

УДК 621.3

А.И. Сидоров, Ш.С. Саидалиев

Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ СЕТЕЙ ДО 1000 В В КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЕ MATLAB

Известно, что в случае возникновения цепи поражения в электроустановках напряжением до 1000 В величина сопротивления человеческого тела является существенным фактором, от которого зависит исход поражения людей электрическим током.

Для исследования условий электробезопасности в сетях напряжением до 1000 В авторами разработана компьютерная модель [1]. Указанная компьютерная модель построена в программной среде Matlab/Simulink для исследования условий электробезопасности при наличии системы зануления, где при помощи встроенного блока «*Series RLC Branch*» библиотеки блоков *SimPowerSystem* смоделировано сопротивление тела человека, прикоснувшегося к нетоковедущей части (рис. 1). При этом величина сопротивления тела человека определяется величиной приложенного напряжения.

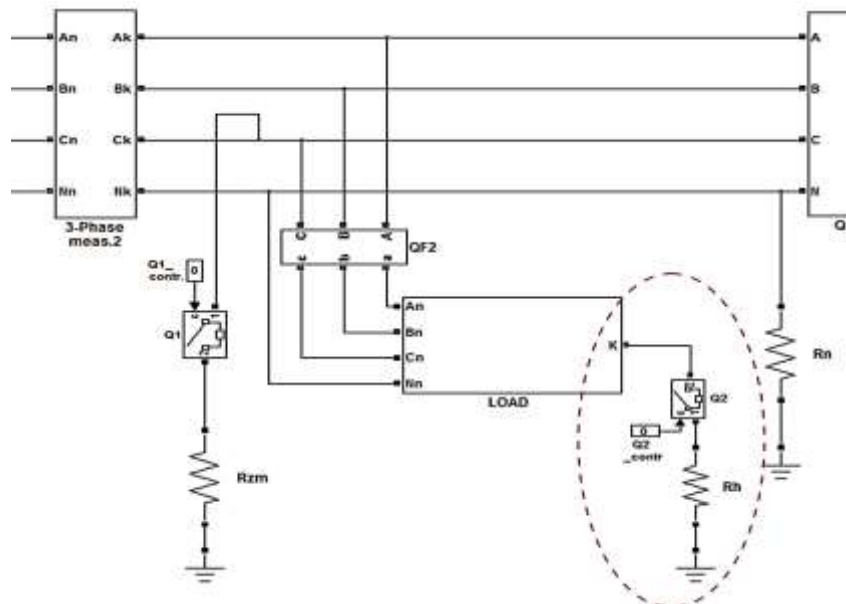


Рис. 1. Фрагмент компьютерной модели [1]

Термин «сопротивление тела человека» является неопределенным, если не указан путь тока в теле [2]. Наибольший интерес представляет величина сопротивления от ладони через руки, туловище и обе ноги (однополюсные прикосновения) (рис. 2).

На рис. 2 приведена схема замещения сопротивление тела человека по пути протекания тока, где  $C_n$  – емкость конденсатора, образовавшегося в месте контакта с токоведущей частью (зависит от частоты приложенного напряжения);  $R_n$  – сопротивление кожного покрова;  $R_{вн}$  – внутреннее сопротивление;  $R_{об}$ ;  $R_{п}$  – переходное сопротивление от ног в землю.

Выполненные в этой области исследования различными авторами достаточно полно освещены в работах В.Е. Манойлова, В.И. Щуцкого, Б.Г. Меньшова, А.П. Киселева, П.А. Долина А.И. Сидорова и др.

Для определения зависимости величины полного сопротивления тела человека  $Z_h$ , Ом от значения напряжение, приложенного к телу человека  $UZ_h$ , В при переменном токе частотой 50 Гц проф. П.А. Долиным предлагается следующая формула (при  $UZ_h \geq 5$  В), кОм [3]:

$$Z_h = \frac{77}{UZ_h + 10} + 0,3, \quad (1)$$

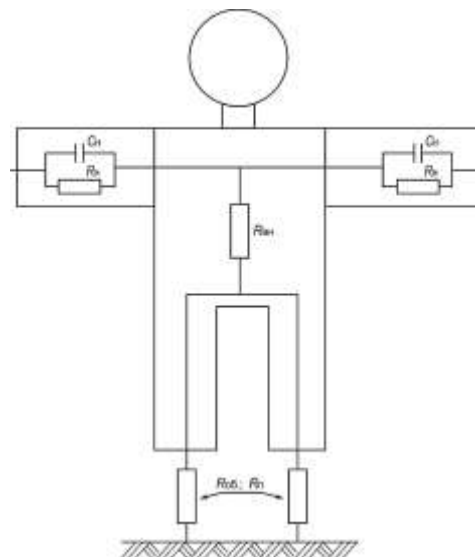


Рис. 2. Сопротивление тела человека по пути протекания тока

По (1) при напряжениях до 50 В переменного тока частотой 50 Гц, величина  $Z_h$  оказывается равной примерно 2,0 – 1,6 кОм. Затем оно незначительно снижается и составляет примерно 950 Ом при 100 В, 600 Ом при 220 В, 500 Ом при 380 В, 400 Ом при 1000 В и т.д.

Согласно исследованиям А.П. Киселева значения сопротивлений  $R_n$  и  $R_{вн}$  принимаются равными 3,0 и 0,65 кОм, соответственно.

Однако известно [4], что при напряжении 40 В и выше (в зависимости от длительности воздействия напряжения) наступает пробой рогового слоя кожи человека. В этом случае общее сопротивление тела человека представляется только величиной внутреннего сопротивления тела человека –  $R_{вн}$ . Исходя из этого при напряжении, приложенном к телу человека выше ( $UZ_h \geq 40$  В) в компьютерной модели величина общего сопротивления тела человека составляет –  $R_h = 650$  Ом.

При моделировании были приняты следующие допущения:

- 1) земля будет считаться как проводник, обладающий бесконечно малым сопротивлением;
- 2) при моделировании не учитываются сопротивления обуви и пола.

Кривые зависимости значений ожидаемого напряжения прикосновения ( $UZ_h$ ) и тока, проходящего через тело человека ( $I_h$ ) от соотношений

$R_0/R_{\pi}$  (сеть напряжением 0,38 кВ), полученные при помощи компьютерной модели, представлены на рис. 3.

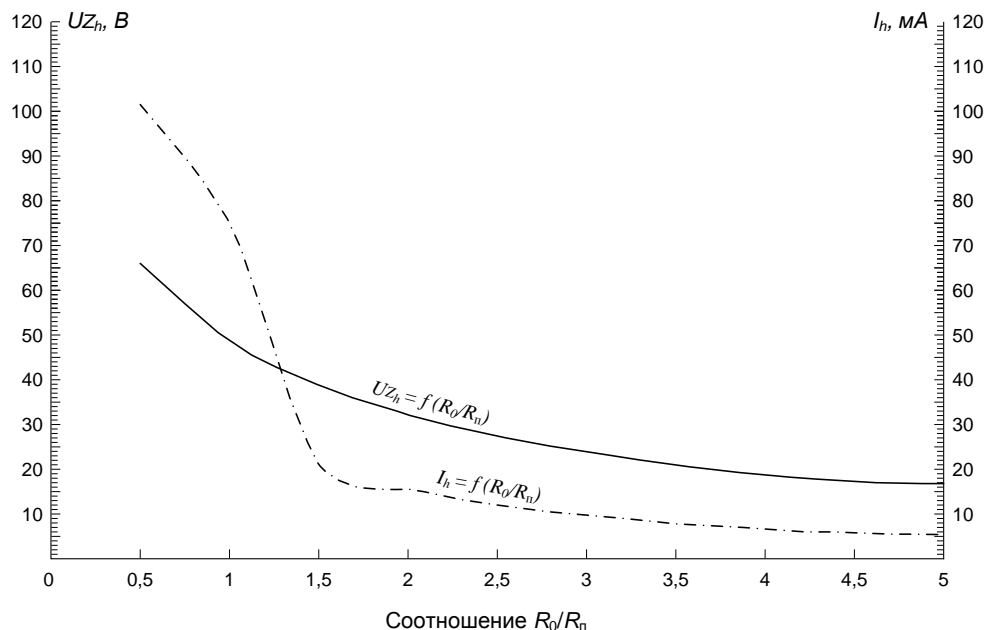


Рис. 3. Изменения ожидаемого напряжения прикосновения и тока, проходящего через тело человека в зависимости от соотношении  $R_0/R_{\pi}$

#### Библиографический список

1. Сидоров, А.И. Компьютерная модель для исследования условий электробезопасности системы зануления в программной среде MATLAB/Simulink / А.И. Сидоров, Ш.С. Сайдалиев, Р.Г. Валеев // Вестник Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими. Серия «Энергетика». – 2015. – № 1 (29). – С. 59–63.
2. Подольский, Л.П. Влияние заземления нейтрали сетей низкого напряжения на условия электробезопасности / Л.П. Подольский. М. – Л.: ГЭИ, 1946. – 128 с.
3. Долин, П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / П.А. Долин. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.
4. Сидоров, А.И. Основы электробезопасности: Учебное пособие / А.И. Сидоров. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. – 344 с.