

РАЗДЕЛ „ТЕХНИЧЕСКА БЕЗОПАСНОСТ“

1. НОРМАТИВНИ ОСНОВИ И ОРГАНИЗАЦИЯ НА ДЕЙНОСТТА ПО ОСИГУРЯВАНЕ НА ЗДРАВΟΣЛОВНИ И БЕЗОПАСНИ УСЛОВИЯ НА ТРУД В РБ

1.1. ТРУДОВО ЗАКОНОДАТЕЛСТВО. ТЕРМИНОЛОГИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ. ТЕХНИКА НА БЕЗОПАСНОСТ. ХИГИЕНА НА ТРУДА

1. Здравословни и безопасни условия на труд са такива условия на труд, които не водят до професионални заболявания и злополуки при работа и създават предпоставка за пълно физическо, психическо и социално благополучие на работещите лица.

Осигуряването на **здравословни и безопасни условия на труд** е система от нормативни актове и съответстващите им социално - икономически, организационни, технически, хигиенни и лечебно профилактични мерки и средства, осигуряващи безопасност и запазване на здравето и работоспособността на човек в трудовата му дейност.

В практическата дейност са обособени три **области на ЗБУТ**: трудово законодателство и управление; техническа безопасност и хигиена на труда.

Трудово законодателство и управление на ЗБУТ - система от законодателни актове и социално - икономически мерки, развивана и осъществявана от съответни държавно – административни органи. Трудовото законодателство включва мерки от юридическо и техническо естество.

Техника на безопасността - система от организационни и технически мероприятия и средства, които предотвратяват въздействието на опасни производствени фактори върху работещите.

Опасен производствен фактор - въздействието му при определени условия довежда до травма или друго рязко влошаване на здравословното състояние (електрически ток, движещи се части на машини и механизми, високи температури, взривни, токсични, химични и биологични продукти и др.).

Хигиена на труда - система от организационни, хигиенни и санитарно-технически мероприятия и средства, които предотвратяват или намаляват въздействието на вредни производствени фактори върху работещите.

Вреден производствен фактор - въздействието му при определени условия довежда до заболяване или до намаляване на работоспособността. Вредният производствен фактор може да се разглежда като опасен в зависимост от нивото и продължителността на въздействието. Към вредните производствени фактори се отнасят шум, вибрации, електромагнитни полета, йонизиращи лъчения и др.

2. Управлението на ЗБУТ е целенасочено въздействие върху функциите на планиране, контрол, информация и стимулиране. Основните нормативни документи у нас са:

2.1 Конституция на Република България. Съгласно чл. 48, ал.5: “Работещите имат право на здравословни и безопасни условия на труд, на минимално трудово възнаграждение и на заплащане, съответстващо на извършваната работа, както и на почивки и отпуск при условия и по ред, определени със закон.”

2.2. Кодекс на труда (КТ). Нормативен документ, който урежда трудовите отношения между работника или служителя и работодателя, както и други отношения, непосредствено свързани с тях. Глава XIII на КТ се отнася до здравословни и безопасни условия на труд. Работодателят е длъжен да осигури условия на труд, така че опасностите за живота и здравето на работника или служителя да бъдат отстранени, ограничени или намалени.

2.3. Закон за здравословни и безопасни условия на труд (Обн. ДВ бр. 124 от 1997г.)

Целта на закона е защита на живота, здравето и работоспособността на работещите. С този закон се уреждат правата и задълженията на държавата, работодателите, работещите, представителите на работещите по безопасност и здраве при работа, на лицата, които за своя сметка работят сами или в съдружие, и на други организации и юридически лица за осигуряване на ЗБУТ.

Прилага се във всички предприятия, където се осъществява трудова дейност или се провежда обучение,

независимо от формата на организация, вида на собственост и основанието, на което се извършват тези дейности.

ЗБУТ се осигуряват във фаза на проектиране, изграждане, реконструкция, модернизация, въвеждане в експлоатация, експлоатация, ремонт и извеждане от действие.

Разходите за осигуряване на ЗБУТ са за сметка на работодателя.

РАБОТОДАТЕЛЯТ има следните законови задължения за осигуряване на ЗБУТ на всички работещи, независимо от времетраенето на договора и продължителността на работното време, включително при работа на смени и при полагане на нощен труд:

1. Да оценява рисковете за безопасността и здравето на работещите (работно оборудване, химични вещества и организация на работните места);
2. Да планира и прилага превантивни мерки и методи на работа и производство, които да осигуряват подобряване нивото на защита на работещите;
3. Да възлага на работещите задачи, съобразени с техните компетентности, опит, възможности, както и по отношение на безопасността и здравето при работа;
4. Да отчита специфичните опасности за работещите, които се нуждаят от специална закрила и да предвиди съответните улеснения на работните им места;
5. Да осигури ефективен контрол за извършване на работата без риск за здравето и по безопасен начин;
6. Да не допуска до местата, където съществува опасност за здравето и живота, лица, които не са подходящо обучени, инструктирани и екипирани;
7. Да предприеме необходимите мерки за координация на действията за осигуряване на ЗБУТ, когато на един обект или работна площадка се извършват работи или дейности от работещи и на други работодатели;
8. Когато работещият откаже или преустанови изпълнението на работа поради възникнала опасност за здравето или живота, работодателят или прекият ръководител е длъжен незабавно да установи основателността на отказа и да предприеме необхо-

димите мерки за отстраняването на опасността;

9. Задължително да установява, разследва и регистрира всяка станала трудова злополука и известните му случаи на професионални заболявания;

10. Да създаде специализирана служба по безопасност и здраве при работа, която да изпълнява задълженията, свързани с осигуряване на ЗБУТ;

11. Да осигури обслужване на работещите от регистрирани служби по трудова медицина (консултират и подпомагат по осигуряване и поддържане на ЗБУТ);

12. Да учреди комитет (в предприятия и търговски дружества с повече от 50 работници) или група по условия на труд (при по-малко от 50 работници) с участието на равен брой представители на работодателя и работещите (с мандат от 4 години).

РАБОТЕЩИТЕ са длъжни:

1. Да се грижат както за своето здраве и безопасност, така и за тези на другите лица, пряко засегнати от тяхната дейност, в съответствие с квалификацията им и дадените им инструкции.

2. Да използват правилно машините, апаратите, инструментите, опасните вещества и материали, транспортните средства и другото работно оборудване, дадените им лични предпазни средства и специално работно облекло;

3. Да използват правилно и по предназначение и да не отстраняват, прекъсват, изключват или променят самоволно средствата за колективна защита и предпазните устройства.

4. Да информират незабавно работодателя или съответните длъжностни лица за всяка възникнала обстановка при работа, която може да представлява непосредствена опасност за тяхното здраве и за всички неизправности в средствата за колективна защита;

5. Да съдействат на работодателя, на съответните длъжностни лица и/или на представителите на работещите по безопасност и здраве при работа при изпълнението на мероприятията за осигуряване на ЗБУТ.

В СТРУКТУРАТА НА ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ на дейността за осигуряване на ЗБУТ са възложени основни функции на:

Министерски съвет - определя и провежда политиката за осигуряване на здравословни и безопасни условия на труд.

Министърът на труда и социалната политика - разработва, координира и провежда държавната политика в областта на осигуряването на здравословни и безопасни условия на труд.

Министърът на здравеопазването ръководи и координира дейността по опазване и укрепване на здравето при работа.

Национален осигурителен институт (НОИ) - изпълнява функции по задължителното държавно обществено осигуряване.

Националният съвет по условия на труд (НСУТ) работи на обществени начала и се състои от представители на Министерския съвет; Националния осигурителен институт; национално представителните организации на работодателите и на работещите. Осъществява координация, консултации и сътрудничество при разработването и осъществяването на политиката за осигуряване на здравословни и безопасни условия на труд на национално равнище.

2.4. Кодекс за социално осигуряване (ДВ бр. 110 /1999 г.). Този кодекс урежда обществените отношения, свързани с държавното обществено осигуряване при общо заболяване, трудова злополука, професионална болест, майчинство, безработица, старост и смърт, както и допълнителното социално осигуряване (допълнително задължително и допълнителното доброволно пенсионно осигуряване.

КСО дава определение за понятието “трудова злополука” - всяко травматично увреждане на здравето, станало **по време и във връзка** или **по повод** на извършваната работа, както и **при всяка работа**, извършена **в интерес на предприятието**, когато е причинило неработоспособност или смърт (чл. 55 от КСО).

Трудова е и злополуката, станала с лица, осигурени за всички социални рискове или осигурени само за трудова злополука и професионална болест, по време на обичайния път при отиване или връщане от работното място до:

1. Основното място на живеене или до друго допълнително място на живеене с постоянен характер;

2. Мястото, където осигуреният обикновено се храни през работния ден;
3. Мястото за получаване на възнаграждение.

Не е налице трудова злополука, когато пострадалият умишлено е увредил здравето си.

Ред за установяване, разследване, регистриране и отчитане на трудовите злополуки (ПМС 263/ 30.12.1999 г., ДВ бр.6/2000 г.)

Последователност на процедурите:

1. Деклариране на трудова злополука в предприятието.
2. Разследване и установяване на трудовите злополуки.
3. Регистриране и отчитане на трудовите злополуки.

Декларирането на трудовите злополуки се извършва в следната последователност:

- За всяка трудова злополука пострадалият, непосредственият му ръководител или свидетелите на злополуката незабавно уведомяват Работодателя или упълномощеното от него длъжностно лице.

- Незабавно се организира разследване на обстоятелствата на злополуката и се съставя протокол, като към него се прилагат писмени показания на свидетелите на злополуката. При разследването задължително се канят представители на работещите.

- Ръководителят или упълномощеното от него длъжностно лице са длъжни в срок 3 работни дни да подадат в териториалното поделение на НОИ декларация по образец за всяко пострадало лице поотделно. Когато злополуката не бъде декларирана, пострадалият или неговите наследници имат право да подадат декларацията в срок една година от настъпването на злополуката.

- Когато има данни за настъпила трудова злополука, довела до временна неработоспособност, осигурителят предоставя на ТП на НОИ и копие от болничния лист.

- Осигурителят е длъжен да уведоми незабавно териториалното поделение на НОИ, ИА "Главна инспекция по труда" и прокуратурата за всяка злополука, причинила увреждане на повече от трима работещи, инвалидност или смърт.

Разследване и установяване на трудовите злополуки

- Териториалното поделение на НОИ открива досие за трудова злополука.

- Преценява се дали да се открие производство за разследване на злополуката и се издава заповед от ръководителя на териториалното поделение на НОИ. Разследването на злополуката е задължително за всички случаи, когато има пострадали повече от трима работещи или инвалидност или смърт.

- Определят се членовете на комисията за разследване на злополуката- представители на ИА "Главна инспекция по труда", по един представител на работодателя и на работещите, както и на други компетентни органи.

- Резултатите от разследването се оформят в протокол. В 7-дневен срок от декларирането издава разпореждане за приемане или за неприемане на злополуката за трудова и се изпраща на осигурения и на осигурителя в 7-дневен срок от издаването му.

Регистриране и отчитане на трудовите злополуки:

Осигурителят поддържа регистър за трудови злополуки, в който се вписват номерът и датата на трудовата злополука; входящият номер на декларацията в ТП на НОИ; трите имена и ЕГН на пострадалия; мястото и времето на злополуката; номерът и датата на разпореждане на ТП на НОИ за приемане или не на злополуката за трудова; последиците от злополуката; броят на дните с неработоспособност.

НОИ поддържа национална информационна система за регистрираните трудови злополуки.

Европейско законодателство в областта на ЗБУТ. СЕ маркировка - гаранция за безопасност и стандартизация. На европейско ниво са разработени множество директиви, които създават една обща база от технически изисквания и стандарти за безопасност. Някои от тези директиви изискват така наречената СЕ-маркировка на стоките. Когато един продукт е преминал през процедура за оценка за техническо съответствие, той се отбелязва със съответната маркировка (символът СЕ) – или върху самото изделие, или върху опаковката, или в съпровождащите го документи, ако не е възможно по друг начин. Този символ означава, че стоката отговаря на всички технически изисквания, които са поставени в директивата за съответния продукт.

СЕ маркировката играе роля на “Европейски паспорт”. По-конкретно, целите, които изпълнява СЕ маркировката, са следните:

1. СЕ маркировката върху даден продукт е декларация от страна на производителя, че продуктът отговаря на съществените изисквания от съответното Европейско законодателство, свързано със здравето, безопасността и защита на околната среда.

2. СЕ маркировката върху продуктите показва на служителите в съответните министерства и ведомства, че продуктът може да се въведе законно на пазара в страната.

3. СЕ маркировката върху продукта гарантира свободното движение на продукта в рамките на Единния пазар на страните от ЕС и EFTA (Европейска асоциация за свободна търговия) - това прави общо 28 държави.

4. СЕ маркировката върху продукта позволява изтеглянето на продуктите, които не съответстват на нормите от страна на митническите и мониториращите органи.

Контролни въпроси:

1. Какви са законовите задължения на работодателя за осигуряване на ЗБУТ?
2. Кои са основните звена в структурата на организация и управление на дейността по осигуряване на ЗБУТ?
3. В какви случаи вредният производствен фактор става опасен производствен фактор?
4. Какво е определението за трудова злополука?
5. Каква е последователността за деклариране и разследване на трудова злополука?

2. КЛАСИФИКАЦИОННИ ПОДХОДИ В ТЕХНИЧЕСКАТА БЕЗОПАСНОСТ

2.1. КЛАСИФИКАЦИЯ НА РАБОТНИ ПОМЕЩЕНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИ ИЗДЕЛИЯ ПО УСЛОВИЯ НА ЕЛЕКТРО-, ПОЖАРО- И ВЗРИВООПАСНОСТ

Целта на класификацията на електрически уредби, електрически мрежи, работни помещения, класове на изпълнение и степени на защита на електротехнически съоръжения е да се извършва технически обоснован избор на големината на работното напрежение, на конфигурацията на електрическите мрежи, на съоръженията според условията на работа и защитните мероприятия съгласно изискванията за електробезопасност. В този смисъл са въведени следните основни термини:

1. Определения:

1.1. Електрическа уредба - съвкупност от машини, апарати, линии, спомагателни съоръжения, строителни конструкции и електрически помещения, в които са разположени, предназначени за производство, преобразуване, трансформация, пренос, разпределение и потребление на електрическа енергия. За **действащи** се считат електрически уредби и съоръжения, които се намират напълно или частично под напрежение или на които може да бъде подадено напрежение. Използваните в тях работни машини, апарати, съоръжения, механизми, приспособления и инструменти трябва да отговарят на техническите изисквания, предвидени в съответните нормативни документи.

Според големината на работното напрежение **електрическите уредби** се класифицират на :

- Уредби с напрежение до 1000 V;
- Уредби с напрежение над 1000 V.

1.2. Защита срещу директен допир (защита при нормална работа, при нормално състояние на изолацията или основна защита) - защита, с която се предотвратяват поражения от електрически ток поради допиране или опасно приближаване до части под напрежение.

1.3. Защита срещу индиректен допир (защита при наличие на дефект на изолацията) - защита, с която се предотвратяват поражения от електрически ток поради възникване на опасни напрежения на частите, които нормално не се намират под напрежение, при дефект на електрическа изолация.

2. Класификация на електрически мрежи.

Според големината на **работното напрежение електрическите мрежи** се класифицират на:

- Електрически мрежи до 1000 V;
- Електрически мрежи над 1000 V;

Според **режима на работа на неутралата** на източника трифазните мрежи се класифицират на такива с:

Директно заземена неутрала - неутрала (звезден център) на генератор или трансформатор, която е присъединена към заземително устройство непосредствено или чрез малко съпротивление, например токов трансформатор.

Изолирана неутрала - неутрала (звезден център) на генератор или трансформатор, която не е присъединена към заземително устройство или е присъединена към такова през голямо съпротивление (чрез напреженов трансформатор, апарат за компенсиране на капацитивния ток на мрежата или чрез друг апарат).

Според **изискванията по електробезопасност при работно напрежение до 1000 V:**

Означаването на този вид мрежи е символно - буквено:

Първа буква - режим на неутралата на източника, съответно I - изолирана неутрала и T – директно заземена неутрала.

Втора буква - защитно мероприятие, приложено срещу индиректен допир към техническите съоръжения, т.е. присъединяване на достъпни токопроводими части съответно към: неутралата чрез защитни проводници (зануляване) - буква N; заземител (заземяване) - T.

Трета буква - обхват на защитния проводник, съответно S (специално изведен защитен проводник с маркировка PE, отделно от нулевия проводник с маркировка N) и C (обединен неутрален и защитен проводник с маркировка PEN).

Схема TT - неутралата на източника на хранване е свързана директно със земя, а достъпните токопроводими части на

уредбата са свързани към заземители, електрически отделени от директно заземената неутрала на източника (фиг. 2.1).

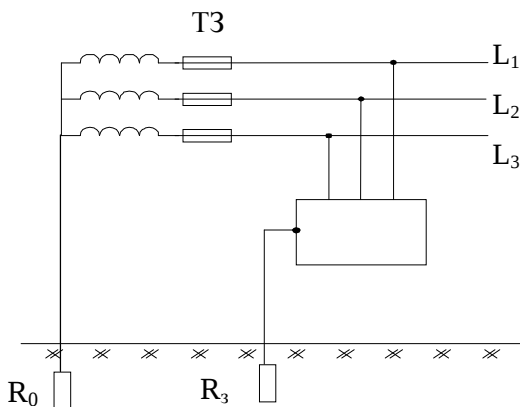
Схема IT - неутралата на източника на захранване е изолирана от земя или е свързана със земя посредством импеданс, а достъпните токопроводими части на уредбата са свързани към заземители отделно, общо или към заземителя на импеданса (фиг. 2.2).

Схема TN, при която неутралата на източника на захранване е свързана директно със земя, а достъпните токопроводими части на уредбата са свързани към неутралата чрез защитни проводници; прилагат се три разновидности на схемата TN:

а) схема TN-S, при която по цялата дължина на мрежата защитният и неутралният проводник са разделени (фиг. 2.3);

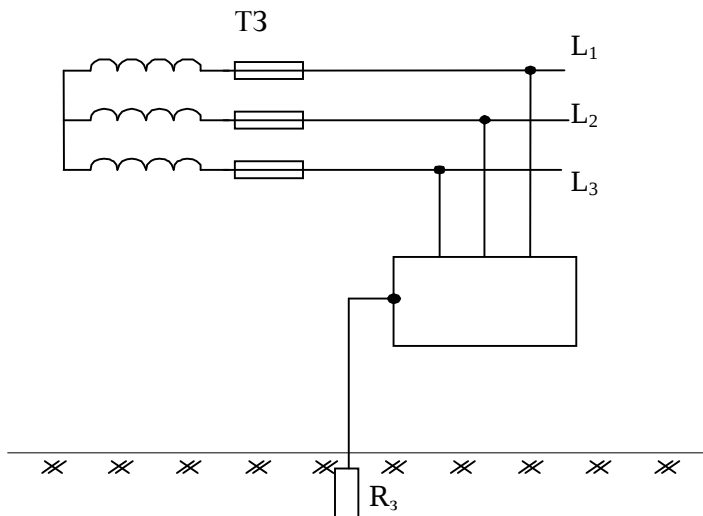
б) схема TN-C, при която функциите на защитния и на неутралния проводник са обединени и се осъществяват от един проводник, от източника на захранване за цялата дължина на мрежата (фиг. 2.4);

в) схема TN-C-S, при която функциите на защитния и неутралния проводник са обединени и се осъществяват от един проводник, от източника на захранване само за част от дължината на мрежата (фиг.2.5);

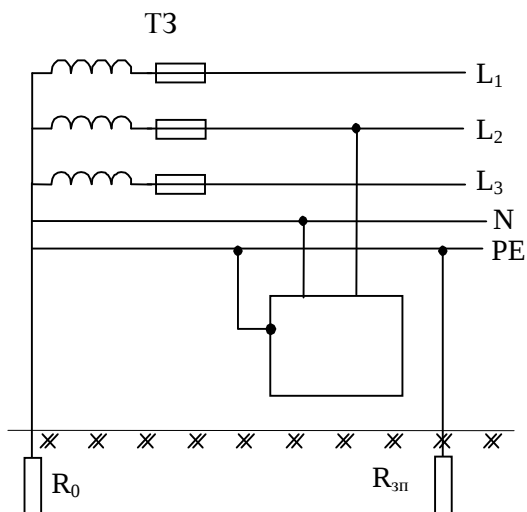


Фиг.2.1. Схема TT

R_0 - работно заземяване, R_3 - защитно заземяване, ТЗ- токова защита (предпазител или автоматичен прекъсвач)

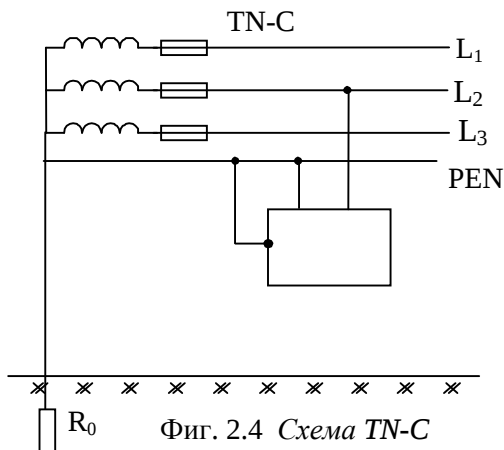


Фиг. 2.2. Схема IT

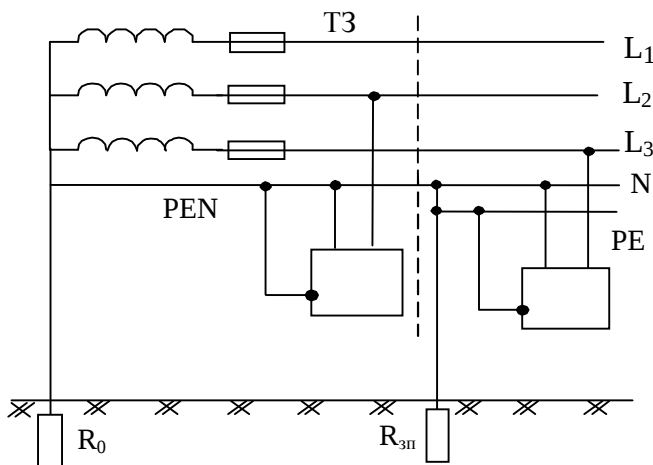


Фиг. 2.3. Схема TN-S

$R_{3П}$ - повторен заземител на защитен проводник



Фиг. 2.4 Схема TN-C



Фиг. 2.5. Схема TN-C-S

3. Според изискванията за електробезопасност работните помещения се класифицират според възприети критерии:

А. Критерий “влажност на околната среда”:

A1. Сухо помещение - относителната влажност на въздуха (ОВ) не надвишава 60 %;

A2. Влажно помещение - ОВ е по-голяма от 60 %, но не надвишава 75 %;

A3. Мокро помещение - ОВ надвишава 75 %;

А4. Особено мокро помещение - помещение, в което ОВ е близо до 100 % (таванът, стените, подът и предметите са покрити с влага).

Б. *Критерий “ температура на околната среда “:*

Б1. Топло (горещо) помещение - помещение, в което температурата надвишава постоянно или периодически (повече от едно денонощие) + 35° С;

Б2. Студено помещение - помещение, в което температурата на въздуха е по-ниска от 1° С.

В. *Критерий “прашно помещение”* - помещение, в което се отделя технологичен или друг вид прах, който може да попадне по тоководещи части, проникне вътре в машини, апарати и др.:

В1. помещение с токопроводим прах;

В2. помещение с нетокопроводим прах.

Г. *Критерий “ химически активна или органична среда “* - помещение, в което постоянно или за дълъг период от време има агресивни пари, газове, течности, образуват се наслоявания или плесен, действащи разрушаващо на електрическата изолация и тоководещите части.

Д. *Критерий “токопроводими подове”* - метални, землени, стоманобетонни, тухлени и др.

Е. *Критерий “възможност за едновременно докосване на човек до съединени със земята метални конструкции на сградата, технологични апарати, механизми, тръбопроводи и др. от една страна и с металния корпус на електрическите съоръженията от друга.”*

В съответствие с тези критерии работните помещения се категоризират по следния начин според изискванията за електро-безопасност:

Нормално помещение – сухо помещение А1 и липсват Б1 (не е топло/горещо), В (не е прашно) и Г.

Помещение без повишена опасност за поражение от електрически ток - липсват условия, създаващи повишена и особена опасност.

Помещение с повишена опасност за поражение от електрически ток - наличие поне на един от критерии А2 или Б1 или В1 или Д или Е;

Особено опасно помещение за поражение от електрически ток:

- Наличие поне на един от критерии А4 или Г;
- Наличие едновременно на две или повече условия, създаващи повишена опасност;

Всички работи, които се извършват на открито са свързани с особена опасност. Специална категория работни места се оформят в метални резервоари, котли, тунели, кладенци и др. подобни. Пример за избора на работно напрежение при работа с преносими лампи, преносими трансформатори и ръчни електрически инструменти според характеристиката на работната среда:

	Преносими лампи	Инструменти и трансформатори
Среда с нормална опасност	42 V	220 (380) V
Среда с повишена и особена опасност	24 V	42 V
Метални резервоари, тунели, кладенци и др.	12 V	24 V

4. Клас на защита срещу поражения от електрически ток - характеристика, която служи за изразяване на начина на електрообезопасяването при електротехнически и електронни изделия за напрежение до 1000 V (Таблица 2.1).

1. **Основна изолация** - изолация на тоководещи части, предназначена да осигурява основната защита срещу поражения от електрически ток.

2. **Допълнителна изолация** - независима изолация, предвидена в допълнение към основната изолация, за да осигури защита срещу поражения от електрически ток при повреда на основната изолация.

3. **Двойна изолация** - изолация, която се състои от основна и допълнителна изолация.

4. **Усилена изолация** - изолация на тоководещи части, която осигурява защита срещу поражения от електрически ток, равностойна на тази на двойна изолация.

5. **Безопасно свръхниско напрежение** (означение на български език БСНН, означение на английски език SELV) – свръхниско напрежение, получавано от източник със защитно разделяне,

например трансформатор за безопасност или еквивалентен източник, при което никоя точка от вторичната верига няма връзка със земя, а достъпните за допиране токопроводими части не са предназначено свързани със земя или със защитен проводник.

Таблица 2.1

Клас	Характеристика на класовете
0	Само работна изолация; няма клема за свързване на защитен проводник
I	Изделие, което има навсякъде основна изолация и има защитна клема; могат да имат части с двойна или усилена изолация или части, които работят при безопасно свръхниско напрежение
II	Изделие, което има навсякъде двойна или усилена изолация и няма защитна клема; могат да имат части, които работят при безопасно свръхниско напрежение
III	Изделие, което е предназначено да работи само при безопасно свръхниско напрежение; нямат вътрешни вериги за напрежение, по-високо от номиналното, и нямат защитни клеми

5. Степен на защита, осигурена от външната обвивка (IP). Освен електрическата изолация и специална защитна клема, за целите на електробезопасността се използват и защитните обвивки на съоръженията. Тяхното предназначение е да предотвратят или ограничават проникването на външни тела, влага и вода към части под напрежение или движещи се части на съоръжението. Маркировката на този вид защита е буквено цифрена съгласно БДС EN 60529+A1:2004 и е IP. Следват две характеристични цифри. Първата цифра показва защитата от допир до опасни части, предотвратяването или ограничаването на достъпа на човек, на част от неговото тяло или на проникването на външен предмет (Таблица 2.2). Втората цифра означава степента на защита на изделието от проникване на вода (Таблица 2.3). Ако за изделието се изисква да се посочи степен на защита само с една цифра от означението, пропуснатата цифра се заменя с буква X. След цифрите се използва (незадължително) добавена буква (A,B,C,D) само ако действителната защита срещу достъп до опасни части е по-висока от тази, означена чрез първата цифра или ако е означена

само защитата срещу достъп до опасни части, а първата цифра е заменена с X. Допълнителна информация за съоръженията може да бъде показана с въвеждането на допълнителна буква след втората цифра или след добавената буква: Н - съоръжения за високо напрежение; S – изпитано срещу проникване на вода, когато изделието не работи; М – изпитано срещу проникване на вода, когато изделието работи; W - изделието е предназначено за работа в особени климатични условия.

Таблица 2.2

IP	Описание
0	Без защита.
1	Защита срещу твърди чужди тела с диаметър 50 mm и по-голям или достъп с опакото на ръката.
2	Защита срещу твърди чужди тела с диаметър 12,5 mm и по-голям или достъп с пръст.
3	Защита срещу твърди чужди тела с диаметър 2,5 mm и по-голям или достъп с инструмент.
4	Защита срещу твърди чужди тела с диаметър 1,0 mm и по-голям или достъп с тел.
5	Прахозащитено.
6	Прахонепроницаемо.

Таблица 2.3

IP	Описание
0	Без защита.
1	Защита срещу вертикално падащи водни капки.
2	Защита срещу вертикално падащи водни капки при обвивка с наклон до 15 ° спрямо вертикалата.
3	Защита срещу пръскаща вода, падаща под ъгъл до 60 ° спрямо вертикалата.
4	Защита срещу плискаща вода от всички страни.
5	Защита срещу водни струи, падащи от всички страни.
6	Защита срещу водни струи под налягане (мощни струи), падащи от всички страни.
7	Защита срещу временно потопяване във вода при определени условия на налягане и време.
8	Защита срещу престой под вода при специални условия.

6. Класификация на пожароопасни и взривоопасни зони на помещения и външни съоръжения. В Наредба № Из-1971 за строително-технически правила и норми за осигуряване на безопасност при пожар (ДВ, бр.96/ 2009 г.) за електрическите уредби и инсталации се определят следните три групи опасности:

Първа група - "Нормална пожарна опасност". Помещенията, сградите, откритите съоръжения или части от тях, в които се използват, произвеждат или съхраняват горими материали в ограничени количества и вероятността за възникване на високоенергиен източник на запалване е минимална.

Втора група - "Повишена пожарна опасност". Помещенията, сградите, откритите съоръжения или части от тях, в които се използват, произвеждат или съхраняват горими материали. Разделят на четири класа по пожарна опасност:

1. клас П-I - използват се или се съхраняват горими течности с пламна температура над 55 до 120 °С;

2. клас П-II – отделят се горими прахове или влакна, преминаващи в суспендирано състояние. Съществува опасност от пожар, но не и от експлозия

3. клас П-IIa – отделят се, употребяват или съхраняват горими течности с пламна температура, по-висока от 120 °С, или твърди горими вещества и влакнести продукти, за които липсват характерните признаци за зоните в помещенията от клас П-II;

4 клас П-III - места, разположени на открито, в които се използват или съхраняват горими течности с пламна температура, по-висока от 55 °С, или твърди горими материали.

Трета група - "Експлозивна опасност". Помещенията, сградите, откритите съоръжения или части от тях, в които в зависимост от технологичния процес в околната среда може да се образуват експлозивни смеси от горими газове, пари, прахове или аерозоли. Местата с експлозивна опасност се класифицират на зони съгласно таблица 2.4.

В местата от трета група се проектират взривозащитени съоръжения, съобразени с изискващата се категория на взривозащита, с групата на взриваемост и с температурния клас на взривоопасната смес.

Категориите на взривозащитените съоръжения в зависимост от степента на безопасност са:

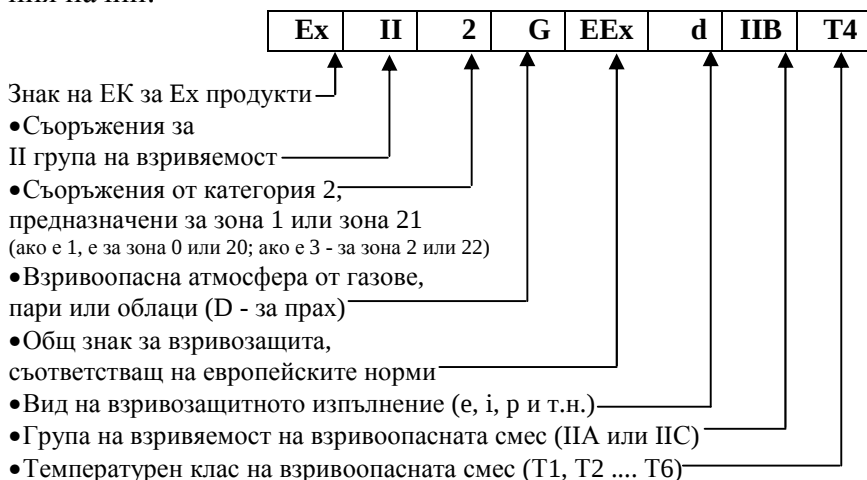
Категории М1 и М2 - предназначени за подземни рудници, както и за надземните части на подземни рудници, в които може да има метан от рудниците и/или горим прах;

Категории 1,2 и 3, предназначени за места, където може да има взривоопасни смеси: G - газове, и D - прахове.

Таблица 2.4

Зони		Определение на зоната
Смес на горими газове, пари или мъгла с въздуха	Смес на горими прахове	Експлозивна атмосфера съществува или се образува
0	20	Постоянно, продължително или често
1	21	Случайно при нормална работа
2	22	Не се образува при нормална работа или се образува за кратко

Взривозащитените съоръжения са маркирани по следния начин:



Групите на взриваемост в зависимост от представителния газ биват: I - метан от рудниците; II A - пропан; II B – етилен; II C - водород.

Видовете взривозащитни изпълнения са: **d** - взривонепроницаема обвивка; **e** - повишена сигурност; **o** - напълнено с масло; **q**- запълнено с кварцов пясък; **p** - под налягане; **i** – собствена защита; **m** – херметизирани със заливка; **n** - за категория 3.

Контролни въпроси:

1. Как се класифицират електрическите мрежи до 1000 V според изискванията по електробезопасност?
2. Каква е класификацията на работните помещения по отношение на електробезопасността и по какви критерии се провежда?
3. Какво означава и възможна ли е следната маркировка на електрическо съоръжение: IP26S; IP62S?
4. Каква е разликата между “работна” и “двойна” изолация?
5. Каква е разликата между “двойна” и “усилена” изолация?
6. Клас втори на защитно изпълнение на електрически съоръжения срещу поражение от електрически ток изисква:
 - Работа на открито;
 - Свързване към защитен проводник;
 - Безопасно свръхниско напрежение;
 - Двойна изолация.
7. Каква е класификацията на пожароопасните зони в помещенията и външните съоръжения по отношение на електрическите съоръжения и по какви критерии се провежда?
8. Каква е класификацията на взривоопасните зони в помещенията и външните съоръжения по отношение на електрическите съоръжения и по какви критерии се провежда?

3. ЕЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТ. АНАЛИЗ И ОЦЕНКА НА ОПАСНОСТИТЕ ЗА ЧОВЕК ПРИ НОРМАЛНИ И АВАРИЙНИ РЕЖИМИ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ УРЕДБИ И СЪОРЪЖЕНИЯ

3.1. ФАКТОРИ ЗА СТЕПЕН НА ПОРАЖЕНИЕ НА ЧОВЕК ОТ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ УДАР

3.1. Големина и форма на напрежението между контактните точки на тялото в токовия контур U_h .

Електрическото напрежение е най-коректният параметър за нормиране на условията и изискванията за електробезопасност.

Използваните в практиката на електробезопасността термини, свързани с големината на напрежението, са:

а) Номинално напрежение U_n - напрежението между две фази или между фаза и земя на електрическа мрежа или работно напрежение на електротехническо съоръжение или изделие;

б) Корпусно напрежение U_k - напрежение между достъпни за допиране нетоководещи части и части с нулев потенциал. U_k възниква при повреда в изолацията, като $U_k \leq U_n$;

в) Допирно напрежение U_d - част от работно или корпусно напрежение, на чието въздействие може да е подложен човек:

- При директен допир: напрежението между две контактни точки на човешкото тяло, включено в токов контур към фаза, към фаза и нула или към фаза и земя; като $U_d \leq U_n$;

- При индиректен допир: напрежението между две контактни точки на човешкото тяло, включено в токов контур към нетоководещи части под корпусно напрежение и земя или заземени метални елементи. В зависимост от потенциала на земята или заземените метални елементи $U_d \leq U_k$

Нормиране на допустими напрежения

Таблица 3.1

Помещение	Без повишена опасност		С повишена и особена опасност за поражение от електрически ток	
Напрежение				
	Променливо, 50 Hz, V	Постоянно, V	Променливо 50 Hz, V	Постоянно V
Допустимо допирно	50	120	25	60
	(25)	(25)	(12)	(24)
	(За животни и деца до 16 г.)		(За тунели, резервоари, кладенци и др.)	
БСНН при директен допир	25	25	25	60
БСНН при индиректен допир	50	120	25	60

г) Поразяващо напрежение U_h - напрежение между контактните точки на тялото на човек, включено в токов контур, създаващо опасност за електрическа травма, като $U_h \leq U_d$;

д) Допустимо допирно напрежение $U_{д,доп}$ - най- голямото напрежение при допир, което не създава опасност за човек при

съответно време на въздействие и условия на работната среда, като $U_{\text{д.доп}} < U_h$

2. Големина и форма на тока през човешкото тяло I_h .

Тъканите, изграждащи различни органи на човешкото тяло, са съставени основно от белтъчни колоиди с малка електропроводимост и електролитни разтвори с повишена електропроводимост (изключение представляват тъканите на нервната система). Това обуславя йонният колоиден характер на постоянния ток и поляризационния характер на променливия ток. Поряди голямата разлика в електропроводимостта на различните тъкани, електрическият ток не преминава по най- краткия път през органите и тялото, а следва пътя на тъканни течности, кръвоносни и лимфни съдове и обвивките на нервните снопове. Затова електрическият ток може да засегне тъкани и органи, отдалечени от контактните точки на тялото с външни електропроводими части под различен потенциал.

При променлив ток в началото на всеки полупериод се променя посоката на движение на токовите носители (йони и колоидни частици), поради което дразнимостта намалява. Същата закономерност се отнася и за еднополярни или колебателни импулсни токове. В таблица 3.2 са описани най- характерните усещания на човек при протичане през тялото му на електрически ток с различна големина. Усещанията се отнасят за мъже с нормални физиологични данни, при протичане на тока по път ръка- ръка- крак. За жени и деца стойностите на тока за едни и същи усещания са 1,5 до 2 пъти по- малки (средно статистически).

Според нервно - рефлекторната реакция на човек на токов удар се дефинират следните токове:

- Граничен безопасен ток (I_0) - може да протича продължително време (няколко часа) през човек без да нанася вреда и да предизвиква усещания (до 50 μA при честота 50 Hz и 100 μA при постоянен ток);

- Граничен ток на усещане (I_y) - свързан с появата на начални усещания (0,6 до 1,5 mA при честота 50 Hz и 5-7 mA при постоянен ток);

- Граничен ток на неотпускане ($I_{\text{но}}$) - свързан с непреодолимо болезнено свиване на мускулите на ръцете, с които е

обхваната частта под напрежение (10 до 15 mA при честота 50 Hz и 50 - 80 mA при постоянен ток);

- Граничен фибрилационен ток (I_f)- свързан с появата на начални фибрилационни явления (100 mA при честота 50Hz и 300 mA при постоянен ток).

Таблица 3.2

I_b , mA	Въздействие при време по-голямо от 1 s	
	Променлив ток	Постоянен ток
1	2	3
0,6 - 1,5	Начални усещания - леко пощипване в местата на контакт с кожата.	Не се усеща.
2 - 4	Усещанията преминават в дълбочина.	Не се усеща.
5 - 7	Усещанията преминават в леко болезнени, разпространяват се по дълбочина на мускулите.	Начални усещания. Впечатления за затопляне.
8- 10	Силни болки в мускули и стави. Възможно е отделяне от тоководещата част.	Загриване на кожата и меката тъкан под нея.
10 - 15	Трудно поносими болки в мускулите. Невъзможност за самостоятелно отделяне от тоководещата част.	Силно загриване на кожата и меката тъкан.
20 - 25	Парализа на мускули. Силни болки. Затруднено дишане.	Силно вътрешно загриване. Свиване на мускулите.
25 - 50	Силни болки в гърдите. Силно затруднено дишане. Начални признаци за отслабване на сърдечна дейност и загуба на съзнание.	Болки в мускулите при опит за отделяне от тоководещата част. Силно загриване.
1	2	3
50 - 80	Дишането се парализира за няколко секунди. Нарушава се сърдечната дейност. Начални признаци на фибрилации.	Силни болки в гърдите. Затруднено дишане. Невъзможност за отделяне поради силни болки.
100	Фибриляция на сърцето след 2-3 s. Парализа на дишането до 6 s.	Парализа на дишането.
300	Фибриляция на сърцето до 1 s.	Фибриляция на сърцето след 2-3 s. Парализа на дишането до 6 s.
5000	Незабавно парализиране на дишането. Не настъпва фибриляция на сърцето, най- вероятно е спирането му. При продължително протичане на ток са възможни тежки вътрешни изгаряния.	

Нормиране на допустима големина на тока. Големината на тока във всеки електрически контур е производна величина и спе-

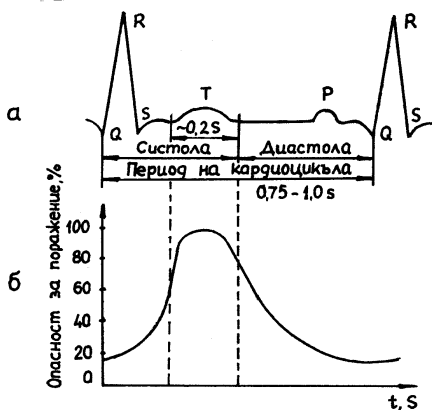
циално за включено в контура човешко тяло зависи от голям брой параметри, които не се поддават на количествена оценка. По тази причина големината на тока няма самостоятелно нормираща значимост в електробезопасността.

3. Продължителност на действие на електрическия ток T_h . Този фактор се свързва с:

1) Намаляване на съпротивлението на тялото (навлажняване на кожата, дисоциация на водните молекули в биологичната тъкан и др.) и увеличаване на тока;

2) Изтощаване на защитните сили на организма;

3) Вероятност за съвпадане на момента на протичане на тока с уязвимата фаза **Т** на кардиоцикъла (фиг. 3.1). Във фаза **Т** сърдечните камери се отпускат, сърдечният мускул е силно възбудим и реагира на протичането на ток през него, при което може да се достигне до фибрилация или директно необратимо свиване (когато токът има много голяма стойност - над 1 А). В интервала **Т- Р** сърдечният мускул е отпуснат и слабо възбудим. Следователно, най- голяма вероятност $P_{\text{фmax}}$ за тежки поражения от токов удар съществува за време 0,2 до 0,3 s от началото на сърдечния цикъл (фиг. 3.1 б).



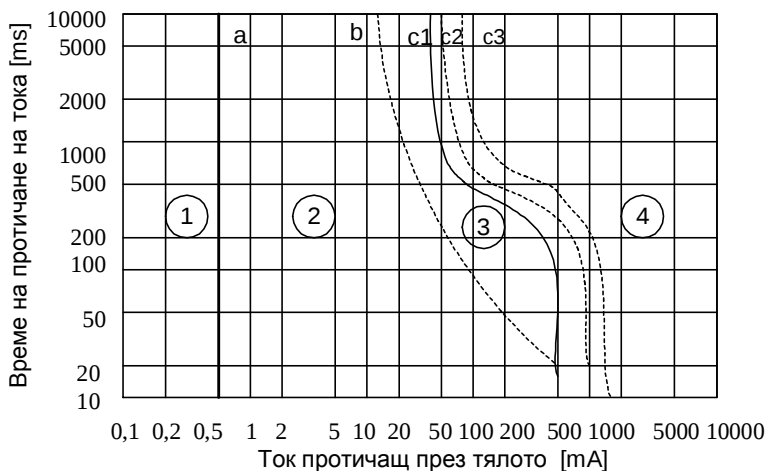
Фиг. 3.1. Опасност за поражение за един кардиоцикъл:
а) период на кардиоцикъла при здрав човек;
б) вероятност за настъпване на фибрилация.

Колкото по-голямо е времето на протичане T_h на ток през човек, толкова вероятността $P_{\text{ф}}$ да се попадне в интервал S-T на кардиоцикълът е по-голяма. При ток с продължителност над 1s въздействието върху сърдечния мускул ще бъде значимо – нару-

шаване на дихателна и сърдечна дейност, задушаване, сърдечна недостатъчност, фибрилация на сърцето. При импулсни токове степента на увреждане зависи от количеството електричество Q_h , преминало през човешкото тяло. По препоръки на IEC допустимия I_h се определя по израза:

$$I_{h\text{доп}} \leq 10 + 10/T_h, \text{ mA} \quad (3.1)$$

Нормиране на зависимост $T_h - I_h$ според степента на поражение на човек. В стандарт IEC 60479-1 са нормирани зони на въздействие на променлив ток върху човешкия организъм. Зависимостта на времето на протичане на тока от големината на тока през тялото е дадена на фиг. 3.2, а в таблица 3.3 са описани последствията за човек в областта на всяка зона.



Фиг. 3.2

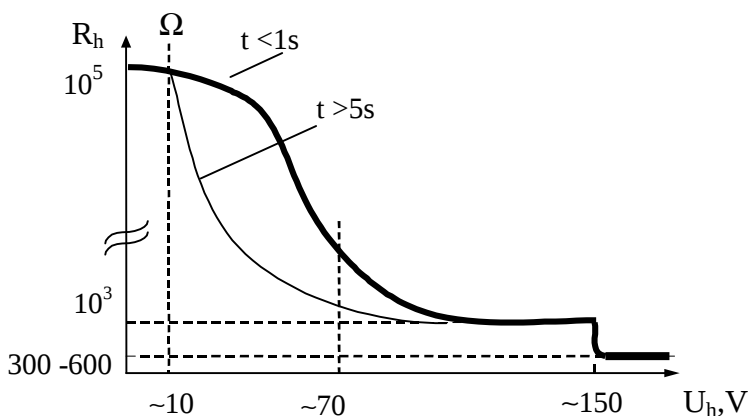
Таблица 3.3

Зона	Граница на зоната	Физиологично въздействие и поражения
1	До 0,5 mA права "а"	Без никакви поражения
2	От 0,5 mA до крива "в"	Незначителни физиологични поражения
3	От крива "в" до крива "с1"	Вероятност за съкращаване на мускулите, затруднения в дихателната дейност, обратимо нарушаване на сърдечния ритъм включително и фибрилации на сърдечната камера. Увеличават се с нарастването на големината и продължителността на

		протичане на електрически ток	
4	От крива "с ₁ " до крива "с ₂ "	Вероятност за камерни фибрилации	До 5% от човешката популация
	От крива "с ₂ " до крива "с ₃ "		До 50% от човешката популация
	Над крива "с ₃ "		Над 50% от човешката популация

4. Електрическо съпротивление R_h на човешкото тяло по пътя на тока. Съпротивлението R_h е еквивалентно съпротивление от няколко последователни свързани елемента, изграждащи биологичната тъкан (фиг. 3.4). Специфичното обемно съпротивление на някои биологични тъкани е: суха кожа - $10^3 - 10^4 \Omega.m$, мускулна тъкан - $1-3 \Omega.m$, гръбначно- мозъчна течност - $0,5- 0,6 \Omega.m$, кръв - $1-2 \Omega.m$, нервни тъкани - $0,1$ до $0,5 \Omega.m$, кости - 10^4 до $10^6 \Omega.m$. Най- голямо електрическо съпротивление има кожата, особено роговия слой, в който няма кръвоносни съдове. Характерът на съпротивлението на кожата е активно- капацитивен, тъй като непосредствено под епидермисния слой се намира дермисния слой и мека тъкан, които имат малко специфично съпротивление. Активното съпротивление на кожата зависи от нейното състояние (плътност, чистота и цялост), от контактната площ с части под напрежение, от големината и продължителността на протичащия ток, от големината на напрежението U_h . С увеличаване на U_h над $50 V$ съпротивлението на кожата, а от тук и съпротивлението на тялото, се намалява силно от микропробивите на капилярните канали на потните и мастни жлези (фиг.3.3). При напрежения над $200V$ практически всички капилярни канали в епидермиса са пробивили и основно участие във формирането на R_h имат само вътрешните органи, чието съпротивление е 300 до 600Ω (клетъчната и междуклетъчна течност имат електролитни свойства и йонна проводимост поради съдържанието на вода и соли до 65% от масата).

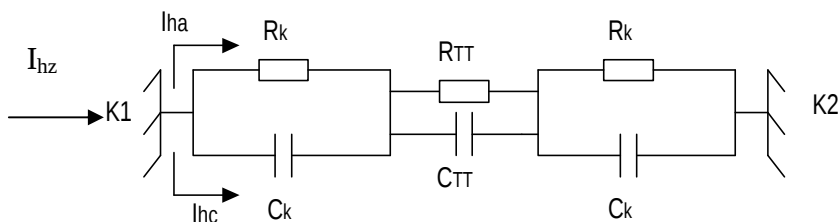
Тъй като съпротивлението R_h е нелинейно и непостоянно, за да се извършват необходимите изчислителни анализи се приема условно, че R_h е неизменно, линейно и активно, равно на 1000Ω .



Фиг. 3.3

5. Честота на протичащия през човешкото тяло ток f_h .

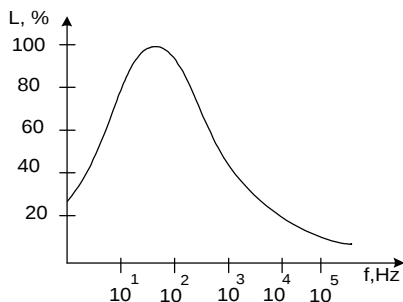
Поради наличието на капацитивни параметри в съпротивлението на човешкото тяло, при увеличаване на честотата на тока пълното съпротивление на тялото намалява, но това не е съпроводено с протичане на по-опасен ток (фиг. 3.4).



Фиг. 3.4

C_k е капацитет между външен електрод и намиращата се под него електропроводима вътрешна телесна течност. $C_{т\tau}$ е капацитет на клетъчните и тъканни обвивки по отношение на външна и вътрешно-клетъчна течност.

Постоянният ток предизвиква по-слаби усещания поради ограничаване движението на голяма част от йоните от биологичните мембрани на клетъчната обвивка. Само в момента на установяване или прекъсване на електрическата верига се изпитват болезнени усещания от рязко съкращаване на мускулите.



Фиг. 3.5

За числена оценка на опасността от поражение от електрически ток с различна честота се въвежда фактор на опасност L_0 %, определен от отношението:

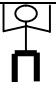
$$L_0 = \frac{I_{но50Hz}}{I_{ноf}} \cdot 100, \% \quad (3.3)$$

$I_{но50Hz}$ и $I_{ноf}$ - гранични токове на неотпускане при честота 50Hz и при произволна честота f . Зависимостта $L_0 = \varphi(f)$ е показана на фиг. 3.5.

6. Път на електрическия ток през човешкото тяло.

Най-вероятни контактни точки на тялото към части с различен потенциал са: глава; лява - дясна ръка; ляв- десен крак таблица 3.4. Възможните комбинации между тези точки дават представа за пътя на тока през тялото. Най-опасни са контури, наситени с нервни тъкани, кръвоносни съдове или гръбначно- мозъчна течност.

Таблица 3.4

Път на тока	Ръка- ръка	Дясна ръка - крака	Лява ръка - крака	Крак- крак	Глава- крака	Глава- ръце
Част от тока, преминаващ през сърцето от общия ток, %	 3,3	 6,7	 3,7	 0,4	 6,8	 7,0

7. Условия на околната среда. Значението на условията на околната среда се преценява по отношение на: влошаване на състоянието на кожата и общото физическо и психическо състояние; влошаване на състоянието на електрическата изолация на мрежата и съоръженията, включени към нея.

8. Физиологично и психично състояние. На повишена опасност са изложени лица, страдащи от заболяване на сърдечната система, дихателните органи, болести по кожата, нервни болести. Психичното състояние, особено нагласата за съществуваща вероятност и опасност от токов удар, също оказват влияние на изхода от поражението.

9. Компетентност на лицата, извършващи експлоатационна дейност в електрически уредби или на електротехнически съоръжения и изделия.

Контролни въпроси:

1. Кои са електричните и кои неелектричните фактори за степен на поражение на човек от електрически удар?
2. Каква е разликата между поразяващо и допирно напрежение?
3. Каква е разликата между номинално и корпусно напрежение?
4. Има ли нормирани стойности за допустими напрежения и какви са те?
5. Има ли самостоятелна нормираща стойност в електробезопасността факторът “големина и форма на тока през тялото”?
6. Вярно ли е твърдението, че токът през тялото протича по най-краткия път?
7. Какъв характер има съпротивлението на човешкото тяло?
8. Вярно ли е твърдението, че съпротивлението на кожата има определящо значение за изхода от електрозлополуката?
9. От какви параметри зависи съпротивлението на човешкото тяло?
10. Как продължителността на въздействието влияе върху изхода от злополуката и каква е безопасната му стойност?
11. Защо, в зависимост от приложеното напрежение, настъпва скок в стойността на съпротивлението на тялото?
12. Влияе ли честотата на приложеното напрежение върху изхода от злополуката и как?
13. Каква е разликата между “ток на неотпускане” и “фибриляционен ток”?
14. Има ли напълно безопасен път за протичане на тока през тялото?

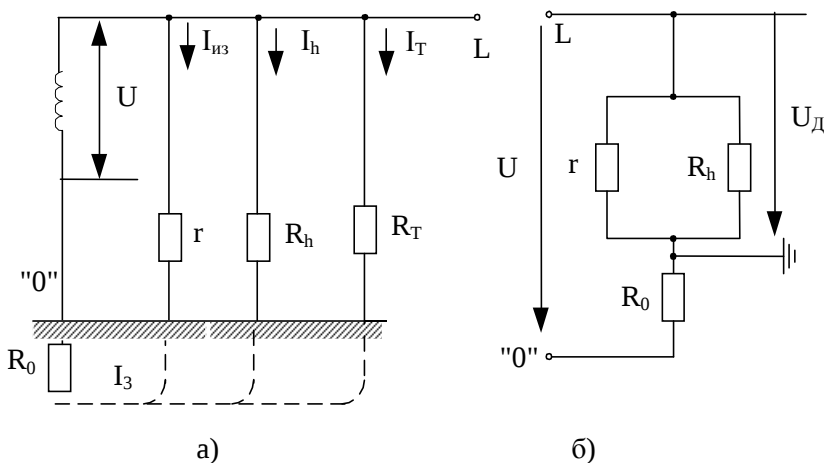
3.2. ОЦЕНКА НА РИСКА ОТ ЕЛЕКТРИЧЕН УДАР ПРИ ДИРЕКТЕН ДОПИР ДО ЧАСТИ ПОД НАПРЕЖЕНИЕ В ЕДНОФАЗНИ И ДВУФАЗНИ МРЕЖИ

1. Анализ на еднофазни мрежи със заземен полюс на източника.

1.1. Еднопроводни мрежи.

Използват се в електрифициран трамваен и железопътен транспорт, в електрозаваръчната техника, в радиотехниката. Работното напрежение може да бъде изправено или променливо. Схемата на изпълнение на този вид мрежи е показана на фиг. 3.6. а.

Потребителят е свързан между фазовия проводник и “земя”, която служи за обратен проводник на работния ток I_T . През изолационното съпротивление протича незначителен ток. При допир на човек до проводник “L”, той попада под допирно напрежение U_d и през него протича ток $I_h = U_d/R_h$. Ако се пренебрегне значението на съпротивлението на фазовия проводник и на земята, U_d и I_h могат да се определят по заместващата електрическа схема, показана на фиг. 3.6.б.



Фиг. 3.6. R_0 - работно заземяване на единия полюс на източника; r - съпротивление на изолацията на фазов проводник L; R_h - електрическо съпротивление на тялото на човек; R_T - съпротивление на потребителя (товара)

За тази схема са валидни съотношенията:

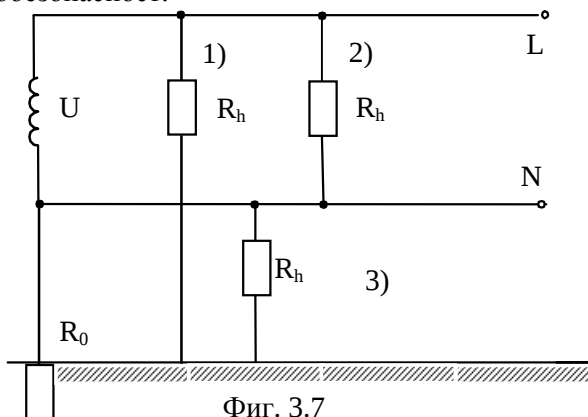
$$U_d = U \frac{R_h \cdot r}{R_0 \cdot R_h + R_0 \cdot r + R_h \cdot r} \quad (3.4)$$

$$I_h = U \frac{1}{R_0 + R_h (1 + R_0/r)}; \text{ за } R_0 \ll r, \quad I_h \approx \frac{U}{R_h} \quad (3.5)$$

Следователно опасността за човек при директен допир се определя преди всичко от работното напрежение на източника. Изискванията за електробезопасност се постигат чрез намаляване на работното напрежение до стойности, които условно могат да се приемат за безопасни; прилагане на технически мероприятия за предотвратяване на директен допир; използване на лични предпазни средства при работа.

2. Двупроводни мрежи. Използват се основно като отклонения на трифазни мрежи със заземен звезден център на източника. Възможните случаи на опасност при директен допир са следните:

2.1. Допир до проводник L при нормален режим на работа (случай “1” на фиг. 3.7.) Анализът на опасността е аналогичен на този за допир до фазов проводник в еднопроводна мрежа. Прилагат се същите мероприятия за постигане на изискванията за електробезопасност.

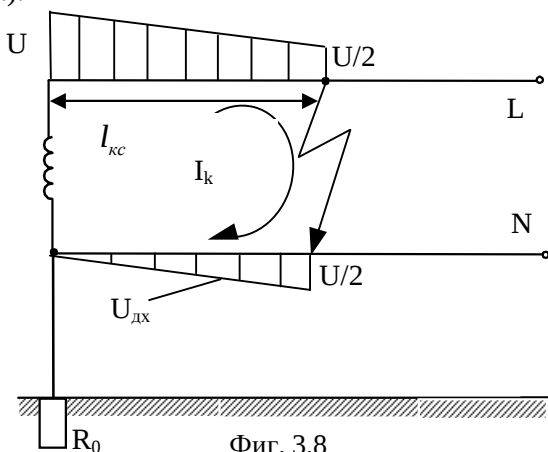


Фиг. 3.7

2.2. Допир до проводник N при нормален режим на работа (случай “2” на фиг. 3.7).

В нормален режим ΔU до най-отдалечените потребители в мрежата не трябва да превишава (0,05 до 0,1) U .

2.3. Допир до проводник N при късо съединение между проводници L и N (случай “3” на фиг. 3.7.) Анализът на опасността може да се направи по схемата на фиг. 3.8 (опасността съществува до изключване на повредата от токовата защита на източника).



Фиг. 3.8

Допирното напрежение по дължина на проводник N е:

$$U_{Nx} = U_{дх} = I_k \cdot Z_N^* \cdot x \quad (3.6)$$

$$I_k = \frac{U}{(Z_L^* + Z_N^*) \cdot l_{кс}} \quad (3.7)$$

Z_N^* е специфичен импеданс на проводник Z_L^* е специфичен импеданс на проводник L, Ω/m ; $l_{кс}$ е разстояние до мястото на късо съединение. Следователно:

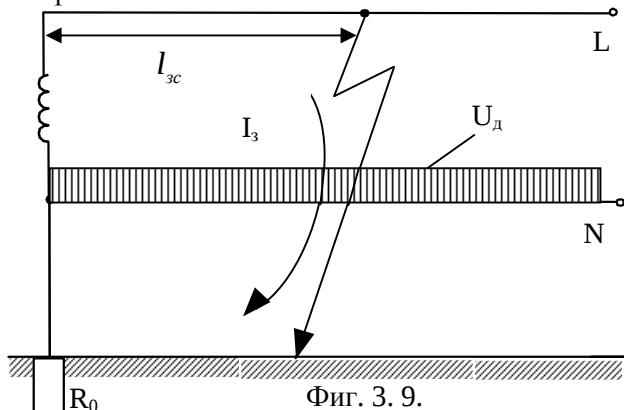
$$U_{дх} = U \frac{Z_N^* \cdot x}{(Z_L^* + Z_N^*) \cdot l_{кс}} \quad (3.8)$$

За $Z_N^* = Z_L^*$ следва $U_{дх} = U \frac{x}{2l_{кс}}$, т.е. допирното напрежение

ще се изменя от 0 при заземяния полюс на източника до $U/2$ в мястото на късо съединение и остава неизменно след $l_{кс}$.

Пример: ако $U=220V$, най-голямото допирно напрежение ще бъде $110V$ и $I_p=110mA$. Ток с такава големина е опасен за живота на човек. Следователно, подобен режим е недопустим и трябва да бъде изключен от предвидена за целта бързодействаща токова защита.

2.4. Допир до проводник N при земно съединение на проводник L. Анализът на опасността може да се направи по схемата на фиг. 3.9.



Фиг. 3. 9.

Допирното напрежение за проводник N ще се определи като пад на напрежение върху съпротивлението на работното заземяване.

$$U_d = I_з \cdot R_0 = \frac{U}{Z_L^* \cdot I_{зс} + R_0} \cdot R_0 \quad (3.9)$$

При земни съединения близо до източника може да се приеме, че $Z_L^* \cdot I_{зс} \ll R_0$ и $U_d = U$, т.е. допирното напрежение ще бъде равно на работното напрежение на източника и опасността за човек ще зависи от големината на U .

В този случай $I_з \approx I_{kc}$ и опасността може да бъде отстранена от токовата защита срещу късо съединение.

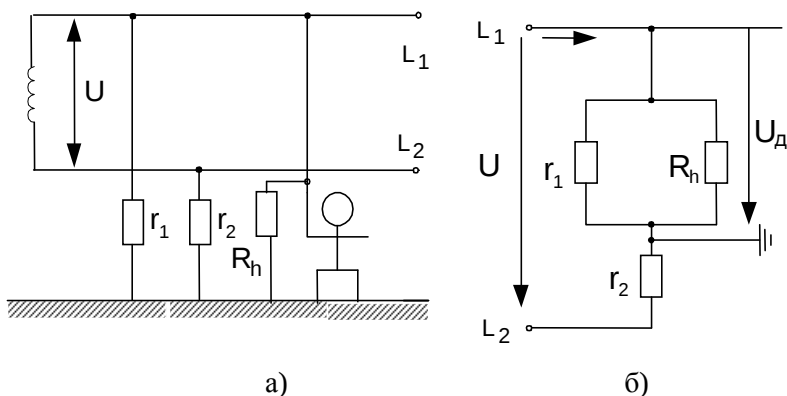
2. Анализ на двуфазни мрежи, изолирани от земя.

1. Двупроводна мрежа с малък капацитет (фиг. 3.10).

Използват се за обособяване на електрозахранване на потребители в условия на повишена или особена опасност за електрически удар (защитно разделена мрежа). Могат да бъдат изградени като възду-

шни мрежи до 1000 V или къси кабелни мрежи до 1 km при условие капацитивната проводимост на изолацията да е пренебрежимо по-малка в сравнение с активната. Анализът на опасността може да се направи по заместващата електрическа схема на фиг. 3.10.б. При допир на човек до проводник “L₁” са валидни следните съотношения:

$$U_d = U \frac{R_h \cdot r_1}{R_h \cdot r_2 + R_h \cdot r_1 + r_1 \cdot r_2} \quad (3.10)$$



Фиг. 3.10

$$I_h = \frac{U}{r_2 + R_h(1 + r_2 / r_1)} \quad (3.11)$$

Могат да се разгледат следните частни случаи:

1.1. Нормален режим на работа и равни изолационни съпротивления $r_1=r_2=r$:

$$I_h = \frac{U}{2R_h + r} \quad (3.12)$$

От (3.12) следва, че: а/ опасността от еднофазно допиране е малка при голямо изолационно съпротивление на фазовите проводници; б/ допир до проводник с по-високо изолационно съпротивление е по-опасен. Електробезопасността се осигурява посредством непрекъснат автоматичен контрол на големината и симетрията на изолационните съпротивления.

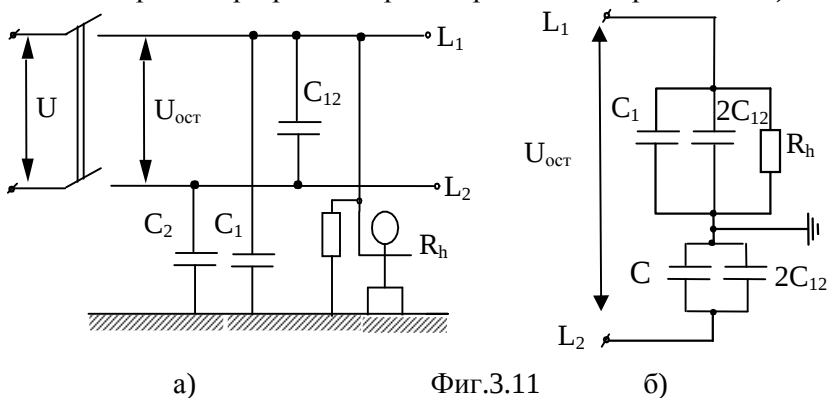
1.2. Аварийен режим на работа. Частни случаи:

1.2.1. Допир до заземен проводник при изправна изолация на втория ($r_1 \approx 0$, $r_2 \approx \infty$), $I_h \approx 0$ и допирът е относително безопасен.

1.2.2. Допир до проводник с изправна изолация при заземен втори проводник - $I_h \approx U/R_h$; опасността е много голяма.

В аварийен режим на мрежата съоръженията получават нормално електрозахранване, но поради опасността от електрозлополуки е наложително бързо изключване на източника или повредения участък от мрежата, когато изолационното съпротивление се намали под определена стойност.

2. Двупроводни изолирани от земя мрежи с голям капацитет. 2.1. Мрежи, изключени от захранващия източник (фиг.3.11). Опасност от електрически удар при допир до проводник L_1 или L_2 съществува непосредствено след изключване, тъй като в следствие на големия капацитет мрежата остава продължително време под напрежение $U_{ост} = U \cdot e^{-t/\tau}$ (тази стойност в момент на изключване $t = 0$ може да достигне $4 \cdot U$ при изправено напрежение или $2 \cdot \sqrt{2} \cdot U_n$ при променливо напрежение при поява на комутационни пренапрежения от изключването). Времеконстанта на разряд на кондензаторите през съпротивлението на изолацията на мрежата при изключени потребители е τ (в разглежданите ситуации е прието, че изолацията е с много голямо съпротивление, кондензаторите се разреждат през вътрешното съпротивление).



От гледна точка на електробезопасността могат да се анализират следните възможности :

2.1.1. Еднофазно допиране (фиг. 3.11, а, б). В сила са съотношенията:

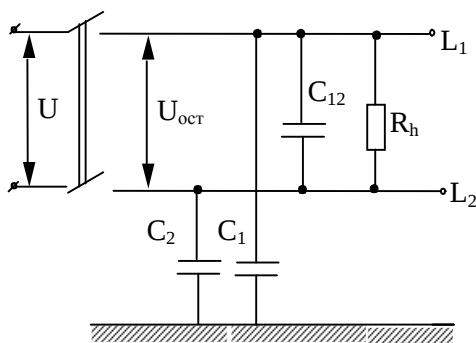
$$i_h = \frac{U_{ocm}}{2R_h} \cdot e^{\frac{-t}{t_1}}; \quad i_{hmax,1}(t=0) = \frac{U_{ocm}}{2R_h} \quad (3.13)$$

$$t_1 = R_h \cdot (C_1 + 2C_{12}) \quad (3.14)$$

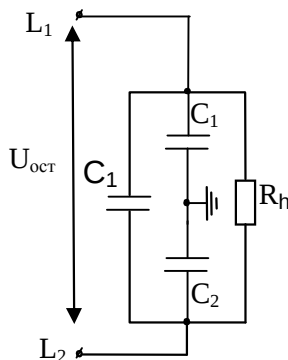
τ_1 - времеконстанта на разряд на кондензаторите през R_h .

Степента на поражение зависи от момента на допир след изключване на мрежата и τ_1 .

2.1.2. Двухфазно допиране (фиг. 3.12, а, б). В сила са съотношенията:



а) Фиг. 3.12



б)

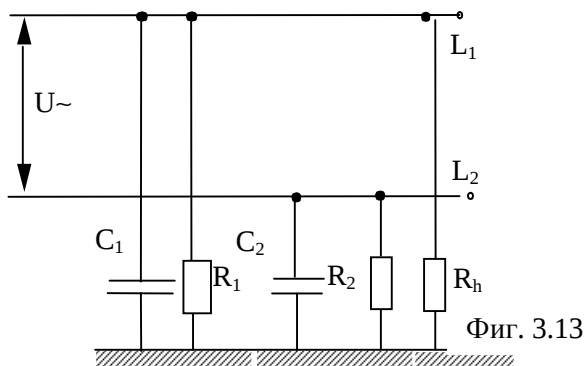
$$i_h = \frac{U_{ocm}}{R_h} \cdot e^{\frac{-t}{t_2}}; \quad i_{hmax,2}(t=0) = \frac{U_{ocm}}{R_h} \quad (3.15)$$

$$t_2 = R_h \left(C_{12} + \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \right) \quad (3.16)$$

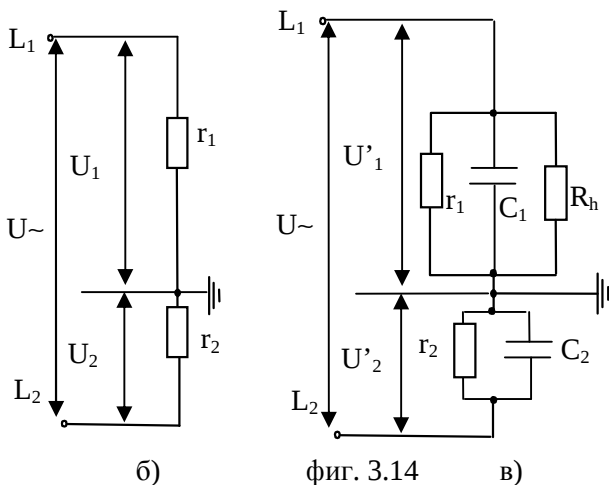
Ударният ток ($t=0$) е два пъти по-голям от този в случай 2.1.1, а времеконстантата на разряда е два пъти по-малка. Условиата за електробезопасност са:

$$i_{hmax i} < I_{hдоп} \quad \text{и} \quad \tau_i < T_{hдоп}$$

2.2. Мрежи, включени към захранващ източник (фиг. 3.13). Анализира се само опасността при еднофазен допир, тъй като опасността от двуфазен допир е очевидна.



2.2.1. Работното напрежение е постоянно или изправено. Анализът на опасността може да се направи по заместващи електрически схеми от фиг. 3.14.



От значение е напрежението на фазовите проводници преди допир, зависещо от съпротивлението на изолацията.

$$U_1 = U \frac{r_1}{r_1 + r_2} \text{ и } U_2 = U \frac{r_2}{r_1 + r_2} \quad (3.17)$$

След допир, от нарушаването на установеното състояние се получава преразпределение на напреженията:

$$U_d = U_1' = U - \frac{r_1'}{r_1' + r_2} \text{ и } U_2' = U - U_1' \quad (3.18)$$

$$r_1' = \frac{r_1 \cdot R_h}{r_1 + R_h} \quad (3.19)$$

Новото установено състояние се достига след преходен процес на разреждане на C_1 и дозареждане на C_2 с разликата от напреженията $\Delta U = |U_1 - U_1'| = |U_2 - U_2'|$. С отчитане на постоянната съставлява на тока, може да се запише:

$$i_h(t) = \frac{U}{r_2 + R_h \left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right)} + \frac{\Delta U}{R_h} e^{\frac{-t}{t_3}} \quad t_3 = R_h (C_1 + C_2) \quad (3.20)$$

И в трите по-горе анализирани случая опасността за човек при допир е много голяма. Допълнително изискване към известните мероприятия за електробезопасност при тези мрежи е използване на автоматични или ръчно включвани разрядници на кондензаторите при изключване на мрежата. Ето защо, преди започване на работа по въздушни и кабелни съобщителни линии и мрежи при изключено напрежение по тях, в последователността от технически мероприятия е добавено изискване:

1. Идентифициране на въздушната или кабелната съобщителна линия;
2. Изключване на напрежението;
3. Окачване на предупредителни табелки с надпис "Не включвай! Работят хора.";
4. Проверка за отсъствие на напрежение;
5. *Разреждане на металните проводници от електрически заряд към земя;*
6. Повторна проверка за отсъствие на напрежение;
7. Присъединяване на преносими заземители.

2.2. Работното напрежение е променливо. Заместващата схема и основните съотношения са аналогични на тези за двуфазна двупроводна мрежа с малък капацитет, но тук участва пълната проводимост на изолацията:

$$y = \sqrt{\frac{1}{r^2} + (\omega C)^2} \quad (Y = \frac{1}{r} + j\omega C) \quad (3.21)$$

Токът през човек при еднофазно допирание ще бъде ($Z_1=Z_2=Z$):

$$I_h = \frac{\dot{U}}{2R_h + Z} \quad (3.22)$$

Тъй като $Z = 1/Y$, от (3.22) следва, че дори и при голямо изолационно съпротивление, но достатъчно голям капацитет, пълното съпротивление ще има малка стойност и токът през човек ще бъде голям. Следователно тези мрежи са много опасни и налагат използването на мероприятия по електробезопасност.

Контролни въпроси:

Кои от твърденията не са верни:

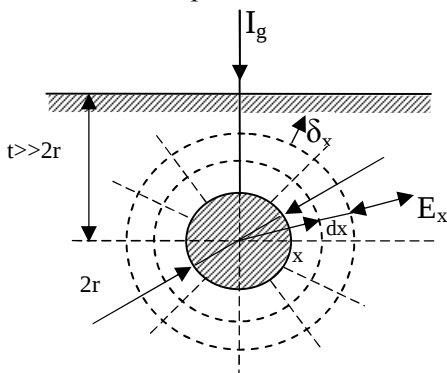
1. Токът през човек при директен допир в еднофазна еднопроводна мрежа се определя с израза $I_h \approx U / R_h$.
2. При аварийен режим в еднофазна двупроводна мрежа напрежението при допир до нулев проводник може да има стойности, опасни за човек.
3. Опасността от еднофазен допир в двупроводна двуфазна мрежа е малка при малко изолационно съпротивление на фазовите проводници.
4. Опасност от електрически удар при допир до фазов проводник в двуфазна изолирана от земя мрежа с малък капацитет съществува и при изключена мрежа.
5. Двуфазните, изолирани от земя, мрежи се използват за захранване в среда с повишена опасност, но се нуждаят от непрекъснат контрол на големината и симетрията на изолационните съпротивления.

3.3. ЯВЛЕНИЯ ПРИ ПРОТИЧАНЕ НА ТОК В ЗЕМЯ. ОПАСНОСТ ОТ ИНДИРЕКТЕН ДОПИР- ДОПИРНО И КРАЧНО НАПРЕЖЕНИЕ

1. Потенциална характеристика на заземител. Протичането на електрически ток към земя може да бъде неконтролирано (например през проводимостта на електрическата изолация) или целенасочено (за различни технологични цели: осигуряване на контури с малко електрическо съпротивление, включващи земя, за работни, аварийни и паразитни токове; за осигуряване на изисквания за електробезопасност; за антикорозионна защита и др.). За създаване на електрическа връзка между електрическите уредби и земя се използват заземители. Когато заземителите са специално проектирани, оразмерени и изпълнени, те се наричат изкуствени. Когато заземителите са едновременно и елементи от метални или железобетонни конструкции на сгради и съоръжения, те се наричат естествени. Независимо от вида на заземителя, когато през него протича ток I_3 , той обуславя пад на напрежение:

$$U_3 = I_3 \cdot R_3 \quad (3.23)$$

R_3 - съпротивление на заземителя, Ω .



Фиг. 3.15

R_3 има физически смисъл на електрическо съпротивление с пространствено разпределение в почвата около заземителя параметри. Следователно, в областта около заземителя напрежението ще се изменя, намалявайки от U_3 до 0 за безкрайно отдалечени точки.

Това изменение математически се описва с **потенциалната характеристика** $j_{3x} = f(x)$ на заземителя. Напрежение U_3 ще се установи на всички електрически свързани със заземителя електро-

проводими части и в определени случаи те могат да станат опасни за допир от човек.

За сферичен заземител (фиг.3.15) уравнението на потенциалната характеристика е:

$$j_{3x} = \frac{I_3 \cdot r_3}{4 \cdot p \cdot x} \quad (3.24)$$

За $x = r$ потенциалът има максимална стойност:

$$j_{3r} = j_{3\max} = \frac{I_3 \cdot r_3}{4 \cdot p \cdot r} = \varphi_3 \quad (3.25)$$

За $x = \infty$ потенциалът има стойност $\varphi_{3\infty} = 0$. Практически $\varphi_{3\infty} = 0$ се получава за разстояния $(x - r) > 20 \text{ m}$.

За заземител, изпълнен като полусфера, потопена в земята непосредствено до повърхността, потенциалната характеристика ще бъде:

$$j_{3x} = \frac{I_3 \cdot r_3}{2 \cdot p \cdot x} \quad (3.26)$$

а потенциалът на заземителя е:

$$j_{3r} = j_{3\max} = j_3 = \frac{I_3 \cdot r_3}{2 \cdot p \cdot r} \quad (3.27)$$

т.е. потенциалната характеристика на повърхността на земята се изменя по хиперболичен закон, а екипотенциалните линии са концентрични окръжности.

Ако се определи разликата $(\varphi_{3r} - \varphi_{3\infty}) = \varphi_{3r} - 0$, следва, че потенциалът на заземителя φ_{3r} е равен на напрежението на заземителя и следователно $U_3 = I_3 \cdot R_3$, където R_3 е съпротивление на заземителя.

Съпротивлението на единичен заземител има следните съставлящи: активно съпротивление на материала на заземителя; контактно съпротивление между земята и повърхността на заземителя; съпротивление на земята около заземителя, където $\varphi_{3x} \rightarrow 0$.

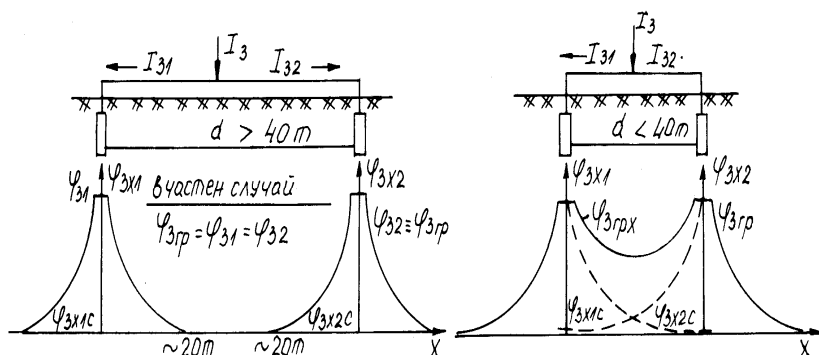
От тези три съставлящи най-неопределена е третата. За идеализирания модел на сферичен заземител е очевидно, че:

$$R_3 = \frac{r_3}{4 \cdot p \cdot r} \quad (3.28)$$

Потенциална характеристика на групов заземител. Групов заземител се образува от система единични заземители,

свързани електрически с проводящ контур, който може да се намира под земята или над земята. Във втория случай се образува надземна част на заземителна инсталация. Ако единичните заземители са на разстояние d , по-голямо от 40 m, всеки от тях има своя потенциална характеристика, независима от потенциалните характеристики на останалите. Видът на сумарната потенциална характеристика зависи от разстоянията между единичните заземители, от форма и размери и от взаимното им разположение.

С намаляване на разстоянието между единичните заземители на груповия заземител се получава изравняване на потенциала на повърхността на земята между тях. Тези изводи са илюстрирани на фиг.3.16.



фиг.3.16

Съпротивлението на груповия заземител се определя по известния израз за паралелно свързани съпротивления:

$$R_{3гр.} = \frac{1}{h \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{3i}}} \quad (3.29)$$

η е коефициент, характеризиращ използването на единичните заземители в цялата инсталация. Понякога η се нарича и “коефициент на екраниране”. Този коефициент се определя като отношение на действителната проводимост $1/R_{3гр.}$ към възможната най-голяма проводимост $1/R_{\infty}$, т.е. при безкрайно отдалечаване на електродите.

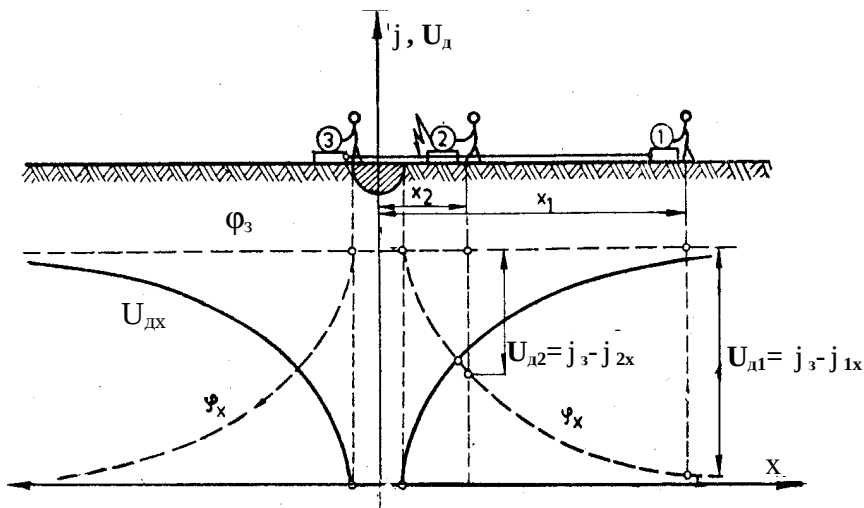
2. Допирно напрежение

В зоната на заземителна инсталация една от контактните точки се намира в надземния контур и има потенциал φ_3 , а другата контактна точка е основата, на която се намира човек, под потенциал $\varphi_{осн}$. В такъв случай:

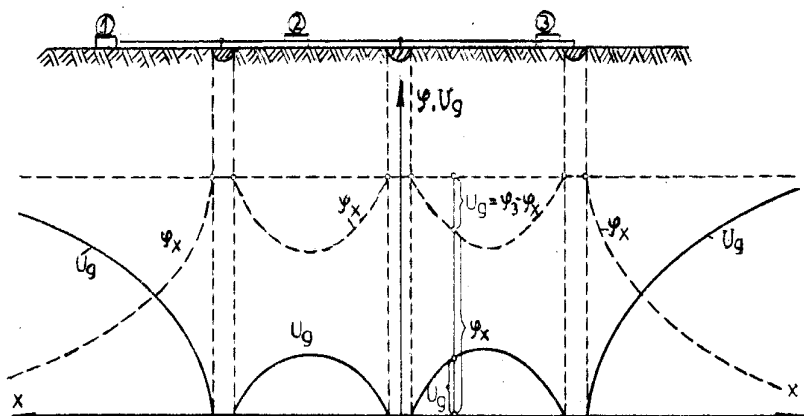
$$U_{дх} = j_3 - j_{осн} = j_3 \cdot a_1 \quad (3.30)$$

$$a_1 = \left(1 - \frac{j_{осн}}{j_3}\right) \leq 1 \quad (3.31)$$

α_1 се нарича коефициент на допирно напрежение и отчита формата на потенциалната характеристика. Характерът на изменение на допирното напрежение за единичен заземител е показан на фиг.3.17, а за групов – на фиг. 3.18.

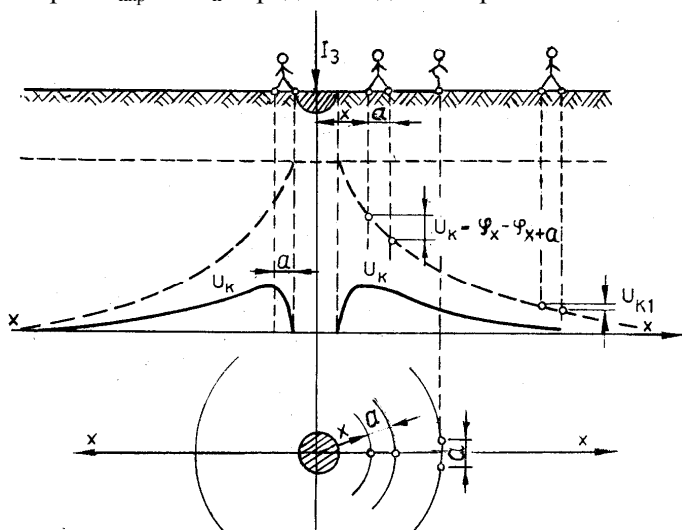


Фиг.3.17



Фиг. 3.18

3. Крачно напрежение. Крачно е напрежението между две точки от различни екипотенциални линии в зоната на заземителната инсталация, на които едновременно е стъпил човек. Протичащият през съпротивлението на тялото на човек по пътя крак - крак $R_{\text{кр}}$ ток I_h определя пад на напрежение:



Фиг.3.19

$$U_{\text{кр}} = I_h \cdot R_{\text{кр}}$$

(3.32)

т.е. крачното напрежение се появява само между точки от повърхността на земята или друга основа, на която е стъпил човек.

$$U_{кр} = \varphi_{зх} - \varphi_{з,х+a} = \varphi_z \beta_1 \quad (3.33)$$

a- разстоянието между две точки, на които е стъпил човек; β_1 – коефициент на крачно напрежение, отчитащ формата на потенциалната характеристика.

Допълнителни мерки за безопасност при обслужване на въздушни съобщителни линии и мрежи:

При откриване на скъсан и лежащ на земята или провиснал **радиотранслационен проводник** лицето, извършващо обхода, незабавно взема мерки за предотвратяване възможността от допиране или приближаване на хора, животни и превозни средства на разстояние, по-малко от 5 m от проводника. Допуска се отстраняване или обезвреждане на проводника с използване на диелектрични ръкавици и инструменти с изолирани дръжки.

При откриване на скъсан и лежащ на земята или провиснал проводник на **въздушна електропроводна линия**, лицето извършващо обходи по въздушни съобщителни линии и мрежи, като не се приближава на разстояние по-малко от 5 m до проводника на линия с напрежение до 20 kV и не по-малко от 8 m за линии с напрежение над 20 kV, незабавно информира организацията-собственик на електропроводната линия. Забранява се извършването на каквито и да е работи по съобщителната линия преди окончателното възстановяване на електропроводната линия.

Контролни въпроси:

Кои от твърденията не са верни:

1. С отдалечаване от заземителя крачното напрежение нараства.
2. С отдалечаване от заземителя допирното напрежение нараства.
3. Изменението на потенциала на повърхността на земята около заземителя се изменя по експоненциален закон.
4. Съпротивлението на заземителя зависи от геометричните му размери, но не и от съпротивлението на почвата, в която е положен.
5. Групов заземител се изгражда само за да се намали общото съпротивление на заземяване.

4. ТЕХНИЧЕСКИ МЕРКИ ЗА ЗАЩИТА НА ЧОВЕК ОТ ПОРАЖЕНИЯ ОТ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ТОК

4.1. ТЕХНИЧЕСКИ МЕРКИ ЗА ЗАЩИТА НА ЧОВЕК СРЕЩУ ДИРЕКТЕН ДОПИР

Частите на електрическите уредби за напрежения до и над 1000V, които нормално се намират под опасно за човека напрежение, се изолират, разполагат или ограждат по такъв начин, че не е възможно приближаването на хора на опасно разстояние или допирание до тези части без използване на помощни средства.

Мерките, които се прилагат поотделно или съвместно **срещу директен допир** са:

1. Основна изолация на тоководещи части;
2. Обвивки и прегради;
3. Ограждения;
4. Разполагане извън зоната на досегаемост;
5. Безопасно свръхниско напепение до 25 V (променливо и постоянно);
6. Допълнителна защитна мярка до 1000 V- дефектно токови защиты с $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$. Не се признава за пълна защитна мярка, а се комбинира с 1 до 5.

Защита срещу директен допир (ЗДД) не се изисква при напрежение до 25 V (променливо или постоянно) или в особени случаи при използване на лични предпазни средства.

1. Основна изолация на ръководещите части.

Трябва да издържа на всички въздействия в процеса на експлоатация. Изолационни покрития от емайли, оксидация, лакове, текстилни оплети и др. такива не се приемат за изолация. Когато основната изолация е чрез въздушна междина, ЗДД се осъществява посредством 2; 3; и 4.

2. Изолиране на работното място. Изпълняват се условията:

- Невъзможност за едновременно допирание до токопроводими части с различен потенциал;
- Невъзможност за допир до токопроводими части, които при повреда могат да се окажат под напрежение;
- Изолацията на работното място трябва да е устойчива на климатични, механични, електрически и топлинни натоварвания.

3. Обвивки и прегради.

Обвивки - част, предназначена да осигурява защита на съоръжение срещу външни въздействия и защита срещу директен допир от всички направления.

Прегради - част, осигуряваща защита срещу директен допир от всяко възможно направление за достъп.

Изискванията към обвивки и прегради при напрежение до 1000 V са:

- Да осигуряват степен на защита най-малко IP2X;
- Да имат сигурно закрепване и достатъчна механична якост;
- Да е възможен достъп зад преградата само с помощта на специален ключ или инструмент, след изключване на напрежението. Ако не може да се изпълни това, се слага допълнителна преграда (IP2X), която да се отстранява със специален ключ или инструмент.
- Горните хоризонтални повърхности на прегради или хоризонтални обвивки, когато са леснодостъпни, трябва да имат степен на защита най-малко IP4X.

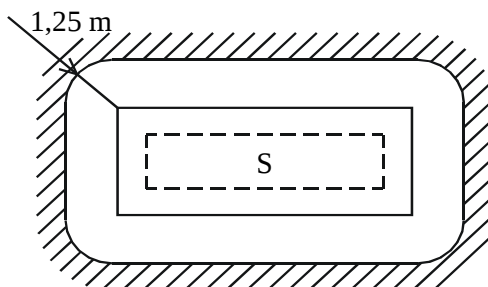
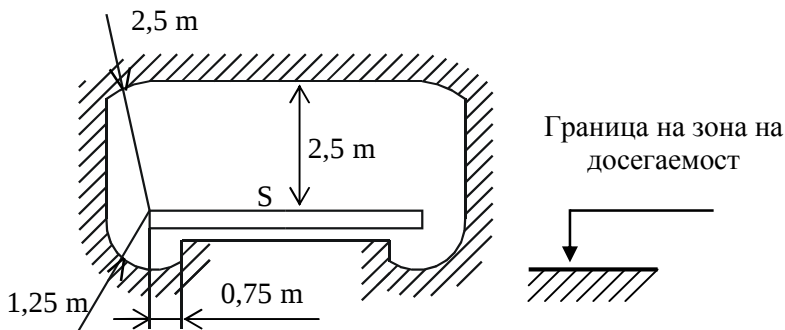
4. Защита чрез ограждения (в помещения за квалифициран персонал). Изработват се от електроизолационен материал и са предназначени за защита срещу допир до тоководещи части при напрежение до 1000 V или до опасно доближаване при напрежение над 1000, но не възпрепятстват преднамерено допиране или приближаване чрез заобикаляне. За отстраняването им не се изисква ключ или инструмент, но се закрепват срещу случайно сваляне.

5. Защита чрез разполагане извън зоната на досегаемост (в помещения за квалифициран персонал). Използва се, когато не могат да се осигурят изискванията за обвивки или прегради.

Зона на досегаемост - част от пространството между всяка точка от повърхността, върху която обикновено стоят или се движат хора, и повърхността, която човек може да достигне с ръка във всички направления, без спомагателни средства.

Разстоянието между достъпни за едновременно допир тоководещи части в електрически уредби до 1000 V е минимум 2,5 m. Не се допуска в зоната на досегаемост части за едновременно допир с различен потенциал. Ако има междинни ограждения,

зоната на досегаемост започва от тях. В местата, където се манипулира с токопроводими предмети с голяма дължина или значителен обем, разстоянията се увеличават съответно на размерите им.



Зона на досегаемост. S- повърхността, на която се намират или по която се движат хора. Във вертикална посока зоната на досегаемост се ограничава на 2,5 m, а в хоризонтална посока – на 1,25 m.

6. Безопасно свръхниско напрежение (SELV) – свръхниско напрежение, получавано от източник със защитно разделяне, при което никоя точка от вторичната верига няма връзка със земя, а достъпните за допиране токопроводещи части не са преднамерено свързани със земя или защитен проводник. Използва се едновременно за защита от директен и индиректен допир.

Изисквания при използване на БСНН:

а) Номиналното напрежение не надвишава 25 V променливо или 60 V постоянно.

б) Захранването е от специални източници: трансформатори за БСНН с електрически разделени намотки; електро-двигател- генератор, чиито намотки са еквивалентно разделени; батерии или акумулатори; електронни устройства със защиты, така че при вътрешна повреда на устройството, напрежението на изходните клеми да остава по малко от 25 V.

в) Изисквания към веригите за БСНН :

- Тоководещите им части защитно се разделят помежду си и с други вериги;

- Щепселните съединения се изработват без защитен контакт и без възможност за включване в други контакти;

- Тоководещите им части не се свързват електрически със земята; други тоководещи части; защитни проводници на други вериги;

- Достъпните токопроводими части не се свързват преднамерено със земята; защитни проводници или достъпни токопроводими части на други вериги.

Контролни въпроси:

1. Какво се разбира под понятието “директен” допир и може ли да настъпи от разстояние до тоководещи части?

2. Какво се разбира под понятието “зона на досегаемост”?

3. Има ли изисквания към обвивките на съоръженията, за да се считат за защита срещу директен допир?

4. Кои са защитните мерки срещу директен допир? Кое от тях се използва като допълнителна мярка?

5. Кои от твърденията не са верни:

- Стойността на БСНН (променливо, 50Hz) в случаите, когато се ползва като защита срещу индиректен допир е до 50V;

- Стойността на БСНН в случаите, когато се ползва като защита срещу директен допир е до 25 V;

- Няма специални изисквания към източниците на БСНН в случаите, когато напрежението е до 10V.

4.2. ТЕХНИЧЕСКИ МЕРКИ ЗА ЗАЩИТА НА ЧОВЕК СРЕЩУ ИНДИРЕКТЕН ДОПИР

Мерките, които се прилагат поотделно или съвместно **срещу индиректен допир** са:

- Защитно заземяване (ЗЗ);
- Автоматично изключване на захранващото напрежение (АИЗН);
- Защитно изключване (ЗИ);
- Изравняване на потенциалите;
- Защитно изолиране (двойна или усилена изолация);
- Защитно разделяне (ЗР);
- Безопасно свръхниско напрежение БСНН или предпазно свръхниско напрежение ПСНН;
- Изолиращи (нетокопроводими) помещения, зони, площадки.

ЗАЩИТНО ЗАЗЕМЯВАНЕ

1. Заземяването е преднамерено свързване на части на електрически уредби, индустриални и комуникационни съоръжения със заземител или заземителна инсталация. Защитното заземяване е заземяването на части, които подлежат на защита срещу индиректен допир при спазване на допълнителни изисквания.

Заземяването се осъществява чрез система от заземители и заземителни проводници. В зависимост от функционалното предназначение заземяването се класифицира на:

1. Работно заземяване - свързване на полюс на двуфазен източник, звезден център на източника в трифазни мрежи или изведена средна точка на източник в двуфазни мрежи със земя.

2. Защитно заземяване - основно защитно мероприятие за изделия от клас I в мрежи IT и допълнително мероприятие, използвано съвместно със защитното зануляване в мрежи TN. Прилага се към електропроводими части, които нормално не са под напрежение, за защита на хора от електрически удар при индиректен допир или защита от електростатични заряди.

3. Мълниезащитно заземяване - прилага се към мълниезащити на електрически уредби, индустриални обекти, комуника-

ционни съоръжения и сгради за защита от пряко въздействие или вторични ефекти на мълниев разряд.

2. Основни термини

1. Земя - токопроводимата маса на земята, чийто електрически потенциал във всяка точка условно е приет за нула.

2. Заземител (заземително устройство) - токопроводима част или група от токопроводими части в непосредствен допир със земя и осигуряваща електрическа връзка със земя.

3. Заземителна уредба - съвкупност от заземители, заземителни проводници, главна заземителна клема (шина) и принадлежащите им елементи на даден обект (сграда). Заземителната уредба включва и проводниците за изравняване на потенциалите, когато има такива.

4. Съпротивление на заземител - електрическо съпротивление на земята в областта между заземителя и зона с нулев потенциал, измерено при протичане на ток през заземителя с честота 50 Hz.

5. Импулсно съпротивление на заземител - електрическо съпротивление на земята в областта между заземителя и зона с нулев потенциал измерено при протичане на импулсен ток със зададени амплитуда и времеви параметри.

3. Ефективност на защитно заземяване (ЗЗ). ЗЗ може да се изпълни в мрежи до и над 1000 V с различен режим на работа на звездния център. Това определя и възможността за различна ефективност на заземяването като защитна мярка.

При корпусно съединение *ефективността на защитното заземяване* се оценява по изпълнението на поне едно от условията:

1) Намаляване до безопасни стойности ($U_{д,доп}$, $U_{кр,доп}$) на допирните ($U_{д}$) и крачни ($U_{кр}$) напрежения:

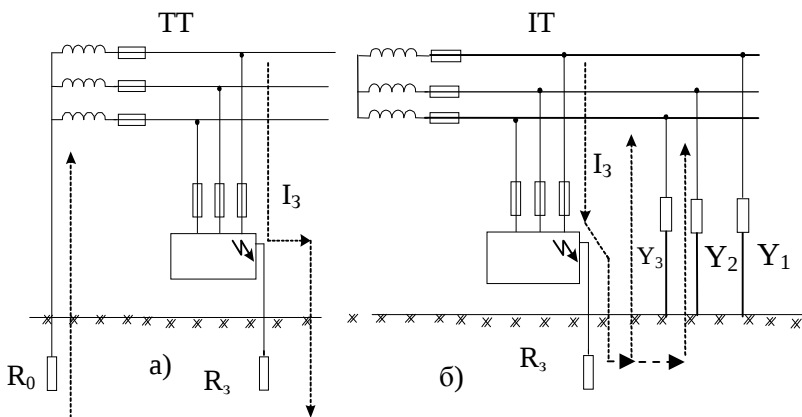
$$U_{д} \leq U_{д,доп} \quad (4.1)$$

$U_{д,доп}$ - нормирана допустима стойност на допирно напрежение.

2) Задействане на токова защита (ТЗ) за изключване на дефектиралото съоръжение или участък от мрежата:

$$I_3 \geq I_a \quad (4.2)$$

I_a - ток на задействане на ТЗ; I_3 - ток при поява на повреда.



Фиг. 4.1.

На фиг. 4.1 са показани принципни схеми на заземяване в мрежи с различен режим на работа на звездния център на източника.

Анализ на ефективността на защитно заземяване в мрежи с изолирана неутрала (фиг. 4.1.б). При корпусно съединение към фаза “i” през R_3 и проводимости Y_{i+1}, Y_{i+2} протича ток I_3 :

$$I_3 = 3 \cdot U_{iN} \cdot Y_i \quad (4.3)$$

U_{iN} е фазно напрежение на източника.

I_3 създава пад на напрежение на R_{33} , който определя допирното напрежение:

$$U_d = I_3 \cdot R_3 \quad (4.4)$$

Условието за ефективност на защитното заземяване е (4.1). Ето защо в мрежи ИТ за защита срещу поражения от електрически ток при първи дефект на изолацията се използва защитно заземяване в съчетание с контрол на съпротивлението на изолацията. При второ земно съединение се осигурява защитно изключване на захранването.

В мрежи с напрежение до 1000V I_3 е малък и U_d е малко при достатъчно ниска стойност на R_3 и заземяването е с необходимата ефективност. Нормативно $R_{3N} \leq 2 \Omega$, а съпротивлението на свързващите проводници до най-отдалечения консуматор трябва да е по-малко от 1 Ω . При схема ИТ времето за автоматично

изключване на захранването при двойно земно съединение не превишава стойностите, посочени в Таблица 4.1.

Таблица 4.1

Номинално напрежение, V	Без изведена неутрала, максимално време за изключване, s	С изведена неутрала, максимално време за изключване, s
250/400	0,4	0,8
400/690	0,2	0,4
580/1000	0,1	0,2

Анализ на ефективността на защитно заземяване в мрежи с директно заземен звезден център (фиг. 4.1. а). При корпусно съединение през R_{33} и R_0 протича ток на повреда:

$$I_3 = \frac{U_i}{R_0 + R_3} \quad (4.5)$$

U_i е фазно напрежение на мрежата.

В мрежи с напрежение до 1000 V намаляването на R_{33} за постигане на условие 4.1 е ограничено от технико - икономически съображения. От друга страна токът I_3 може да не задейства ТЗ, ако номиналният ток на потребителя е голям, т.е. не се изпълнява условие 4.2. Например, ако $R_3 = R_0 = 4\Omega$, в мрежа с напрежение 220V токът на повреда $I_3 \approx 28A$. Ако защитата е изпълнена с предпазител със стопяема вложка с коефициент на задействане $k = 5$ нейният номинален ток трябва да бъде $I_n = 28/5 = 5,6A$. При автоматични предпазители k се изменя от 4,5 до 16 и следователно I_n има още по-ниски стойности. Този ток ограничава мощността на консуматорите, които могат да бъдат защитно заземени. Следователно ефективността на заземяването в мрежи със заземена неутрала може да се оценява само с отчитане на избраната токова защита. Ето защо при захранване на електрическа уредба с напрежение до 1000V от източник по схема ТТ за защита срещу поражения от електрически ток се използва защитно изключване на захранването посредством защитен прекъсвач.

АВТОМАТИЧНО ИЗКЛЮЧВАНЕ НА ЗАХРАНВАЩОТО НАПРЕЖЕНИЕ. ЗАНУЛЯВАНЕ

Автоматично изключване на захранването – автоматично изключване на захранващото напрежение на фазата (полюса), в която е възникнал дефект на изолацията, или на всички фази (полюси), чрез задействане на устройство за максималнотокова защита или на специално предвиден защитен прекъсвач.

При използване на автоматично изключване на захранването се изпълнява и главна система за изравняване на потенциалите, а при необходимост - и допълнителна система за изравняване на потенциалите.

В мрежи TN това защитно мероприятие е прието да се нарича **зануляване**. **Зануляването** - свързване на части на електрическата уредба, които подлежат на защита при индиректен допир (всички достъпни токопроводими части), с многократно заземения нулев защитен проводник. Целта на зануляването е: при поява на опасност за човек от индиректен допир да бъдат изключени от токова защита (ТЗ) повреденото съоръжение или участък от мрежата.

Зануляването се изпълнява по следните два основни начина:

а) присъединяване към проводник PEN (нулевият проводник изпълнява и функция на защитен проводник) в трифазна четирипроводна (TN-C) или двуфазна трипроводна мрежа;

б) присъединяване към проводник PE в трифазна петпроводна или двуфазна четирипроводна мрежа TN-S (с отделно изведени работен нулев N и защитен PE проводници). Прилага се в помещения с повишена опасност, когато има условия за прекъсване на работния нулев проводник или към аналогови и дискретни електронни устройства (в изчислителни центрове, телекомуникационна техника, медицинска техника) за избягване на внесени смущения от работния нулев проводник.

Към изпълнението и избора на проводници PE и PEN и свързаните към тях съоръжения се поставят следните изисквания:

1. Наличие на защитни клеми, които не трябва да изпълняват други функции, освен за свързване на защитни проводници към частите, подлежащи на зануляване.

2. Наличие на знак за означаване на защитна клема поставен до или върху защитната клема или шина.

3. Не се допускат във веригите на РЕ и PEN проводници комутиращи елементи (контактни и безконтактни). Допускат се съединения, които се демонтират само с помощта на инструмент или специално предназначени за тази цел съединители.

4. Цветната маркировка на защитните проводници е на жълти и зелени ивици.

5. Защитните проводници РЕ или PEN, които са разположени във вътрешността на електрически машини и съоръжения, трябва да имат изолация, равностойна на изолацията на тоководещите проводници.

6. При сечение на тоководещите проводници до 16 mm^2 защитните проводници РЕ или PEN трябва да бъдат със същото сечение.

7. Изпълнява се повторно заземяване на защитния проводник РЕ и на проводника PEN. Препоръчва се повторното заземяване да се изпълнява при главното разпределително табло. За повторно заземяване с предимство се използват естествените заземители.

8. Контактите на вътрешните електрически инсталации трябва да бъдат със защитна клема. **Схема на изпълнение и действие на зануляването.**

Принципната схема на зануляването в мрежа TN-C е показана на фиг.4.2. На схемата са показани посоките на тока в различните контури при корпусно съединение в съоръжението. Броят на тези контури е равен на броя на всички заземявания на РЕ или PEN.

Токът на повреда (корпусно съединение) I_k на входа на всеки потребител трябва да предизвиква задействане на токовата защита. Условие за това е :

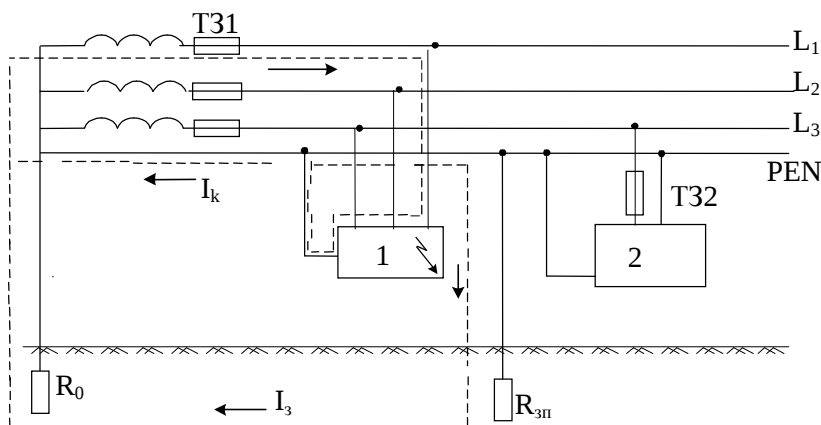
$$I_k \geq I_a \quad (4.6)$$

$$I_a = k \cdot I_n \quad (4.7)$$

I_a - максимален ток на задействане на ТЗ, А;

I_n - номинален ток на вложката на стопяемия предпазител или максимален ток на настройка на термичния изключвател на автоматичен прекъсвач, А; k - кратност на увеличаване на I_n , от

който се задейства защитата (коэффициент на задействане).



Фиг.4.2. R_0 - съпротивление на работен заземител; $R_{зп}$ – съпротивление на повторно заземяване; 1,2 - електрически консуматор (съответно - трифазен и еднофазен) ; T31- токова защита в разпределителна верига; T32- токова защита в крайна верига

Токът I_k зависи от импеданса Z_S на контура с повреда на изолацията, състоящ се от импедансите на захранващия източник, на фазовия проводник до точката на повреда и на защитния проводник между точката на повреда и захранващия източник. Z_S се определя по формулата:

$$Z_S = Z_M + Z_T / 3 \quad (4.8)$$

Z_T - импеданс на трансформатора или генератора за тока с нулева последователност, Ω . Този импеданс се отчита само в мрежи с мощности на захранващия трансформатор до 100 kVA; Z_M - импеданс на контура “фаза-защитен проводник” на мрежата, Ω .

Ефективността на зануляването е осигурена, когато импедансът Z_S е достатъчно малък. Това е спасено при:

$$Z_S \leq U_\phi / k \cdot I_n \quad (4.9)$$

За мрежите със заземен звезден център TN с фазно напрежение $U_\phi = 220 \text{ V}$ формула (4.9) добива вида:

$$Z_S \leq 220 / k \cdot I_n \quad (4.10)$$

Максималното време за изключване зависи от фазното напрежение и трябва да бъде: при 220 (230)V - 0,4 s; при 380 (400) V- 0,2 s; над 380 (400) V- 0,1 s.

Ефективност на защитното зануляване.

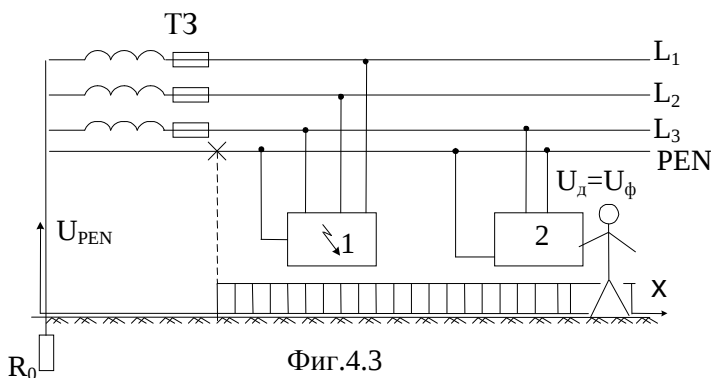
Необходими предпоставки за постигане на висока ефективност на защитното зануляване са:

- Добри контактни връзки между корпусите на защитаваните съоръжения и защитния проводник;
- Осигуряване целостта на защитния проводник;
- Достатъчно малко съпротивление на контура “фаза - защитен проводник”;
- Правилно оразмеряване на токовата защита и поддържане в работоспособно състояние;
- Наличие, оразмеряване и изпълнение на R_0 и $R_{3П}$ в съответствие с нормативните изисквания.

При нарушаване на тези предпоставки могат да възникнат следните ситуации, намаляващи или отстраняващи ефекта на защитата в мрежи TN-C:

А. Отсъствие или прекъсване на повторно заземяване на PEN.

Прекъсване на защитен проводник (фиг. 4.3). Защитният проводник и всички електропроводими нетоководещи части след мястото на прекъсване остават под фазно напрежение при корпусно съединение в трифазно съоръжение.

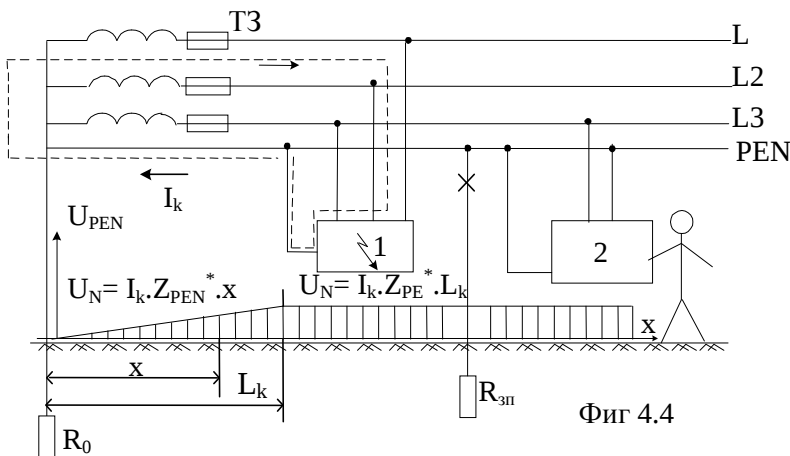


При наличие на несиметрия в мрежата се повишава напрежението на неутралната точка, създадена изкуствено от трифазни консуматори. Ако тази точка е свързана с нулевия проводник, той получава същото напрежение, следователно и корпусите остават под това напрежение. Опасността от поява на фазно напрежение на проводник PEN възниква и при напълно изправни съоръжения и наличие на еднофазни съоръжения.

Неизправна токова защита (фиг.4.4). В това състояние мрежата се оказва опасна, ако защитата е неправилно оразмерена или не се задейства. Напрежението на нулевия проводник след мястото на повреда:

$$U_{dx}=U_{PENx} = I_k \cdot Z_{PEN}^* \cdot x = U_{\phi} \cdot \frac{Z_{PEN}^* \cdot x}{Z_L^* \cdot L_k + Z_{PEN}^* \cdot L_k} \quad (4.11)$$

Z_{PEN}^* , Z_L^* - импеданс на проводник PEN и на фазов проводник за единица дължина, а L_k е разстояние от източника до дефектното съоръжение. След мястото на повреда U_{dx} има стойност, определена при $x = L_k$.



Фиг 4.4

Б. Наличие на повторно заземяване на PEN.

Прекъсване на защитен проводник (фиг. 4.5).

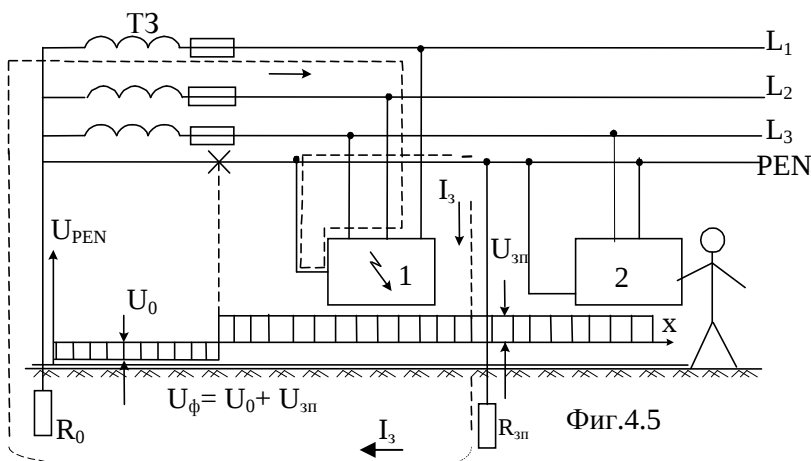
Токът на земно съединение, осигурен от повторния

заземител, е:
$$I_3 = \frac{U_{\phi}}{R_0 + R_{зп}} \quad (4.12)$$

Напреженията в местата на свързване на повторния и работни заземители е:

$$U_{3п} = I_3 \cdot R_{3п} = U_{\phi} \cdot \frac{R_{3п}}{R_0 + R_{3п}}; \quad U_0 = I_3 \cdot R_0 = U_{\phi} \cdot \frac{R_0}{R_0 + R_{3п}} \quad (4.13)$$

В частен случай, ако $R_0 = R_{3п}$, $U_{3п} = U_{\phi}/2$. Следователно повторният заземител намалява опасността при прекъсване на защитния проводник, но не може да създаде необходимите условия на електробезопасност, особено ако $I_3 < I_a$.



Исправен защитен проводник, но незаработила технологична токова защита (фиг.4.6). Могат да се запишат съотношенията:

$$U_{ab} = I_k \cdot Z_{PEN} \approx \frac{U_{\phi} \cdot Z_{PEN}}{Z_L + Z_{PEN}} \quad (4.14)$$

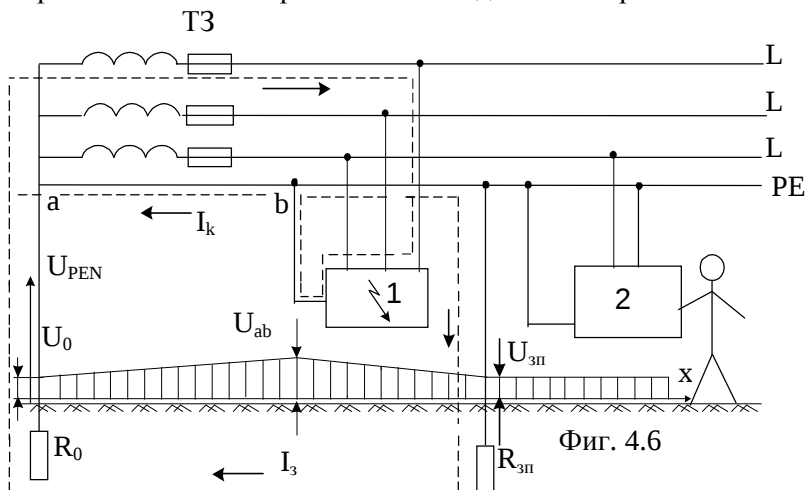
При условие $|Z_{PEN}| \ll (R_0 + R_{3п})$:

$$I_3 = \frac{U_{аб}}{R_0 + R_{3п}} \quad (4.15)$$

$$U_{3п} = I_3 \cdot R_{3п} = U_{ab} \cdot \frac{R_{3п}}{R_{3п} + R_0} \approx U_{\phi} \cdot \frac{R_{3п} \cdot Z_{PEN}}{(R_0 + R_{3п}) \cdot (Z_L + Z_{PEN})} \quad (4.16)$$

$$U_{30} = I_3 \cdot R_0 = U_{ab} \cdot \frac{R_0}{R_{3п} + R_0} \approx U_{\phi} \cdot \frac{R_0 \cdot Z_{PEN}}{(R_0 + R_{3п}) \cdot (Z_L + Z_{PEN})} \quad (4.17)$$

Следователно, повторният заземител намалява допирните напрежения на близко разположените до него съоръжения.



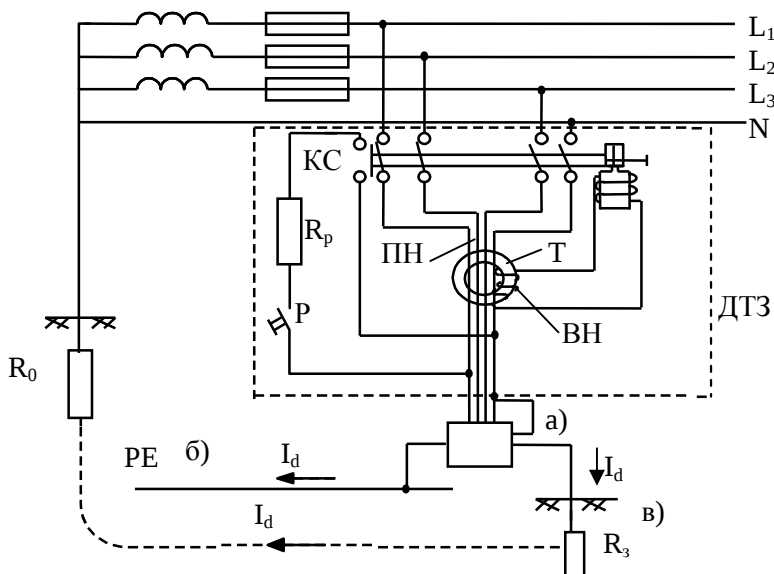
ЗАЩИТНО ИЗКЛЮЧВАНЕ

1. Принцип на защита.

Защитното изключване е изключване на захранващото напрежение на всички фази (полюси) чрез специално предвиден защитен прекъсвач.

Защитен прекъсвач- прекъсвач, който изключва всички фази (полюси) на захранващото напрежение при възникване на опасност за поражение от електрически ток, в резултат на дефект на изолация, и се задейства на изключване при достигане на определена стойност на тока с нулева последователност, на корпусното напрежение или на съпротивлението на основна изолация.

Защитното изключване се прилага в случай на недостатъчна ефективност на защитното заземяване или зануляване; при опасност от допир до тоководещи части или в случай на много **високи изисквания към електрообезопасването. Осигурява защита както срещу индиректен, така и срещу директен допир. В практиката най-разпространени са защитни прекъсвачи, реагиращи на токове с нулева последователност, т. нар. дефектно - токови защиты (ДТЗ).**



фиг.4.7. P – тестов бутон; R_p – ограничително съпротивление; I_d – ток на повреда; T – тороидален магнитопровод; $ПН$ и $ВН$ – първична и вторична намотка; $ДТЗ$ – дефектно- токов апарат; $КС$ – контактна система; а) *погрешно свързване на корпуса на товара и работен нулев проводник в TN-S система*; б) *правилно свързване в TN-S система*; в) *правилно свързване в TT или IT система*.

На фиг.4.7. е показана принципната схема на защитен прекъсвач, задействащ от ток с нулева последователност. Ако всяко устройство в електрическа мрежа се разглежда като възел, според първия закон на Кирхоф геометричната сума на всички входящи и изходящи токове във всеки един момент е равна на нула. Това условие е валидно както за симетричен трифазен товар, така и при несиметрично натоварване, когато токът през нулевия проводник допълва сумата на токовете през останалите проводници до нула. Ако всички захранващи проводници преминават през чувствителен елемент, представляващ сумиращ токов трансформатор (фиг.4.7), във вторичната му намотка не се индутира е.д.н., докато някъде след него не настъпи несиметрия (от влошаване или пробив в изолацията). Това се обуславя от взаимното компенсиране на магнитните полета около всеки проводник. При настъпване на утечка

(пробив) в изоляцията през мястото на дефекта и през земята протича ток I_d , който остава некомпенсиран. Геометричната сума на токовете през токовия трансформатор е равна на I_d . Във вторичната страна на трансформатора се индукира напрежение и при съответна настройка се получава управляващ сигнал към изпълнителен елемент, който отделя дефектиралата част от мрежата или потребителя от източника на захранване.

Технически параметри на ДТЗ:

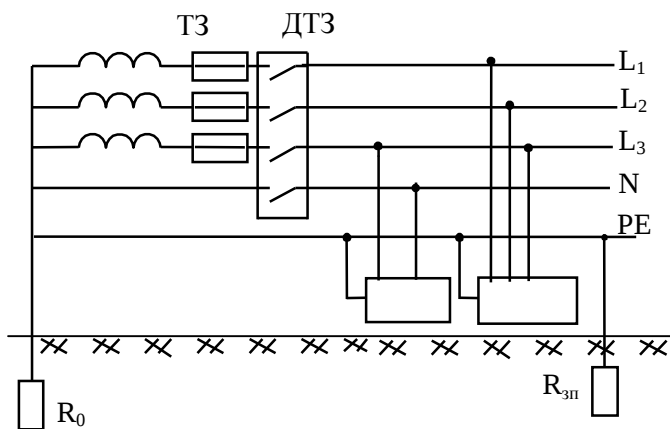
- Номинално напрежение U_n (220 или 380V), номинален ток I_n , и номинална честота f , Hz
- Номинален изключващ диференциален ток $I_{\Delta n}$, A
- Номинален неизключващ диференциален ток $I_{\Delta n0} \leq 0,5 \cdot I_{\Delta n}$, A
- Допустим свръхток (ток на неизключване при несиметрия) $I_{nm} \leq 6 \cdot I_n$, A
- Допустим ток на изключване $I_{донм} \leq 10 \cdot I_n$ или 500A (избира се по-голяма стойност)
- Допустим краткотраен ток $I_{донк} \leq (3; 4,5; 6; 10)$ kA
- Номинално време на изключване на диференциален ток.
- I_f – ток на сработване на ДТЗ, като $I_{\Delta n}/2 \leq I_f \leq I_{\Delta n}$.

Примерни схеми на свързване.

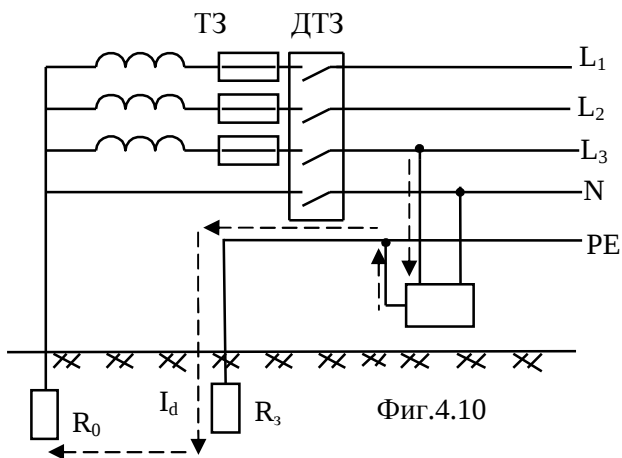
Използване на ДТЗ в мрежа TN-S (фиг.4.9).

Използване на ДТЗ в схема TT (фиг.4.10).

R_a - общото съпротивление на заземителя и заземителния проводник на потребителя; при използване на един защитен прекъсвач за няколко потребителя се взема съпротивлението на най-отдалечения потребител.



Фиг.4.9



Фиг.4.10

ЗАЩИТНО ИЗОЛИРАНЕ

Защитно изолиране - отделяне на частите под напрежение от частите, които подлежат на защита при индиректен допир с двойна или усилена изолация.

ИЗРАВНЯВАНЕ НА ПОТЕНЦИАЛИТЕ

Изравняване на потенциалите - електрическа връзка между различни достъпни токопроводими части и непринадлежащи (чужди) за уредбата токопроводими части, осигуряваща им един и същ потенциал или приблизително равни потенциали.

ЗАЩИТНО РАЗДЕЛЯНЕ

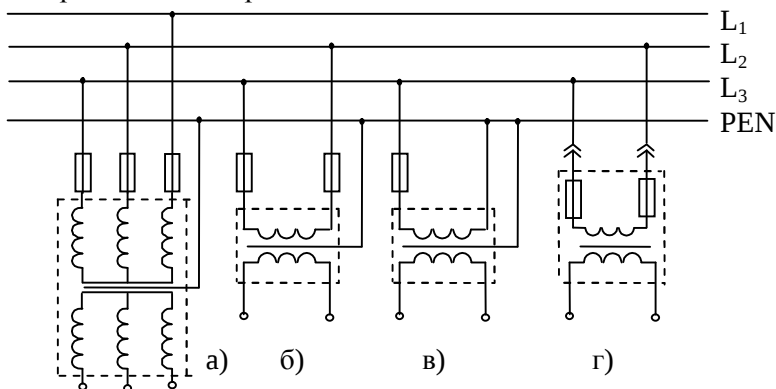
Защитно разделяне - сигурно електрическо отделяне на определен токов кръг от захранващата мрежа и от земята за осъществяване на защитата при индиректен допир. Защитно електрическо разделяне на вериги като правило се прилага само за една верига, чието най-голямо работно напрежение не превишава 500 V.

Разделената верига се захранва от разделящ трансформатор или от друг източник, осигуряващ същата степен на безопасност. Към всяка изходяща намотка на разделителен трансформатор се включва само един консуматор. Коефициентът на трансформация може да бъде $k_T \leq 1$. Достъпните токопроводими части на потребителя не се присъединяват нито към защитен проводник, нито към достъпни токопроводими части на други потребители.

Допуска се захранване на няколко потребителя от един разделящ трансформатор при едновременно изпълнение на следните условия:

1. достъпните токопроводими части на разделената верига нямат електрическа връзка с металния корпус на захранващия източник;
2. достъпните токопроводими части на разделената верига са свързани помежду си посредством изолирани незаземени проводници на допълнителната система за изравняване на потенциалите, която няма електрическа връзка със защитни проводници и достъпни токопроводими части на други вериги;
3. всички инсталационни контакти са със защитен контакт, свързан с допълнителната система за изравняване на потенциалите;

4. всички гъвкави кабели, с изключение на захранващите електрообзавеждане от клас II на защита срещу поражения от електрически ток, имат защитен проводник, използван в този случай като проводник за изравняване на потенциалите.



Фиг.4.11. *Свързване на трансформатори (разделителни и за безопасно свръхниско напрежение): а- трифазен трансформатор 380 V; б- двухазен трансформатор 380 V; в- еднофазен трансформатор 220 V; г - преносим еднофазен трансформатор от клас I.*

4.3. ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ ПОЛЕТА С НИСКА И ВИСОКА ЧЕСТОТА. КЛАСИФИКАЦИЯ. ЧИСЛЕНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗА ОЦЕНКА НА ВЪЗДЕЙСТВИЕ ВЪРХУ ЧОВЕК. ВЪЗДЕЙСТВИЕ. НОРМИРАНЕ. ПРИНЦИПИ НА ЗАЩИТА

1. Източници на електромагнитни полета (ЕМП), които имат значимо биологично въздействие върху човек могат да бъдат:

- Електропроводи и уредби за високо напрежение;
- Технологични уредби за индукционно и диелектрично нагряване;
- Радио- телевизионни предаватели и радиолокационни системи;
- Електро-медицинска техника;
- Видеодисплеи;
- Комуникационни системи.

2. Класификационни подходи към ЕМП. Критерии за класификацията на ЕМП са: честотата f и дължината l на вълната, като връзката между тях е $l = c/f$, (c е скорост на светлината, 3.10^8 m/s).

ЕМП с индустриална честота – 50 Hz до 30 kHz (6.10^6 m до 10^4 m)

Радиочестотни ЕМП – 60.10^3 Hz до 300.10^6 Hz, разделени на поддиапазонни:

- а) 60 kHz – 3.10^6 Hz (5.10^3 m до 10^2 m) – километрови и хектаметрови вълни;
- б) 3.10^6 Hz – 30.10^6 Hz (10^2 m до 10^1 m) – декаметрови вълни;
- в) 30.10^6 Hz – 300.10^6 Hz (10^1 m до 10^0 m) – метрови вълни.

Микровълнови ЕМП– 300.10^6 Hz до 300.10^9 Hz, разделени на поддиапазонни:

- а) 300.10^6 Hz – 3.10^9 Hz (10^0 m до 10^{-1} m) – дециметрови вълни;
- б) 3.10^9 Hz – 30.10^9 Hz (10^{-1} m до 10^{-2} m) – сантиметрови вълни;
- в) 30.10^9 Hz – 300.10^9 Hz (10^{-2} m до 10^{-3} m) – милиметрови вълни.

3. Числените характеристики за оценка на енергийното въздействие на ЕМП са:

- интензитет на електрическа съставляща на полето - E , V/m;
- интензитет на магнитна съставляща на полето – H , A/m;
- енергия на електрическото поле $W_E = E^2 \cdot T$, $[V/m]^2 \cdot h$;
- енергия на магнитното поле $W_H = H^2 \cdot T$, $[A/m]^2 \cdot h$, където T е времето за въздействие на полето върху тяло;

- плътност на енергиен поток (ПЕП), $S, W/m^2$;
- зона на въздействие на ЕМП около източника. Тя свързва дължината на вълната на ЕМП; източника на излъчване и тялото, намиращо се в зоната на въздействие. Въведени са три зони:

а) *близка зона* (зона на индукция) $L_{6,3} < \frac{\lambda}{6}$; в тази зона няма

сформирана електромагнитна вълна и оценката на въздействие се извършва по E и H ;

б) *междинна зона* (зона на интерференция) - зона на формиране на електромагнитни вълни $L_{м,3}$;

в) *далечна зона* (вълнова зона) – в тази зона изцяло са формирани електромагнитни вълни.

При изотропен източник $L_{д,3} > \lambda$; При параболични и кръгли

антени $L_{д,3} \geq \frac{D^2}{\lambda}$, (D – диаметър на антената) и за друг тип

излъчватели $L_{д,3} \geq \frac{L_1 L_2}{\lambda}$ (L_1 и L_2 са хоризонтален и вертикален

размер на разтваряне на антената).

Електрически характеристики на биологичната тъкан.
Биологичните тъкани се състоят от множество клетки с вътрешна и външна течна среда. Вътрешноклетъчната и междуклетъчната среда имат специфично обемно електрическо съпротивление $\rho_v \approx (0,5 - 5) \Omega m$ и относителна диелектрична проникваемост $\epsilon \approx 80$. Обвивката на клетката има специфично повърхностно съпротивление до $10^7 \Omega m$, а специфичният повърхностен капацитет е $0,1$ до $3 \mu F/cm^2$. Диелектричните загуби се оценяват по $\tan \delta \approx 0,1$.

Електрически явления и физиологични процеси в биологична тъкан под действие на ЕМП.

Под действие на електромагнитното поле в биологичната тъкан се развиват следните електрофизични процеси:

а) проводимост - свързана с неограничено и необратимо преместване на свободни електрически заряди в постоянно и променливо поле. В течната среда на тъканите винаги има метални йони и заредени колоидни частици. Вследствие електролитната дисоциация и под въздействието на електрическото поле йоните и частиците се преместват по посока на силовите линии;

б) поляризация - свързана с ограничено и частично необратимо (специално за биологичната тъкан) преместване на свързани електрични заряди - диполи и полярни молекули;

в) диелектрични загуби - свързани с отделянето на топлина и загряване на тъканта в резултат на проводимост и поляризационни процеси или непосредствено поглъщане на електромагнитната енергия на полето.

При постоянно напрежение йонен ток ще протича само в междуклетъчната течна среда, тъй като обвивката на клетката е добър изолатор и ограничава движението на свободните заряди. При високи постоянни напрежения е възможна електрофореза-проникване на клетки и микромолекули през клетъчната обвивка.

При променливо електрично поле електричните свойства на живите тъкани зависят от честотата. Колкото по-висока е честотата, толкова в по-голяма степен те губят своите диелектрични свойства и придобиват свойства на проводник. При честота 10^9 - 10^{10} Hz йонните токове постепенно се заместват от поляризацията на молекулите, при която диелектричните загуби нарастват значително. Енергията на електромагнитното поле, погълната от тъканта, се превръща в топлинна. Степента на въздействие зависи от дължината на вълната и интензивността на излъчване. Погълнатата от цялото тяло енергия и превърнатата в топлина се оценява по:

$$P_{\text{пог}} = P_0 (1 - k_1) \cdot e^{-2 \cdot k_2 \cdot r} \quad (4.20)$$

$P_0 = J_0 \cdot S_{\text{еф}}$ е количеството енергия, насочена към тялото; k_1 - коефициент на отражение на границата въздух - кожа, който се изменя от 0,76 до 0,47 с нарастване на честотата; k_2 - коефициент на затихване; r - разстоянието между източника и повърхността на тялото, cm; $S_{\text{еф}}$ - ефективната повърхност на тялото, което се облъчва, cm^2 ; J_0 - специфичната енергия, насочена към кожата W/cm^2 . Съществени различия в електричните свойства на кожата, подкожните тлъстини, мускулната и др. тъкани обуславят сложна картина на разпределяне на погълнатата от тялото енергия. Вълни от милиметровия обхват се поглъщат от повърхностния слой на кожата, от сантиметровия обхват - от кожа и подкожни слоеве (до 5 mm), от дециметровия обхват - от вътрешните органи; от метровия обхват - преминават през тялото.

Освен топлинно действие, ЕМП има и физиологично действие, свързано с:

а) Протичане на ток I_h под действие на Е и Н с характерните увреждания при директен и индиректен допир;

б) Импулсни токови удари с електростатичен произход при електрически пробиви от метални предмети към човек (или обратно);

в) Повишаване на телесната температура. При дължина на вълната, съизмерима с размерите на тялото на човек или отделни органи, се образуват стоящи вълни. Това води до концентрация на топлинна енергия дори и при малък интензитет на полето. Топлинното действие се характеризира с общо повишаване на температурата и появата на усещане или за локално нагряване или за приливи на топли вълни, преминаващи през цялото тяло. Загряването е особено опасно за органи със слаба терморегулация или ограничено преминаване на кръвен поток (мозък, очи, стомах, черен дроб, полови органи).

г) Нарушаване на биоелектричната стабилност на централната, периферната и вегетативна нервна система;

д) Суспензиране на съставни частици на кръвта (левкоцити и еритроцити), свързано с намаляване на подвижността им и на окислително-редукционна и енергийно обменната им способност;

е) Поляризация на макромолекулярни частици, свързана с разрушаване на междумолекулярни връзки, нарушаване на К-Na обмен; ферментен дефицит или излишък;

ж) Морфологично модифициране на биологична тъкан (изменение на строежа и външния вид на тъканта). Характерен е ефектът на “бисерена нишка”, представляващ поражение на кожата във вид на последователно свързани мехурчета от тъмно жълта (видоизменена лимфна) течност. При систематично облъчване се наблюдават изменения на кръвното налягане, забавяне на сърдечния ритъм, нервно - психични разстройства и хипотрофични явления (падане на коса, чупене на ноктите, отслабване на мускулни тъкани).

4. ЕМП с ниска честота (ЕМПНЧ) - $f < 3 \cdot 10^4$ Hz

С достатъчна за практиката точност ЕМПНЧ може да се разглежда като състоящо се от две квазистационарни полета:

електростатично и магнитостатично. Това дава възможност тяхното влияние върху живите организми да се разглежда самостоятелно. Интензитетът на електричното поле се определя преди всичко от напрежението на тоководещите части, а на магнитното - от тока, протичащ по тях.

При ЕМПНЧ основно влияние има електричната съставяща на полето. Погълнатата от организма енергия на магнитното поле е около 50 пъти по-малка от тази на електричното поле. Вредното действие на магнитното поле се получава при $H > 150 \text{ A/m}$, което в практиката се наблюдава много рязко и инцидентно. Поради ниската честота електромагнитната вълна не прониква в тялото и не оказва директно енергетично въздействие. При полета с голям интензитет се проявява силовото действие на полето върху свързани или свободни електрични заряди. Нормирането на въздействията на ЕМПНЧ се осъществява по два параметъра:

1. Допустим продължително протичащ ток през човек. Той се обуславя от потенциалната разлика между земя и точка от полето на нивото на главата на човек. При добър контакт човек - земя I_h се определя по израза:

$$I_h \approx 12 \cdot E_h, \mu\text{A} \quad (4.21)$$

E_h е най-големия интензитет на полето в точка, на нивото на главата на човек, kV/m . Този интензитет може да бъде определен по изчислителен или измервателен път. За безопасен се счита ток $I_{\text{доп}} \leq 100 \mu\text{A}$.

ЕМПНЧ индукират високи потенциали на изолирани от земя метални предмети и хора. Допирът на човек, изолиран от земя, до метална заземена част или допир на човек до изолирана метална част предизвиква искров разряд и протичане на импулсен ток (например при потенциална разлика 15 kV през човек за време $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ протича ток от порядък 10 до 50 A). Този ток е безопасен и не се нормира, но създава стресова ситуация и трябва да се има предвид, особено при работа на височина.

2. Допустима продължителност на престой в електрическо поле с честота 50 Hz. Нормира се от гледна точка на възможността за необратимо преместване на свързани или бавно подвижни йони от клетъчна и междуклетъчна среда, кръв и лимфа и предизвиканите от това функционални изменения в биолог-

ичните системи на организма. Нормите за допустима продължителност на престой на човек в зоната на ЕМПНЧ са дадени в таблица 4.4.

Таблица. 4.4

Интензитет на полето E_h kV/ m	до 5	5- 10	10- 15	15- 20	20- 25
Допустимо време на престой за денонощие T_E , ч. (мин.)	8	3	1,5	(10)	(5)

По-точно допустимото време на престой може да се определи по израза:

$$T_E = \frac{50}{E} - 2, h \quad (4.22)$$

E е интензитет на полето, kV/m в зоната, в която се намира човек при зададена височина. Ако се налага промяна на работното място в зони на полета с различен интензитет, допустимото време на престой се преизчислява по израза:

$$T_{\text{ПР}} = 8 \cdot \left(\frac{t_{E1}}{T_{E1}} + \frac{t_{E2}}{T_{E2}} + \dots \right) \quad (4.23)$$

t_{E1} е действителното време на престой в поле с интензитет E_1 , а T_{E1} е максимално допустимото време на безопасен престой.

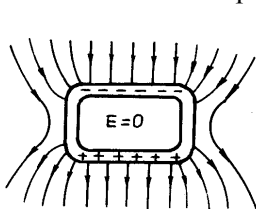
В жилища $E_{\text{доп}} \leq 0,5$ kV/m, а на територия около жилището $E_{\text{доп}} \leq 1$ kV/m.

Когато $E > 25$ kV/m в зоната на работното място или се налага престоят на човек да бъде по-голям от посоченото в таблица 4.3 време, се използват следните защитни средства:

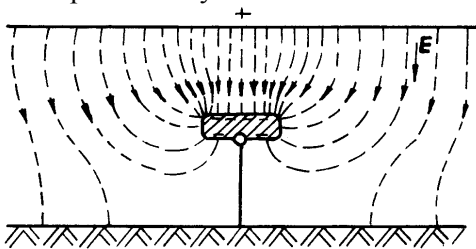
1. Защитно екраниращо облекло (екраниращ костюм) - изработен от електропроводима материя с коефициент на екраниране на полето - 20 до 40 dB. Екраниращите костюми са от метализиран памучен плат или с втъкани в него метални нишки, метални или метализирана каска, обувки от проводящ каучук. Всички елементи на костюма трябва да имат помежду си сигурна електрическа връзка. Заземяването на защитните облекла се осъществява посредством обувки с токопроводими подметки.

Защитното свойство на костюма се основава на електростатичното екраниране. Ако проводящо тяло бъде внесено в електрично поле, настъпва прегрупиране на електричните заряди

(фиг.4.13). Полето, създадено от зарядите вътре в проводящото тяло, е равно и противоположно на външното, при което резултантния интензитет вътре в тялото е равен на нула.



Фиг. 4.13



Фиг.4.14

2. Стационарни екраниращи устройства - коридори, прегради, навеси и др., изработени от метална мрежа с отвори до 25/25 mm. Пешеходните пътеки в електрически уредби се екранират с проводници, монтирани на височина до 2,8 m, на разстояние 0,5 m един от друг, свързани с общата заземителна инсталация на обекта. Устроени са на принципа на намаляване интензитета на полето или неговото деформиране в близост до заземени метални предмети (фиг. 4.14). От страната на източника интензитетът нараства, а от страната на земята - силно намалява.

5. ЕМП в радиочестотния и микровълновия обхват (ЕМПВЧ) $f > 3 \cdot 10^4$ Hz. Критерии за оценка на въздействието в радиочестотния обхват (60 kHz до 300 MHz) са: енергийни параметри $W_E = W_{H\mu}$, интензитет на електрическа и магнитна съставляваща E и H . Максимално допустимите стойности на тези величини за работните места и изискванията за контрол са определени в БДС14525-90 и са представени в таблица 4.5.

*За въртящите се и сканиращи антени се допуска:

$$W_{E \text{ max доп}} \leq 8000 \text{ V}^2 \text{m}^2 \text{h}$$

При известна продължителност на въздействие T_h могат да се изчислят максималните безвредни стойности на интензитетите:

$$E_{\text{max}} = \sqrt{\frac{W_{E \text{ max доп}}}{T_h}}, \text{ V/m} \quad (4.24)$$

$$H_{\text{max}} = \sqrt{\frac{W_{H \text{ max доп}}}{T_h}}, \text{ V/m} \quad (4.25)$$

след което се извършва проверка:

$$E_{\max} \leq E_{\max \text{ доп}} \quad H_{\max} \leq H_{\max \text{ доп}}$$

Таблица 4.5

Честотен обхват	Максимално допустими енергийни параметри, $W_{\max}$		Максимално допустими интензитети	
	Електрическо поле	Магнитно поле		
MHz	$V^2 m^{-2} h$	$A^2 m^{-2} h$	V/m	A/m
0,06 до 3	$2 \cdot 10^4$	-	500	-
0,06 до 10	-	200	-	50
3 до 30	3200	-	200	-
30 до 300	800*	-	60	-

При измерени интензитет на електрическа и магнитна съставляща $E_{\text{изм}}$ и $H_{\text{изм}}$ може да се изчисли допустимото време на въздействие през работния ден:

$$T_{\text{ндопЕ}} = \frac{W_{E \text{ макс доп}}}{E_{\text{изм}}^2}, h \quad (4.26)$$

$$T_{\text{ндопН}} = \frac{W_{H \text{ макс доп}}}{H_{\text{изм}}^2}, h \quad (4.27)$$

Едновременно въздействие на електрическо и магнитно поле в частния обхват 0,06 MHz до 10 MHz се разрешава при условие

$$\frac{W_E}{W_{E \text{ макс доп}}} + \frac{W_H}{W_{H \text{ макс доп}}} \leq 1 \quad (4.28)$$

Критерий за оценка на въздействието на микровълнови електромагнитни полета е плътност на енергиен поток (ПЕП) $S, W/m^2$ (честотен обхват 300 MHz до 300 GHz). Максимално допустимите стойности на S на работните места на персонала, обслужващ излъчващи енергия ЕМП и изискванията за контрол, са определени в БДС 17137-90. Стандартът се отнася и за места с възможно пребиваване на служебно зает персонал в зоната на ЕМП. Нормите са основани на допустимо енергийно натоварване на човешкия организъм, включващо мощността на енергийния поток, облъчвана площ и времето за пребиваване в зоната на облъчване. ПЕП не трябва да превишава $10 W/m^2$ ($10^3 \mu W/cm^2$).

Контролът се осъществява чрез измерване на интензитетите на електрическата и магнитната съставляща на ЕМП или на плътността на енергийния поток на ЕМП на постоянни работни места и на места с евентуално пребиваващ персонал в производствени условия в зоните около източника на ЕМП.

За защита от ЕМП над максимално допустимите норми се използват следните методи и средства:

1. Намаляване на интензитета на плътността на енергийния поток посредством съгласуване на товара или поглъщатели на мощност.
2. Екраниране на работното място (на принципа на индуктиране на вихрови токове и създаване на противоположно насочено поле (опасност тогава представлява възможността от изгаряне при допир до екрана).
3. Отдалечаване на работното място от източника на ЕМП или рационално изграждане на оборудването в работното помещение и намаляване на отражателна способност на стени и съоръжения посредством покритие с поглъщаща материя (каучук, графит) или дълбокопрофилна конфигурация за многократно отразяване.
5. Установяване на рационални режими на работа на оборудването и обслужващия персонал. Лични предпазни средства, обхващащи цялото тяло - специално внимание се обръща за защита на очите.

Контролни въпроси:

1. Какво се разбира под “междинна зона”?
2. Какви процеси в биологичната тъкан се развиват под действието на електромагнитните полета?
3. Вярно ли е твърдението: “При електромагнитните полета с ниска честота основно влияние има магнитната съставляща на полето, тъй като погълнатата от организма енергия на електричното поле е около 50 пъти по-малка от тази на магнитното поле.”?
4. По какви показатели се нормират електромагнитни полета с ниска, с радио и със свръхвисока честота?
5. Какви са принципите на защита от електромагнитни полета?