S = 2\pi x^2$ , где  $x$  - расстояние от опоры.

Плотность тока в земле  $j = I_{\text{зам}} / S = I_{\text{зам}} / (2\pi x^2)$

Электрические потенциалы в зоне растекания тока

$$\varphi_{\text{макс}} = I_{\text{зам}} R_{\text{зам}} = \frac{\rho I_{\text{зам}}}{2\pi x_3} \quad \varphi_x = \frac{\rho I_{\text{зам}}}{2\pi x} = \frac{K}{x}$$

где  $R_{\text{зам}}$  - сопротивление зоны растекания тока.

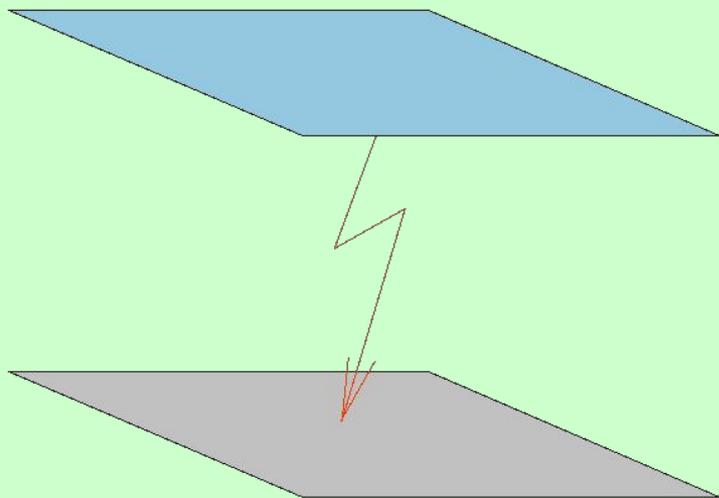


**Напряжением шага** называется разность потенциалов двух точек поверхности земли, на которых находится человек.  
 (в расчетах ширина шага принимается равной  $a=0,8\text{м}$  )

$$U_{ш} = \phi_x - \phi_{x+a}$$

$$U_{ш} = \frac{I_{зам}\rho}{2\pi} \cdot \frac{a}{x^2 + ax}$$

Равномерное  
электрическое поле  
(плоскость – плоскость)



$$U_{\text{проб}} = 3 \dots 4 \text{ кВ/мм}$$

Неравномерное электрическое  
поле (линия – игла)



$$U_{\text{проб}} < 0.4 \text{ кВ/мм}$$

# Заряд статического электричества

Заряды статического электричества образуются при перемещении (трении) твердых, жидких или газообразных диэлектриков относительно других проводящих или непроводящих ток материалов:

- ❖ **перемещение жидкостей** (транспортировка по трубопроводам, колебания в цистернах и т.п.);
- ❖ **перемещение частиц пыли в воздухе или при транспортировке** (электризация угольной, мучной пыли);
- ❖ **шлифовка металлов и неметаллов;**
- ❖ **деформация изоляционных материалов ;**
- ❖ **разделение складок ткани одежды.**

## Основные способы защиты от статического электричества:

- заземление оборудования, сосудов и коммуникаций, в которых накапливается статическое электричество;
- увеличение поверхностной проводимости диэлектриков;
- увлажнение окружающего воздуха;
- ионизация воздуха или среды нейтрализаторами статического электричества;
- подбор контактных пар.

# Наведенный заряд

Наведенные заряды формируются на металлических предметах в зоне действия электромагнитных полей по законам электромагнитной индукции.

