

## 1.2 Задачи

### 1.2.1 Оценка опасности прикосновения к однофазной двухпроводной, изолированной от земли сети

Рассмотрим одну из простейших сетей – однофазную однопроводную, изолированную от земли, у которой ёмкость проводов относительно земли можно принять равной нулю. Такой может быть, например воздушная сеть до 1000 В небольшой протяжённости.

Необходимо оценить опасность прикосновения человека к одному из проводов этой сети, то есть определить напряжение прикосновения  $U_{пр}$ , под которым окажется человек и ток  $I_h$ , проходящий через человека.

При нормальном режиме работы сети напряжение прикосновения (рис. 1.2.1, а) можно рассчитать по формуле [1/]:

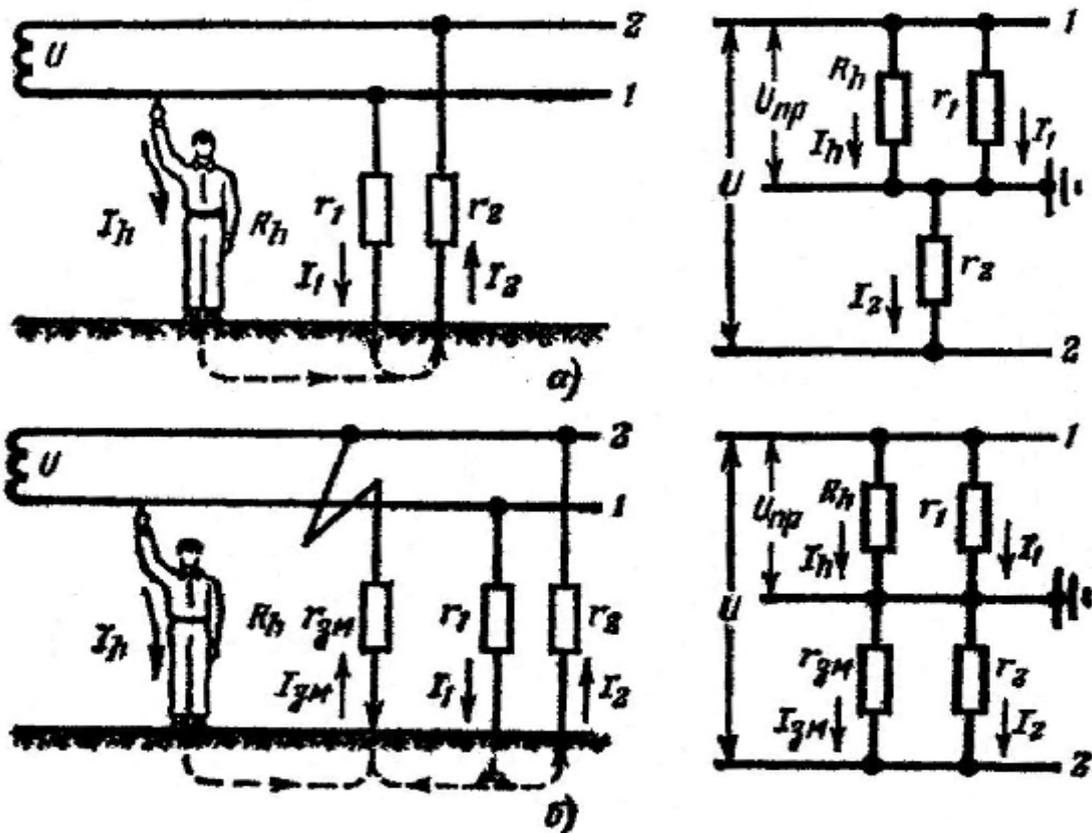


Рис. 1.2.1 Прикосновение человека к проводу однофазной двухпроводной сети.

а – при нормальном режиме работы сети; б – при аварийном режиме; 1,2 – номера проводов.

$$U_{пр} = U \times [R_h / (2 \times R_h + r)], \quad (1.2.1)$$

где,  $U_{\text{пр}}$  – напряжение прикосновения, В;  $U$  – напряжение сети, В;  $R_h$  – электрическое сопротивление тела человека, Ом;  $r$  – сопротивление изоляции линии относительно земли, Ом.

Формула (1.2.1) справедлива, если считать, что  $r_1 = r_2 = r$  (рис. 1.2.1, а). Если  $r_1 \neq r_2$ , то  $U_{\text{пр}}$  рассчитывается по формуле /1/:

$$U_{\text{пр}} = U \times [r_1 R_h / (r_1 r_2 + r_1 R_h + r_2 R_h)], \quad (1.2.2)$$

Ток, проходящий через тело человека, рассчитывается по формуле /1/:

$$I_h = U_{\text{пр}} / R_h = U \times [r_1 / (r_1 r_2 + r_1 R_h + r_2 R_h)], \quad (1.2.3)$$

где,  $I_h$  – ток, проходящий через тело человека, А;  $r_1, r_2$  – сопротивление изоляции линии относительно земли, Ом.

Пример 1.2.1. Человек прикоснулся к проводу однофазной двухпроводной линии, изолированной от земли (рис. 1.2.1,а). Дано  $R_h = 1000$  Ом;  $r_1 = r_2 = r$ . Определить  $U_{\text{пр}}$  при  $r = 10$  кОм,  $U = 220$  В,  $f = 50$  Гц. Сделать выводы.

Решение. По (1.2.1) находим:

$$U_{\text{пр}} = 220 \times [1000 / (2 \times 1000 + 10000)] = 18,3 \text{ В.}$$

По табл. 1.2.1 /2/ находим, что наибольшее допустимое значение напряжения прикосновения составляет 2 В.

Вывод: Расчётное значение  $U_{\text{пр}}$  превышает допустимое. Необходимо увеличить сопротивление изоляции  $r$ .

Таблица 1.2.1

Наибольшие допустимые напряжения прикосновения  $U_{\text{пр}}$  и поражающие токи  $I_{\text{ч}}$  при нормальном режиме работы ЭУ

Род и частота тока	Наибольшие допустимые значения	
	$U_{\text{пр}}$ , В	$I_{\text{ч}}$ , мА
Переменный ток 50 Гц	2	0,3
Переменный ток 400 Гц	3	0,4
Постоянный ток	8	1,0

Примечание. Настоящие нормы установлены исходя из реакции ощущения и соответствуют продолжительности воздействия тока на человека не более 10 мин. в сутки.

Пример 1.2.2. Определить  $I_h$  при прикосновении человека к проводу 1 (рис. 1.2.1,а). Дано  $R_h = 1000 \text{ Ом}$ ,  $r_1 = 40 \text{ кОм}$ ,  $r_2 = 10 \text{ кОм}$ ,  $U = 220 \text{ В}$ ,  $f = 50 \text{ Гц}$ . Сделать выводы.

Решение. По 1.2.3 находим:

$$I_h = 220 \times [40 / (40 \times 10 + 40 \times 1 + 10 \times 1)] = 19,5 \text{ мА}$$

Вывод: Расчётное значение  $I_h$  превышает допустимое. Необходимо увеличить сопротивление изоляции проводов относительно земли.

При аварийном режиме, когда один из проводов сети, например 2, замкнут на землю через сопротивление  $r_{3м}$  (рис. 1.2.1, б), напряжение прикосновения и ток через человека, прикоснувшегося к исправному проводу, определяются полученными выражениями (1.2.2) и (1.2.3), в которых  $r_2$  должно быть заменено на  $r_э$  - эквивалентное сопротивление параллельно включённых сопротивлений  $r_2$  и  $r_{3м}$ . Эквивалентное сопротивление рассчитывается по формуле /1/:

$$r_э = (r_2 r_{3м}) / (r_2 + r_{3м}), \quad (1.2.4)$$

Так как  $r_{3м}$  обычно мало по сравнению с  $r_1$ ,  $r_2$  и  $R_h$ , то  $r_{3м}$  может быть принято равным нулю, тогда  $U_{пр} \approx U$ , а  $I_h \approx U / R_h$ .

Пример 1.2.3. Определить  $U_{пр}$  при прикосновении человека к проводу согласно (рис. 1.2.1, б). Данные сети приведены в примере 1.2.1. Сопротивление замыкания провода на землю  $r_{3м} = 25 \text{ Ом}$ . Сделать выводы.

Решение: При  $r_1 = r_2 = 10 \text{ кОм}$  и  $r_э = (10^4 \times 25) / (10^4 + 25) = 24,9 \text{ Ом}$ .  $U_{пр}$  из выражения (1.2.2):

$$U_{пр} = 220 \times [10^4 \times 10^3 / (10^4 \times 24,9 + 10^4 \times 10^3 + 24,9 \times 10^3)] = 219,3 \text{ В}$$

Вывод: При замыкании провода на землю, человек, прикоснувшийся к исправному проводу, оказывается под напряжением, равным почти полному напряжению линии независимо от сопротивления изоляции проводов. При аварийном режиме защитная роль изоляции проводов практически полностью утрачена. Опасность поражения человека током значительно выше, чем в случае прикосновения к тому же проводу сети в период её нормальной работы.

Задание 1: Рассчитать  $U_{пр}$ ,  $I_h$  при нормальной работе сети и  $U_{пр}$  при аварийной работе сети.

Исходные данные табл. 1.2.2.

Таблица 1.2.2

Исходные данные для оценки опасности прикосновения к однофазной двухпроводной, изолированной от земли сети

Последняя цифра в зачётной книжке студента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$f$ , Гц	50	400	0	50	400	0	50	400	0	50
$U$ , В	220	380	500	220	380	500	220	380	500	380
$R_h$ , кОм	1	3	5	7	9	1	3	5	7	9
$r$ , кОм	10	20	40	60	80	40	60	80	20	10
$r_1$ , кОм	80	60	40	20	10	5	10	20	40	60
$r_2$ , кОм	60	40	10	5	1	3	30	15	7	5
$r_{3M}$ , Ом	50	30	25	50	30	25	70	60	35	30

### 1.2.2 Оценка опасности прикосновения к оборванному и лежащему на земле проводу

Известно [1],  $U_{пр}$  это напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек, то есть это падение напряжение в сопротивлении тела человека:

$$U_{пр} = I_h \times R_h, \quad (1.2.5)$$

В области защитных занулений, заземления и так далее, одна из этих точек имеет потенциал заземлителя  $\varphi_з$ , В, а вторая - потенциал основания в том месте, где стоит человек,  $\varphi_{ос}$ , В. Напряжение прикосновения в этом случае будет:

$$U_{пр} = \varphi_з - \varphi_{ос}, \quad (1.2.6)$$

или

$$U_{пр} = \varphi_з \times \alpha_1, \quad (1.2.7)$$

где,  $\alpha_1$  – коэффициент прикосновения.

Ток, стекающий в землю через человека, стоящего на земле, полу и другом основании, преодолевает сопротивление не только тела человека, но и тех участков основания на которых стоит человек.