

Тема: ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

Действие на человека электрического тока

Статистика электротравматизма

От электричества в разных странах за один год погибают от 3 до 10 человек из 1 млн. жителей.

Индивидуальный риск гибели $R = (3 - 10) \cdot 10^{-6}$.

на 1000 ДТП – приходится 9 погибших

на 1000 пострадавших от электрического тока - 29 погибших

60% электротравм со смертельным исходом приходится на бытовые условия

Исторические факты.

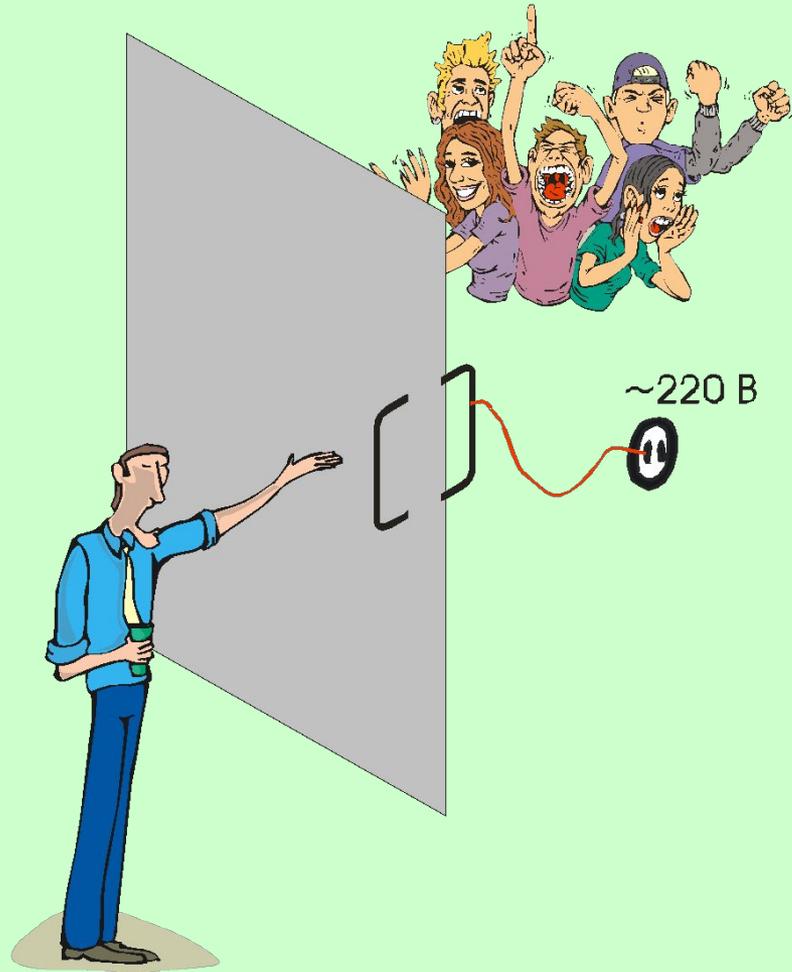
1600г. - монография У. Гильберта о благотворном действии статического электричества на человека.

В 1760 г. Альбрехт фон Галлер, профессор анатомии из Геттингена, наблюдал сокращение мускулов лягушки под действием тока.

В 1773 г. Джованни Беккария, профессор физики из Турина, стимулировал электрическим током мускулы студентов.

Профессор Медико-хирургической академии В. В. Петров проводя в 1803 г испытания высоковольтного электрохимического элемента напряжением 2000 В и и получив электрошок, впервые установил и описал опасность воздействия электрического тока

С 1880 г. журнал “Электричество” начал печатать публикации о несчастных случаях, вызванных электрическим током, т. е. о поражениях электрическим током.



Физиопатологические эффекты действия тока

- многочисленные раздражения, ухудшение работы и поражения различных тканей и органов человека.
- кровь и кровеносные сосуды (тромбы)
- сердечная система (аритмия, инфаркт миокарда),
- головной мозг (изменение энцефалограммы)
- центральная нервная система
- слуховой и зрительный аппарат

Виды действия электрического тока

Биологическое воздействие:

- прямое;**
- рефлекторное.**

Термическое воздействие

Химическое воздействие

Механическое воздействие

Биологическое действие электрического тока

Прямое биологическое действие электрического тока

Электрический ток, пришедший извне, нарушает работу внутренних биоэлектрических процессов в организме.

Наиболее опасно действие электрического тока на сердечно-сосудистую систему

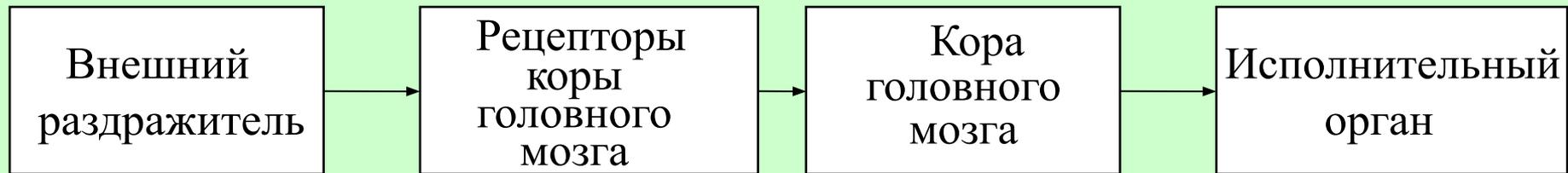
Фибрилляция - неритмичное и несинхронное сжатие сердечной мышцы

Переменный ток 50 Гц: среднее значение порогового фибрилляционного тока ~ **100 мА.**

Постоянный ток: среднее значение порогового фибрилляционного тока ~ **300 мА.**

Рефлекторное биологическое действие электрического тока

Рефлекторная цепь ЦНС



Когда организм не может одновременно выполнить многообразные команды коры головного мозга возникает непреодолимая судорожная реакция.

Величина электрического тока, при котором наступает непреодолимая судорожная реакция называется - **пороговым неотпускающим током (ПНТ).**

ТЕРМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

$$P = I^2 R$$



нервы

кровеносные сосуды

мышцы

кожа

сухожилия

жировая ткань

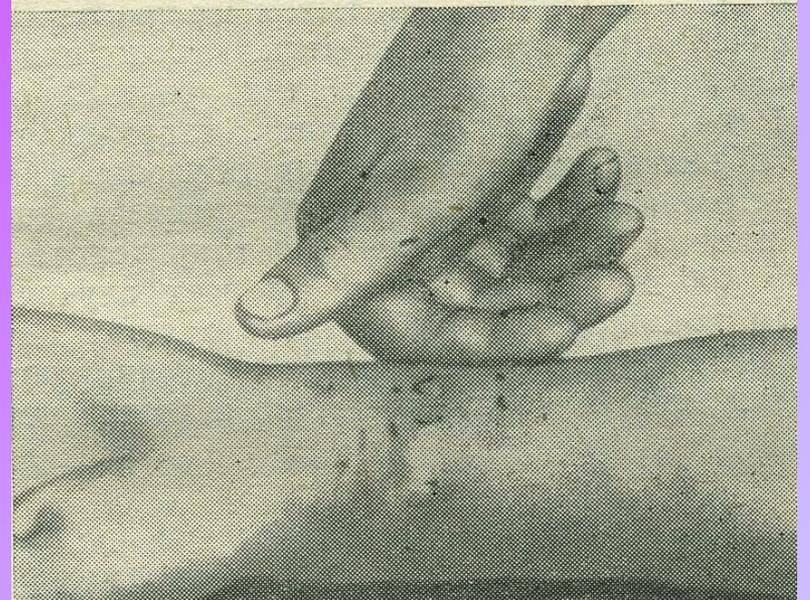
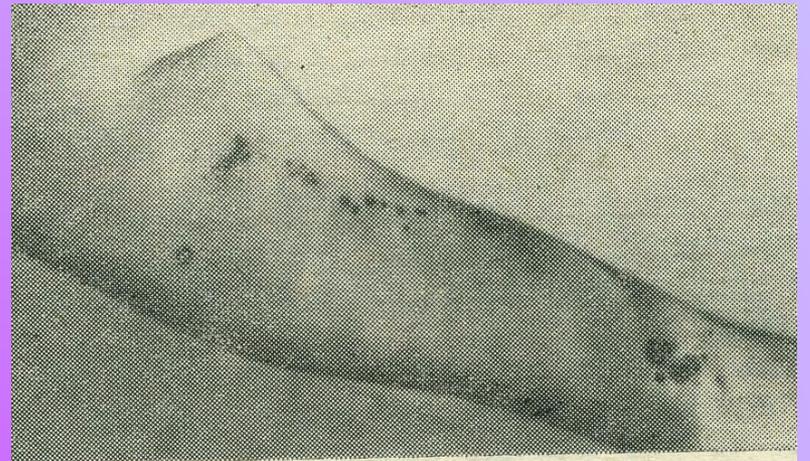
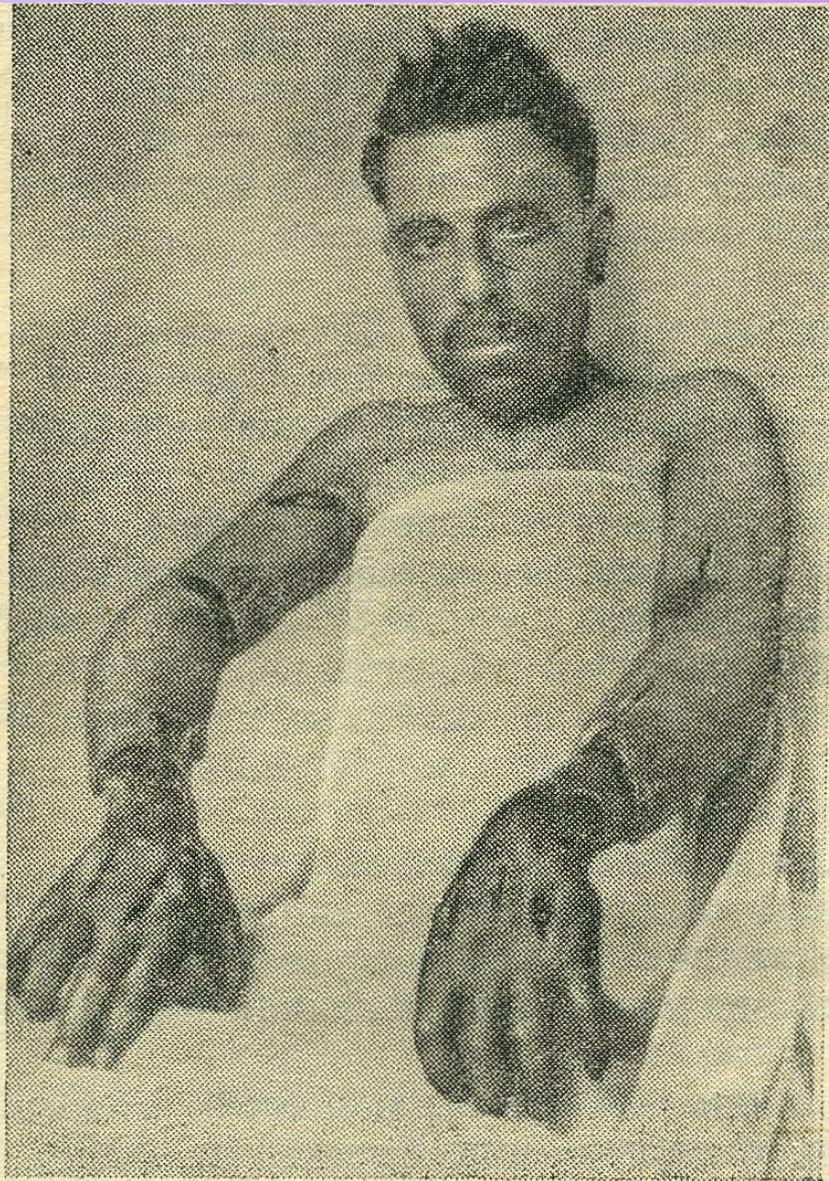
кости.

кожа - обугливание при плотности тока примерно 50 А/мм² происходит за несколько секунд.

Источники термического действия:

- - оголенные токоведущие части
- - электрическая дуга.

Ожоги и электрические метки в особых точках:



Химическое действие электрического тока

хаотическое тепловое движение молекул, ионов и др.

**меняется на направленное, строго ориентированное
перемещение ионов и молекул.**

- при длительном воздействии могут болеть желудок и другие
внутренние органы,**
- тромбы**

**Электрохимические процессы возникающие под
воздействием электрического тока влияют на состав и
структуру крови.**

На переменном токе это явление менее заметно.

Механическое действие

разрыв мышц,
трещины и надломы
костей

повреждения
кровеносных сосудов

вторичные травмы

Факторы, влияющие на поражение человека электрическим током

1. Параметры тока, протекающего по телу человека:

- величина тока
- род тока
- частота тока

2. Длительность протекания тока по телу человека

3. Путь тока в теле человека

4. Индивидуальные свойства человека

Ток	Характер восприятий	
мА	Переменный ток 50—60 <i>Гц</i>	постоянный ток
0,6—1,5	Начало ощущения	Не ощущается
5—10	Судороги в руках	Зуд, ощущение нагрева
12—15	Руки трудно оторвать от электродов. Сильные боли в пальцах, кистях рук и руках. Состояние терпимо 6 — 10 сек.	Усиление нагрева
20—25	Руки парализуются немедленно, оторвать их от электродов невозможно. Очень сильные боли. Затрудняется дыхание .	Еще большее усиление нагрева. Незначительное сокращение мышц рук
50—80	Паралич дыхания . Начало трепетания желудочков сердца	Сильное ощущение нагрева. Сокращение мышц рук. Судороги, затруднение дыхания
90—110	При длительности 3 сек. и более паралич сердца	Паралич дыхания
3000 и более	Паралич дыхания и сердца при воздействии более 0,1 сек. Тепловое разрушение тканей.	

Пороговые токи

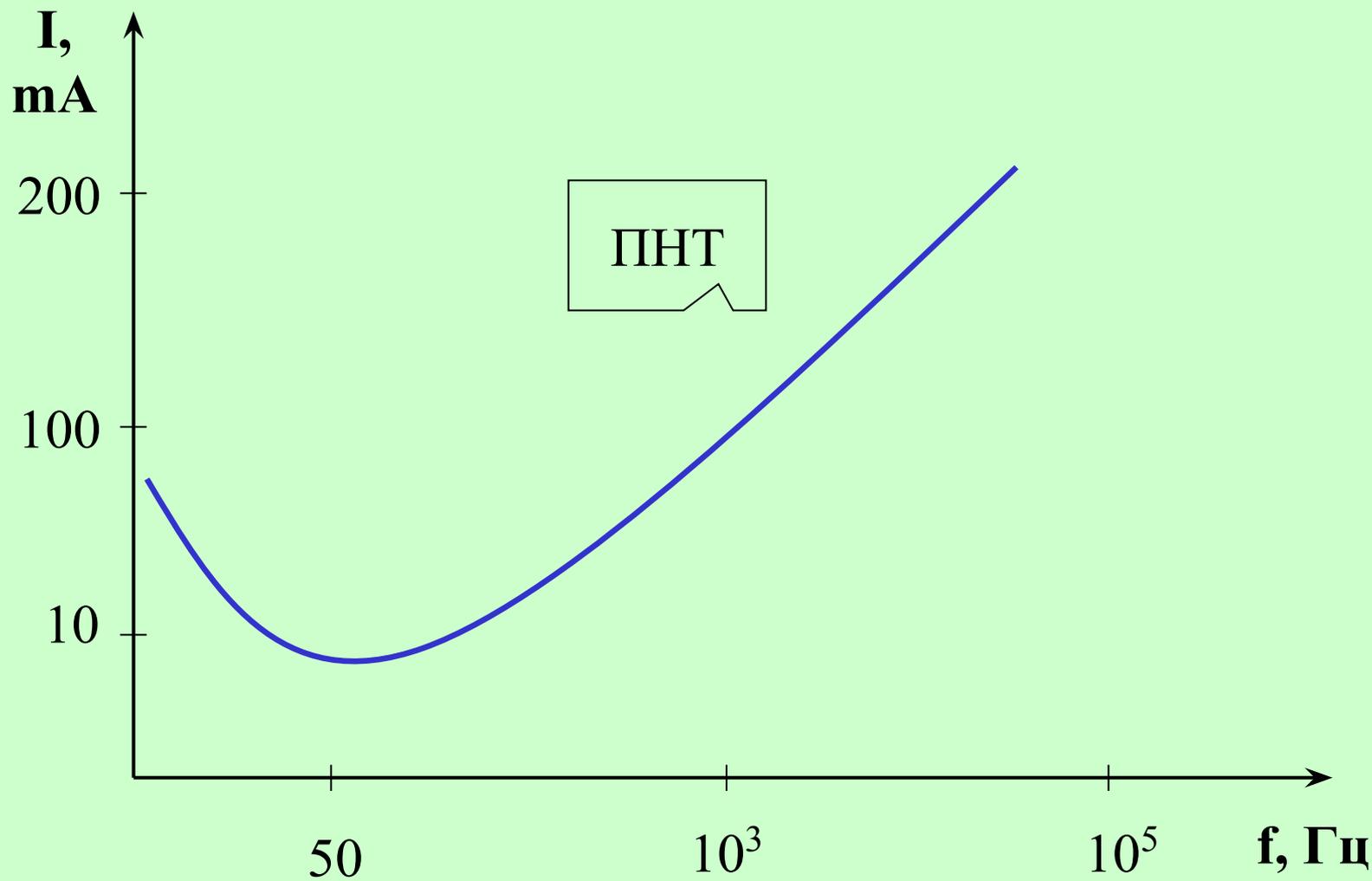
Пороговый ощутимый ток ток - ПОТ

Пороговый неотпускающий ток - ПНТ

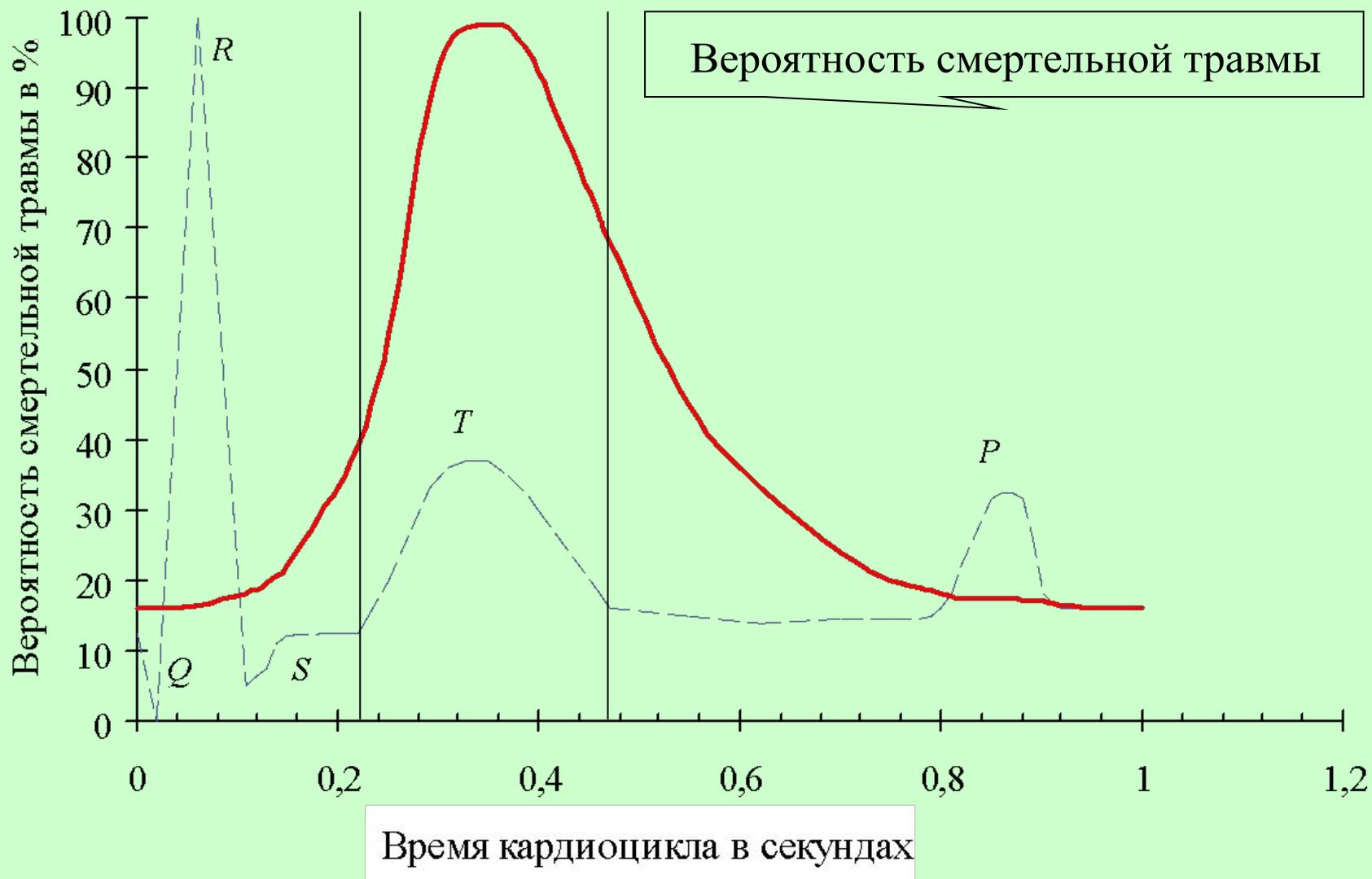
Значения ПОТ и ПНТ для мужчин:

Порог	Род тока	
	Постоянный	~50 Гц
ПОТ	4-8 мА (на языке 10 - 40 мкА)	0,5-1,5 мА
ПНТ	40-80 мА	5 -25 мА

Влияние частоты на поражение человека электрическим током



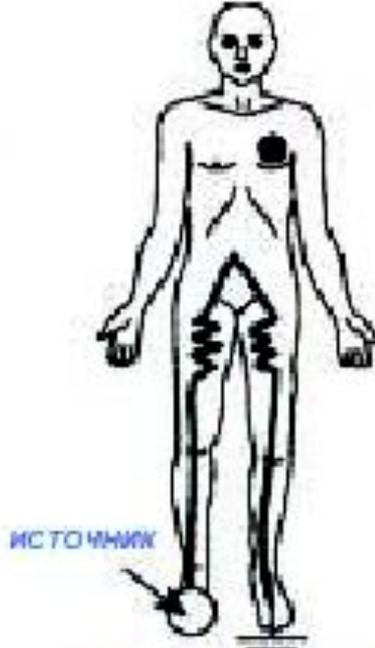
Влияние длительности воздействия на поражение человека электрическим током



Влияние пути тока на поражение человека электрическим током



НАПРЯЖЕНИЕ ПРИКОСНОВЕНИЯ



ШАГОВОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

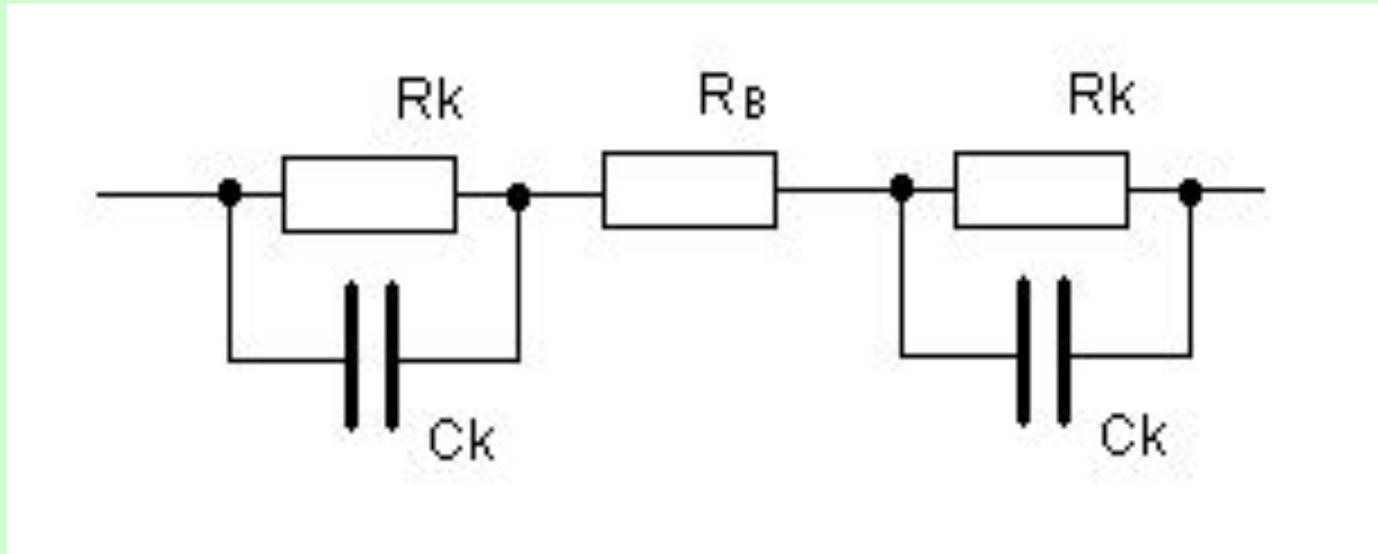


ШАГОВОЕ НАПРЯЖЕНИЕ И НАПРЯЖЕНИЕ ПРИКОСНОВЕНИЯ



Влияние индивидуальных свойств на поражение человека электрическим током

Модель сопротивления тела человека

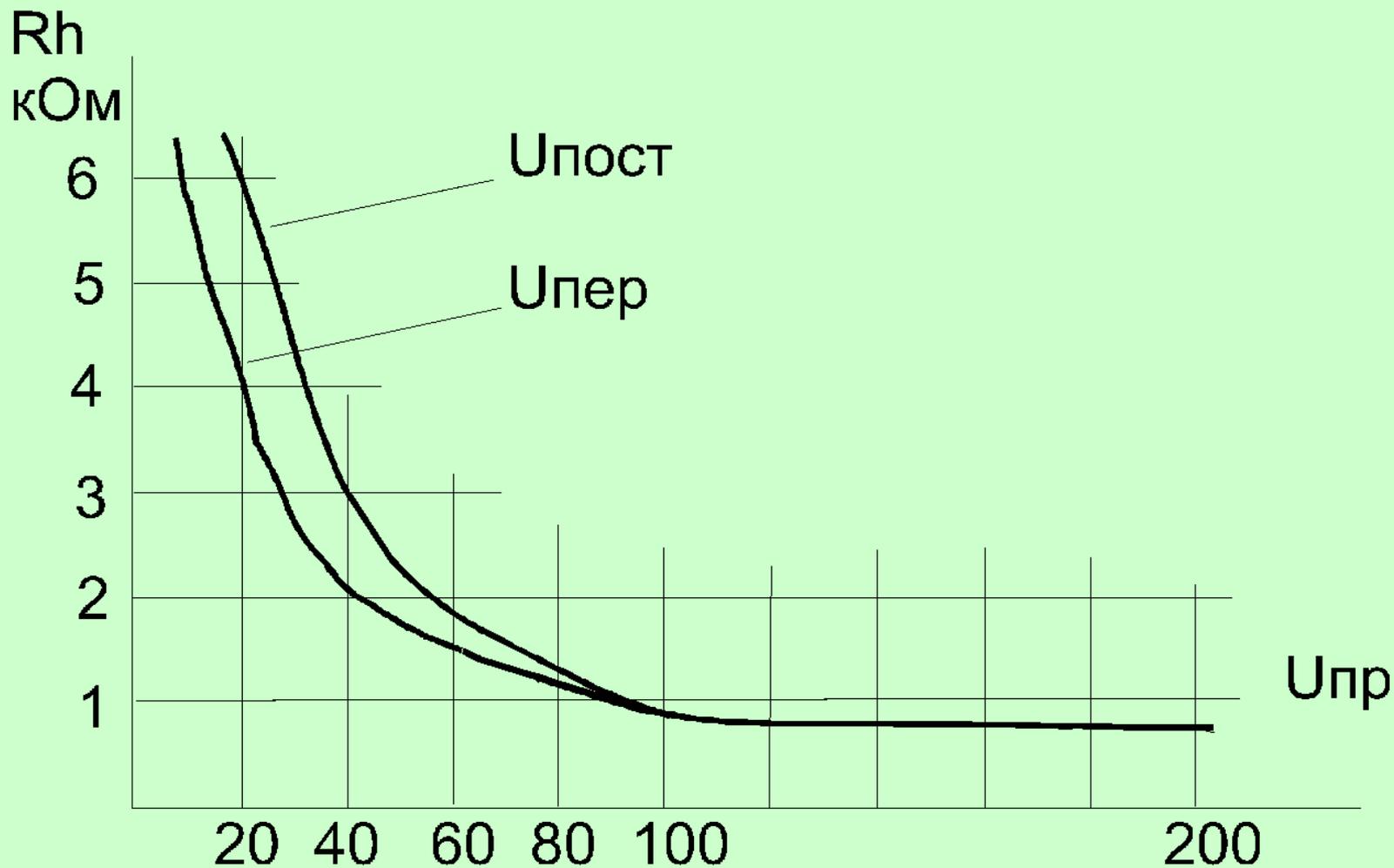


R_k (0...MOM)

$R_B = 800 - 1200 \text{ Ом}$

$C_k = 0,02 - 0,03 \text{ мкФ/см}^2$

График ориентировочной зависимости
сопротивления **Rh** от приложенного к человеку напряжения **Uпр**



ГОСТ 12.1.038-89

Род и частота тока	Наибольшие допустимые значения в <u>неаварийном</u> режиме	
	$U_{\text{пр}}$, В	I_{h} , мА
Переменный 50 Гц	2	0.3
400 Гц	3	0.4
Постоянный	8	1.0

ГОСТ 12.1.038-89

- при аварийном режиме производственных электроустановок

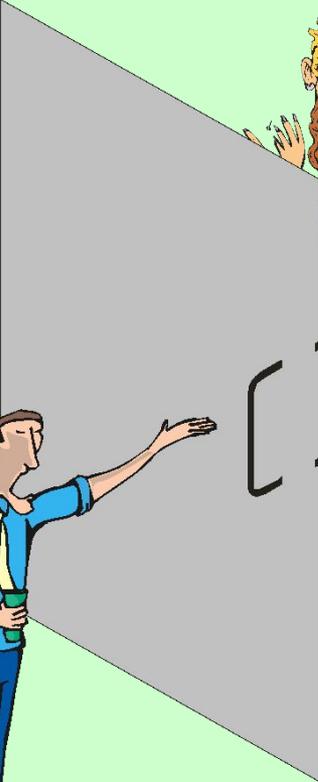
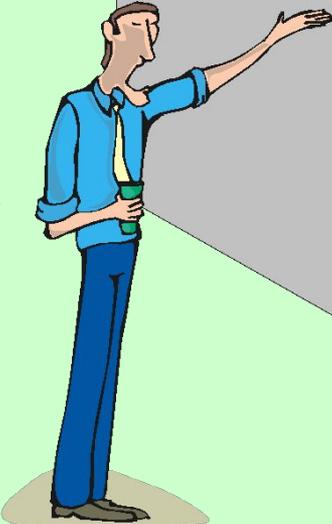
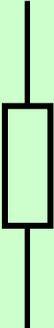
		Продолжительность воздействия , с					
		0.01-0.08	0.1	0.2	0.5	1.0	>1
~ 50 Гц	$U_{пр}$, В	550					20
	I_h , МА	650					6
=	$U_{пр}$, В	650					40
	I_h , МА	650					15

ГОСТ 12.1.038-89

при аварийном режиме бытовых электроустановок

		Продолжительность воздействия , с					
		0.01-0.08	0.1	0.2	0.5	1.0	>1
~ 50 Гц	$U_{\text{пр}}$, В I_{h} , мА	220 220					12 2

1 kΩ



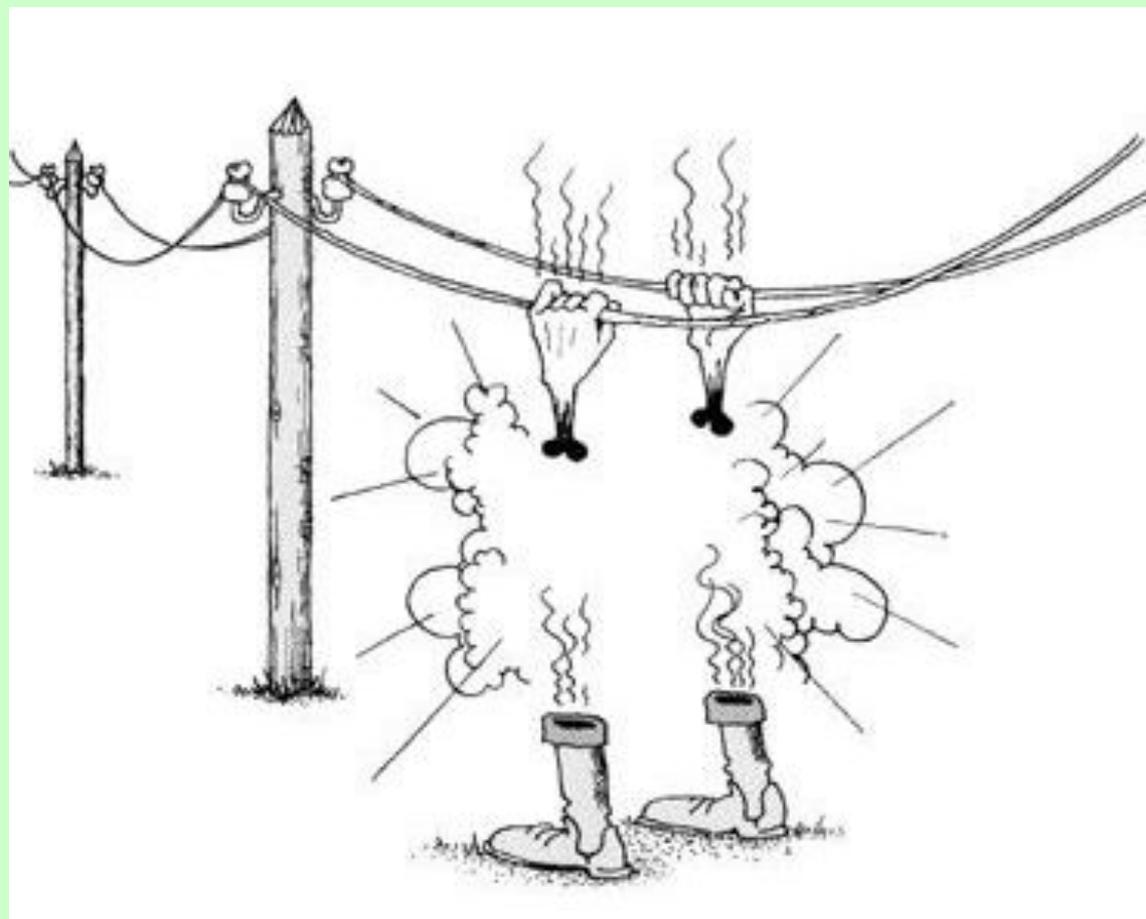
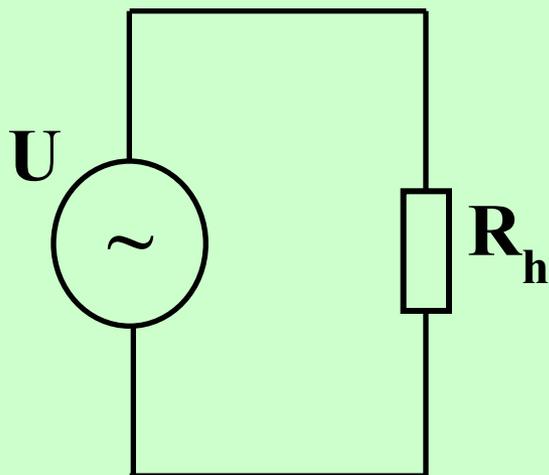
~220 B



Возможные схемы включения человека в электрическую цепь

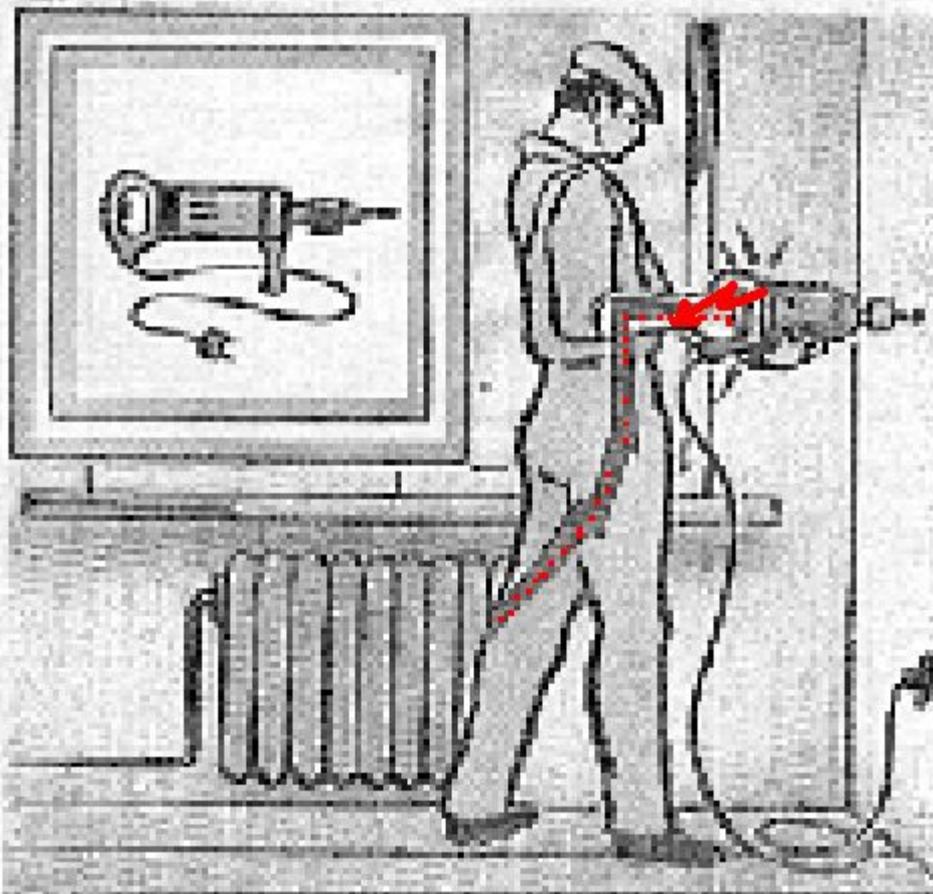
1. Двухполюсное прикосновение.
2. Однополюсное прикосновение.
3. Остаточный заряд.
4. Напряжение шага.
5. Электрический пробой воздушного зазора.
6. Наведенный заряд.
7. Заряд статического электричества.

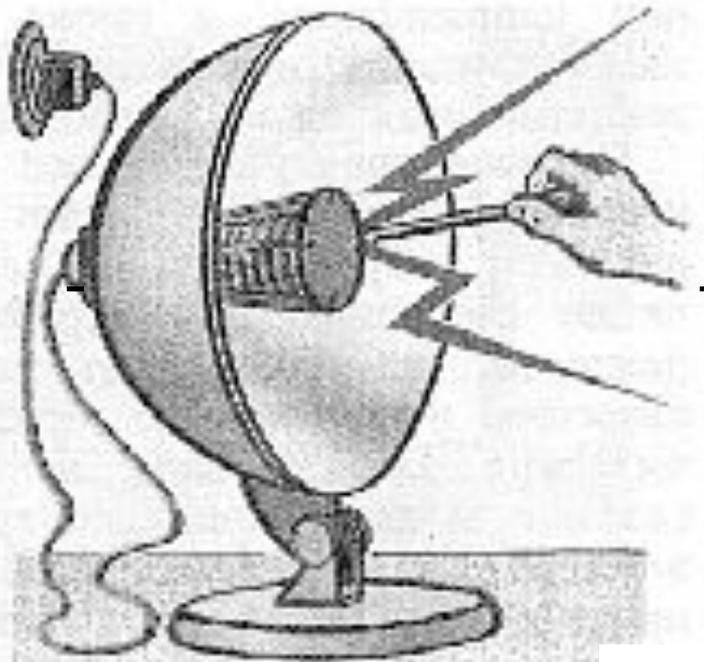
Двухполюсное прикосновение к токоведущим частям



$$I = \frac{U}{R_h} = \frac{220}{1000} = 0,22 A$$

ОДНОПОЛЮСНОЕ (ОДНОФАЗНОЕ) ПРИКОСНОВЕНИЕ

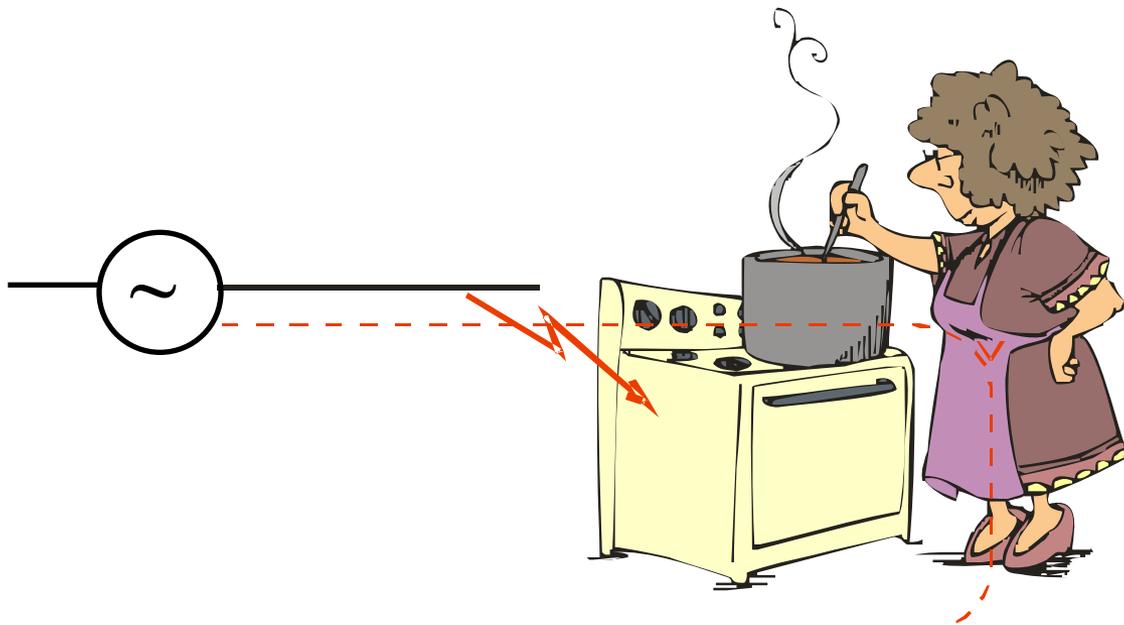




- прямой

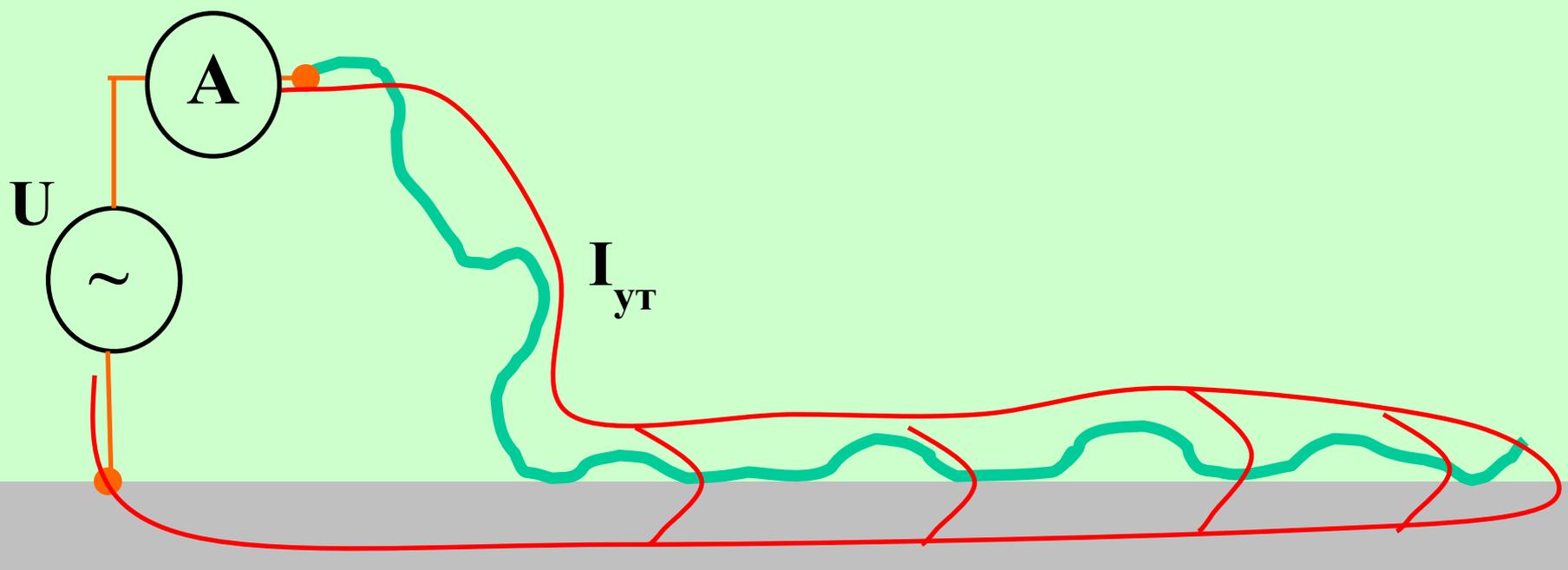
Контакт с токоведущими частями:

- косвенный



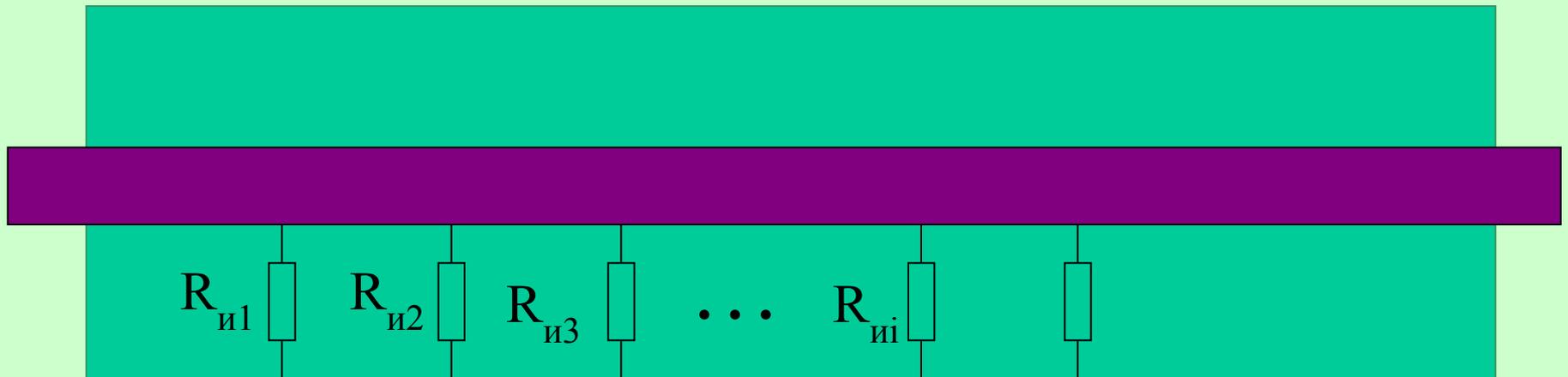
Электрические параметры, характеризующие связь сети с землей:

- сопротивление изоляции
- емкость относительно земли



Сопротивление изоляции

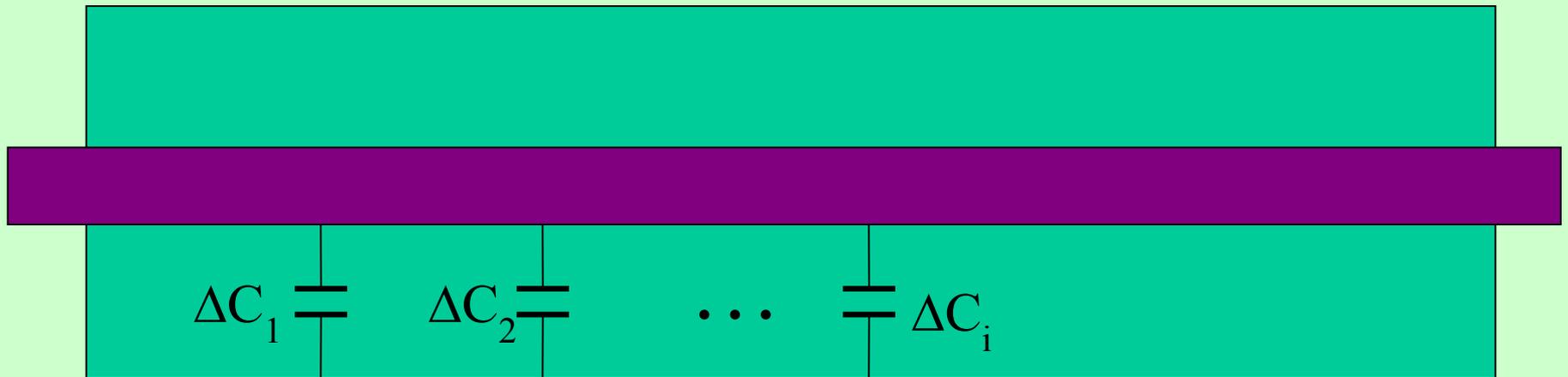
$R_{и.ЭКВ}$ - показатель способности изоляционных конструкций пропускать электрический ток под действием приложенного к этим конструкциям напряжения.



$$r_{и.ЭКВ} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{иi}} \right)^{-1}$$

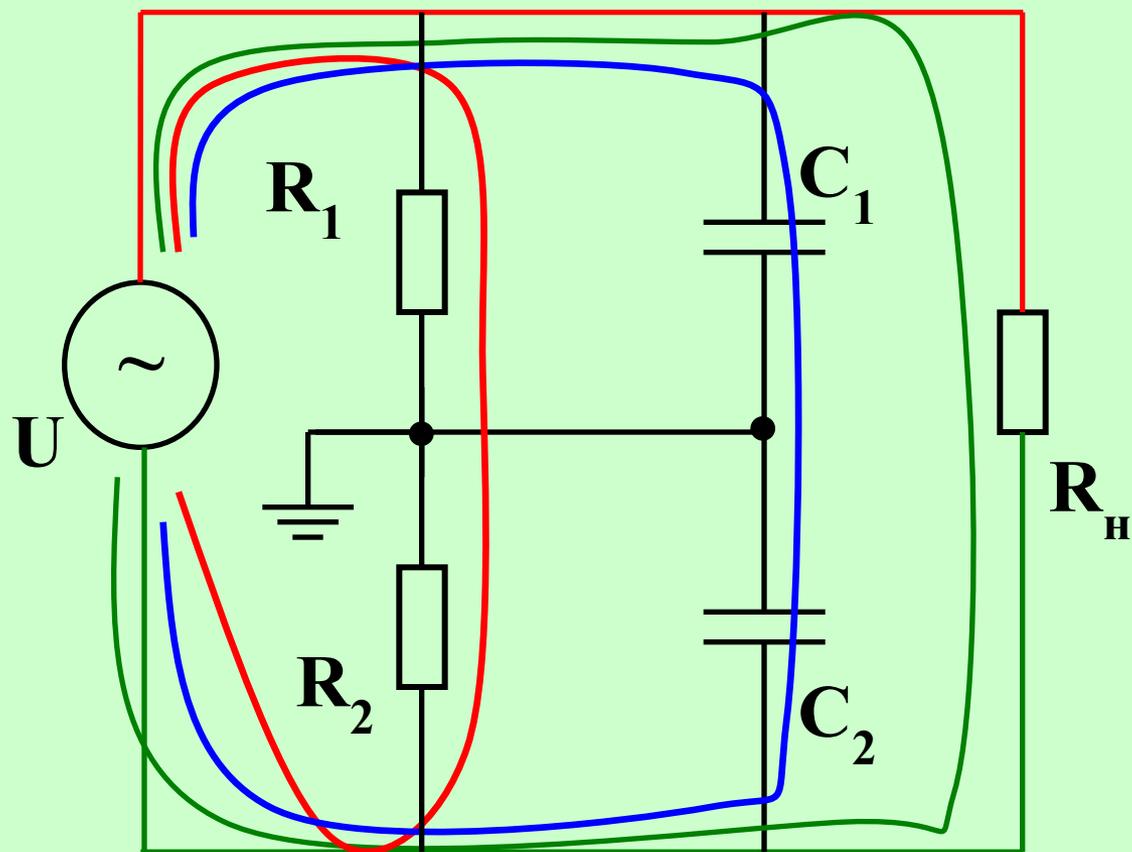
Емкость относительно земли

C_φ — емкость токоведущей части относительно земли, показатель характеризующий конструктивные особенности токопроводника.



$$x_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad C_\phi = \sum_{i=1}^n \Delta C_i$$

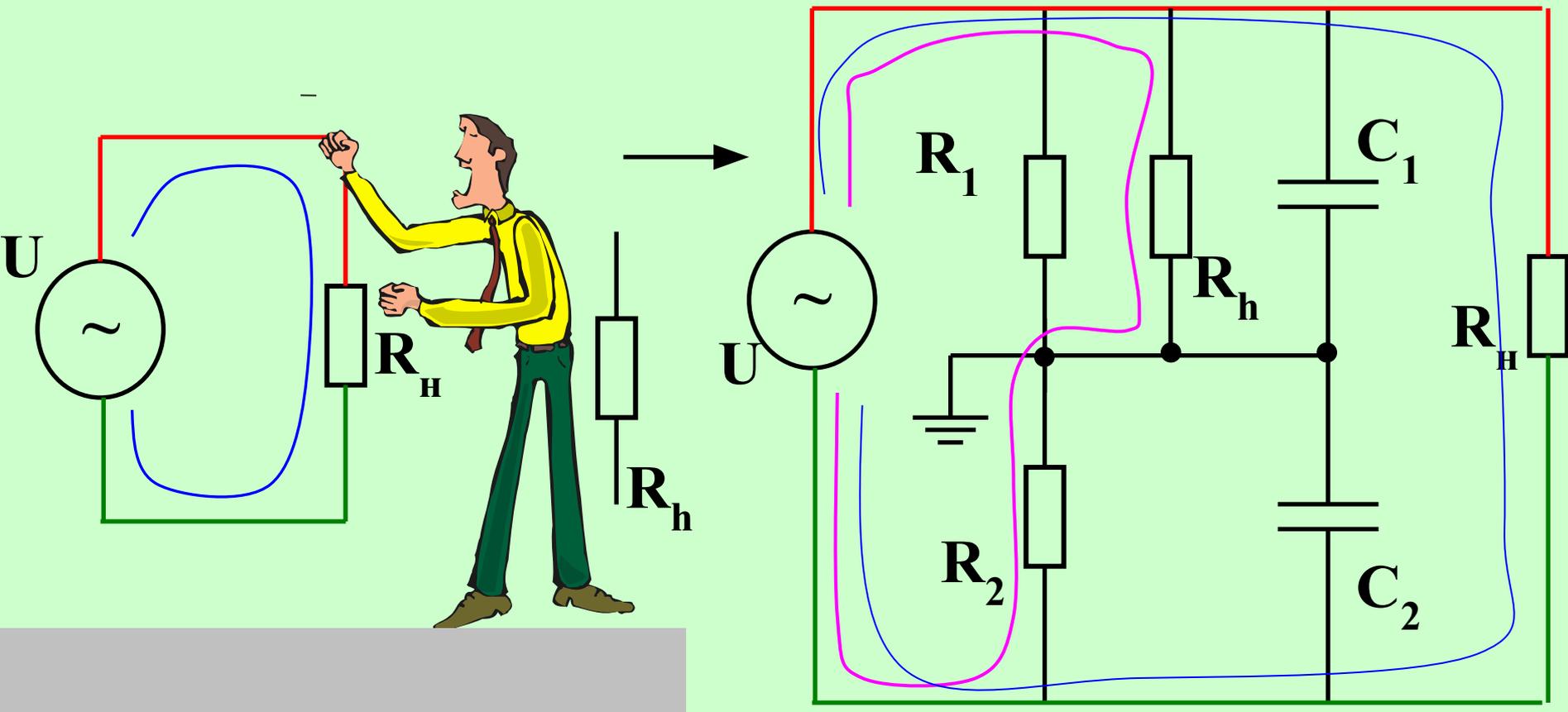
Эквивалентная схема замещения утечек на землю от независимого источника



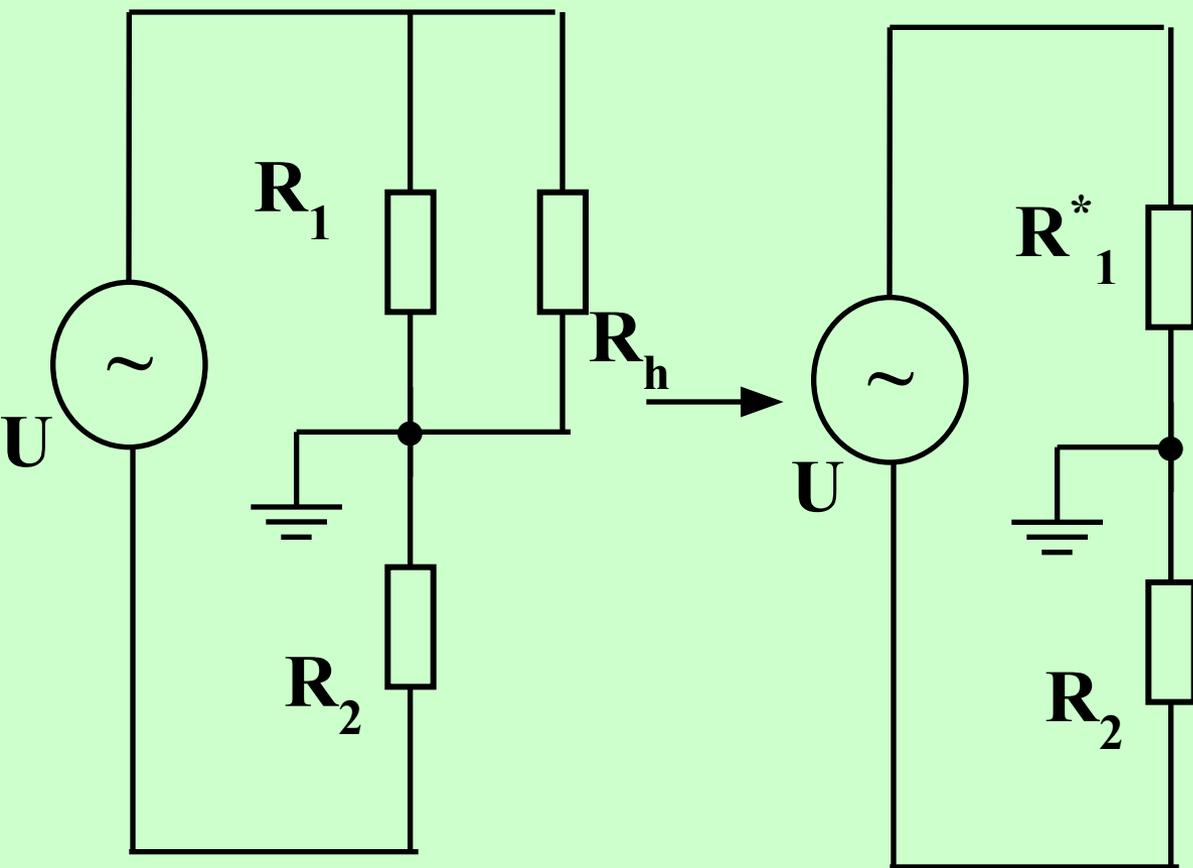
Факторы, от которых зависит величина сопротивления изоляции и емкости сети относительно земли.

1. Конструктивные особенности и характеристики материала кабельной линии;
2. Климатические условия эксплуатации;
3. Срок эксплуатации кабельной линии;
4. Наличие локальных повреждений изоляции;
- 5. Протяженность кабельной линии;**
- 6. Разветвленность электрической сети.**

Эквивалентная схема замещения при однополюсном (однофазном) прикосновении в сети изолированной от земли.



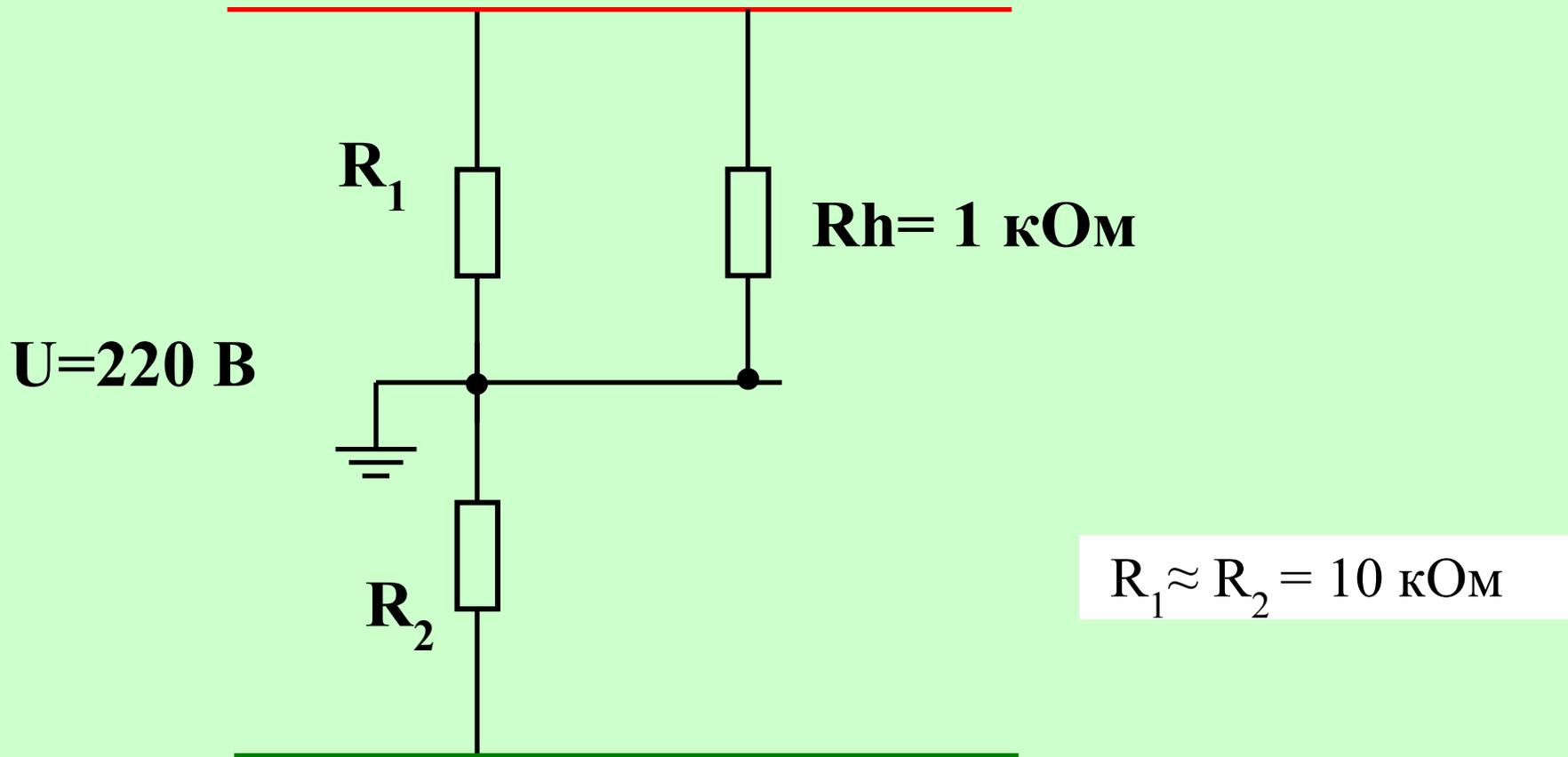
Влияние сопротивления изоляции на напряжение однофазного прикосновения в изолированных сетях



$$R_1^* = \frac{R_h \cdot R_1}{R_h + R_1}$$

$$U_h = U \cdot \frac{R_1^*}{R_2 + R_1^*}$$

$$U_h = U_{R_1} = U_{R_1^*}$$



$$U_h = U \cdot \frac{R_h}{R_2 + R_h} = 220 \cdot \frac{0,9}{10 + 1} \approx 18\text{ B}$$

ГОСТ 12.1.038-89

- при аварийном режиме производственных электроустановок

$$U_{\text{пр}} = 20 \text{ В}$$

$$I_{\text{h}} = 6 \text{ мА}$$

$$\longrightarrow R_{\text{h}} \approx 3,3 \text{ кОм}$$

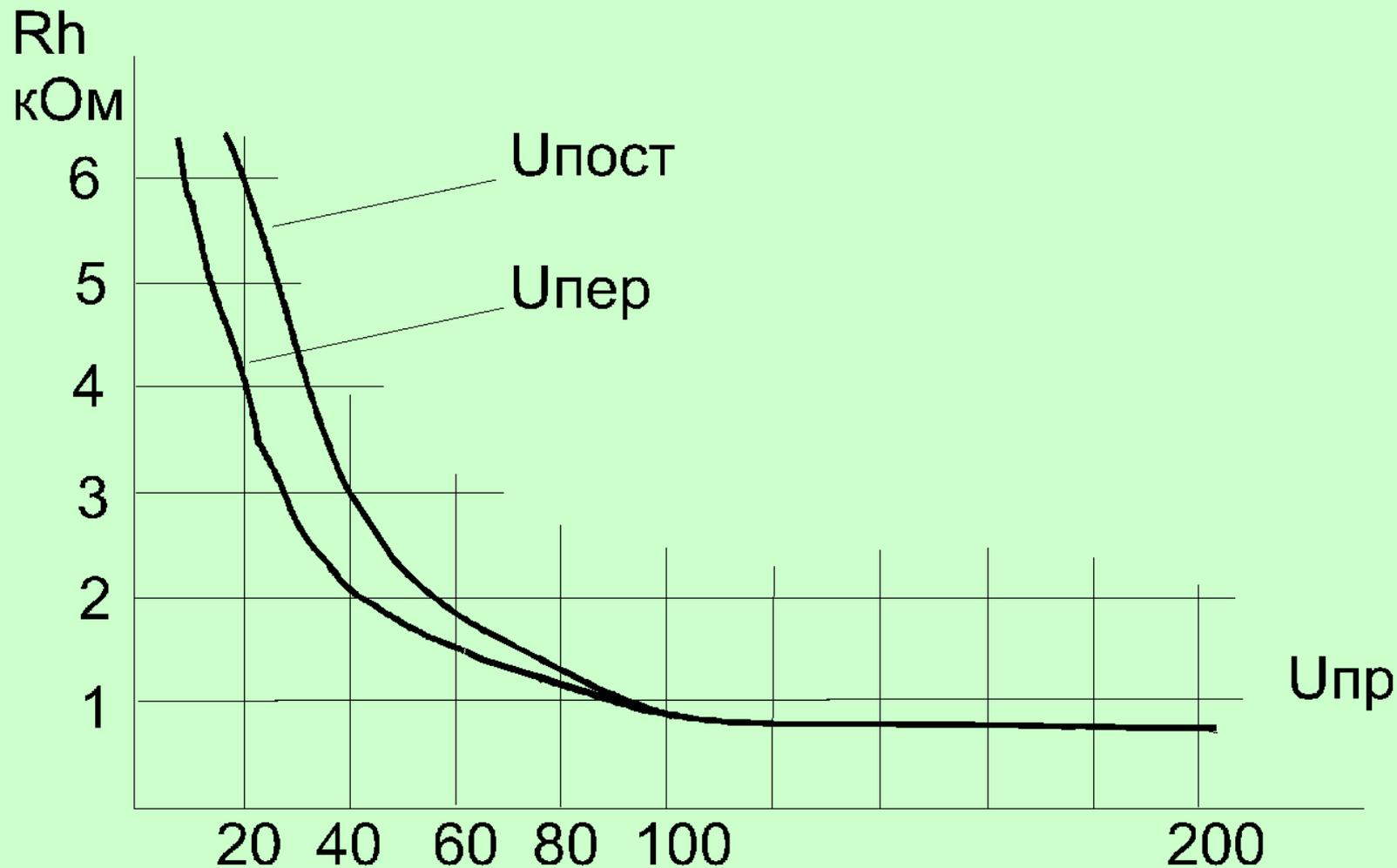
при аварийном режиме бытовых электроустановок

$$U_{\text{пр}} = 12 \text{ В}$$

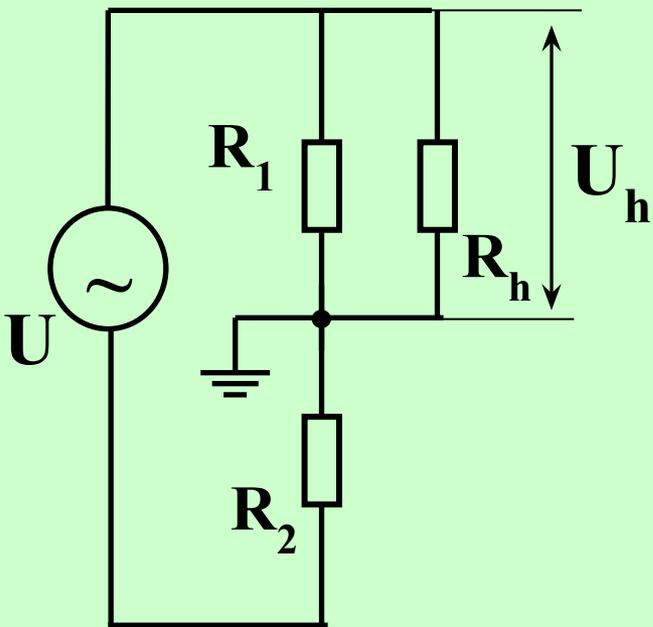
$$I_{\text{h}} = 2 \text{ мА}$$

$$\longrightarrow R_{\text{h}} = 6 \text{ кОм}$$

График ориентировочной зависимости сопротивления R_h от приложенного к человеку напряжения $U_{пр}$

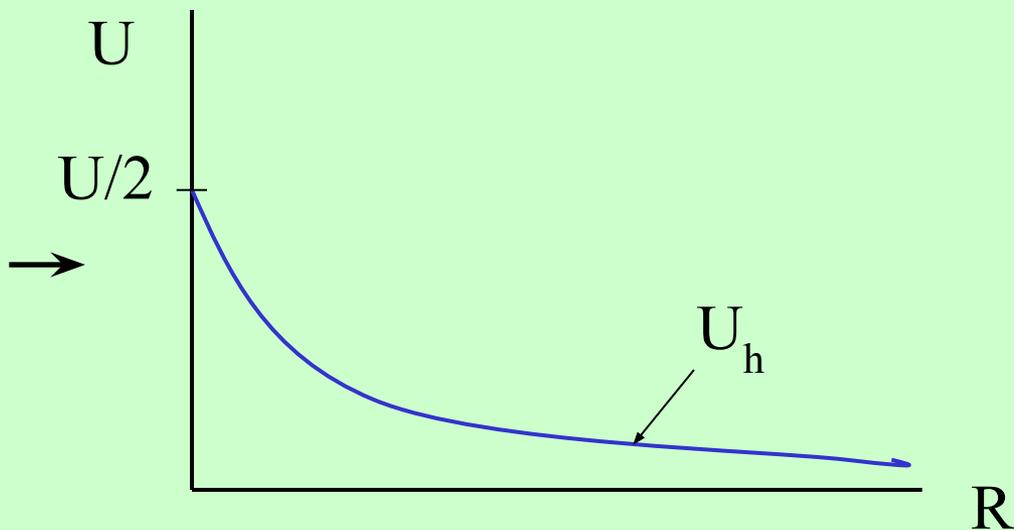


Влияние сопротивления изоляции на напряжение однофазного прикосновения в изолированных сетях

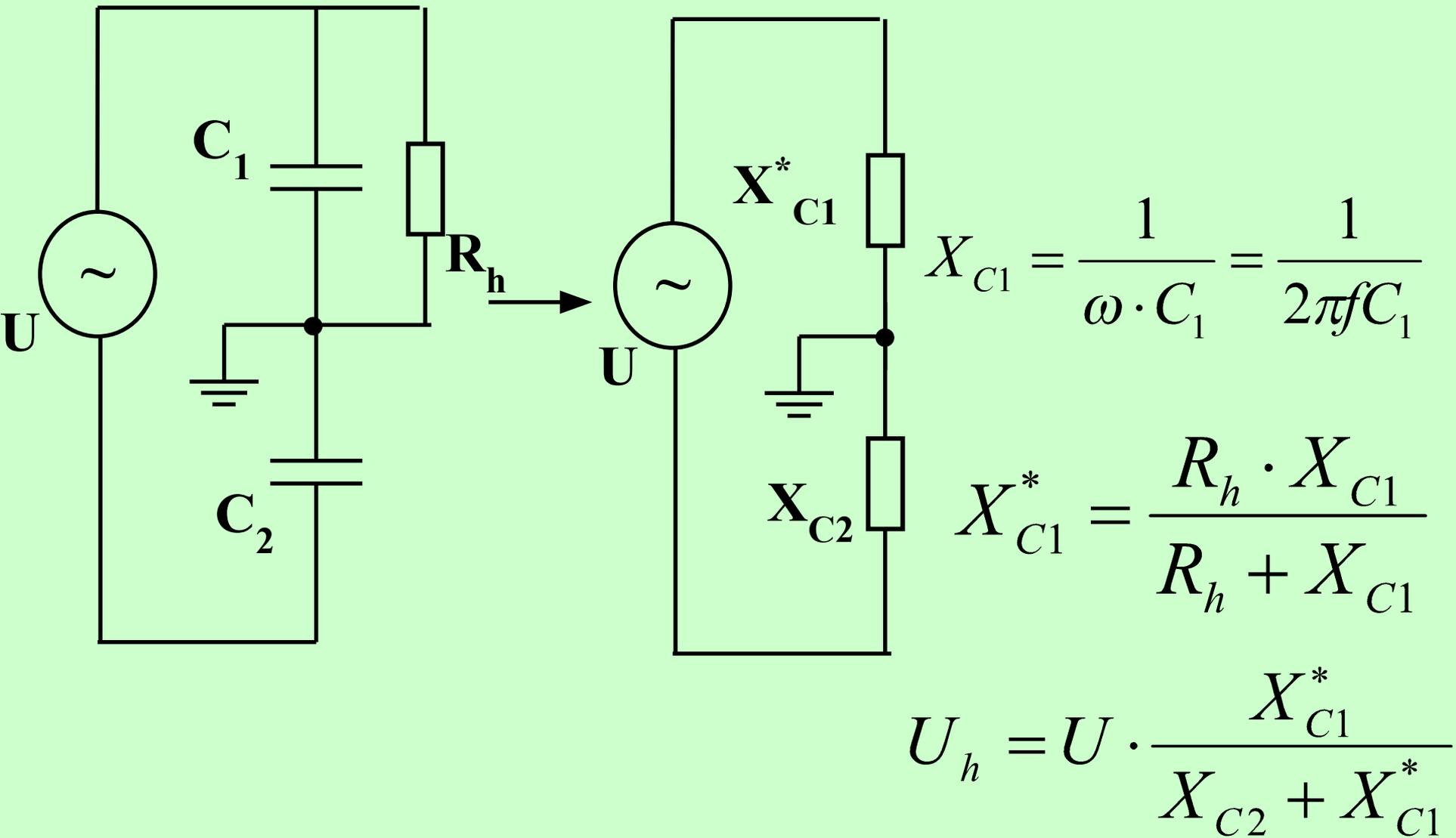


1. $R_h \ll R_1, R_2 \rightarrow U_h \approx 0$
2. $R_h \gg R_1, R_2 \rightarrow U_h \approx U/2$ ($R_1 \approx R_2$)
3. $R_1 \approx 0 \rightarrow U_h \approx 0$
4. $R_2 \approx 0 \rightarrow U_h \approx U$

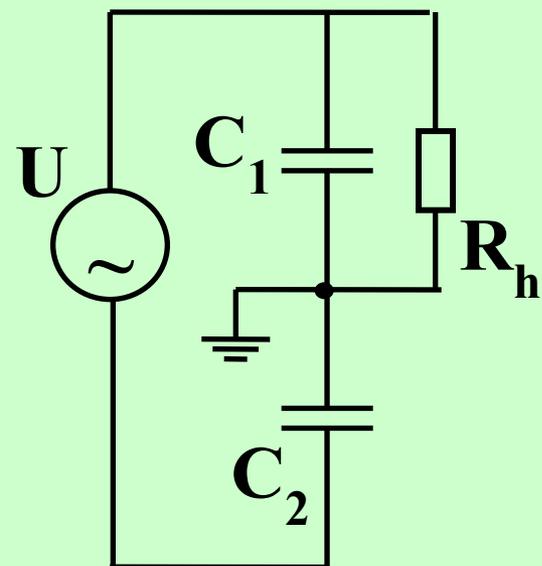
При $R_1 = R_2$



Влияние емкости сети относительно земли на напряжение однофазного прикосновения в изолированных сетях



Влияние емкости сети относительно земли на напряжение однофазного прикосновения в изолированных сетях

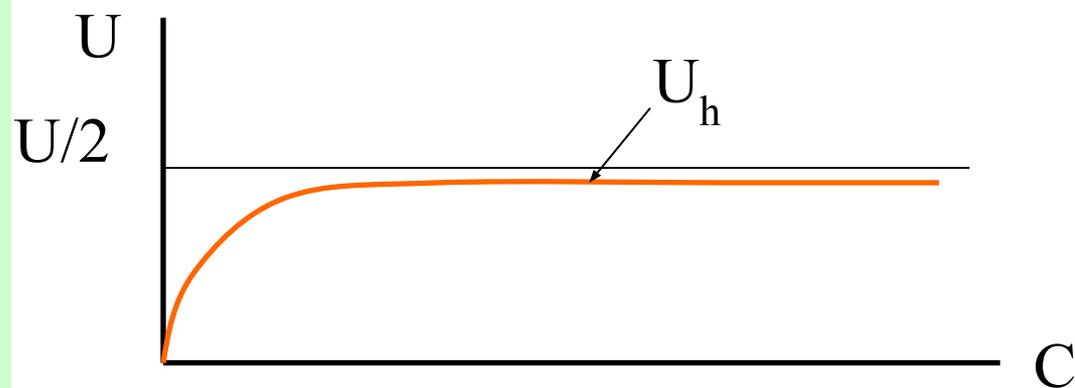


1. $R_h \ll X_{C1}, X_{C2} \rightarrow U_h \approx 0$

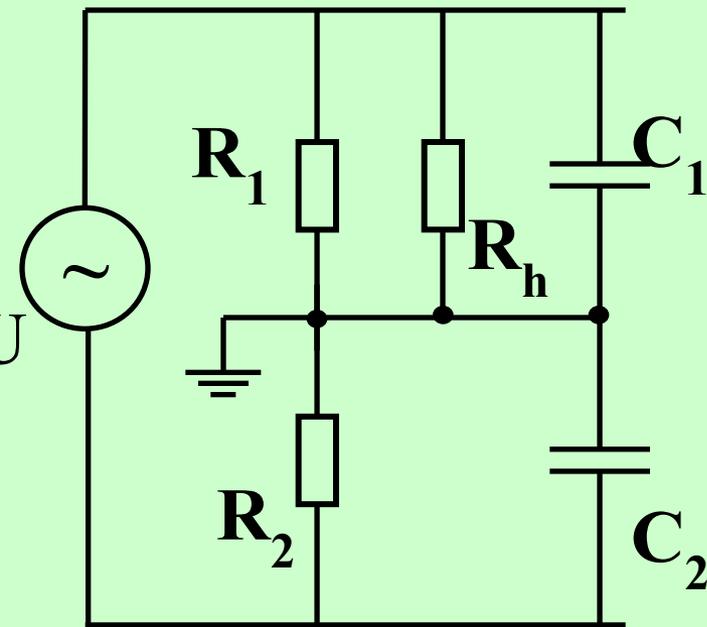
2. $R_h \gg X_{C1}, X_{C2} \rightarrow U_h \approx U/2$
($C_1 = C_2$)

0,1 – 0,2 мкФ на 1 км

$C_1 = C_2$ →



Однополюсное (однофазное) прикосновение в сети изолированной от земли.



Выводы:

1. Упр – зависит от $R_{1,2}$ и $C_{1,2}$
2. В реальных сетях $0 < R_{1,2} < \text{МОм}$
3. В реальных сетях $0 < C_{1,2} < 10^3 \text{ мкФ}$

4. Если $R_{1,2} \gg X_{C_{1,2}}$ (электрическая сеть большой протяженности)
→ влиянием $R_{1,2}$ можно пренебречь

5. Если $X_{1,2} \gg R_{C_{1,2}}$ (электрическая сеть малой протяженности)
→ влиянием $X_{1,2}$ можно пренебречь