

Основи електробезпеки.

4.3. Критерії безпечності електричного струму.

При проектуванні, розрахунках та експлуатаційному контролі захисних систем керуються безпечними значеннями струму при даному шляху його протікання та тривалості дії:

- при тривалій дії допустимий безпечний струм приймається рівним 1 мА ;
- при тривалості дії до 30 с - 6 мА ;
- при тривалості дії t_c і менше практично допустимі струми складають:

тривалість дії, t_c	1.0	0.7	0.5	0.2
струм, мА	50	70	100	250

Ці струми вважаються допустимими для найбільш ймовірних шляхів їх проходження в тілі людини: рука - рука, рука - ноги, нога - нога.

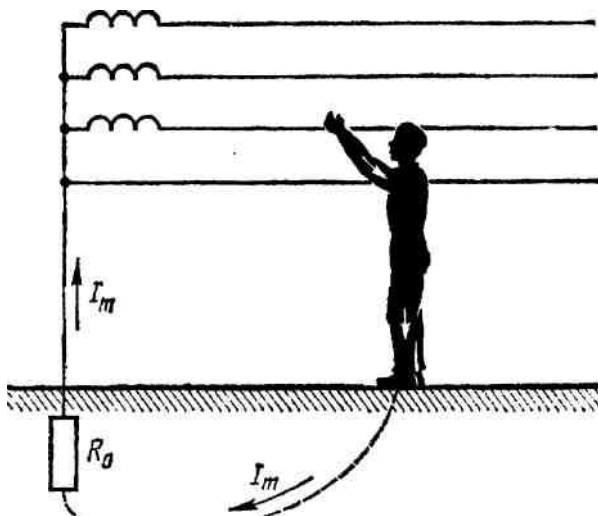
4.4. Аналіз умов ураження електричним струмом.

Всі випадки ураження людини електричним струмом можливі лише при замиканні електричного кола через тіло людини, тобто при дотику людини не менш ніж до двох точок кода, між якими існує деяка напруга.

Напруга між двома точками кола струму, до яких одночасно дотикається людина, називається напругою дотику. Найбільш типові два випадки замикання кола через тіло людини:

1. коли людина дотикається одночасно двох провідів;
2. коли вона торкається лише одного провідника.

У другому випадку припускається наявність електричного зв'язку між електромережею і землею (недосконалість ізоляції провідів відносно землі або замикання провідника на землю в результаті будь-якої несправності).



Мал. 1.Схема однофазного включення людини в мережу трьохфазного струму із заземленою нейтраллю

Дотик може бути:

- одно - і двополюсним в однофазних мережах і мережах постійного струму,
- одно - і двофазним в трьохфазних мережах.

При однополюсному дотику (мал.1.) людина поєднується через опір витоків другого провідника і вираз для струму, що проходить через людину має вигляд:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{м}}}{(r + 2R_{\text{к.л.}})}$$

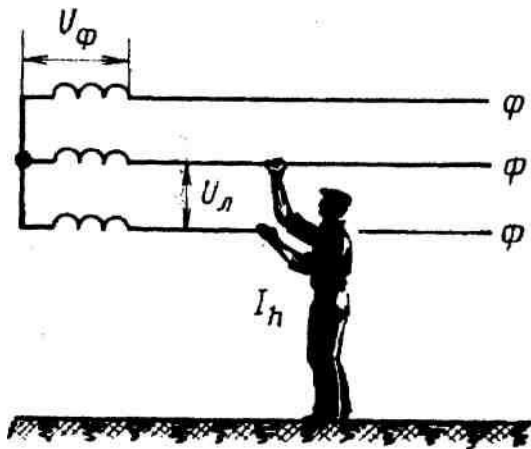
де $U_{\text{м}}$ - напруга мережі, B ; $R_{\text{к.л.}}$ - опір кола людини, який містить опір тіла людини $R_{\text{т.л.}}$ і послідовно під'єднаних предметів - одягу ($R_{\text{од}} = 0.5 \dots 15 \text{ кОм}$), взуття ($R_{\text{вз.}} = 0.2 \dots 500 \text{ кОм}$), опірної поверхні ніг ($R_{\text{он}}$ - ґрунту чи підлоги, від декількох Ом до декількох МОм):

$$R_{\text{к.л.}} = R_{\text{т.л.}} + R_{\text{од}} + R_{\text{вз.}} + R_{\text{он}}$$

При двополюсному дотику (мал.2.)

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{м}}}{R_{\text{к.л.}}}$$

Однофазний дотик (включення людини в коло між провідом і землею) являє собою безпосередній дотик людини до частин електрообладнання, які знаходяться під напругою. При цьому небезпека ураження буде різною в залежності від того, чи має електрична мережа заземлену або ізольовану нейтраль, а також від якості провідників, режиму роботи та ряду інших параметрів.



Мал.2. Дотик людини до двох фаз.

Однофазний дотик відбувається набагато частіше, ніж двофазний. Він менш небезпечний, оскільки напруга, під якою знаходиться людина не перевищує фазної, тобто в $\sqrt{3}$ рази менша лінійної. Відповідно менший і струм, який проходить через людину. Окрім того, на цей струм має великий вплив режим нейтралі джерела струму, опір ізоляції провідників мережі відносно землі, опір підлоги, на якій стоїть людина, опір його взуття та деякі інші фактори.

В чотирьохпровідній трьохфазній мережі із заземленою нейтраллю (мал.3.) коло струму, що проходить через людину містить, окрім опору тіла людини, ще й

опір його взуття, підлоги, а також опір заземлення нейтралі джерела струму (трансформатора, тощо). При цьому всі опори ввімкнено послідовно.

Тому струм, що проходить через тіло людини рівний

$$I_L = \frac{U_\phi}{R_{т.л.} + R_{вз.} + R_n + R_o}$$

де U_ϕ - фазна напруга мережі, В: $U_\phi = \frac{U_L}{\sqrt{3}}$ ($U_\phi=220$ В, $U_L=380$ - лінійна напруга); $R_{т.л.}$ - опір тіла людини, Ом; $R_{вз.}$ - опір взуття; R_n - опір підлоги; R_o - опір заземлення нейтралі.

В найбільш несприятливому випадку, тобто коли $R_{вз.}$ (взуття вологе або підбите гвіздями), $R_n=0$ (металева підлога або волога земля), $R_o \leq 100$ Ом ($R_o = 40$ Ом і в розрахунках не враховується), $R_{т.л.} = 1000$ Ом,

$$I_L = \frac{U_\phi}{U_{т.л.}} = \frac{220}{1000} = 0,22 \text{ А}$$

Отже отримуємо смертельний струм.

Якщо $R_{вз.}=40$ кОм (гумове взуття) і $R_n=100$ кОм (дерев'яна підлога), то $I_L = 0,0015 \text{ А} = 1,5 \text{ мА}$. Цей струм не є небезпечним для людини.

В мережі з ізольованою нейтраллю струм, що проходить через людину у землю, повертається до джерела струму через ізоляцію провідів мережі, яка має великий опір (мал.4).

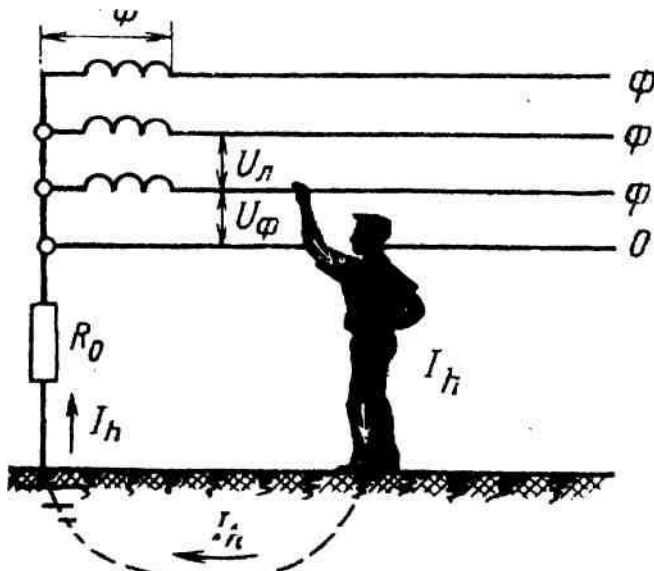
Для цього випадку струм, який проходить через людину визначається по формулі

$$I_L = \frac{U_\phi}{R_{т.л.} + R_{вз.} + R_n + \frac{R_{із.}}{3}}$$

де $R_{із.}$ - опір ізоляції однієї фази відносно землі.

В найбільш несприятливому випадку, коли $R_{вз.}=0$; $R_n=0$, маємо

$$I_L = \frac{U_\phi}{R_{т.л.} + \frac{R_{із.}}{3}}$$



Мал.3. Дотик людини до однієї фази трьохфазної мережі із заземленою нейтраллю.

Якщо $U_{\phi}=220\text{В}$ і $R_{i.}=90\text{кОм}$, то $I_{\text{л}}=7\text{мА}$, тобто в мережі з ізолюованою нейтраллю умови безпеки залежать від опору ізоляції провідів відносно землі. Якщо врахувати, що $R_{\text{ез}}=45\text{кОм}$, $R_{\text{н}}=100\text{кОм}$, то

$$I_{\text{л}} = \frac{220}{1000 + 45000 + 100000 + 30000} = 1,25 \text{ мА}$$

Таким чином, дотик людини до однієї фази мережі з ізолюованою нейтраллю є найменш небезпечним із трьох розглянутих випадків. Це стосується лише для нормальних (безаварійних) умов роботи мережі.

У випадку аварії, коли одна з фаз замкнена на землю, мережа з ізолюованою нейтраллю може бути найбільш небезпечною, оскільки в цьому випадку напруга непошкодженої фази відносно землі може зрости з фазної до лінійної, в той час як у мережі із заземленою нейтраллю підвищення напруги може бути незначним.

Двофазний дотик являє собою одночасне під'єднання людини до двох різних фаз однієї мережі, що знаходиться під напругою (мал.5.). Двофазний дотик більш небезпечний, тому що до тіла людини прикладається найбільша в даній мережі напруга - лінійна і тому через тіло людини піде великий струм:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{т.л.}}} = \frac{\sqrt{3}}{R_{\text{т.л.}}} U_{\phi},$$

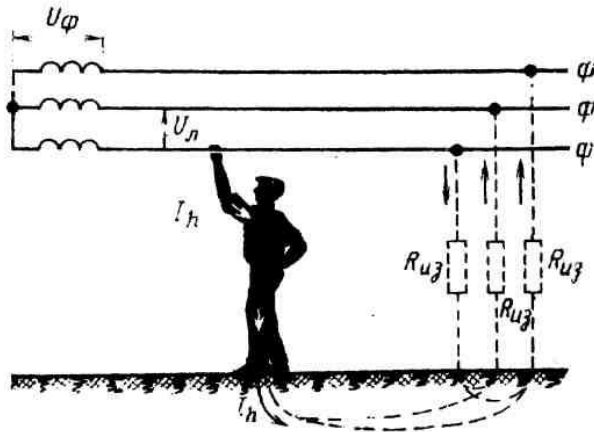
де $U_{\text{л}}$ - лінійна напруга (напруга між фазними провідами мережі), $В$; U_{ϕ} - фазна напруга (напруга між початком і кінцем однієї обмотки, або між фазним та нульовим провідами), $В$; $R_{\text{т.л.}}$ - опір тіла людини, Ом .

У мережі з лінійною напругою $R_{\text{л}} = 380\text{В}$ ($U_{\phi} = 220\text{В}$) при опорі $R_{\text{т.л.}} = 1000\text{Ом}$ струм через тіло людини буде рівний

$$I_{\text{л}} = \frac{1.73 \cdot 220}{1000} = \frac{380}{1000} 0.38\text{А}$$

Це є смертельний для людини струм.

При двофазному дотику опір ізоляції провідів не відіграє ніякої ролі і втрачає свою захисну дію. Також струм, що проходить через людину, не залежить від режиму нейтралі мережі (тобто нуля). Небезпечність дотику не зменшується і в разі, якщо людина надійно ізолюована від землі.



Мал.4. Дотик людини до одної фази трьохфазної мережі з ізолюованою нейтраллю

4.5. Основні причини ураження електричним струмом.

До основних причин ураження електричним струмом відносять слідуючі:

1. Випадковий дотик до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою внаслідок: а) помилкових дій при виконанні роботи; б) несправності захисних засобів.

.Поява напруги на металевих частинах електрообладнання внаслідок: а) пошкодження ізоляції струмопровідних частин; б) замикання фази мережі на землю; в) падіння провіда під напругою на конструктивні частини електрообладнання.

3. Поява напруги на відключених струмопровідних частинах внаслідок: а) помилкового включення відключеної установки; б) замикання між відключеними частинами установки і частинами, які знаходяться під напругою; в) розряду блискавки в електроустановку.,

4. Виникнення напруги кроку на ділянці землі, де знаходиться людина внаслідок: а) замикання фази на землю; б) виносу потенціалу протягнутими струмо-провідними предметами (трубопроводом, залізничними рейками); в) несправностей в устрої захисного заземлення.

Напругою кроку називають напругу між точками землі, зумовлену розтіканням струму замикання на землю, при одночасному дотику їх ногами людини.

Найбільший електричний потенціал буде в місці дотику провідника із землею (мал.6.). При віддаленні від цього місця потенціал поверхні ґрунту зменшується оскільки переріз довідника (ґрунту) збільшується пропорційно квадрату радіуса, і на відстані біля 20 м він рівний нулю.

4.6 Безпека при експлуатації електроустановок.

Технічні заходи та засоби захисту.

Безпека експлуатації електрообладнання забезпечується комплексом заходів безпеки, застосуванням електрозахисних засобів та правильною організацією експлуатації діючих електроустановок. Заходи безпеки умовно можна поділити на дві групи:

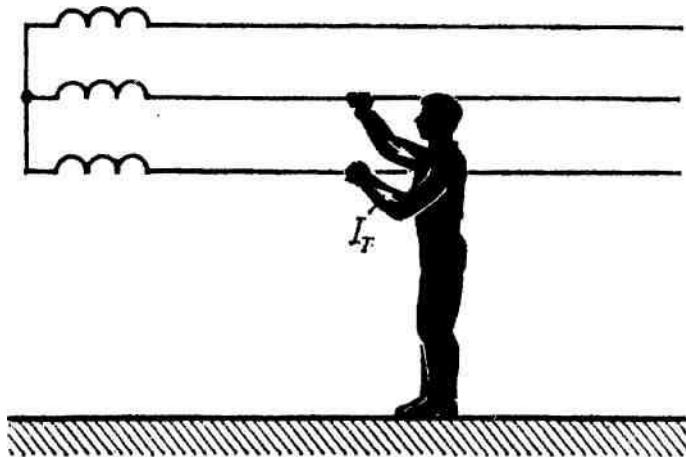
1). заходи безпеки при нормальному режимі електрообладнання ; 2). заходи безпеки в аварійному режимі при появі напруги на неструмоведучих частинах обладнання (корпусі, кожусі, тощо).

Заходи безпеки при нормальному режимі роботи електроустановок.

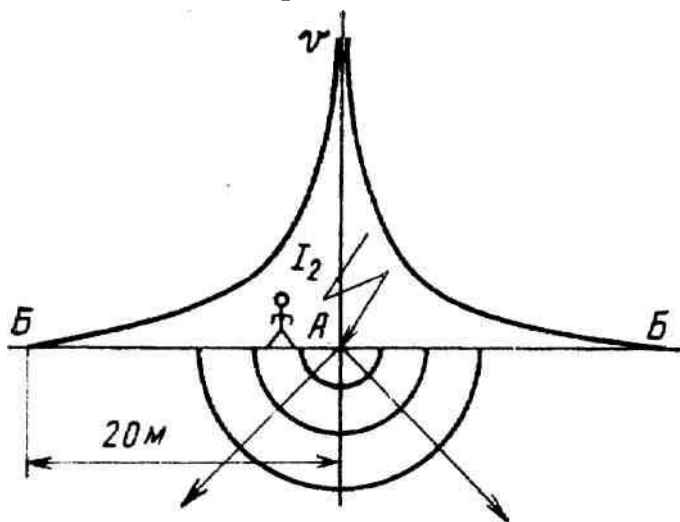
1). Робоча ізоляція електроустановок - це електрична ізоляція струмоведучих частин електроустановки, яка забезпечує її нормальну роботу і захист від ураження електричним струмом.

В процесі експлуатації ізоляція отримує пошкодження (механічні, теплові, хімічні та ін.), а також "старіє", в результаті чого її властивості погіршуються - зменшується її активний опір.

Опір ізоляції окремої ділянки кола мережі з напругою до 1000 В повинен бути не менше $0,5 \text{ МОм}$



Мал. 5. Схема двофазного включення людини в мережу.



Мал.6. Характер розподілу потенціалів навколо одиночного заземлювача при розтіканні електричного струму в землю

2). Подвійна ізоляція - це електрична ізоляція, яка складається з робочої і додаткової ізоляції. Додаткова ізоляція забезпечує захист від ураження електричним струмом у випадку пошкодження робочої ізоляції. Найбільш бездоганною і якісною додатковою ізоляцією є виготовлення корпусів електро-обладнання з ізоляційного матеріалу. З подвійною ізоляцією виготовляють апаратуру електропроводки (вимикачі, розетки, вилки, патрони лампи розжарення), переносні світильники, ручні електроінструменти, побутові прилади.

3). Огороджуючі пристрої.

Недоступність струмоведучих частин для випадкового дотику забезпечується огорожею та розташуванням струмоведучих частин на висбті.

Стаціонарні огороження виконують суцільними та сітчастими. Суцільні використовують в електроустановках до 1000В, сітчасті - в установках до і більше 1000В.

4). Блокування безпеки - це пристрої, які запобігають попаданню людей під напругу в результаті помилкових дій. По принципу дії розрізняють механічне і електричне або електромагнітне блокування. Механічне блокування використовується в електричних апаратах (рубильниках, пусках) і виконується за допомогою самозамикаючих замків замків, які застопорюють поворотну частину механізму у вимкненому стані. Електричне блокування використовується в установках напругою до 1000В. За допомогою блокувальних контактів електричне блокування здійснює відключення напруги при відкритті дверей огороження і дверцят кожухів, або при знятті кришок.

5). Мала напруга - це номінальна напруга не більше 42В між фазами і по відношенню до землі, яка застосовується з метою зменшення небезпеки ураження електричним струмом. В виробничих умовах використовується напруга 36(42)В і 125. Напруга 36(42)В застосовується в приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних, та ззовні приміщень для живлення ручних електроінструментів, переносних ламп, світильників місцевого стаціонарного освітлення на станках. Напруга 125 використовується для живлення ручних переносних ламп в особливо небезпечних приміщеннях, при несприятливих умовах праці: при роботі в металічних ємностях, в кабельному колодязі, тощо.

6). Заходи орієнтації - це маркування частин електрообладнання; попереджуючі сигнали; написи і таблички; попереджувальний знак; колір струмоведучих частин, а також світлова сигналізація.

Маркування може бути цифровим, символічним або літеро-змістовним. Воно наноситься на помітному місці.

Попереджуючі написи, сигнали і таблички застосовуються для вказівки на

увімкнений або вимкнений стан обладнання, наявність напруги. Знак електричної напруги застосовують для попередження про небезпеку ураження електричним струмом і наносять в полі зору людей на корпус електрообладнання, електричні пристрої і вироби.

Світлова сигналізація вказує на стан "Вімкнено" або "Вимкнено" частин електроустановок за допомогою електричних ламп.