

## ЗАГАЛЬНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

### 1. Загальні відомості про заземлення

Для створення безпечних умов під час роботи з електроустановками повинні бути збудовані пристрої для заземлення та заземлені металеві частини електрообладнання, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції. Можливий струм замикання на землю  $i$ , відповідно, небезпечність ураження, залежить від напруги джерела струму та його потужності. Допустимі опори заземлювальних пристроїв наведені в табл. 1.

*Захисне заземлення* – це навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих неструмовідних (в нормальному режимі роботи) частин, які можуть опинитись під напругою внаслідок пошкодження ізоляції електроустановки.

Конструктивно заземлення виконується у вигляді декількох вертикальних стержньових заземлювачів, які занурені в землю на певну глибину і з'єднані горизонтальною з'єднувальною смугою. Заземлювальні провідники з'єднують частини електричної установки, які можуть опинитися під напругою в аварійному стані, зі з'єднувальною смугою.

Опір заземлення в значній мірі залежить від питомого опору ґрунту  $\rho$ , Ом. Питомий опір ґрунту залежить від характеру ґрунту, а також від пори року. Найбільшу величину він має в холодний період у північних районах при промерзанні ґрунту або в теплий період в південних районах, коли ґрунт найбільш сухий

**Таблиця 6.1 – Допустимі опори заземлювального пристрою**

Характеристика установок	Потужність трансформатора	Допустимий опір заземлювального пристрою, Ом
Електроустановки напругою до 1000 В	Установки з ізольованою нейтраллю: – потужності генераторів та трансформаторів 100 кВт і менше;	10 Ом
	– потужності генераторів та трансформаторів більше 100 кВт	4 Ом

Одним з головних питань експлуатації електрогосподарства підприємства є забезпечення безпеки обслуговування електрообладнання. При цьому необхідно прагнути повністю уникнути можливості електротравматизму.

**Заземлюючим пристроєм** називають сукупність заземлювача та заземлюючих провідників.

**Заземлювачем** називають провідник (електрод), або сукупність електрично з'єднаних між собою провідників (електродів), які безпосередньо контактують із землею. Заземлювачі можуть бути штучні й природні, тобто металеві водопровідні труби, залізобетонні та металеві конструкції, які

пролягають у землі. Для штучних заземлювачів використовують вертикальні та горизонтальні електроди (металеві труби, прутки, листи заліза).

Провідники, що заземлюють, являють собою металеві провідники, що з'єднують частини електроустановки, яка заземлюється, із заземлювачем.

Заземленням якої-небудь частини електроустановки називають навмисне електричне з'єднання її із заземлюючим пристроєм.

Опір заземлюючого пристрою – це відношення напруги на пристрої, що заземлює, до струму, що стікає із заземлювача в землю.

В електроустановках напругою до 1000 В і вище безпека людей повинна забезпечуватися правильно виконаним заземлюючим пристроєм. При цьому як заземлювачі повинні бути в першу чергу використані природні заземлювачі, тобто металеві конструкції, арматура залізобетонних конструкцій, трубопроводи й устаткування, що мають надійне з'єднання з землею у випадках, що допускаються ППЕ. Якщо ці заземлювачі мають опір, що задовольняє вимогам ППЕ, то пристрій штучних заземлень не потребує.

В електроустановках із глухозаземленою нейтраллю при замиканнях на заземлені частини повинне бути забезпечене надійне автоматичне відключення пошкоджених ділянок мережі з найменшим часом відключення. З цією метою на електроустановках напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю є обов'язковим металевий зв'язок корпусів електроустаткування із заземленою нейтраллю електроустановки.

До частин, що підлягають заземленню, відносяться:

- корпуси електричних машин, трансформаторів, апаратів, світильників;
- приводи електричних апаратів;
- вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів;
- каркаси розподільних щитів, щитів керування, щитків і шаф;
- металеві конструкції розподільних пристроїв, металеві кабельні конструкції, металеві корпуси кабельних муфт, металеві оболонки і броня контрольних і силових кабелів, металеві оболонки проводів, сталеві труби електропроводки та інші металеві конструкції, зв'язані з установкою електроустаткування.

Як природні заземлювачі можуть використовуватися:

- прокладені під землею водопровідні та інші металеві трубопроводи (за винятком трубопроводів паливних рідин, паливних чи вибухових газів, а також трубопроводів, покритих ізоляцією для захисту від корозії);
- обсадні труби;
- металеві конструкції та арматура залізобетонних конструкцій будинків і споруд, що мають з'єднання з землею;

- металеві шпунти гідротехнічних споруд;
- свинцеві оболонки кабелів, прокладених у землі (не допускається використання як природних заземлювачів алюмінієвих оболонок кабелів).

Як штучні заземлювачі можна застосовувати вертикально занурені сталеві труби, кутову сталь, металеві стрижні; горизонтально покладені сталеві смуги, круглу сталь.

Найменші розміри сталевих штучних заземлювачів згідно з ППЕ:

- діаметр круглих (пруткових) заземлювачів, мм
 

не оцинкованих	10,
оцинкованих	6;
- товщина прямокутних заземлювачів, мм 4;
- переріз прямокутних заземлювачів, мм<sup>2</sup> 48;
- товщина полиць кутової сталі, мм 4;

Як штучні заземлювачі допускається застосування заземлювачів з електропровідного бетону.

Відповідно до вимог ППЕ найбільший опір пристроїв, що  $R_3$  заземлюють, не повинен перевищувати

- в установках напругою вище 1000 В з великими струмами замикання на землю  $I_3 \geq 500 \text{ A}$  ( $R_3 \leq 0.5 \text{ Ом}$ );
- в установках напругою вище 1000 В з малими струмами замикання на землю  $I_3 < 500 \text{ A}$  ( $R_3 \leq 250/I_3 \text{ Ом}$ ), але не більше 10 Ом, де  $I_3$  - розрахунковий струм замикання на землю, А;
- при використанні заземлюючого пристрою одночасно для електроустановок напругою вище і нижче 1000 В  $R_3 \leq 125/I_3 \text{ Ом}$  повинні виконуватися вимоги до заземлення (занулення) установок до 1000 В;
- в установках напругою нижче 1000 В з ізольованою  $R_3 = 4 \text{ Ом}$  нейтраллю, а при потужності генераторів і трансформаторів  $\text{kB} \cdot \text{A}$  100 і  $R_3 \leq 10 \text{ Ом}$  менше;
- в установках напругою до 1000 В з глухозаземленої  $R_3 \leq 2.4 \text{ Ом}$  нейтраллю чи 8 Ом при лінійних напругах 660, 380 чи 220 В; при цьому опір заземлювача, розташованого в безпосередній близькості від нейтралі чи генератора трансформатора, повинен бути не більше 15, 30 чи 60 Ом при лінійних напругах відповідно 660, 380 чи 220 В.

На повітряних лініях електропередачі занулення повинно здійснюватися нульовим робочим проводом, прокладеним на тих же опорах, що і фазні проводи. На кінцях повітряних ліній (чи відгалужень) довжиною більше 200 м, а також на введеннях від повітряних ліній до електроустановок, що

підлягають зануленню, мають бути виконані повторні заземлення нульового робочого проводу.

Загальний опір розтіканню заземлювачів усіх повторних заземлень нульового робочого проводу кожної повітряної лінії не повинен бути в будь-який час року більше 5, 10 і 20 Ом, а кожного з повторних заземлювачів – не більше 15, 30 і 60 Ом при лінійних напругах відповідно 660, 380 і 220 В. При питомому опорі землі  $\rho > 100$  Ом допускається збільшувати зазначені норми в  $0.01 \cdot \rho$  раз, але не більше десятиразового збільшення.

Опір заземлення необхідно періодично контролювати, так як з причини корозії заземлювачів або через їх механічне пошкодження він може перевищити допустиму величину. Контроль заземлювальних пристроїв проводять перед введенням в експлуатацію і періодично кожного року (при найбільшому підсиханні і найбільшому промерзанні ґрунту).

## **2.1. Методи вимірювання опору заземлюючого пристрою**

Залежно від місцевих умов і допустимої похибки для вимірювання опору ЗП можуть використовуватись такі методи:

- амперметра-вольтметра – найпростіший і найточніший метод (використовується під час випробування заземлювачів з опором до 1 Ом);
- “трьох земель”;
- вимірювання спеціальними приладами (М-416, Ф-4103, МС-08).

**2.1.1. Метод амперметра-вольтметра** полягає у вимірюванні сили струму, який перебігає через заземлюючий пристрій  $R_x$  і допоміжний заземлювач  $R_\theta$ , та напруги на ЗП відносно до іншого заземлювача – зонда  $R_z$ , розміщеного у зоні нульового потенціалу (рис. 2.2). Опір розтіканню струму заземлювача визначається за показами вольтметра й амперметра:

$$R_x = \frac{U}{I}. \quad (2.5)$$

Джерелом струму може бути розподільний або знижувальний трансформатор номінальною потужністю  $S_n \leq 5-10$  кВА. Для вимірювання потрібно використовувати вольтметр з великим внутрішнім опором, набагато більшим порівняно з опором допоміжних електродів. Допоміжний заземлювач  $R_\theta$  і зонд  $R_z$  установлюють на такій відстані один від одного і від заземлюючого пристрою  $R_x$ , щоб їхні поля розтікання не перетинались. Схеми розміщення електродів при вимірюванні опору ЗП зображені на рис. 2.3. Допоміжний електрод і зонд являють собою сталені стержні діаметром не менше 5 мм. Їх забивають на глибину 0,5 ... 0,7 м у ґрунт.

Вимірювання потрібно проводити тільки на змінному струмі, щоб

уникнути похибки внаслідок поляризації вологи біля заземлювачів і впливу блукаючих постійних струмів у ґрунті.

**2.2. Метод "трьох земель"** дає можливість використовувати вольтметр з малим опором, але при вимірах виникає істотна похибка – до 10 %, бо опір допоміжних електродів значно більший опору заземлення, а також виявляється вплив побічних струмів.

Для цього необхідно послідовно скласти три схеми ("а", "б", "в" рис. 2.4) і визначити суму опорів відповідної пари заземлювачів.

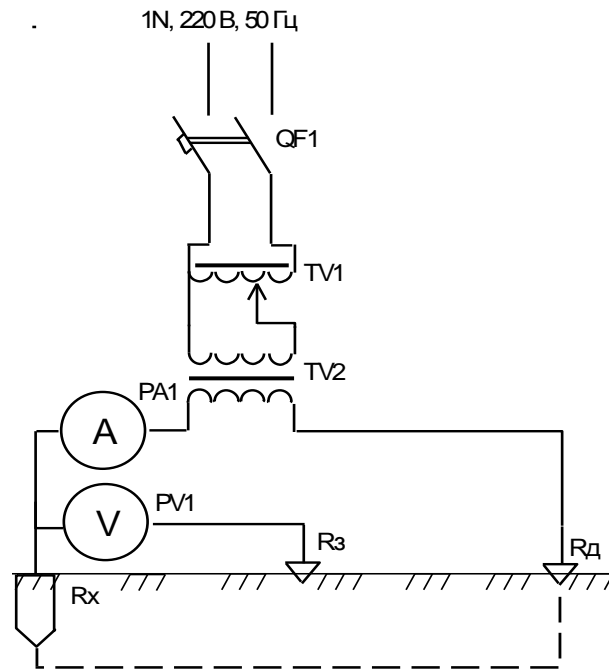


Рис. 2.2. Схема вимірювання опору заземлювача методом амперметра-вольтметра

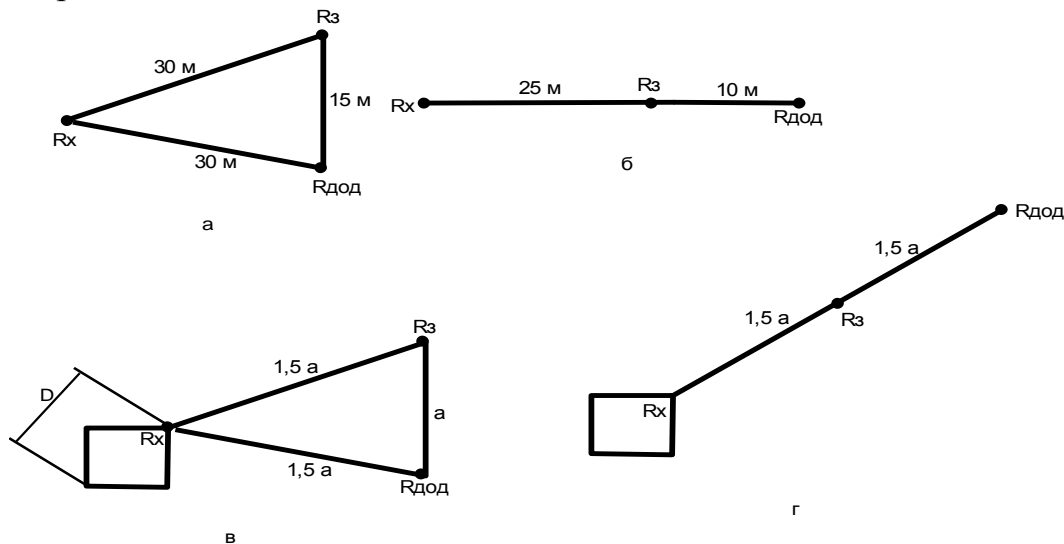


Рис. 2.3. Схема розміщення електродів при вимірюванні опору заземлювача:

Якщо  $D \leq 10$  м,  $a = 20$  м;  
якщо  $10 \leq D \leq 40$  м,  $a \geq 40$  м;

якщо  $D \geq 40$  м,  $a \geq D$ .

*a i б* – відповідно дво- і однопроменеві схеми для поодиноких заземлювачів;

*в і г* – відповідно дво- і однопроменеві схеми для складних заземлювачів.

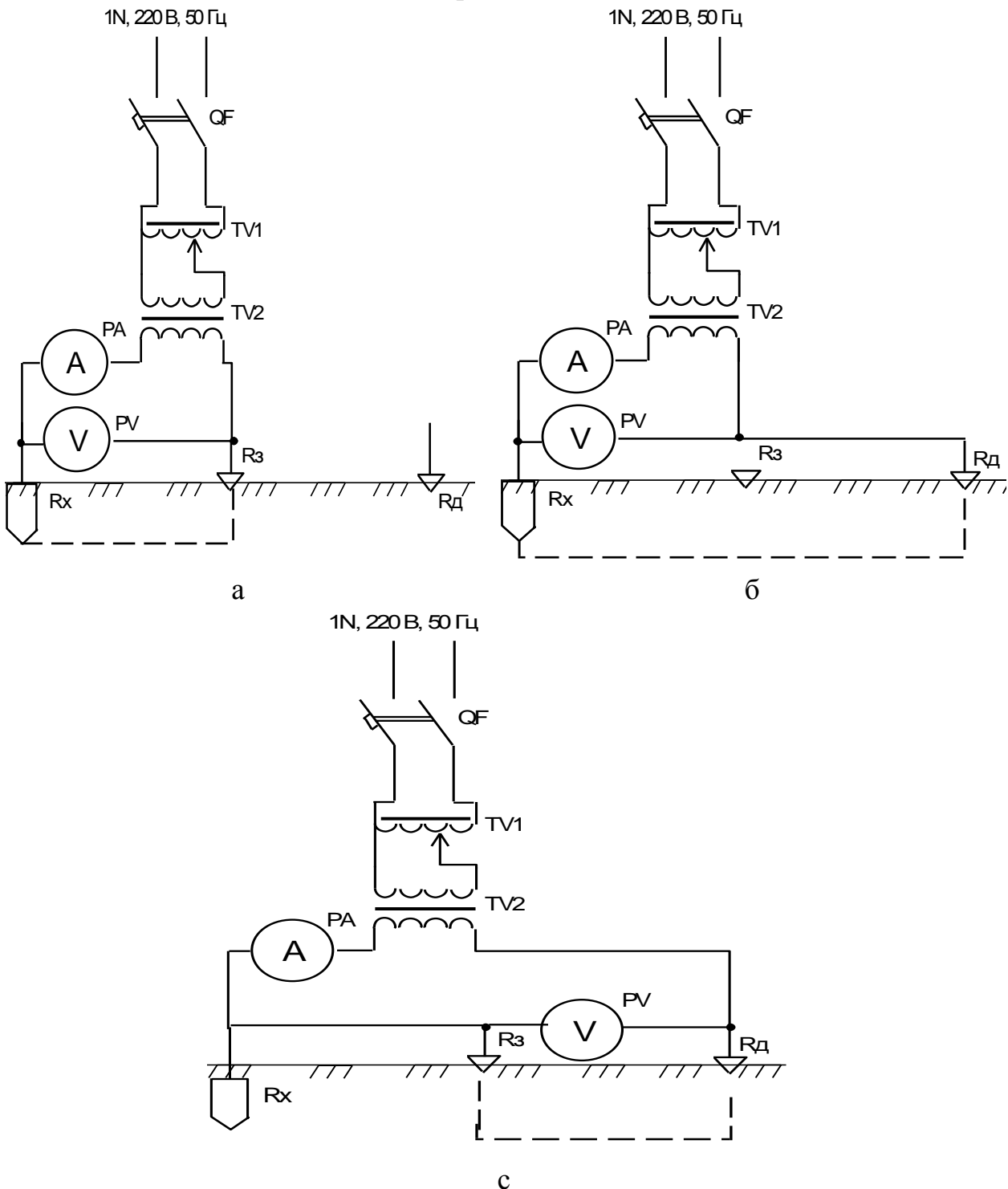


Рис. 2.4. Схеми вимірювання опору заземлювача методом "трьох земель"

$$R_x + R_3 = \frac{U_1}{I_1} = R_1 \quad - \text{схема "а"};$$

$$R_x + R_D = \frac{U_2}{I_2} = R_2 \quad - \quad \text{схема "б"}; \quad (2.6)$$

$$R_D + R_3 = \frac{U_3}{I_3} = R_3 \quad - \quad \text{схема "в"}.$$

Тоді величина опору заземлювача:

$$R_x = \frac{R_1 + R_2 - R_3}{2}. \quad (2.7)$$

**2.3. При вимірюванні опору  $R_x$  спеціальними приладами** застосовують такі: М-416, Ф-4103, МС-08 (знятий з виробництва) та сучасні електронні РУ183. Ф-4103-М1. Технічна характеристика приладів наведена у дод. Д.

**Вимірювач опору заземлення М-416** призначений для вимірювання опору ЗП, активних опорів, а також для визначення питомого опору ґрунту.

Вимірювання опору заземлення приладом ґрунтується на компенсаційному методі з використанням допоміжного заземлювача  $R_D$  і потенціального зонда  $R_3$ .

Схема приладу (рис. 2.5) складається із трьох функціональних вузлів: джерела постійного струму, перетворювача постійного струму на змінний і вимірюваного пристрою.

Джерело постійного струму складається із трьох послідовно з'єднаних сухих елементів і призначене для живлення перетворювача і підсилювача вимірювального пристрою.

Перетворювач забезпечує живлення змінним струмом вимірювальних кіл та виробляє опорну напругу для фазового детектора.

Вимірювальний пристрій забезпечує можливість компенсації напруги, індикацію моменту компенсації та підрахунок вимірюваної величини.

У випадку вимірювання вихід перетворювача підключається до допоміжного заземлювача  $R_D$  (затискач 4) і через первинну обмотку трансформатора TV до вимірюваного опору (затискач 1).

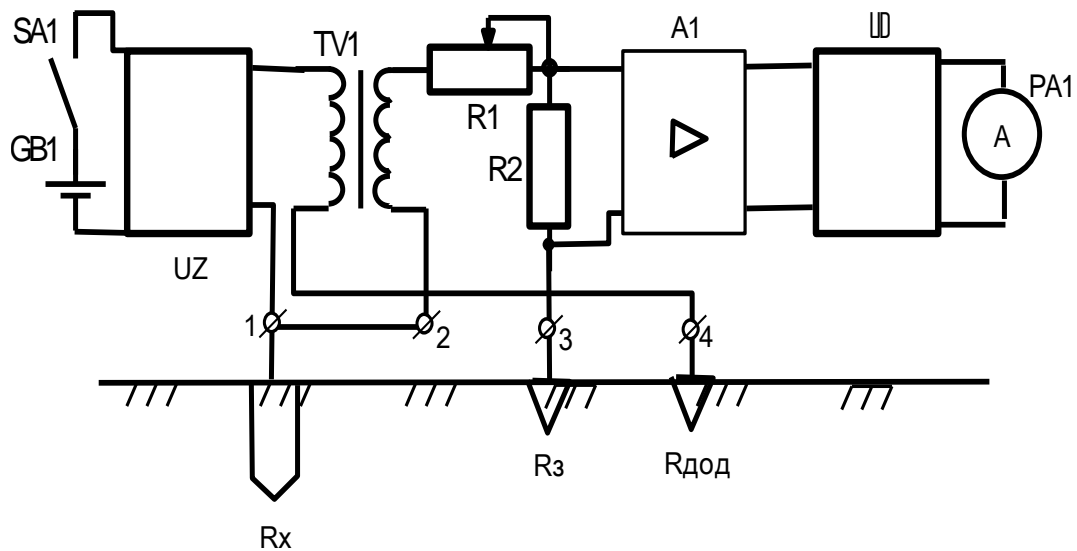


Рис. 2.5. Спрощена схема вимірювача М-416:

GB – джерело живлення; SB – вимикач; UZ – перетворювач; TV1 – трансформатор; R1 – реохорд; A1 – підсилювач; UD – фазовий детектор; PA – мікроамперметр

З реохорда  $R_1$  навантаження подається через транзисторний підсилювач (для підвищення чутливості приладу) на стрілочний індикатор магнітоелектричної системи.

За певного положення реохорда настає компенсація. Це значить, що падіння напруги між затискачами 2 і 3 на опорі заземлювача і на реохорді стають рівними між собою, але з протилежним знаком, а падіння напруги на резисторі і струм у колі індикатора дорівнюють нулю. На реохорд нанесена шкала в омах, за якою і визначають вимірюваний опір при настанні компенсації.

Заглиблення в ґрунт допоміжного електрода і зонда має бути не меншим 500 мм, а їх діаметр – не меншим 5 мм. Для запобігання збільшення перехідного опору допоміжного електрода і зонда стержні потрібно забивати у ґрунт прямими ударами, намагаючись не розхитувати їх.

Для підключення невідомого опору заземлювача  $R_x$ , допоміжного заземлювача  $R_d$  і зонда  $R_3$  на приладі є чотири затискачі, позначені цифрами “1”, “2”, “3”, “4”.

Для грубих вимірювань і при порівняно великих значеннях опору заземлювача затискачі “1” і “2” з’єднують перемичкою і прилад підключають до вимірюваного об’єкта за тризатискачевою схемою (рис. 2.6, б).

Для точних вимірів знімають перемичку із затискачів “1” і “2” і підключають прилад до вимірюваного об’єкта за чотирізатискачевою схемою (рис. 2.6, а). Це дозволяє запобігти похибці, внесений опором з’єднувальних проводів і контактів.



**Підготовка приладу до роботи.** Встановити перемикач у положення "Контроль 5 Ом". Натиснути кнопку і обертанням ручки "Реохорд" досягти встановлення стрілки індикатора на нульову відмітку. На шкалі реохорда у цьому випадку повинне бути показання  $(5 \pm 0,3 \text{ Ом})$ .

**Вимірювання опору ЗП.** Для проведення виміру підключити заземлювач (опір якого вимірюється), допоміжний заземлювач і зонд до приладу.

Вимірювання проводити у такій послідовності:

1. Перемикач встановити у положення "\*1".
2. Натиснути кнопку SB і, обертаючи ручку "Реохорд", досягти максимального наближення стрілки індикатора до нуля.
3. Результат вимірів дорівнює добутку показів шкали реохорда на множник.
4. Якщо невідомий опір перевищує 10 Ом, перемикач встановити у положення "\*5", "\*20" або "\*100" і повторити операцію 2.

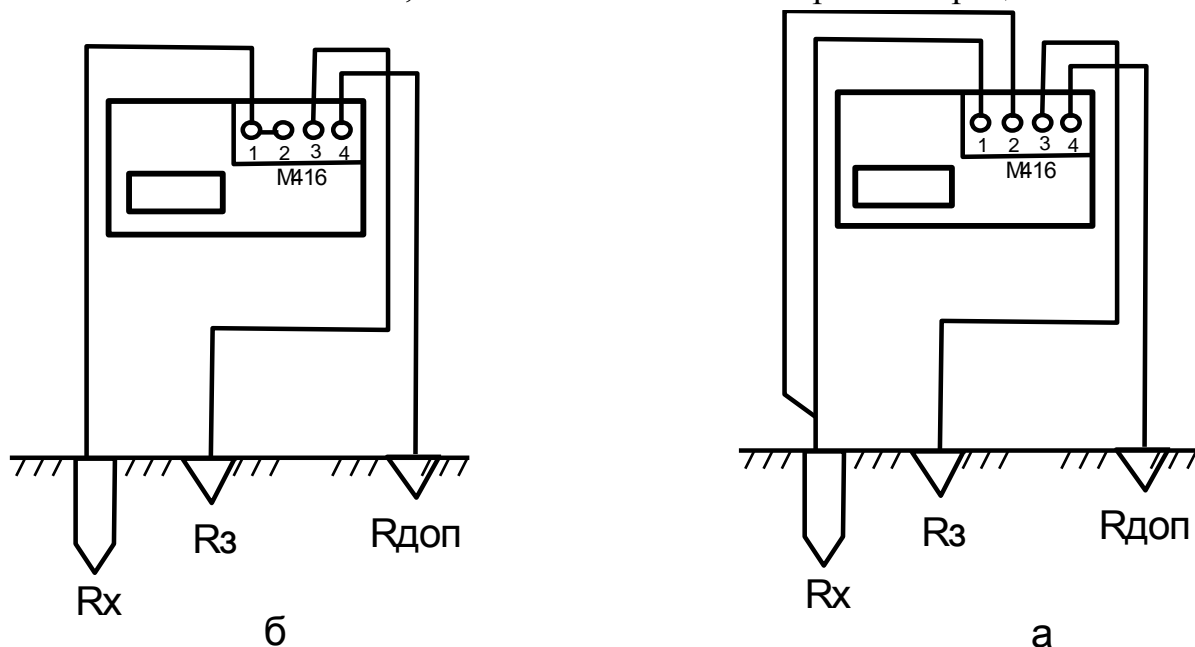


Рис. 2.6. Схема вимірювання опору заземлення вимірювачем М-416:

а – чотирипровідна; б – трипровідна

У приладі **Ф-4103** порівняно з вимірювачем М-416 нижня межа вимірів зменшена до 0,03 Ом, а великий вхідний опір (у 2000 разів більший порівняно з М-416 і становить 840 кОм) дозволяє збільшити опір струмових і потенціальних електродів відповідно до 1000 і 2000 Ом і проводити вимірювання в діапазоні  $R = 0,03 \div 0,3 \text{ Ом}$ .

Функціональна схема вимірювача Ф-4103 зображена на рис. 2.7. Вона складається із генератора вимірюваного струму ГС та вибіркового вольтметра ВВ із затискачами Т1,Т2 і П1, П2 для підключення відповідно струмових та потенціальних електродів.

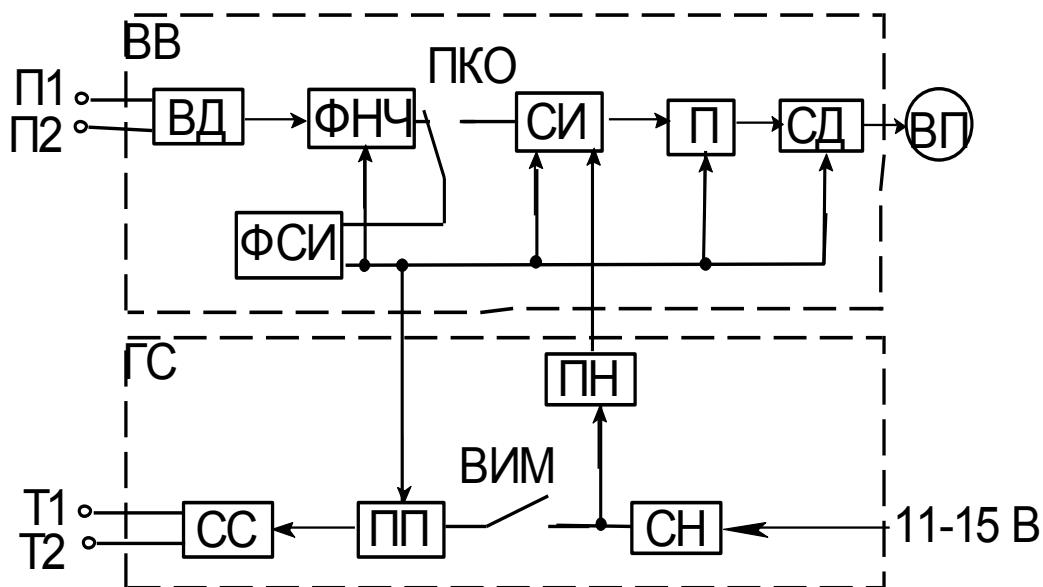


Рис. 2.7. Функціональна схема вимірювача Ф-4103.

Генератор вимірюваного струму призначений для формування стабілізованого вимірюваного струму прямокутної форми частотою 280 Гц. Він складається із стабілізатора напруги СН, перетворювача напруги ПН, підсилювача потужності ПП і стабілізатора вимірюваного струму СС. Підсилювач потужності живиться від стабілізатора напруги при натиснутій кнопці ВИМ.

Вибірковий вольтметр на фоні перешкод виділяє корисний сигнал частотою 280 Гц, пропорційний невідомому опору. Вольтметр складається із вхідного дільника ВД, фільтра нижніх частот ФНЧ, ключа ПКО, синхронного інтегратора СИ, підсилювача П, синхронного детектора СД, формувача синхронних імпульсів ФСИ, вимірювального приладу ВП, яким є мікроамперметр типу М-93 на струм 200 мкА. Функціональні вузли і блоки складені на напівпровідникових та інтегральних мікросхемах з використанням печатного монтажу, напруга живлення становить 11 — 15 В від сухих елементів.

## 2.4. Питомий опір ґрунту вимірюється двома методами: пробного електрода та вертикального зондування.

**2.4.1. Вимірювання методом пробного електрода** проводиться аналогічно вимірюванню опору ЗП. Тільки до затискачів 1 і 2 замість  $R_x$  приєднується додатковий електрод у вигляді металевого стержня або труби відомих розмірів. У місцях забивання стержня, допоміжного електрода і зонда прибирають рослинний та насипний покрови.

Питомий опір ґрунту  $\rho$ , Ом·м, на глибині забивання електрода визначають за формулою:

$$\rho = R \frac{2\pi l}{\ln(4l/d)}, \quad (2.8)$$

де  $R$  – опір, виміряний вимірювачем опору заземлення, Ом;

$l$  – довжина електрода, м;

$d$  – діаметр електрода, м.

**2.4.2. Метод вертикального електричного зондування** базується на дослідженні питомого опору ґрунту шляхом створення штучного електричного поля. Для цього використовуються триполюсні схеми Гумеля та Шлюмберже і чотириполюсна схема Веннера.

На ділянці землі по прямій лінії забиваються чотири стержні на відстані “а” один від одного (рис.2.8). Глибина забивання стержнів не повинна перевищувати 1/20 відстані “а”.

Питомий опір ґрунту визначається за формулою

$$\rho = 2 \pi R a, \quad (2.9)$$

де  $R$  – виміряний опір, Ом;

$a$  – відстань між електродами, м.

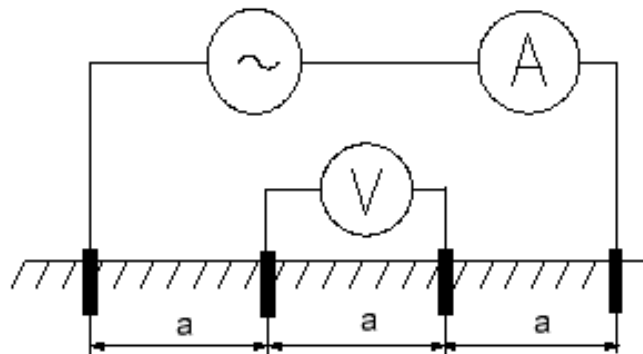


Рис. 2.8. Чотириполюсна схема Веннера

Методика визначення питомого опору ґрунту

1. Визначається розрахунковий питомий опір ґрунту, Ом, відповідно до заданого варіанту завдання

$$\rho_{\text{расч}} = \psi \rho \quad (1)$$

де  $\psi$  – коефіцієнт сезонності (таблиця 3);  $\rho$  – табличне значення питомого опору ґрунту, Ом (таблиця 4).

Таблиця 3. Ознаки кліматичних зон і коефіцієнти сезонності

Характеристика кліматичної зони	Кліматична зона			
	I	II	III	IV
Середня багаторічна низька температура, °С	від -20 до -15	від -14 до -10	від -10 до 0	від 0 до +5
Тривалість замерзання вод, днів	190-170	150	100	0
Коефіцієнт сезонності для вертикального електроду довжиною 3 м	1,7	1,5	1,3	1,1

Таблиця 4. Значення питомого електричного опору різних ґрунтів

Ґрунт	Значення $\rho$ , Ом м
Глина	40
Суглинок	100
Чорнозем	20