ТЕМА: Схемы возможного включения человека в электрическую сеть.

1. Действие электрического тока на организм человека

Одной из особенностей поражения электрическим током являемся отсутствие внешних признаков грозящей опасности, которые человек мог бы заблаговременно обнаружить с помощью органов чувств: увидеть. услышать, обонять и т.п.

Согласно статистическим данным, человек в большинстве случаев включается в электрическую цепь либо руками (путь тока «рука-рука»), либо рукой и ногами (путь тока «рука-ноги»). Проходящий при этом ток приводит к серьезным повреждениям центральной нервной системы и жизненно важных органов - сердца и легких. Поэтому второй особенностью воздействия электрического тока на человека является тяжесть поражения.

Третья особенность заключается в том, что токи промышленной частоты 50 Гц и силой 10-25 мА способны вызвать интенсивные судороги мышц. В результате наступает так называемое приковывание человека к токоведущим частям. Пострадавший самостоятельно не может освободиться от воздействия электрического тока. Длительное же (более 30 секунд) протекание тока такой силы может привести к тяжелым последствиям (остановка дыхания).

И, наконец, воздействие тока на человека вызывает резкую реакцию отдергивания, а в ряде случаев и потерю сознания. При paботе на высоте это может привести к падению человека. В результате возникает опасность механического травмирования, причиной которого является воздействие тока. В этом состоит четвертая особенность поражения человека электрическим током. Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает термическое, биологическое, механическое, динамическое и электролитическое воздействие. Биологическое воздействие заключается в способности тока раздражать и возбуждать живые ткани организма, термическое - в его способности вызывать ожоги отдельных участков тела и нагрев до высоких температур других органов, электролитическое - в электролизе органических жидкостей и нарушении их физико-химического состава, а механическое приводит к судорожному сокращению мышц и разрыву тканей. Характер воздействия и тяжесть поражения человека зависит от многих взаимосвязанных и взаимообусловленных факторов, таких как сила тока, длительность воздействия тока, его род (постоянный, выпрямленный, переменный), путь прохождения, сопротивление тела человека, величины приложенного к нему напряжения, «фактор внимания», индивидуальные свойства пострадавшего и факторы окружающей среды.

В целом степень поражения электрическим током зависит от количества поглощенной электрической энергии в органах, тканях и системах при возникновении электрической цепи через тело человека. Установлено, что при увеличении силы тока происходит качественное изменение действия его на организм человека.

С увеличением силы тока четко проявляются три качественно отличные ответные реакции организма: неприятное ощущение, судорожное сокращение мышц и фибрилляция сердца. Электрические токи, вызывающие соответствующую реакцию, подразделяют на ощутимые, неотпускающие и фибрилляционные, а их минимальные значения принято называть пороговыми.

Как показывают экспериментальные исследования, человек начинает ощущать протекание через него тока силой порядка 0,6-1,5 мА (при переменном токе промышленной частоты 50 Гц) и 5-7 мА (при постоянном токе). Наименьшее значение ощутимого тока или пороговый ощутимый ток определяется в зависимости от индивидуальных особенностей человека, площади контакта с электрооборудованием и места контакта (рука, тыльная сторона руки, лицо и пр.). Ощутимый ток не вызывает нарушений деятельности организма, поэтому допустимо его длительное протекание через тело человека в производственных условиях.

Если человек, попавший под напряжение, в состоянии самостоятельно преодолеть действие судороги и освободиться от контакта с проводниками, то такой ток называют отпускающим. В случаях, когда человек самостоятельно не может освободиться от контакта, возникает опасность длительной судороги. Токи, вызывающие такую реакцию организма, получили название неотпускающих. Пороговые значения неотпускающих токов лежат в пределах 10-15 мА (при частоте 50 Гц).

Ток 50мА поражает органы дыхания и сердечно-сосудистую систему. При 100 мА наступает фибрилляция сердца, заключающаяся в беспорядочном хаотическом сокращении и расслаблении мышечных волокон сердца. Оно останавливается, кровообращение прекращается. Ток, вызывающий при прохождении через тело человека фибрилляцию сердца, называется фибрилляционным.

Допустимые для человека токи оцениваются по трем критериям электробезопасности. Первый критерий - ощутимый ток, который не вызывает нарушений деятельности организма и допускается для длительного (не более 10 минут в сутки) протекания через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки. Для переменного тока частотой 50 Гц сила его составляет 0,3 мА, а для постоянного - 1 мА (ГОСТ 12.1.038-82). В качестве второго критерия принимают отпускающий ток. Действие его на человека допустимо при длительности протекания более 1 секунды. Сила отпускающего тока для переменного тока 6 мА, для постоянного - 15 мА. Третьим критерием является фибрилляционный ток, не превосходящий пороговый фибрилляционный ток и действующий кратковременно (до 1 с). Предельно допустимые уровни переменных токов частотой 50 Гц при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением до 1000 В с заземленной или изолированной нейтралью и выше 1000 В с изолированной нейтралью в зависимости от длительности воздействия не должны превышать значений, указанных в ГОСТ 12.1.038-82 с изм. от 01.07.88 и приведённых в таблице 6.1.

Таблица 1.1

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

при аварийном режиме производственных электроустановок

напряжением до 1000 В

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Продолжительность воздействия тока *t*, с | Предельно  допустимые  значения,  не более | | Продолжительность воздействия тока *t*, с | Предельно  допустимые  значения,  не более | |
| *U*, В | *I*, мА | *U*, В | *I*, мА |
| 0,01-0,08 | 550 | 650 | 0,6 | 95 | 105 |
| 0,1 | 340 | 400 | 0,7 | 85 | 90 |
| 0,2 | 160 | 190 | 0,8 | 75 | 75 |
| 0,3 | 135 | 160 | 0,9 | 70 | 65 |
| 0,4 | 120 | 140 | 1,0 | 60 | 50 |
| 0,5 | 105 | 125 | Свыше 1,0 | 20 | 6 |

Таким образом, характер воздействия электрического тока на организм человека и тяжесть поражения во многом зависят от силы тока и длительности его воздействия. Однако нa исход поражения влияют и другие факторы.

Вероятность тяжелого или смертельного исхода при поражении человека электрическим током возрастает при утомлении, голодном или болезненном состоянии, опьянении, длительном воздействии тока, при прохождении тока через жизненно важные органы: сердце, легкие, головной мозг. Смертельный исход возможен даже при малых напряжениях (12 В), если ток проходит через биологически активные точки тела на шее, висках, голени, плечах, спине и других местах человеческою тела, находящихся в зоне акупунктуры.

2. Оценка опасности электрических сетей

Все случаи поражения человека током являются результатом замыкания электрической цепи через тело, или, иначе говоря, результатом прикосновения человека не менее чем к двум точкам цепи, между которыми существует напряжение. Опасность такого прикосновения, оцениваемая, как известно, значением тока *Ih*, проходящего через тело человека, или же напряжением, под которым оказывается человек, т.e. напряжением прикосновения *Uпр,*зависит oт ряда факторов: схемы включения человека в электрическую цепь, напряжения сети, режима ее нейтрали, степени изоляции токоведущих частей oт земли, a также от значения емкости токоведущих частей относительно земли и т.п.

Таким образом, указанная опасность не является однозначной: в одних случаях прикосновение человека к фазе сети будет сопровождаться прохождением через него малых токов и окажется без последствий, в других - токи могут достигать больших значений, способных вызвать смертельное поражение человека. Зависимость опасности поражения током oт указанных факторов необходимо знать при оценке той или иной сети по условиям безопасности, при выборе и расчете соответствующих мер защиты и, в частности, защитного заземления, автоматического отключения питания (защитного зануления, защитного отключения), уравнивания потенциалов, а также устройств контроля изоляции и пр.

Для упрощения анализа опасности поражения током в различных электрических сетях будем считать (кроме особо oговоренных случаев), что сопротивление основания, на котором стоит человек (грунт, пол и пр.),а также сопротивление его обуви незначительны и поэтому приняты равными нулю.

Сети переменного тока бывают однофазными и многофазными. В промышленности применяют преимущественно трехфазные и реже однофазные сети.

Трехфазные сети в зависимости от режима нейтрали источника тока и наличия нейтрального или нулевого проводника могут быть выполнены по пятисхемам:

1) трехпроводной с изолированной нейтралью;

2) трехпроводной с заземленной нейтралью;

3) четырехпроводной с изолированной нейтралью;

4) четырехпроводной с заземленной (глухозаземленной) нейтралью;

5) пятипроводной с заземленной (глухозаземленной) нейтралью.

*Нейтральная точка* (нейтраль) обмотки источника или потребителя энергии естьточка, 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. Проводник, присоединенный к нейтральной точке, называется нейтральным проводником, а кнулевой точке - нулевым проводником.

*Изолированной нейтралью* называется нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная кнему через приборы сигнализации, измерения, защиты, заземляющие дугогасящие реакторы и подобные им устройства, имеющие большое сопротивление (рис. 6.1).

*Глухозаземленной нейтралью* называется нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление (например, через трансформатор тока) (рис. 6.2).

При напряжении до 1000 В в нашей стране применяют в основном три из указанных схем сетей трехфазного тока — первую, четвертую и пятую, т. е. трехпроводную с изолированной нейтралью напря­жением 36, 42, 127, 220, 380 и 660 В и четырех или пятипроводную с заземлённой нейтралью напряжением 220/127, 380/220 и 660/380 В. При этом в четырехпроводной (пятипроводной) сети заземление нейтрали источника тока (генера­тора, трансформатора) осуществляют соединением ее с заземлителем непосредственно либо через малое сопротивление (например, через трансформатор тока), и поэтому такую сеть принято называть сетью с глухозаземленной нейтралью. Наиболее распространенными в России являются сети 380/220 В.

Другие две из указанных схем сетей - вторую и третью (т. е. трех­проводную с заземленной нейтралью и четырехпроводную с изолированной нейтралью) при напряжении до 1000 В, как правило, не приме­няют, потому что в трехпроводной сети с заземленной нейтралью в случае замыкания фазы на корпус, а в четырехпроводной с изолиро­ванной нейтралью при замыкании фазы на землю невозможно обеспе­чить безопасность персоналу обычными способами (защитным зазе­млением, защитным занулением). Вторую и третью схемы выполняют иногда лишь в специальных установках (передвижных, лабораторных и т. п.).

Выбор схемы сети, а следовательно, и режима нейтрали источника тока производят, исходя из технологических требований и условий безопасности.

При напряжении выше 1 кВ применяются трёхфазные трехпроводные сети с изолированной и с заземленной нейтра­лями.

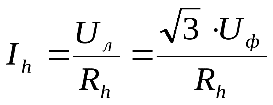
3. Схемы включения человека в цепь тока

Схемы включения в цепь тока могут быть различными. Однако наиболее характерными являются схемы включения: между двумя фазами и между одной фазой и землей (рис.1). Разумеется, во втором случае предполагается наличие электрической связи между сетью и землей.

Первая схема соответствует двухфазному прикосновению, а вторая - однофазному.

Напряжение между двумя проводящими частями или между проводящей частью и землёй при одновременном прикосновении к ним человека или животного называется*напряжением прикосновения* (*Uпр*).

Двухфазное прикосновение, при прочих равных условиях, более опасно, поскольку к телу человека прикладывается наибольшее в данной сети напряжение - линейное, аток через человека, оказываясь независимым oт схемы сети, режима нейтрали и других факторов, имеет наибольшее значение:



где https://studfile.net/html/2706/197/html_C35g6aKcJ5.IMd9/img-Nv8qa0.png*-*линейное напряжение, т.e. напряжение между фазными проводами сети, В;

*Uф*- фазное напряжение, т.е. напряжение между началом и концом одной обмотки источника тока (трансформатора или генератора) или между фазным и нулевым проводами сети, В;

*Rh* - сопротивление тела человека, Ом.

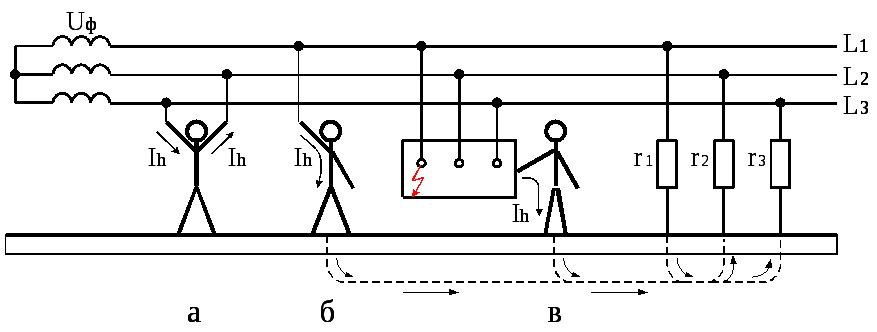


Рис. 3.1. Случаи прикосновения человека к токоведущим частям, находящимся под напряжением: *а - двухфазное включение: б и в- однофазные включения*

Случаи двухфазного прикосновения происходят очень редко и не могут служить основанием для оценки сетей по условиям безопасности. Они бывают обычно в установках до 1000 В в результате работы под напряжением, применения неисправных защитных средств, а также эксплуатации оборудования с неогражденными голыми токоведущими частями (открытые рубильники, незащищенные зажимы сварочных трансформаторов и т.п.).

Однофазное прикосновение, при прочих равных условиях, является менее опасным, чем двухфазное, поскольку ток, проходящий через человека, ограничивается влиянием многих факторов. Однако однофазное прикосновение возникает значительно чаще и является основной схемой, при которой происходит поражение людей током в сетях любого напряжения. Поэтому ниже анализируются лишь случаи однофазного прикосновения. При этом рассматриваются обе разрешенные к применению сети трехфазного тока напряжением до 1000 В: четырехпроводная с глухозаземленной нейтралью и трехпроводная с изолированной нейтралью.

4. Трехфазные сети с глухозаземленной нейтралью

В трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземоенной нейтралью вычисление напряжения прикосновения *Uпр,*итока *Ih* проходящего через человека, в случае прикосновения к одной из фаз (рис. 6.2) проще всего выполнить символическим (комплексным) методом.

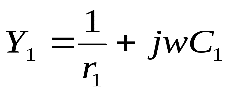
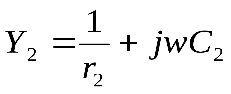
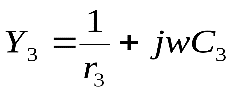
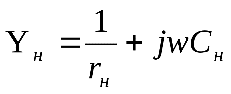
Рассмотрим наиболее общий случай, когда сопротивления изоляции проводов, так же как и емкости проводов относительно земли не равны между собой, т.е.

*r1* ≠ *r2* ≠ *r3* ≠ *rн*; *С1* ≠ *С2* ≠ *С3* ≠ *Сн* ≠ 0,

где *r1, r2, r3, rн* - сопротивление изоляции фазных L и нулевого (совмещённого) PEN проводов, Ом;

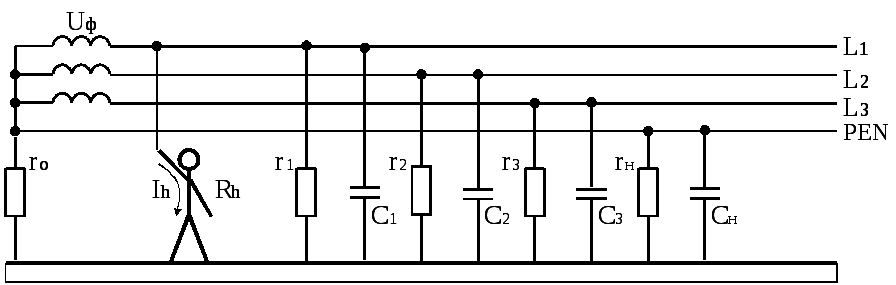
*C1, C2, C3, Cн*- рассредоточенные емкости фазных L и нулевого (совмещённого) PEN проводов относительно земли, Ф.

Тогда полные проводимости фазных и нулевого проводов относительно земли в комплексной форме будут:

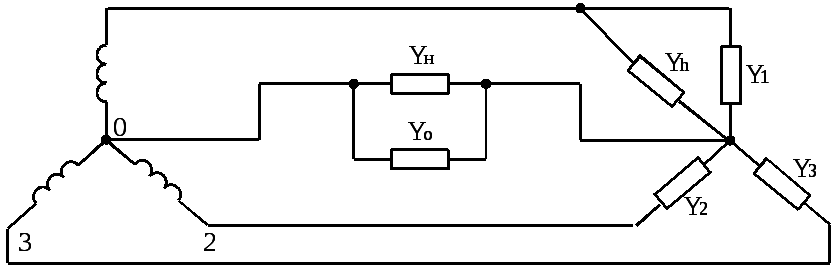
; ;;

где *w* - угловая частота, рад/с;

*j -*мнимая единица, равная (https://studfile.net/html/2706/197/html_C35g6aKcJ5.IMd9/img-tj000B.png).



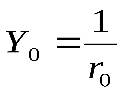
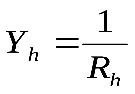
*а*



*б*

Рис. 4.2. Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью при нормальном режиме работы: *а - схема сети; б - эквивалентная схема;* *L1,* *L2,* *L3, - фазные проводники; PEN* *- нулевой (совмещённый) провод.*

Полные проводимости заземления нейтрали и тела человека равны соответственно

; ,

где *r0* - сопротивление заземления нейтрали, Ом.

Емкостной составляющей проводимости человека можно пренебречь ввиду ее малой величины.

При прикосновении человека к одной из фаз, например к фазному проводнику L1, напряжение, под которым он окажется, определится выражением

https://studfile.net/html/2706/197/html_C35g6aKcJ5.IMd9/img-o48c68.png, (6.1)

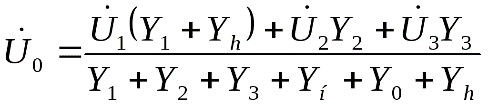
Ток найдётся по формуле

https://studfile.net/html/2706/197/html_C35g6aKcJ5.IMd9/img-evUd3t.png,

где https://studfile.net/html/2706/197/html_C35g6aKcJ5.IMd9/img-7XAoTG.png- комплексное напряжение фазы 1 (фазное напряжение), В;

https://studfile.net/html/2706/197/html_C35g6aKcJ5.IMd9/img-TrhKK4.png*-*комплексное напряжение между нейтралью источника тока и землей (между точками *00'*на эквивалентной схеме).

Пользуясь известным методом двух узлов, https://studfile.net/html/2706/197/html_C35g6aKcJ5.IMd9/img-SUDadQ.pngможно выразить следующим образом:

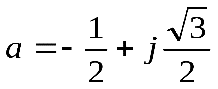


Имея в виду, что для симметричной трехфазной системы

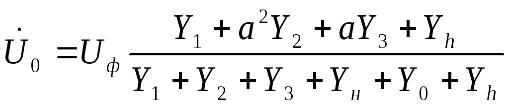
https://studfile.net/html/2706/197/html_C35g6aKcJ5.IMd9/img-GGmxDB.png; https://studfile.net/html/2706/197/html_C35g6aKcJ5.IMd9/img-TKYzto.png;https://studfile.net/html/2706/197/html_C35g6aKcJ5.IMd9/img-0lVFsW.png,

где *Uф*- фазное напряжение источника (модуль), В;

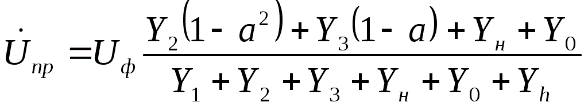
*а -*фазовый оператор, учитывающий сдвиг фаз, где

,

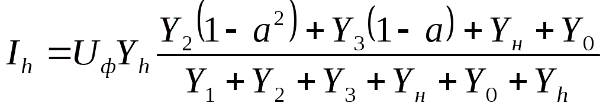
будем иметь равенство

.

Подставив это значение в (6.1), получим искомое уравнение напряжения прикосновения в комплексной форме, воздействующего на человека, прикоснувшегося к фазному проводнику L1 трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью:

. (6.2)

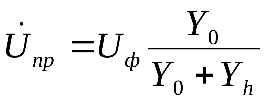
Ток, проходящий через человека, получим, если умножим это выражение на *Yh*:

. (6.3)

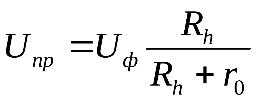
При нормальном режиме работы сети проводимость фазных и нулевого проводов относительно земли по сравнению с проводимостью заземления нейтрали имеет весьма малые значения и с некоторым допущением может быть приравнена к нулю, т.е.

*Y*1 = *Y*2 = *Y*3 = *Yн* = 0

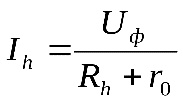
В этом случае уравнения (6.2) и (6.3) значительно упростятся. Так, напряжение прикосновения будет равно

,

или (в действительной форме)

, (6.4)

а ток равен

 (6.5)

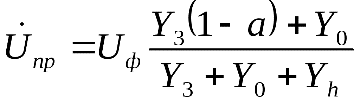
Согласно требованиям ПУЭ [1] значение сопротивления *r0*не должно превышать 8 Ом, сопротивление же тела человека *Rh,*не опускается ниже нескольких сотен ом. Следовательно, без большой ошибки в уравнениях (6.4) и (6.5), можно пренебречь значением *r0*и считать, что *при прикосновении к одной из фаз трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью человек оказывается практически под фазным напряжением Uф, и ток, проходящий через него, равен частному от деления Uф на Rh.*

Из уравнения (6.5) вытекает еще один вывод: *ток, проходящий через человека, прикоснувшегося к фазе трехфазной четырехпроводной сети с заземленной 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 сети.*

*В этом случае существенно повышают безопасность сопротивления обуви, грунта (пола) и другие сопротивления в электрической цепи человека.*

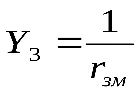
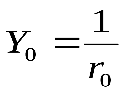
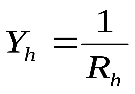
Глухое замыкание на землю в сети с глухозаземленной нейтралью мало изменяет напряжение фаз относительно земли.

При аварийном режиме, когда одна из фаз сети, например фазный проводник L3 (рис.6.3, а), замкнута на землю через относительно малое активное сопротивление *rзм*, а человек прикасается к фазному проводнику L1, уравнение (6.2) примет следующий вид:

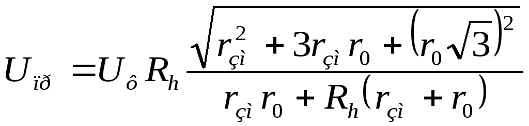
.

Здесь также принимаем, что *Y1, Y2*и *Yн*малы по сравнению с *Y0*, т.е. приравнены к нулю.

Произведя соответствующие преобразования и учитывая, что

, и,

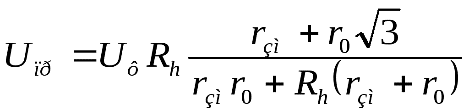
получим напряжение прикосновения в действительной форме

.

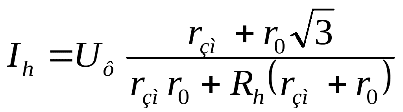
Для упрощения этого выражения допустим, что

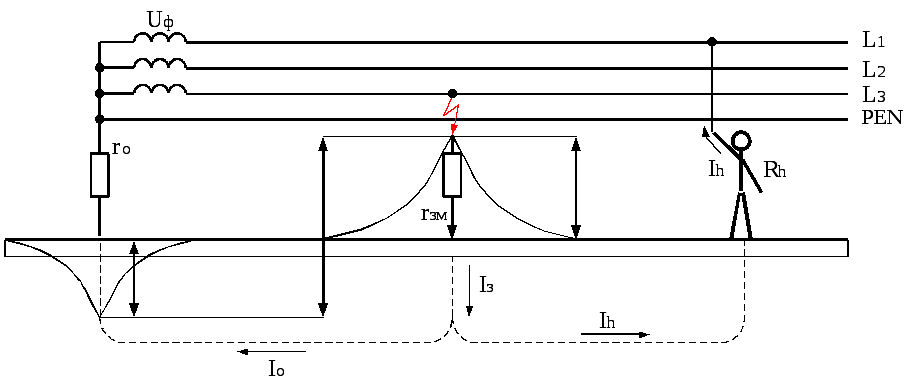
https://studfile.net/html/2706/197/html_C35g6aKcJ5.IMd9/img-Q1vcxh.png.

В результате получим окончательно, что напряжение *Uпр* равно

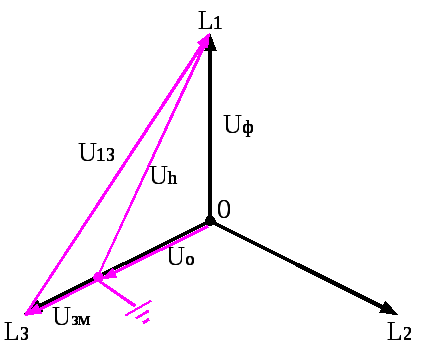
. (6.6)

Ток, проходящий через человека, определяется по формуле

. (6.7)



*а*



*б*

Рис. 4.3. Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью при аварийном режиме: *а - схема сети; б - векторная диаграмма напряжений.*

Рассмотрим два характерных случая.

1. Если сопротивление замыкания проводов на землю *rзм* считать равным нулю, то уравнение (6.6) примет вид

https://studfile.net/html/2706/197/html_C35g6aKcJ5.IMd9/img-293hJ6.png.

Следовательно, в данном случае человек окажется под воздействием линейного напряжения сети.

2. Если принять равным нулю сопротивление заземления нейтрали *r0,*то из уравнения (6.6) получим, что *Unp = Uф,*т.е. напряжение, под которым окажется человек, будет равно фазному напряжению.

Однако в практических условиях сопротивления *rзм*и *r0*всегда больше нуля, поэтому *напряжение, под которым оказывается человек, прикоснувшийся в период аварийного режима к исправному фазному проводу трехфазной сети с заземленной нейтралью, всегда меньше линейного, но больше фазного, т.е.*

https://studfile.net/html/2706/197/html_C35g6aKcJ5.IMd9/img-zAJXyJ.png*> Uпр> Uф*. (6.8)

Это положение иллюстрируется векторной диаграммой, приведенной на рис. 6.3, б и соответствующей рассматриваемому случаю. Следует отметить, что этот вывод вытекает также из уравнения (6.6). Так, при небольших значениях *rзм*и *r0*по сравнению с *Rh,*первым слагаемым в знаменателе можно пренебречь. Тогда дробь при любых соотношениях *rзм*и *r0*будет всегда больше единицы, но меньше https://studfile.net/html/2706/197/html_C35g6aKcJ5.IMd9/img-ue31Cs.png, т.е. получим выражение (6.8).

5. Трехфазные сети с изолированной нейтралью

Такие сети отличаются тем, что нейтральная точка источника питания не имеет связи с землей (или имеет связь через очень большое сопротивление) и нейтральный провод отсутствует.

В трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью при нормальном режиме работы напряжение прикосновения *Unp*и ток *Ih*, проходящий через человека в период касания к одной из фаз, например к фазному проводнику L1 (рис. 6.4), определяются уравнениями (6.2) и (6.3), в которых надо принять .

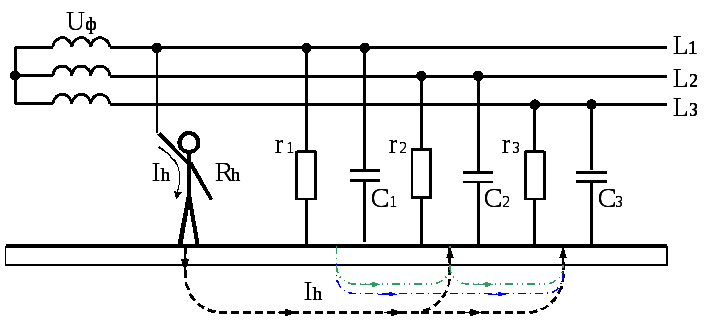
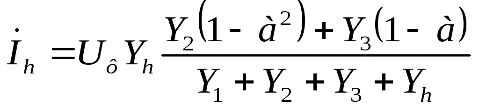


Рис. 5.4. Прикосновение человека к проводу трехфазной

трехпроводной сети с изолированной нейтралью при

нормальном режиме работы

Тогда выражение для тока, проходящего через человека, в комплексной форме имеет вид

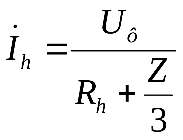
. (6.9)

Основываясь на этом равенстве, рассмотрим следующие три случая.

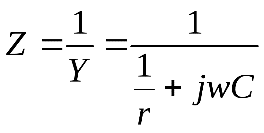
1. При равенстве сопротивлений изоляции и емкостей фаз относите­льно земли, т.е. при

*r1 = r2 = r3 = r*; *C1 = C2 = C3 = C,*

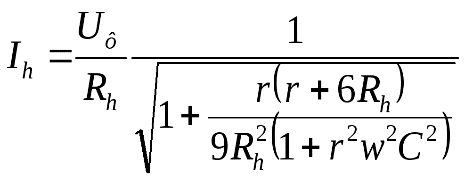
а, следовательно, при *Y*1 = *Y*2 = *Y*3 =*Y*получим, заменив проводимости полными сопротивлениями и имея в виду, что(*a*2 + *a* + 1) = 0, ток через человека

, (6.10)

где *Z* - комплекс полного сопротивления одной фазы относительно земли, Ом;

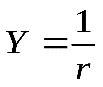
.

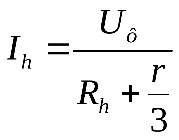
В действительной форме выражение для тока примет вид

. (6.11)

2. При равенстве сопротивлений изоляции и малых значениях емкостей фаз относительно земли, которыми можно пренебречь, т.е. при

*r1 = r2 = r3 = r*; *C1 = C2 = C3 = 0,*

и, следовательно, при и*Z=r*, т.е. сопротивление фазы относительно земли равно активному сопротивлению изоляции, что может иметь место в коротких воздушных сетях, получим из (6.11) ток, проходящий через человека, в действительной форме

. (6.12)

Выражение (6.12) показывает значение изоляции как фактора безопасности: чем выше сопротивление изоляции сети *r*, тем меньше ток, проходящий через человека, при однофазовом прикосновении.

При прикосновении человека к одной фазе в сети с малой емкостью и большим сопротивлением изоляции, если полное сопротивление фаз относительно земли значительно больше сопротивления цепи человека, т.е. *Z>>Rch*, ток, проходящий через человека, ограничивается сопротивлением фаз относительно земли и почти не зависит от сопротивления цепи человека.

Полное сопротивление цепи человека

*Rch = Rh + Rоб + Rн*,

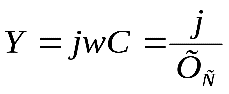
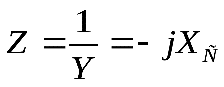
где *Rоб* - сопротивление обуви, Ом;

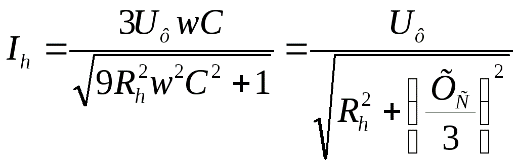
*Rн*- сопротивление опорной поверхности ног растеканию тока, Ом.

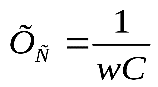
При сопротивлениях фазы относительно земли, равных нескольким десяткам кОм и более, ток, проходящий через человека, невелик и даже может не превышать длительно допустимой величины. Поэтому в сетях с изолированной нейтралью, имеющих высокое сопротивление изоляции и малую емкость и не имеющих поврежденной изоляции, безопасно однофазное прикосновение. Однако у разветвленных сетей с большим числом потребителей общее сопротивление изоляции мало и емкость имеет значительную величину.

3. При равенстве емкостей и больших активных сопротивлениях изоляции по сравнению семкостными, т.е. при

*r1 = r2 = r3 = r*; *C1 = C2 = C3 = C,*

и, следовательно, при и, что может быть в кабельных сетях,

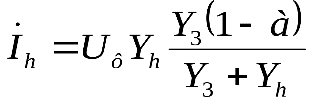
, (6.13)

где − емкостное сопротивление фазы относительно земли, Ом.

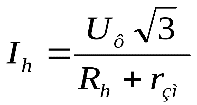
Сеть с большой емкостью опасна, так как ток, проходящий через человека, прикоснувшегося к фазе, может достигать больших значений.

Выражения (6.10) - (6.13) показывают, что *в сетях с изолированной нейтралью опасность для человека, прикоснувшегося к одной из фаз в период нормальной работы сети, зависит от сопротивления изоляции проводов относительно земли: с увеличением сопротивления опасность уменьшается.*Вместе с тем, этот случай менее опасен, чем прикосновение в сети с заземленной нейтралью [ср. уравнения (6.5) и (6.12)].

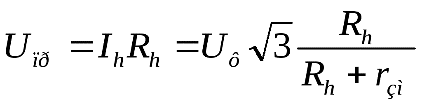
При аварийном режиме (рис. 6.5), когда имеет место замыкание фазы (например, фазы 3) на землю через малое активное сопротивление *rзм,*проводимости других фаз можно принять равными нулю. Тогда, подставив в уравнение (6.9) *Y1 = Y2=0,*получим

.

Производя соответствующие преобразования и имея в виду, что *Y*3=1/*rзм* и *Yh*=1/*Rh* , получим значение тока в действительной форме

. (6.14)

Напряжение прикосновения

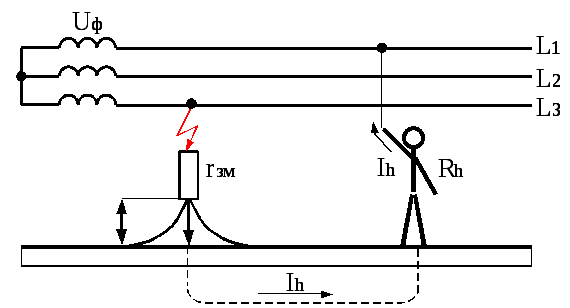
. (6.15)

Если принять, что *rзм*= *0*или, по крайней мере, считать, что *rзм << Rh*(так обычно бывает в действительных условиях), то согласно уравнению (6.15) https://studfile.net/html/2706/197/html_C35g6aKcJ5.IMd9/img-w_fx0w.png,т.е. человек окажется под линейным напряжением.

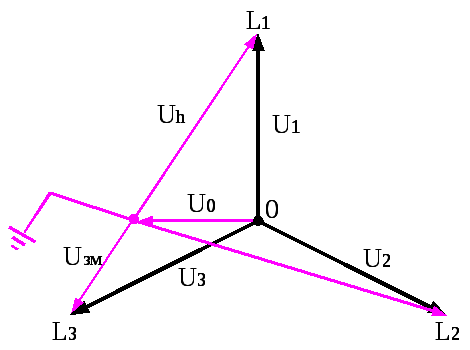
В действительных условиях *rзм > 0,*поэтому *напряжение, под которым оказывается человек, прикоснувшийся в период аварийного режима к исправной фазе трехфазной сети с изолированной нейтралью, значительно больше фазного и несколько меньше линейного напряжения сети.*

Таким образом, этот случай прикосновения во много раз опаснее прикосновения к той же фазе сети при нормальном режиме работы (ср. уравнения (6.12) и (6.14), имея в виду, что *r*/3 >>*rзм*).

Вместе с тем *этот случай является также, при прочих равных условиях, более опасным, чем прикосновение к исправной фазе трехфазной сети с заземленной нейтралью*(ср. уравнения (6.7) и (6.14), имея в виду, что *r0,*мало по сравнению с *rзм*).



*а*



*б*

Рис. 5.5. Прикосновение человека к проводу трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью при аварийном режиме: *а - схема сети; б - векторная диаграмма напряжений (при условии, что Y1 = Y2 = 0)*