

СЪДЪРЖАНИЕ

I. ОПРЕДЕЛЯНЕ ТЕЖЕСТТА НА ЕЛЕКТРОПОРАЖЕНИЕ ПРИ ДОПИРАНЕ ДО МРЕЖИ НИСКО НАПРЕЖЕНИЕ	3
II. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ ТЕЖЕСТТА НА ЕЛЕКТРОПОРАЖЕНИЕ ПРИ ЕДНОФАЗНО ДОПИРАНЕ ДО ИЗОЛИРАНА МРЕЖА С МАЛЪК КАПАЦИТЕТ	12
III. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ ТЕЖЕСТТА НА ЕЛЕКТРОПОРАЖЕНИЕ ПРИ ЕДНОФАЗНО ДОПИРАНЕ ДО ЗАЗЕМЕНА МРЕЖА .	18
IV. ПЕРИОДИЧЕН КОНТРОЛ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ИЗОЛАЦИЯ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ИЗДЕЛИЯ НИСКО НАПРЕЖЕНИЕ	22
V. ИЗСЛЕДВАНЕ НА МАКСИМАЛНОТОКОВИ ЗАЩИТИ НН И ДЕФЕКТНОТОКОВИ ЗАЩИТИ	33
VI. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТЕХНИЧЕСКИ МЕРКИ ЗА ЗАЩИТА ОТ ЕЛЕКТРОПОРАЖЕНИЕ В МРЕЖИ НИСКО НАПРЕЖЕНИЕ	48
VII. ИЗМЕРВАНЕ СЪПРОТИВЛЕНИЕТО НА ЗАЗЕМИТЕЛИ И ОЦЕНКА НА ПРИЛОЖИМОСТТА ИМ	53
VIII.ИЗСЛЕДВАНЕ СЪПРОТИВЛЕНИЕТО НА ПОЧВАТА И ФОРМИРАНЕ НА ПОЧВЕНИ МОДЕЛИ	68
IX. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ ПОЛЕТА С ПРОМИШЛЕНА ЧЕСТОТА	77
X. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВИСОКОЧЕСТОТНИ ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ ПОЛЕТА ...	87
XI. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ИЗКУСТВЕНО ОСВЕТЛЕНИЕ	93
XII. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ШУМ В РАБОТНИ ПОМЕЩЕНИЯ	102
ЛИТЕРАТУРА	109

I. ОПРЕДЕЛЯНЕ ТЕЖЕСТТА НА ЕЛЕКТРОПОРАЖЕНИЕ ПРИ ДОПИРАНЕ ДО МРЕЖИ НИСКО НАПРЕЖЕНИЕ

1. Цел на упражнението

Аналитично определяне тежестта на електропоражение от протичане на ток през тялото на човек от заземени и изолирани мрежи НН при различни сценарии и формулиране на обосновани заключения.

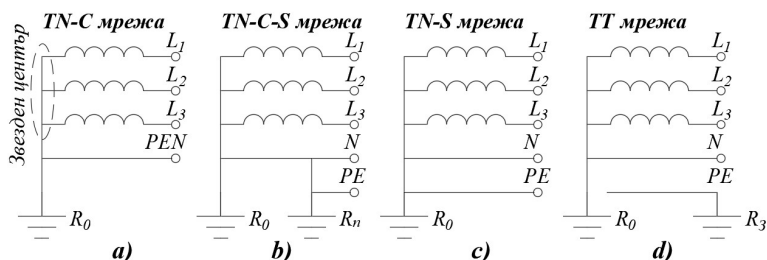
2. Методика на провеждане на упражнението

- 2.1. Запознаване на студентите с мрежите НН и техните особености.
- 2.2. Запознаване на студентите с основните сценарии, водещи до директно допирание до тоководещи части и протичане на ток през тялото на човек.
- 2.3. Разглеждане влиянието на допълнителни съпротивления във веригата на човек върху степента на електропоражение при директно допирание.
- 2.4. Запознаване на студентите с физиологичните последици от протичането на променлив ток през тялото на човек в зависимост от големината му.
- 2.5. Възлагане на конкретни задачи за анализ при конкретни сценарии и числени стойности на факторите, определящи тока през тялото на човек с последващо обсъждане на формулираните заключения.
- 2.6. Анализ на резултатите.

3. Видове мрежи ниско напрежение

3.1. Заземени мрежи НН

Масово разпространените мрежи са заземените мрежи, при които вторичната страна на захранващия трансформатор е директно заземена през много малко съпротивление на работен заземител R_0 . В Наредба 3 „За устройство на електрическите уредби и електропроводните линии“ се дефинират четири модификации на заземени мрежи НН, фиг. 1.1:



Фиг. 1.1

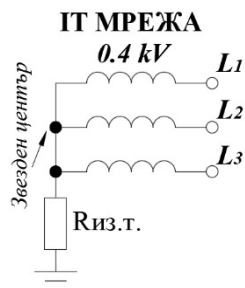
- a) TN-C мрежа – четирипроводна трифазна мрежа с общ работен и защитен PEN проводник, фиг. 1.1. а);

- b) TN-C-S мрежа – преработена четирипроводна на петпроводна трифазна мрежа с разделяне на нулевата линия на две, след определено заземено през повторен заземител (Rп) табло – работна нула (N) и защитен проводник (PE), фиг. 1.1. b);
- c) TN-S мрежа – петпроводна трифазна мрежа със самостоятелни работна нула (N) и защитен проводник (PE), фиг. 1.1. c);
- d) TT мрежа – заземена мрежа с или без работна нула и отделно заземяване на PE проводника, фиг. 1.1. d).

Токът на еднофазно земно съединение при заземените мрежи НН е голям, а потенциалът на заземената фаза остава с опасно високи стойности.

3.2. Изолирана мрежа (IT мрежа) НН с малък капацитет

Има ограничено приложение – при повишени изисквания за безопасност в защитно разделени контури. Звездният център на разделителния трансформатор е изолиран от земя през много голямо изолационно съпротивление ($R_{из.т.} \rightarrow \infty$), фиг.1.2, което обуславя малък ток на еднофазно земно съединение и се пренебрегва при анализа.



Фиг. 1.2

При еднофазно земно съединение, потенциалът на заземената фаза рязко намалява до безопасни стойности – около 20% от фазното напрежение (U_{ϕ}), но потенциалите на изправните фази рязко нарастват. Това нарастване се отчита с коефициента на земно съединение ($K_{зс}$), който варира между 1 и $\sqrt{3}$. За анализ на опасността от електропоражение се приема максималната стойност (1.1)

$$(1.1) \quad K_{зс} = \sqrt{3}.$$

От (1.1) следва, че напрежението на изправните фази спрямо земя ($U_{\phi-з}$) нараства до линейно (междуфазно), (1.2)

$$(1.2) \quad U_{\phi-з} = K_{зс} \cdot U_{\phi} = \sqrt{3} \cdot U_{\phi}.$$

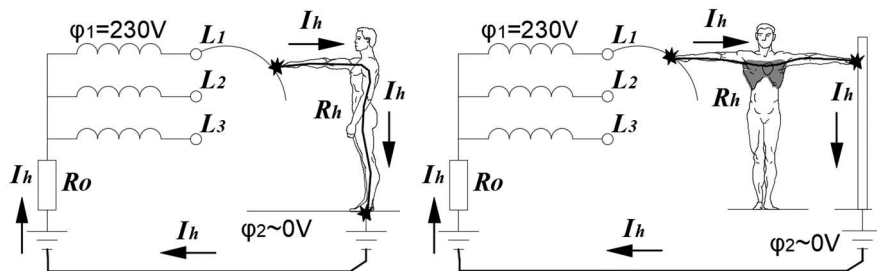
4. Основни сценарии, водещи до протичане на ток през тялото на човек

Директно допиране до тоководещи части обикновено се случва поради невнимание, незнание, умора, неправилни манипулации и др.

4.1. Директно допиране през незащитена човешка кожа до тоководещи части на заземени мрежи

4.1.1. Еднофазно директно допиране до заземени мрежи НН през незащитена кожа

Тялото на човек получава пълния потенциал на мрежата, а токът през тялото му (I_h) се определя от собственото му съпротивление (R_h) и потенциалната разлика между потенциала на тоководещата част (φ_1) и потенциала (φ_2) на втората точка на допирание – проводим обект, свързан със земята, или земята, фиг. 1.3. Тази потенциална разлика формира допирното напрежение (U_D), (1.3)



Фиг. 1.3

$$(1.3) \quad U_D = \varphi_1 - \varphi_2 = 230 - 0 \approx 230V.$$

Допирното напрежение е равно приблизително на фазното напрежение на мрежата ($U_D \approx U_\Phi$).

Токът през тялото на човека се затваря от тоководещата част по пътя ръка-крака или ръка-ръка, фиг. 1.3 и се определя по (1.4).

$$(1.4) \quad I_h = \frac{U_\Phi}{R_h + R_0}, A.$$

Съпротивлението на човешкото тяло се определя от съпротивлението на роговия кожен слой (R_K) в двете точки на допирание. Ако капацитетът на кожата се пренебрегне, може да се приеме (1.5):

$$(1.5) \quad R_h = 2R_K, \Omega.$$

Съпротивлението на заземителя R_0 е няколко ома, а съпротивлението на кожата на човек е от порядъка $0,5 \div 2k\Omega$, т.е., съпротивлението на заземителя R_0 е незначително и може да се пренебрегне. Тогава, (1.4) се опростява до (1.6)

$$(1.6) \quad I_h \approx \frac{U_\Phi}{R_h}, A.$$

4.1.2. Двухазно допирание през незащитена кожа до заземени мрежи НН

Особено опасен случай е директното едновременно допирание до тоководещи

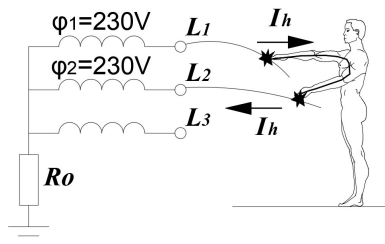
части с потенциали на две различни фази (двуфазно допиране). Потенциалната разлика (U_D) е пълното линейно (междуфазно) напрежение (1.7).

$$(1.7) \quad U_D = \sqrt{3} \cdot U_\Phi, \text{ V.}$$

Съпротивлението, ограничаващо тока, е само (R_h). Токът през тялото се определя по (1.8), фиг. 1.4.

$$(1.8) \quad I_h = \frac{\sqrt{3} \cdot U_\Phi}{R_h}, \text{ A.}$$

Големината на тока през тялото на човека е 1,732 пъти по-голям, отколкото при еднофазно допиране.

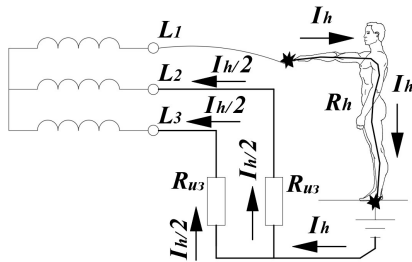


Фиг. 1.4

4.2. Директно допиране през незащитена човешка кожа до тоководещи части на изолирана мрежа с малък капацитет

4.2.1. Еднофазно директно допиране през незащитена кожа до изолирана мрежа НН с малък капацитет с изправна изолация на проводниците към земя

При изолираните (IT мрежи) токът през земята към звездния център на трансформатора е много малък, защото съпротивлението на звездния център спрямо земя е много голямо. Затова при разглежданията, токът през земята към звездния център на трансформатора се пренебрегва. Веригата от тоководещата част под напрежение през тялото на човека се затваря през съпротивленията на изолацията на фазните проводници спрямо земята ($R_{из}$), фиг. 1.5.



Фиг. 1.5

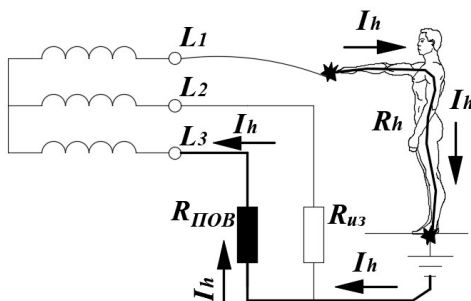
Токът през тялото на човек при еднофазно допиране до изолирана мрежа НН се определя по (1.9).

$$(1.9) \quad I_h \approx \frac{3.U_\Phi}{3.R_h + R_{из}}, \text{ А.}$$

Тъй като съпротивлението ($R_{из}$) в знаменателя е от порядъка на стотици $k\Omega$ или $M\Omega$, токът през тялото на човека е с много малка стойност – безопасен ток. Това е причината за използване на изолирани мрежи при повишени изисквания за безопасност.

4.2.2. *Еднофазно директно допиране през незащитена кожа до изолирана мрежа НН с малък капацитет с повредена изолация на фазен проводник*

Разглежда се случай на повредена изолация на фазна линия, различна от тази, до която се допира човекът, със съпротивление ($R_{пов}$), значително по-малко от това на фаза с изправна изолация фиг. 1.6.



Фиг. 1.6

Токът през човека (I_h) се затваря по контура допряна фаза L_1 – тяло на човека (R_h) – земя – съпротивление с повредена изолация ($R_{пов}$) – фаза L_2 . Стойността на тока (I_h), (1.10) се определя най-вече от съпротивлението ($R_{пов}$), тъй като съпротивлението (R_h) се приема за неизменно.

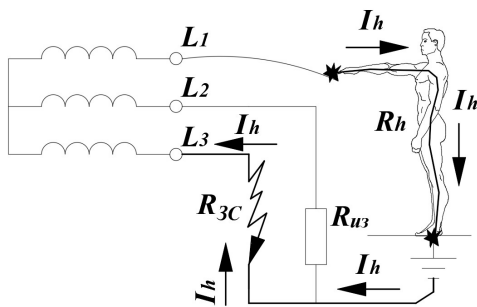
$$(1.10) \quad I_h \approx \frac{3.U_\Phi}{3.R_h + R_{пов}}, \text{ А.}$$

При стойности на съпротивлението ($R_{пов}$) много по-малки от ($R_{из}$), токът през човек (I_h) може да достигне опасни стойности.

4.2.3. *Еднофазно директно допиране през незащитена кожа до изолирана мрежа НН с малък капацитет със земно съединение (ЗС) на фазен проводник*

Земното съединение е свързване на фазен проводник със земя през електрическа дъга или директно (метално земно съединение).

Пътят на тока е идентичен, както в т. 4.2.3, но съпротивлението на повредената фаза към земя е много по-малко, фиг. 1.7, което обуславя по-голям ток през тялото на човека (I_h).



Фиг. 1.7

Напрежението на изправните фази спрямо земята нараства, което се отразява чрез коефициента на земно съединение K_{3C} , който при метално земно съединение достига стойност $K_{3C} = \sqrt{3}$.

Токът през тялото на човек, допрян до фаза с изправна изолация и ЗС на друга фазна линия, се определя по (1.11):

$$(1.11) \quad I_h \approx \frac{\sqrt{3} \cdot U_\Phi}{R_h + R_{3C}}, \text{ A.}$$

4.2.4. Двухфазно директно допирание през незащитена кожа до изолирана мрежа НН с малък капацитет

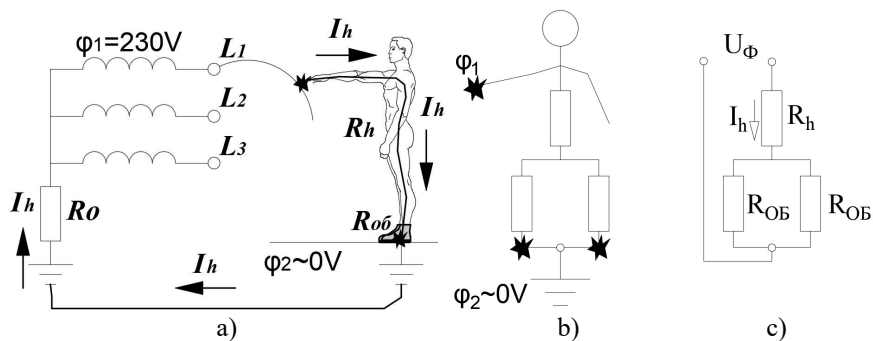
При двухфазно допирание до тоководещи части на изолирана мрежа НН с малък капацитет, токовият кръг се затваря през тялото и режимът на работа на звездния център на трансформатора е без значение, защото токът през земята е пренебрежим. Големината на тока (I_h) се определя аналогично на т. 4.1.2.

4.3. Директно допирание до тоководещи части на заземени мрежи НН с отчитане на допълнителни съпротивления във веригата на човека

При работа в електрически уредби и по ел. мрежи се изисква носене на работно облекло, обувки и ръкавици. Причина за това е намаляването на тока през тялото на човек и съответно тежестта на електропоражение при неволно допирание до тоководещи части.

4.3.1. Директно допирание през незащитена кожа до заземена мрежа НН на обут човек с изолиращи подметки на обувките

Подметките на обувките обикновено се произвеждат от полимерни материали на базата на естествена или синтетична гума или еластични пластмаси. Тези материали обикновено са добри изолятори (диелектрици) и осигуряват голямо съпротивление на тялото на човека към земя, с което ограничават тока през тялото на човек, фиг. 1.8.



Фиг. 1.8

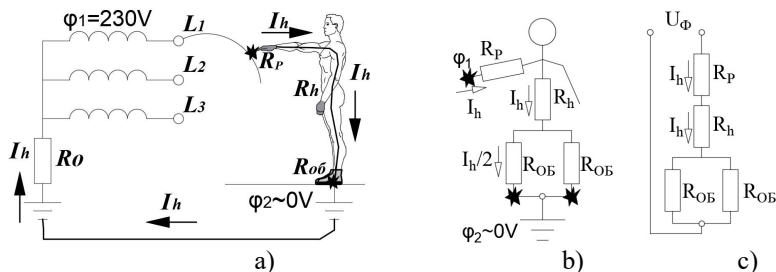
Фиг. 1.8 а) може да се модифицира до фиг. 1.8 б), а тя до фиг. 1.8 с). От фиг. 1.8 с) може да се изведе израз за определяне на тока през обут човек. Ако се приложи II Закон на Кирхов за контура на заместващата схема, т.е. сумата на падовете на напрежение по контура е равна на приложеното напрежение, се получава (1.12):

$$(1.12) \quad U_{\Phi} = I_h \cdot R_h + I_h \cdot \frac{R_{OБ}}{2}, \text{ откъдето:}$$

$$(1.13) \quad I_h = \frac{U_{\Phi}}{R_h + \frac{R_{OБ}}{2}}, \text{ А.}$$

От (1.13) следва, че съпротивлението на обувките ограничава тока през тялото на човека.

4.3.2. Директно допиране през работни ръкавици до заземена мрежа НН на обут човек с изолиращи подметки на обувките



Фиг. 1.9

Аналогично на т. 4.3.1 се прилага II Закон на Кирхов за контура на заместващата схема фиг. 1.9 с), (1.14).

$$(1.14) \quad U_{\Phi} = I_h \cdot R_p + I_h \cdot R_h + I_h \cdot \frac{R_{OB}}{2}, \text{ откъдето:}$$

$$(1.15) \quad I_h = \frac{U_{\Phi}}{R_p + R_h + \frac{R_{OB}}{2}}, \text{ A.}$$

Токът през тялото на човек допълнително се ограничава при работа с работни ръкавици.

5. Физиологични последици от въздействието на променлив ток, протекъл през тялото на човек

Критерий за тежестта на поражение от протичане на променлив ток през тялото на човек е големината на тока, табл. 1.1. За целите на анализа останалите фактори се приемат за неизменни, а времето на протичане е фиксирано на 1s.

Таблица 1.1 Тежест на поражение от променлив ток с промишлена честота при време на протичане 1s.

I_h, mA	Физиологични реакции и тежест на поражение
до 0,5	Безопасен ток
0,6 ÷ 1,5	Ток на усещане , няма физиологични последици
1,5 ÷ 10	Отпускащ ток , изтръпване, мускулни контракции
10 ÷ 25	Неотпускащ ток , болезнено треперене, болезнени мускулни контракции. Невъзможност за самостоятелно отделяне от обекта под напрежение
25 ÷ 100	Затруднено дишане, загуба на съзнание, спиране на дишането и /или сърдечната дейност. Настъпва клинична смърт
100 ÷ 5000	Фибриляционен ток , внезапно настъпват загуба на съзнание, фибрилации на сърцето и спиране на дишането. Настъпва клинична смърт
над 5000	Блокиращ ток . Мигновена загуба на съзнание и спиране на дишането, и сърдечната дейност с тежки дълбоки изгаряния на вътрешни органи – състояние несъвместимо с живота. Настъпва биологична смърт

6. Практическа работа

Варианти за практически изчисления за определяне тежестта на електропоражение при директно допиране до различни мрежи на незащитено човешко тяло и при отчитане на допълнителни съпротивления във веригата на човека – работни обувки и ръкавици са дадени в табл. 1.2.

Всеки студент прави необходимите изчисления за зададен вариант.

Таблица 1.2

Вар.	$R_h, \text{k}\Omega$	$R_{из}, \text{k}\Omega$	$R_{пов}, \text{k}\Omega$	$R_{зс}, \text{k}\Omega$	$R_{об}, \text{k}\Omega$	$R_p, \text{k}\Omega$
1	0,6	900	20	0,6	100	5
2	0,7	800	19	0,55	150	15
3	0,8	700	18	0,5	200	25
4	0,9	600	17	0,45	250	35
5	1	500	16	0,4	300	45
6	1,1	400	15	0,35	350	55
7	1,2	300	14	0,3	400	60
8	1,3	350	13	0,25	380	50
9	1,4	450	12	0,2	320	40
10	1,5	550	11	0,15	280	30
11	1,6	650	10	0,1	220	20
12	1,7	750	9	0,05	160	10

Задача 1. Да се изчисли токът през незащитен човек (I_h) при директно допиране до проводник на заземена мрежа НН и да се определят физиологичните последици при:

- еднофазно допиране;
- двуфазно допиране.

Задача 2. Да се изчисли токът през незащитен човек (I_h) при директно допиране до проводник/ци на изолирана мрежа НН и да се определят физиологичните последици при:

- еднофазно допиране при изправна изолация;
- еднофазно допиране при повредена изолация;
- еднофазно допиране при земно съединение;
- двуфазно допиране.

Задача 3. Да се изчисли токът през човек при включени допълнителни съпротивления във веригата на човека (I_h) и да се определят физиологичните последици при директно допиране до заземена мрежа НН и:

- носене на работни обувки;
- носене на работни обувки и ръкавици.

Резултатите да се отразят в таблицата в протокола.

7. Анализ на резултатите

Да се формулират обосновани заключения за физиологичните последици от протичане на ток през тялото на човек при различните сценарии на база възложените задачи и числени стойности от заданието.

II. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ ТЕЖЕСТТА НА ЕЛЕКТРОПОРАЖЕНИЕ ПРИ ЕДНОФАЗНО ДОПИРАНЕ ДО ИЗОЛИРАНА МРЕЖА С МАЛЪК КАПАЦИТЕТ

1. Цел на упражнението

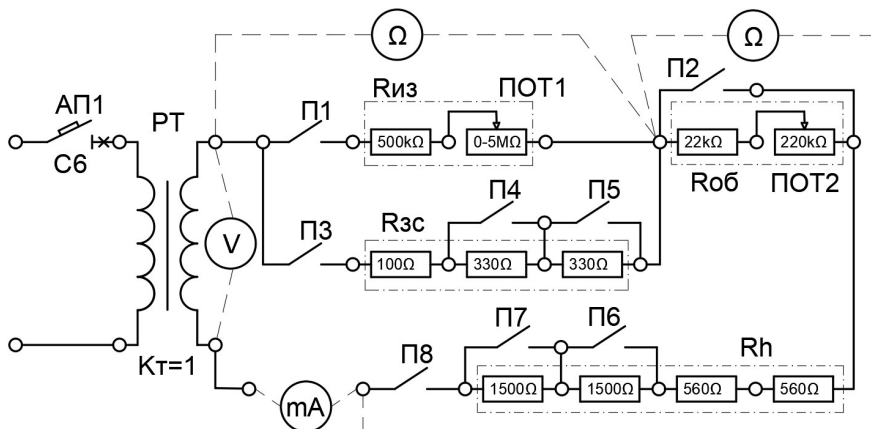
Експериментално определяне тежестта на електропоражение от протичане на променлив ток през тялото на човек при директно допиране до изолирана мрежа с малък капацитет.

2. Методика на провеждане на упражнението

- 2.1. Запознаване на студентите с устройството и функционалностите на експерименталния стенд.
- 2.2. Запознаване на студентите с измервателните уреди, измервани величини, избор на обхват и начин на свързване на уредите.
- 2.3. Запознаване на студентите с критериите за избор на свързващи проводници.
- 2.4. Инструктиране на студентите за мерките за безопасност при провеждане на упражнението.
- 2.5. Предоставяне от ръководителя на чеклистове за провеждане на всеки от експериментите с възлагане на конкретни стойности на параметрите на стенда.
- 2.6. Практическа работа и отразяване на резултатите в протокола.
- 2.7. Анализ на резултатите и заключения от експериментите.

3. Устройство и функционалности на стенда

Експерименталната схема е показана на фиг. 2.1.



Фиг. 2.1

Еднофазна изолирана (IT) мрежа е симулирана от разделителен трансформатор (РТ), който я разделя галванично от захранващата еднофазна заземена

мрежа (TN), но не променя напрежението, т.е. това е трансформатор с коефициент на трансформация $K_T = 1$. Захранването към РТ се подава с включване на автоматичния прекъсвач АП1, който има за задача и да изключи при протичане на ток на късо съединение.

Възможна е симулация на три режима на изолираната мрежа:

- а) експлоатационен режим с *изправна изолация* на фазата спрямо земя с голямо изолационно съпротивление $R_{из}$ от порядъка на няколко М Ω ;
- б) аварийен режим с *намалено активно съпротивление* на изолацията на фазата спрямо земя със съпротивление на повредена изолация $R_{пов}$ от порядъка на стотици к Ω ;
- в) аварийен режим *земно съединение*, водещо до рязко намаляване на изолационното съпротивление на фазата спрямо земя със съпротивление на земно съединение $R_{зс}$ от порядъка на стотици Ω .

Токът през човека I_h се определя от приложеното напрежение U_h приблизително равно на мрежовото ($U_{мр} = 230V$), собственото съпротивление на човека R_h от порядъка на $1 \div 4k\Omega$ и включените във веригата му изолационни съпротивления ($R_{из}$, $R_{пов}$ или $R_{зс}$).

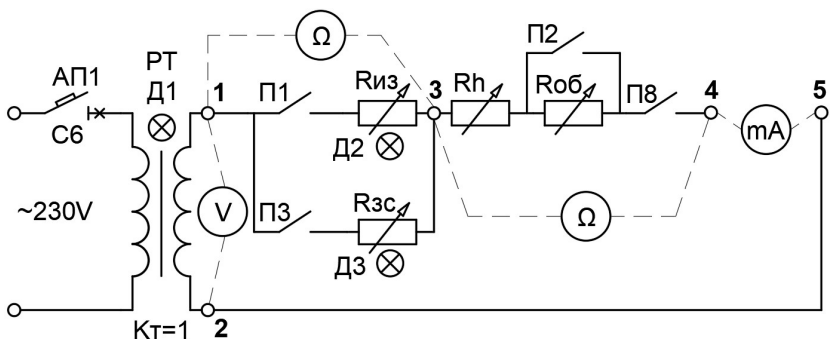
Стендът дава възможност за симулация на влиянието на допълнително включено или не съпротивление на обувките $R_{об}$ – т.е. поражение на бос или обут с обувки човек, като съпротивлението $R_{об}$ може да се избере от няколко десетки к Ω до няколко стотин к Ω .

Избраната схема дава възможност за вариантност на експеримента чрез включените променливи съпротивления (потенциометри) и чрез избор на състоянието на различните двупозиционни прекъсвачи (ПОТ1, ПОТ2, П1 ÷ П8). Експериментът на всяка група е с различни стойности на съпротивленията, резултатите от него също.

3.1. Опростена схема на експерименталната постановка

За целите на упражнението на стенда експерименталната схема е опростена – съпротивленията са обединени и представени схематично като променливи съпротивления, а прекъсвачите и потенциометрите са групирани по функционално предназначение, фиг. 2.2. Означени са стойностите на обединените съпротивления според комбинациите от състоянията на прекъсвачите и са указани граничните стойности на потенциометрите.

Схематичен изглед на стенда е показан на фиг. 2.3, заедно със сигналните диоди и контактни гнезда за включване на измервателните уреди. Над схемата са показани стойностите на съпротивленията според комбинацията от състояния на прекъсвачите.



Фиг. 2.2

АП1 	Rиз П1 <input type="radio"/> ON <input type="radio"/> OFF ПОТ 1 0 5MΩ	Rоб П2 <input type="radio"/> ON <input type="radio"/> OFF ПОТ 2 0 220kΩ	Rзс П3 <input type="radio"/> ON <input type="radio"/> OFF ON - ON 100Ω ON - OFF 425Ω OFF - ON 425Ω OFF - OFF 755Ω П4 <input type="radio"/> ON П5 <input type="radio"/> ON <input type="radio"/> OFF П5 <input type="radio"/> OFF	Rh П6 <input type="radio"/> ON П7 <input type="radio"/> ON <input type="radio"/> OFF П7 <input type="radio"/> OFF ON - ON 1100Ω ON - OFF 2600Ω OFF - ON 2600Ω OFF - OFF 4100Ω	П8 <input type="radio"/> ON <input type="radio"/> OFF
	ON - ON 1100Ω ON - OFF 2600Ω OFF - ON 2600Ω OFF - OFF 4100Ω				

Фиг. 2.3

3.2. Измервателни уреди, измервани величини, избор на обхват и начин на свързване на уредите

а) Измервателни уреди, обхвати и измервани величини

За целите на упражнението са предвидени два комбинирани измервателни уреда, които се използват в режими и на обхвати:

- волтметър на обхват по-голям от очакваната стойност на измерваното напрежение 230V – измерва напрежение;
- омметър на съответния обхват измерва активно съпротивление;
- амперметър на обхват най-малко 500mA – измерва ток директно.

б) Начин на свързване и свързващи проводници

- **Волтметър.** Винаги *се свързва паралелно на източника на напрежение*. Той е с голямо вътрешно съпротивление и през него ток не протича, поради което може да се свързва с проводници с малко сечение на жилото, но с необходимата електрическа якост на izolацията. Волтметърът има ефект на прекъсване на веригата. **Измерването винаги е под напрежение!**

- **Омметър.** Свързва се паралелно на измерваното съпротивление **винаги при изключено напрежение!** Обхватът се избира по-голям от очаквана стойност на съпротивлението. Ако такава не е известна, се започва от максимален обхват и след това се избира оптималният за възможно най-точно измерване. При малки стойности на измерваното съпротивление се използват проводници с голямо сечение за намаляване на грешката. За настоящето упражнение се използват стандартните сонди на уреда или свързващи проводници с малко сечение.
- **Амперметър.** Свързва се **винаги последователно** във веригата на консуматора (съпротивленията) за ограничаване на тока през него. Има малко собствено съпротивление и се поврежда при преминаване на ток по-голям от обхвата му. **При свързване паралелно изгаря и може да се запали! Недопустимо е паралелно свързване на амперметър! Измерването винаги е под напрежение!**

Свързва се по правило с проводници с голямо сечение, оразмерени за измервания ток. Първоначално винаги се поставя на максималния обхват за установяване порядъка на измервания ток и след това се избира оптималният обхват за максимална точност на измерване. По правило директно измерване на ток с амперметър е допустимо при малки токове до 10-20А. По-големи токове се измерват с индукционни уреди или чрез измервателен шунт.

4. Мерки за безопасност при провеждане на упражнението

- 4.1. Проверка за изправност на банан-щекерите, целостта на измервателните проводници, сонди и тяхната изолация;
- 4.2. Измервателните уреди и свързващи проводници се присъединяват към стенда само при изключено напрежение от АПІ и захранващия контактен излаз.
- 4.3. Да не се бърка и да не попадат частици в гнездата на банан-щекерите.
- 4.4. Студентите да не се подпират на стенда, да са разположени по начин, изключващ опасно доближаване или допиране до части под напрежение, да могат да наблюдават измерването, да извършват манипулациите с измервателните уреди и да отчитат измерените резултати безопасно.
- 4.5. Стендът да не се мести и повдига под напрежение.
- 4.6. Да се вземат мерки за недопускане попадане на вода върху или в стенда и да не се пипа по стенда с мокри ръце.

- 4.7. На масата, където е разположен стендът, да няма нищо друго освен нужните материали за провеждане на упражнението.**
- 4.8. Да се съобразяват обхватите на измервателните уреди и измерваните величини, начините на свързване на уредите и сеченията на свързващите проводници.**
- 4.9. По време на изпитванията на студентите се забранява:**
- *напускане на измервателното поле;*
 - *преместване на друго работно място /измервателно поле;*
 - *напускане и влизане в лабораторията по каквито и да било причини без нарочно разрешение на ръководителя на упражнението.*
- 4.10. всички манипулации по стенда и включване на захранването му се извършват след проверка на схемата от ръководителя на упражнението и нарочно разрешение;**
- 4.11. всички действия по експеримента се извършват в присъствие на ръководителя на упражнението;**
- 4.12. при наличие на подозрителен шум/миризма/дим, стендът веднага се изключва първо от АПІ и след това от захранващия контактен излаз, и незабавно се уведомява ръководителя на упражнението;**
- 4.13. След приключване на измерванията, стендът се изключва първо от АПІ, след това от захранващия контактен излаз, след което свързващите проводници се отсъединяват, а измервателните уреди се изключват.**
- 5. Предоставяне на чек-листове за провеждане на всеки от експериментите**

Измерванията се провеждат съгласно предоставен от ръководителя на упражнението чек-лист, в който са указани видът и последователността на действията за безопасно извършване на експериментите. В чек-листа са указани и стойностите на съпротивленията, които трябва да бъдат избрани чрез превключване на прекъсвачи и настройка с потенциометри.

Критерий за тежестта на поражение от протичане на променлив ток през тялото на човек е измерената големина на тока при различните сценарии, сравнена с табличните стойности от таблица 1.1 на упражнение 1. За целите на анализа останалите фактори, влияещи на тежестта на електропоражение, се приемат за неизменни, а времето на протичане се приема фиксирано на 1s.

6. Практическа работа

6.1. Оценка степента на поражение при директно допиране до изолирана мрежа с малък капацитет с изправна изолация и с повредена изолация

Ръководителят на упражнението предоставя чек-лист за сценария „изправна и повредена изолация“.

6.2. Оценка степента на поражение при директно допиране до изолирана мрежа с малък капацитет със земно съединение

Ръководителят на упражнението предоставя чеклист за сценария „земно съединение“.

7. Анализ на резултатите

Анализиран се резултатите и се формулират обосновани заключения за физиологичните последици от протичане на ток през тялото на човек при разглежданите сценарии на база измерените стойности от експеримента и критериите от таблица 1.1 от упражнение 1.

III. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ ТЕЖЕСТТА НА ЕЛЕКТРОПОРАЖЕНИЕ ПРИ ЕДНОФАЗНО ДОПИРАНЕ ДО ЗАЗЕМЕНА МРЕЖА

1. Цел на упражнението

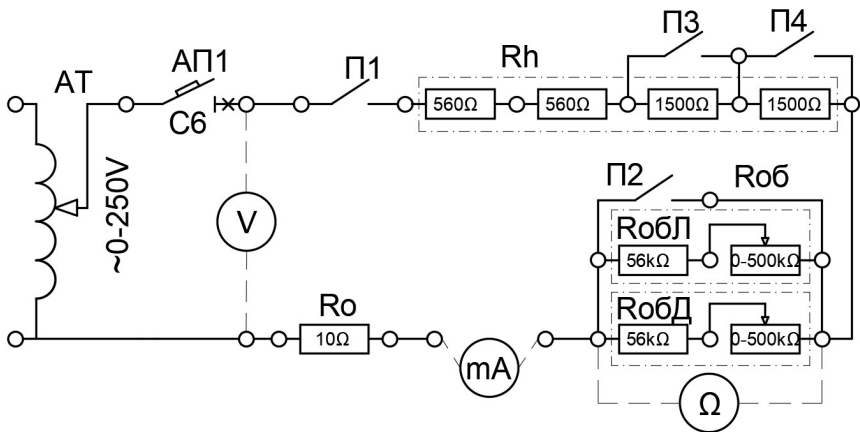
Експериментално определяне тежестта на електропоражение от протичане на променлив ток през тялото на човек при директно допирание до заземена мрежа.

2. Методика на провеждане на упражнението

- 2.1. Запознаване на студентите с устройството и функционалните на експерименталния стенд.
- 2.2. Запознаване на студентите с измервателните уреди, измервани величини, избор на обхват и начин на свързване на уредите.
- 2.3. Инструктиране на студентите за мерките за безопасност при провеждане на упражнението.
- 2.4. Предоставяне от ръководителя на чеклистове за провеждане на всеки от експериментите с възлагане на конкретни стойности на параметрите на стенда.
- 2.5. Практическа работа и отразяване на резултатите в протокола.
- 2.6. Анализ на резултатите и заключения от експериментите.

3. Устройство и функционалности на стенда

Експерименталната схема е показана на фиг. 3.1.



Фиг. 3.1

Стендът симулира допирание на бос и обут с обувки човек до еднофазна заземена (TN) мрежа с възможност за регулиране на напрежението на фазната линия $U_{\phi} = 0 \div 250V$ чрез автотрансформатор (АТ), съпротивлението на тялото на човек R_h чрез П2 и П3 и съпротивлението на обувките – лява и дясна

- $R_{обЛ}$ и $R_{обД}$ чрез ПОТ1 и ПОТ2. Тежестта на поражението се определя на база измерения с амперметър ток през човека I_h и сравняване с таблица 1.1 от упражнение 1.

Токът I_h се определя от напрежението на мрежата U_ϕ и съпротивленията, свързани във веригата – на човека R_h , на обувките $R_{об}$ и в незначителна степен от работния заземител на хранящия трансформатор R_0 .

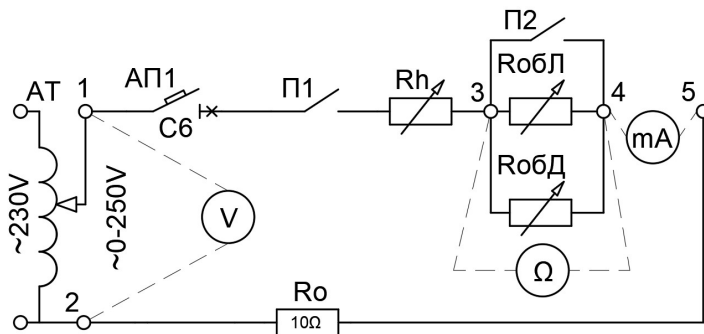
Възможна е симулация на два сценария:

- а) директно допирание на бос човек при различни стойности на напрежението на мрежата и съпротивлението на човека;
- б) директно допирание на обут човек при различни стойности на напрежението на мрежата, съпротивлението на човека и съпротивлението на обувките, като съпротивлението на лявата и дясната обувка се настройват индивидуално.

Избраната схема дава възможност за вариантност на експеримента чрез включените променливи съпротивления (потенциометри) и чрез избор на състоянието на различните двупозиционни прекъсвачи (ПОТ1, ПОТ2, П2-П4). Експериментът на всяка група е с различни стойности на съпротивленията, резултатите от него също.

3.1. Опростена схема на експерименталната постановка

За целите на упражнението на стенда експерименталната схема е опростена – съпротивленията са обединени и представени схематично като променливи съпротивления, а прекъсвачите и потенциометрите са групирани по функционално предназначение, фиг. 3.2. Означени са стойностите на обединените съпротивления според комбинациите от състоянията на прекъсвачите и са указани граничните стойности на потенциометрите.

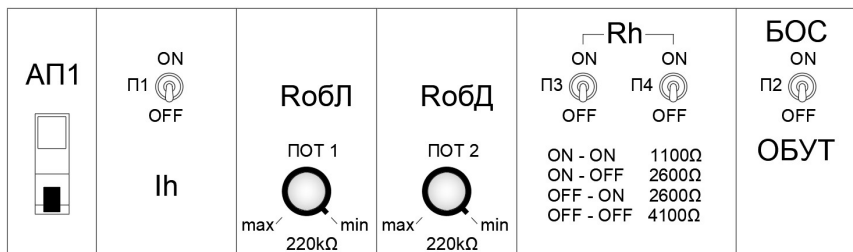


Фиг. 3.2

Схематичен изглед на стенда е показан на фиг. 3.3, заедно със сигналните

диодни и контактни гнезда за включване на измервателните уреди.

Над схемата са показани стойностите на съпротивленията според комбинацията от състояния на прекъсвачите.



Фиг. 3.3

3.2. Измервателни уреди, измервани величини, избор на обхват и начин на свързване на уредите

3.2.1 Измервателни уреди, обхвати и измервани величини

За целите на упражнението са предвидени два комбинирани измервателни уреда, които се използват в режими и на обхвати:

- волтметър на обхват по-голям от очакваната стойност на измерваното напрежение 250V;
- омметър на съответния обхват измерва активно съпротивление;
- амперметър на обхват най-малко 500mA – измерва ток директно.

3.2.2 Начин на свързване и свързващи проводници

Съгласно указанията описани в т. 3.2 на упражнение 2.

4. Мерки за безопасност при провеждане на упражнението

Да се спазват мерките за безопасност описани в т. 4 на упражнение 2.

5. Предоставяне на чеклистове за провеждане на всеки от експериментите

Измерванията се провеждат съгласно предоставен от ръководителя на упражнението чеклист, в който са указани вида и последователността на действията за безопасно извършване на експериментите. В чеклиста са указани и стойностите на съпротивленията, които трябва да бъдат избрани чрез превключване на прекъсвачи и настройка с потенциометри.

Критерий за тежестта на поражение от протичане на променлив ток през тялото на човек е измерената големина на тока при различните сценарии, сравнена с табличните стойности от таблица 1.1 на упражнение 1. За целите на

анализа, останалите фактори влияещи на тежестта на електропоражение се приемат за неизменни, а времето на протичане се приема фиксирано на 1s.

Примери на чеклиста за измерване при двата сценария са показан по-долу.

6. Практическа работа

6.1. Снемане на волт-амперна (VA) характеристика при директно допиране на бос човек до заземена мрежа

Ръководителят на упражнението предоставя чеклист за сценария „бос човек“.

6.2. Снемане на волт-амперна (VA) характеристика при директно допиране на обут с обувки човек до заземена мрежа

Ръководителят на упражнението предоставя чеклист за сценария „обут човек“.

6.3. Отразяване на граничния отпусащ и фибрилационен ток от таблица 1.1 на упражнение 1.

Да се отрази в анализа при какви стойности на напрежението на мрежата U, токът I_h достига граничен отпусащ ток и граничен фибрилационен ток при двата сценария.

7. Анализ на резултатите

Да се анализират резултатите и да се формулират обосновани заключения за физиологичните последици от протичане на ток през тялото на човек при двата сценария на база измерените стойности на тока през човека от експеримента и критериите от таблица 1.1 на упражнение 1.

IV. ПЕРИОДИЧЕН КОНТРОЛ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ИЗОЛАЦИЯ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ИЗДЕЛИЯ НИСКО НАПРЕЖЕНИЕ

1. Цел на упражнението

Измерване активното съпротивление на електрическата изолация и проверка на електрическата якост с подлагане на повишено изпитвателно напрежение за установяване състоянието на изолацията.

2. Методика на провеждане на упражнението

- 2.1. Стареење на електрическата изолация.
- 2.2. Уреди за периодичен контрол на електрическата изолация и избор на уред за конкретното измерване.
- 2.3. Устройство на проверяваните електрически изделия
- 2.4. Нормативни изисквания към електрическата изолация.
- 2.5. Критерии за установяване състоянието на електрическата изолация на проверяваните изделия.
- 2.6. Методология за извършване на измерванията и практическа работа.
- 2.7. Анализ на резултатите от измерванията и формулиране на обосновани заключения за състоянието на електрическата изолация на проверяваните изделия.
- 2.8. Изисквания за безопасност при измерването.

3. Стареење на електрическата изолация

Стареењето на електрическата изолация се изразява в намаление на електрическата ѝ якост (издръжливост на претоварване по напрежение) и понижаване на активното съпротивление (увеличаване тока на утечка). Електрическата изолация старее под влияние на редица фактори:

- топлинни въздействия – от протичане на големи токове и външни топлинни източници;
- механични въздействия (огъване, усукване, вибрации и др.);
- въздействия на химически агресивни вещества и ултравиолетова радиация;
- овлажняване, естествена деполимеризация на полимерните изолации във времето и др.

4. Уреди за периодичен контрол на електрическата изолация и избор на уред за измерване за конкретното изделие

Периодичният контрол на изолацията на електрически изделия НН се извършва с преносими ръчни измервателни уреди – мегаомметри. Най-разпространените мегаомметри са с вграден генератор за създаване на изпитвателно напрежение ($U_{изп}$), задвижван с лост, който се върти ръчно фиг. 4.1.



Фиг. 4.1

По време на изпитването се извършва едновременно измерване на съпротивлението на изолацията и проверка на електрическата ѝ якост чрез претоварване с повишено изпитвателно напрежение за 1 min.

Изчислителното изпитвателно напрежение $U_{изч}$ се определя по (4.1) в зависимост от номиналното напрежение, на което е подложена изолацията при нормален работен режим (U_H).

$$(4.1) \quad U_{изч} = 0,75 \cdot (1000 + 2 \cdot U_H), V.$$

При проверка на трифазни изделия, когато изолацията е подложена и на междуфазно (линейно) напрежение, се приема (4.2):

$$(4.2) \quad U_H = 400V.$$

При проверка на изделия, захранвани от еднофазна мрежа, т.е. когато изолацията е подложена само на фазно напрежение, се приема (4.3):

$$(4.3) \quad U_H = 230V.$$

След изчисляване на $U_{изч}$ се избира уред със стандартно изпитвателно напрежение $U_{изп} = 500V, 1000V$ или $2500V$, най-близко до изчислената стойност $U_{изч}$ за проверка на съответното изделие.

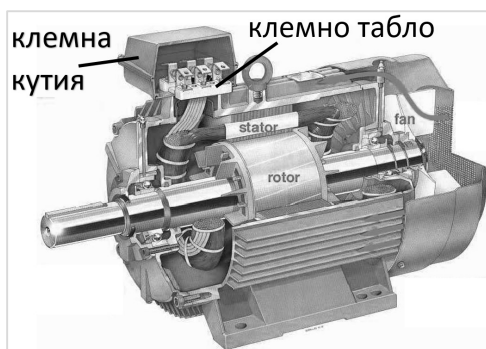
5. Проверявани изделия ниско напрежение (НН)

5.1. Трифазни променливотокови електрически двигатели

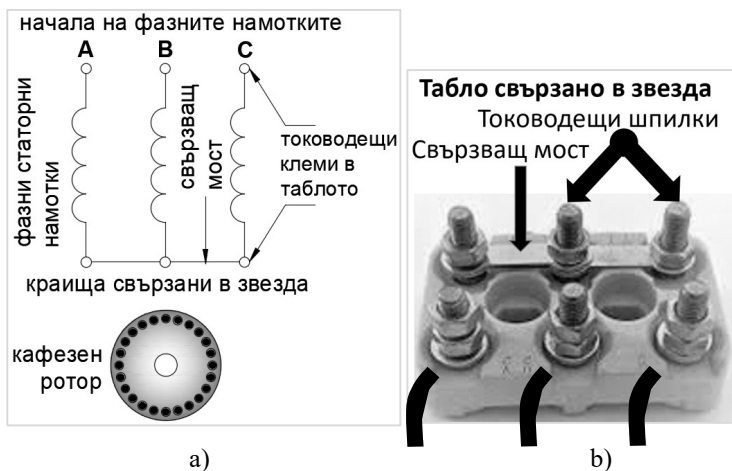
Най-простите и масово използвани трифазни асинхронни двигатели имат устройство, показано на фиг. 4.2 с електрическа схема на фиг. 4.3 а). Роторът е кафезен и не подлежи на проверка на изолацията, защото няма такава. Роторът може да е демонтиран или не.

Измерването се провежда след:

- застопоряване на ротора на двигателя и задвижващите механизми;
- видимо прекъсване на захранването;
- демонтаж и заземяване на захранващите проводници;
- отваряне на клемната кутия;
- демонтаж на свързващите мостове фиг. 4.3 б) до фиг. 4.4.



Фиг. 4.2



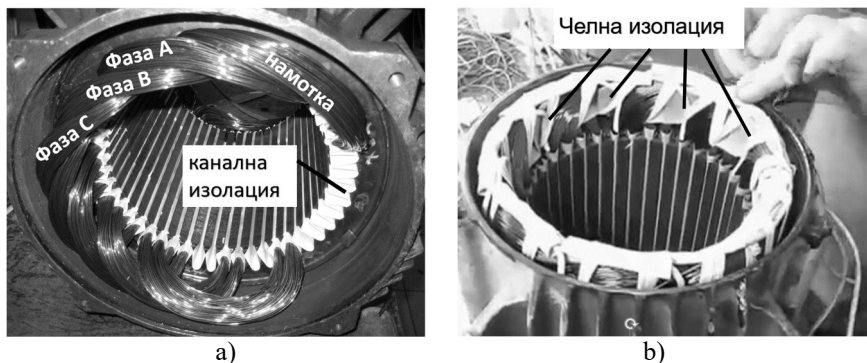
Фиг. 4.3



Фиг. 4.4

При проверка на изолацията между фаза и корпус ($A - PE$, $B - PE$, $C - PE$) се установява изправността на каналната изолация, която в нормален работен режим е подложена на фазно напрежение (230V), фиг. 4.5 а).

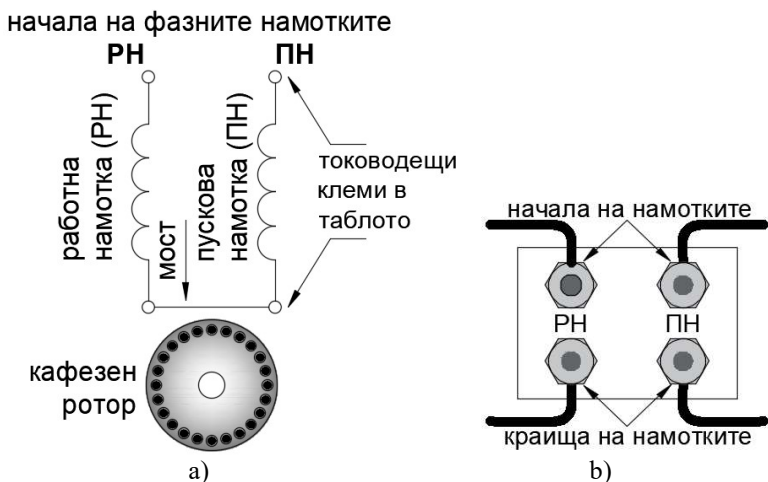
При проверка на изолацията между две различни фази ($A - B$, $A - C$, $B - C$) се установява изправността на челната изолация, която в нормален работен режим е подложена на междуфазно (линейно) напрежение (400V), фиг. 4.5 б).



Фиг. 4.5

5.2. Еднофазни асинхронни двигатели с кондензаторно пускане

Корпусът, магнитопровода и роторът на еднофазните кондензаторни двигатели не се различават видимо от тези на трифазните. Разликата е, че вместо трифазно (с фази А, В и С), захранването е от еднофазната мрежа – фаза и нула (L и N). В статора са разположени две намотки – работна намотка (РН) и пускова намотка (ПН), фиг. 4.6. а). В клемното табло фиг. 4.6 б) са разположени четири клеми (тоководещи шпилки), към които са свързани началата и краищата на двете намотки и захранващите проводници. Преди проверката кондензаторите и свързващият мост се демонтират.



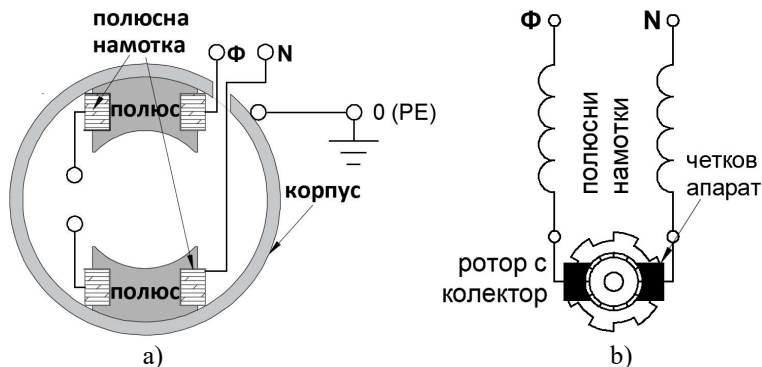
Фиг. 4.6

При проверка на изолацията между РН и корпус (РН – РЕ, ПН – РЕ) се установява изправността на каналната изолация, която в нормален работен режим е подложена на фазно напрежение (230V).

При проверка на изолацията между двете намотки (РН – ПН) се установява изправността на челната изолация, която в нормален работен режим е подложена на фазно напрежение (230V).

5.3. Еднофазни явнополюсни променливотокови колекторни електрически двигатели

Това са малки машини, работещи при надсинхронни обороти, задвижващи ръчни и битови бързооборотни електрически инструменти и изделия.

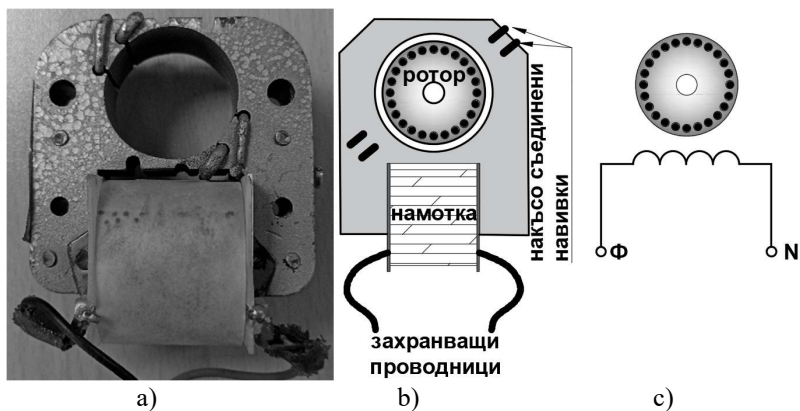


Фиг. 4.7

Схематично устройството на такъв двигател и електрическата му схема са показани на фиг. 4.7 а) и б) съответно. Проверява се изолацията на статорните (индукторни) полюсни намотки спрямо полюсите след демониране на ротора или на четките. При нормален работен режим изолацията е подложена на фазно напрежение 230V.

5.4. Еднофазни променливотокови електрически двигатели с накъсо съединени навивки

Това са микродвигатели с кафезен ротор, фиг. 4.8 а) за задвижване най-често на малки вентилатори. Магнитното поле се създава от проста намотка (бобина), захранвана от еднофазна мрежа (230V), и се модифицира от накъсо съединените намотки за създаване на въртящо се електрическо поле, фиг. 4.8 б). Електрическата схема е показана на фиг. 4.8 с).

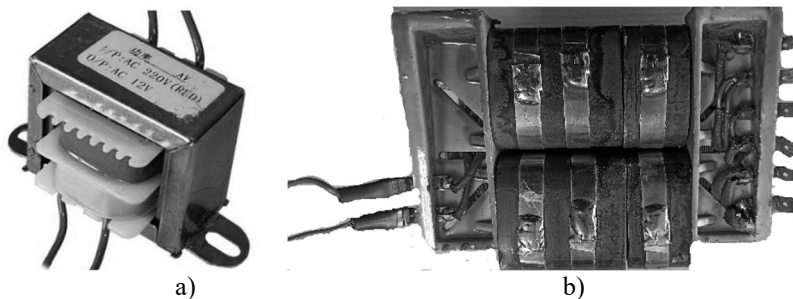


Фиг. 4.8

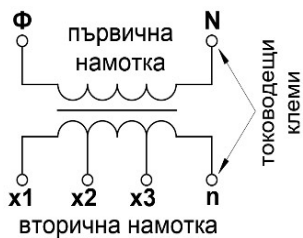
Проверява се съпротивлението на изолацията на намотката спрямо магнитопровода.

5.5. Еднофазни малки трансформатори

Това са понижавачи трансформатори с малка мощност. Първичната намотка се захранва с еднофазно променливо напрежение 230V, а вторичната намотка подава понижено напрежение към консуматор/и, фиг. 4.9 а) и б).



Фиг. 4.9



Фиг. 4.10

Вторичната намотка може да е с един или няколко извода с различни напрежения, фиг. 4.10.

Изпитва се състоянието на изолацията на първичната и вторичната намотка спрямо корпус/магнитопровод и на изолацията между първичната и вторичната намотка.

6. Нормативни изисквания към периодичната проверка на твърдата електрическа изолация на изделия НН

Електрическата изолация се проверява периодично, най-малко веднъж на 3 г. или по-често по разпореждане на главния енергетик, в зависимост от условията на работната среда.

6.1. Подготовка за работа и изисквания за безопасност при измерванията

В уредби с напрежение до 1000 V измерването на съпротивлението на изолацията се извършва от едно лице с не по-ниска от III квалификационна група след последователно извършване на:

- изключване на напрежението на обекта (ел. машина, участък от мрежата, част от ел. уредба и др.), подлежащ на контрол от всички страни, и разреждане на остатъчните заряди чрез заземяване през заземна разрядна щанга при изпитване на съоръжения с голям капацитет – кабели, кондензаторни уредби и други;
- проверка за отсъствие на напрежение;
- поставяне на временни заземители;
- обезопасяване на измервателната площадка от достъп на хора с възможност за доближаване или допиране до изпитвания обект;

- след всяко измерване се извършва неутрализация на остатъчните заряди.

Забранява се измерване с мегаомметри във взривоопасна среда без специални мерки за намаляване концентрацията на горимите газове, прахове и пари под 20% от долната експлозивна граница (ДЕГ).

Забраняват се измервания на открито при вероятност от мълниеносна дейност.

6.2. Проверка на уреда

Свързват се накъсо клемите на мегаомметъра и се завърта лоста на уреда, при което стрелката трябва да показва „0“. Разделят се галванично клемите на уреда и се завърта лоста на уреда, при което стрелката трябва да показва максималната стойност на скалата.

6.3. Изисквания към съпротивлението на изолацията

Минималните стойности на съпротивлението на изолацията R_{min} , при които тя се приема за изправна, се регламентират от НАРЕДБА № 16-116 от 8.02.2008 г. „За техническа експлоатация на енергообзавеждането“. Частична извадка от тези изисквания е представена в табл. 4.1.

Таблица 4.1

№	Изпитвано съоръжение/изделие/ПУ/ЕПЛ	$U_{изп}$, kV	R_{min} , MΩ
1	Участък от силови и осветителни инсталации	0,5 /1	0,5
2	Вторични вериги за управление, сигнализация и др.	0,5 /1	1
3	Бобини на контактори, магн. пускатели и др.	0,5 /1	1
4	Разпределителни уредби	0,5 /1	0,5

Изпитването се извършва в продължение на 1 минута.

Наредбата не регламентира универсални изисквания към минимално допустимото съпротивление на изолацията на електрическите двигатели R_{min} . За целите на упражнението се прилага опростена формула (4.4):

$$(4.4) \quad R_{min} = \frac{U_H}{1000} M\Omega,$$

където U_H , V е номиналното напрежение, на което е подложена изолацията в нормален работен режим, (4.2) или (4.3).

За малки еднофазни трансформатори за целите на упражнението се приема изискването за вторични вериги, табл. 4.1 (2).

В реалната практика R_{min} се определя:

- от производителя в документацията на изделието;
- в някои случаи се допуска до 50% намаление спрямо първоначалната стойност на съпротивлението;
- по международни стандарти.

7. Критерии за установяване изправността на електрическата изолация на проверяваните изделия

За целите на упражнението се приема, че изолацията е изправна при спазване на условие (4.5):

$$(4.5) \quad R_{\text{ИЗМ}} \geq R_{\text{min}}$$

В противен случай изолацията се приема за неизправна.

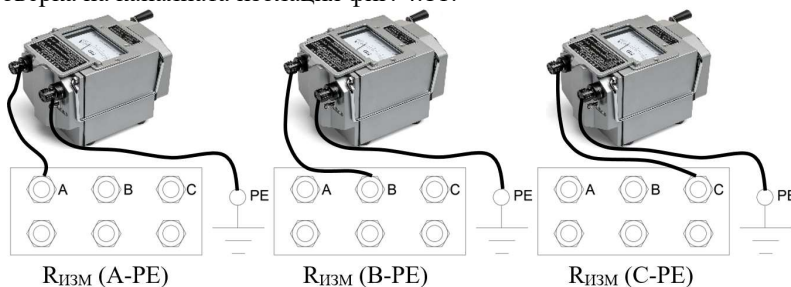
8. Практическа работа

Измерванията се извършват след инструктаж за безопасност на работното място от ръководителя на упражнението, под негово ръководство, и след проверка изправността на мегаомметъра и сондите му.

8.1. Проверка на статорната изолация на трифазен асинхронен двигател

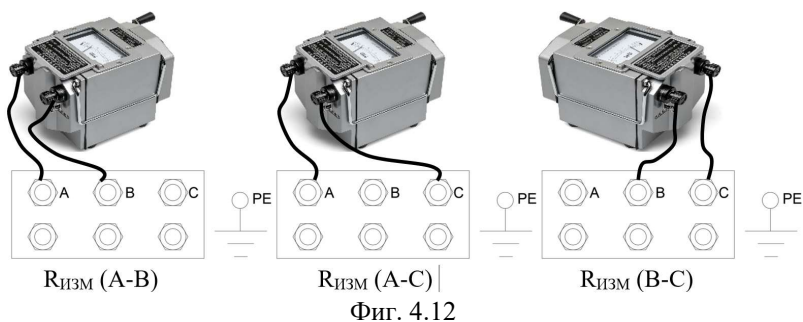
Извършват се шест измервания на съпротивлението на изолацията – между всяка фаза и (земя/корпус PE), и между всеки две отделни фази.

Проверка на каналната изолация фиг. 4.11:



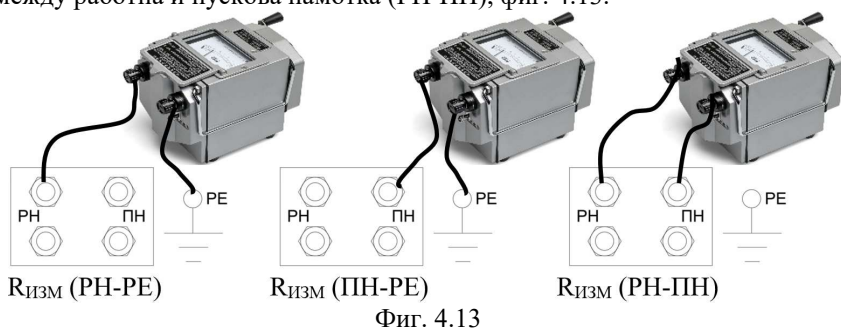
Фиг. 4.11

Проверка на челната изолация фиг. 4.12.



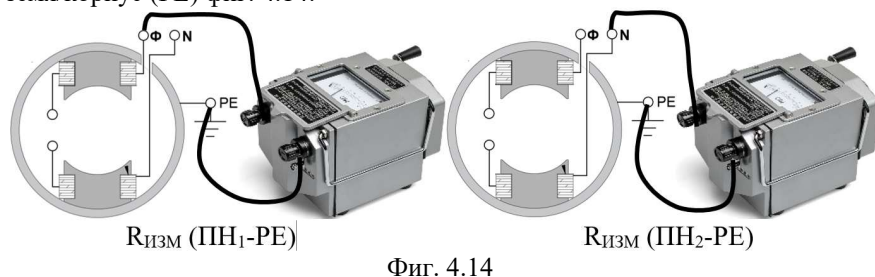
8.2. Проверка на статорната изолация на еднофазен асинхронен кондензаторно пускател

Измерва се съпротивлението на изолацията на работната намотка (РН) спрямо (земя/корпус PE), съпротивлението на изолацията на пусковата намотка (ПН) спрямо (земя/корпус PE) и съпротивлението на изолацията между работна и пускова намотка (РН-ПН), фиг. 4.13.



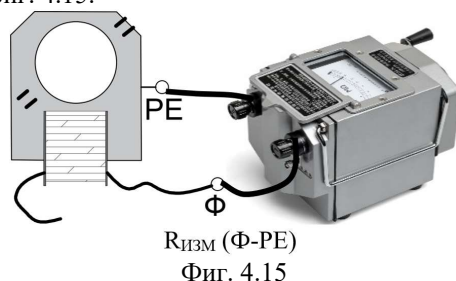
8.3. Проверка на полюсната изолация на еднофазен променливотоков колекторен двигател

Проверява се изолацията на полюсните намотки (ПН₁ и ПН₂) спрямо земя/корпус (PE) фиг. 4.14.



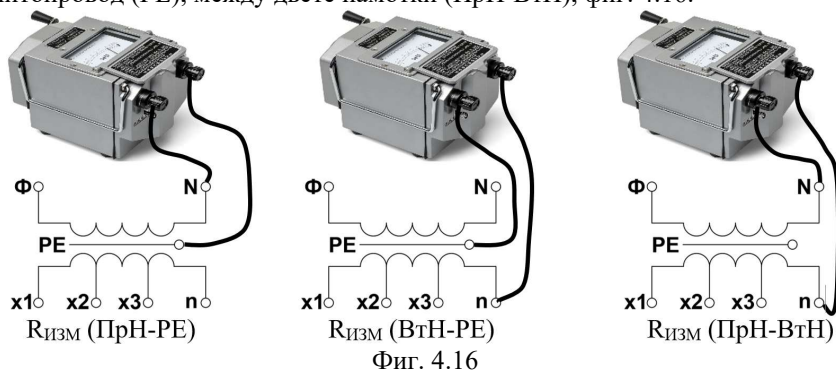
8.4. Проверка на изолацията на еднофазни променливотокови електрически двигатели с накъсо съединени навивки

Проверява се съпротивлението на изолацията на намотката спрямо магнитопровода (PE), фиг. 4.15.



8.5. Проверка на изолацията на еднофазен малък трансформатор

Проверява се съпротивлението на изолацията между първичната намотка (ПрН) и корпус/магнитопровод (PE), вторична намотка (ВтН) и корпус/магнитопровод (PE), между двете намотки (ПрН-ВтН), фиг. 4.16.



9. Формулиране на обосновани заключения за състоянието на изолацията на проверяваните изделия

Получените резултати от измерванията се отразяват в протокола. Измерените стойности на $R_{\text{ИЗМ}}$ се сравняват с изчислените или таблични стойности на R_{min} т.6.3, съгласно т.7, и за всяко проверявано изделие се прави заключение за изправността на изолацията му.

Ако дори едно от измерванията покаже неизправност на изолацията, се приема, че изделието е с неизправна изолация.

Формулират се обосновани обобщени заключения за състоянието на изолацията на проверяваните изделия.

V. ИЗСЛЕДВАНЕ НА МАКСИМАЛНОТОКОВИ ЗАЩИТИ НН И ДЕФЕКТНОТОКОВИ ЗАЩИТИ

1. Цел на упражнението

Практическо запознаване на студентите с процедурите за проверка и критериите за оценка работата на максималнотокови защиты (МТЗ) и дефектнотокови защиты (ДТЗ).

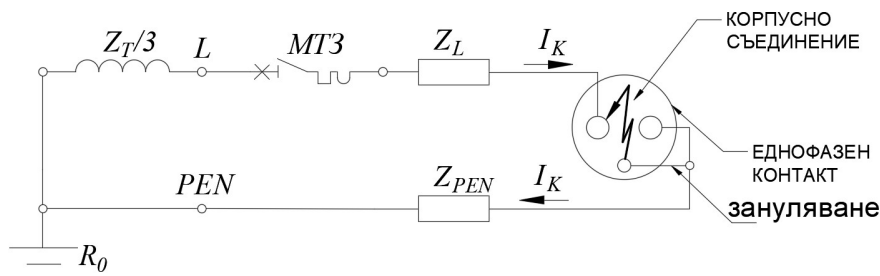
2. Методика на провеждане на упражнението

- 2.1. Предназначение, устройство и принцип на действие на МТЗ, криви на изключване и критерии за заработване, условия за безопасност.
- 2.2. Предназначение, устройство и принцип на действие на ДТЗ, критерии за заработване и условия за безопасност.
- 2.3. Запознаване с функциите на специализиран уред за проверка на технически мерки за защита от електропоражение в мрежи НН.
- 2.4. Практическа работа – измервания и анализ на резултатите.

3. Предназначение, устройство и принцип на действие на МТЗ, криви на изключване и критерии за заработване

3.1. Предназначение на МТЗ

Предназначението на МТЗ е да изключи за кратко време електрически контур или консуматор при възникване на аварийен режим – късо съединение, т.е. да осигури защита от индиректно допиране фиг. 5.1.



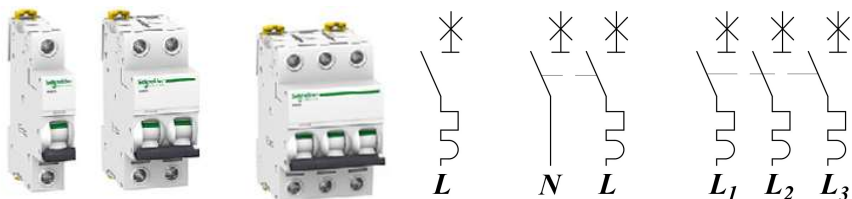
Фиг. 5.1

3.2. Устройство на МТЗ

МТЗ се реализира чрез електрически предпазители със стопяема вложка или с електромагнитни максималнотокови прекъсвачи. Маломощни предпазители със стопяема вложка на практика рядко се влагат в съвременните табла и затова не се разглеждат.

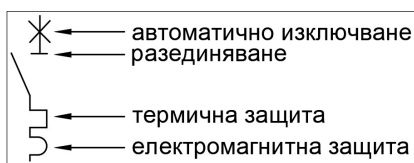
Максималнотоковите прекъсвачи са защитно-изключващи устройства, реагиращи на ток на късо съединение I_K , A , който протича по контура (L -PEN –

проводник) или (L - PE – проводник) фиг. 5.1. На фиг. 5.2 са показани електромагнитни прекъсвачи (еднополюсен, двуполюсен и триполюсен) и графичното им означение.



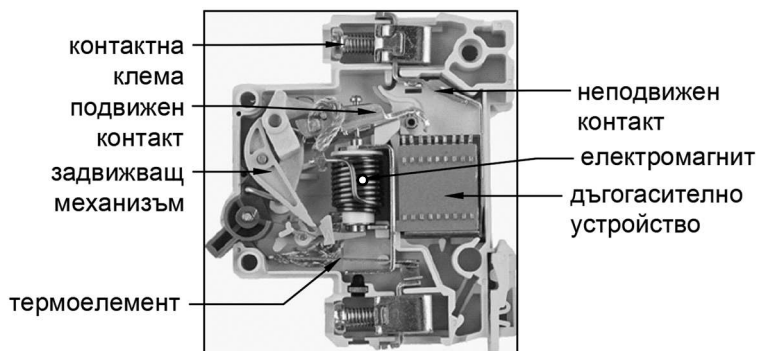
Фиг. 5.2

Символите на графичното означение са пояснени на фиг. 5.3.



Фиг. 5.3

Разрез на прекъсвача е показан на фиг. 5.4.

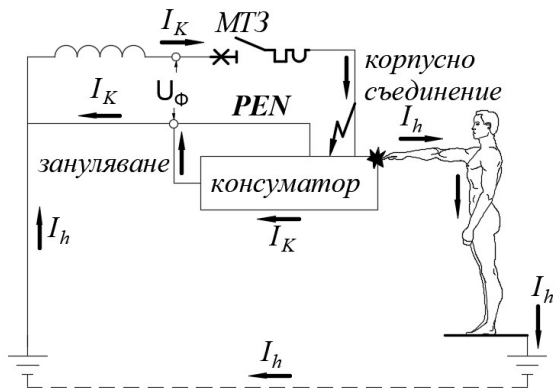


Фиг. 5.4

3.3. Принцип на действие на МТЗ

Вследствие на зануляването – свързване на проводимия корпус на консуматора към нулев PEN или защитен PE проводник, фиг. 5.5, корпусното съединение се превръща в еднофазно късо съединение (КС), съпроводено с протичане на ток на късо съединение I_K – голям ток, който предизвиква изключване на МТЗ за много кратко време – части от секундата. По този начин се минимизира времето на съществуване на опасен потенциал върху зануления

корпус, опасно допирно напрежение и респективно, протичане на ток през човек I_h , допрял се до проводимия корпус.



Фиг. 5.5

Токът на късо съединение I_K е голям, защото се определя само от импеданса на фазата на трансформатора $Z_{T/3}$, фазния и нулевия проводник (Z_Φ и Z_{PEN}), фиг. 5.1, (5.1) под действие на фазното напрежение U_Φ :

$$(5.1) \quad I_K = \frac{U_\Phi}{\frac{Z_T}{3} + Z_L + Z_{PEN}}, A.$$

За намаляване времето на горене на дъгата в момента на изключване в прекъсвача е монтирано дъгогасително устройство.

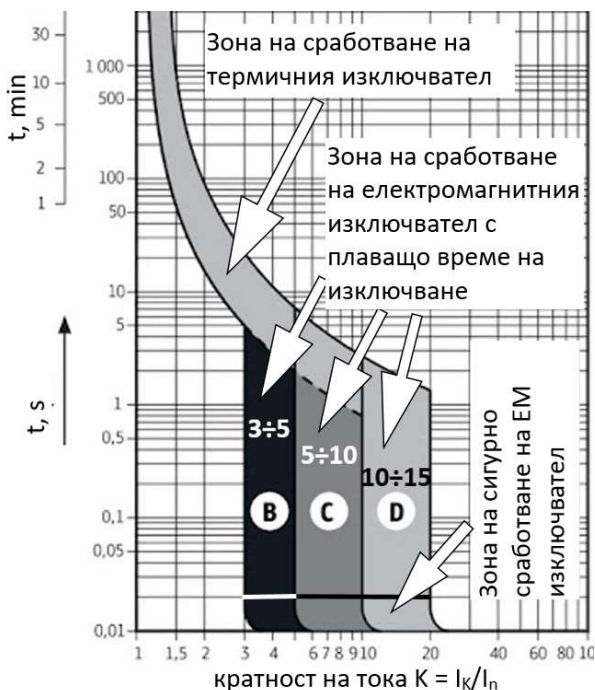
3.4. Времетокови характеристики на изключване на МТЗ

Съвременните максималнотокови прекъсвачи са унифицирани по отношение на времетоковата характеристика (крива на изключване А, В, С, D, F, К), като широко приложение намират прекъсвачи с криви на изключване тип В, С и D, фиг. 5.6. С прекъсвачи с крива на изключване тип В се защитават токови контури и консуматори с незначителна реактивна съставка на товара. Най-универсалните прекъсвачи с крива на изключване тип С се използват за защита на контури и товари с активно-индуктивен характер. Прекъсвачи с крива на изключване тип D се прилагат за защита на вериги и консуматори със силно изразен реактивен характер – електродвигатели, трансформатори и пр.

Друг каталожен параметър на прекъсвачите е номиналният ток (I_n). Това е максималният продължително протичащ ток през прекъсвача, който не води до изключване, и се избира по-голям от номиналния ток на консуматора, който прекъсвачът защитава, за да не изключва в нормален експлоатационен режим на консуматора.

Номиналният ток е означен върху прекъсвача „С 16“ (крива на изключване С, с номинален ток $I_n = 16A$), фиг. 5.7. Стандартните стойности на I_n са: 2, 4, 6, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 100 А.

Напрежението, за което е оразмерена изолацията на прекъсвача, също е отбелязана на корпуса му „~230V“, фиг. 5.7 за еднополюсните и „~400V“ за триполюсните.



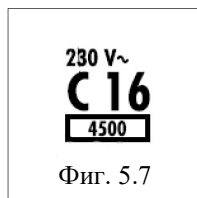
Фиг. 5.6

Максималният ток в ампера, който може да комутира прекъсвачът, без да се разруши физически (разривен ток), също е отбелязан на прекъсвача, фиг. 5.7 „4500“.

Ключов параметър за заработване на защитата е кратността на тока I_K по отношение на тока I_n , (5.2):

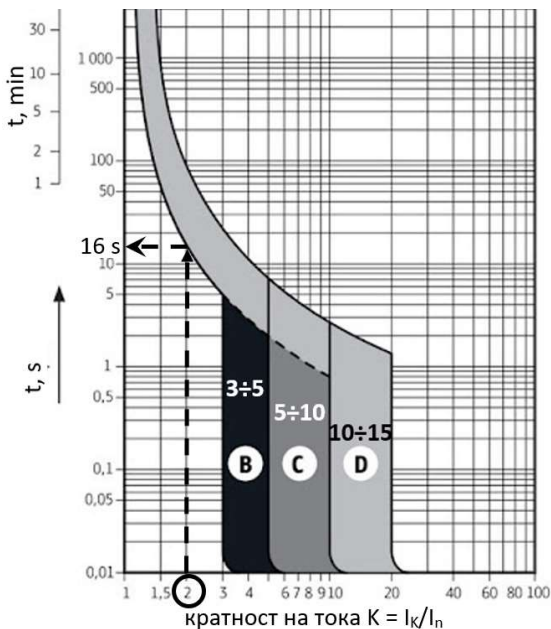
$$(5.2) \quad K = \frac{I_K}{I_n}$$

Термичният изключвател е биметално реле, което реагира на ток над номиналния, но недостатъчно голям, за да задейства бързодействащата електромагнитна защита. Времето на изключване може да е секунди или минути.



Термичният изключвател няма отношение към осигуряване на безопасност, а реагира на претоварване на контура/консуматора по ток.

Времето на изключване на прекъсвач с определена крива на изключване (примерно В, при която $3 \leq K < 5$), при определена стойност на кратността на тока K е показано на фиг. 5.8, като в случая би сработила термичната защита, защото кратността на тока е само $K=2 < 3$, което е недостатъчно за зареждане на електромагнитната. В случая на фиг. 5.8, времето на сработване е 16 s, а с нарастване на K времето на зареждане намалява.



Фиг. 5.8

При достигане на граничната стойност $K=3$, примерно за крива В, се задейства електромагнитното реле с време на зареждане, вариращо от част от секундата до 5s с някаква вероятност, като колкото е по-голям коефициентът K , толкова е по-малко времето за зареждане. Ако коефициентът нарасне ($K \geq 5$), се влиза в най-долната част на кривата на зареждане – зона на сигурно зареждане за време $(0,01 \div 0,02s)$, което ограничава времето на съществуване на опасен потенциал върху занулените корпуси на консуматорите и така осигурява защита срещу индиректно допиране. На практика, времето за пълно изключване е $(20 \div 40 ms)$ и се определя от времето на задействане на защитата t_{33} и времето на горене на дъгата $t_{ГД}$ (5.3):

$$(5.3) \quad t_{\text{изкл}} = t_{33} + t_{ГД}, \text{ s.}$$

За да може да заработи МТЗ, трябва да има ефективно изпълнено зануляване, т.е. импедансът на контура ($L\text{-PEN/PE}$) да е достатъчно малък, за да може да протече достатъчно голям ток I_K .

Ясно е, че колкото е по-голям номиналният ток на прекъсвача, толкова по-голямо трябва да е сечението на фазния и нулевия проводници на защитаващия контур.

3.5. Критерии за заработване на МТЗ и условия за безопасност

Критерият за заработване на защитата е кратността на тока K да е по-голяма от граничната за съответната крива на сигурно изключване $K_{ГР}$ (5.4):

$$(5.4) \quad K \geq K_{ГР},$$

като граничните стойности $K_{ГР}$ за различните криви на изключване са дадени в таблица 5.1.

Таблица 5.1

Крива на изключване	$K_{ГР}$
B	5
C	10
D	15

Зануляването, заедно с МТЗ, осигурява защита от индиректно допиране при корпусно съединение в вземени мрежи НН с изведена неутрала чрез две защитни действия:

- a) ограничава времето на съществуване на опасен потенциал върху защитаваните съоръжения/изделия до ($20 \div 40ms$), с което се минимизира вероятността за тежки електропоражения, тъй като тежестта на поражение зависи от времето на протичане на ток през тялото на човек;
- b) намалява потенциала върху корпусите до безопасни стойности (под $\sim 50V$ за среда с нормална опасност) чрез многократно повторно заземяване на нулевия PEN или защитния PE проводник.

4. Предназначение, устройство и принцип на действие на ДТЗ, видове и критерии за заработване, условия за безопасност

4.1. Предназначение на дефектнотоковите защиты (ДТЗ)

ДТЗ, за разлика от МТЗ, реагира на малък ток, наречен ток на утечка или още дефектен ток, ($I_{\Delta n}$, mA), който е от порядъка на тока през тялото на човек (I_h). Поради това ДТЗ защитава както от индиректно, така и от директно допиране до тоководещи части, като изключва защитавания контур за време ($20 \div 40 ms$) и така ограничава времето за въздействие на тока върху човек.

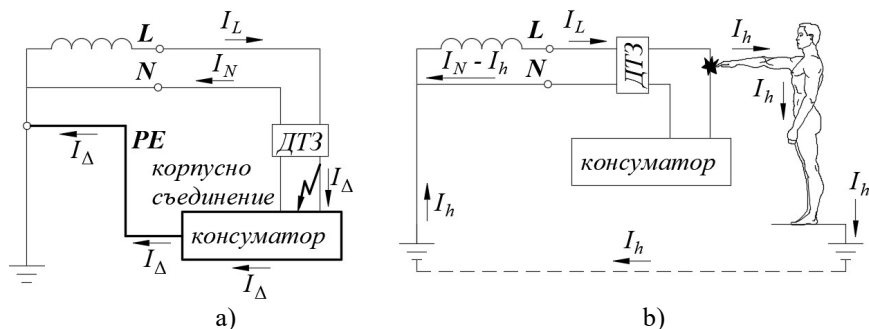
За защита на крайни вериги (контактни излази) се инсталират ДТЗ с номинален дефектен ток на изключване ($I_{\Delta n} = 10$ или 30 mA), с което токът през тялото на човек се ограничава до отпусащ ток, което изключва възможността за опасни физиологични последици – фибрилации (сърдечна недостатъчност) или дихателна недостатъчност.

ДТЗ се монтират и за предпазване от пожари, предизвикани от протичане на дефектен ток над $300-500$ mA към земя. В тези случаи се монтират ДТЗ с $I_{\Delta n} = 300-500$ mA.

4.2. Устройство на ДТЗ

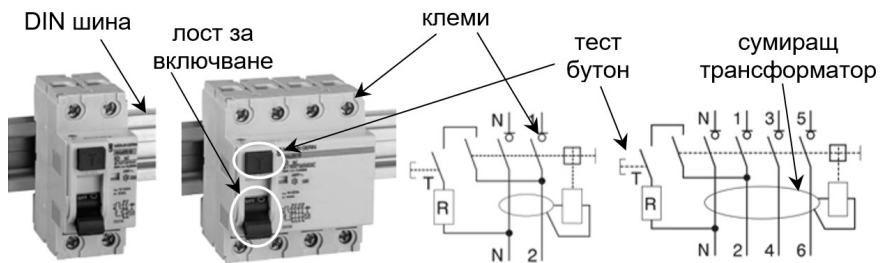
ДТЗ се реализира чрез дефектнотокови прекъсвачи (ДТП). ДТП са защитно-изключващи устройства, реагиращи на ток с нулева последователност (дефектен ток I_{Δ}), който протича по контура:

- при защита от **индиректно допиране** (фаза – корпусно съединение – РЕ проводник – земя), фиг. 5.9 а).
- при защита от **директно допиране** (фаза – човешко тяло – земя), фиг. 5.9 б).



Фиг. 5.9

На фиг. 5.10 са показани дефектнотокови прекъсвачи (двуполусен и четири-полусен) и графичното им означение.

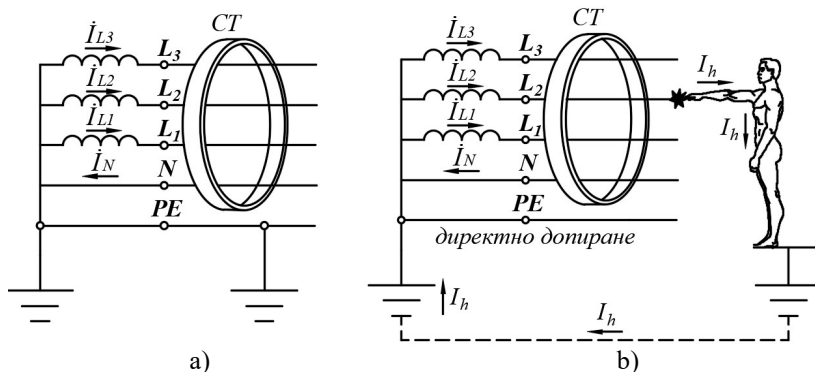


Фиг. 5.10

Прекъсвачът се включва с вдигане на лоста в горно положение. Тест бутонът позволява проверка работата на електромеханичната система, когато прекъсвачът е под напрежение.

4.3. Принцип на действие на ДТЗ

За да работи ДТЗ, защитаваният контур трябва да е изпълнен като TN-S или TN-C-S мрежа, фиг. 5.11 а), като защитният PE проводник „заобикаля“ ДТЗ, т.е. не е обхванат от сумиращия трансформатор (СТ) на защитата.



Фиг. 5.11

При нормален работен режим, през защитния PE проводник ток не тече, т.е. векторната сума на входящите фазни токове и изходящият ток в нулевия N проводник е равна на нула (5.5).

$$(5.5) \quad \dot{I}_{L1} + \dot{I}_{L2} + \dot{I}_{L3} + \dot{I}_N = 0$$

При директно допиране до тоководеща част, фиг. 5.9 б), през тялото на човек към земя протича ток I_h , който води до нарушаване на (5.5) до (5.6):

$$(5.6) \quad \dot{I}_{L1} + \dot{I}_{L2} + \dot{I}_{L3} + \dot{I}_N = 3\dot{I}_h, \text{ A.}$$

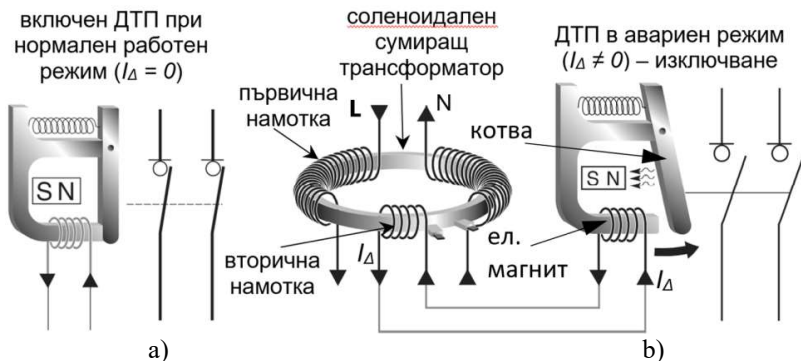
Когато токът през човек ($3I_h$) наближи стойността на номиналния дефектен ток ($I_{\Delta n}$), ДТЗ изключва.

Работата на ДТЗ е илюстрирана на фиг. 5.12. Електромеханично реле сравнява големината на дефектния ток с предварително зададен праг на задействане ($I_{\Delta n}$). Постоянен магнит (SM) задържа във включено положение подвижната котва, свързана с изключващия механизъм. Електромагнит, захранван от дефектния ток (I_{Δ}) и напрегната пружина, създават върху котвата сила с обратна посока и се опитват да я задвижат за изключване.

Когато силата на привличане на постоянния магнит е по-голяма от тази на електромагнита ($I_{\Delta} < I_{\Delta n}$), контактите са в затворено положение – нормален

работен режим фиг. 5.12 а).

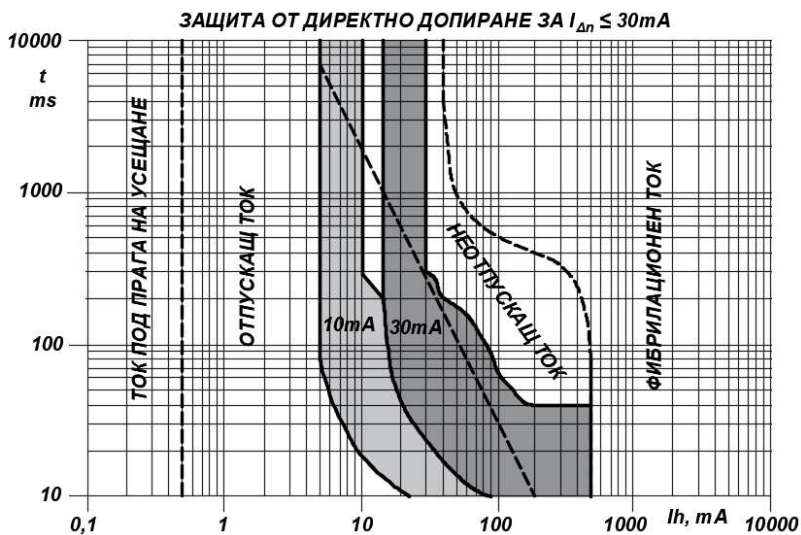
Когато дефектният ток ($I_{\Delta} \approx I_{\Delta n}$), силата на електромагнита преодолява силата на привличане на постоянния магнит, пружината задвижва котвата, която от своя страна задейства механизма за отваряне на контактите и дефектнотокова защита изключва веригата – аварийен режим фиг.5.12 б).



Фиг. 5.12

4.4. Времетокови характеристики на изключване на ДТЗ

ДТЗ, предназначени за защита на крайни вериги от директно допирание, имат времетокови характеристики на изключване в зоната на отпускатия ток, фиг. 5.13.

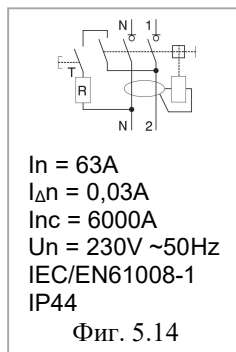


Фиг. 5.13

Осигурява висока степен на безопасност, защото протичането на отпускателен ток през тялото на човек за части от секундата не води до физиологични въздействия и електрически травми.

На табелката на ДТП фиг. 5.14 са отбелязани каталожните данни:

- схема на свързване;
- I_n , A – номинален товарен ток;
- $I_{\Delta n}$, A – номинален дефектен ток;
- I_{nc} , A – разривен ток;
- U_n , V – номинално напрежение и честота;
- IEC/EN № - стандарт, на който отговаря прекъсвача;
- степен на защита IP.



4.5. Критерии за заработване на ДТЗ и условия за безопасност

Критериите за заработване на ДТЗ са: да изключва при натискане на „тест бутон“ и да са изпълнени едновременно (5.7) и (5.8):

$$(5.7) \quad I_{\Delta \text{изкл}} \leq I_{\Delta n}, A.$$

$$(5.8) \quad t_{\text{изкл}} \leq 40ms$$

Условията за безопасност при защита от ДТЗ се определят от едновременното изпълнение на условията: максималното допирно напрежение (U_D) при протичане на номинален дефектен ток да е по-ниско от допустимото допирно напрежение ($U_{\text{доп}}$) (5.9) и времето на изключване да е достатъчно кратко (5.10):

$$(5.9) \quad U_D(I_{\Delta n}) \leq U_{\text{доп}}, V.$$

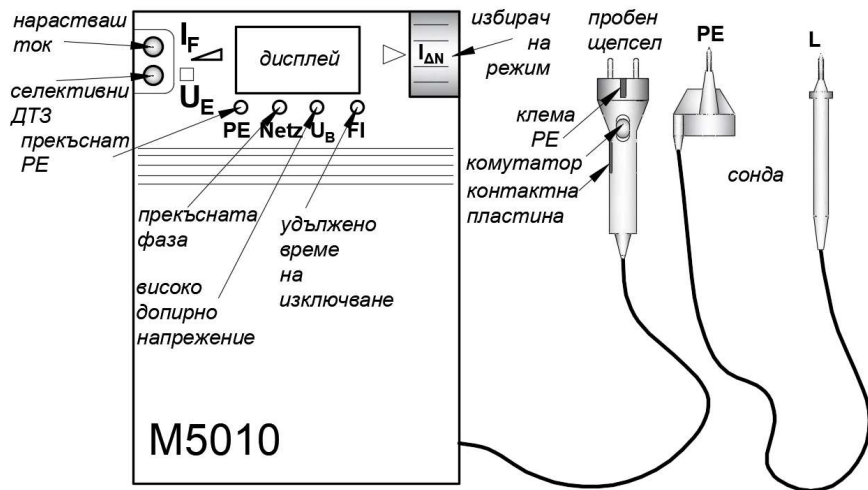
$$(5.10) \quad t_{\text{изкл}} \leq 40ms$$

Обикновено ДТП изключват при $I_{\Delta} > 0,5I_{\Delta n}$ и за време ($20 \div 40ms$).

5. Запознаване с функциите на специализиран уред за проверка на технически мерки за защита в мрежи НН

За конкретното упражнение се използва специализиран уред „M5010“ производство на Gossen Metrawatt. Тук се разглеждат функционалностите на уреда, необходими за настоящото упражнение. Измерванията се провеждат с помощта на чеклист, който указва последователността на действията за извършване на всяко конкретно измерване.

Схематична картинка с означение на избиращ на режими, бутони и индикатори (диодни сигнализации) на измервателния уред е показана на фиг. 5.15:



Фиг. 5.15

- избиращ на режим – въртящ се превключвател, с който се избира режим на измерване:
 - U_{L-N} – измерване напрежението на мрежата за установяване на отклонения от стандарта;
 - R_{schl} – измерване съпротивлението на контур $L-N$ (Z_S, Ω) и на изчислителния ток на късо съединение на контура (I_K, kA) при изследване на МТЗ;
 - $I_{AN} = (10, 30, 300, 500mA)$ – при изследване на дефектнотоккови защити с определен номинален ток;
- бутони:
 - I_F – при положение на избираща на режим (I_{AN}) се натиска със задържане + натискане на комутатора „напред“, уредът преминава в режим на измерване с нарастващ дефектен ток на ДТЗ;
 - U_E – превключване в режим за измерване напрежението на заземители;
 - S – превключване в режим за изпитване на селективни ДТЗ.
- диодни индикации
 - PE свети червено** – прекъсване на PE проводник;
 - Netz свети червено** – прекъсване на фазната линия;
 - U_B свети червено** – високо допирно напрежение върху защитен PE проводник;

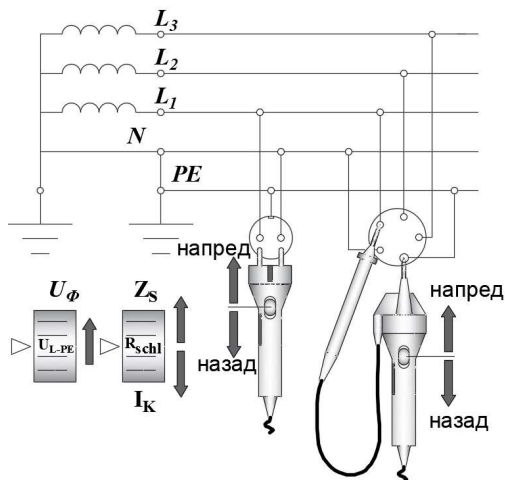
- **FI свети червено** – удължено време на изключване на прекъсвач.

Ако индикаторите светят в зелено, измерването се извършва при нормални условия.

6. Практическа работа

6.1. Проверка на зануляването на контакти тип шуко

Проверка на зануляването се провежда по схемата на фиг. 5.16.



Фиг. 5.16

Проверката на всеки еднофазен контактен излиз се прави с пробния щепсел, а на трифазен - с използване на сондата. За всеки контур се извършват следните манипулации:

- 1/ Избирачът на режими се превключва на U_{L-PE} ;
- 2/ Пробният щепсел/ сондите се включват съгласно фиг. 5.16.
- 3/ Комутаторът се включва кратковременно напред – **измерва се U_L, V** ;
- 4/ Избирачът на режими се превключва на R_{schl} ;
- 5/ Комутаторът се включва кратковременно напред – **измерва се Z_s, Ω** ;
- 6/ Веднага след отчитане на резултата комутаторът се включва назад със задържане – **измерва се токът на късо съединение I_k, kA** .

Забележка: ако в режим R_{schl} при допирание на контактната пластина на пробния щепсел, диоден индикатор PE светне червено:

- контактът не е занулен или;
- напрежението на РЕ проводника $U_{PE} > 50$ или $100 V$ или;
- фазата не е в лявата клема, както се изисква от нормативната уредба.

6.2. Оценка ефективността на МТЗ на изследваните контури

Записват се номиналният ток на прекъсвача (I_n) и видът на кривата на изключване (В, С или D).

За всяка от проверяваните МТЗ се прави проверка по условието:

$$(5.11) \quad I_K \leq K \cdot I_n, \text{ където:}$$

I_K, A – измереният ток на КС;

K – кратност на тока на КС, определена в зависимост от кривата на изключване на прекъсвача (А, В или С) отбелязана на табелката на прекъсвача и таблица 5.1;

I_n, A – номиналният ток на прекъсвача, отбелязан на табелката.

Ако условие (5.11):

- е изпълнено, се записва, че МТЗ ефективно защитава съответния контур;
- не е изпълнено, се записва, че МТЗ не е защитава ефективно проверявания контур и се препоръчва друга МТЗ или подмяна на линията с проводници с по-големи сечения.

6.3. Изследване на ДТЗ

Изследването на ДТЗ се провежда по схемата на фиг. 5.16. Проверката на всеки еднофазен контактен излиз се прави с пробния щепсел, а на трифазен - с използване на сондата.

6.3.1. Проверка на електромеханичната система

При включен прекъсвач и подадено напрежение на стенда се натиска „тест бутон“, при което **прекъсвачът трябва да изключи**.

6.3.2. Изпитване на ДТЗ с номинален дефектен ток

1/ Проверява се и се записва номиналният дефектен ток ($I_{Дн}$) от табелката на ДТЗ на проверявания контур;

2/ Избирачът на режими се превключва на $I_{Дн}10mA$, $I_{Дн}30 mA$, $I_{Дн}100 mA$, $I_{Дн}300 mA$, $I_{Дн}500 mA$, според номиналния дефектен ток на проверявания прекъсвач ($I_{Дн}$);

3/ При захранен стенд ДТЗ се включва чрез лоста за включване;

4/ Пробният щепсел/ сондите се включват съгласно фиг. 5.16.

5/ Комутаторът се включва кратковременно напред – на дисплея се изписва **напрежението на защитния (PE – проводник)**, т.е. допирното напрежение U_B , V или:

- „0-I“ – много ниско допирно напрежение (*под 25V*);
- „OL“ (Over Loading) препълване – опасно високо допирно напрежение и сигнален диод (U_B) светва в червено ($U_B > 50V$).

6/ Комутаторът се включва кратковременно назад:

- прекъсвачът **изключва** и на дисплея се изписва **съпротивлението към земя, Ω** или;
- прекъсвачът **не изключва**, при което сигнален диод (F_I) **светва в червено, а на дисплея се изписва “OL”**.

7/ Комутаторът се включва със задържане назад (при изключил прекъсвач) – на дисплея се изписва **времето на изключване $t_{изкл}$, ms**.

6.3.3. Изпитване на ДТЗ с нарастващ дефектен ток

1/ ДТЗ се включва отново чрез лоста за включване при същата схема на свързване;

2/ Бутон (I_F) се натиска и се задържа;

3/ При задържан бутон (I_F) комутаторът се включва напред – уредът подава нарастващ дефектен ток до стойността на ($I_{дн}$), при което се чува цъкащ звук – тогава бутон (I_F) се освобождава и:

- **прекъсвачът изключва** след няколко секунди, а на дисплея се изписва **стойността на допирното напрежение върху (PE – проводника)** в момента на изключването, или;
- **прекъсвачът не изключва**, при което сигнален диод (F_I) **светва в червено, а на дисплея се изписва “OL”**.

4/ Комутаторът се включва със задържане назад (при изключил прекъсвач) – на дисплея се изписва **дефектният ток на изключване (I_d , mA), при който прекъсвачът е изключил**.

Забележки:

Ако ($t_{изкл} > 40 ms$), на дисплея се изписва препълване „OL“ – удължено време на изключване и диоден индикатор (F_I) светва в червено.

7. Анализ на резултатите

Получените резултати от измерванията се отразяват в протокола.

7.1. Анализ на резултатите от изследването на МТЗ

Ако дори един от критериите, на които трябва да отговаря контура ($L - PE$):

- контактът не е занулен;
- $U_{PE} > 50 V$;
- фазата не е в лявата клемма,

се записва, че контурът не отговаря на изискванията за безопасност.

Ако за някоя от проверяваните МТЗ се установи, че $I_K < K \cdot I_n$, се записва, че **МТЗ не е избрана правилно и се препоръчва друга МТЗ или подмяна на линията с проводници с по-големи сечения.**

Ако измереното фазно напрежение е с отклонение повече от ($\pm 10\%$) от номиналното $230V$, се записва, **че захранването не отговаря на изискванията за качество на електроенергията.**

7.2. Анализ на резултатите от изследването на ДТП

Ако контролираните каталожни параметри на всеки от проверените ДТП е показал отклонение:

- ДТП не изключи при проверка с „тест бутон“;
- ДТП не изключи при изпитване с номинален дефектен ток;
- напрежението на PE проводника е над $50V$, (диод U_B) светне в червено;
- ДТП не изключи при изпитване с нарастващ дефектен ток;
- времето на изключване на ДТП е повече от $40ms$, (диод F_I) светне в червено,

се записва, че **провереният ДТП е неизправен.**

8. Формулиране на обосновани заключения

Формулират се обосновани заключения, относно:

- изправността на всеки от проверените контури ($L - N$) и контактните им излази;
- ефективността на работа на всяка от изпитаните МТЗ;
- изправността на всеки от изпитаните ДТП.

VI. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТЕХНИЧЕСКИ МЕРКИ ЗА ЗАЩИТА ОТ ЕЛЕКТРОПО- РАЖЕНИЕ В МРЕЖИ НИСКО НАПРЕЖЕНИЕ

1. Цел на упражнението

Практическо затвърждаване на разгледаните в упражнението 5 методи за контрол на технически мерки за защита от индиректно допиране в мрежи НН на експериментален стенд с комбиниран измервателен уред М5010.

2. Методика за провеждане на упражнението

- 2.1. Проверка на заземители на стенд.
- 2.2. Измерване на преходно съпротивление към земя на заземителни шини и консуматори.
- 2.3. Проверка на контур ($L - N$) и МТЗ на стенд.
- 2.4. Проверка на ДТЗ на стенд.

3. Стенд за проверка на технически мерки за защита от индиректно допиране в мрежи НН

Стендът представлява умален модел на сграда с визуализирани електрически табла и инсталации със защитни апарати, контактни излази и консуматори, мълниезащита, защитно заземяване и естествени заземители – подземни инфраструктурни обекти фиг. 6.1 в Приложение 1 към упражнението. Избрани са контролни точки, където са монтирани клеми за измерване.

4. Проверка на заземители със специализиран уред М5010

4.1. Схема на измерване и измервани величини

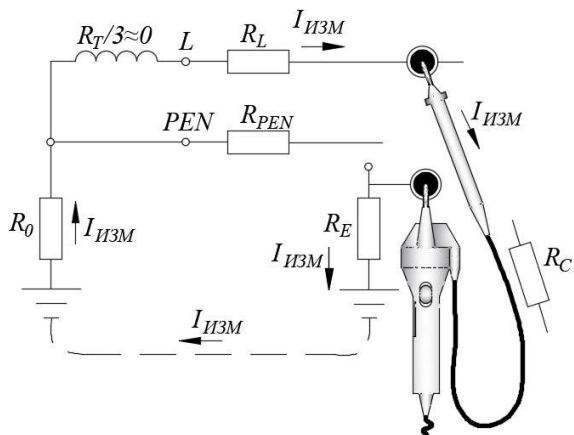
С уред М5010 може да се измерва съпротивление на заземители по два начина:

- по разгледания в упр. 3 триточков метод с използване на допълнителна потенциална сонда;
- по двуточков метод – без потенциална сонда, като в този случай се внася известна грешка и измерената стойност трябва да се коригира.

Тук се разглежда измерване съпротивлението на заземители по двуточков метод фиг. 6.2.

Измереното съпротивление от уреда ($R_{ИЗМ}, \Omega$) се състои от сумата на последователно свързаните съпротивления по измервателния контур фиг. 6.2, (6.1), като съпротивлението на намотката на захранващия трансформатор ($R_T \approx 0$) се пренебрегва.

$$(6.1) \quad R_{ИЗМ} \approx R_L + R_C + R_E + R_0, \Omega, \text{откъдето:}$$



Фиг. 6.2

(6.2) $R_E \approx R_{ИЗМ} - R_L - R_C - R_0$, където:

R_L, Ω – съпротивление на фазната линия;

$R_C = 0,05 \Omega$ – съпротивление на сондата;

R_E, Ω – съпротивление на проверявания заземител;

R_0, Ω – съпротивление на работния заземител на захранващия трансформатор.

Съпротивлението (R_L) е половината от съпротивлението на контура (R_{L-N}), което може да се измери по методиката описана в упр. 5, т. 6.1:

$$(6.3) \quad R_L = \frac{R_{L-N}}{2}, \Omega.$$

Съпротивлението на работния заземител (R_0) се задава от ръководителя на упражнението.

При измерване с потенциална сонда (по три точков метод) корекция на измереното съпротивление (R_E) се прави само с (R_C).

4.2. Практическа работа с M5010

Измерването се прави в следната последователност:

1/ избирачът на режими се превключва на положение ($R_E=20\Omega$, $R_E=200\Omega$, $R_E=2k\Omega$), като се започва с по-голям обхват за установяване приблизителната стойност на съпротивлението, след което се избира оптимален обхват за най-точен резултат;

2/ сондите се включват съгласно фиг.6.2, а при измерване по триточков метод, потенциалната сонда се присъединява към „допълнителен електрод“

(Auxiliary rod);

3/ комутаторът се включва кратковременно напред и се отчита съпротивлението ($R_{ИЗМ}, \Omega$);

Забележка: Ако уредът се захранва с напрежение от контур с ДТЗ, заземителите се проверяват на обхват 200Ω или $2k\Omega$.

Резултатите се отразяват в протокола, след което се коригират по (6.2) или само с (R_C) при измерване по триточков метод.

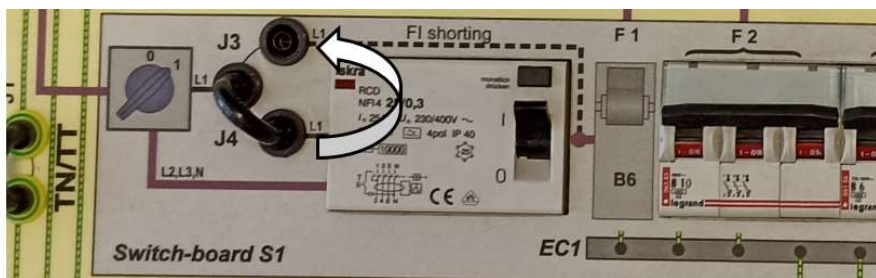
Когато заземителите са с предназначение, регламентирано в нормативната уредба (таблица 7.2. в упр. 7), получената стойност се коригира със сезонен коефициент и се сравнява с допустимата, като се дава становище за съответствие или несъответствие.

Измереното съпротивление на проверяваните мълниезащитни заземители се коригира и с импулсен коефициент преди оценка на приложимостта им.

Броят и обемът на измерванията се определят от ръководителя на упражнението.

5. Проверка на контур (L – N) и МТЗ на стенд

Проверката се извършва по методиката, описана в упр. 5, т. 6.1, като преди измерването ДТЗ се шунтират, за да не изключат, фиг. 6.3.



Фиг. 6.3

Проверката за ефективно заработване на МТЗ се прави по схемата на фиг. 5.11. Измереното съпротивление (R_{L-N}) на контура фаза-нула е необходимо за определяне на съпротивлението на заземителите (R_E) в т. 4.1, по (6.3) и (6.2).

Ефективността на заработване на МТЗ се оценява по критериите, описани в т. 6.2 и т. 7.1 на упр. 5

6. Проверка на ДТЗ

Проверката се извършва по методиката, описана в упражнение 5, т. 6.3, а ефективността на заработване на ДТЗ се оценява по критериите, описани в т. 6.3 и 7.2 на упр. 5. Типът на ДТЗ, номиналният ток и номиналният дефектен ток се снемат от табелката на прекъсвача на проверявания контур. Изследват се два ДТП на стенда или четири ДТП на два стенда.

7. Анализ на резултатите

Получените резултати се обобщават и се формулират заключенията относно:

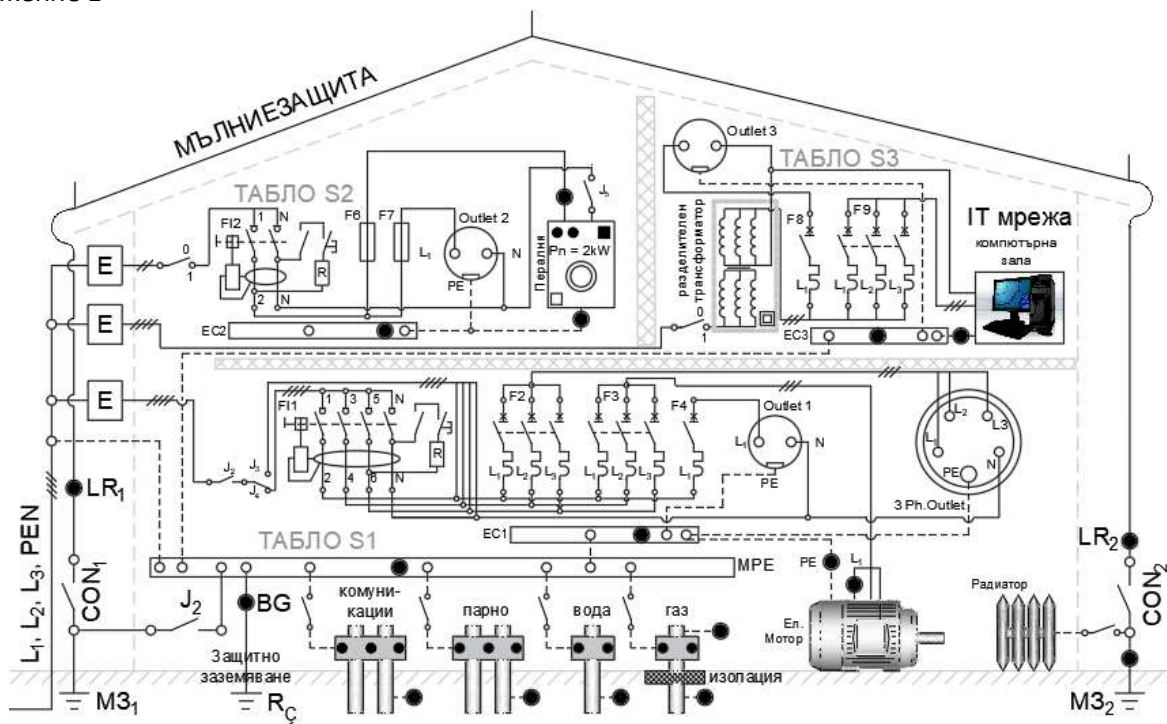
- съответствието на съпротивлението на проверяваните заземители според приложението им и нормативно регламентираните максимално допустими стойности;
- правилността на избор на МТЗ според изчислителния ток на КС на защитавания контур;
- изправността на проверяваните ДТП.

Получените резултати от измерванията се отразяват в протокола.

8. Изисквания за безопасност при измерванията

Измерванията се провеждат съгласно инструкцията за работа с уред М5010 при стриктно спазване на инструкциите, дадени от ръководителя на упражнението и в негово присъствие.

Приложение 1



VII. ИЗМЕРВАНЕ СЪПРОТИВЛЕНИЕТО НА ЗАЗЕМИТЕЛИ И ОЦЕНКА НА ПРИЛОЖИМОСТТА ИМ

1. Цел на упражнението

Практическо запознаване на студентите с основен метод за измерване съпротивлението на заземители и извеждане на основни зависимости. Оценка приложимостта на изследваните заземители.

2. Методика на провеждане на упражнението

- 2.1. Предназначение и видове заземители.
- 2.2. Основни характеристики на заземителите.
- 2.3. Нормативни изисквания към съпротивлението на заземителите.
- 2.4. Измервателни уреди и методика за измерване съпротивлението на заземители.
- 2.5. Практическа работа на експерименталното заземително поле.
- 2.6. Обработка на резултатите и извеждане на основни зависимости.
- 2.7. Анализ на резултатите и изводи.
- 2.8. Изисквания за безопасност при измерванията.

3. Предназначение и видове заземители

Заземителите са проводими обекти с добър контакт и малко съпротивление към земя. Предназначението им е да осигурят протичане на ток в земята през малко съпротивление. Биват:

- a) естествени заземители – инфраструктурни обекти с друго основно предназначение (метални подземни водопроводи, подземни кабели с медна и оловна външна обвивка и стоманобетонни конструкции – фундаменти и др.);
- b) изкуствени заземители – електрически съоръжения, представляващи вкопани в земята метални конструкции (стоманени или медни) с единствено предназначение да осъществяват добър контакт със земя през минимално съпротивление.

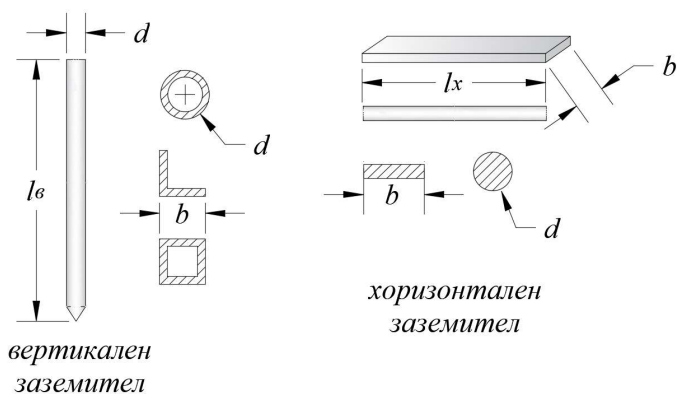
Според функционалното си предназначение заземителите биват:

- a) за работно заземяване (работни заземители) – на звездните центрове на генератори и трансформатори;
- b) за защитно заземяване (защитни заземители) – на проводимите не-тоководещи части на електрически съоръжения като техническо защитно мероприятие за защита от индиректно допиране;
- c) за мълниезащитно заземяване (мълниезащитни заземители) – за заземяване на мълниезащитната инсталация с цел безопасно отвеждане в земята на тока на мълниите;

- d) за антистатично заземяване (антистатични заземители) – за безопасно отвеждане на статични заряди в земята.

В някои случаи се препоръчва свързване на заземителните инсталации напр. защитна и мълниезащитна.

Изкуствените заземители се състоят от вертикални елементи (поцинковани или помеднени тръби и ъглови профили), устойчиви на огъване, и свързващи ги хоризонтални елементи (поцинковани или помеднени плоски шини или плътни кръгли профили), фиг. 7.1.



Фиг. 7.1

Размерите lv и d , m са дължина и диаметър на вертикален тръбен заземител, а lx и b , в метри, са съответно дължина и ширина на плоската шина на хоризонтален заземител. Когато вертикалният заземител е профил с ширина b , или хоризонталният е с кръгло сечение с диаметър d , връзката между двата параметъра се дава с (7.1).

$$(7.1) \quad d = 0,95 \cdot b, \text{ m}$$

Вертикалният заземител се забива в почвата от дъното на изкопа, в който се полага хоризонталният свързан с него, фиг. 7.2.

Подземните връзки между елементите на заземителната инсталация се изпълняват **задължително чрез заварка** за намаляване на корозионното въздействие на почвата.

Вертикалните елементи осигуряват добър контакт с по-дълбоките почвени слоеве, които не изсъхват и не замръзват, а хоризонталните свързват отделните елементи на заземителната инсталация или създават мрежа за изравняване на потенциалите в уредби ВН.

В зависимост от съставните елементи на заземителя се дефинират следните

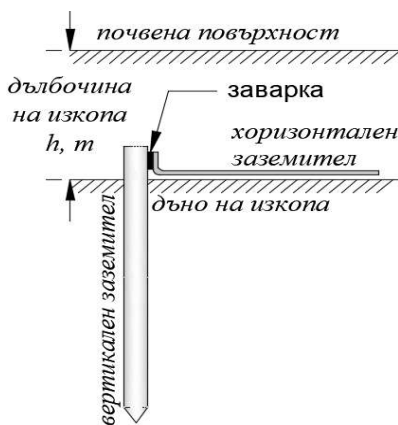
понятия:

вертикален групов заземител – състои се от повече от един само вертикални елементи;

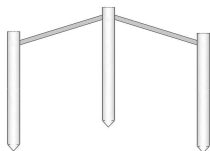
- хоризонтален групов заземител – състои се от повече от един само хоризонтални елементи;
- комбиниран заземител – състои се от вертикални и хоризонтални елементи.

В зависимост от конфигурацията на заземителите те биват:

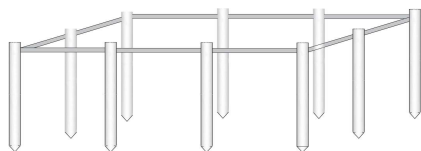
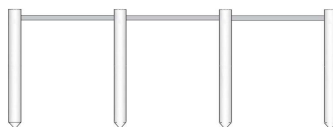
- отворени контурни заземители (Фиг. 7.3 а);
- затворени контурни заземители (Фиг. 7.3 б);
- лъчеви заземители (Фиг. 7.3 с).



Фиг. 7.2



Фиг. 7.3 а)



Фиг. 7.3 б)



Фиг. 7.3 с)

4. Основни характеристики на заземителите

4.1. Потенциал на заземител

При протичане на ток в земята I_3, A през заземител, възниква потенциал φ_3 върху заземителя, който се предава на заземените към него обекти. Потенциалът на заземителя се определя от съпротивлението на почвата R_{Π}, Ω в

контактния обем около него фиг. 7.4, като съпротивлението на металната конструкция е пренебрежимо.

Потенциалът φ_3 се определя по (7.2):

$$(7.2) \quad \varphi_3 = I_3 \cdot R_3, \quad V,$$

където R_3 , Ω е съпротивление на заземятеля, зависещо от R_{II} .

От (7.2) може да се заключи, че при неизменен ток I_3 , потенциалът на заземятеля φ_3 се определя от съпротивлението на заземятеля R_3 . Тъй като целта на заземяването е минимизиране на потенциала на заземяните обекти, ефективността на работа на заземятеля е толкова по-висока, колкото е по-малко неговото съпротивление R_3 .

4.2. Съпротивление на единичен заземител

Съпротивлението на заземятеля R_3 е основен параметър, определящ неговата ефективна работа и приложимост. Съпротивлението на заземятел се изчислява чрез специфичното съпротивление на почвата ρ_{II} , Ωm , и зависи от формата и размерите на заземятеля.

За полусферичен заземител с радиус r , положен от повърхността на почвата, фиг. 7.5, съпротивлението му се определя по (7.3):

$$(7.3) \quad R_3 = \frac{\rho_{II}}{2\pi \cdot r}, \quad \Omega.$$

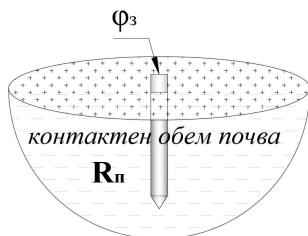
За вертикален тръбен заземител, положен от повърхността на почвата, съпротивлението се определя по (7.4), фиг. 7.6:

$$(7.4) \quad R_B = \frac{0,366 \cdot \rho_{II}}{l_B} \cdot lg \frac{4 \cdot l_B}{d}, \quad \Omega.$$

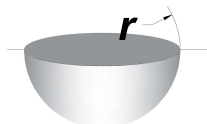
За вертикален тръбен заземител, положен от дъното на изкоп, съпротивлението се определя по (7.5), фиг. 7.7:

$$(7.5) \quad R_B = \frac{0,366 \cdot \rho_{II}}{l_B} \cdot \left(lg \frac{2 \cdot l_B}{d} + \frac{1}{2} \cdot lg \frac{4 \cdot t_B + l_B}{4 \cdot t_B - l_B} \right), \quad \Omega,$$

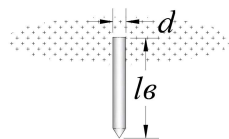
където t_B , m е дълбочината на полагане на



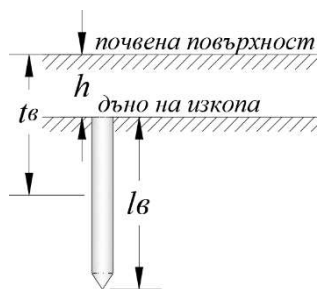
Фиг. 7.4



Фиг. 7.5



Фиг. 7.6



Фиг. 7.7

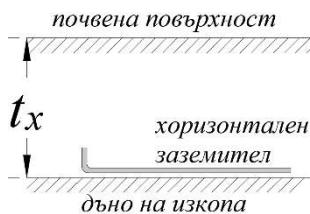
вертикален заземител, която се дефинира като разстоянието от повърхността на почвата до средата на заземителя (7.6):

$$(7.6) \quad t_B = h + \frac{l_B}{2}, \text{ m.}$$

Съпротивлението на хоризонтален заземител R_X , положен в изкоп на дълбочина t_X , се изчислява по (7.7), фиг. 7.8:

$$(7.7) \quad R_X = \frac{0,366 \cdot \rho_{\Pi}}{l_X} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_X^2}{b \cdot t_X}, \Omega.$$

където:



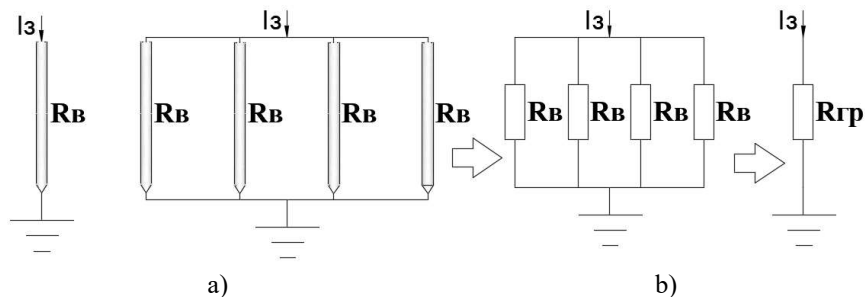
Фиг. 7.8

$l_X, \text{ m}$ е дължината на хоризонталният заземител, а $t_X, \text{ m}$ е дълбочината на полагане на хоризонталният заземител (дълбочината на изкопа).

4.3. Съпротивление на групов заземител

Обикновено при защитно заземяване с единичен заземител не може да се постигне достатъчно ниско съпротивление към земя, за да се ограничи потенциалът на заземителя до безопасна стойност. Тогава се прилагат групови и комбинирани заземители, съставени от необходимия брой единични елементи с определена дължина и разположение, с което се постига по-малко съпротивление.

Разглежда се групов вертикален заземител, съставен от 4 еднакви единични вертикални елемента всеки със съпротивление R_B , фиг. 7.9 а). Задачата е да се определи еквивалентното съпротивление на груповия заземител $R_{ГР}$. Отделните елементи на заземителя са паралелно свързани съпротивления, показани на заместващата схема фиг. 7.9 б). Тогава може да се изведе зависимост за съпротивлението на груповия заземител $R_{ГР}$, (7.8).



Фиг. 7.9

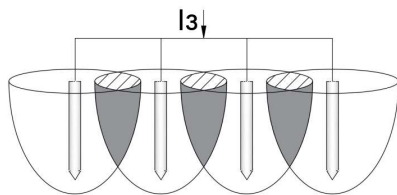
$$(7.8) \quad \frac{1}{R_{ГР}} = \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_B} = \frac{4}{R_B}, \text{ откъдето:}$$

$$(7.9) \quad R_{ГР} = \frac{R_B}{4}, \Omega.$$

По аналогия може да се изведе израз за $R_{ГР}$, съставен от краен брой елементи n с едно и също съпротивление R_B (7.10):

$$(7.10) \quad R_{ГР} = \frac{R_B}{n}, \Omega.$$

В повечето случаи площта за разполагане на групов заземител е ограничена, а и полагането му на голяма площ е икономически нецелесъобразно. Тогава отделните елементи на груповия заземител си влияят, защото всеки се опитва да разсейва потенциали в земята в цялата си потенциална/контактна зона, но съседните му пречат, защото и те правят същото – наблюдава се застъпване на потенциалните зони на отделните елементи фиг. 7.10.



Фиг. 7.10

Вследствие на взаимното влияние на отделните елементи на груповия заземител проводимостта му към земята намалява, т.е. съпротивлението му се увеличава и (7.10) в този случай не е в сила. Ясно е, че колкото са по-близо един до друг отделните елементи, толкова по-голямо е взаимното им влияние, т.е. еквивалентното им съпротивление $R_{ГР}$ нараства.

За отчитане на взаимното влияние между елементите на групов заземител се въвежда коефициент на взаимно влияние η , който варира между 0,3 и 0,9. Тогава (7.10) се модифицира до (7.11):

$$(7.11) \quad R_{ГР} = \frac{R_B}{\eta \cdot n}, \Omega.$$

Когато съпротивленията на отделните елементи R_B в конфигурацията на групов заземител не са равни, за определяне еквивалентното съпротивление на групов заземител $R_{ГР}$ се прилага обобщената формула (7.12):

$$(7.12) \quad R_{ГР} = \frac{1}{\eta \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}}, \Omega,$$

където R_i , Ω е съпротивлението на всеки отделен елемент на груповия заземител измерено самостоятелно (без влияние на околните елементи).

Коефициентът η зависи и от броя, и разположението на отделните елементи, както и от дължината им, защото тя определя големината на потенциалната им зона и зоната на взаимно влияние.

4.4. Сезонни вариации на съпротивлението на заземителите

Проводимостта на почвата в потенциалната зона на заземителя определя неговото съпротивление към земя. Почвата е проводима само ако съдържа течна вода, в която под действие на електрическо поле, дисоциираните йони (токоносители) се задвижват, т.е. протича ток. При изсъхване или замръзване йоните не могат да се движат и проводимостта на почвата рязко намалява. Това води до рязко нарастване на съпротивлението на заземителите, положени в нея.

Повърхностният почвен слой в климатичната зона на страната по правило замръзва през зимата и изсъхва в края на лятото (сух сезон), а е с висока влажност и с положителна температура през пролетта и през есента (влажен сезон). Може да се каже, че условията, при които работят заземителите в умерената климатична зона, зависят от сезоните.

Сезонните вариации на съпротивлението на заземителите се отчита чрез безразмерен сезонен коефициент K_C , който зависи от момента на извършване на измерването на съпротивлението на заземителя, вида и дълбочината на полагането му. Стойности на сезонния коефициент за умерена климатична зона са показани в табл. 7.1.

Таблица 7.1

№	Вид заземител	Дълбочина на полагане t	К _С при измерване през	
			Сух сезон	Влажен сезон
1	Вертикален	2 ÷ 2,5 m	1,15	1,3
		2,5 ÷ 3 m	1	1,1
		Над 3 m	1	1
2	Хоризонтални	0,5 m	1,4	1,8
		0,5 ÷ 0,8 m	1,3	1,6

След измерване съпротивлението на заземителя измерената стойност $R_{изм}$ се коригира със сезонния коефициент за получаване стойността на коригираното съпротивление на заземителя $R_{кор}$, което той би имал през най-неблагоприятния сезон на годината (7.14):

$$(7.14) \quad R_{кор} = K_C \cdot R_{изм}$$

Коригираната стойност на съпротивлението $R_{кор}$ се сравнява с допустимата

нормативно регламентирана стойност за заземител със съответното предназначение $R_{\text{доп}}$ по (7.15) и таблица 7.2:

$$(7.15) \quad R_{\text{КОР}} \leq R_{\text{доп}}$$

Ако неравенството е изпълнено, заземителят е годен за използване по предназначението си.

5. Нормативни изисквания към съпротивлението на заземителите

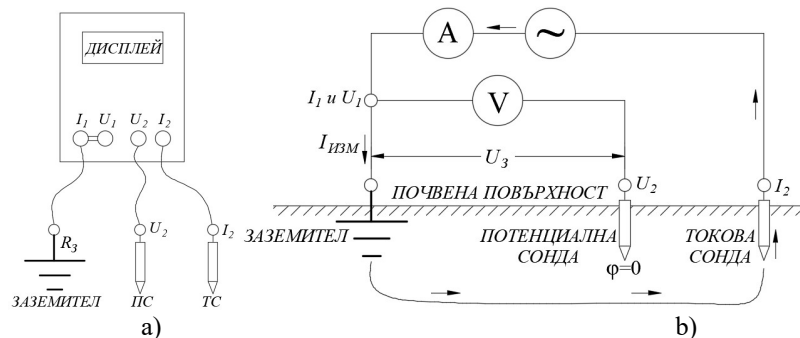
Извадка от изискванията към съпротивлението на заземителите $R_{\text{доп}}$, според приложението на заземителя, съгласно Наредба 3 „За устройство на електрическите уредби и електропроводните линии“, е показана в таблица 7.2.

Таблица 7.2

№	Вид уредба и напрежение	$R_{\text{доп}}, \Omega$
1	Уредби над 1000V с голям ток на ЗС, $I_{\text{ЗС}} > 500\text{kA}$	0,5
2	Уредби над 1000V с малък ток на ЗС	10
3	Отделен мълниеотвод в уредби над 1000V	25
4	Уредби до 1000V захранвани от източник над 100kVA	4
5	Уредби до 1000V захранвани от източник до 100kVA	10
6	Повторен заземител на уредба до 1000V	30
7	Изолирани мрежи до 1000V	2
8	Заземител на стълб на изолирана мрежа до 1000V	50
9	Мълниезащитен заземител I и II категория ($\rho_{\text{П}} \leq 500\Omega\text{m}$)	10
10	Мълниезащитен заземител III категория	20

6. Измервателни уреди и принцип за измерване съпротивлението на заземители

Съпротивлението на заземителите се измерва със специализирани уреди, състоящи се от източник на безопасно измервателно напрежение и вградени волтметър и амперметър, фиг. 7.11 б).



Фиг. 7.11

Показанията на уреда са в ома, като съвременните са с цифров дисплей, а по-старите са стрелкови.

Измерването се извършва по триточков метод. Началата на напреженовата и токовата верига на уреда U_1 и I_1 са свързани накъсо с мост, фиг. 7.11 а), и към тях е присъединен измерваният заземител чрез измервателен проводник. Краят на напреженовата верига U_2 се свързва с проводник към потенциална сонда (ПС), положена в почвата извън потенциалната зона на заземителя в точка с условно нулев потенциал, фиг. 7.12. Краят на токовата намотка I_2 се свързва с токова сонда (ТС), положена в почвата на достатъчно разстояние от потенциалната сонда, за да не попадне потенциалната сонда в потенциалната зона на токовата сонда, фиг.

7.12. Обикновено заземителят и двете сонди са разположени в приблизително права линия.

При подаване на напрежение от източника на измервателно напрежение протича измервателен ток $I_{ИЗМ}$, A между измервания заземител и токовата сонда, като амперметърът измерва този ток. Волтметърът измерва потенциалната разлика между потенциала на заземителя φ_3 и потенциала на потенциалната сонда (7.16):

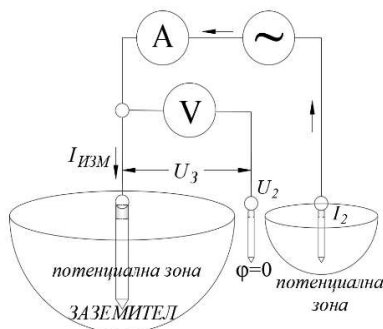
$$(7.16) \quad U_3 = \varphi_3 - 0, V.$$

Съпротивлението на заземителя се получава по (7.17):

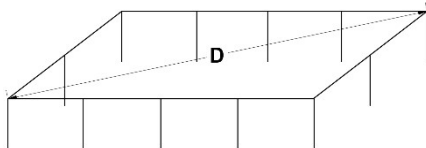
$$(7.17) \quad R_3 = \frac{U_3}{I_{ИЗМ}}, \Omega.$$

По правило, при измерване на единични заземители, ПС трябва да е на не по-малко от 20m от заземителя, а ТС на около 10m от ПС. При групови и комбинирани заземители правилото е разстоянието между точката на присъединяване с контура и точката на полагане на ПС да е най-малко два пъти дължината на големия диагонал на контура D , фиг. 7.13.

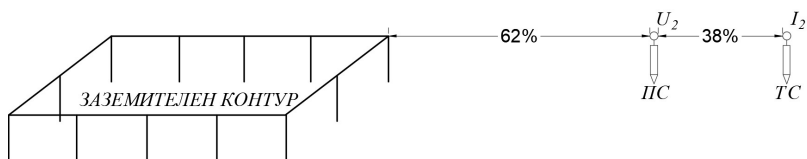
Това е постижимо, когато измерваният заземител е с относително малки размери. Когато е с големи размери, се прилага т.нар. 62% метод. Той се състои в разполагане на сондите съгласно фиг. 7.14.



Фиг. 7.12



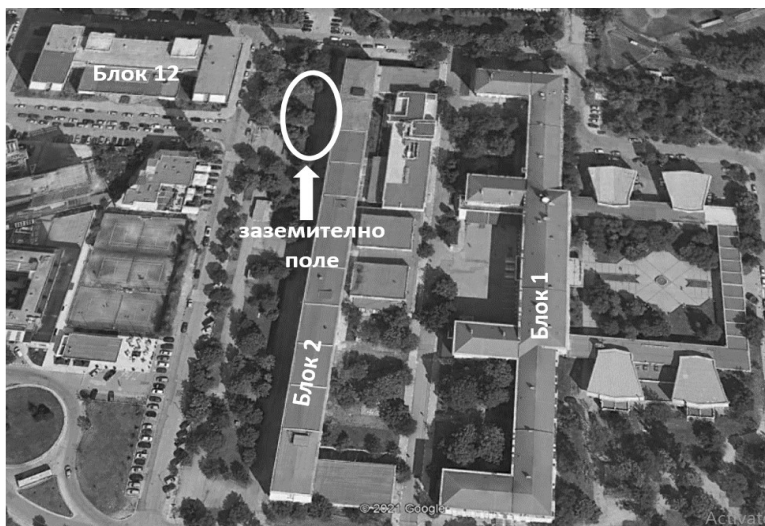
Фиг. 7.13



Фиг. 7.14

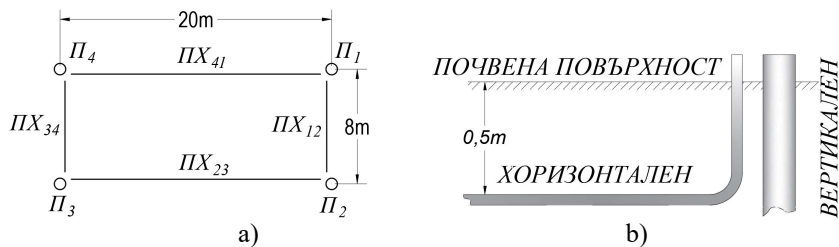
7. Практическа работа на експерименталното заземително поле

Експерименталното заземително поле е разположено в тревната площ зад Блок 2 на ТУ-София, фиг. 7.15.



Фиг. 7.15

Експерименталната заземителна инсталация се състои от три конфигурации. За целите на упражнението се разглежда само една от тях – затворен правоъгълен контур, фиг. 7.16 а), поглед отгоре. Условните означения на елементите на заземителя са съгласно фиг. 7.16 а).



Фиг. 7.16

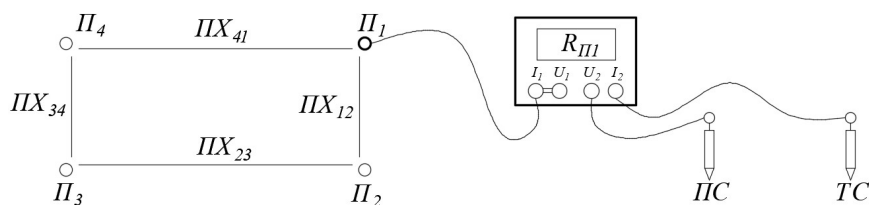
Състои се от четири еднакви вертикални тръбни заземители с дължина $l_B = 2m$ и диаметър $d = 0,05m$, и четири лентови хоризонтални заземители – два с дължина $l_X = 20m$ и два с дължина $l_X = 8m$ и ширина на шината $b = 0,04m$, фиг. 7.16 а). Дълбочината на полагане на хоризонталните заземители е $h = 0,5m$, фиг. 7.16 б). Отделните елементи на контура не са свързани със заварка, а горният им край е над почвената повърхност, фиг. 7.16 б). Това дава възможност чрез свързване с допълнителни надземни проводници да се реализират различни конфигурации. Размерите на елементите на заземителния контур са резюмирани в таблица 7.3.

Таблица 7.3

Заземители	Дължина	Сечение	Дълбочина на полагане
	l, m	$\varnothing / b, m$	t, m
П ₁	2,00	0,05	-
П ₂	2,00	0,05	-
П ₃	2,00	0,05	-
П ₄	2,00	0,05	-
ПХ ₁₂	8,00	0,04	0,50
ПХ ₂₃	20,00	0,04	0,50
ПХ ₃₄	8,00	0,04	0,50
ПХ ₄₁	20,00	0,04	0,50

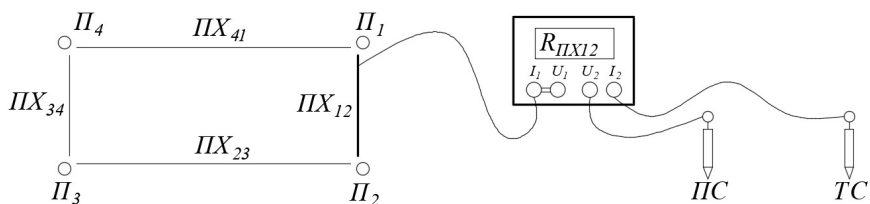
7.1. Измерване съпротивлението на единични заземители

Свързване на уреда за измерване съпротивлението на единичен вертикален елемент, фиг. 7.17.



Фиг. 7.17

Свързване на уреда за измерване съпротивлението на единичен хоризонтален елемент, фиг. 7.18.



Фиг. 7.18

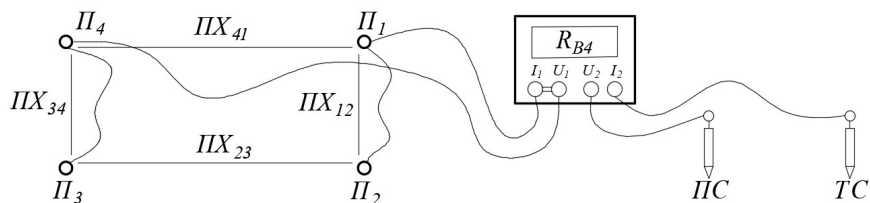
Измерва се съпротивлението на всеки един вертикален и всеки един хоризонтален елементи, а резултатите се отразяват в протокола.

7.2. Измерване съпротивлението на групови заземители

7.2.1. Групови вертикални заземители

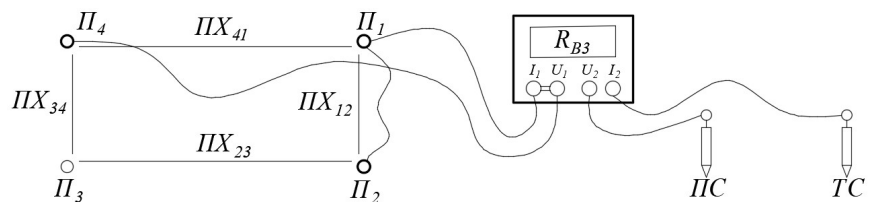
Измерва се съпротивлението на групови заземители, съставени от 4, 3 и 2 вертикални елемента, фиг. 7.19. Връзките се осъществяват с надземни проводници с клеми тип „крокодил“ след почистване от корозия на мястото на присъединяване. За намаляване на грешката от добавяне съпротивлението на свързващите проводници, при групови заземители се използват два паралелни проводника, фиг. 7.19.

- а) групов вертикален заземител, съставен от 4 елемента фиг. 7.18;



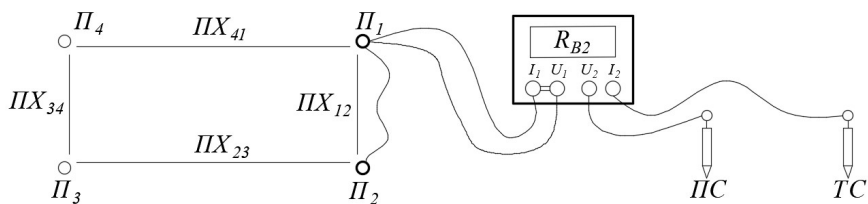
Фиг. 7.19

- б) групов вертикален заземител, съставен от 3 елемента фиг. 7.20;



Фиг. 7.20

- в) групов вертикален заземител, съставен от 2 елемента фиг. 7.21;

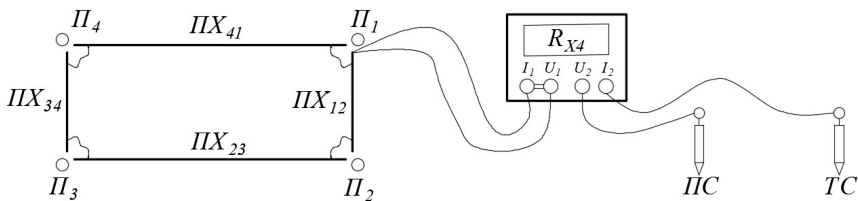


Фиг. 7.21

7.2.2. Групови хоризонтални заземители

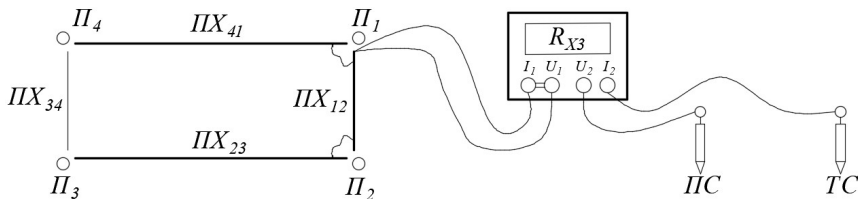
Измерва се съпротивлението на групови заземители, съставени от 4, 3 и 2 хоризонтални елемента. Връзките между елементите се осъществяват с къси надземни проводници с клемми тип „крокодил“.

- а) групов хоризонтален заземител, съставен от 4 елемента фиг. 7.22;



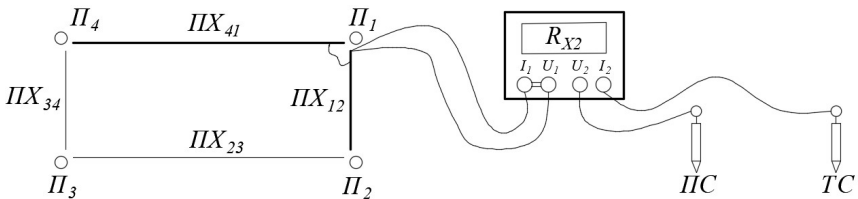
Фиг. 7.22

- б) групов хоризонтален заземител, съставен от 3 елемента фиг. 7.23;



Фиг. 7.23

- в) групов хоризонтален заземител, съставен от 2 елемента фиг. 7.24;



Фиг. 7.24

Общите дължини на изследваните групови заземители са резюмирани в таблица 7.4.

Таблица 7.4

Групови заземители	Сумарна дължина
	l, m
П ₁ , П ₂ , П ₃ , П ₄	8,00
П ₁ , П ₂ , П ₄	6,00
П ₁ , П ₂	4,00
ПХ ₁₂ , ПХ ₂₃ , ПХ ₃₄ , ПХ ₄₁	56,00
ПХ ₁₂ , ПХ ₂₃ , ПХ ₄₁	48,00
ПХ ₁₂ , ПХ ₄₁	28,00

8. Обработка на резултатите и извеждане на основни зависимости

8.1. Единични заземители

Измерените съпротивления на единичните заземители $R_{ИЗМ}$ да се коригират със сезонен коефициент до коригирани съпротивления $R_{КОР}$ и те да се сравнят с нормативните изисквания от таблица 7.2, като се укаже потенциалната им приложимост.

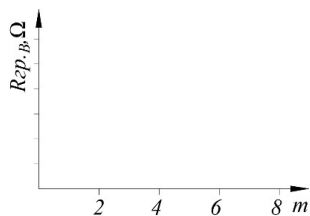
8.2. Групови заземители

Измерените съпротивления на груповите заземители $R_{ГР}$ да се коригират със сезонен коефициент до коригирани съпротивления $R_{КОР}$ и те да се сравнят с нормативните изисквания от таблица 7.2, като се укаже потенциалната им приложимост. Да се изчислят коефициентите на взаимно влияние за измерваните групови заземители. (7.12).

8.3. Графична част

Да се построят диаграми (препоръчително в електронна среда) и да се приложат в протокола като картинки.

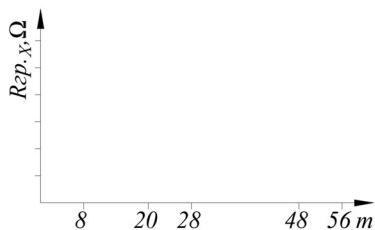
Съпротивление на вертикален групов заземител във функция от общата му дължина за измерените 4, 3 и 2 елементни вертикални заземители $R_{ГР\phi} = f(l_B)$, фиг. 7.25, като се отрази и съпротивлението на единичния вертикален заземител с най-голямо измерено съпротивление. По този начин ще се получи крива, базирана на 4 точки.



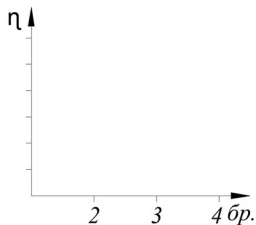
Фиг. 7.25

Съпротивление на хоризонтален групов заземител във функция от общата му дължина за измерените 4, 3 и 2 елементни

горизонтални заземители $R_{ГРХ} = f(l, x)$, фиг. 7.26, като се отразят и резултатите за един единичен хоризонтален заземител с дължина 20m и един с дължина 8m с по-голяма измерена стойност. По този начин ще се получи крива, базирана на 5 точки.



Фиг. 7.26



Фиг. 7.27

Коефициент на взаимно влияние за 4, 3 и 2 вертикални и хоризонтални елемента $\eta = f(n)$, фиг.7. 27.

9. Анализ на резултатите и изводи

Да се формулират обосновани заключения за приложимостта на изследваните единични и групови заземители. Да се коментират диаграмите.

10. Изисквания за безопасност при измерванията

Измерване съпротивлението на заземители в електрически уредби и самостоятелни трафопостове се извършва при изключено напрежение. Забранява се измерване на съпротивление на заземители при лоши атмосферни условия с признаци за мълниеносна дейност и във взривоопасна среда без намаляване на концентрацията на взривоопасното вещество под 20% от долната експлозивна граница (ДЕГ).

VIII. ИЗСЛЕДВАНЕ СЪПРОТИВЛЕНИЕТО НА ПОЧВАТА И ФОРМИРАНЕ НА ПОЧВЕНИ МОДЕЛИ

1. Цел на упражнението

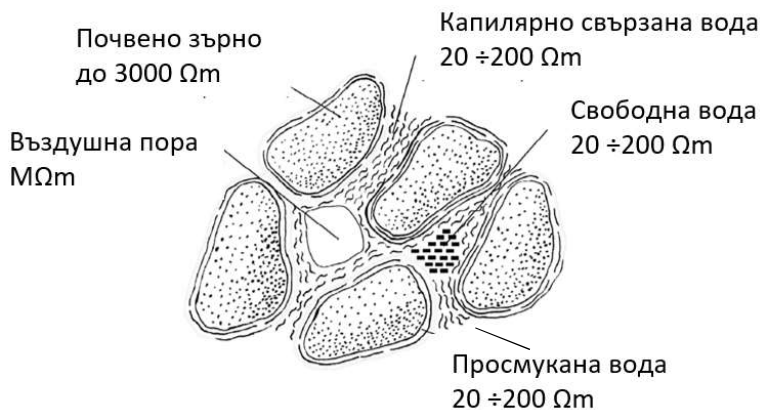
Практическо запознаване на студентите с някои от методите за определяне на специфичното съпротивление на почвата.

2. Методика на провеждане на упражнението

- 2.1. Определяне специфичното съпротивление на почвата по метода на контролния заземител.
- 2.2. Измерване съпротивлението на почвата и определяне на специфичното ѝ съпротивление по метода на вертикалното електрическо сондиране.
- 2.3. Интерпретация на резултатите от измерванията и формиране на почвени модели. Оценка точността на моделите.

3. Фактори, определящи съпротивлението на почвата

Почвата е сложна смес от неорганични микроскопични зърна с различна едрина и химически състав (пясък, лъс, глина, бентонит и др.), органичен хумус, свободна и свързана вода, въздушни пори, едри скали, едри и дребни камъни. Проводимостта на почвата е йонна и се обуславя от разтворените (дисоциирани) в течната водата йони (електрически заредени частици), които под действие на електрическо поле се придвижват, т.е. протича ток. Схематична структура на почвата е показана на фиг. 8.1.



Фиг. 8.1

При изсъхване или замръзване на почвата проводимостта ѝ рязко намалява, тъй като дисоциираните йони губят способността да се придвижват.

Колкото по дисперсни (малки) са зърната, съставлящи почвата, и колкото по-голямо е количеството на органичния хумус, толкова по-добра е почвената проводимост и обратно.

Както за всеки материал, и за почвата може да се дефинира специфично обемно съпротивление ρ_{Π} , Ωm . Специфичното съпротивление на почвата е определящо за съпротивлението на заземител, положен в нея. За да се проектира/оразмери с приемлива точност всеки заземител, трябва да се знае специфичното съпротивление на почвата на терена на заземителното поле.

4. Метод на контролния заземител

Приложим е при оразмеряване на заземители, положени на малка площ и дълбочина. Методът на контролния заземител се състои в забиване на един контролен вертикален заземител с известни размери от повърхността на почвата на терена, предвиден за инсталиране на заземителя. След това се измерва съпротивлението му по разгледания триточков метод в упр. 7. За определяне на специфичното съпротивление се използва преобразуван израз (7.4) до:

$$(8.1) \quad \rho_{\Pi} = \frac{R_B \cdot l_B}{0,366 \cdot l_B \frac{4 \cdot l_B}{d}}, \Omega m.$$

След това изчислената стойност на ρ_{Π} се коригира със сезонен коефициент K_C от табл. 7.1 за дълбочина на полагане l_B , m и съответния период на годината до $\rho_{КОР}$ по:

$$(8.2) \quad \rho_{КОР} = \rho_{\Pi} \cdot K_C, \Omega m.$$

Коригираното специфично съпротивление на почвата е основен параметър за оразмеряване на заземителя, който ще се инсталира на терена.

За целта на упражнението се изчислява специфичното съпротивление на почвата ρ_{Π} в потенциалната зона на всеки един от вертикалните заземители, изследвани в упр. 7, коригира се със сезонен коефициент и може да се направи необосновано предположение за вида почва в потенциалната му зона съгласно Табл. 8.1.

Таблица 8.1

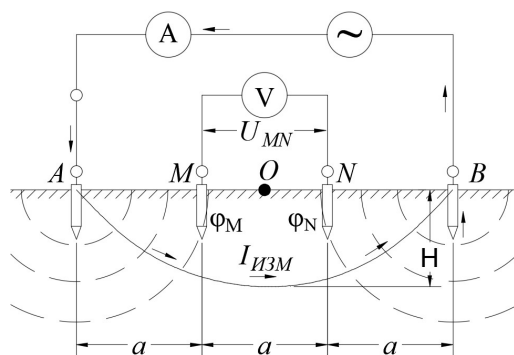
№	Вид на почвата	ρ_{Π} , Ωm
1	Блатисти глинести почви	10 ÷ 150
2	Глина, глина и чернозем	10 ÷ 200
3	Глина и чакъл, чернозем и чакъл	100 ÷ 1000
4	Горски почви	200 ÷ 2000
5	Чакълести почви	1000 ÷ 5000
6	Скалисти горски почви	2000 ÷ 5000

Резултатите се отразяват в *таблица 1* на протокола.

5. Метод на вертикалното електрическо сондиране

При проектиране на заземители, разположени на голяма площ или на дълбоки заземители, е необходимо да се знае специфичното съпротивление на почвата до значителна дълбочина – 20 и повече метра. Тогава се прилага методът на вертикалното електрическо сондиране.

Измерването се провежда с измервателния уред, описан в *упр. 7*, но началата на токовата и напреженовата измервателна верига не са галванично свързани (свързващият мост е демонтиран). Използват се четири метални сонди, разположени в права линия с фиксиран център на сондиране *m.O*. За целите на упражнението се прилага разположение на сондите съгласно *Alpha Wenner Metod*, *фиг. 8.2* – сондите са разположени на еднакво разстояние *a*, *m* една от друга.



Фиг. 8.2

Токовите сонди са разположени в т. *A* и *B*. Под действие на електрическото поле, създадено от източника на напрежение „~“, през тях протича измервателния ток ($I_{ИЗМ}$, *A*), който се измерва от амперметъра и се определя от съпротивлението на почвата до дълбочина ($a = H$).

Потенциалните сонди са разположени в т. *M* и *N*. Волтметърът измерва потенциалната разлика между точките *M* и *N* на почвената повърхност – напрежението (U_{MN} , *V*), създадено от потенциалните зони на двете токови сонди.

Привидното съпротивлението на почвата (R_a , Ω) до дълбочина *H*, *m* се определя по (8.3):

$$(8.3) \quad R_a = \frac{U_{MN}}{I_{ИЗМ}}, \Omega.$$

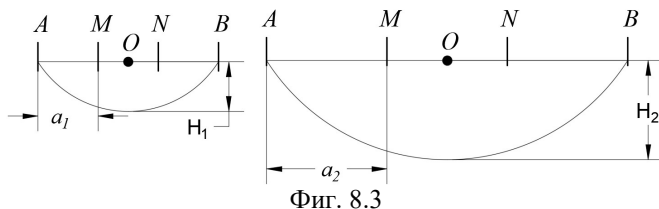
При разположение на сондите съгласно *Alpha Wenner Metod* специфичното съпротивление на почвата на дълбочина ($H = a$) се изчислява по (8.4):

$$(8.4) \quad \rho_a = k_h \cdot R_a, \Omega m, \text{ където}$$

$$(8.5) \quad k_h = 2 \cdot \pi \cdot a$$

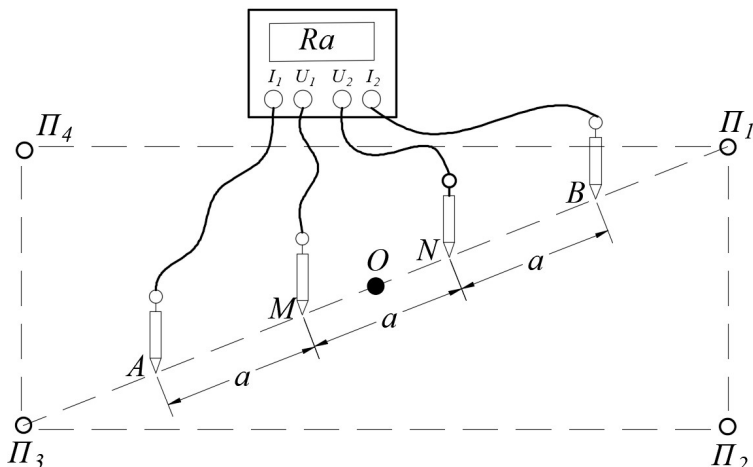
е геометричен коефициент, зависещ от разположението на сондите.

При увеличаване разстоянието между сондите с постоянен център на сондиране се увеличава дълбочината на сондиране в тази точка. Увеличаването на дълбочината се прави с подходяща стъпка (постоянна или променлива) до необходимата дълбочина на сондиране, фиг. 8.3.



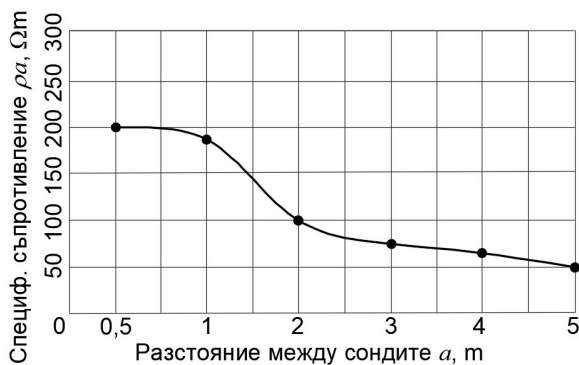
Фиг. 8.3

За целите на упражнението се прави сондиране на дълбочини $H = 0,5, 1, 2, 3, 4$ и $5m$, по единия от диагоналите на правоъгълния контур с постоянен център на сондиране m . O – средата на диагонала (фиг. 8.4). Резултатите се отразяват в таблица 2 на протокола.



Фиг. 8.4

На база на измерванията се построява диаграмата $\rho_a = f(a)$, примерна крива е показана на фиг. 8.5.



Фиг. 8.5

6. Синтезиране на почвен модел на терена

6.1. Еднослоен почвен модел

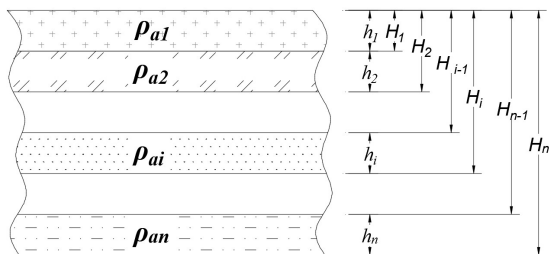
Най-простият и неточен е еднослойният почвен модел, който се състои в определяне на еквивалентното специфично съпротивление чрез осредняване на определените привидни специфични съпротивления, измерени на различните дълбочини.

Ако стъпката на сондиране е постоянна, еквивалентното специфично съпротивление се определя като средна стойност по:

$$(8.6) \quad \rho_{\text{екв}} = \frac{\rho_{a1} + \rho_{a2} + \dots + \rho_{ai} + \dots + \rho_{an}}{n}, \Omega\text{m, където}$$

ρ_{ai} , Ωm е определеното привидно специфично съпротивление на база измереното привидното съпротивление на почвата R_{ai} , Ω при i -тото измерване, а n е общият брой измервания.

Ако стъпката на сондиране не е постоянна, се отчита дебелината на почвения слой h_i , m, чието привидно специфично съпротивление ρ_{ai} е определено при съответното i -то измерване на R_{ai} , фиг. 8.6, (8.7).



Фиг. 8.6

$$(8.7) \quad \rho_{\text{екв}} = \frac{h_1 \cdot \rho_{a1} + h_2 \cdot \rho_{a2} + \dots + h_i \cdot \rho_{ai} + \dots + h_n \rho_{an}}{H_n}, \Omega m.$$

където:

$$(8.8) \quad h_i = H_i - H_{i-1}, m,$$

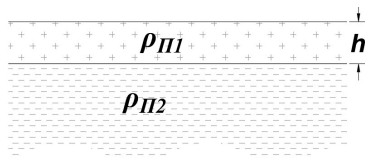
H_n , m е най-голямата дълбочина на сондиране.

На базата на (8.7), за извършеното вертикално електрическо сондиране, еквивалентното специфично съпротивление на почвата на терена се определя по (8.9):

$$(8.9) \quad \rho_{\text{екв}} = \frac{0,5 \cdot \rho_{a1} + 0,5 \cdot \rho_{a2} + \rho_{a3} + \rho_{a4} + \rho_{a5} + \rho_{a6}}{5}, \Omega m.$$

6.2. Двуслоен почвен модел

За постигане на по-добра точност обикновено се работи с двуслоен почвен модел, като най-простият се състои от повърхностен почвен слой със специфично съпротивление $\rho_{\text{П1}}$ и неизменна дебелина h , и долен слой със специфично съпротивление $\rho_{\text{П2}}$ с безкрайна дебелина, фиг. 8.7.



Фиг. 8.7

При визуален анализ на примерната крива от фиг. 8.5, $\rho_a = f(a)$ се вижда, че до дълбочина $1m$ привидното съпротивление на почвата е около $200 \Omega m$, а за дълбочини от 2 до $5m$ вкл. е до $100 \Omega m$, т.е. има добре изразена двуслойна структура на почвата до дълбочина $5m$.

Почвеният модел се формира по графоаналитичния метод на Sunde.

1/ Изчислява се еквивалентното съпротивление на повърхностния почвен слой $\rho_{1\text{екв}}$, на база на двете определени привидни съпротивления до дълбочина $0,5m$ и $1m$:

$$(8.10) \quad \rho_{1\text{екв}} = \frac{\rho_{a1} + \rho_{a2}}{2}, \Omega m.$$

$$\text{За примера: } \rho_{1\text{екв}} = \frac{200 + 185}{2} = 192,5 \Omega m.$$

2/ Изчислява се еквивалентното съпротивление на долния почвен слой $\rho_{2\text{екв}}$, на база на четирите определени привидни съпротивления до дълбочина $2m$,

3, 4m и 5m:

$$(8.11) \quad \rho_{2\text{екв}} = \frac{\rho_{a3} + \rho_{a4} + \rho_{a5} + \rho_{a6}}{4}, \Omega m.$$

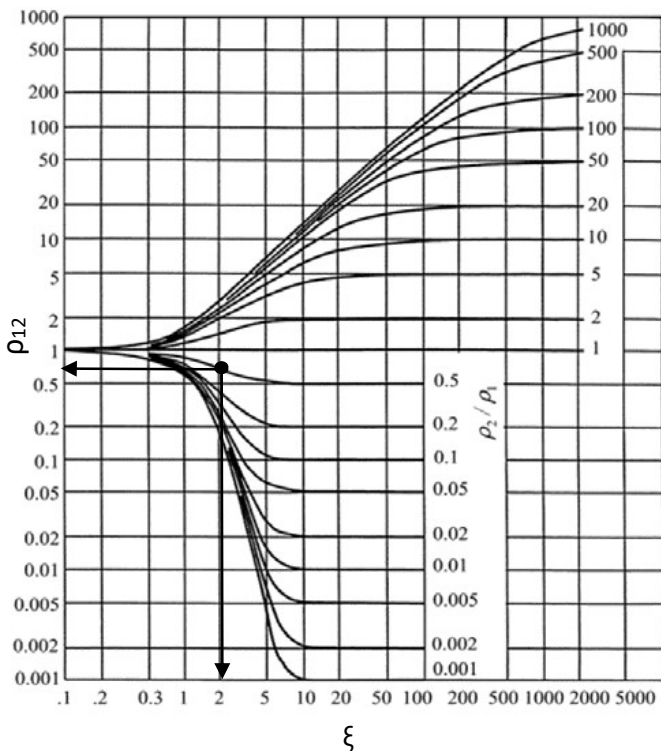
За примера: $\rho_{2\text{екв}} = \frac{100+75+60+}{4} = 71,25, \Omega m.$

3/ изчислява се параметърът ρ_{21} по:

$$(8.12) \quad \rho_{21} = \frac{\rho_{2\text{екв}}}{\rho_{1\text{екв}}}.$$

За примера: $\rho_{21} = \frac{71,25}{192,5} = 0,37 \approx 0,4$, т.е. най-близка е кривата на *Sunde* за $\rho_{21} = 0,5$, фиг. 8.8.

4/ на диаграмата на *Sunde* (фиг. 8.8) по кривата, най-близка до получената стойност за ρ_{21} (в случая $\rho_{21} = 0,5$), се отбелязва точка в наклонената ѝ част.



Диаграма на *Sunde*
Фиг. 8.8

5/ спуска се перпендикуляр от избраната точка към ординатата и се определя стойността на параметъра ρ_{12} (за примера $\rho_{12} = 0,75$).

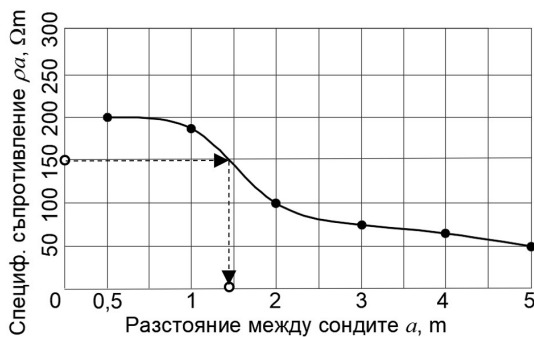
6/ спуска се перпендикуляр към абсцисата и се определя параметърът ξ (за примера $\xi = 2$).

7/ Изчислява се специфичното съпротивление на повърхностния почвен слой ρ_a по:

$$(8.13) \quad \rho_a = \rho_{12} \cdot \rho_{1\text{екв}}, \Omega m.$$

За примера: $\rho_a = 0,75 \cdot 195,5 = 146,6 \Omega m$.

8/ Върху ординатата на фиг. 8.5 се отбелязва стойността на изчислената в 7/ стойност на ρ_a , спуска се перпендикуляр към кривата $\rho_a = f(a)$, фиг. 8.9 до пресичането им, след което от пресечната точка се спуска перпендикуляр към абсцисата, с което се получава изчислителната дебелина на повърхностния почвен слой a_{II} , m.



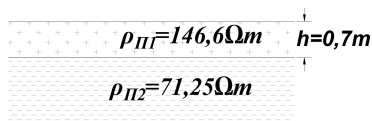
Фиг. 8.9

За примера: $a_{II} = 1,4 m$.

9/ Дебелината на повърхностния почвен слой h , m се определя по (8.14):

$$(8.14) \quad h = \frac{a_{II}}{\xi}, m.$$

За примера: $h = \frac{1,4}{2} = 0,7 m$.



Фиг. 8.10

Тогава двуслойният почвен модел, определен по метода на Sunde, има вида, показан на фиг. 8.10, а стойностите на специфичните съпротивления са примерни, получени на база примерната крива $\rho_a = f(a)$.

За практическо оразмеряване на вертикални заземители полученият двуслоен почвен модел по метода на Sunde се привежда към еднослоен с еквивалентно съпротивление ρ_e по:

$$(8.15) \quad \rho_e = \frac{\rho_{П1} \cdot \rho_{П2} \cdot l_B \cdot q}{\rho_{П1}(t_B + q \cdot l_B - h) + \rho_{П2}(h - t_B)}, \Omega m,$$

където:

$q = 1$ ако $\rho_{П1} \geq \rho_{П2}$;

$q = 1,2$ ако $\rho_{П1} < \rho_{П2}$;

t_B , m е дълбочината на полагане на вертикалния заземител;

l_B , m е дължината на вертикалния заземител;

h , m е дебелината на повърхностния почвен слой.

Получената стойност се коригира със сезонен коефициент K_C според дължината на вертикалните заземители l_B по (8.2) и таблица 7.1 от упражнение 7.

7. Анализ на резултатите и заключения

Извеждат се обосновани заключения на база сравнение на получените резултати за еквивалентно съпротивление на почвата, получено по различните приложени методи.

IX. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ ПОЛЕТА С ПРОМИШЛЕНА ЧЕСТОТА

1. Цел на упражнението

Практическо запознаване на студентите с методи за измерване интензитета на електромагнитни полета (ЕМП) с промишлена честота и оценка на въздействието им върху здравето на хората. Изследване на защитни екрани.

2. Методика за провеждане на упражнението

- 2.1. Изследване на нискочестотно електрическо поле под електропроводи средно напрежение (СрН) и високо напрежение (ВН) и в откритата или закрита разпределителна уредба (ОРУ и ЗРУ) на електрическа подстанция.
- 2.2. Построяване профила на електрическото поле във функция от разстоянието от центъра на електропровода/портала.
- 2.3. Изследване наличието на ЕП зад заземен проводим екран и оценка на ефективността на екрана.
- 2.4. Изследване на нискочестотни магнитни полета в близост до изолирани проводници и съоръжения ниско напрежение (НН) с голямо токово натоварване.
- 2.5. Построяване на кривата на изменение на магнитното поле във функция от разстоянието от източника.
- 2.6. Анализ на резултатите и формулиране на становище относно необходимостта за предприемане на действия за намаляване въздействието на ЕП и МП в зоната на влиянието им.

3. Източници на ЕМП с промишлена честота

Интензивни МП с промишлена честота съществуват около токови контури с интензивно токово натоварване, а интензивни ЕП - под и около електропроводи и съоръжения СрН и ВН. При нискочестотните полета, електрическата и магнитната съставляща се разглеждат поотделно.

4. Критерии за оценка въздействието на ЕМП с промишлена честота върху здравето на хората

4.1. Нормативни документи и контролирани величини

Нормативният документ за оценка въздействието на ЕМП в ЕС е Директива 2013/35/ЕС, транспонирана в законодателството на РБ с Наредба № РД-07-5 от 15 ноември 2016 г., „За минималните изисквания за осигуряване на здравето и безопасността на работещите при рискове, свързани с експозиция на електромагнитни полета“, в сила от 02.03.2017 г.

В директивата се дефинират физическите величини на ЕМП, отнасящи се до оценка на експозицията на хора на нейонизираща радиация, като за ЕМП с

промишлена честота те са:

- интензитет на електрическото поле (ЕП), (E, V/m), като в Директивата се прави разлика между външното електрическо поле и електрическото поле в тялото, което е резултат от експозицията на външното електрическо поле;
- интензитет на магнитното поле (МП), (H, A/m), като се разглежда външно и вътрешно, аналогично на ЕП;
- магнитна индукция (плътност на магнитния поток) – (B [T] Tesla), като в биологични материји магнитната индукция (B) и интензитетът на магнитното поле (H) се превръщат чрез зависимост (9.1):

$$(9.1) \quad H = 1A/m = B = 4\pi \cdot 10^{-7}, T \approx 1,25\mu T, \text{ т.е. } 1A/m \approx 1,25\mu T$$

4.2. Критерии за оценка въздействието на ЕМП с промишлена честота

- а) **Гранична стойност на експозиция (ГСЕ)** за интензитет на вътрешно електрическо поле (в цялото тяло на човек), *по отношение на последиците за здравето (свързани с електрическа стимулация на всички тъкани на периферната и централната нервна система в тялото, включително главата)*, която за честоти в интервала 1 Hz ÷ 3 kHz е $E_{max} = 1, 1 V/m$ (максимална стойност), която за синусоидална вълна се определя от измерената ефективна стойност (E_{eff}) по (9.2):

$$(9.2) \quad E_{max} = \sqrt{2} \cdot E_{eff}.$$

- б) **Гранична стойност на експозиция (ГСЕ)** за интензитет на вътрешно електрическо поле (в тялото на човек), *по отношение на ефектите за чувствителност (свързани с въздействието на ЕП върху централната нервна система в главата)*, която за честоти в интервала 25 ÷ 400 Hz (максимална стойност) се изчислява по (9.3):

$$(9.3) \quad E_{max} = 0,0028 \cdot f, V/m,$$

където f, Hz е честотата на полето. За поле с промишлена честота се получава $E_{max} = 0, 0028 \cdot 50 = 0, 14 V/m$. За синусоидална вълна се определя от измерената ефективна стойност по (9.2).

Проблемът е, че измерването на вътрешен (индуциран в тялото) интензитет на ЕП, предизвикано от вихрови токове под действие на външно ЕП, е трудно постижимо, дори в лабораторни условия. **Затова се прилага измерване на интензитета на външното ЕП/МП.**

Съгласно Директивата се въвежда понятието „стойности за предприемане

на действие“ (СПД) чрез контролни физически величини и стойности, чиято големина се определя, за да се гарантира спазването на съответните ГСЕ или при които трябва да бъдат взети съответните мерки за защита или превенция.

Дефинират се:

- **„ниски СПД“** за променливи във времето полета, които се отнасят за въздействие върху хора, изложени на ЕМП **без специализирани индивидуални предпазни средства и недопускане на искрови разряди в работната среда;**
 - **„високи СПД“** на променливи във времето полета, които се отнасят за въздействие върху хора, изложени на ЕМП **защитени със специализирани индивидуални предпазни средства и недопускане на искрови разряди в работната среда;**
- с) **СПД при експозиция на електрически полета 1 Hz ÷ 10 MHz**, таблица 9.1 при f, Hz .

Таблица 9.1 СПД при експозиция на ЕП с НЧ и СЧ

Честотен обхват	E, V/m ниски СПД (СКС)	E, V/m високи СПД (СКС)
$1 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$
$25 \leq f < 50 \text{ Hz}$	$5 \cdot 10^5 / f$	$2 \cdot 10^4$
$50 \text{ Hz} \leq f < 1,64 \text{ kHz}$	$5 \cdot 10^5 / f$	$1 \cdot 10^6 / f$
$1,64 \text{ kHz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$5 \cdot 10^5 / f$	$6,1 \cdot 10^2$
$3 \text{ kHz} \leq f < 10 \text{ MHz}$	$1,7 \cdot 10^2$	$6,1 \cdot 10^2$

СКС е средно квадратична стойност на резултатите от измерени или изчислени ефективни стойности на полето в зоната на въздействие (9.4).

$$(9.4) \quad E_{rms} = \sqrt{\frac{E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_n^2}{n}}, \text{ V/m.}$$

Ако измерените/изчислени стойности са максимални (E_{max}), се привеждат към ефективни (E_{eff}) по (9.2) за синусоидални полета.

- д) **СПД при експозиция на магнитни полета 1 Hz ÷ 10 MHz**, таблица 9.2 при f, Hz .

СПД при експозиция на магнитни полета представляват максималните стойности при определена позиция на тялото на работещите и гарантират спазване на ГСЕ при всички нехомогенни условия на експозиция. СПД за експозиция на крайниците се извеждат от ГСЕ по отношение на последиците за здравето за вътрешни електрически полета, свързани с електрическата стимулация на тъкани в крайниците, като се има предвид, че магнитното поле

въздействия по-слабо на краиниците, отколкото на цялото тяло.

Таблица 9.2

Честотен обхват	V, μT ниски СПД (СКС)	V, μT високи СПД (СКС)	V, μT СПД при експозиция на краиниците (СКС)
$1 \leq f < 8 \text{ Hz}$	$2 \cdot 10^5 / f^2$	$3 \cdot 10^5 / f$	$9 \cdot 10^5 / f$
$8 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,5 \cdot 10^4 / f$	$3 \cdot 10^5 / f$	$9 \cdot 10^5 / f$
$25 \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^5 / f$	$9 \cdot 10^5 / f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3 \cdot 10^5 / f$	$3 \cdot 10^5 / f$	$9 \cdot 10^5 / f$
$3 \text{ kHz} \leq f < 10 \text{ MHz}$	$1 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^2$	$3 \cdot 10^2$

СКС е средно квадратична стойност на резултатите от измерени или изчислени ефективни стойности на полето в зоната на въздействие (9.4).

Ако измерените/изчислени стойности са максимални (E_{max}), се привеждат към ефективни (E_{eff}) по (9.2) за синусоидални полета.

5. Измервателен уред



Фиг. 9.1

Наличният уред за измерване на ЕМП е показан на фиг. 9.1. Показаните на дисплея са:

1/ показва, че измерва средна (AVG) или (VPP) т.нар. “Peak to Peak” стойност – между пиковите на положителната и отрицателната вълна;

2/ показва измерена стойност на електрическото поле, V/m;

3/ показва температура в градуса Целзий или Фаренхайт, °C/F;

4/ показва измерена стойност на магнитното поле, μT ;

5/ сигнален диод за висока стойност на напрегнатост на полето – светва заедно със звуков сигнал при $E \geq 40\text{V/m}$ или $B \geq 0,4 \mu\text{T}$;

6/ бутон ON/ HOLD/ OFF – за включване на уреда/ запазване на измерена стойност с еднократно натискане/ изключване на уреда при натискане със задържане за 3 секунди;

7/ бутон за промяна на измерваната стойност AVG – средна или VPP – между пик на положителната и отрицателната вълна;

8/ бутон за промяна на измервателната единица на температурата.

Техническите характеристики на уреда са показани в таблица 9.3.

Таблица 9.3

Technical parameters

	Electric field	Magnetic field
Unit	V/m	μT
Accuracy	1V/m	0.01μT
Range	1V/m-1999V/m	0.01μT-99.99μT
Alarm threshold	40V/m	0.4μT
Reading display	3-1/2digit LCD	
Measurement bandwidth	5Hz–3500MHz	
Sampling time	About 0.4 second	
Measurement mode	Dual mode at the same time	
Overload indication	Maximum value of measurement range on LCD	
Operation temperature	0°C~50°C	
Operation humidity	Relative humidity below 80%	
Working voltage	3.7V	
Power	3.7V lithium battery	
Dimensions	60*25*133mm	
Weight	121g	

При режим на измерване на средни стойности на синусоидални величини (AVG) преобразуването им до максимални стойности, които да се сравняват с граничните от таблица 1 или 2, се прави по (9.5):

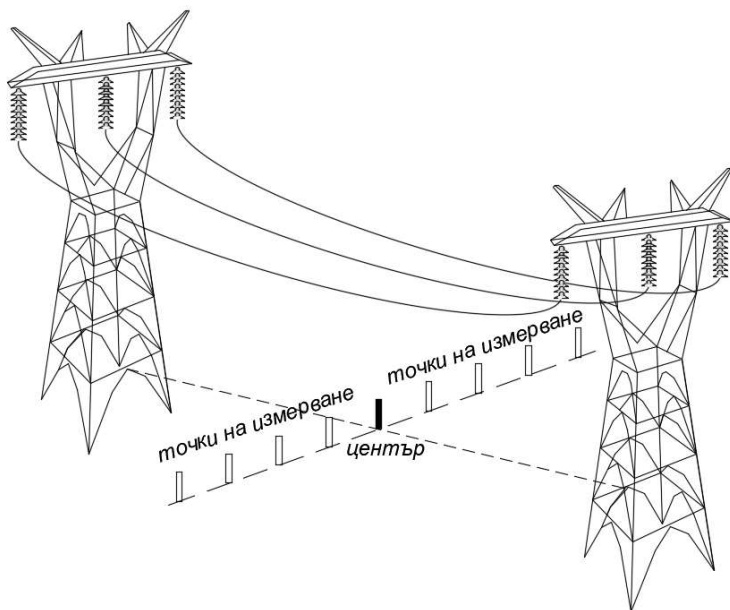
$$(9.5) \quad E_{max} = \frac{\pi}{2} \cdot E_{ср.}, \text{ V/m или } B_{max} = \frac{\pi}{2} \cdot B_{ср.}, \text{ μT.}$$

6. Методология за измерване на електрическо поле под електропровод и анализ на резултатите

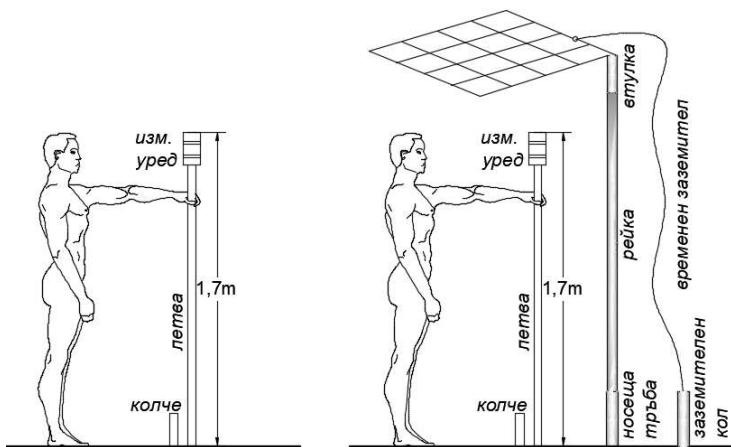
6.1. Измерване на електрическо поле под електропроводи Ср.Н и ВН

Избира се подходящ терен под електропровода и се определя приблизително центърът на електропровода, като се фиксира с колче. Избира се стъпка на измерването според ширината на електропровода (напр. 5 m) по указание на ръководителя на упражнението. С лазерна рулетка или с мерително въже се измерва разстоянието (стъпката) напречно на електропровода от центъра

към външната зона в двете посоки, като точките за измерване се фиксират с номерирани колчета, фиг. 9.2.



Фиг. 9.2



Фиг. 9.3

фиг. 9.4

Прави се по едно измерване до всяко колче, като измервателният уред е фиксиран върху изолационна дистанционна летва на разстояние 1,7m от долния край на летвата, фиг. 9.3.

Резултатите се отразяват в таблица 1 на протокола. Препоръчително е да се направи една серия измервания под максимален провес на междустълбието и една в зона на 10-20m от стълб.

Измерва се еднократно и интензитетът на ЕП под преносим заземен екран (метална мрежа) разположен над уреда до едно или две от номерираните колчета, фиг. 9.4, като резултатите се отразяват в таблица 1 на протокола.

6.2. Мерки за безопасност при измервания под електропроводи Ср.Н и ВН

1/ Забранява се в измерванията да участват студенти със заболявания на кръвоносната система и такива с активни или пасивни медицински импланти.

2/ Колчетата, маркиращи точките на измерване, са дървени и се забиват в земята с чук с дървена дръжка.

3/ Дистанционната летва е от сухо импрегнирано дърво, а измервателният уред е закрепен към летвата с ластиси.

4/ Металният екран, заземителния кол и носещата тръба се внасят под електропровода с влачене по земята, завързани с изолационно въже/въжета до точката на инсталиране.

5/ Забива се временен заземителен кол на дълбочина 0,5m, свързан надеждно със заземителния проводник на временния заземител, като се придържа с диелектрична ръкавица.

6/ Другият край на заземителния проводник се присъединява към екрана с изолиран инструмент и диелектрична ръкавица.

7/ Носещата тръба се забива на избраното място, като се придържа с ръка, защитена с диелектрична ръкавица.

8/ Изолационната рейка се присъединява към екрана, след което се присъединява и към носещата тръба.

9/ Извършва се измерването.

10/ Рейката се отсъединява от носещата тръба, а след това и от екрана, който е поставен на земята.

11/ Заземителният проводник се отсъединява от екрана.

12/ Носещата тръба и заземителят се изваждат от земята с придържане с диелектрична ръкавица.

13/ Екранът, носещата тръба и временният заземител се изтеглят от зоната под електропровода чрез влачене с изолационни въжета.

14/ Общият престой под електропровода да не надвишава един астрономически час.

15/ Забранява се извършване на измервания при изгледи за дъжд или потенциална опасност от развитие на мълниеносна дейност.

16/ Всички манипулации се провеждат след нарочен инструктаж преди започване на измерването, с последователност на операциите съгласно чеклист под прякото ръководство на ръководителя на упражнението и в присъствието на второ лице с най-малко четвърта квалификационна група по електробезопасност.

6.3. Анализ на резултатите от измерването

а) Изчислява се средно-квадратичната стойност на електрическото поле под електропровода по (9.4) за всяка серия измервания и се проверява дали надвишават нормата за ниски СПД при честота 50Hz от Таблица 1, което се отразява в протокола.

б) Определя се коефициентът на екраниране на екрана по (9.6).

$$(9.6) \quad \mu = \frac{E_{\text{изм}} - E_e}{E_{\text{изм}}},$$

където ($E_{\text{изм}}$) и (E_e) са съответно измереният интензитет на ЕП, kV/m без екран и с екран в едни и същи точки под електропровода.

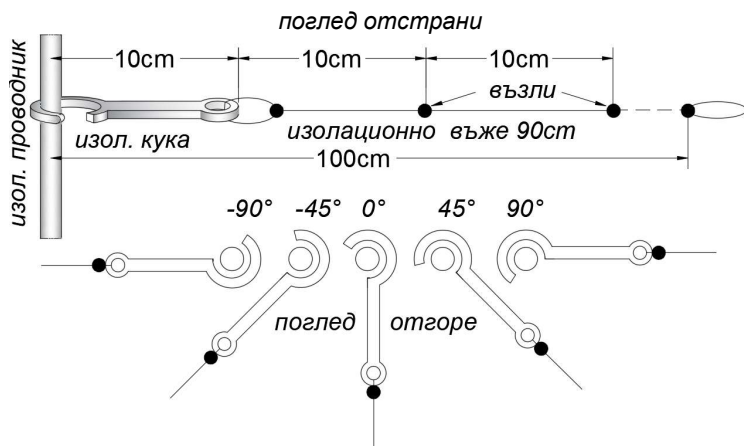
с) Построява се профилът на електрическото поле под електропровода за всяка от сериите измервания $E = f(\pm x)$.

7. Методология за измерване на магнитни полета с промишлена честота

7.1. Измерване на магнитното поле и анализ на резултатите

Ръководителят на упражнението избира изолирани токови контури (силови изолирани проводници или кабели) НН с голямо токово натоварване, удобни за безопасно провеждане на измерването. Обемът и детайлността на измерването се определя от ръководителя на упражнението.

МП около вертикално разположен токов контур може да се измери по проста методика, фиг. 9.5.



Фиг. 9.5

Изолационна кука със завързано изолационно мерително въже с възпи през 10cm се захваща за изолирания проводник на подходяща височина, изпълнато перпендикулярно на проводника и стената откъм страната, където има достъп с условен ъгъл 0° . Правят се отчитания на магнитното поле при ъгъл 0° за отстояния на измервателния уред от проводника от 10 до 100 cm със стъпка 10 или 20 cm.

По указания на ръководителя на упражнението се правят същите измервания и при примерни ъгли съгласно фиг. 9.4. Резултатите се отразяват в Таблица 2 на протокола.

При хоризонтални проводници измерването е идентично, но в другата равнина странично или под проводника.

При възможност се отчита токът или консумираната мощност от изследвания контур за времето на измерването.

7.2. Мерки за безопасност при измервания на МП в уредби НН

- 1/ Забранява се измерване по и в близост до неизолирани тоководещи части.
- 2/ Забранява се доближаване до неизолирани тоководещи части, самоволно напускане на електрическата уредба или влизане в съседни уредби.
- 3/ Забранява се извършване на каквито и да било действия в електрическата уредба без изрично разрешение на ръководителя на упражнението.
- 4/ Всички манипулации се провеждат след нарочен инструктаж преди започване на измерването, с последователност на операциите съгласно чеклист под прякото ръководство на ръководителя на упражнението. При наличие на

напрежение над 1000V в уредбата измерванията се провеждат в присъствието и на второ лице с най-малко трета квалификационна група по електробезопасност.

7.3. Анализ на резултатите от измерването

- a) Изчислява се средно-квадратичната стойност на магнитното поле около проводника за всяко разстояние при промяна на ъгъла по (9.4) за всяка серия измервания и се проверява дали надвишават нормата за ниски СПД при честота 50Hz от таблица 2, което се отразява в протокола.
- b) Построява се профилът на магнитното поле около проводника за всеки от изследваните контури $B = f(x)$.
- c) За зададени контури се построява триизмерен профил на МП $B = f(x; \pm\varphi)$
- d) Формулират се обосновани заключения за необходимостта от прилагане на действия за намаляване физиологичното въздействие на ЕП и МП под и около изследваните електропроводи и токови контури.

Х. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВИСОКОЧЕСТОТНИ ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ ПОЛЕТА

1. Цел на упражнението

Практическо запознаване на студентите с методи за измерване интензитета на високочестотни (ВЧ) ЕМП и оценка на въздействието им върху здравето на хората. Изследване на защитни екрани.

2. Методика за провеждане на упражнението

- 2.1. Изследване на ЕМП с ВЧ около източници с малък интензитет.
- 2.2. Построяване профила на електрическото и магнитното поле във функция от разстоянието от източника.
- 2.3. Анализ на резултатите и формулиране на становище относно необходимостта за прилагане на действия за намаляване въздействието на ЕМП върху здравето.

3. Източници на ЕМП ВЧ и СВЧ

Локалните източници на ЕМП ВЧ са технологични съоръжения – дъгови пещи, сушилни, уредби за повърхностно закаляване и др., както и апаратура за контрол и управление, уреди за радиоспектроскопия, медицинска апаратура, офис и битови уреди и др.

Източници с голям обхват на въздействие са съоръжения за радиоразпръскване и GSM комуникации, радиолокация и радионавигация, безжична телекомуникация и др.

4. Критерии за оценка въздействието на ЕМП с ВЧ върху здравето на хората

4.1. Нормативни документи и контролирани величини

Нормативните документи за оценка въздействието на ЕМП са разгледани в предходното упражнение, където са дефинирани термините и физическите величини на ЕМП, отнасящи се до оценка на експозицията на хора на нейонизираща радиация.

Въздействието на ЕМП ВЧ и СВЧ върху живата тъкан се проявява с превръщане на погълнатата електромагнитна енергия в топлинна. Това води до загряване на тъканите, т.е. ЕМП ВЧ и СВЧ имат термично въздействие върху човешкото тяло.

4.2. Критерии за оценка въздействието на ЕМП ВЧ

- а) ***Гранична стойност на експозиция (ГСЕ)*** за интензитет на електрическо поле в тялото по отношение на последиците за здравето за ***ВЧ (100 kHz до 6 GHz)*** са гранични стойности за енергията и мощността, погълнати от единица тъканна маса в тялото в резултат на експозиция на електрически и магнитни полета, Табл.10.1.

Таблица 10.1 ГСЕ за въздействие на ЕМП с ВЧ (100 kHz до 6 GHz)

ГСЕ по отношение на последиците за здравето	Средна погълната мощност (СПМ), осреднена за интервал от шест минути
ГСЕ, свързани с термичен стрес в цялото тяло, изразени като осреднени СПМ в тялото	0,4 Wkg ⁻¹
ГСЕ, свързани с локален термичен стрес в главата и трупа, изразени като локални СПМ в тялото	10 Wkg ⁻¹
ГСЕ, свързани с локален термичен стрес в крайниците, изразени като локални СПМ в крайниците	20 Wkg ⁻¹

- б) **Гранична стойност на експозиция** за интензитет на вътрешно електрическо поле за избягване на последици за слуха, причинени от експозиция на главата на импулсни микровълнови лъчения ВЧ (100 kHz до 6 GHz), Табл. 10.2.

Таблица 10.2 ГСЕ за локално въздействие върху слуховия апарат

Честотен обхват	Локално специфична погълната енергия (СПЕ)
$0,3 \leq f \leq 6 \text{ GHz}$	10 mJkg ⁻¹

Плътноста на мощността от 6 до 10 GHz се осреднява за произволен интервал от шест минути.

4.3. Стойности за предприемане на действие

Стойностите за предприемане на действие (СПД) се извеждат от средната погълната мощност или стойностите за плътност на мощността СПМ въз основа на прагове по отношение на вътрешните термични ефекти, предизвикани от експозиция на външни електрически и магнитни полета, Табл. 10.3.

СПД (Е) и СПД (В) представляват **максималните изчислени или измерени стойности** при определена позиция на тялото на работещия. Това води до консервативна оценка на експозицията и автоматично спазване на ГСЕ при всички нехомогенни условия на експозиция.

Таблица 10.3 СДП при експозиция на ЕМП (100 kHz до 300 GHz)

Честотен обхват	Интензитет на електрическото поле СПД (E) [Vm ⁻¹], (СКС)	Магнитна индукция ниски СПД (B) [μT] (СКС)
100 kHz ≤ f < 1 MHz	6,1 x 10 ²	2,0 x 10 ⁶ /f
1 ≤ f < 10 MHz	6,1 x 10 ⁸ /f	2,0 x 10 ⁶ /f
10 ≤ f < 400 MHz	61	0,2
400 MHz ≤ f < 2 GHz	3 x 10 ⁻³ f ^{1/2}	1,0 x 10 ⁻⁵ f ^{1/2}
2 ≤ f < 6 GHz	1,4 x 10 ²	4,5 x 10 ⁻¹
6 ≤ f ≤ 300 GHz	1,4 x 10 ²	4,5 x 10 ⁻¹

[СПД (E)]² и [СПД (B)]² се осредняват за интервал от шест минути. СКС е средно квадратична стойност на резултатите от измерени или изчислени ефективни стойности на полето в зоната на въздействие (10.1).

$$(10.1) \quad E_{rms} = \sqrt{\frac{E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_n^2}{n}}, \text{ V/m.}$$

Ако измерените/изчислените стойности са максимални (E_{max}), се привеждат към ефективни (E_{eff}) по (9.2) за синусоидални полета.

При измерване на средни стойности на синусоидални величини (AVG), те се привеждат към максимални по (9.5) от упражнение 9.

5. Измервателни уреди

Измервателният уред е описан в упражнение 9, т. 5.

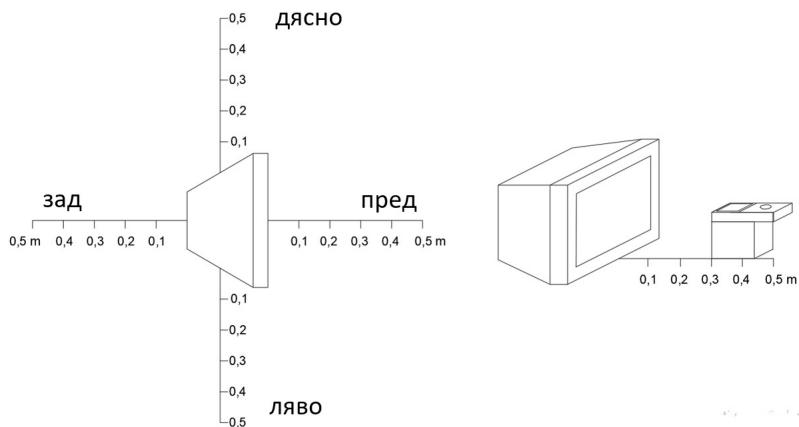
6. Методология за измерване на ЕМП ВЧ

6.1. Измерване на електромагнитно поле около локални източници с малък интензитет

6.1.1. ЕМП около монитори

Измерва се интензитета на ЕМП ВЧ около монитор с електронно-лъчева тръба и с LCD дисплей по схемата показана на фиг. 10.1 и по указание на ръководителя на упражнението. За определяне на граничните стойности по таблица 10.3 трябва да е известна честотата на излъчване на източника на ЕМП. За упражнението честотата на излъчване на мониторите се взема от табелките им или се задава от ръководителя на упражнението. Резултатите

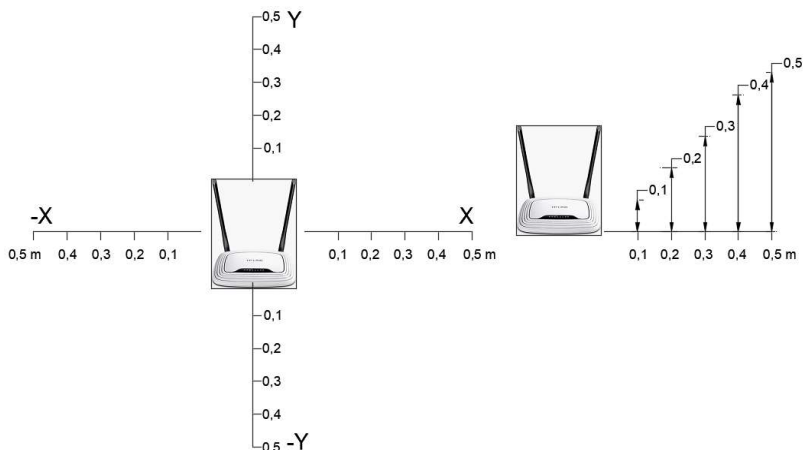
се отразяват в таблица 1 на протокола. Построяват се диаграми на разпределение на полето около източника. Изчислените средно квадратични стойности по (10.1) се сравняват с граничните стойности за съответната честота по таблица 10.3.



Фиг. 10.1

6.1.2. ЕМП около рутер за безжичен интернет

Измерването се извършва по схемата на фиг. 10.2 или по указание на ръководителя. Честотата на източника се задава от ръководителя. Резултатите се отразяват в таблица 2 на протокола. Построяват се диаграми на разпределение на полето около източника.

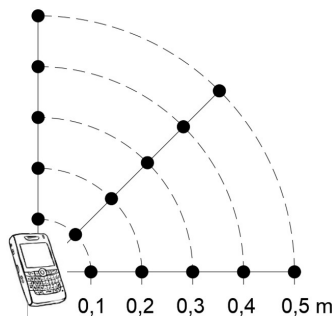


Фиг. 10.2

Изчислените средно квадратични стойности по (10.1) се сравняват с граничните стойности за съответната честота по таблица 10.3.

6.1.3. ЕМП около GSM телефон

За упражнението се приема честотен диапазон на излъчване на GSM апаратите $2100 \div 2600$ MHz. Прави се по една серия измервания при пасивен режим на телефона и по време на разговор по схемата на фиг. 10.3 според указанията на ръководителя на упражнението. Изчисляват се средно квадратичните стойности на интензитета на електрическата и магнитната съставляща на полето и се сравняват с граничните стойности от таблица 10.3. Построяват се диаграми на разпределение на полето около източника.



Фиг. 10.3

6.1.4. ЕМП около безжични (Bluetooth) слушалки

Прави се по едно измерване непосредствено от вътрешната страна на всяка от двете слушалки, фиг. 10.4. Измерените стойности се сравняват с граничните от таблица 10.2 за честота 2,4 GHz.



Фиг. 10.4

6.2. Мерки за безопасност

Изследваните източници на ЕМП ВЧ са с малък интензитет и не се предвиждат специфични мерки за безопасност.

6.3. Анализ на резултатите от измерването

- a) Изчислява се средно-квадратичната стойност на електрическото и магнитното поле и се проверява дали надвишават нормата за ниски СПД при съответната честота от таблица 10.3, което се отразява в протокола.
- b) Построява се профилът на електрическото и магнитното поле около източника по указание на ръководителя на упражнението.

7. Анализ на резултатите

Формулират се обосновани заключения за необходимост от прилагане на действия за намаляване интензитета на ЕП и МП или ограничаване на приближаването до изследваните източници на ЕМП ВЧ. Ако измерените стойности са под граничните, се записва, че нейонизиращото излъчване на изследвания източник е безопасно за хората.

XI. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ИЗКУСТВЕНО ОСВЕТЛЕНИЕ

1. Цел на упражнението

Практическо запознаване на студентите с методиката за контрол на осветлението съгласно стандарт EN12464-1. Практическа работа по оценка на осветеността в различни зони и помещения на бл.12 на ТУ-София съгласно същия стандарт.

2. Общи изисквания към осветлението

Изискванията към осветлението се определят от задоволяването на три основни човешки потребности:

- визуален комфорт, при който работниците имат усещане за благополучие, което допринася и за висока производителност и качество на работата;
- зрителна производителност, при която работниците са в състояние да изпълняват трудни зрителни работи за дълги периоди от време;
- безопасност - цветните означения, свързани с безопасността, да са ясно различими.

Основните параметри, определящи светлинната среда са:

- разпределение на осветеността;
- осветеност;
- насоченост на светлината;
- променливост на светлината по интензивност и цвят;
- цвето предаване и цветови характер на светлината;
- заслепяване;
- пулсации/ примигване.

Допълнителни визуално – ергономични характеристики, които влияят върху визуалното възприятие са специфичните особености на задачата – размер, форма, разположение, цвят и отразяващи свойства на детайла и фона;

3. Основни светлотехнически величини

3.1. Яркост L , nit или cd/m^2 .

Разпределението на яркостта в зрителното поле обуславя нивото на адаптация на очите, което влияе върху работата, видимостта и зрителния комфорт. Трябва да се избягват:

- твърде високи яркости, които могат да доведат до заслепяване;
- твърде високи контрасти на яркостта, които водят до умора поради постоянната адаптация на очите.

3.2. Отражение на повърхностите

Препоръчителните коефициенти на отражение ρ за основните вътрешни дифузно отразяващи повърхности са:

- за таван $\rho = 0,7 \div 0,9$;
- за стени $\rho = 0,5 \div 0,8$;
- за под $\rho = 0,2 \div 0,4$.

3.3. **Контраст К.**

Дефинира се като разлика в коефициента на отражение на обекта на работа ρ_o и фона зад него ρ_ϕ (11.1)

$$(11.1) \quad K = \frac{\rho_\phi - \rho_o}{\rho_\phi}.$$

3.4. **Осветеност Е, lx.**

Тя представлява повърхностната плътност на светлинния поток и се определя по формула (11.2)

$$(11.2) \quad E = \frac{\Phi}{S}, \text{ lx},$$

където:

Φ е светлинен поток в lm (лумени);

S е площ на осветяваната повърхност в m^2 .

Осветеността и нейното разпределение върху работната зона и върху околното пространство оказват голямо влияние върху това колко бързо, безопасно и удобно човек възприема и изпълнява зрителната работа.

За да се получи разлика във възприятията, препоръчителните стъпки на осветеността (в lx) са съгласно EN 12665:

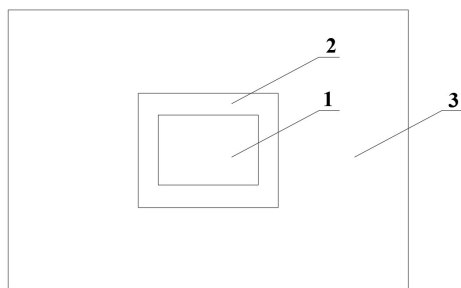
20 - 30 - 50 - 75 - 100 - 150 - 200 - 300 - 500 - 750 - 1 000 - 1 500 - 2 000 - 3 000 - 5 000 lx.

Съгласно EN12464-1 освен работна зона, се дефинират и две външни за нея зони, в които осветеността се контролира в зависимост от тази на работната зона, фиг. 11.1:

1 работна зона;

2 непосредствено заобикалящата зона (ивица с ширина най-малко 0,5 м около работната зона в рамките на зрителното поле);

3 фонов зона (с ширина най-малко 3 m, съседна на непосредствено заобикалящата зона в границите на зрителното поле).



Фиг. 11.1

3.5. **Равномерност на осветеността.** Тя се оценява чрез коефициента на равномерност U_0 , който се определя по формула (11.3).

$$(11.3) \quad U_0 \text{ изч.} = \frac{E_{\min}}{E_{\text{ср.}}},$$

където:

E_{\min} , lx е най-малката измерена стойност при съответната серия измервания;
 $E_{\text{ср.}}$, lx е изчислената по (11.4) средна осветеност за същата серия измервания:

$$(11.4) \quad E_{\text{ср.}} = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^n E_i,$$

където E_i - измерена осветеност при i -тото измерване в серията, lx.

3.6. **Заслепяване.** Заслепяването е усещане, предизвикано от ярки области в зрителното поле като осветени повърхности, части от осветителни тела, прозорци и/или покривни светлини. Заслепяването трябва да бъде ограничено, за да се избегнат грешки, умора и злополуки. Може да се усеща като дискомфортно заслепяване или като заслепяване, водещо до невъзможност за зрително възприемане.

Оценката на дискомфортното заслепяване, причинено директно от осветителите на вътрешна осветителна инсталация, се определя по табличен метод CIE Unified Glare Rating (UGR) (Единна оценка на заслепяването) въз основа на (11.5).

$$(11.5) \quad UGR = 8 \lg \left(\frac{0,25}{L_\phi} \sum \frac{L^2 \cdot \omega}{p^2} \right),$$

където:

L_ϕ е фоновата яркост, изчислена като E_{ind}/π , в която E_{ind} е вертикалната пряка осветеност в окото на наблюдателя в cd/m^2 ;

L е яркостта на светещите части на всяко осветително тяло в посока към окото на наблюдателя в cd/m^2 ;

ω е пространственият ъгъл в стерadianи на светещите части на всяко осветително тяло в посока към окото на наблюдателя;

p е индексът на положението по Гут за всяко отделно осветително тяло, който се отнася до неговото преместване от линията на видимост.

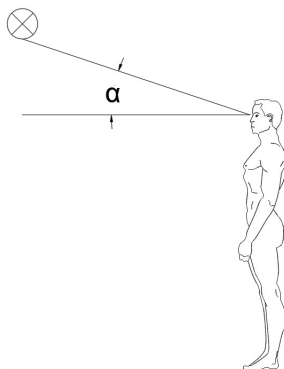
Препоръчаните гранични стойности на UGR образуват поредица, чиито стъпки показват забележими промени в заслепяването. Поредицата от стойности на UGR е: 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28.

Unified Glare Rating (UGR) се изчислява при проектирането и е труден за измерване, поради което не е обект на измерване в настоящето упражнение.

Защитата от заслепяване от интериорни светлоизточници се осъществява чрез разполагането им извън (над) зрителното поле, като трябва да бъде спазен минималният защитен ъгъл спрямо хоризонта в зависимост от яркостта на светлоизточниците, фиг. 11.2 и таблица 11.1.

Таблица 11.1 Минимален защитен ъгъл от заслепяване α

Яркост на лампата, kcd/m^2	Минимален защитен ъгъл α
$20 \leq 50$	15°
$50 \leq 500$	20°
≥ 500	30°



Фиг. 11.2

3.7. Цвят на светлината и цветна температура

Цветът на светлината се изразява количествено чрез нейната *корелирана цветна температура* (T_c).

Таблица 11.2. Цветна температура на светлината

Вид на светлината	Цветна температура, T_c
Топла светлина	$< 3300\text{K}$
Неутрална светлина	$3300 \div 5300\text{K}$
Студена светлина	$\geq 5300\text{K}$

Цветът на дневната светлина варира през целия ден и се класифицира, както е показано в таблица 11.2.

3.8. **Цветопредаване.** Обективен критерий за свойствата на цветопредането на даден светлинен източник е т. нар. **общ индекс на цветопредане Ra**. Максималната стойност на Ra е 100. Минималната стойност на индекса на цветопредане за отделните видове интериори (зони), работи или дейности е нормативно регламентирана от стандарта, но не е обект на измерване в настоящото упражнение.

4. Нормативни изисквания и контролни величини

Стандарт EN12464-1 регламентира граничните стойности на контролираните светлотехнически величини на вътрешна зона, работна зона или зона на дейност за обществени и производствени сгради, офиси и др. Информацията е структурирана в удобни за употреба таблици.

За целите на упражнението е приложена извадка с изискванията за осветеност на сгради и помещения за образование, таблица 11.3.

Съдържанието на нормативните таблици съгласно EN12464-1 е както следва.

В колона 1 е посочен референтният номер за всяка вътрешна зона, задача или дейност.

В колона 2 се изброяват онези зони, задачи или дейности, за които са дадени специфични изисквания. Ако конкретните вътрешна зона, работна зона или зона на дейност не е посочена, трябва да бъдат спазени стойностите, дадени за подобна сравнима ситуация.

В колона 3 е посочена необходимата осветеност $E_{ср}$ върху еталонната повърхност (вж. 4.3) за вътрешното пространство (зона), работна зона, посочена в колона 2.

В колона 4 са дадени максималните граници на **UGR (гранична стойност на унифицираното ниво на заслепяване)**, които са приложими за ситуацията, посочена в колона 2.

В колона 5 е посочена минималната равномерност на осветеността U_0 върху еталонната повърхност за поддържане на осветеност, посочена в колона 3.

В колона 6 са дадени минималните индекси на цветопредане **Ra** за ситуацията, посочена в колона 2.

Изискванията за осветеност на непосредствено заобикалящата зона са съгласно таблица 11.4, а осветеността на фоновата зона трябва да бъде не по-малка от 1/3 от тази на непосредствено заобикалящата зона.

Таблица 11.3. Помещения и сгради за образование съгласно EN12464-1 (извадка)

№	Помещение, дейност	E_{CP}, lx	UGRm	U_0	Ra
1	Класни стаи, учебни зали	300	19	0,60	80
2	Класни стаи за вечерно обучение	500	19	0,60	80
3	Аудитории, лекционни зали	500	19	0,60	80
4	Черни, зелени и бели дъски за писане	500	19	0,70	80
5	Демонстрационни маси	500	19	0,70	80
6	Зали за техническо чертане	750	16	0,70	80
7	Лаборатории	500	19	0,60	80
8	Зали за трудово обучение	500	19	0,60	80
9	Учебни работилници	500	19	0,60	80
10	Компютърни зали за упражнения	300	19	0,60	80
11	Работилници	500	22	0,60	80
12	Преддверия	200	22	0,40	80
13	Коридори	100	25	0,40	80
14	Стълбища	150	25	0,40	80
15	Стаи за преподаватели	300	19	0,60	80
16	Библиотека - рафтове за книги	200	19	0,60	80
17	Библиотека – читалня	500	19	0,60	80

Таблица 11.4. Средна осветеност на непосредствено ограждащата зона

Средна осветеност на работната зона, E_{P3}, lx	Средна осветеност на непосредствено ограждащата зона, E_{O3}, lx
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
150	E_{P3}
100	E_{P3}
≤ 50	E_{P3}

5. Методика на провеждане на упражнението

5.1. Мрежа на осветеността

Стойностите на осветеността се измерват в точки от мрежа с определени/изчислени размери на клетката на мрежата за работните зони, непосредствено заобикалящите ги зони и фоновите зони.

Препоръчват се мрежи с квадратни клетки или клетки със съотношение на дължината към ширината на мрежовата клетка между 0,5 и 2. Максималният размер на клетката трябва да бъде:

(11.6) $p = 0,2 \cdot 5^{\lg(d)}$, където:

$p \leq 10 m$ е максималният размер на клетките на мрежата, m ;

d , m е по-дългият размер на изчислителната област, но ако съотношението между по-дългия и по-късия размер на мрежата е 2 или повече, тогава d се полага късият размер на областта.

Броят на точките в съответния размер се определя от най-близкото цяло число на d/p .

Полученото разстояние между точките от мрежата се използва за изчисляване на най-близкия цял брой точки от мрежата в другото измерение. По този начин съотношението между дължината и ширината на мрежовата клетка е близко до 1.

Забележки:

- разстоянието между точките на мрежата не трябва да съвпада с разстоянието между осветителите;
- формула (11.6) е изведена при предположението, че p е пропорционално на $\lg(d)$, където:

$p = 0,2 m$ за $d = 1 m$;

$p = 1 m$ за $d = 10 m$;

$p = 5 m$ за $d = 100 m$.

Препоръчителни стойности на разстоянието между точките на мрежата са дадени в таблица 11.5.

Таблица 11.5 Препоръчителен брой точки на мрежата за измерване на осветеност

Дължина на зоната/помещението, m	Максимално разстояние между точките, m	Минимален брой точки на мрежата
0,4	0,15	3
0,6	0,20	3
1	0,20	5
2	0,30	6
5	0,60	8
10	1,00	10
25	2,00	12
50	3,00	17
100	5,00	20

За целите на упражнението размерите на помещението/зоната се измерват или задават от ръководителя на упражнението. На база гореизложеното се

определят размерите на 1 клетка от мрежата и всяка точка /възел на мрежата се фиксира и номерира с номерче на пода на помещението/зоната.

5.2. Измерване на осветеността

Правят се измервания на осветеността в помещения, указани от ръководителя на упражнението. За всяка точка (възел) на мрежата се прави по едно измерване на осветеността на нивото на работното поле или на 0,8 m от пода при включено изкуствено осветление. Резултатите се отразяват в съответната таблица на протокола.

За всяко от помещенията/ зоните се изчисляват средната осветеност E_{CP} и равномерността на осветеността U_0 изч. по (11.4) и (11.3), съответно и се отразяват в протокола. Изчислените стойности E_{CP} се сравняват с референтните $E_{CP.ref}$ за съответния вид помещение/ зона от таблица 11.3 и за непосредствено ограждащата зона, таблица 11.4. Ако:

$$(11.7) \quad E_{CP} \geq E_{CP.ref},$$

то помещението/ зоната изпълнява изискванията за осветеност, съгласно стандарт EN12464-1. Ако не е изпълнено, помещението/зоната не отговаря на изискванията за осветеност.

Изчислените стойности U_0 изч. се сравняват с референтните U_0 за съответния вид помещение/ зона от таблица 11.3. Ако:

$$(11.8) \quad U_0 \text{ изч.} \geq U_0,$$

то помещението/ зоната изпълнява изискванията за равномерност на осветеността, съгласно стандарт EN12464-1. Ако не е изпълнено, помещението/ зоната не отговаря на изискванията за равномерност на осветеността.

5.3. Измервателни уреди

Осветеността се измерва директно с уреди, наречени светломери или луксметри. Те се състоят от светлочувствителен елемент (датчик) и електроизмервателен уред, който превръща сигнала от датчика в измерена осветеност, lx – фиг. 11.3.

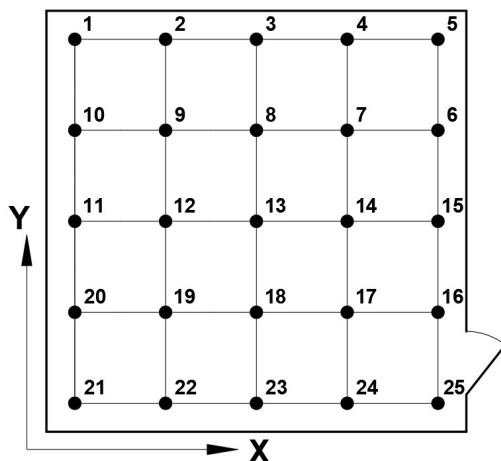


Фиг. 11.3

Датчикът се поставя хоризонтално върху работната повърхност в точката на измерване или на 0,8m над пода с приемника нагоре, като измерващият стои така, че да не засенчва датчика. Измервателният уред се превключва първоначално на максимален обхват и след това се включва. Отчита се осветеността и след това уредът се превключва на оптимален обхват за максимална точност на измерването. Измерването се повтаря за всяка от точките на мрежата в помещението/ зоната на установения оптимален обхват. Резултатите се отразяват в таблици в протокола.

5.4. Графична част

Построяват се диаграми на разпределение на осветеността в разрезии на изследваните помещения/ зони по оси $E(X)$ и $E(Y)$ по указание на ръководителя на упражнението, съгласно фиг. 11.4.



Фиг. 11.4

6. Анализи и изводи

Анализира се пригодността на изследваното помещение/ зона за използване по предназначението му по отношение на средна осветеност и равномерност на разпределението на осветеността.

Всяко помещение/ зона трябва да отговаря на нормативните изисквания едновременно и по средна осветеност и по равномерност на осветеността за да бъде окачествено като отговарящо на стандарта. В противен случай в протокола се записва, че съответното помещение/ зона не отговаря на стандарта и се препоръчва подмяна на изкуственото осветление.

ХІІ. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ШУМ В РАБОТНИ ПОМЕЩЕНИЯ

1. Цел на упражнението

Практическо запознаване на студентите с измерването на шум в работната среда и оценка на въздействието му върху работниците съгласно действащото законодателство.

2. Основни характеристики на шума

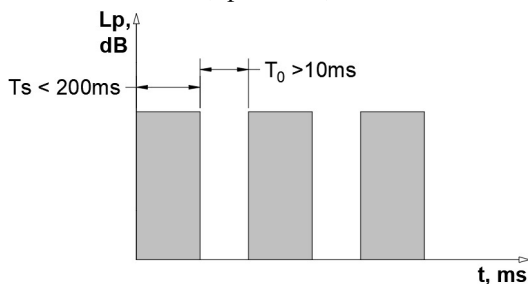
Шумът е акустична вълна, с определена енергия и посока на разпространение, която възприемаме със слуховите органи. Излагането на шум с висок интензитет може да причини неблагоприятни психически и физиологични въздействия, включително трайно увреждане на слуха. За минимизиране на вредното въздействие са въведени количествени ограничения, които отчитат интензитета на шума и времето на въздействието му, които се обобщават с понятието „експозиция на шум“, която се измерва/изчислява за период от един работен ден (8 часа) или една работна седмица (пет работни дни).

Директива 2003/10/ЕО регламентира физическите параметри, ползвани като указатели за риска от въздействието на шум. В зависимост от вида на шума методиката за измерване и обработка на данните е различна.

2.1. Видове шум

Шумът може да се класифицира по различни критерии, но от гледна точка на измерването му се дефинират:

- Постоянен шум – с отклонение до 5 dB;
- Променлив шум – с отклонения над 5 dB
- Импулсен шум – визуализира се като отделни импулси с продължителност от 1 до 200 ms или импулси, следващи един след друг в интервали повече от 10 ms, фиг. 12.1,



Фиг.12.1

където T_s е период на звуковия импулс, а T_0 – време между два последователни импулса.

2.2. Физически и контролни характеристики на шума

- а) **Ниво на звуково налягане** (НЗН) при постоянен шум L_a или SPL (*Sound Pressure Level*) се определя по (12.1) и се измерва по крива А на шумомерите:

$$(12.1) \quad L_a = 20 \lg \frac{P}{P_0}, \text{ dB(A)},$$

където:

P – звуково налягане в дадена точка P_a ;

P_0 – звуково ниво на прага на чуваемост ($2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$)

- б) **Еквивалентно ниво на звуково налягане на променлив шум** L_{aeq} за една серия измервания (в определена точка на експозиция на шум за определено време в секунди) може да се изчисли по (12.2):

$$(12.2) \quad L_{aeq} = 10 \lg \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{ai}}{10}} \text{ dB(A)},$$

където:

n – брой взети проби в една серия, като пробите се вземат на всяка една секунда;

L_{ai} – моментната стойност на звуково налягане (проба) измерено на всяка една секунда за интервала на измерване.

- в) **Дневно ниво на експозиция на шум** в рамките на 8-часов работен ден се дефинира като общата акустична енергия, натоварила звуковия анализатор за един работен ден, и се изчислява по (12.3):

$$(12.3) \quad L_{EX,8h} = 10 \lg \left[\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n T_i \cdot 10^{\frac{L_{aeqi}}{10}} \right] \text{ dB(A)},$$

където:

$$T_0 = 8h = 28\,800\text{s};$$

T_i – продължителност на експозицията на еквивалентно ниво на шум в определена точка в продължение на един работен ден в секунди;

L_{aeqi} – еквивалентно ниво на звуково налягане в определена точка (i) на въздействие върху работниците в период (i) в секунди измерен/изчислен в dB(A) .

- г) **Седмично ниво на експозиция на шум** в рамките на 5 работни дни се изчислява по (12.4) при значителна разлика в дневната експозиция в два поредни дни. Дефинира се като общата акустична енергия, натоварила звуковия анализатор за пет работни дни.

$$(12.4) \quad L_{EX,W} = 10 \lg \left[\frac{1}{5} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{EX,8hi}}{10}} \right] \text{ dB(A)},$$

където $L_{EX,8hi}$ са стойностите на $L_{EX,8h}$ за всеки от петте работни дни през седмицата.

2.3. Нормативни ограничения за експозиция на шум

Граничните стойности на експозиция (ГСЕ) и стойностите на експозиция за предприемане на действие (СЕПД) се определят на база дневните нива на експозиция на шум и върхово звуково налягане, както следва:

- a) гранични стойности на експозиция : $L_{EX,8h} = 87 \text{ dB (A)}$ и 140 dB (C) ;
- b) горни стойности на експозиция за предприемане на действие: $L_{EX,8h} = 85 \text{ dB (A)}$ и пикови стойности 137 dB (C) ;
- c) долни стойности на експозиция за предприемане на действие: $L_{EX,8h} = 80 \text{ dB (A)}$ и пикови стойности 135 dB (C) .

Когато се прилагат граничните стойности на експозиция, действителната експозиция на работещите се изчислява, като се отчита намаляването на шума от използваните лични предпазни средства за защита на слуха.

Когато се прилагат стойностите на експозиция за предприемане на действие, не се отчита ефектът от използването на защитни средства.

Когато дневната експозиция значително се различава в два последователни работни дни, може да се използва средноседмично вместо дневно ниво на експозиция на шум.

Нивото на експозиция на шум позволява оценка на въздействието от продължителна експозиция на шум, измерва се по корекционна крива А на шумомерите в dB(A) т.е. децибели, измерени по корекционна крива А.

Върховото звуково налягане позволява оценка на въздействието от експозиция на кратък много силен шум, измерва се по корекционна крива С на шумомерите в dB(C) т.е. децибели, измерени по корекционна крива С.

3. Измервателни уреди

За конкретните измервания се използва дигитален шумомер марка BENTECH модел GM1356. Уредът измерва моментна стойност на звуково налягане по корекционни криви А или С, с периодичност на вземане на пробите 1 секунда. Уредът може да записва измерените данни или да ги регистрира и визуализира в реално време през софтуер на компютър, след което те може да се експортират в Excel файл, подлежащ на последваща обработка. Уредът е показан на фиг. 12.2.



Фиг. 12.2

4. Практическа работа

4.1. Измерване на променлив шум

За целите на упражнението се извършват 4 серии измервания по 300 секунди, т.е. 300 проби на серия, като се симулират четири точки на експозиция на

работниците с различен по характер и интензивност шум, генериран от аудио уредба.

Ръководителят на упражнението указва условното време на въздействие на шум върху работниците във всяка точка на измерване в часове в рамките на работния ден.

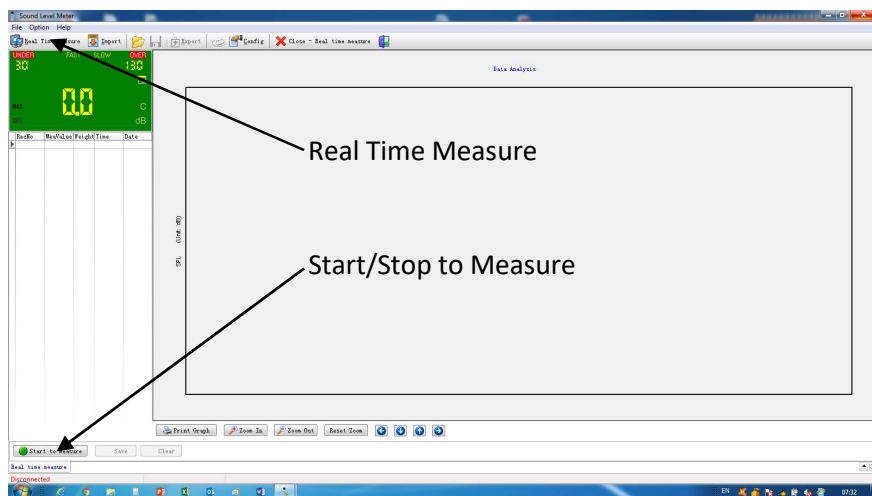
Приема се, че извън указаните четири времеви интервала, работниците не са изложени на вреден шум над 70dB(A) в рамките на работния ден.

Шумомерът се позиционира стабилно с микрофона по посока на източника и се свързва чрез USB кабел към компютър. Уредът автоматично се включва и синхронизира времето по това на компютъра.

1/ Избира се корекционна крива А с бутон 11.

2/ Избира се режим на измерване F/S (Бързо/Бавно) по указание на ръководителя на упражнението с бутон 13.

3/ Отваря се софтуера на уреда на компютъра, при което на монитора се визуализира екран фиг. 12.3.

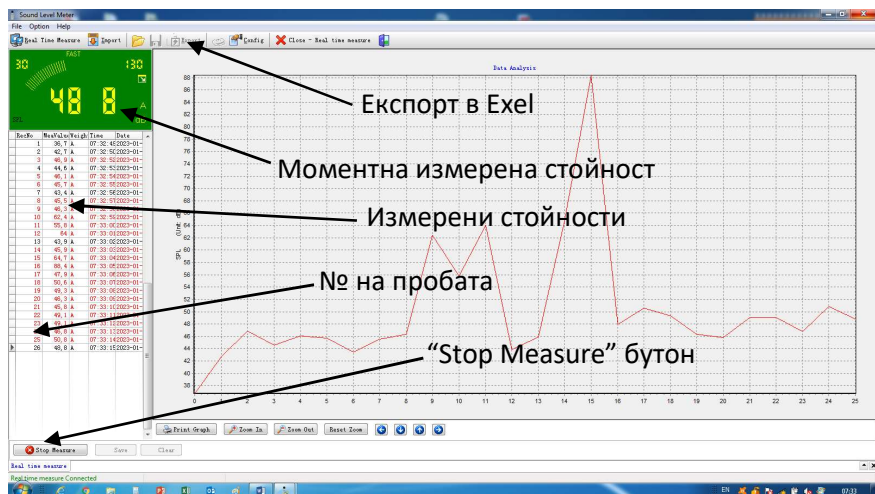


Фиг. 12.3

4/ Включва се източникът на шум.

5/ Натиска се бутон “Real Time Measure”, а след това бутон „Start to Measure”.

6/ На екрана се визуализира моментна измерена стойност и графичен вид на измерените данни с натрупване, а в колоната в ляво данните се представят в табличен вид фиг. 12.4.



Фиг. 12.4

7/ След набирание на 300 проби, измерването се прекратява с бутон “Stop Measure”.

8/ Натиска се бутон „Export” и се генерира файл в Excel, който се записва в съответната директория под име „Sound Measure EF/FA/FETT_GR#_Probe#”, като в името участва Факултет_Група#_Проба#.

По същия начин се набират пробите за останалите три точки на експозиция на шум. Измерващите разполагат с четири файла с данни за обработка.

4.2. Обработка на данните от измерването на променлив шум

- Изчислява се еквивалентно ниво на променлив шум L_{aeqi} , dB(A) за всяка от четирите серии измервания по (12.2). Тъй като това са голям брой еднотипни изчисления, те се извършват чрез кратък алгоритъм в Excel. В протокола се прилагат и графиките на четирите серии измервания чрез заснемане на екрана “Print Screen”.
- Изчислява се дневното ниво на експозиция на шум в рамките на 8-часов работен ден по (12.3) чрез кратък алгоритъм в MS Excel, на база еквивалентното ниво на шум във всяка от четирите точки на измерване и зададеното време на експозиция.
- Оценка на въздействието на шум в рамките на работния ден за целите на упражнението се прави на база горна стойност на експозиция за предприемане на действие $L_{EX,8h_ИЗЧ} \leq 85$ dB(A).

Резултатите от изчисленията се отразяват в съответните таблици на протокола.

4.3. Оценка ефективността на шумоизолиращи екрани

За опростяване на измерванията се използва източник на постоянен шум. Източникът (тонколона/сирена) се поставя на платформа на гумени тампони за ограничаване на вибрациите, предавани към конструкцията.

Измерва се нивото на постоянен шум от източника по корекционна крива А на уреда в L_a , dB(A). След това източникът се покрива с кутии от различни материали по указание на ръководителя на упражнението и се измерва отново нивото на шума при екраниран източник с шумозаглушаващ екран L_{aE} , dB(A). Изчислява се намалението на шума в следствие екраниране на източника по (12.5):

$$(12.5) \quad \Delta L_a = L_a - L_{aE}, \text{ dB(A)}$$

По зададен от ръководителя критерий за ΔL_a се определя ефективността на екраните и резултатите се отразяват в протокола.

5. Анализи и изводи

Обобщават се резултатите за допустимост на експозицията на работещите на променливия шум, определен на база измерванията и изчисленията. Формулират се заключения относно ефективността на изследваните шумоизолиращи екрани.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов И., П. Петров, Г. Велев, Н. Витков. Техническа безопасност, 269 с. ИК «КИНГ» С, 2011.
2. Ушев Г., Йорданова М., Техническа безопасност, Бряг Принт ООД, Варна, 2003
3. Бургсдорф В. В., Якобс А. И., Заземляющие устройства электроустановок, Энергоатомиздат, Москва 1987.
4. Правилник за безопасност и здраве при работа в електрически уредби на електрически и топлофикационни централи и по електрически мрежи, изд. от МЕЕР, в сила от 29.08.2004 г., изм. ДВ. Бр.19 от 1 Март 2005г.
5. Правилник за безопасност и здраве при работа по електрообзавеждането с напрежение до 1000 V, изд. от МЕЕР и МТСП, в сила от 01.06.2005 г. Обн. ДВ. бр.21 от 11 Март 2005г.
6. Наредба № 3 “За устройството на електрическите уредби и електропроводните линии”, АВС Техника, София, 2004.
7. Наредба № 4, Техническа експлоатация на електрообзавеждането, ДВ бр.99/2004г, АВС техника, София, 2005.
8. Наредба № 9 “Техническа експлоатация на електрически централи и мрежи”, АВС Техника, София, 2004.
9. Наредба № от 14 август 2003 г. за проектиране, изграждане и експлоатация на електрически уредби в сгради, обн., ДВ, бр.17 от 2005 г.
10. Наредба № I-209 от 2004 г. За правилата и нормите за пожарна и аварийна безопасност на обектите в експлоатация, обн., ДВ, бр. 107 от 2004 г.
11. ДИРЕКТИВА 2013/35/ЕС на Европейския Парламент и на Съвета от 26 юни 2013 година относно минималните изисквания за здраве и безопасност, свързани с експозицията на работниците на рискове, дължащи се на физически агенти (електромагнитни полета).
12. Незадължително ръководство за добри практики при прилагане на Директива 2013/35/ЕС за електромагнитните полета, ISBN 978-92-79-45888-0 (PDF), 2015г.
13. Наредба № РД-07-5 от 15 ноември 2016 г. „За минималните изисквания за осигуряване на здравето и безопасността на работещите при рискове, свързани с експозиция на електромагнитни полета“.
14. IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, Copyright © 2000 by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., ISBN 0-7381-1927-X

SS94807.

15. European Standard EN 12464-1/2011 Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places.

16. ДИРЕКТИВА 2003/10/ЕО на Европейския Парламент и на Съвета от 6 февруари 2003 година относно минималните изисквания за здраве и безопасност, свързани с експозицията на работниците на рисковете от физически агенти (шум).

17. НАРЕДБА № 2 от 27.02.2003 г. за защита на работещите от рискове, свързани с експозиция на шум при работа.

18. НАРЕДБА № 6 от 15.08.2005 г. за минималните изисквания за осигуряване на здравето и безопасността на работещите при рискове, свързани с експозиция на шум.

19. Незадължително ръководство за добра практика при прилагането на Директива 2003/10/ЕО „Шум на работното място“, 2009 година, ISBN 978-92-79-11354-3.

20. НАРЕДБА № 7 от 23.09.1999 г. за минималните изисквания за здравословни и безопасни условия на труд на работните места и при използване на работното оборудване.