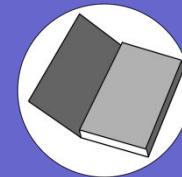
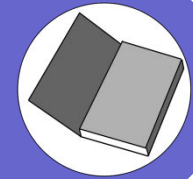


# Етапи електрифікації робіт в гірничій промисловості [13, 15]



- 1800 – 1870 р.р. створюються матеріальні передумови промислового використання електроенергії ;
- 1880 – 1890 р.р. – початок промислового впровадження електроенергії – перші електрифіковані установки ;
- 1890 – 1910 р.р. – створюються рудникові електродвигуни, апарати, кабелі, створені вибухонепроникні оболонки ;
- 1910 – 1917 р.р. – Донбас- з'явилися електрифіковані : підйомні установки, насоси, вентилятори. 70 електростанцій (потужністю 25-6000кВт)  $\Sigma P=30$  тис. кВт;
- 1917 – 1931 р.р. – створення енергетичної бази (ДРЕС за планом ГОЕЛРО), впроваджується електрообладнання у вибоях шахт: вибухобезпечні двигуни, пускачі, екрановані кабелі.

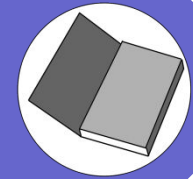
# Етапи електрифікації робіт в гірничій промисловості



– 1931 – 1940 р.р. – впроваджені нові серії пускачів, акумуляторні електровози, нові серії електродвигунів, перехід на напруги 380В та 6кВ, електричні свердла;

– 40-і – 50-і роки – випущені вибухобезпечні трансформатори, високовольтні вимикачі з безмасляним гасінням дуги, пускачі з іскробезпечними колами керування, створені електродвигуни з високими сталими потужностями, з водяним охолодженням, початок освоєння напруги 660 В, створено Інститут вибухобезпечного електрообладнання, (ВНДІВЕ), ряд підприємств (Терезький електротехнічний, Першотравневий електромеханічний, Константинівський високовольтної апаратури, Зеленокумський “Електоапарат” заводи, Донецький енергозавод);

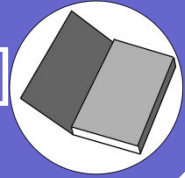
# Етапи електрифікації робіт в гірничій промисловості



– 60-і роки – закінчується перехід на вузькозахватну техніку, на напругу 660 В, експлуатуються пересувні підземні підстанції, впроваджена нова серія пускачів, електродвигунів (до 150кВт і вище), безмасляні вимикачі, автоматичний газовий захист, упереджувальне відключення;

– 70-і – 90-і роки – розширене використання електроенергії в шахтах, підвищення електробезпеки, розроблено комплекс електрообладнання на  $U_H > 1140$  В, впроваджуються апарати на основі вакуумних камер, потужність двигунів досягла 320кВт ;

–2000-і роки – нові серії вимикачів на базі вакуумних камер, використання електронних мікропроцесорних пристроїв та інформаційних технологій.



До 1917 р. – відкриті роботи застосовувались як допоміжні;

– 1834 – 1837 р.р. – перші одноківшеві екскаватори ;

– 1859 – 1861 р.р. – перші багатоківшеві екскаватори;

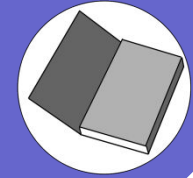
До 1950 р. – створюються передумови для розвитку відкритих гірничих робіт: розвиток енергетики, важкого гірничого машинобудування (Уралмашзавод, Новокраматорський і ін.) впровадження для одноківшевих екскаваторів багатодвигунного електроприводу . Новий тип одноківшевих екскаваторів (СЕ-3 – Уралмаш – 1947 р.);

Друга половина 20-го ст. – створюються нові серії кар'єрних екскаваторів: ЕКГ-4,6; КГ-5; ЕКГ-8; ЕВГ-4; ЕВГ-6; ЕВГ-15/40; ЕВГ-10/50 і ін., серії крокуючих екскаваторів драглайнів ЕШ.

Створення ланцюгових та роторних багатоківшевих екскаваторів (ЕРГ, ЕРШР, Д-500, Rs, Ds), відвалоутворювачів (ОШ, ОШР) та транспортно-відвальних мостів , потужних конвейерів.

Впроваджується привод за системою теристорний перетворювач – двигун (ТП-Д). Потужність екскаваторів досягає 20 МВт і більше.

# Умови експлуатації електрообладнання Специфіка геотехнічних виробництв [12]

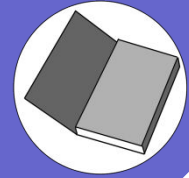


Загальна специфіка (використовують при створенні електрообладнання та його виконанні):

з підземними роботами:

- наявність гірничого тиску;
- підвищена вологість, запыленість, температура;
- можливість появи вибухонебезпечної атмосфери;
- обмеженість габаритів виробок;
- наявність вибухових робіт в виробках;
- постійне або періодичне переміщення робіт і ін.;

# Умови експлуатації електрообладнання Специфіка геотехнічних виробництв



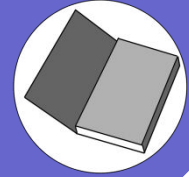
## з відкритими роботами:

- робота обладнання на відкритому повітрі в різні пори року;
- значні розкриті площі;
- ґрунтоуступна форма гірничих робіт;
- наявність вибухових робіт і ін.

## Місцева специфіка (враховується при виборі обладнання):

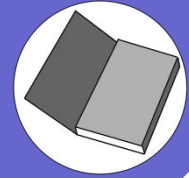
- способи розкриття, підготовки, розробки родовища;
- розміри шахтного поля, властивості оточуючих порід;
- прийняті засоби механізації, транспорту і ін.

# Умови експлуатації електрообладнання на підприємствах з підземними роботами



- Наявність вибухонебезпечної атмосфери → використання вибухобезпечного електрообладнання;
- Наявність вологи (95-98% при  $T=35-40^{\circ}$ ) та пилу → конденсація вологи в обладнанні, утворення плівок, утворення поверхневих розрядів, збільшення струмів витoku, виникнення К.З., посилена корозія металевих частин, зниження чутливості роботи реле;
- Наявність тиску бокових порід → підвищена механічна стійкість оболонок;
- Наявність вибухових робіт → підвищена механічна стійкість, зручність монтажу та демонтажу, усунення із зони вибуху;

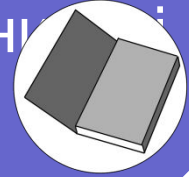
# Умови експлуатації електрообладнання на підприємствах з підземними роботами



- Обмеженість простору → мінімальні габарити електрообладнання, що обмежує потужність (використання нагрівостійкої ізоляції, покращення охолодження → обдув, водяне охолодження, модульне виконання);
- Пересувний характер роботи машин → наявність гнучкої ланки (гнучкий кабель), роз'ємних пристроїв для швидкого монтажу, мінімальні розміри, компактність, мобільність;
- Децентралізація робіт → використання крім робочої (380, 660, 1140 В) напруги 6кв для розподілу електроенергії;
- Відсутність можливості ремонту → блочність виконання, використання штепсельних з'єднань, швидко відкриваючихся кришок;
- Тяжкі і часті пуски → висока комутаційна здібність апаратів, теплова і динамічна стійкість двигунів.



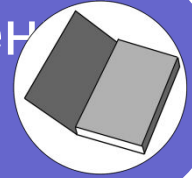
# Умови експлуатації електрообладнання при будівництві підземних споруд [12]



## Умови подібні до умов виробок шахт та рудників :

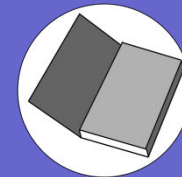
- Наявність гірничого тиску, вологи (80%), температури  $14^{\circ}..26^{\circ}$ , пересувний характер робіт → електрообладнання закритого типу в виробках з герметизованими стиками оправ сухих, не нижче IP51, не нижче IP54 в сирих виробках;
- При виділенні метану, водню, сірководню, вуглеводів → електрообладнання в вибухобезпечному виконанні;
- В небезпечних умовах ( в зоні розколів, водонасичених ґрунтів, пливунів, викидів газів, під руслами рік, водоймищ → роботи за спеціальними проектами (кесонні роботи , замороження ґрунтів, водопониження, хімічне закріплення і ін.);
- Розділення мережі на окремі ділянки розділючими трансформаторами при ємності фази відносно землі більше  $1,5 \text{ мкФ/фазу}$  .
  - Небезпека пожежі → кабелі з негорючим покриттям.

# Умови експлуатації електрообладнання в приміщеннях метрополітенів



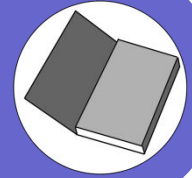
- Стаціонарне електрообладнання, капітальне кріплення приміщень і тоннелів, практично відсутнє обмеження простору виробок для електрообладнання, захист виробок від проникнення води, температура та вологість (до 30°C, та 75% – влітку і не нижче 5°C, та 75% – взимку) → електрообладнання за виконанням ІРОО відповідно стандарту для приміщень з регульованим кліматом;
- Електрообладнання акумуляторних приміщень (витяжка), приміщення для зберігання мастильних фарбувальних матеріалів, душових, сушилок → вибухобезпечне ;
- Підвищені вимоги до безпеки пасажирів → використання негорючих кабелів, сухих трансформаторів, електрообладнання без заповнення оливою;
- Висока надійність електрообладнання: роботи електрообладнання, функціонування системи електропостачання, аварійного та постійного освітлення, систем пожежної сигналізації та установок пожежогасіння, димовидалення, керування рухом поїздів.

# Умови експлуатації електрообладнання на кар'єрах



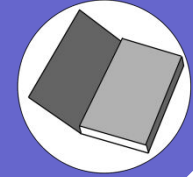
- Безперервне переміщення фронту робіт → переміщення машин і механізмів → використання пересувних трансформаторних підстанцій (ТП), ліній електропередач (ЛЕП), примикаючих пунктів (ПП).
- Часті переключення кабелів з одного ПП на інший → намотування та змотування кабелю на барабан, підтягування кабелів, механічний знос контактних з'єднань;
- Багаторазове пересування обладнання → підвищення механічних навантажень на корпуси, ізолятори, кріплення;
- Значний простір кар'єру (до 5 км<sup>2</sup>) і глибина (до 500 м) → розташування машин на багатьох уступах (до 50) по всьому фронту, що ускладнює систему електропостачання (СЕР), використання розгалуженої мережі, значної кількості ПП та ТП, пересувного електрообладнання та ЛЕП;
- Наявність вибухових робіт → необхідність механічного захисту, додаткового переміщення обладнання, часткового демонтажу та монтажу ЛЕП;

# Умови експлуатації електрообладнання на кар'єрах



- Роботи на відкритому повітрі → вимагає відповідного виконання, за стандартом УРОО. зниження навантаження в південних районах ( 45-55°C ); ускладнення експлуатації кабелів, обладнання з масляним заповненням, порушення нормальної роботи апаратів, крихка гумова ізоляція при низьких температурах.
  - Підвищена вологість → конденсація вологи, необхідність просочення котушок електроапаратів, погіршується ізоляційні якості гуми;
  - Висока запиленість повітря → веде до однофазних замикань на землю.
    - Потрібне встановлення допоміжних засобів захисту від грозоразрядів та закріплення опор на ЛЕП, враховуючи можливість налипання снігу та ожеледиці;
  - При сильних туманах → встановлення додаткового освітлення ;
  - Постійний струс, поштовхи, вібрації, високі динамічні навантаження → вимоги: підвищення міцності, посилені бандажі, надійного закріплення обмоток двигунів.

# Умови експлуатації електрообладнання Категорії електроприймачів за надійністю електропостачання [16]



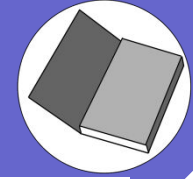
Електроприймачі першої категорії

Обов'язково два незалежних джерела живлення. Допустима перерва в живленні на час автоматичного вводу резерву.

Шахти (рудники): клітьовий підйом, вентилятор головного провітрювання, компресорні установки (якщо пневмоенергія є основною), головний водовідлив, ЦПП, гідротранспорт, гідропідйом, протипожежні насоси, обладнання дегазації пластів, канатна пасажирська дорога, АТС, ЕОМ.

Кар'єри: водопониження та водовідлив, дренажні шахти, дільниця гідромеханізації, протипожежні насоси, АТС, ЕОМ, котельні.

# Умови експлуатації електрообладнання Категорії електроприймачів за надійністю електропостачання

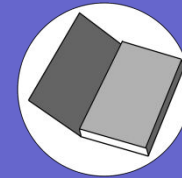


Нафтогазовий комплекс : бурильні установки, бурові на морі, глибинно насосні установки районів з ускладненими умовами, установки підготовки нафти, товарні парки, насосні станції збору та транспортування нафти, компресорні для закачки газу (повітря), насосні заводнення родовищ, водопостачання, газопереробні заводи, установки підготовки газу, дожимні компресорні, компресорні магістральних газопроводів і ін.

Будівництво підземних споруд : головні вентиляторні, водовідливні установки, кесонні роботи.

Метрополітени : більшість споживачів – тяговознижувальні та знижувальні підстанції, тягова мережа, ескалатори, насосні установки, освітлення станцій і тунелів, вентиляційні установки, установки пожежогасіння, димовидалення, автоматизації руху поїздів.

# Умови експлуатації електрообладнання Категорії електроприймачів за надійністю електропостачання



Особлива група споживачів : безперервна робота для безаварійної зупинки виробництва.

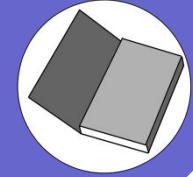
Передбачається третє незалежне джерело (місцеві електростанції, спеціальні агрегати безперервного живлення, дизельні електростанції, акумулятори).

Метроолітен : тягові, тяговознижувальні та знижувальні підстанції, енергодиспетчерські пункти, пристрої телекерування, телесигналізації, автоматики керування рухом поїздів, роботою станцій, засоби зв'язку, аварійне освітлення.

Нафтогазовий комплекс : електродвигуни підняття бурильної колони, електродвигуни засувки нафти, протипожежного насоса, протипожежної автоматики, технологічна автоматика тощо.

Критична група споживачів : чутливі до якості енергії (перерва до 20 мс), живлення від спеціальних систем гарантованого електропостачання. До них відносять : комп'ютерні, телекомунікаційні, електронні, комерційні, банківські інформаційні системи та ін.

# Умови експлуатації електрообладнання. Категорії електроприймачів за надійністю електропостачання.



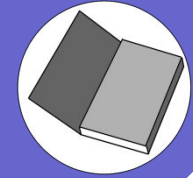
## Незалежні джерела живлення

Дві секції або системи шин однієї або двох електростанцій чи підстанцій за умов:

- кожна із секцій або систем шин живиться від незалежного джерела;
- секції шин не з'єднані між собою, або мають зв'язок, котрий автоматично вимикається у разі порушення нормальної роботи однієї із секцій шин.



# умови експлуатації електрообладнання. Категорії електроприймачів за надійністю електропостачання.



## Електроприймачі другої категорії

Обов'язкова наявність двох незалежних джерел живлення.

Допустима перерва в живленні на час, необхідний для включення резервного живлення черговим персоналом, виїзною бригадою електриків.

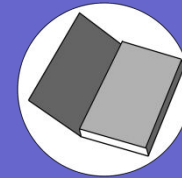
На шахтах (рудниках): скіпові підйоми, вантажна канатна дорога, компресори, дільничний водовідлив, зумпфові водовідливи, об'єкти будівництва.

На кар'єрах: машини на добувних роботах, електрифікований транспорт, компресори, технологічний комплекс поверхні.

Нафтогазовий комплекс: бурові установки (до 3000 м), проміжні нафто– перекачувальні станції, установки підготовки повітря, компресорні попутного газу, глибинно–насосні установки, компресорні закачки газу в газосховища, ремзаводи і ін.

Будівництво підземних споруд: компресори, водовідлив, водопониження, підйомні машини, калориферні установки, електровозний транспорт, механізація робіт, вентиляція, робоче освітлення, місцевий водовідлив.

# Умови експлуатації електрообладнання. Категорії електроприймачів за надійністю електропостачання.



Третя категорія споживачів — Перерва в живленні допустима на час, необхідний для ремонту або заміни пошкодженого елемента мережі, але не більше ніж на добу.

На шахтах (рудниках): перетворювальні агрегати електровозної відкатки, скрепери: установки на підготовчих та добувних роботах, освітлення будівель, промислових майданчиків, мехмайстерні, адмінпобуткомбінат.

На кар'єрах: машини на розкривних роботах та відвалах, освітлення доріг, транспорт породи, склади, автогаражі, адмінпобуткомбінат, освітлення майданчиків та будівель.

На будівельних майданчиках: будівлі виробничо-побутового призначення, механізація робіт на поверхні, заморожування ґрунтів, скіповий підйом, освітлення.

# Електробезпека на геотехнічних виробництвах. Категорії приміщень за небезпекою електротравм.



За ПУЕ існує три категорії приміщень:

- без підвищеної небезпеки;
- з підвищеною небезпекою (один чинник групи I);
- особливо небезпечні (два чинники групи I, або один чинник групи II).

I Чинники підвищеної небезпеки:

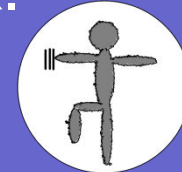
- температура в приміщенні впродовж доби більше 35°C;
- відносна вологість понад 75 %, але менше насичення;
- наявність струмопровідного пилу;
- струмопровідна підлога;
- можливість одночасного доторкання людини до не струмопровідної частини електроустановки та металоконструкцій, що мають контакт з землею.

II Чинники особливої небезпеки:

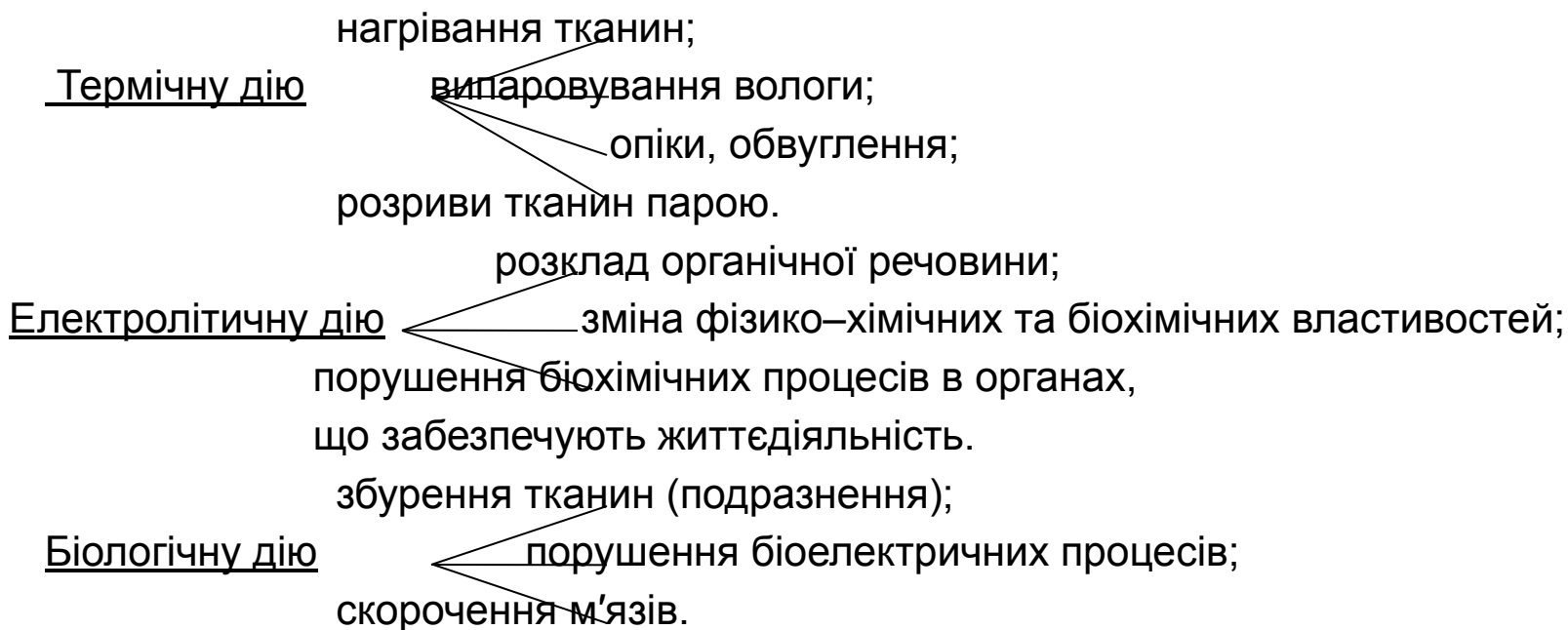
- відносна вологість близька до насичення (до 100%);
- агресивне середовище, що порушує ізоляцію.

Особливо небезпечні також умови електробезпеки поза приміщенням.

# Електробезпека на геотехнічних виробництвах. Дія електричного струму на організм людини.



Електричний струм зумовлює:



Збурююча дія струму може бути прямою та непрямую (рефлекторною) – може привести до серйозних порушень діяльності важливих органів життєдіяльності.

# Електробезпека на геотехнічних виробництвах. Дія електричного струму на організм людини.



Загальна рефлекторна реакція призводить до порушення нормальної роботи серця, зупинки дихання, до загальної електричної травми – електричного удару(чотири групи):

1 – судомні скорочення м'язів без втрати свідомості;

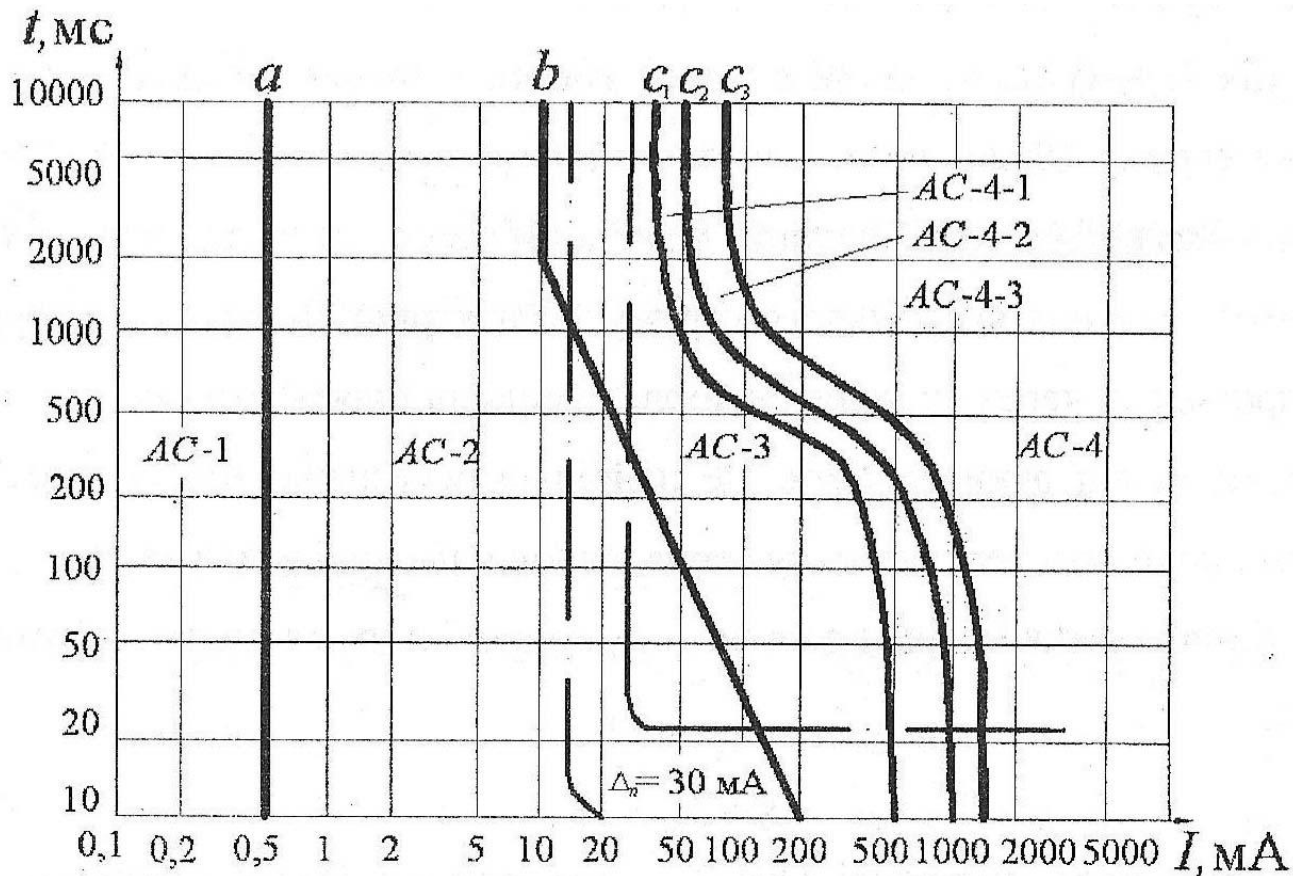
2 – судомні скорочення м'язів із втратою свідомості без порушення дихання та кровообігу;

3 – втрати свідомості з порушенням серцевої діяльності чи(та) дихання;

4 – клінічна смерть(відсутність дихання і кровообігу).

Місцеві електротравми: електричні опіки, електричні знаки, металізація шкіри, електроофтальмія, механічні ушкодження (розриви сухожиль, шкіри, кровоносні судин, переломи кісток внаслідок судомних скорочень).

# Чинники, що визначають вражальний ефект струму [14]



криві залежності струму від часу його проходження через людину

## Чинники, що визначають вражальний ефект струму.



Величина струму, частота, час дії, шлях проходження струму, опір організму, умови зовнішнього середовища, фізичний стан людини.

Пороговий відчутний струм (0,5–2мА– змінний, 5–7мА–постійний).

Пороговий відпускаючий струм –6мА.

Пороговий невідпускаючий струм (10–15мА-змінний, 50–80мА-постійний).

Пороговий фіброляційний струм (80–100мА–змінний, 300мА–постійний).

Смертельно небезпечний – 100мА. Граничний добуток струму 700 мА\*с

Безпечний тривалий струм– 25–30мА.

Шлях струму:

рука–рука  $R_k = R_l + 2R_{п.к}$

рука–нога  $R_k = R_l + R_{п.к} + R_{вз} + R_{р.з}$ ;  $R_k \approx R_l$

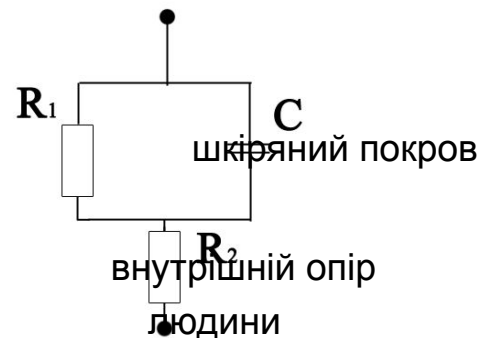
$R_l$  – опір людини;  $R_{л.розрах} = 1000 \text{ Ом}$

$R_{п.к}$  – перехідний опір контакту;

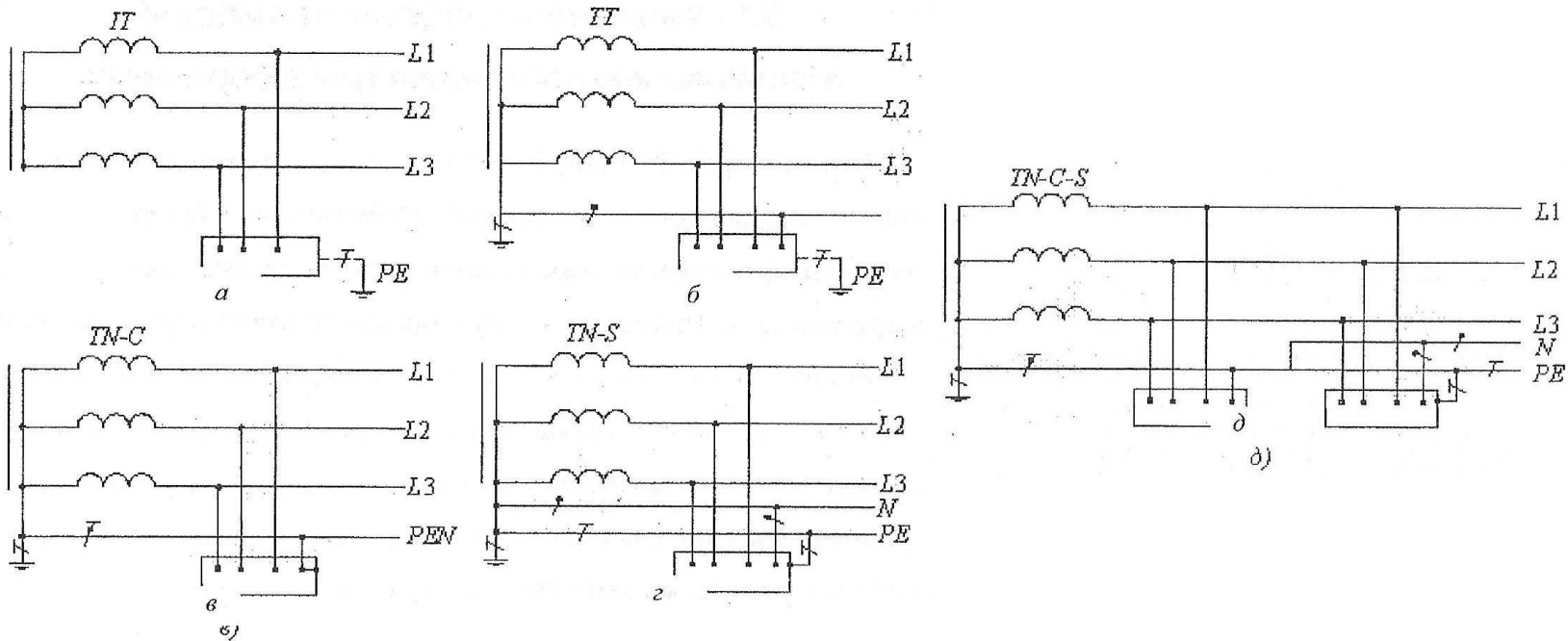
$R_{вз}$  – опір взуття;

$R_{р.з}$  – опір розтікання на землю.

$$R_k \sim R_l$$



# Електробезпека на геотехнічних виробництвах. Класифікація електричних мереж за системою заземлення нейтралі джерела та споживачів [14]



типи мереж за системою заземлення

Графічні позначення

– нульовий робочий (N);
 
 – захисний провідник (PE);  

 – загальний провідник (PEN).



# Електробезпека на геотехнічних виробництвах. Класифікація електричних мереж за системою заземлення нейтралі джерела та споживачів.



За стандартом МЕК–60634–5–54

Перша літера: І – струмоведучі частини ізолювані;

Т – з'єднання нейтралі джерела живлення з землею;

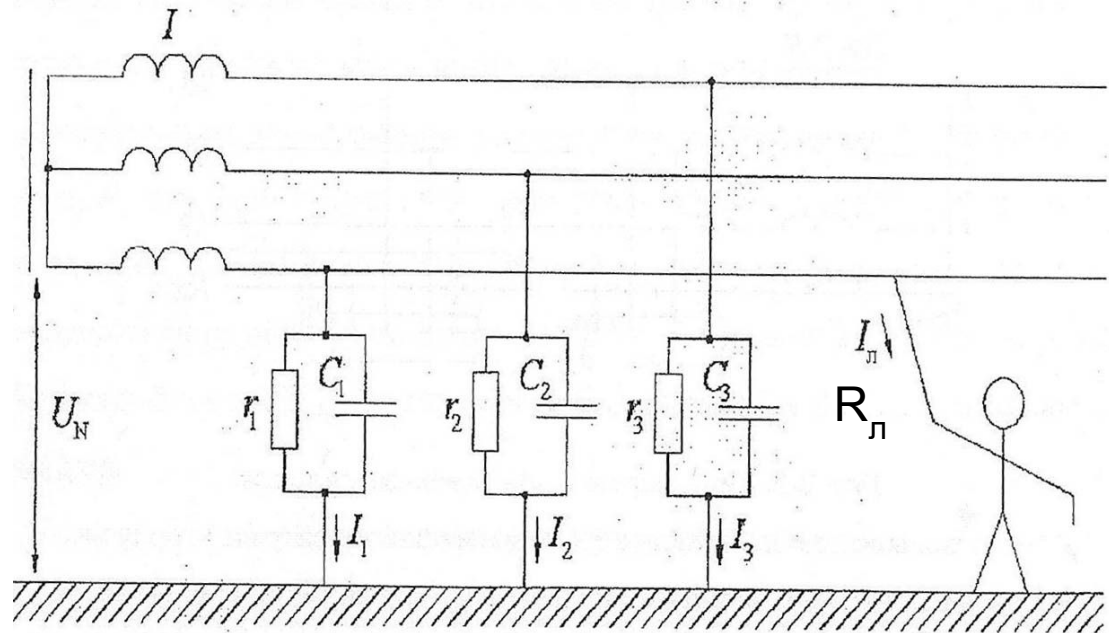
Друга літера: Т – зв'язок відкритих провідних частин обладнання з землею;

Н – зв'язок відкритих провідних частин з заземленням нейтралі;

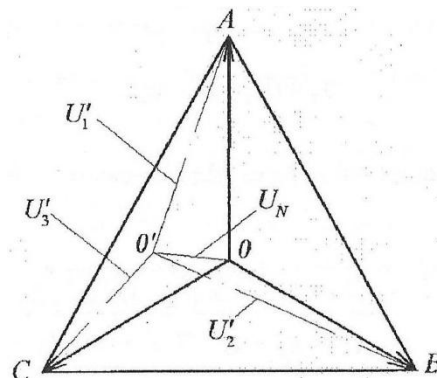
Літера через дефіс: С – функції захисного і нульового провідника забезпечується PEN провідником;

S – функції захисного(PE) і нульового(N) провідників – роздільні.

# Електробезпека на геотехнічних виробництвах. Умови електробезпеки в мережі з ізольованою нейтраллю [3, 11]



Розрахункова схема мережі з ізольованою нейтраллю  
трансформатора



Векторна діаграма напру, мережі з ізольованою нейтраллю

# Електробезпека на геотехнічних виробництвах. Умови електробезпеки в мережі з ізольованою нейтраллю.



$$r_1 = r_2 = r_3 = r$$

$$x_1 = x_2 = x_3 = x$$

$$g_1 = g_2 = g_3 = g = \frac{1}{r}$$

$$b_1 = b_2 = b_3 = b = \frac{1}{x}$$

$$\bar{U}_1 = \bar{U}_2 = \bar{U}_3$$

$$\bar{I}_1 = \bar{U}_1 Y_1; \quad Y = g - jb$$

$$\bar{U}'_1 = \bar{U}_1 - \bar{U}_N$$

$$\bar{I}_3 = \bar{U}_3 Y_3 \quad \bar{I}_2 = \bar{U}_2 Y_2$$

$$\bar{U}'_2 = \bar{U}_2 - \bar{U}_N$$

$$\bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3 + \bar{I}_N = 0$$

$$\bar{U}'_3 = \bar{U}_3 - \bar{U}_N$$

$$(\bar{U}_1 - \bar{U}_N)Y_1 + (\bar{U}_2 - \bar{U}_N)Y_2 + (\bar{U}_3 - \bar{U}_N)Y_3 + (\bar{U}_1 - \bar{U}_N)Y_\pi = 0$$

$$\bar{U}_N = \frac{\bar{U}_1 Y_\pi}{Y_\pi - Y}; \quad I_\pi = (\bar{U}_1 - \bar{U}_N)G_\pi$$

# Електробезпека на геотехнічних виробництвах. Умови електробезпеки в мережі з ізольованою нейтраллю.



Діюче значення струму через людину:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\phi} G_{\text{л}}}{2} \sqrt{\frac{[3(g_2 + g_3) + \sqrt{3}(b_2 - b_3)]^2 + [\sqrt{3}(g_2 - g_3) + 3(b_2 + b_3)]^2}{(g_1 + g_2 + g_3 + G_{\text{л}})^2 + (b_1 + b_2 + b_3)^2}}$$

При  $b_1 = b_2 = b_3 = 0$ ;  $g_1 = g_2 = g_3 = \frac{1}{r}$

$$I_{\text{д.б.}} = 0,03 \text{ А}$$

$$r_{\text{ВИМ}} = 19000 \text{ Ом} - 380 \text{ В};$$

$$r_{\text{ВИМ}} = 35000 \text{ Ом} - 660 \text{ В};$$

$$I_{\text{л}} = \frac{3U_{\phi}}{3R_{\text{л}} + r}; \quad r = \frac{3U_{\phi}}{I_{\text{д.б.}}} - 3R_{\text{л}};$$

При  $g_1 = g_2 = g_3 = g = 0$ ;  $b_1 = b_2 = b_3 = b = \frac{1}{x} = \omega C$   $C = 1 \text{ мкФ/фаза}$ ;

$$I_{\text{л}} = \frac{3U_{\phi}}{\sqrt{9R_{\text{л}}^2 + X^2}} = \frac{3U_{\phi} \omega C}{\sqrt{9R_{\text{л}}^2 \omega^2 C^2 + 1}}$$

$$I_{\text{л}} = 0,15 \text{ А} - 380 \text{ В};$$

$$I_{\text{л}} = 2,36 \text{ А} - 6000 \text{ В};$$

$$r = 19000 \text{ Ом};$$

$$C = 1 \text{ мкФ/фаза};$$

При  $a_1 = a_2 = a_3 = \frac{1}{U_{\phi}}$ ;  $b_1 = b_2 = b_3 = \frac{1}{x}$

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{л}} \sqrt{1 + \frac{r(r + 6R_{\text{л}})}{9R_{\text{л}}^2(1 + \omega^2 C^2 r^2)}}}$$

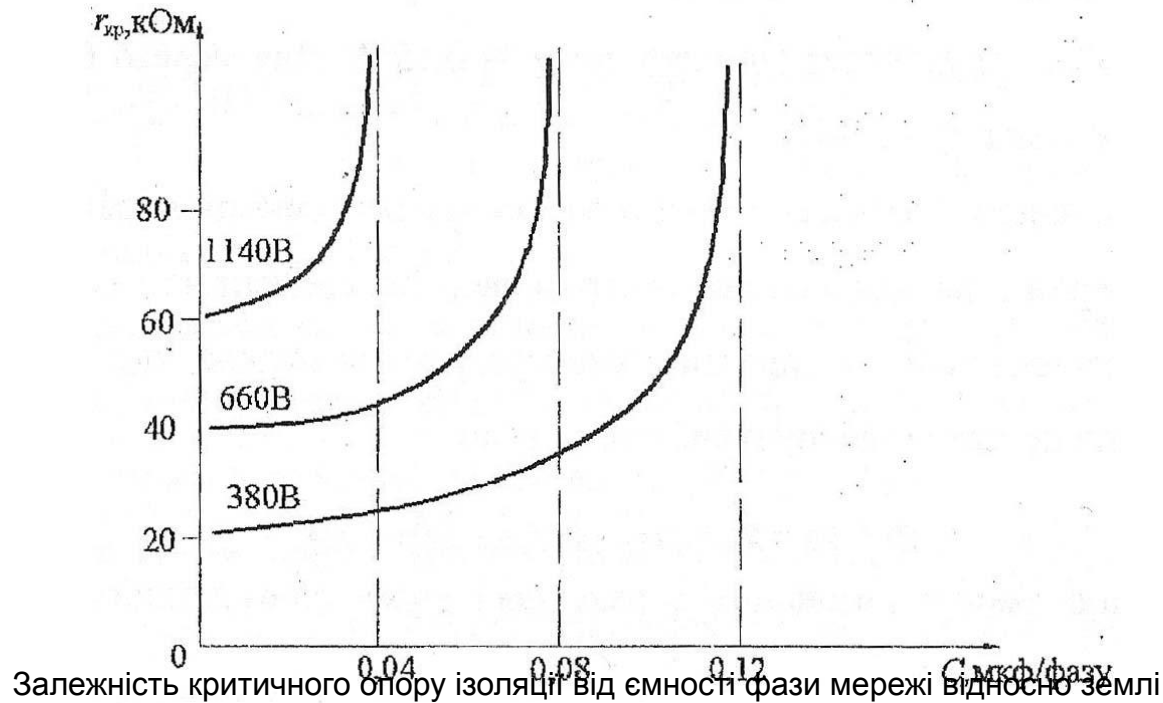
$$I_{\text{л}} = 0,14 \text{ А}$$

# Електробезпека на геотехнічних виробництвах. Умови електробезпеки в мережі з ізольованою нейтраллю.



Для 1 км кабелю

$$x = \frac{1}{j\omega C} = 3200 \text{ Ом} \quad R = 1 \text{ МОм} \quad z \approx 3200 \text{ Ом} - \text{визначається ємністю.}$$



# Електробезпека на геотехнічних виробництвах. Умови електробезпеки в мережі з ізольованою нейтраллю.



Небезпека враження людини при прямому дотику до струмоведучого елемента визначається в основному ємністю мережі відносно землі.

Умовами електробезпеки при прямому дотику є:

- безперервний контроль стану ізоляції відносно землі всієї електрично зв'язаної мережі та захисне її вимкнення при зниженні ізоляції нижче критичного значення;
- компенсація ємності мережі відносно землі (повна чи часткова);
- використання швидкодіючого захисного вимкнення, що обмежує час дії струму на людину.

# Електробезпека на геотехнічних виробництвах. Умови електробезпеки в мережі з ізольованою нейтраллю.



При різному значенні ізоляції фаз відносно землі:

$$g_1 \neq g_2 \neq g_3; \quad b_1 = b_2 = b_3 = 0$$

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\phi} G_{\text{л}}}{2} \sqrt{\frac{9(g_2 + g_3)^2 + 3(g_2 - g_3)^2}{(g_1 + g_2 + g_3 + G_{\text{л}})^2}}$$

При

$$g_2 = g_3 = \frac{1}{r} \quad \text{та} \quad K = \frac{r_1}{r}$$

$$I_{\text{л}} = \frac{3U_{\phi}}{R_{\text{л}}(2K + 1) + Kr}$$

При доторканні до фази з  $K < 1$  струм  $I_{\text{л}}$  менше, ніж при доторканні до фази з  $K=1$

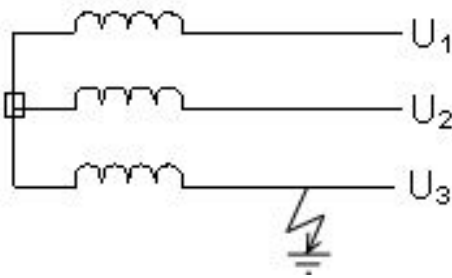
При доторканні до фази з  $K \rightarrow \infty$  – найбільш небезпечний випадок.

При глухому замиканні однієї фази на землю струм через тіло людини, що доторкнулася до пошкодженої фази дорівнює нулю, а при доторканні до непошкодженої – людина знаходиться під лінійною напругою.

# Електробезпека на геотехнічних виробництвах. Умови електробезпеки в мережі з ізольованою нейтраллю.



## Система IT при нерозподіленій нейтралі



Струм замикання  $I_3 = I_{c1} + I_{c2}$   $I_{c1} = jC_{\phi}\omega U_{13}$

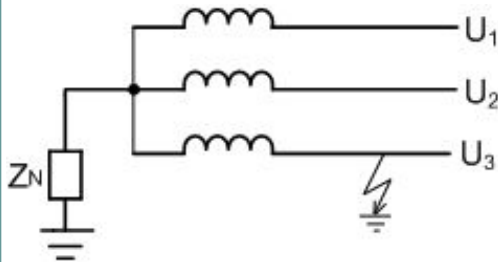
$$I_{c2} = jC_{\phi}\omega U_{23} \quad I_3 = 3U_0\omega C_{\phi}$$

Напруга між корпусом і землею:

$$U_3 = R_3 I_3 \text{ — при } R_3 = 10 \text{ Ом і } U_m = 400/230 \text{ В}$$

$U_3 \approx 0.7 \text{ В}$  — безпечна, напруга може не вмикатись.

## Система IT з заземленням ( $Z_N \approx 1500 \text{ Ом}$ )

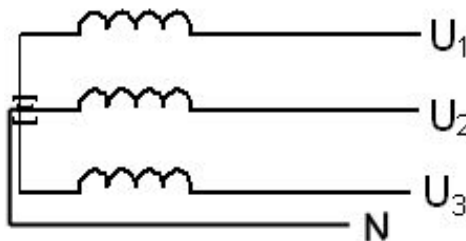


$$I_3 = \frac{U_0}{Z_{\text{екв}}}; \quad \frac{1}{Z_{\text{екв}}} = \frac{1}{Z_N} + 3jC_{\phi}\omega;$$

$U_3 = R_3 I_3$  — не представляє небезпеки;

## Система IT з розподіленою нейтраллю

Виникає напруга зміщення нейтралі і додатковий струм



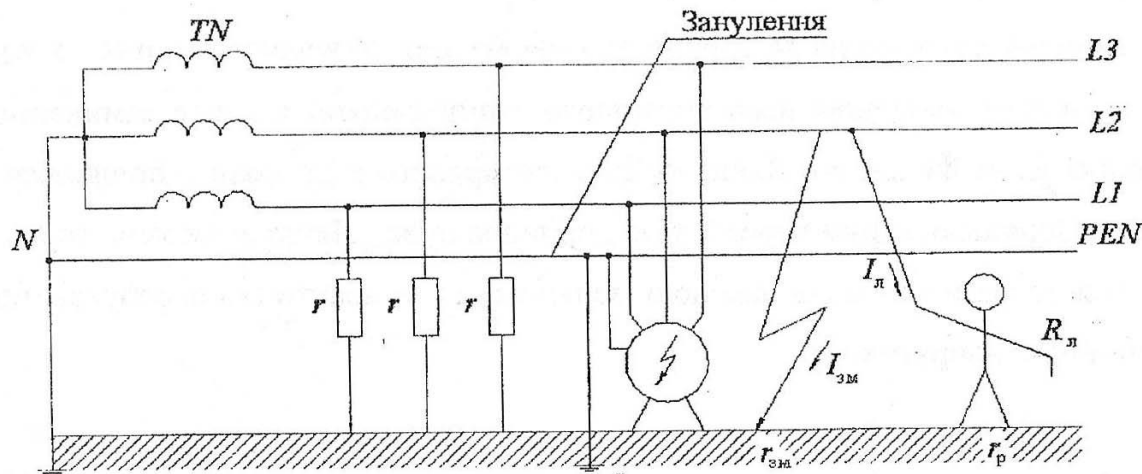
$$I_{CN} = U_0 \omega C_{\phi} \quad \text{Тому } I_3 = 4U_0 \omega C_{\phi}$$

Головний — мати інформацію про наявність першого замикання;

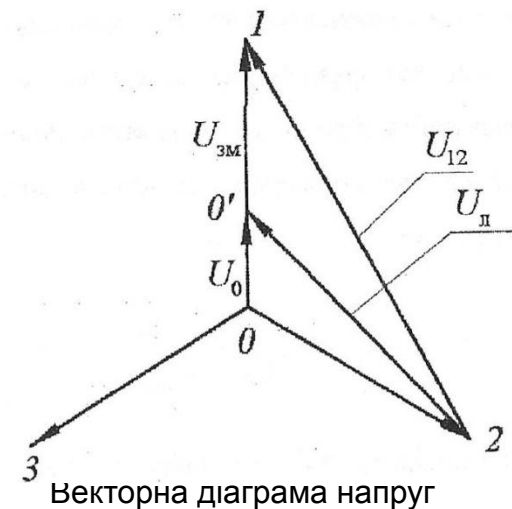
— якомога швидше ліквідувати замикання до появи другого.



## Умови електробезпеки в мережі з глухозаземленою нейтраллю.



К. 1. Схематична схема мережі з заземленою нейтраллю



$$I_{л} = \frac{U_{\phi}}{R_{л} + r_{п} + r_0} \approx \frac{U_{\phi}}{R_{л}}; \quad U_0 = I_{зМ} r_0 \rightarrow 0; \quad \overline{U_{зМ}} = \overline{U_1} - U_0 = \overline{U_1}; \quad \overline{U_{л}} = \overline{U_2} - U_0 = \overline{U_2};$$

$$\text{При } r_0 \neq 0 \quad \overline{U_{зМ}} = I_{зМ} r_{зМ}; \quad U_0 = I_{зМ} r_0; \quad \overline{U_{зМ}} = \overline{U_{12}} - \overline{U_{зМ}}$$

# Електробезпека на геотехнічних виробництвах. Умови електробезпеки в мережі з глухозаземленою нейтраллю.



## Перевага:

- замикання фази на землю є коротким замиканням, що вимикається максимальним захистом;
- від однієї мережі живляться силові трифазні та однофазні споживачі.

## Недолік:

- в системах TN не забезпечується безпека людини при доторканні до струмоведучого елемента;
- нульовий провід вносить потенціал на все занулене електрообладнання.

$$U_{\text{л}} = \sqrt{U_0^2 + U_2^2 - 2U_0U_{\phi} \cos 120^\circ} = \sqrt{U_0^2 + U_2^2 + U_0U_{\phi}}; \quad I_{\text{зм}} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}(r_0 + r_{\text{зм}})};$$

Опір ланцюга "фаза – нуль"  $Z_{\text{л}} \leq \frac{U_{\phi}}{I_y}$  - забезпечує нормативне спрацювання захисту (5с).

$$I_{\text{зм}} = \frac{U_0}{(R_{\phi} + R_{\text{pe}} + R_{\text{зм}})}; \quad R_{\text{зм}} = 0$$

## Умови електробезпеки в мережі з глухо заземленою нейтраллю.



Враховуючи втрати напруги в мережі СН ( $\approx 20\%$ ) струм замикання в системі TN:

$$I_{\text{зм}} = \frac{0.8U_0}{R_{\phi} + R_{\text{PE}} + R_{\text{зм}}}; \quad U_{\text{дот}} = I_{\text{зм}} R_{\text{PE}} = \frac{0.8U_0 R_{\text{PE}}}{R_{\phi} + R_{\text{PE}}} \quad \text{при } R_{\text{зм}} = 0.$$

$$U_{\text{дот}} = \frac{1}{2}U_0 \quad \text{при } R_{\phi} = R_{\text{PE}}; \quad U_{\text{дот.доп}} \rightarrow 50 \text{ В (сухі приміщення) або } 25 \text{ В.}$$

Максимально допустимий час спрацювання максимального захисту, що забезпечує захист людей: 127 В – 0.8 с; 230 В – 0.4 с; 400 В – 0.2 с; >400 В – 0.1 с. (при  $U_{\text{дот.доп}} = 50\text{В}$ ).

$$I_{\text{зм}} = \frac{0.8U_0 S_{\phi}}{\rho(1+m)L}; \quad \text{де } \rho = 36 \cdot 10^{-3} \text{ – для алюмінію (Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}); \quad m = \frac{S_{\phi}}{S_{\text{PE}}};$$

$\rho = 22 \cdot 10^{-3}$  – для міді;

Максимальна довжина лінії:  $L_{\text{max}} = \frac{0.8U_0 S_{\phi}}{\rho(1+m)I_y}$ ;  $I_y$  – уставка максимального захисту;

При  $L > L_{\text{max}}$  збільшують  $S$  або захист виконують диференціальним ПЗВ.

В системах TN  $I_{\text{зм}} = (1-100\text{кА})$  і в системі TT ( $I_{\text{зм}} = 5-50\text{А}$ ) для запобігання пожежі обмежують енергію розсіяння при використанні ПЗВ з диференціальним струмом  $I_{\Delta n} = 500\text{мА}$   $\int I_{\text{зм}}^2 R_{\text{зм}} dt$

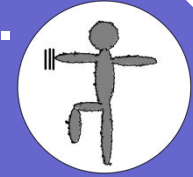


Вибір типу системи заземлення визначається традиціями, рівнями розвитку країни, кліматичними умовами та вимогами до електроустановок (забезпечення безпеки, надійності, безперебійності електропостачання, захищеності, ремонтпридатності, належного функціонування слабострумівих комунікаційних систем).

**Безпека:** За електробезпекою при першому замиканні перевага системи типу IT, потім TT, TN –S та TN – C. За небезпекою вибуху та пожежі – ризик в системі IT за першого замикання незначний, при появі другого замикання – великий, як в системі TN (значна потужність  $I_{зм}^2 R_{зм}$ ). Захист забезпечується диференціальним ПЗВ з  $I_{\Delta n} = 500\text{mA}$

Коли ризик пожежі (вибуху) великий (нафтогазові, гірничі підприємства, виробництво та збереження горючих матеріалів) використовують системи IT та TT. В ряді країн TN – C заборонена, тому що суміщений PEN не може бути використаний.

# Електробезпека на геотехнічних виробництвах. Вибір режиму нейтралі.



Безперебійність електропостачання – за пріоритетами ідуть IT, TT, TN.

Система IT – при першому замиканні не вимагається відключення.

Подвійне замикання небезпечне, як при системі TN, повинні бути упередженими виявлення та локалізація замикання, наявність кваліфікованого персоналу. Моніторинг стану ізоляції та завбачення можливості першого замикання. Блокування включення двигуна з пошкодженою ізоляцією за допомогою БРВ.

Система TT та TN – використовується принцип селективності для автоматичного відключення захистом від над струмів.

В системі TT – селективність забезпечується ПЗВ.

Ремонтопридатність:

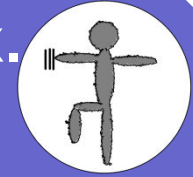
Система IT – виявлення замикання може бути трудомістким, відновлення – швидким, дешевим, можна використати попереджувальні заходи, прогноз.

Система TN – виявлення замикання швидке (максимальний захист), час відновлення є достатньо великим.

Система TT – компромісна між першими двома.

# Електробезпека на геотехнічних виробництвах.

## Вибір режиму нейтралі.



Захищеність : захисні пристрої надійні, але на захищеність елементів мережі впливають ряд факторів:

Система TN – C – PEN – провідник не захищений, може пошкоджуватись струмами гармонік;

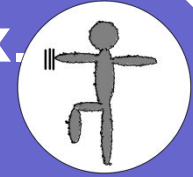
Системи TN – C, TN – S – незахищеність може викликатись: недостатньою проробкою питань реконструкції, використанням резервних джерел живлення з малою потужністю к.з., впливом електродинамічних сил.

Система IT – при другому замиканні захищеність притаманна системі TN. При швидкому виявленні і ліквідації першого замикання захищеність висока.

Система TT – існує небезпека пошкодження ізоляції споживачів при замиканні на стороні СН трансформатора (вірогідність низька). Використовують упереджуючі заходи (нелінійні обмежувачі перенапруги).

# Електробезпека на геотехнічних виробництвах.

## Вибір режиму нейтралі.



З позиції проектування – найбільш прості установки ТТ, складність проектування систем TN – S та IT однакове.

За вартістю – Системи TN – S – найменш дорогі (вартість відновлення може бути високою). Система IT більш дорожча (за рахунок пристроїв контролю ізоляції та виявлення місця її пошкодження). Система ТТ при установці великої кількості ПЗВ дорожче ніж IT, виявлення замикання просте, відновлення дешевше ніж в TN.

Мережі високої напруги (110 кВ і більше) – система з глухозаземленою нейтраллю.

Переваги:

- можливість зменшення рівня ізоляції фаз відносно землі (більш дешевші системи);
- кожне замикання є коротким і вимикається захистом, не допускається довготривале існування замикання.

Недоліки:

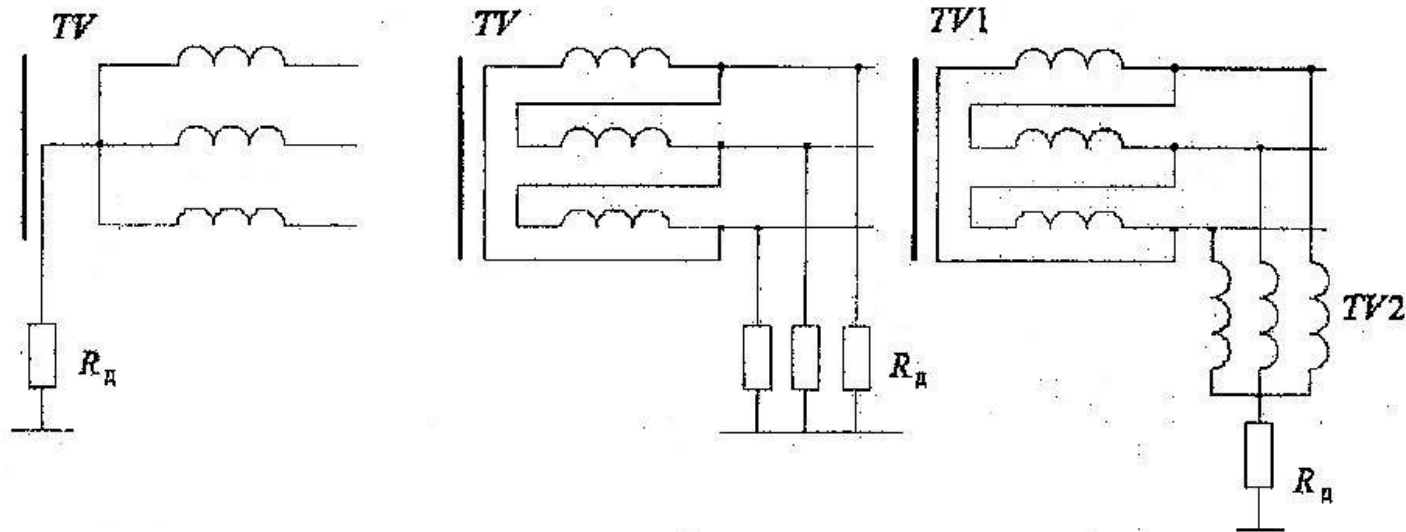
- через робочі та захисні заземлення проходять значні струми (розраховують на термічну стійкість, підвищується вартість)
- поява значних потенціалів на заземленнях.

# Електробезпека на геотехнічних виробництвах.

## Вибір режиму нейтралі.



Мережі 35кВ – ізольована нейтраль, або заземлена через реактор ( при  $I_{3M} > 5A$  ).  
Мережі 6 та 10кВ – ізольована нейтраль, або компенсована (при  $I_{3M} > 30A$  та  $20A$  відповідно).



Можливі схеми заземлення нейтралі мережі СН через активний опір.