# ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

**ордена Трудового Красного Знамени**

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

**«Московский технический университет связи и информатики»**

Кафедра экологии, безопасности жизнедеятельности и электропитания

КУРБАТОВ В.А.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1Э

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНОСТИ ПРИКОСНОВЕНИЯ К ТРЁХФАЗНЫМ СЕТЯМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

УЧЕБНО - МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Москва 2018

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1Э

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНОСТИ ПРИКОСНОВЕНИЯ К ТРЁХФАЗНЫМ СЕТЯМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

УЧЕБНО - МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Автор:

В.А. Курбатов, канд. ф.- м. наук, доцент

Издание утверждено на заседании кафедры ЭБЖиЭ.

Протокол № 7 от 26.01.2018 г.

Издание утверждено советом заочного факультета.

Протокол № 5 от 02.02.2018 г.

Рецензент: Костюк Е.В., к.т.н., доцент

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование опасности прикосновения к трехфазным сетям с изолированной и заземленной нейтралью при нормальном и аварийном режимах работы.

1. АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ТОКОМ

ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Случаи поражения человека электрическим током являются следствием его при- косновения не менее чем к двум точкам электрической цепи, между которыми су- ществует электрическое напряжение. Опасность такого прикосновения оценивается по напряжению прикосновения, которое зависит от ряда факторов: схемы включе- ния человека в электрическую цепь, напряжения сети, режимом нейтрали, степени изоляции токоведущих частей от земли, а также емкостью токоведущих частей от земли и т.д.

Главным фактором, по которому оценивается электробезопасность сети, является значение тока протекающего через тело человека в случае его прикосновения к то- коведущим частям.

Сети переменного тока бывают однофазные и многофазные. В промышленности применяются преимущественно трехфазные и значительно реже однофазные.

Поэтому, в данном разделе, рассмотрим сети в порядке их значимости.

Систему трех ЭДС, сдвинутых по фазе относительно друг друга называют трех- фазной. Если ЭДС равны по амплитуде и сдвинуты по фазе на угол 120 градусов, то такую систему называют симметричной трехфазной системой.

Совокупность устройств, относящихся к одному из токов трехфазной системы ЭДС, называют фазой. Фазы принято обозначать буквами А, В, С. Также обозна- чают начала обмоток трехфазного генератора, а через X, Y, Z – их концы.

Для источников и приемников трехфазных цепей существует две схемы соединения: звездой и треугольником. В первом случае все концы X, Y, Z соединены между со-

бой. Во втором случае к концу каждой обмотки подсоединяют начало следующей обмотки, при этом образуется замкнутый контур, состоящий из трех источников ЭДС с различными фазами.

N

EC

C

Рис.1

A EA

2/3

EB

B

Мы остановимся на схеме соединения звездой. Если концы обмоток трехфазной системы соеди- нить между собой, то общая точка соединения об- моток называется нейтралью или нейтральной точ- кой обмотки источника (потребителя) энергии, на- пряжение которой относительно всех внешних вы- водов обмоток одинаково по абсолютному значе- нию (рис. 1)

Заземленная нейтральная точка называется нулевой точкой.

Нейтраль, заземленная путем непосредственного присоединения к заземлителю или через малое сопротивление называют также глухозаземленной нейтралью. Провод- ник, присоединенный к нейтральной точке, называется нейтральным проводником, а к нулевой точке – нулевым проводником.

A a Наличие нейтрального провода в цепи с несимметричной нагрузкой (Nn )позво-

Uф

Uф

N

n

c

B

C

Рис.2

ляет выравнивать напряжения на фазах приемника и поддерживает их неизмен-

b ными, равные фазным напряжениям источника (рис 2). Напряжения между

началом и концом фазы источника называется фазным (Uф). Фазными токами (Iф) называют токи, проходящие через каждую фазу источника или приемника**.**

При генерировании, передаче и преобразовании электрической энергии трех- фазные сети имеют ряд преимуществ по сравнению с однофазными:

* меньший расход металла на провода;
* меньший расход стали в трансформаторах;
* простота получения вращающегося поля;
* меньшие пульсации момента на валу роторов генераторов и двигателей**.**

Электрические сети и электроустановки разделяют на две группы: напряжением до 1000 В и свыше 1000 В.

В зависимости от режима нейтрали и наличия нулевого провода различают следую- щие трехфазные сети:

1.трехпроводная с изолированной нейтралью; 2. трехпроводная с заземленной ней- тралью; 3. четырехпроводная с изолированной нейтралью; 4.четырехпроводная с за- земленной нейтралью.

Согласно "Правилам устройства электроустановок" (ПУЭ) в нашей стране приме- няют до 1000 В – первую и четвертую схемы сетей, а свыше 1000 В – первую и вто- рую. Четырехпроводная сеть с изолированной нейтралью не применяется, по- скольку невозможно обеспечить безопасность персоналу, работающему с ней.

Каждая из сетей характеризуется своими технико-экономическими, эксплуатацион- ными и другими показателями, а также различной степенью электробезопаснсти.

Рассмотрим трехфазную трехпроводную сеть с изолированной нейтралью (рис.3).

Uф UA

Uл

UAC

UAB

0

2/3

C

0 B

A

RA СC

UC UB

////////////////////////////////////////////////////////////////////////

Рис.3

Рис.4

UCB

Представим сопротивления и емкости проводов относительно земли распределен- ными по всей длине сети в виде соответствующих сопротивлений ( Ra, Rb, Rc)и ем- костей(Ca, Cb, Cc).

( Емкостная составляющая рассматривается, если протяженность сети более 1км. Опасность использования такой сети будет обоснована ниже.).

Заметим, что а) напряжение между нейтралью и началом обмотки генератора

( трансформатора) – фазное напряжение (Uф), б) напряжение между линейными проводами сети – линейное напряжение (Uл). Соотношение между фазным напря- жением и линейным можно легко определить при рассмотрении векторной диа- граммы (рис.4) – Uл = Uф\*  3. Замечания а) и б) относятся и для сети с заземленной нейтралью.

6

Сеть может находиться в нормальном режиме работы ( который исключает ава- рийный) или в аварийном. Аварийный режим подразумевает: а) замыкание прово- дов между собой; б) замыкание их на землю; в) сопротивление изоляции не соответ- ствует требованиям, обусловленным ПУЭ.

Схема включения человека в цепь тока может быть различной, но наиболее харак- терны две схемы включения: между двумя фазами электрической сети и между фа- зой и землей. Применительно к сетям переменного тока первая схема соответствует двухфазному прикосновению, а вторая – однофазному. Двухфазное прикосновение наиболее опасно, поскольку человек попадает под линейное напряжение. Однофаз- ное прикосновение менее опасно чем двухфазное, т.к. ток проходящий через чело- века , ограничивается влиянием многих факторов - сопротивлениями: изоляции, те- ла человека, его одежды, обуви и т д.

Рассмотрим более детально особенности эксплуатации сети с изолированой ней- тралью.

1. Нормальный режим работы сети, напряжением до 1000 В, протяженностью до 1 км. Сделаем допущение, что фазные напряжения равны и симметричны, а сопро- тивления изоляции проводов относительно земли одинаковы. В этом случае чело- век, совершивший однополюсное прикосновение к сети замыкает собой два контура через сопротивления изоляции (или сопротивления токам утечки).

Рассматривая сопротивления Ra, Rb, Rc как включенную в звезду нагрузку, у кото-



Uф

Uл

C

0

B

RA RB

A

U0

Rh

Ih

RC

IC

//////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

Рис.5

IB

↓Ia

рой нулевой точкой является земля, строим диаграмму напряжений относительно земли, как для обычной симметричной нагрузки. Потенциал нулевой точки (земли) этой нагрузки совпадает с потенциалом нулевой точки источника тока (рис.5).

До прикосновения человека к токоведущей части, (рис.6), токи утечки Ia, Ib, Ic равны, т.к. равны сопротивления токам утечки, при Ua = Ub = Uc, по отношению к земле.. При этом:Ua =Ia\*Ra, Ub = Ib\*Rb, Uc = Ic\*Rc. Uo – напряжение нейтрали ис- точника тока относительно земли

( вследствие полной симметрии системы).

В случае прикосновения человека к фазе А (рис.6) сопротивление изоляции ее по от- ношению к земле уменьшится и станет равным: Ra1=Rh\*Ra/ (Rh+Ra). В результате

UC Рис.6

UA

UCB

U”’A

0”

U

U”C

U”B

AC

U

UAB

0

0

нарушится симметрия системы и произойдет пе- рераспределение напряжений

всех фаз по отношению к земле. Нулевая точка рассматриваемой нагрузки переместится из точ- ки О в точку О”. Нулевая точка источника при- обретет по отношению ее и земли некоторое на-

Uв пряжение Uo представленное на (рис.6) векто- ром ОО”. Напряжение первой фазы уменьшится

до величины U”A – вектор О”А.

Напряжения других фаз увеличатся до значений U”b и U”c, представленные векто- рами O”B и O”C. Т.о. новое состояние системы может быть представлено:

для фазы А: U”a=Ua – Uo, фазы В – U”b=Ub-Uo, фазы С – U”c=Uc-Uo, Uo>O. На основании закона Кирхгофа: Ia+Ib+Ic+Ih=0, отсюда:

(Ua-Uo)/Ra + (Ub-Uo)/Rb + (Uc- Uo)/Rc+ (Ua-Uo)/Rh = 0 (1) приняв во внимание: Ra=Rb=Rc=Rиз, последнее выражение примет вид:

(Ua+Ub+Uc)/R – 3Uo/R + Ua/Rh – Uo/Rh =0. (2) Ранее было отмечено: Ua+Ub+Uc=0, тогда

-3Uo/Rиз + Ua/Rh – Uo/Rh = 0. (3 )

Отсюда напряжение нулевой точки источника по отношению к земле: будет равно Uo=( Ua\*R)/(3Rh + Rиз). (4)

Тогда ток через тело человека:

Ih = (Ua – Uo)/Rh = 3Ua/(3Rh + Rиз). (5)

Принимая во внимание, что Ua – равно фазному напряжению и находится в фазе с Uo и переходя от векторов к мгновенному значению получим:

# Ih= 3Uф/ (3Rh + Rиз). (6)

Uф Uф



Uл

RA RB RC

Rh



Uл

R R R

Rh

I

rзм

C C

0 B B

A A

Рис.7

//////////

/////////////////////////////////////////////////////////////////////////

Рис. 8

Как видно из последнего выражения, ток через тело человека, в данном случае, оп- ределяется сопротивлением изоляции. Поэтому необходимо осуществлять постоян- ный контроль за состоянием изоляции в сети с изолированной нейтралью.

1. В случае если сопротивления изоляции не равны – Ra, Rb, Rc , ток через тело че- ловека определяется в соответствии с (1):

Ih=(3\*Uф\*Ra\*(Rb2 + Rb\*Rc + Rc2)/ Rh\*(Ra\*Rb+Rb\*Rc+Rc\*Ra) + Ra\*Rb\*Rc …(7).

1. Если протяженность сети более 1 км, то ток через тело человека определяется на- личием емкостной составляющей и не зависит от сопротивления изоляции прово- дов, даже если принять их значения равными бесконечности.

# Ih=3Uф\*\*C/ (1 + (3Rh\*\*C)2) 1/2 (8)

Т.о. ток через тело человека определяется величиной емкости (Сa, Cb, Cc = C). По- этому такая сеть используется локально, чтобы избежать появления емкостной со- ставляющей. Сети, обладающие большой емкостью, очень опасны и после их от- ключения от источника тока. Прикосновение к проводам таких сетей равносильно прикосновению к обкладкам заряженного конденсатора. Устранения опасности по- ражения емкостным током после снятия напряжения можно заземлением проводов сети.

Сети с изолированной нейтралью, обладающие большой емкостью, менее эффек- тивны в отношении безопасности, чем сети с заземленной нейтралью.

При любых значениях сопротивлений изоляции двухполюсное прикосновение к трехфазной трехпроводной сети приводит к тому, что человек совершивший двух- полюсное прикосновение ( к примеру: рука - рука) попадает под линейное напряже- ние (рис.7) и ток через него будет определяться: **Ih=Uл/ Rh.** ( 9).

Безусловно, применение электротехнических средств защиты (диэлектрические перчатки) значительно снизит негативность воздействия. При аварийной ситуации (рис.8) необходимо обратить внимание на контур подключения человека к сети, но чаще ток, проходящий через тело человека, как и в случае двухполюсного прикос- новения, определяется линейным напряжением и сопротивлением тела человека **Ih=Uл/ Rh.**

Теперь рассмотрим трехфазную четырехпроводную сеть с глухозаземленной

Uф

Uл UA



C

UAC

UAB

r0 Ih

Rh

B A

RA RB RC Н.

UC UCB

UB

Рис.10

//////////////////////////////////////////////////////////////

Рис.9

нейтралью, наряжением до 1000 В (рис.9). Такая сеть (380/ 220 В) применяется в промышленности и быту. Сопротивление заземленной нейтрали в данных сетях (4 Ом) значительно ниже сопротивлений токам утечки. На рис. 9, 10 показана ее

схема и векторная диаграмма, при нормальном режиме работы . Однополюсное прикосновение человека к фазе А ведет к образованию замкнутой электрической цепи: обмотка фазы А трансформатора – провод А – человек – земля, сопротивление Ro. Таким образом, сопротивления токам утечки вне данного контура. И ток через тело человека будет определяться из выражения:

Ih=Uф/ (Rh + Ro) (10)

Но поскольку Ro<<Rh, тогда**: Ih=Uф/ Rh**

И на векторной диаграмме (рис.10 ) изменений не будет. Т.е. при однополюсном прикосновении к сети опасность поражения будет всецело определяться напряжени- ем сети и электрическим сопротивлением тела человека. Но поскольку контур по- следовательный (Ih=const), то в реальных условиях возможно включение с сопро- тивлением тела человека сопротивления его обуви, пола помещения и т.д. Т.е.

# Ih=Uф/ ( Rh+r об + r п) (11)

При двухполюсном прикосновении, как и в случае сети с изолированной нейтралью:

**Ih=Uл/ Rh** (12)

Uф

Uл



C B

A

r0

Rh rзм

Н

RA RB RC

Рис.11

При аварийном режиме работы сети, к примеру, человек прикоснулся к фазе А, а фаза В замкнулась на землю, (рис. 11), напряжение фазы А распределяется пропор- ционально сопротивлению растекания тока в месте замыкания Rзм и сопротивле- нию заземленной нейтрали Ro. При этом напряжение относительно земли в точке замыкания на землю: Uзм=Iз\*Rзм, а нулевой точки трансформатора –

Uo = Iз\*Ro (13)

Из векторной диаграммы, (рис. 12), следует, что в действительности напряжение приложенное к телу человека несколько больше фазного и равно:

Uh= ( Uo2+ Uф2 – 2UoUф\*cos 120o)1/2 (14)

Но учитывая, что Ua=Ub=Uc=Uф, и т.к. Ro очень мало, то в расчетах примем

Uo=Iз\*Ro=0; Тогда Uh=Uф. Следовательно, при

UC

Рис. 12

UA

UCB

UAC

UAB

Uh

аварийном режиме работы сети с глухозаземленной нейтралью ток через тело человека определяется, как и при однополюсном прикосновении, фазным напряжением и сопротивлением тела человека:

UB **Ih=Uh/ Rh** (15)

ТАБЛИЦА 1

АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ТОКОМ В РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| N  п/п | Характер прикос-  новения | Режим нейтрали | Расчетная формула |
| 1. | Однополюсное прикосновение к трехфазной сети  норм. режим раб. | И.Н Ra=Rb=Rc=R  R>0,5 МОм, L<1 км | Ih= 3Uф/ (3Rh + Rиз) |
| 2. | Однополюсное прикосновение к трехфазной сети  норм. режим раб | ИН  Ra> Rb> Rc≥R R>0,5 МОм, L<1 км | Ih= √3\*Uф\*Ra\* Rb2+Rb\*Rc+Rc2/  Rh(RaRb+RbRc+RcRa)+RaRbRc |
| 3. | Однополюсное прикосновение к  трехфазной сети | И.Н Ra=Rb=Rc=R  R>0,5 МОм, L>1 км | Ih=3\*Uф\*(\*C)/ 1+( 3\*Rh\*\*C)2 |
| 4. | Двухполюсное- прикосновение к  трехфазной сети | З.Н, И.Н | Ih = Uл./ Rh |
| 5. | Однополюсное прикосновение к трехфазной сети;  норм. режим раб | З.Н.. | Ih = Uф / (Rh+Ro) |
| 6. | Однополюсное прикосновение к трехфазной сети;  аварийный режим | И.Н | Ih = Uл./ Rh |
| З.Н.. | Ih = Uф / Rh |

# ВЫБОР СХЕМЫ СЕТИ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА

При напряжении до 1000 В, как отмечалось ранее, распространение получили две схемы сети: трехфазная трехпроводная с изолированной нейтралью и трехфазная четырехпроводная с заземленной нейтралью. Выбор схемы сети осуществляется как по технологическим требованиям, так и по условиям электробезопасности.

По технологическим требованиям предпочтение отдается четырехпроводной сети, поскольку она позволяет использовать два рабочих напряжения – линейное и фаз- ное. Т.о. можно питать как силовую нагрузку, напряжением 380 В, так и освети- тельную сеть, напряжением 220 В.

По условиям безопасности предпочтение следует отдать трехпроводной трехфаз- ной сети с изолированной нейтралью, в соответствии с ранее проведенным рас- смотрением сетей. Однако эти сети должны быть сравнительно короткими, не под- верженные воздействию агрессивных сред и находящихся под постоянныи надзором электротехнического персонала. ПУЭ рекомендует применение этих сетей при по- вышенных требованиях безопасности, к примеру, для передвижных установок.

Сети с глухозаземленной следует применять там, где невозможно обеспечить надлежащую изоляцию токоведущих проводов, когда нельзя быстро отыскать по- вреждение изоляции или когда емкостные токи замыкания на землюдостигают больших значений.

При напряжении выше 1000 В применяются трехпроводные трехфазные сети с изолированой и заземленной нейтралью.

По технологическим требованиям в соответствии с предписаниями ПУЭ, для на- пряжений 110 кВ и выше предпочтение отдается сети с эффективным заземлением нейтрали ( путем непосредственного присоединения к заземлителю – наглухо). Для сетей напряжением от 1000 В до 35 кВ ПУЭ устанавливает режим работы с изоли- рованной нейтралью, не присоединенной к заземляющему устройству или присое- диненной к нему через приборы сигнализации, измерения, защиты и т. д.

По условиям безопасности в сетях напряжением выше 1000 В предпочтение отда- ется сети с изолированной нейтралью, т.к. защитная роль изоляции утрачивается из-

за большой емкости проводов относительно земли и для человека одинаково опасно прикосновение как к проводу сети с изолированной так и заземленной нейтралью. В связи с тем,что при напряжениях выше 1000 В, в сетях с изолированной нейтралью возможны дуговые замыкания фазы на землю, а вокруг места замыкания могут воз- никать и долго существовать высокие потенциалы, т.е. большие напряжения при- косновения и шага. В то время как в сети с заземленной нейтралью произойдет бы- строе отключение поврежденного участка релейной защитой и тем самым отпадает возможная опасность для человека.

# ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какова принятая в расчетах величина сопротивления тела человека?
2. Какие вида трехфазных сетей напряжением до 1000 В применяются в РФ?
3. Что такое фазное и линейное напряжения сети?
4. Что такое нормальный и аварийный режимы работы сети?
5. Как определяется величина тока, протекающего через тело человека, при однопо- люсном прикосновении:

а) к трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью при нормальном режиме работы?

б) к трехфазной чатырехпроводной сети с заземленной нейтралью в нормальном режиме работы сети?

в) к трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью при аварийном ре- жиме работы?

г) к трехфазной чатырехпроводной сети с заземленной нейтралью при аварийном режиме работы сети?

1. Как зависит ток, проходящий через человека, при однофазном прикосновении к трехфазной трехпроводной сети с ИН от сопротивления изоляции и емкости фаз?
   1. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

После ознакомления с п.2 и ответа на вопросы для самопроверки необходимо провести расчеты силы тока для каждого случая представленного в ниже приведен- ной таблице ( т.е. заполнить таблицу ).

ТАБЛИЦА РАСЧЕТНЫХ ДАННЫХ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант  № | Режим  нейтрали | Параметры сети для расчета | | | | | | | | | | |
| ИН | | | | | | | | ЗН | | |
| I | R из, кОм | 0,2 | 1,5 | 3 | 6 | 8 | 10 | 15 | 20 | 1,5 | 8 | 20 |
| С расч, мкФ | 0 | 0,1 | 0,25 | 0,5 | 1,0 | 1,85 |  |  | 0,1 | 0,5 | 1,8 |
| II | R из, кОм | 0,5 | 1,7 | 3,5 | 6,5 | 8,2 | 10,5 | 16 | 21 | 1,7 | 8,2 | 21 |
| С расч, мкФ | 0 | 0,15 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 1,2 |  |  | 0,15 | 0,3 | 1,2 |
| III | R из, кОм | 0,7 | 1,9 | 4 | 7 | 8,8 | 11 | 17 | 22 | 1,9 | 8,8 | 22 |
| С расч, мкФ | 0 | 0, 2 | 0,3 | 0,6 | 0,9 | 1,5 |  |  | 0,1 | 0,3 | 0,9 |
| IV | R из, кОм | 0,9 | 2,1 | 4,5 | 7,2 | 9 | 12 | 18 | 23 | 2 | 9 | 23 |
| С расч, мкФ | 0 | 0,3 | 0,5 | 1,1 | 1,5 | 2,0 |  |  | 0,3 | 1,0 | 2,0 |
| V | R из, кОм | 1 | 2,5 | 5 | 7,5 | 9,4 | 13 | 18 | 24 | 2,5 | 9,4- | 24 |
| С расч, мкФ | 0 | 0,1 | 0,4 | 0,8 | 1,2 | 1,6 |  |  | 0,1 | 0,8 | 1,6 |
| VI | R из, кОм | 1,2 | 2,8 | 5,5 | 7,8 | 9,7 | 14 | 19 | 25 | 2,8 | 9,7 | 25 |
| С расч, мкФ | 0 | 0,3 | 0,5 | 0,8 | 1,0 | 1,5 |  |  | 0,3 | 0,8 | 1.5 |

* 1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ Порядок проведения работы

Для выявления изменения опасности прикосновения к фазному проводу в сетях с различными режимами нейтрали, в нормальном режиме измерить ток, протекающий через тело человека, при заданных в таблице №1 симметричных значений сопротив- ления изоляции и емкости фаз относительно земли, для чего необходимо сделать следующее:

* В пункте задание 1 вызвать – **Electro.exe**. На дисплее появится схема сети с изолированной (ИН) и заземленной нетралью ( ЗН). Далее действуйте в соответст- вии с

нижеприведенным описанием.

# В трехфазных трехпроводных сетях с изолированной нейтралью

* Изолировать нейтраль – отключить переключатель Т2 (убрать галочку) убедиться по вольтметру V о наличии фазных напряжений на стенде с помощью переключателей П5 и П6.
* Подключить сопротивление изоляции фазных проводов к земле тумблерами Т4, Т5, Т6, Т7. Установить емкости фаз равными нулю (С = 0, по сути мы пренебрегаем значениями емкости), выставить одинаковые сопротивления изоляции в трех фазах по 0.2 кОм и замерить Ih . Повторять измерения до тех пор, пока не будет измерена величина силы тока проходящего через тело человека - Ih при всех значениях Rиз представленных в таблице № 1.
* Данные измерений записать в левую верхнюю часть таблицы №1.
* Привести программу в исходное положение. Отключить сопротивления изоляции (R = ) путем снятия галочек (Т4, Т5, Т6, Т7). Включать поочередно и симметрично значения емкостей фаз, измеряя при этом токи , протекающие через тело человека - Ih . Результаты записать в левую нижнюю часть таблицы №1;

# Таблица №1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Исследуемая  часть | | | Изолированная нейтраль | | | | | | | | | | | | | | | | | | Заземленная  нейтраль | | |
| Нормальный режим | С = 0 | Rиз,эксп  .кОм | 0.2 | 1.5 | 3 | 6 | 8 | 10 | | 15 | 20 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 800 | 1000 |  | 1.5 | 8 | 20 |
| Ih эксп,  мА | 133 | 97,4 | 70 | 45 | 37 | 31 | | 24 | 17 | 3,8 | 2 | 1,3 | 1 | 0,8 | 0,7 | 0,5 | 0,4 |  | 136 | 136 | 136 |
| R =  | С эксп,  мкФ | 0 | 0.1 | | 0.25 | | | 0.5 | | 1.0 | | 1.85 | |  | | | | | | 0.1 | 0.5 | 1.85 |
| Ih эксп,  мА | 0 | 12 | | 42 | | | 62 | | 112 | | 191 | |  | | | | | | 136 | 136 | 136 |

**В трехфазных четырехпроводных сетях с заземленной нейтралью** Привести программу в исходное положение. Для получения аналогичных зависимо- стей в сетях с заземленной нейтралью.

* Включить тумблер Т2 (поставить галочку) и установить переключателем П1 за- данное преподавателем значение сопротивления заземления нейтрали ( 4 Ом ) произвести измерения Ih как и в предыдущих пунктах, но для сетей с заземленной нейтралью, не забывая переключать сопротивления изоляции и емкости фаз относи- тельно земли нулевого провода (тумблер Т4 – отметить галочкой). Результаты запи- сать в правую часть таблицы №1.

# Выявление опасности прикосновения к фазному проводу в трехфазных сетях с изолированной и заземленной нейтралью в аварийном режиме, т.е. при замы- кании одной из фаз сети на землю:

* Собрать сеть с изолированной нейтралью (убрать галочку у тумблера Т2).
* Установить Rиз и C, заданные преподавателем (уже установлены).
* Измерить вольтметром V фазные напряжения сети, для чего вольтметр должен бать включен с помощью переключателей П5 и П6 между нулевой точкой транс- форматора и каждым из фазных проводов по очереди.
* Полученные значения записать в теблицу №2.

# Таблица №2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Режим нейтрали | Uф, В | Rиз, кОм | С,  мкФ | Rзам кОм | Фаза, замкнутая на землю | | | | | | | | |
| I | | | II | | | III | | |
| Ih1 | Ih2 | Ih3 | Ih1 | Ih2 | Ih3 | Ih1 | Ih2 | Ih3 |
| ИН | 127 |  | - | 0.2 | 250 | 250 | 0 | 245 | 0 | 230 | 0 | 223 | 223 |
| ЗН | 127 |  | - | 0.2 | 165 | 165 | 150 | 161 | 157 | 170 | 155 | 162 | 162 |

Замкнуть фазу I на землю с помощью шнура Ш2 через сопротивление замыкания Rзам фазного провода на землю. Величину задает преподаватель. Измерить ток че- рез тело человека в аварийном режиме при поочередном прикосновении его к фазам 1, 2, 3 (переключатель П2). Получить значения токов записать в таблицу №2.

# Построение графиков функций:

Для этого необходимо нажать на кнопку ‘Графики’ в правом верхнем углу. При этом откроется новое окно программы, где необходимо будет ввести полученные результаты (экспериментальные и расчетные). По окончании ввода данных необхо- димо нажать на кнопку ОК для построения графиков на экране.

Полученные графики можно распечатать на принтере посредствам нажатия на кнопку ‘Print’ в окне графиков.

# По результатам работы сделать выводы и ответить на вопросы

* Как зависит ток, проходящий через тело человека, от сопротивления изоляции и емкости фаз для сетей с ИН и ЗН?

- Какая из двух сетей опаснее для человека при нормальном режиме работы и при аварийном?

ЛИТЕРАТУРА:

1. КУРБАТОВ В.А. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ. Конспект лекций

для бакалавров. Учебное пособие. – М.: МТУСИ, 2015 г., ПЭВ.

1. ДОЛИН П.А. ОСНОВЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ М.: ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 1984, 450 С.

Автор:

В.А. Курбатов, канд. ф.- м. наук, доцент

Издание утверждено на заседании кафедры ЭБЖиЭ.

Протокол № 7 от

26.01.2018 г.

Издание утверждено советом заочного факультета.

Протокол № 5 от 02.02.2018 г.

Рецензент: Костюк Е.В., к.т.н., доцент