

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний авіаційний університет**  
**АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
**Кафедра комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри КЕСТ

Квасніков В. П. \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**  
**ЗА НАПРЯМОМ 6.050701 «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ»**

**Тема: “Система селективного захисту в мережах 6(10)кВ з заземленням  
нейтралі через резистор”**

Виконавець: Вовк І.А \_\_\_\_\_

Керівник: д.т.н., доцент, Орнатський Дмитро Петрович \_\_\_\_\_

Консультант розділу \_\_\_\_\_

«Охорона навколишнього середовища»: Гай А.Е. \_\_\_\_\_

«Охорона праці»: Занько С.М. \_\_\_\_\_

Нормоконтролер: Катаєва М. \_\_\_\_\_

**Київ 2020**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет аерокосмічний \_\_\_\_\_

Кафедра комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій \_\_\_\_\_

Напрямок (спеціальність, спеціалізація) 6.050701 «Електротехніка та \_\_\_\_\_

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ В.П. Квасніков

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020р.

### ЗАВДАННЯ

#### на виконання дипломного проекту

Вовк Іван Андрійович

1. Тема проекту « \_\_\_\_\_ Система селективного захисту в мережах 6(10)кВ з заземленням нейтралі через резистор \_\_\_\_\_ » затверджена наказом ректора від « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

2. Термін виконання проекту: з 5.10.2020 року по 25.12.2020 року

3. Вихідні дані до проекту: .....

4. Зміст пояснювальної записки: .....

5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: .....

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1.	Вивчення інформаційних джерел	5.10-15.10.20	Виконано

2.	Вивчення технічної літератури	16.10-25.10.20	Виконано
3.	Вступ. Основні поняття та терміни	26.10-5.11.20	Виконано
4.	Ознайомлення з нормативною документацією	6.11-24.11.20	Виконано
5.	Оформлення роботи. Висновки	8.06–19.06.19	Виконано

#### 5. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання ви- дав	Завдання прийняв
Охорона на- вколишнього середовища	Д.т.н., професор Гай А.Е.	25.11.2020	30.11.2020
Охорона праці	к.т.н., доцент Занько С.М.	25.11.2020	30.11.2020

7. Дата видачі завдання: “ 16 ” вересня 2020 р.

Керівник дипломної роботи (проекту) \_\_\_\_\_ Орнатський Д.П.  
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Вовк І.А.  
(підпис випускника) (П.І.Б.)

## 1 розділ

багатьох країнах світу, в тому числі в Білорусі і Росії, широко поширена система ізольованою нейтралі і система компенсованій через дугогасящий реактор (ДГР) нейтралі мереж 6-35 кВ.

Основною перевагою таких систем заземлення нейтралі є те, що навіть в режимі однофазних замикань на землю (ОЗЗ) представляється можливим певний час здійснювати електропостачання споживачів без відключення пошкодженої ділянки мережі. Однак зазначене перевагу завжди супроводжується негативними явищами:

при металевому ОЗЗ напруга на непошкоджених фазах підвищується до лінійного, що становить підвищену небезпеку для ізоляції кабельних мереж з тривалим терміном експлуатації; можливе виникнення значних дугових перенапруг, які можуть викликати перехід ОЗЗ в двофазні і трифазні замикання, багатомісні пошкодження ізоляції;

режим ОЗЗ може призводити до розвитку ферорезонансним явищ і пошкодження трансформаторів напруги - в разі резонансної настройки ДГР, ОЗЗ супроводжується малими струмами замикання на землю, що виключає можливість створення простої, надійної і селективної захисту, здатної виявити пошкоджені приєднання;

підвищується небезпека ураження людей і тварин з -за тривалого існування ненормального режиму роботи електричної мережі.

### Варіанти заземлення через резистор

При ОЗЗ в мережах з заземленою через резистор нейтраллю у всіх приєднання протікають власні ємнісні струми, а в пошкодженому приєднанні, крім того, протікає активний струм, створюваний резистором. Це принципова відмінність дозволяє вирішити дві важливі задачі:

елективно визначити пошкоджене приєднання (за рахунок застосування простих релейних захистів, що діють на відключення або сигнал) і негайно вжити заходів щодо усунення пошкодження; істотно обмежити рівень дугових перенапруг при ОЗЗ і виключити ферорезонансні процеси (при цьому з'являється можливість захисту устаткування ПС за допомогою ОПН з більш низьким залишаються напругою при комутаційному імпульсі). Застосовуються три варіанти заземлення нейтралі мереж 6-35 кВ через резистор: нізкоомное, високоомне і комбіноване.

Низькоомне резистивне заземлення нейтралі застосовується у випадках, коли ОЗЗ має бути селективно відключено протягом мінімально можливого часу. При цьому струм в нейтралі повинен бути достатнім для роботи релейного захисту на відключення.

Високоомне резистивне заземлення нейтралі доцільно застосовувати у випадках, коли мережа повинна мати можливість тривалої роботи в режимі ОЗЗ до виявлення місця ОЗЗ. При цьому струм в нейтралі повинен бути такої величини, щоб виключити появу небезпечних дугових перенапруг і зниження електробезпеки, але бути достатньою для визначення пошкодженого приєднання і роботи релейного захисту на сигнал.

Комбіноване заземлення нейтралі здійснюється шляхом приєднання високоомного резистора паралельно ДГР і дозволяє знижувати рівень перенапруг при неточно налаштуванні ДГР, а також сприяє роботі на сигнал релейних захистів. Підходи до вибору резистора Вибір типу резистора для заземлення нейтралі проводиться за трьома основними критеріями: Резистор повинен забезпечувати зниження рівня дугових перенапруг;

Опір резистора в нейтралі має гарантувати протікання активного струму в пошкодженому приєднанні, достатнього для дії релейних захистів на сигнал або на відключення пошкодженого приєднання; При заземленні нейтралі через резистор повинні дотримуватися умови електробезпеки для людей при ОЗЗ на ПС і РП з урахуванням існуючого нормування величини допустимої напруги дотику. Основний параметр резистора - його активний опір  $R_p$ , величина якого вибирається за критерієм зниження рівня перенапруг і потім може коригуватися за умовами роботи релейного захисту та умові електробезпеки.

1-й критерій вибору резистора.

Зниження рівня перенапруг

Аналітично та експериментально встановлено, що найбільша ефективність захисту мереж від дугових перенапруг досягається за умови, що активна складова струму замикання  $I_{za}$ , створювана резистором, більше сумарного емнісного струму мережі  $I_c$ .

При певні труднощі виконання умови  $I_{za} > I_c$  допускається при виборі опору резистора використовувати менш жорстку умову  $I_{za} > 0,5 \cdot I_c$ .

2-й критерій вибору резистора.

Гарантія роботи РЗА

Захист від ОЗЗ в мережі організується на всіх приєднаннях. Встановлюється максимальний струмовий захист нульової послідовності з дією на відключення приєднань без витримки часу при низькоомному резисторному заземленні нейтралі і з дією на сигнал при високоомному резисторному заземленні нейтралі і при комбінованому заземленні нейтралі. Селективність захистів нульової послідовності приєднань визначається тим, що активна складова струму ОЗЗ протікає тільки через пошкоджене приєднання. Тип резистора за критерієм роботи РЗА вибирається відповідно до умовою:  $I_z > I_{c.z.}$ ,

де  $I_z$  - струм замикання на землю за вирахуванням ємнісного струму розглянутого приєднання, А;

$I_{c.z.}$  - максимальний струм уставки захисту з усіх приєднань, А.

Струм уставки захисту  $I_{c.z.}$  визначається за виразом:

$$I_{c.z.} = K_n * K_s * I_{сп}$$

де  $I_{сп}$  - первинний ємнісний струм нульової послідовності, що протікає з даного приєднання при ОЗЗ на даному приєднанні, А;

$K_n$  - коефіцієнт надійності, що дорівнює 1,2;

$K_s$  - коефіцієнт, що враховує кидок ємнісного струму при дугових перенапруженнях, який приймається рівним: для реле РТЗ-51 - 2-2,5; для реле РТЗ-50 - 3-4; для реле РТЗ-40 - 4-5;

для цифрових терміналів - 1,2.

Крім відключення пошкоджених приєднань, релейний захист, в разі необхідності, повинна діяти на відключення введення від трансформатора на секцію шин. Релейний захист може виконуватися спрямованої в трифазному виконанні.

Загальні принципи організації роботи РЗА при заземленні нейтралі мереж 6-35 кВ через резистор:

нізкоомне резистивне заземлення нейтралі проводиться в випадках, коли ОЗЗ має бути селективно відключено за мінімально можливий час;

високоомне резистивне заземлення нейтралі і комбіноване заземлення нейтралі вико-

нуються, коли мережа повинна мати можливість тривалої роботи при ОЗЗ. Величина опору резистора визначається в основному необхідністю зниження рівня перенапруг і забезпечення величини струму ОЗЗ, достатнього для визначення пошкодженого приєднання за допомогою простих струмових захистів, які працюють на сигнал;

при відмові захистів з відключення пошкодженого приєднання повинно бути виконано резервне дію захистів від ОЗЗ з відключення секції, до якої приєднано пошкоджене приєднання, щоб виключити перекид мережі в режим ізольованою нейтралі і захистити резистор від пошкодження; застосування АПВ на кабельних лініях після відключення ОЗЗ небажано з- за можливого переходу ОЗЗ в міжфазова КЗ. Застосування АПВ на повітряних лініях допустимо, а в особливих випадках обов'язково; в мережах з високоомним заземленням нейтралі переважно застосування цифрових захистів, об'єднаних в локальну мережу, для швидкого визначення пошкодженого приєднання;

для виключення неселективної роботи захистів від ОЗЗ схеми АВР повинні відключати один з резисторів, якщо при низькоомними резистивном заземлении нейтралі можливо харчування енергооб'єкта від резервних джерел, що мають таке ж заземлення нейтралі.

3-й критерій вибору резистора.

забезпечення електробезпеки

На ПС 110 кВ і вище, що включають мережі 6-35 кВ з заземленою через резистор нейтраллю, умови електробезпеки виконуються завжди, т. К. Струм, який стікає в землю із нейтралі при ОЗЗ, в мережі 6-35 кВ завжди значно менше струму ОКЗ в мережі 110 кВ і вище.

На ПС 110 кВ і вище, що включають мережі 6-35 кВ з заземленою через резистор нейтраллю, умови електробезпеки виконуються завжди, т. К. Струм, який стікає в землю із нейтралі при ОЗЗ, в мережі 6-35 кВ завжди значно менше струму ОКЗ в мережі 110 кВ і вище. На ПС 6-35 кВ, що включають мережі з заземленою через резистор нейтраллю, електробезпека може бути забезпечена на основі діючих рекомендацій ПУЕ-85 за нормою на допустимий опір заземлюючого пристрою (ЗУ) ПС. Якщо виконати ЗУ по даній нормі неможливо,

захисні заходи при низькоомними заземлених нейтралі можна здійснити на основі системи нормування умов електробезпеки по допустимому напрузі дотику. В цьому випадку електробезпека забезпечується за рахунок швидкого відключення пошкодженої лінії, що дозволяє відповідно до ГОСТ 12.1.038 (табл. 1) приймати для людини підвищені значення напруги дотику в порівнянні з тривалим його впливом.

**Таблиця 1.**

**Предельно допустимые значения напряжения прикосновения в электроустановках с изолированной нейтралью напряжением выше 1 кВ переменного тока частотой 50 Гц (ГОСТ 12.1.038).**

Допустимое напряжение прикосновения Упр.доп., В	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
Время воздействия, с	0,01- 0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	св. 1,0

Гранично допустимі значення напруги дотику в електроустановках з ізольованою нейтраллю напругою вище 1 кВ змінного струму частотою 50 Гц (ГОСТ 12.1.038). Допустима напруга дотику Упр.доп., В 550 340 160 135 120 105 95 85 75 70 60 20 Час впливу, з 0,01-0,08 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1,0 св. 1,0 У Республіці Білорусь і в інших країнах СНД до теперішнього часу в електричних мережах 6-35 кВ застосовується система забезпечення умов електробезпеки на основі нормування величини опору заземлювального пристрою (ЗУ) RЗУ, яка відповідно до ПУЕ приймається рівною:

$$RЗУ = UЗУ / I_p \cdot 10 \text{ Ом,}$$

де  $I_p$  - розрахунковий струм замикання на землю, А;

$UЗУ$  - потенціал ЗУ, який дорівнює:

$$UЗУ = 125 \text{ В при загальному ЗУ електроустановок 6-35 кВ і 0,38 кВ;}$$

$$UЗУ = 250 \text{ В при ЗУ тільки електроустановок 6-35 кВ.}$$

Обидві зазначені системи нормування параметрів електробезпеки мереж середнього та низького напруги з фізичної сутності повинні бути тотожні. Обґрунтувати цю тотожність можна, запровадивши поняття допустимого коефіцієнта напруги дотику апр.доп, який характеризує найгіршу ступінь вирівнювання електричних потенціалів в місці розташування людини при дотику його до заземлених частин електроустановок. Напруга дотику (Упр, В) на території електроустановки одно:

$$U_{пр} = U_{ЗУ} \cdot a_{пр}, \quad a_{пр} < 1,$$

де  $a_{пр}$  - коефіцієнт напруги дотику, що характеризує ступінь вирівнювання електричних



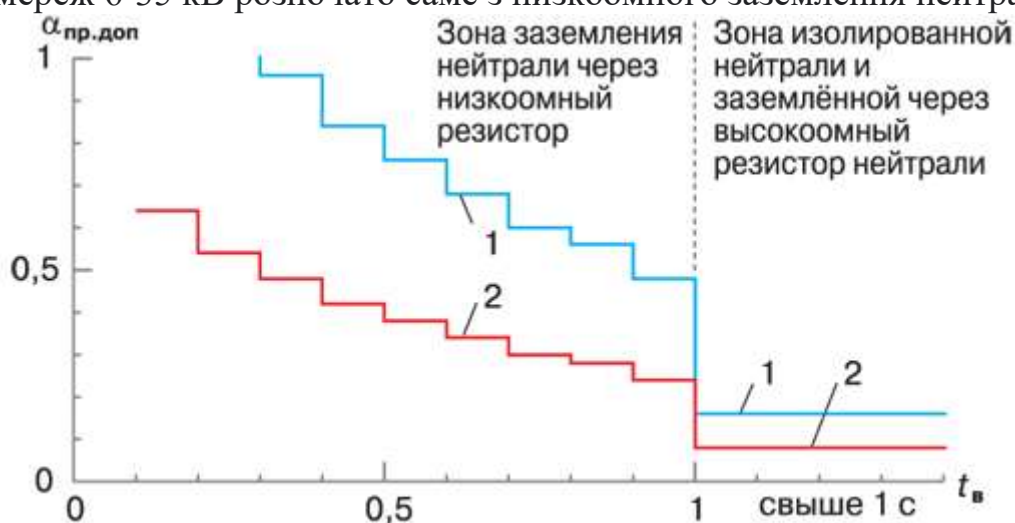
потенціалів з урахуванням перехідного опору між ногами людини і землею. Для допустимої напруги дотику і допустимого коефіцієнта напруги дотику отримаємо такі вирази:  $U_{пр.доп} = U_{ЗУ} \cdot \alpha_{пр.доп}$ ,  $\alpha_{пр.доп} = U_{пр.доп} / U_{ЗУ}$  1.

З цих виразів випливає, що при заданому значенні потенціалу  $U_{ЗУ}$  (125 В, 250 В) і заданому значенні  $U_{пр.доп}$  коефіцієнт  $\alpha_{пр.доп}$  однозначно пов'язує зазначені вище дві системи забезпечення умов електробезпеки в мережах середнього та низького напруги і може розглядатися як базовий параметр для оцінки тієї чи іншої системи заземлення нейтралі мереж 6-35 кВ відносно електробезпеки.

На рис. 1 визначено дві зони, що характеризують умови електробезпеки в електроустановках 0,38-35 кВ: зона заземлення нейтралі через низькоомний резистор і зона ізолюваною нейтралі і нейтралі, заземленою через високоомний резистор. Видно, що величина коефіцієнта  $\alpha_{пр.доп}$  в першій зоні значно більше, ніж у другій зоні. Коефіцієнт напруги дотику характеризує ступінь вирівнювання потенціалів, і його величина безпосередньо пов'язана з конструкцією ЗУ: чим менше його величина, тим складніша повинна бути конструкція ЗУ і, відповідно, навпаки.

Звідси випливає, що при стандартних конструкціях ЗУ заземлення нейтралі мереж 6-35 кВ і 0,38 кВ через низькоомний резистор має незаперечну перевагу перед ізолюваною нейтраллю і нейтраллю, заземленою через високоомний резистор.

З огляду на це, в Білоруської енергосистемі перехід на резистивну систему заземлення мереж 6-35 кВ розпочато саме з низькоомного заземлення нейтралі.



вfk.1. Залежність  $\alpha_{пр.доп}$  від часу впливу напруги на людину  $t_{в}$  для реального діапазону часу усунення пошкодження 1 - для випадку загального ЗУ електроустановок 6-35 і 0,38 кВ. 2 - для випадку ЗУ тільки електроустановок 6-35 кВ.

Резистивне заземлення нейтралі мереж 6 (10) кВ: схемні варіанти Низькоомне зазем-

лення нейтралі з можливістю відключення пошкоджених ділянок мережі доцільно застосовувати в тих мережах, де забезпечена необхідна ступінь резервування і автоматизації розподільних електричних мереж, систем електропостачання та технологічних процесів. У чисто кабельних мережах з високим ступенем резервування економічно і технічно вигідно перейти від компенсованої системи заземлення нейтралі до нейтралі, заземленою через низькоомний резистор, з відключенням пошкодженого приєднання без витримки часу.

На ПС, що живлять переважно повітряну мережу і не мають високого ступеня резервування, необхідно встановлювати високоомні резистори, що зменшують рівні перенапруг і час їх дії. Резистори можна встановлювати паралельно ДГР. Особливо сприятлива установка високоомного резистора при високому рівні напруги зсуву нейтралі, коли воно вище допустимого значення  $15\% U_{\phi}$ .

Резистивне заземлення нейтралі мереж 6-35 кВ: Техніко-економічне обґрунтування

При техніко-економічному обґрунтуванні доцільності резистивного заземлення нейтралі мереж 6-35 кВ необхідно оцінити чотири основні чинники.

Фактор перший.

Зміна параметрів однофазного замикання

У порівнянні з ізолюваною нейтраллю при резистивном заземленні нейтралі в мережах 6-35 кВ: збільшується струм ОЗЗ; знижується мінімум в 1,5-2,0 рази рівень дугових перенапруг при однофазних замиканнях; зменшується з кількох годин до кількох секунд тривалість впливу на ізоляцію дугових перенапруг (при перемикаються однофазних замиканнях) і лінійної напруги (при стійких замиканнях). Фактор другий.

Підвищення терміну служби ізоляції

При заземленні нейтралі мереж 6-35 кВ через низькоомний резистор в випадках ОЗЗ пошкоджене приєднання відключається, що обмежує тривалість впливу перенапруг на ізоляцію. У зв'язку з цим знижується ймовірність пробою ізоляції на непошкоджених приєднаннях та відповідно загальне число ОЗЗ.

На підставі ряду публікацій можна зробити висновок, що витрата внутрішнього ресурсу ізоляції при впливі імпульсів перенапруг в мережі 6-35 кВ при резистивном заземленні нейтралі не менше ніж в 2 рази нижче, ніж в мережі з ізолюваною нейтраллю. При цьому виключена можливість ферорезонансним явищ, що підвищує надійність роботи вимірювальних трансформаторів напруги та знижує не тільки простий мережі через їх пошкоджень, але і ймовірність неспрацьовування релейних захистів при пошкодженнях елементів мережі.

Фактор третій. Додаткові витрати на заземлення нейтралі мереж 6-35 кВ через резистор

Склад капітальних витрат на включення резистора в нейтралі мереж 6-35 кВ: проектування переходу мережі на режим заземленою через резистор нейтралі придбання резистора, спеціального трансформатора для його включення, трансформаторів струму для нейтралі і всіх ліній, що відходять, реле захисту, блоків живлення схем захисту та автоматики; монтаж осередки з трансформатором для підключення резистора; монтаж третього трансформатора струму (якщо відсутня трансформатор струму нульової послідовності) на кожній з відведених ліній напругою 6-10 кВ; монтаж і налагодження РЗА.

Фактор четвертий. Електробезпека.

Швидке відключення ліній при однофазних замиканнях на землю знижує ступінь небезпеки ураження електричним струмом людей і тварин, що опинилися поблизу місця ОЗЗ.

висновки Зараз широко застосовується система ізольованою нейтралі мереж 6-35 кВ (без компенсації і з компенсацією ємнісних струмів), яка по своїй фізичній суті має низку принципів недоліків, пов'язаних з режимом ОЗЗ. Основні з них - це різного роду перенапруження і підвищена небезпека ураження людей і тварин електричним струмом. У зв'язку з цим необхідно найближчим часом провести модернізацію системи заземлення нейтралі мереж 6-35 кВ на основі останніх досягнень науки і техніки в даній області.

Принципова можливість такої модернізації - це перехід на резистивну систему заземлення нейтралі. Резистивна система заземлення нейтралі мереж 6-35 кВ забезпечує зниження рівня дугових перенапруг, селективне виявлення пошкодженого приєднання, його швидке відключення і поліпшення умов електробезпеки.

## 2 розділ

До пошкоджень в мережах напругою 6-10 кВ відносяться замикання однієї фази на землю і багатозазні (дво-і трофазні) КЗ, в тому числі замикання на землю різних фаз (подвійні і потрійні КЗ). Зазвичай замикання на землю двох фаз є результатом розвитку замикання однієї фази на землю (однофазного замикання на землю).

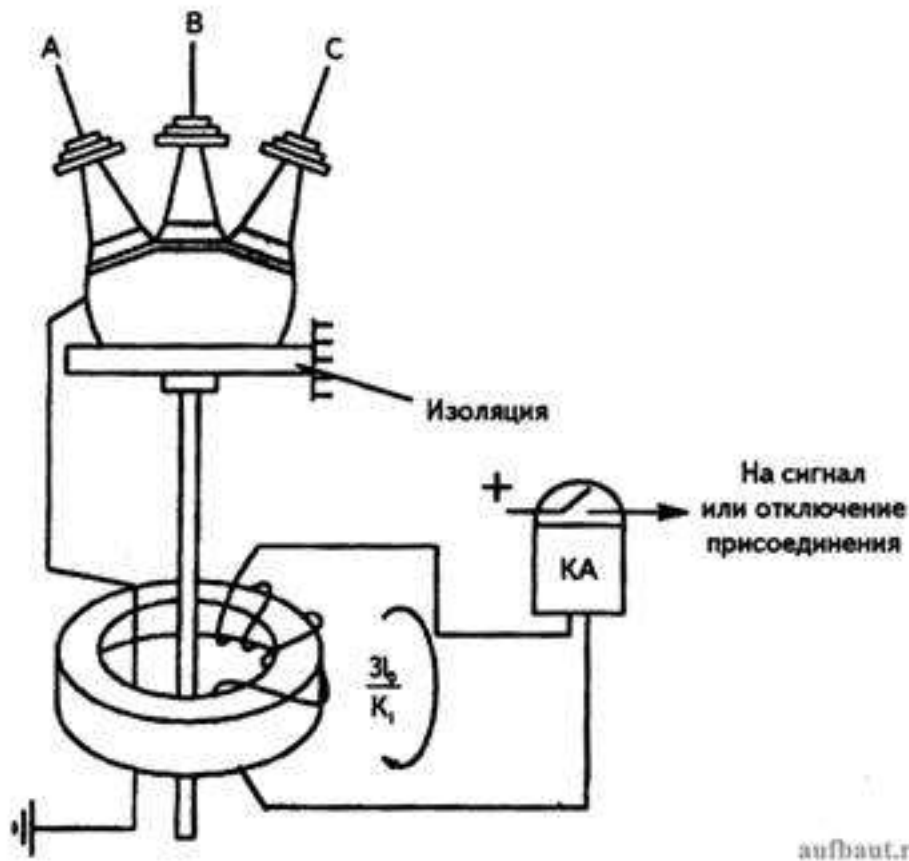
Однофазні замикання на землю є основним видом ушкоджень і характеризуються підвищенням напруги непошкоджених фаз щодо землі в раз при металевому замиканні і в  $3 \div 4$  рази при дугових замиканнях. Це часто призводить до пробую ізоляції, переходу однофазного замикання в подвійні і потрійні замикання і появи багатомісних замикань на землю з пошкодженням до 4-5 кабелів. При цьому по пошкодженим фаз проходять струми КЗ. Сказане пояснює необхідність застосування в цих мережах захисту від однофазних замикань на землю. ПУЕ наказують виконувати цей захист в одному з наступних видів:

селективного захисту (яка встановлює пошкоджене приєднання), що діє на сигнал; селективного захисту (яка встановлює пошкоджене приєднання), що діє на відключення, коли це необхідно за вимогами безпеки. Захист повинна бути встановлена на живильних елементах мережі; пристрою контролю ізоляції. Відшукування пошкодженого елемента допускається здійснювати почерговим відключенням приєднань.

Захист від однофазних замикань, як правило, використовує інформацію від трансформаторів струму нульової послідовності. Захист від багатозазних КЗ одиночних ліній з одностороннім харчуванням виконується у вигляді двоступеневої струмового захисту. Перший ступінь - струмовий відсічення, найчастіше, без витримки часу; друга - максимальний струмовий захист з незалежною чи залежною від струму витримкою часу. Захист ліній з двостороннім живленням часто має додатковий орган - реле напрямку потужності. Більш складні захисту, наприклад, дистанційна, зазвичай не застосовуються.

Захист від замикань на землю найчастіше виконується з трансформаторами струму нульової послідовності (ТНП) і реле струму типу РТЗ-50, РТЗ-51. ТНП є трансформатор струму, який має в якості первинної обмотки дроти трьох фаз лінії (рис. 1). Магнітний потік, створений струмами трьох фаз лінії, містить тільки потрійну складову нульової послідовності  $3\Phi_0$ , тому по вторинному ланцюзі цього трансформатора проходить струм  $I_2 = 3I_0 / K_1$ , де  $K_1$  коефіцієнт трансформації ТТ.

Складові нульової послідовності (струм, напруга) з'являються при пошкодженнях, пов'язаних із землею, т. Е. Вони є ознаками замикання на землю.

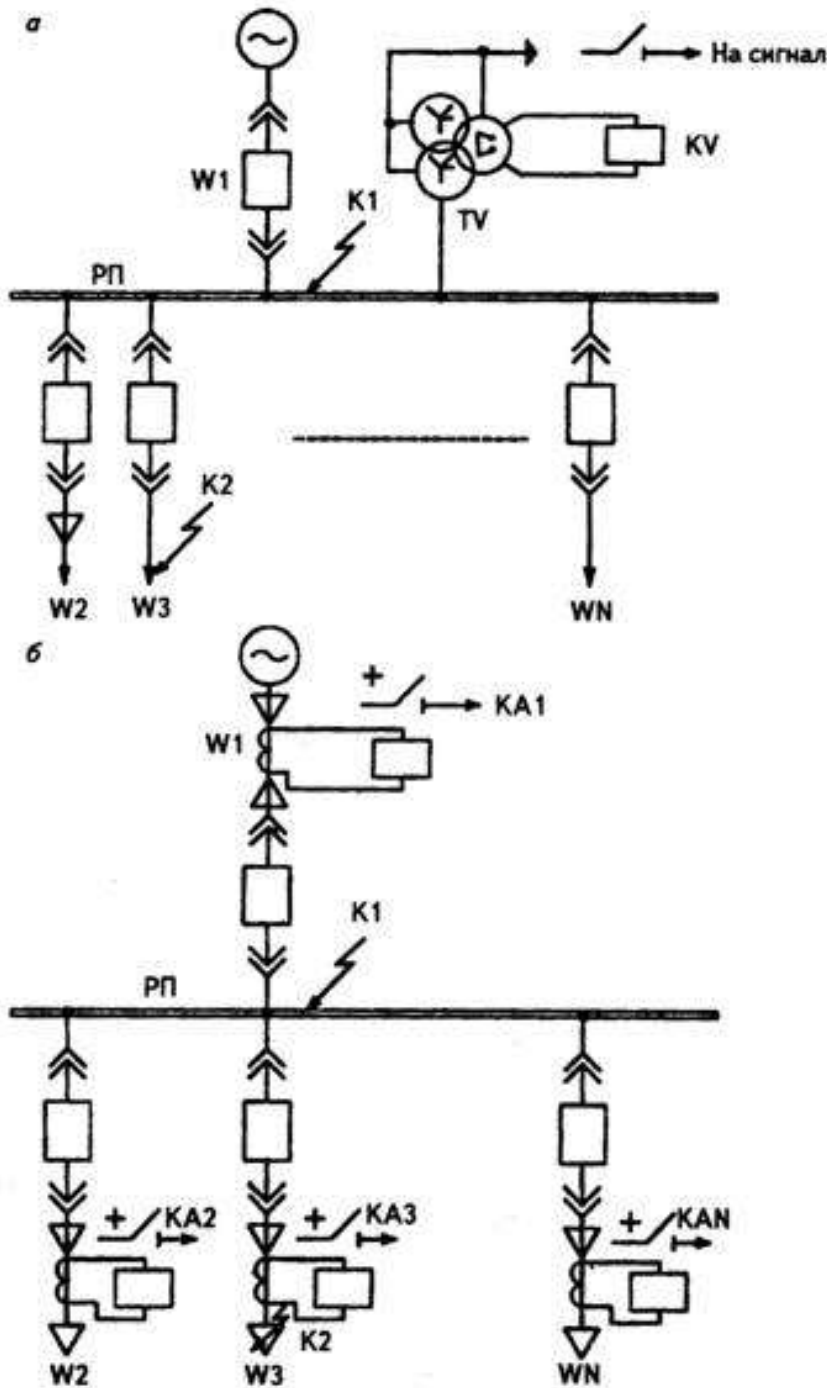


Малюнок 1. Захист від замикань на землю

Щоб захист діяв правильно, воронку кабелю і сам кабель на ділянці від ТТ до воронки ізолюють від землі, а провід, заземлюючий воронку, пропускають у вікно сердечника ТТ, як показано на рис. 1. При цьому блукаючі струми, що проходять по оболонці або броні кабелю, компенсуються струмами, що повертаються по заземлювальному проводу. Слід зазначити, що струми замикання на землю відносно невеликі (зазвичай не перевищують 100 А), тому вторинний струм ТТ при замиканні на землю становить частки ампера. Це є причиною застосування чутливих напівпровідникових, а не електромеханічних реле захисту від замикання на землю.

На рис. 2 наведені схеми, що пояснюють дію захисту від замикання на землю на РП. Так, зокрема, на рис. 2, а показано підключення реле напруги КУ неселективного контролю ізоляції. Утворюється напруга нульової послідовності, що служить ознакою замикання на землю, з'являється на затискачах обмотки трансформатора напруги TV, з'єднаної в розімкнутий трикутник. Щоб знайти місце замикання на землю, необхідно по черзі відключати приєднання - відходять лінії W2-WN. Якщо після відключення приєднання реле КУ не спрацює (зникає сигнал про замикання на землю), то замикання на землю

має місце на цій лінії. Якщо ж замикання на землю виникає на шинах РП, в ланцюзі лінії живлення W1 або в живильній системі, то сигнал від реле KV зникає тільки після відключення вимикача живильної лінії.

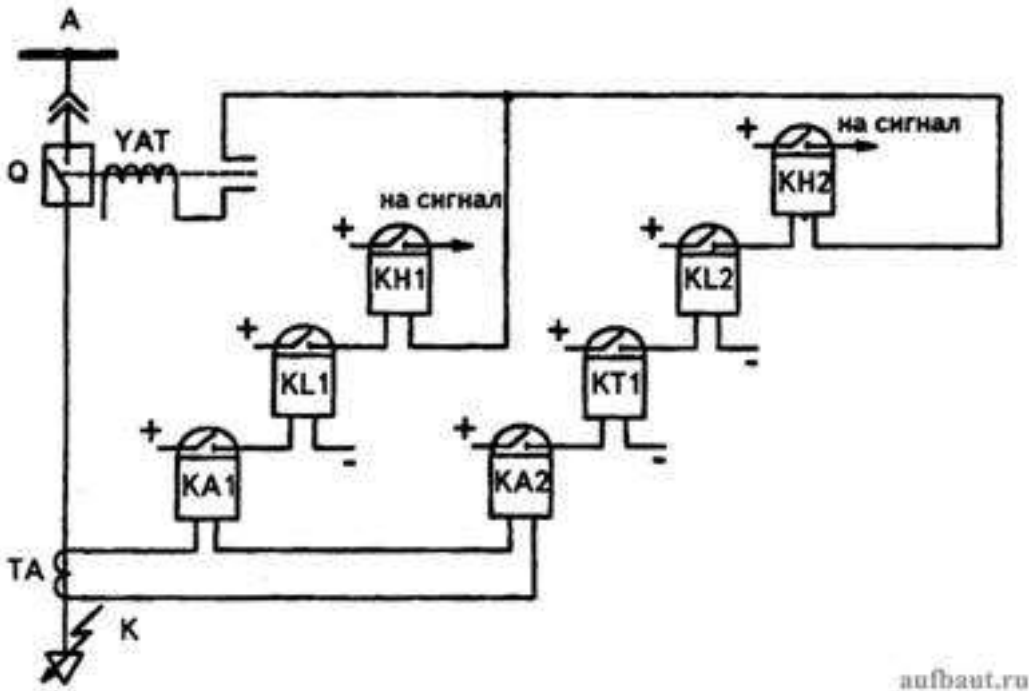


aufbau.ru

Малюнок 2. Контроль ізоляції фаз в мережі з ізолюваною нейтраллю: а - неселективний; б - селективний

Селективні пристрої захисту або сигналізації про замикання на землю (рис. 2, б) підключаються до вторинних обмоток ТНП кожного приєднання. Спрацьовування тільки одного реле КА1 свідчить про замикання на збірних шинах РП. Якщо ж спрацьовують реле КА1 і, наприклад, КА3, то це сигналізує про замикання на землю в ланцюзі лінії W3.

Двоступенева струмовий захист від багатозазних КЗ виконується за допомогою електромагнітних реле струму РТ-40, реле часу серії РВ і проміжних реле, або ж за допомогою індукційних реле з залежною витримкою часу серії РТ-80. У другому випадку спеціальні реле часу і проміжні реле не потрібні. На рис. 3 показана принципова схема однієї фази двоступеневої захисту з електромагнітними реле струму

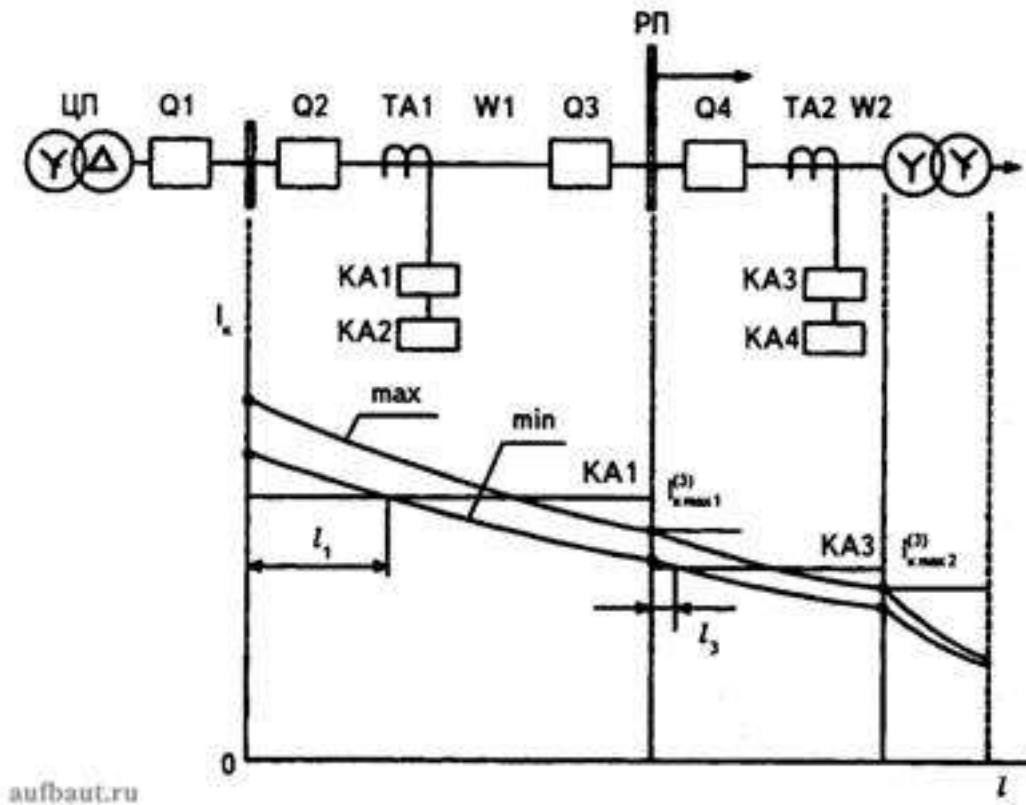


Малюнок 3. Двухступенчатая максимальный струмовий захист лінії Перший ступінь - струмовий відсічення - виконується за допомогою реле максимального струму КА1, проміжного реле КЛ1 і вказівного (сигнального) реле КН1. Проміжне реле має більш потужні контакти, ніж у реле струму, і тому з їх допомогою підключений до джерела живлення на електромагніт відключення вимикача YAT. Другий ступінь - максимальний струмовий захист - виконується за допомогою реле струму КА2, реле часу КТ1, проміжного реле КЛ2 і вказівного реле КН2. Сигналізація про спрацювання ступенів захисту проводиться вказівними реле КН1, КН2.

Перший ступінь діє таким чином. При перевищенні струму в головній ланцюга (КЗ в точці К) струм у вторинному ланцюзі ТА перевищує поріг спрацювання струмового реле КА1. Це реле спрацьовує, т. Е. Замикає свої контакти. Напруга оперативного струму через контакти реле КА1 подається на обмотку проміжного реле КЛ1, викликаючи його спрацювання. Напруга оперативного струму через замкнуті контакти КЛ1 і обмотку вказівного реле КН1 (воно має малий опір і спрацьовує при проходженні через нього

струму) подається на електромагніт відключення вимикача УАТ. В результаті вимикач Q відключається. Проходження струму через УАТ викликає спрацювання реле КН1, що призводить до видачі сигналу персоналу про спрацювання струмового відсічення. Другий ступінь діє практично так само, як і перша. Відмінність полягає в тому, що другий ступінь працює з витримкою часу, створюваної реле часу КТ1.

Функціонування струмового захисту показано на рис. 4 для ділянки мережі (рис. 3), що містить лінію W1, що відходить від центру харчування ЦП, розподільний пункт РП, що відходить від РП лінію W2 і підключену до кінця цієї лінії ТП. Кожна з ліній захищена двоступінчастими захистами на реле КА1, КА2 і КА3, КА4. Реле КА1, КА3 - струмові відсічення, вони захищають невеликі ділянки ліній 11 і 13 в мінімальному режимі. Решта ділянок ліній захищені другими ступенями захисту на реле КА2, КА4.



Малюнок 4. Максимальний струмовий захист ділянки ГРС

Слід зазначити, що другий ступінь захисту лінії W1 здійснює далеке резервування захисту лінії W2 і ближнє резервування струмового відсічення лінії W1.

Струм спрацювання відсічення лінії W1 повинен бути вище струму трифазного КЗ I (3) k max1, в максимальному режимі в кінці зазначеної лінії. Це необхідно для того, щоб забезпечувалася селективність отсеків ліній W1 і W2. Завдяки цьому відсічення лінії W1 не реагує на КЗ на початку лінії W2.



Токи спрацьовування друге ступенів захисту вибираються по найбільшому току навантаження ліній з урахуванням необхідності забезпечення умови повернення цих реле після відключення КЗ. Час спрацьовування захисту лінії W2 можна прийняти рівним ступені селективності (наприклад, 0,5 с). Таким чином, максимальний струмовий захист є захистом з відносною селективністю, що досягається вибором струму і витримки часу спрацьовування.

Основним недоліком струмового відсічення є незначна довжина зони, що захищається лінії. Цей недолік може бути частково усунутий за рахунок спільної дії струмового відсічення і АПВ. Нехай на лінії W1 (рис. 4) є пристрій АПВ. У цьому випадку струм спрацьовування відсічення вибирається нижче  $I(3)_{\text{max}1}$ , завдяки чому струмовий відсічення лінії W1 резервує захисту лінії W2. При цьому струмовий відсічення лінії W1 спрацьовує при КЗ на лінії W2, т. Е. Діє неселективно. В результаті відключаються обидві лінії за рахунок дії їх струмових відміток. потім діє АПВ лінії W1 і остання, знову вводиться в роботу, а пошкоджена лінія W2, яка не має АПВ, залишається відключеною. Описаний пристрій називається струмовим захистом з прискоренням до АПВ.

Використовують також струмові захисту з прискоренням після АПВ. В цьому випадку КЗ на лінії W1, а при відмові захистів лінії W2 - і при КЗ на лінії W2 - відключається за рахунок дії максимального струмового захисту лінії W1 (з витримкою часу). Неселективна струмовий відсічення при цьому не діє, а вводиться в роботу тільки після дії АПВ.

Цей прийом називають прискоренням струмового захисту після АПВ.

Прискорення захисту після АПВ особливо доцільно при близьких до джерела живлення КЗ на лінії W1. В цьому випадку проводи лінії нагріваються до високої температури при КЗ, і після АПВ лінію необхідно відключити якомога швидше. Прискорення струмового захисту після АПВ дозволяє зменшити час повторного проходження струмів КЗ по провідникам, нагрітим до високої температури (т. К. КЗ відключалася з витримкою часу), що зменшує можливість їх термічного пошкодження.

Струмові захисту можуть виконуватися за допомогою індукційних струмових реле серії РТ-80, що мають залежну витримку часу, а також реле прямої дії серії РТВ і РТМ. Засто-

сування зазначених реле пояснюється прагненням здешевити захист, не використовувати спеціальні джерела оперативного струму (акумуляторні батареї, випрямлячі, блоки живлення). Ці реле працюють на змінному оперативному струмі, т. Е. Немає спеціальних джерел струму для відключення вимикачів. Відключення вимикачів проводиться безпосередньо вторинними струмами трансформаторів струму. Однак зазначені реле катастрофічно морально застаріли.

## ВИМІРЮВАЛЬНІ ОРГАНИ СТРУМУ І НАПРУГИ НА ІМС

Загальні принципи виконання. Оскільки вітчизняна промисловість випускає напівпровідникові реле струму і напруги на ІМС, нижче розглянуті принципи побудови ІС тільки на базі мікросхем.

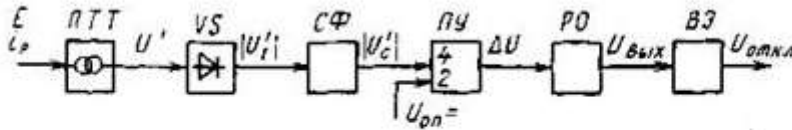


Рис. 2.66. Структурная схема полупроводникового ИО с одной входной величиной

Реле струму і напруги відносяться до ІС з одного впливає і однієї порівнюєш величинами. Принцип дії таких реле заснований на порівнянні абсолютного значення контрольованої входної величини (І або  $U$ ) з еталонною величиною, відповідної заданому значенню контрольованої величини (струму або напруги), при якому реле має спрацювати. Впливає величина надходить з виходу вимірювальних ТТ або ТН.

Оскільки струми і напруги мережі мають синусоїдальний характер, то для виконання реле можна використовувати або миттєві (амплітудні) значення, або середнє за період значення вимірюваної величини. Діючі значення цих величин, як правило, не використовуються внаслідок більшої складності схем їх отримання. Найбільш поширеними є ІС струму і напруги, виконані на випрямленном струмі (напрузі).

Структурно-функціональна схема подібного реле зображена на рис.2.66. У цій схемі синусоїдальний струм  $i_P = I_m \sin \omega t$  надходить на вхід проміжного ТТ (ПТТ) або трансреактора, призначення і функції яких були пояснені при розгляді структурної схеми напівпровідникових ІС. Вихідний сигнал ПТТ у вигляді синусоїдальної напруги  $U'$ , пропорційного входному струмі  $i_P$  (або  $U_P$ ), надходить на вхід діодного випрямляча VS. Випрямлена напруга, перетворене в пульсує напруга, постійне за знаком проходить через згладжує фільтр СФ, який зазвичай виконується у вигляді контуру RC.

З виходу СФ випрямлена напруга із згладженою пульсацією ( $|U'_{г2}|$ ) надходить на основну частину ІС - схему порівняння, виконувану в вигляді компаратора (ПУ) і РВ, де відбувається його порівняння з еталонним (пороговим) напругою, які мають постійне значення (відповідне заданої уставки спрацювання реле).

До входу 2 схеми порівняння ПУ підводиться еталонне напруга  $U_E$  (зване також опорним  $U_{оп}$ ), з яким порівнюється значення контрольованого напруги  $U'С$ .

Напруга  $U_{оп}$  відповідає значенню струму  $i_P$ , при якому реле має спрацювати ІСР.

При ( $|U'С| \geq U_{оп} (-ІСР)$ ) на виході ПУ з'являється сигнал, що надходить на що реагує орган РО. Останній підсилює вхідний сигнал і дає команду на відключення вимикача через ВЕ.

Структурна схема реле напруги відрізняється від розглянутої схеми тільки вхідним пристроєм, який виконується за допомогою проміжного трансформатора напруги (ПТН) (за схемою на рис.2.39, д). На вхід ПТН надходить синусоїдальна напруга  $U_P = U_m \sin \omega t$ .

Вимірювальний орган напруги, що реагує на середнє значення. На рис.2.67, а приведена принципова схема ІС з одного підведеної величиною, яка складається з наступних елементів: схеми, що поєднує функції сприймає і формує елементів, що включає трансформатор TVL і випрямляч VS зі сглаживаючим конденсатором C1; порогового пристрою і РВ, виконаного у вигляді тригера Шмітта на ОУ. При відсутності напруги на вході ІС напруга на І-вході ОУ дорівнює нулю, а на Н-вхід подається позитивна  $U_{ОП}$ , що виділяється на R2. При цьому на виході ОУ є  $+U_{вих\ max}$  опорна напруга  $U_{ОП}$  визначається сумою струмів через R4 і R3. До тих пір, поки амплітуда напруги між резистором R1 і нульовий шинкою залишається нижче  $U_{ОП}$ , вихідна напруга на виході ОУ не змінюється, зберігаючи позитивну полярність. Коли згадана амплітуда перевищує  $U_{ОП}$  (рис.2.67, г), ОУ перемикається, на його виході з'являється  $-U_{ВИХ\ max}$ , ток в R3 змінює напрямок і  $U_{ОП}$  знижується до значення  $U'_{ОП}$ , яке вибирається трохи нижче мінімального миттєвого значення напруги на C1. Завдяки цьому миттєве напруга на І-вході в будь-який момент часу залишається вище напруги на Н-вході, і на виході ОУ зберігається значення  $-U_{ВИХ\ max}$ .

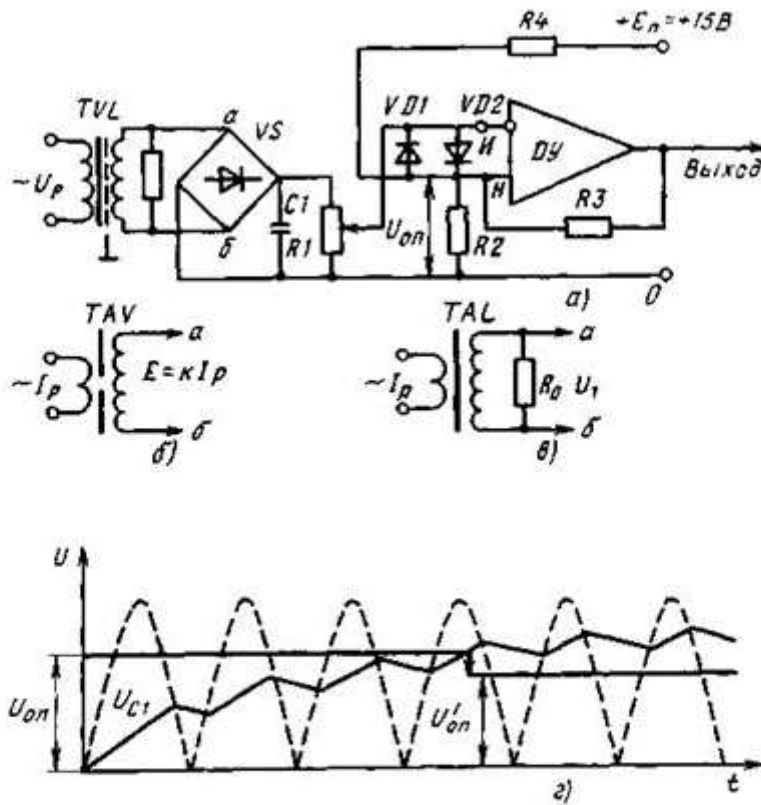


Рис. 2.67. Измерительный орган на ИМС, реагирующий на среднее значение тока или напряжения:  
 а – схема измерительного органа напряжения на операционном усилителе;  
 б – входные цепи реле тока с промежуточным ТТ; в – то же с трансреактором;  
 з – диаграмма, поясняющая принцип действия

Аналогічно виконується ІВ струму, але в схемі формування використовується перетворювач струму в напругу.

Це може бути розділовий трансреактор TAV (рис.2.67, б), розділовий ТТ TAL, на вторинну обмотку якого включений резистор R0 і напруга на ньому прямо пропорційно току в первинній обмотці (рис.2.67, в).

До недоліку розглянутого ІВ відноситься відсутність заходів по підвищенню перешкодозахищеності. Такі реле можна застосовувати в захистах, які працюють з витримкою часу.

Для захисту входу ОУ при великому напруженні (або струмі) на вході ІС служать діоди VD1 і VD2.

Орган струму, що реагує на повний струм фаз, побудований на времяімпульсному принципі порівняння. Велику перешкодозахищеність можна отримати при використанні порівняння часу наявності вхідного випрямленої напруги з часом його відсутності. Орган струму (рис.2.68), що використовує цей принцип, складається з проміжного ТТ (TAL) або трансреактора; випрямного моста VS; схеми порівняння у вигляді компаратора на ОУ А1; інтегруючого ланцюга R5, R6, C1; реакує елемента А2 у вигляді тригера Шмітта на ОУ та ВЕ у вигляді транзисторного підсилювача на VT1 з малогабаритним реле KL1. При протіканні в ланцюзі TAL струму на резисторі R12 виникає напруга  $U_{TAL} = IP$ . Ця напруга надходить на випрямляч VS і перетворюється в двохнапівперіодне, випрямлена і незгладжені напруга  $U_{VS}$ , пропорційне вхідному струмі IP. Ця напруга надходить на І-вхід А1. На Н-вхід А1 подається позитивна  $U_{оп}$ , що знімається з ділянки R2, R3, R4, включеного на напругу джерела ЕП позитивного знака. Тому, при  $U_{VS} < U_{оп}$  вихідна напруга А1  $U_1 = +U_{вих\ max}$

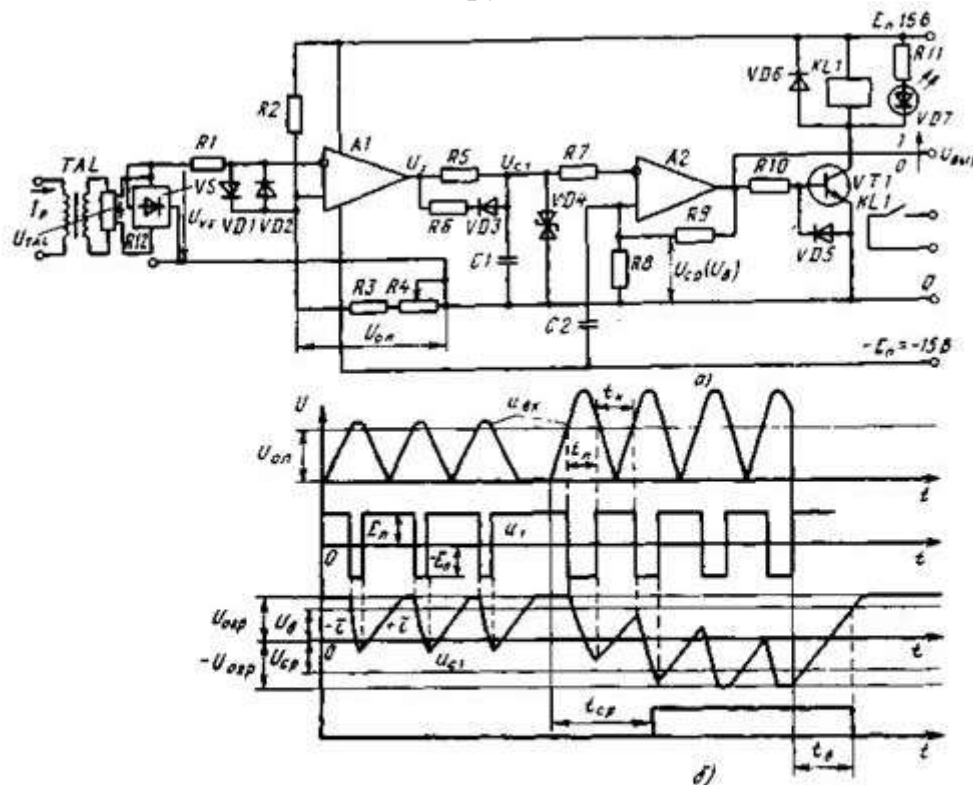


Рис. 2.68. Орган тока, построенный на сравнении времени превышения  $U_{оп}$  с временем его снижения:  
 а – схема устройства; б – поясняющие диаграммы

Якщо надходить на І-вхід амплітуда напруги  $U_{VS}$  нижче  $U_{оп}$ , то вихідна напруга А1 залишається незмінним. Під дією вихідного напруги А1 ( $U_1$ ) двуханодний (стабілізуючий напругу обох полярностей) стабілітрон VD4 відкритий струмом через R5. Діод VD3

закритий, а конденсатор С1 заряджений проходять через нього струмом до позитивного напруги стабілізатора:  $U_C = U_{CT}$ . Останнє подано на І-вхід тригера А2. При цьому на виході А2 чергуватиме напруга -  $U_{OUmax}$ , під дією якого по ланцюгу ОС на Н-вході з'явиться напруга негативної

полярності, відповідне мінусової напруги спрацьовування тригера Шмітта. Діод VD5 відкритий через резистор R10, транзистор VT1 закритий, і реле KL1 знеструмлено. Це означає, що ІС не діє.

$$U_H = -U_{E_{EKmax}} R_8 / (R_8 + R_9)$$

Коли миттєве значення випрямленої напруги перевершує  $U_{оп}$ , А1 перемикається, і під час перевищення миттєвим значенням опорного напруги  $U_{оп}$  на його виході з'являється -  $U_{ВИХmax}$ , що призводить до відмикання VD3. Конденсатор С1 перезаряджається з меншою постійної часу через резистор R6, а після того як А1 повертається в попереднє положення, діод VD3 знову замикається, і за час паузи  $T_n$  конденсатор С1 заряджається з більшою постійної часу. Якщо час  $t_P$  мало, а  $t_H$  велике, конденсатор встигає перезарядитися до нульового або малого негативного напруги, і тригер Шмітта на А2 і ІС не працюють (рис.2.68, б).

У міру збільшення струму  $t_P$  зростає, а  $t_H$  зменшується. При цьому збільшується негативна амплітуда напруги на С1. Коли  $|U_{C1}|$  побільшає  $U_{CPA2}$ , А2 перемикається, на його виході з'являється напруга позитивного знака  $U_{вих А2} = + U_{max}$ , і як наслідок діод VD5 закривається, транзистор VT1 відкривається, реле KL1 приходить в дію і замикає свій контакт. ІВ струму спрацьовує.

У зв'язку зі зміною знака вихідної напруги А2 (з "-" на "+") відбувається аналогічне зміна знака опорного напруги  $U_B$ , що приходить по ланцюгу ОС на Н-вхід А2, що забезпечує стійку роботу ІС.

При зникненні струму КЗ, вхідна напруга, обумовлене струмом ІР знижується до нуля або стає дуже малим. Тоді А1, а отже і А2 перемикаються і під дією опорного напруги відбувається повернення реле. Регулювання уставки здійснюється зміною опору резис-





Активний частотний фільтр АФ виконується на ОУ А2 у вигляді фільтра низьких частот і смугового фільтра, що замикає проходження струмів вищих гармонік.

З виходу АФ синусоїдальна напруга надходить на головний елемент вимірювальної частини схеми - двухпорогового компаратор А3, побудований за особливою схемою на інвертующем підсилювачі. Вхідний сигнал через резистор R7 заводиться на інвертується вхід А3, ланцюг ООС виконана у вигляді випрямного діодного моста VS1, який отримує харчування через паралельно включені резистори R8 і R10 від джерела живлення  $E_{II} = +15\text{ В}$  і через паралельно включені резистори R9 і R11 від  $E_{II} = -15\text{ В}$ .

З порогового елемента А3 вихідний сигнал надходить на схему, яка здійснює порівняння тривалості перевищення вхідним сигналом напруги порога спрацьовування з тривалістю пауз між ними. Ця схема складається з вхідного діодного моста VS2, конденсатора С1 і компаратора А4. Сигнал з виходу А4 надходить на виконавчу частину схеми, що складається з транзистора VT1, що підсилює вхідний сигнал вимірювальної частини органу, діода VD14 і електромеханічного (малогабаритного) реле KL1. Контакти останнього дають команду на елементи подальшої частини захисту або безпосередньо на відключення вимикача.

Робота ІВ. Якщо сигнал на вході А1  $U_{BX} = 0$ , то, як видно з рис.2.69, вхідний і вихідний напруги на А1 і А2 відсутні. Немає сигналу і на вході і виході порогового елемента А3. При цьому всі діоди моста VS1 відкриті струмом  $I_{VS1}$ , що виникають під дією напруги джерела живлення  $2E_{II}$ . Цей струм замикається по контуру, утвореного паралельно під'єднаних резисторами R8, R10 і R9, R11 і відкритими діодами VS1. Нехтуючи (для спрощення) падінням напруги на відкритих діодах моста, вважаємо, що опір ООС дорівнює нулю. Тому вихідний сигнал у А3 відсутня. Струм, що відкриває діоди (без урахування опорів відкритих діодів):

$$I_{VS1} \approx \frac{2E_{II}}{(R_8 \parallel R_{10}) + (R_9 \parallel R_{11})}$$

В даному режимі вхідний сигнал, що надходить через R12 на міст VS2, також відсутній, але всі діоди VS2 відкриті струмом:

$$I_{VS2} = 2E_{II} / (R_{13} + R_{14}).$$

струм IVS2, проходячи по всім діодам моста, замикається по контуру резисторів R13 і R14. Конденсатор C1 заряджений до напруги позитивного знака  $UC1 = UVS2$  (падіння напруги в діодах VS2). Ця напруга надходить на І-вхід компаратора А3, викликаючи на його виході сигнал максимального рівня ОУ, протилежної знаку UC1:  $U_{вих} = -U_{ОУ\max} \approx 12-14$  В. Під дією цього сигналу діод VD14 і транзистор VT1 закриті, струм в KL1 відсутня і ІВ не діє.

При появі синусоїдального вхідного сигналу у вигляді миттєвих значень напруги позитивної напівхвилі  $+UBX$  менше  $U_{пор}$  компаратора А4, з'являється вхідний струм  $IBX = UBX / R7$ , де R7 - опір вхідного резистора (через який подається сигнал на І-вхід інвертуючого ОУ з ООС). Вихідний сигнал інвертуючого підсилювача визначається за допомогою коефіцієнта передачі (посилення)

$$K_{y,и} = -R_{OC} / R_7;$$

$$U_{ВВХ} = \frac{-R_{OC}}{R_7} U_{ВХ}.$$

Всі діоди і раніше відкриті струмом IVS1. Вхідний струм IBX замикається через відкриті діоди VS1. Як видно зі схеми, в діодах VD5 і VD9 IBX спрямований проти IVS1 (результуючий струм дорівнює їх різниці), а в діодах VD6 і VD7 їх напрямки збігаються. Таким чином, при струмі  $IBX < IVS1$  опір і напруга ОС дорівнюють нулю, тому стану всіх інших елементів VS2, C1, А3 залишаються без зміни.

При наростанні  $UBX$  і IBX позитивної напівхвилі може наступити момент рівності струмів  $IBX = IVS1$ . Тоді діоди VD5 і VD8 закриються. Це означає, що ланцюг ОС розімкнеться, схема компаратора А3 перетвориться в схему ОУ без ОС з наявністю на вході сигналу  $UBX$  позитивного знака. При малому збільшенні  $UBX = IBXR7$  ОУ А3 перемикається, і на його виході виникає велике вихідна напруга, яке визначається значенням коефіцієнта посилення КОУ:  $U_{ВВХ} = -U_{\max} ОУ$ .

Зі сказаного випливає, що порогом компаратора, при якому він відкривається, є струм IVS1 або виражене у вигляді напруги  $U_{пор} = IVS1R7$ .

Вихідна напруга А3 через резистор R12 надходить на міст VS2, це напруга (негативного знака) замикає діоди VD11 і VD10 і через VD9 надходить на конденсатор C1 і інвертується вхід А4. Знак напруги на C1 змінюється на протилежний, і він перезаряджається через R14. Коли напруга позитивного знака, UBХ досягає максимуму і починає зменшуватися. Якщо ширина імпульсу мала, то конденсатор C1 не встигає перезарядитися до нуля і вихідна напруга А4 залишається

негативним (VT1 і KL1 не діють). Якщо UBХ збільшиться і досягне значення, при якому ширина імпульсу стане достатньою для перезарядження C1 до нуля, а потім зарядиться до + UC1, плюсом на неінвертуючий вході, - А4 переключиться, на виході з'явиться напруга позитивного знака, транзистор VT1 відкриється, напруга на колекторі знизиться і реле KL1 спрацює - ІВ діє. Після перемикаання А4 знаки на резисторах R10, R11 змінюються (оскільки змінюються знаки на виході А4 і колекторі VT1). Як наслідок цього, напруга закривання порогового елемента менше напруги його відкривання:

$$U_{II}^+ = U_{пит} \frac{R_7}{R_8} \quad \text{і} \quad U_{II}^- = -U_{пит} \frac{R_7}{R_9}$$

ІВ працює як релейний елемент. При настанні негативної напівхвилі процес повторюється з протилежними знаками.

Аналогічно виконується реле зворотній послідовності з частотним фільтром.

### Основні теоретичні відомості

Для покращення динамічних властивостей частотно-імпульсної модуляції (ЧІМ) у них можна використати ітераційні інтегровальні перетворювачі (ІІП). Розглянемо декілька прикладів побудови ІІП.

1. Принцип дії ітераційно-інтегровального перетворювача з пристроєм вибірки-збереження (ПВЗ)

У цій схемі (рис. 4.1) як інтегратор використовується інтегровальний підсилювач на основі операційного підсилювача  $DA_1$  з резистором  $R_1$  і конденсатором  $C_i$  у ланцюгу зворотного зв'язку. На виході інтегратора знаходиться пристрій вибірки-збереження, який складається із ключа  $K_1$ , конденсатора  $C_{АП}$  (ємність аналогової пам'яті) і повторювача напруги на операційному підсилювачі  $DA_2$ . Вихідна напруга знімається з виходу повторювача  $DA_2$  і через резистор  $R_2$  потрапляє на підсилювач інтегратора.

Інтегратор  $DA_1$  налаштовує вихідну напругу  $DA_2$ , доки вона не буде дорівнювати середньому значенню вихідної опорної напруги. Необхідний коефіцієнт ділення опорної напруги задається перемикачем  $K_0$ , який керувальними сигналами з мікроконвертера замикається на джерело опорної напруги на час  $T_1$  і замикається на землю на час  $T_0 - T_1$ . На ключ  $K_1$  подається сигнал керування пристроєм вибірки-збереження.

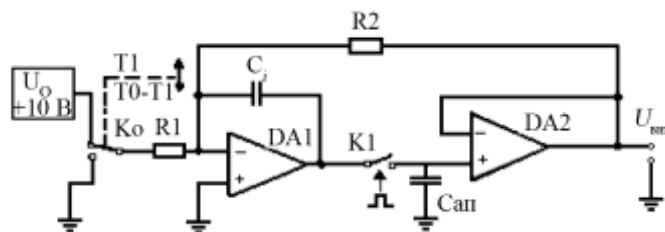


Рис. 4.1. Схема ЧІМ на основі ітераційно-інтегровального перетворювача з пристроєм вибірки-збереження

Пристрій вибірки-збереження призначений для зменшення похибки у вихідному сигналі перетворювача, пов'язаної з невизначеністю значення вхідного сигналу з інтегратора протягом часу перетворення за умови дуже швидкої його зміни. Отже, ПВЗ необхідний для того, щоб зафіксувати миттєве значення інтегратора в кінці інтервалу інтегрування, запам'ятати це значення і передати по ланцюгу зворотного зв'язку на вхід інтегратора. Інтегратор налаштовує вихідну напругу з ПВЗ доти, доки вона не буде дорівнювати середньому значенню модульованої опорної напруги. Розглянемо детальніше роботу ПВЗ. Пристрій вибірки-збереження повинен на інтервалі часу вибірки (слідкування) повторювати на виході вхідний аналоговий сигнал, а при перемиканні режиму на збереження зберігати останнє значення вихідної напруги до надходження сигналу вибірки.

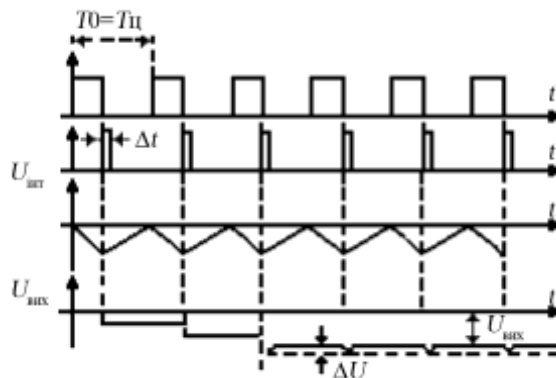


Рис. 4.2. Часові діаграми, що пояснюють роботу ІІП з ПВЗ

### 2. Принцип дії ІІП з ПВЗ і фільтром у ланцюгу негативного зворотного зв'язку перетворювача

Недоліком схеми ІІП з ПВЗ є наявність похибки «пролазу» керувального сигналу. Фірма Burr-Brown для зменшення цієї похибки пропонує додавати на виході схеми ІІП з ПВЗ  $RC$ -фільтр. Розглянемо реалізацію схеми ШІМ на основі ІІП з ПВЗ і фільтром  $R_3C_3$  у ланцюгу зворотного зв'язку (рис. 4.3).

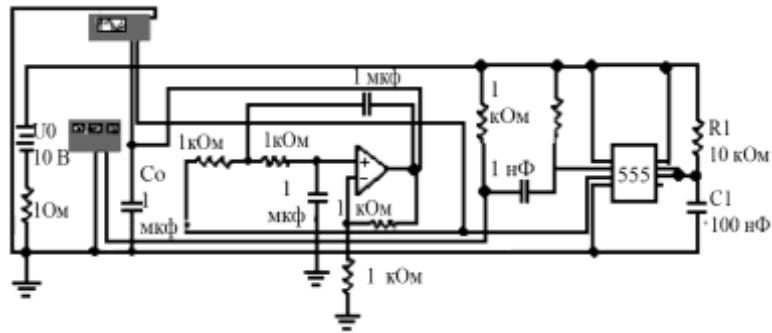


Рис. 4.3. Схема ЧІМ на основі ІІП з ПВЗ і фільтром у ланцюгу зворотного зв'язку

Вихідна напруга знімається з виходу фільтра  $R_3C_3$  і через резистор  $R_2$  подається на підсилювач інтегратора. Інтегратор  $DA_1$  налаштовує вихідну напругу фільтра доти, доки вона не буде дорівнювати середньому значенню модульованої опорної напруги.

Необхідний коефіцієнт ділення опорної напруги задається перемикачем  $K_0$ , який керувальними сигналами з мікроконвертера замикається  $U_0$  на час  $T_1$  і на землю на час  $T_0 - T_1$ . На ключ  $K_1$  подається сигнал керування пристроєм вибірки-збереження.

Принцип роботи схеми, а також діаграми, що описують принцип роботи цієї схеми, є аналогічні принципам роботи схеми ІІП з ПВЗ (рис. 4.2).

### 3. Принцип дії ІІП з динамічно-запам'ятовуючим пристроєм (ДЗП)

Одним із можливих методів усунення похибки «пролазу» керувального сигналу без зменшення швидкодії є схема ІІП, де замість пристрою вибірки-збереження використовуються два динамічно запам'ятовуючих пристрої, які працюють у протифазі (рис. 4.4).

У цій схемі необхідний коефіцієнт ділення опорної напруги задається перемикачем  $K_0$ , який керувальними сигналами з мікроконвертера замикається на час  $T_1$  і розмикається на час  $T_0 - T_1$ . На ключі  $K_3$  і  $K_4$  подаються керувальні сигнали. Як інтегратор використовується інтегровальний підсилювач на основі операційного підсилювача  $DA_1$  з резистором  $R_1$  і конденсатором  $C_i$  у ланцюгу зворотного зв'язку.

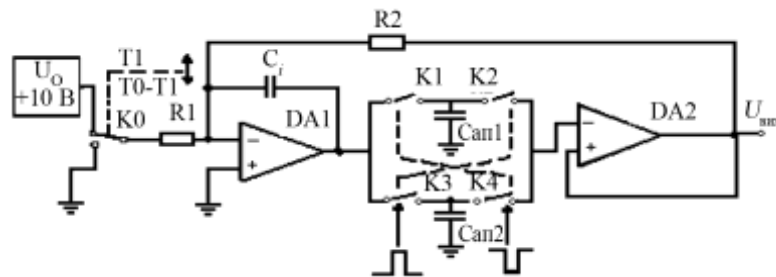


Рис. 4.4. Схема ЧІМ на основі ІІП з ДЗП

На виході інтегратора знаходяться два ДЗП, які складаються із ключів  $K_1 - K_4$ , двох конденсаторів  $C_{ап}$  (ємність аналогової пам'яті). Вихідна напруга знімається з виходу повторювача  $DA_2$  і через резистор  $R_2$  подається на підсилювач інтегратора. Інтегратор  $DA_1$  налаштовує вихідну напругу  $DA_2$  доти, доки вона не буде дорівнювати середньому значенню модульованої опорної напруги.

Щоб отримати значення коефіцієнта перетворення ІІП, врахуємо те, що він є астатичною системою, тобто в статичному стані середнє значення вхідного струму  $\bar{i}_1$  буде дорівнювати середньому значенню струму зворотного зв'язку  $\bar{i}_2$ . Отже, отримаємо  $\bar{i}_1 = \bar{i}_2$ .

Підставляючи у цю рівність значення  $\bar{i}_1 = \frac{\bar{U}_{вх}}{R_1}$  та  $\bar{i}_2 = \frac{\bar{U}_{внх}}{R_2}$ , отримаємо:

$$\frac{\bar{U}_{\text{ВХ}}}{R_1} = -\frac{U_{\text{ВХ}}}{R_2}.$$

Отже,

$$U_{\text{ВХ}} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \bar{U}_{\text{ВХ}}.$$

Для отримання перехідної характеристики ІП розглянемо перехідний процес, який зображено на рис. 4.5 при нульових початкових умовах: ( $U_i(-0) = 0$ ,  $U_{\text{САП}}(-0) = 0$ ). На вхід надходить ступінчатий сигнал з амплітудою  $U_0$  у момент часу  $t = 0$  (рис. 4.5, а). Протягом часу від 0 до  $T_{\text{ц}}$  напруга на виході інтегратора (рис. 4.5, з)

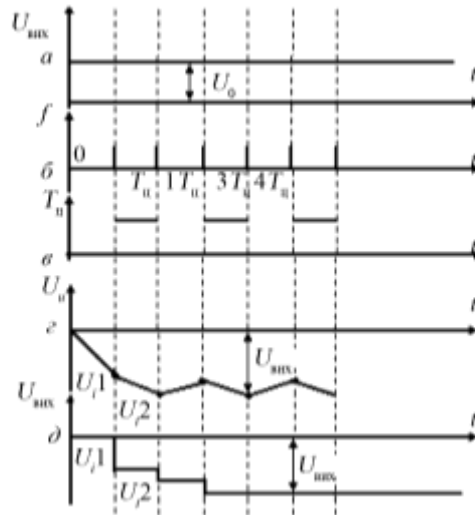


Рис. 4.5. Перехідні процеси в схемі ІП з ДЗП

буде змінюватися згідно з поданим співвідношенням, і в кінці цього інтервалу вона буде дорівнювати:

$$U_{i_1}(T_{\text{ц}}) = \frac{1}{R_1 C_i} \int_0^{T_{\text{ц}}} U_0 dt = \frac{U_0 T_{\text{ц}}}{R_1 C_i}.$$

Протягом часу від  $T_{\text{ц}}$  до  $2T_{\text{ц}}$

$$U_{i_2}(2T_{\text{ц}}) = \frac{1}{R_1 C_i} \int_0^{T_{\text{ц}}} U_0 dt + \frac{1}{R_2 C_i} \int_0^{T_{\text{ц}}} U_{i_1} dt + U_{i_1},$$

звідки:

$$U_{i_2}(2T_{\text{ц}}) = U_{i_1}(T_{\text{ц}}) + U_{i_1}(T_{\text{ц}}) \cdot \left(1 - \frac{T_{\text{ц}}}{R_2 \cdot C_i}\right).$$

Отриманий вираз нагадує геометричну прогресію:

$$S_n = a + a \cdot q + a \cdot q^2 + \dots,$$

де  $a = U_{i_1}(T_{\text{ц}})$ ;  $q = \left(1 - \frac{T_{\text{ц}}}{R_2 \cdot C_i}\right)$ .

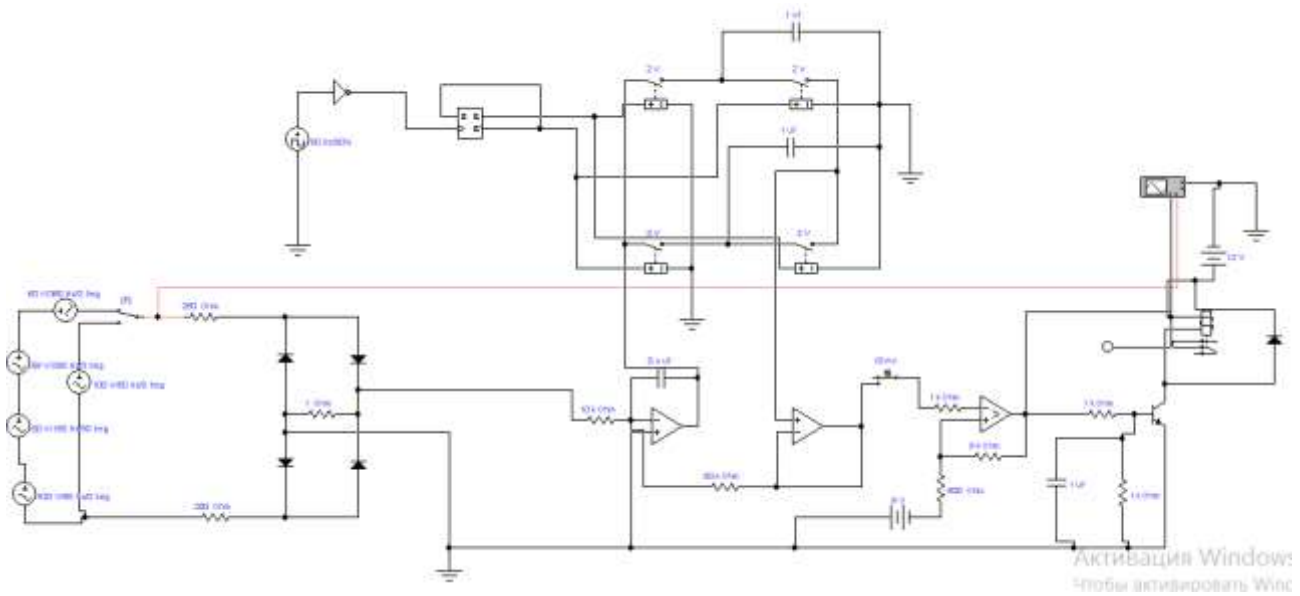
Для збігу перехідного процесу необхідно, щоб  $|q| < 1$ . Якщо  $q = 0$ , маємо мінімальну тривалість перехідного процесу. Підставивши у вираз  $q < 1$  значення  $q = \left(1 - \frac{T_{\text{ц}}}{R_2 \cdot C_i}\right)$ , отримаємо умови збіжності перехідного процесу в

ІП:

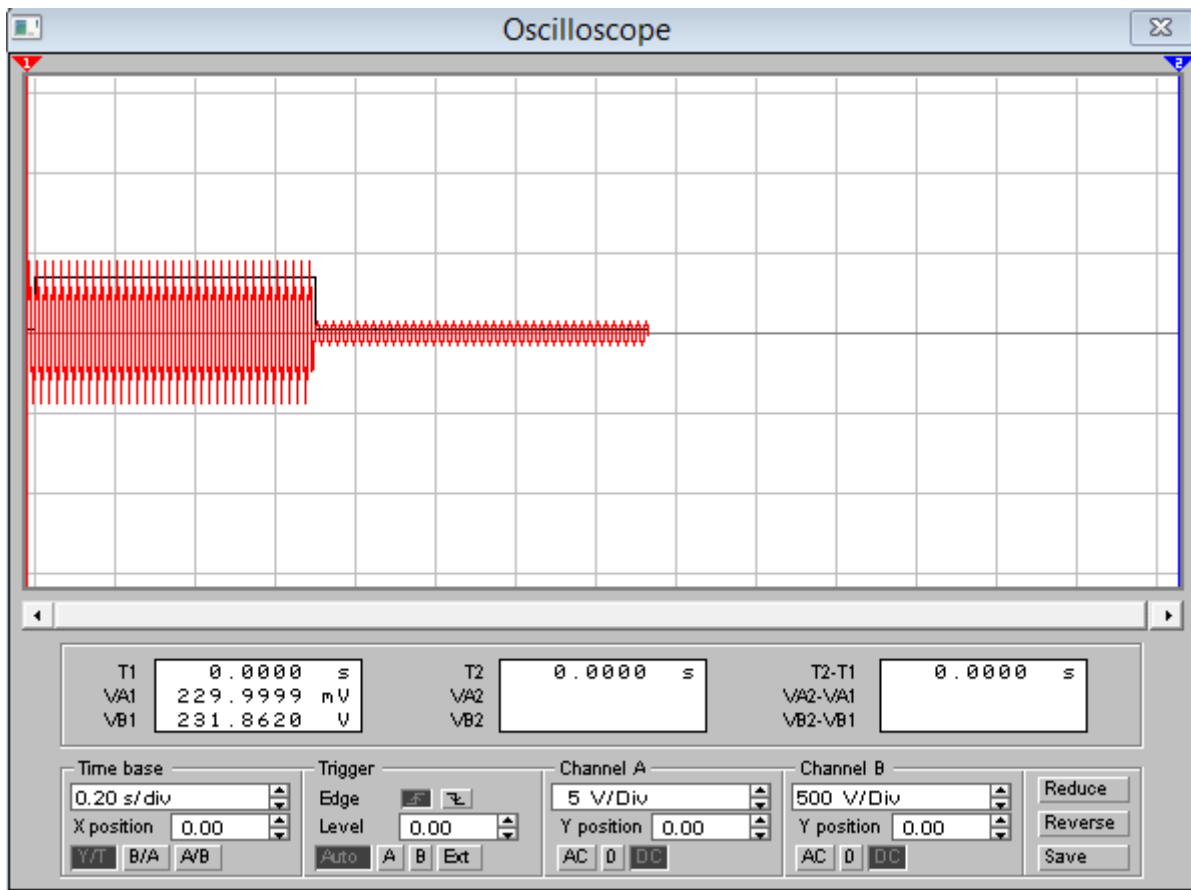
$$0 < \frac{T_{\text{ц}}}{R_2 \cdot C_i} < 2.$$

З умови оптимальності  $q = 0$  маємо  $T_{\text{ц}} = R_2 \cdot C_i$ . Для  $n$ -перших членів, при  $n \ll \infty$ :

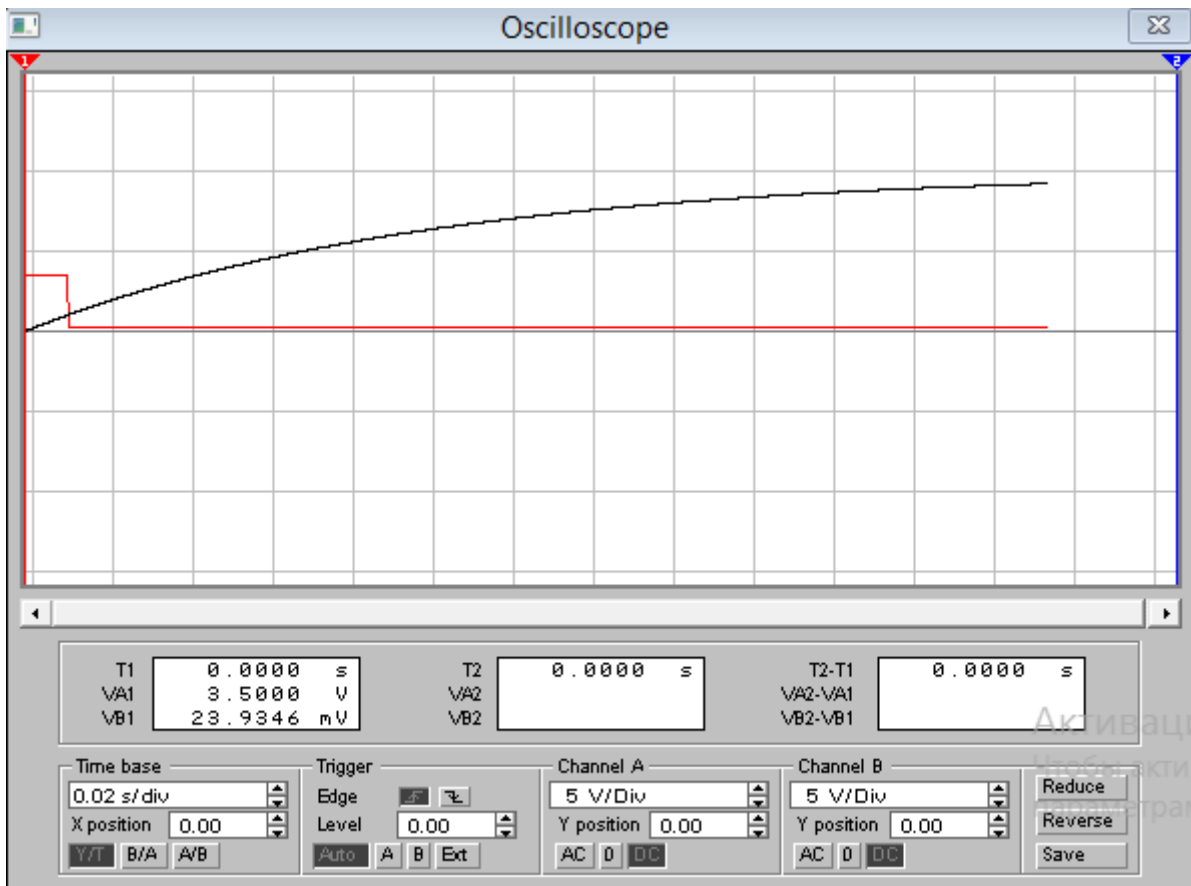




покраще







з ключом

розділ 5

## Охорона праці

### Правові основи охорони праці

Охорона праці - система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності. Основні положення щодо реалізації конституційного права

працівників на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці регулюються Законом України «Про охорону праці» (далі - Закон № 2694-ХІІ), який встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Законодавство про охорону праці складається з вищезазначеного закону, Кодексу законів про працю України, Закону України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності" та прийнятих відповідно до них нормативно-правових актів.

Відповідно до ст. 13 Закону України "Про охорону праці" (далі - Закон) роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці.

Для цього роботодавець забезпечує функціонування системи управління охороною праці, у т.ч. розробляє і затверджує положення, інструкції, інші акти з охорони праці, що діють у межах підприємства та встановлюють правила виконання робіт і поведінки працівників на території підприємства, у виробничих приміщеннях, на будмайданчиках, робочих місцях тощо.

На основі Типового положення про службу охорони праці, затвердженого наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 15.11.2004 N 255, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 01.12.2004 за N 1526/10125 (далі - Типове положення про службу охорони праці), з урахуванням специфіки виробництва та видів діяльності, чисельності працівників, умов праці та інших факторів роботодавець розробляє і затверджує Положення про службу охорони праці відповідного підприємства, визначає структуру служби охорони праці, її чисельність, основні завдання, функції та права її працівників згідно із законодавством.

Інструкції, що діють на підприємстві, розробляються на основі чинних державних міжгалузевих і галузевих нормативних актів з охорони праці,

примірних інструкцій та технологічної документації підприємства з урахуванням конкретних умов виробництва та вимог безпеки, викладених в експлуатаційній та ремонтній документації підприємств.

Тож розроблення відповідних інструкцій має свою специфіку та особливості, притаманні окремому підприємству. Оскільки саме роботодавець відповідає за організацію розробки таких нормативів, застосування/врахуванням збірника інструкцій з охорони праці на своєму підприємстві — виключна компетенція роботодавця.

Роботодавець розробляє і затверджує інструкції з охорони праці згідно штатного розпису та видів виконуваних робіт на підприємстві, забезпечує безкоштовно працівників інструкціями в достатній кількості.

Згідно діючих на підприємстві інструкцій з охорони праці проводиться інструктаж. Запис про проведення інструктажу робиться в журналах реєстрації інструктажів - вступного та на робочому місці. За характером і часом проведення інструктажі з питань охорони праці поділяються на вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий.

Працівники під час прийняття на роботу і в процесі роботи повинні проходити за рахунок роботодавця інструктаж, навчання з питань охорони праці, з надання першої медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків і правил поведінки у разі виникнення аварії.

Інструктажі працівників за характером і часом проведення поділяють на вступний (при прийнятті на роботу); первинний (на робочому місці); повторний (на робочому місці з усіма працівниками: на роботах з підвищеною небезпекою - один раз на 3 місяці, на інших роботах - один раз на 6 місяців, проводиться індивідуально або з групою працівників, які виконують однотипні роботи, за програмою первинного інструктажу); позаплановий (при зміні правил з охорони праці, заміні обладнання або інших чинників, що впливає на безпеку праці); цільовий (при виконанні разових робіт, не пов'язаних з прямими обов'язками зі спеціальності, при ліквідації аварії, стихійного лиха.

Вступний інструктаж проводиться:

- з усіма працівниками, які приймаються на постійну або тимчасову роботу, незалежно від їх освіти, стажу роботи та посади;
- з працівниками інших організацій, які прибули на підприємство і беруть безпосередню участь у виробничому процесі або виконують інші роботи для підприємства;
- з учнями та студентами, які прибули на підприємство для проходження трудового або професійного навчання;
- з екскурсантами у разі екскурсії на підприємство.

Вступний інструктаж проводиться спеціалістом служби охорони праці або іншим фахівцем відповідно до наказу (розпорядження) по підприємству, який в установленому Типовим положенням порядку пройшов навчання і перевірку знань з питань охорони праці. Вступний інструктаж проводиться в кабінеті охорони праці або в приміщенні, що спеціально для цього обладнано, з використанням сучасних технічних засобів навчання, навчальних та наочних посібників за програмою, розробленою службою охорони праці з урахуванням особливостей виробництва. Програма та тривалість інструктажу затверджуються керівником підприємства.

Запис про проведення вступного інструктажу робиться в журналі реєстрації вступного інструктажу з питань охорони праці, який зберігається службою охорони праці або працівником, що відповідає за проведення вступного інструктажу, а також у наказі про прийняття працівника на роботу.

Первинний, повторний, позаплановий і цільовий інструктажі проводить безпосередній керівник робіт (начальник виробництва, цеху, дільниці, майстер).

Про проведення первинного інструктажу на робочому місці, повторного, позапланового, цільового, стажування і допуску до роботи працівник, що проводив інструктаж, робить запис в “Журналі реєстрації інструктажів” на робочому місці з обов'язковим підписом хто інструктується і інструктує. При реєстрації позапланового інструктажу вказують причину його проведення. Первинний, повторний, позаплановий та цільовий інструктаж проводить безпосередній керівник (майстер).

Первинний інструктаж: проводиться до початку роботи безпосередньо на робочому місці з працівником:

- новоприйнятим (постійно чи тимчасово) на підприємство або до фізичної особи, яка використовує найману працю;
- який переводиться з одного структурного підрозділу підприємства до іншого;
- який виконує нову для нього роботу;
- відрядженим працівником іншого підприємства, який бере безпосередню участь у виробничому процесі на підприємстві.

Первинний інструктаж на робочому місці проводиться індивідуально або з групою осіб одного фаху за діючими на підприємстві інструкціями з охорони праці відповідно до виконуваних робіт.

Повторний інструктаж проводиться на робочому місці індивідуально з окремим працівником або групою працівників, які виконують однотипні роботи, за обсягом і змістом переліку питань первинного інструктажу.

Повторний інструктаж проводиться в терміни, визначені нормативно-правовими актами з охорони праці, які діють у галузі, або роботодавцем (фізичною особою, яка використовує найману працю) з урахуванням конкретних умов праці, але не рідше:

- на роботах з підвищеною небезпекою - 1 раз на 3 місяці;
- для решти робіт - 1 раз на 6 місяців.

Позаплановий інструктаж проводиться з працівниками на робочому місці або в кабінеті охорони праці:

- при введенні в дію нових або переглянутих нормативно-правових актів з охорони праці, а також при внесенні змін та доповнень до них;
- при зміні технологічного процесу, заміні або модернізації устаткування, приладів та інструментів, вихідної сировини, матеріалів та інших факторів, що впливають на стан охорони праці;
- при порушеннях працівниками вимог нормативно-правових актів з охорони праці, що призвели до травм, аварій, пожеж тощо;

- при перерві в роботі виконавця робіт більш ніж на 30 календарних днів - для робіт з підвищеною небезпекою, а для решти робіт - понад 60 днів.

Позаплановий інструктаж може проводитись індивідуально з окремим працівником або з групою працівників одного фаху. Обсяг і зміст позапланового інструктажу визначаються в кожному окремому випадку залежно від причин і обставин, що спричинили потребу його проведення.

Цільовий інструктаж проводиться з працівниками:

- при ліквідації аварії або стихійного лиха;
- при проведенні робіт, на які відповідно до законодавства, оформлюються наряд-допуск, наказ або розпорядження.

Цільовий інструктаж проводиться індивідуально з окремим працівником або з групою працівників. Обсяг і зміст цільового інструктажу визначаються залежно від виду робіт, що виконуватимуться.

Інструктажі завершуються перевіркою знань усним опитуванням за допомогою технічних засобів навчання, а також перевіркою набутих навичок безпечних методів роботи. Знання перевіряє особа, яка проводила інструктаж.

Працівники, зайняті на роботах з підвищеною небезпекою або там, де є потреба у професійному доборі, повинні щороку проходити за рахунок роботодавця спеціальне навчання і перевірку знань відповідних нормативно-правових актів з охорони праці.

Перелік робіт з підвищеною небезпекою затверджено наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26 січня 2005 р. № 15. Цей Перелік поширюється на всі підприємства, установи та організації незалежно від форм власності та видів їх діяльності.

Навчання й інструктаж працівників з питань охорони здоров'я під час праці є складовою системи управління охороною праці. Наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26 січня 2006 р. № 15 затверджено Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці.

Відповідальність за організацію і здійснення навчання та перевірки знань з питань охорони праці на підприємстві покладається на роботодавця. Контроль за навчанням і періодичністю перевірок знань з питань охорони здоров'я здійснює служба охорони праці.

Посадові особи, діяльність яких пов'язана з організацією безпечного ведення робіт, під час прийняття на роботу і періодично, один раз на три роки, проходять навчання, а також перевірку знань з питань охорони праці за участю профспілок.

Порядок проведення навчання та перевірки знань посадових осіб з питань охорони праці визначається типовим положенням, що затверджується спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з нагляду за охороною праці.

Допуск до роботи осіб, які не пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань з охорони праці, забороняється. При незадовільних результатах перевірки знань, умінь і навичок щодо безпечного виконання робіт після первинного, повторного чи позапланового інструктажу для працівника протягом 10 днів додатково проводяться інструктаж і повторна перевірка знань. При незадовільних результатах і повторної перевірки знань питання щодо працевлаштування працівника вирішується згідно з чинним законодавством. При незадовільних результатах перевірки знань після цільового інструктажу допуск до виконання робіт не надається. Повторна перевірка знань при цьому не дозволяється.

Вивчення основ охорони праці, а також підготовка та підвищення кваліфікації спеціалістів з охорони праці з урахуванням особливостей виробництва відповідних об'єктів економіки забезпечуються спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади в галузі освіти та науки в усіх навчальних закладах за програмами, погодженими із спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з нагляду за охороною праці.



### 1.14.2 Загальні заходи щодо забезпечення електробезпеки

Виділяють три системи засобів і заходів забезпечення електробезпеки:

1) система технічних засобів і заходів забезпечення електробезпеки, що реалізується в конструкції електроустановок при їх розробці, виготовленні і монтажі відповідно до чинних нормативів. За своїми функціями технічні засоби і за-

ходи діляться на дві підгрупи:

а) технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок (ізоляція струмопровідних частин, забезпечення недосяжності неізольованих струмопровідних частин, попереджувальна сигналізація, застосування блоків безпеки, засоби орієнтації в електроустановках, ізолювання електричних мереж від землі, захисне розділення електричних мереж, застосування малих напруг, компенсація ємкісної складової струму замикання на землю, вирівнювання потенціалів);

б) технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки при аварійних режимах роботи електроустановок (захисне заземлення, захисне занулення, захисне відключення);

2) система електрозахисних засобів та запобіжних пристосувань — це система технічних виробів, що не є конструктивними елементами електроустановок і використовуються при виконанні робіт в електроустановках з метою запобігання електротравм. Електрозахисні засоби поділяються на:

- а) ізолюючі — ізолюючі штанги, кліщі, накладки, діелектричні рукавички;
- б) огорожуючі — переносні огорожі, щити, бар'єри, ширми, плакати;
- в) запобіжні — окуляри, каски, запобіжні пояси, рукавиці для захисту рук;

3) система організаційно-технічних заходів.

*Ізоляція струмовідних частин.* Забезпечує технічну працездатність електроустановок, зменшує вірогідність попадань людини під напругу, замикань на землю і на корпус електроустановок, зменшує струм через людину при доторканні до неізольованих струмовідних частин в електроустановках, що живляться від ізольованої від землі мережі за умови відсутності фаз з пошкодженою ізоляцією.

ГОСТ 12.1.009-76 розрізняє ізоляцію:

- робочу — забезпечує нормальну роботу електроустановок і захист від ураження електричним струмом;
- додаткову — забезпечує захист від ураження електричним струмом на випадок пошкодження робочої ізоляції;
- подвійну — складається з робочої і додаткової;
- підсилену — поліпшена робоча ізоляція, яка забезпечує такий рівень захисту, як і подвійна.

При розробці електроустановок опір ізоляції приймається в межах 1 кОм/В, якщо технічними умовами не передбачені більш жорсткі вимоги відповідно до чинних актів. З метою забезпечення працездатності електроустановок і безпечної їх експлуатації проводиться контроль стану ізоляції, який характеризується електричною міцністю ізоляції, її електричним опором і діелектричними втратами. В установках, напругою більше 1000В, проводять всі види випробування ізоляції, а при напрузі до 1000В — тільки електричний опір і електричну міцність. Виділяють прийнятно-здавальні випробування, післяремонтні (реконструкція і капітальний ремонт) і міжремонтні в терміни, встановлені чинними нормативами залежно від типу електроустановки і умов її експлуатації. Так, опір переносних світильників, що живляться від електромережі, електрифікованого ручного інструменту, контролюється кожні 6 місяців, зварювального обладнання - кожні 12 місяців. При цьому опір ізоляції має бути не менше 0,5 МОм, а для електрифікованого інструменту - 1 МОм.

*Забезпечення недоступності струмовідних частин.* Статистичні дані щодо електротравматизму свідчать, що більшість електротравм пов'язані з дотиком до струмовідних частин електроустановок (біля 56%). Якщо в установках до 1000В небезпека електротравм пов'язана, переважно, з дотиком до неізольованих струмовідних елементів електроустановок, то при напрузі більше 1000В електротравми можливі і при дотику до ізольованих струмовідних частин. Основними заходами забезпечення недоступності струмовідних частин є застосування захисних огорожень, закритих комутаційних апаратів (пакетних

вимикачів, комплектних пускових пристроїв, дистанційних електромагнітних приладів управління споживачами електроенергії тощо), розміщення неізолюваних струмовідних частин на недосяжній, для ненавмисного доторкання до них інструментом, висоті, різного роду пристосуваннями тощо, обмеження доступу сторонніх осіб в електротехнічні приміщення.

*Застосування блоківки безпеки.* Блоківки безпеки застосовуються в електроустановках, експлуатація яких пов'язана з періодичним доступом до огорожених струмовідних частин (випробувальні і дослідні стенди, установки для випробування ізоляції підвищеною напругою), в комутаційних апаратах, помилки в оперативних переключеннях яких можуть призвести до аварії і нещасних випадків, в рубильниках, пусковій апаратурі, автоматичних вимикачах, які працюють в умовах підвищеної небезпеки (електроустановки на плавзасобах, в гірничодобувній промисловості).

Призначення блоківки безпеки: унеможливити доступ до неізолюваних струмовідних частин без попереднього зняття з них напруги, попередити помилкові оперативні та керуючі дії персоналу при експлуатації електроустановок, не допустити порушення рівня електробезпеки та вибухозахисту електрообладнання без попереднього відключення його від джерела живлення. Основними видами блоківки безпеки є механічні, електричні і електромагнітні.

Механічні блоківки безпеки виконуються, переважно, у вигляді механічних конструкцій (стопори, замки, пружинно-стержневі і гвинтові конструкції тощо), які не дозволяють знімати захисні огороження електроустановок, відкривати комутаційні апарати без попереднього зняття з них напруги.

Електричні блоківки забезпечують розрив мережі живлення спеціальними контактами, змонтованими на дверях огороження, розподільчих щитів і шаф, кришках і дверцях кожухів електрообладнання. При дистанційному управлінні електроустановкою ці контакти доцільно включати в мережу управління пускового апарату послідовно з органами пуску. В такому разі подача напруги на

установку органами пуску буде неможливою до замикання контактів електричних блоківок.

До одного з варіантів електричних блоківок можна віднести мілкоблочне виконання електричних апаратів, щитів і пультів управління з застосуванням закритих штепсельних рознімів. При видаленні такого блоку з загального корпусу пульта (стійки) штепсельні розніми розмикаються, і напруга з блоку знімається автоматично.

Електромагнітні блоківки безпеки вимикачів, роз'єднувачів, заземлюючих ножів використовуються на відкритих і закритих розподільчих пристроях з метою забезпечення необхідної послідовності вмикання і вимикання обладнання. Вони виконуються, переважно, у вигляді стержневих електромагнітів. Стержень електромагніту при знеструмленні його обмотки під дією пружини заходить у гніздо корпусу органа управління електроустановки, що не дозволяє маніпулювати цим органом. При подачі напруги на обмотку електромагніта осердя останнього втягується в котушку електромагніта, що забезпечує розблокування органа управління електроустановкою і можливість необхідних маніпулювань цим органом.

*Засоби орієнтації в електроустановках* дають можливість персоналу чітко орієнтуватись при монтажі, виконанні ремонтних робіт і запобігають помилковим діям. До засобів орієнтації в електроустановках належать: маркування частин електрообладнання, проводів і струмопроводів (шин), бирки на проводах, забарвлення неізольованих струмовідних частин, ізоляції, внутрішніх поверхонь електричних шаф і щитів керування, попереджувальні сигнали, написи, таблички, комутаційні схеми, знаки високої електричної напруги, знаки постійно попереджувальні тощо.

Попереджувальні сигнали використовують з метою забезпечення надійної інформації про перебування електрообладнання під напругою, про стан ізоляції та пристроїв захисту, про небезпечні відхилення режимів роботи від номінальних тощо. Світловою сигналізацією обладнуються в електроустановках напругою понад 1000В комірки роз'єднувачів, масляних вимикачів, трансформаторів. У

відних шафах комплектних трансформаторних підстанцій, незалежно від величини напруги, передбачається попереджувальна сигналізація станів "Увімкнено" і "Вимкнено".

*Виконання електричних мереж, ізольованих від землі.* Як зазначалось вище (18.9), в мережах, ізольованих від землі, при однофазному включенні людини під напругу і відсутності пошкодження ізоляції інших фаз, величина струму через людину визначається опором ізоляції фаз відносно землі, який, щонайменше, становить  $10^5$  Ом. Таким чином, виконання мереж, ізольованих від землі, обмежує величину струму через людину за рахунок опору ізоляції фаз відносно землі при умові забезпечення необхідного стану ізоляції. При наявності фаз з пошкодженою ізоляцією і доторканні людини до фазного проводу з непошкодженою ізоляцією сила струму через людину значно зростає. Тому застосування мереж, ізольованих від землі, вимагає обов'язкового контролю опору ізоляції.

В особливо небезпечних умовах такий контроль щодо електротравм повинен бути постійним, з автоматичним відключенням електроустановок з пошкодженою ізоляцією. Відповідно до чинних нормативів, наприклад у гірничодобувній промисловості і на торфорозробках, виконання електромереж, ізольованих від землі, є обов'язковим. На промислових підприємствах, підприємствах невиробничої сфери, у сільськогосподарському виробництві, побуті застосовуються, зазвичай, мережі з глухо-заземленою нейтраллю.

*Застосування малих напруг.* До малих напруг належать напруги 42 В і менше змінного струму частотою 50 Гц і 110 В і менше постійного струму.

Чинні нормативні документи виділяють два діапазони малих напруг змінного струму: 12 В і 42 В. Напруга до 42 В змінного і до 110 В постійного струму застосовується в приміщеннях з підвищеною небезпекою електротравм, особливо небезпечних і поза приміщеннями для живлення ручного електрифікованого інструменту, ручних переносних ламп, світильників місцевого освітлення з лампами розжарювання, в яких конструктивно не виключена можливість контакту сторонніх осіб зі струмовідними частинами, світильників

загального освітлення з лампами розжарювання при висоті підвісу світильників меншій 2,5 м.

Напруга до 12 В змінного струму повинна застосовуватись для живлення від мережі переносних світильників в особливо небезпечних умовах щодо електротравматизму: металеві, бетонні, залізобетонні та інші ємкості, кабельні та інші енергетичні підземні комунікації, оглядові ями, вентиляційні камери, теплопункти тощо. Для живлення таких світильників перевагу слід віддавати стаціонарним електричним мережам напругою 12 В. Розетки для підключення світильників в таких мережах конструктивно мають відрізнятися від розеток на більші діапазони напруги.

Поява напруги на неструмовідних частинах електроустановок пов'язана з пошкодженням ізоляції і замиканням на корпус. Основними технічними заходами щодо попередження електротравм при замиканнях на корпус є захисне заземлення, занулення, захисне відключення.

*Захисне заземлення*. Відповідно до ГОСТ 12.1.009-76, захисне заземлення - це навмисне електричне з'єднання з землею чи її еквівалентом металевих неструмовідних частин електроустановок, які можуть опинитись під напругою.

Захисному заземленню підлягають:

- електроустановки напругою 380 В і більше змінного струму і 440 В і більше постійного струму незалежно від категорії приміщень (умов) щодо безпеки електротравм;
- електроустановки напругою більше 42 В змінного струму і більше 110 В постійного струму в приміщеннях з підвищеною і особливою небезпекою електротравм, а також електроустановки поза приміщеннями;
- всі електроустановки, що експлуатуються у вибухонебезпечних зонах (з метою попередження вибухів).

Відповідно до зазначеного заземлюються:

- неструмовідні частини електричних машин, апаратів, трансформаторів;
- каркаси розподільчих щитів, шаф, щитів управління, а також їх знімні частини і частини, що відкриваються, якщо на них встановлено

електрообладнання напругою більше 42 В змінного і більш 110 В постійного струму.

- металеві конструкції розподільчих пристроїв, металеві кабельні коробки й інші кабельні конструкції, металеві кабельні муфти, металеві гнучкі рукави і труби електропроводки, електричні світильники;

- металоконструкції виробничого обладнання, на якому є споживачі електроенергії;

- опори повітряних ліній електропередач тощо.

Не заземлюються неструмовідні частини електроустановок, розміщених на заземлених металоконструкціях, за умови надійного контакту між ними, за винятком електроустановок, що експлуатуються у вибухонебезпечних зонах.

*Занулення.* Відповідно до ГОСТ 12.1.009-76, занулення в загальному розумінні — це навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих неструмовідних частин, які можуть опинитись під напругою в результаті пошкодження ізоляції.

Занулення в електроустановках — це навмисне з'єднання елементів електроустановки, які не знаходяться під напругою, з глухозаземленою нейтраллю генератора чи трансформатора в мережах трифазного струму, з глухозаземленим вводом джерела однофазного струму, з глухозаземленою середньою точкою джерела в мережах постійного струму.

Вимоги щодо застосування занулення залежно від величини напруги і категорії приміщень за небезпекою електротравм аналогічні вимогам до застосування захисного заземлення. За величиною напруги мережі живлення застосування занулення обмежується напругою до 1 кВ.

Згідно з чинними нормативами, можливі два варіанти реалізації занулення:

- заземлена через певні відстані (100...200 м) нейтраль мережі виконує функції нульового робочого і нульового захисного провідника одночасно;

- для занулення обладнання прокладається окремий провідник, який виконує функції тільки нульового захисного.

Другий варіант є обов'язковим для житлових, адміністративно-побутових приміщень, приміщень масового перебування людей та їм подібних, що будуються.

У цьому випадку в приміщеннях з однофазною мережею внутрішня мережа виконується трипровідною — фаза, нуль робочий і нуль захисний, а розетки для підключення переносних споживачів електроенергії — трьохконтактні. При відповідному виконанні штепсельних вилок і шнура живлення (трипровідний) контакт мережі нульового захисного провідника замикається з упередженням відносно контактів фази і нульового робочого провідника. Таким чином, споживач електроенергії занулюється до подачі на нього напруги.

У приміщеннях з трифазними споживачами внутрішня мережа виконується п'ятипровідною — 3 фази, нуль робочий і нуль захисний.

Незалежно від розглянутих варіантів при застосуванні в приміщенні окремого нульового захисного провідника останній відгалужується від нейтралі мережі на щитку вводу в приміщення до роз'єднуючих контактів, а для забезпечення його цілісності і надійності захисту в мережі цього провідника не повинно бути будь-яких роз'єднувачів, запобіжників тощо.

*Захисне відключення*. Призначення захисного відключення — відключення електроустановки при пошкодженні ізоляції і переході напруги на неструмовідні її елементи. Застосовується в доповнення до захисного заземлення (занулення) для забезпечення надійного захисту, перш за все, в умовах особливої небезпеки електротравм.

Ефективність захисного заземлення залежить від опору заземлюючого пристрою розтіканню струму замикання на землю. При наявності сухого чи скального ґрунту опір заземлюючого пристрою розтіканню струму за певних умов може перевищувати допустимі значення з відповідною втратою захисних функцій. Тому в подібних випадках доцільно застосовувати захисне відключення.

Згідно з чинними нормативами, захисне відключення є обов'язковим в гірничодобувній промисловості і на торфодобувних підприємствах.



Ефективність занулення залежить від опору мережі короткого замикання при переході напруги на неструмовідні частини. При значній протяжності мережі живлення її опір струму короткого замикання збільшується, а абсолютне значення струму короткого замикання може бути недостатнім для спрацювання захисту від

КЗ.

У подібних випадках ефективний захист може бути забезпечений застосуванням пристроїв захисного відключення, спрацювання яких може бути спричинене струмами витоку на землю з корпусу електроустановки, зниженням опору ізоляції фази відносно землі, перерозподілом навантаження на фази тощо. Промисловістю серійно випускаються пристрої захисного відключення.

*Система електрозахисних засобів*. Електрозахисні засоби - це технічні вироби, що не є конструктивними елементами електроустановок і використовуються при виконанні робіт в електроустановках з метою запобігання електротравм.

ДНАОП 1.1.10-1.07-01 "Правила експлуатації електрозахисних засобів" (в подальшому Правила) - чинний нормативний документ, в якому наведено перелік засобів захисту, вимоги до їх конструкції, обсягів і норм випробувань, порядку застосування і зберігання, комплектування засобами захисту електроустановок та виробничих бригад. Засоби захисту, що використовуються в електроустановках, повинні відповідати вимогам чинних державних стандартів, технічних умов щодо їх конструкції.

Електрозахисні засоби поділяються на ізолюючі (ізолюючі штанги, кліщі, накладки, діелектричні рукавички тощо), огорожуючі (огороження, щитки, ширми, плакати) та запобіжні (окуляри, каски, запобіжні пояси, рукавиці для захисту рук).

Ізолюючі електрозахисні засоби поділяються на основні і додаткові.

Основні ізолюючі електрозахисні засоби розраховані на напругу установки і при дотриманні вимог безпеки щодо користування ними забезпечують захист працівників.

Додаткові електрозахисні засоби навіть при дотриманні функціонального їх призначення не забезпечують надійного захисту працюючих і застосовуються одночасно з основними для підвищення рівня безпеки. У разі застосування основних електрозахисних засобів достатньо використовувати один додатковий засіб. При захисті працівників від напруги кроку достатньо використовувати діелектричне взуття без застосування основних засобів.

*Система організаційно-технічних заходів включає* : призначення осіб, які відповідають за організацію та проведення робіт у діючих електроустановках; оформлення наряду чи розпорядження на проведення робіт; виконання робіт не менш ніж двома працівниками із застосуванням електрозахисних засобів та безпечним розташуванням працівників, використовуваних механізмів і пристосувань; організація постійного нагляду за проведенням робіт; оформлення закінчення робіт, перерв у роботі, переведення на інші робочі місця.

До роботи з електроустановками допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли інструктаж і навчання безпечним методам праці, перевірку знань правил безпеки та інструкцій відповідно до займаної посади стосовно до виконуваної роботи і не мають медичних протипоказань з присвоєнням відповідної кваліфікаційної групи

До I кваліфікаційної групи належать: персонал, що обслуговує електротехнологічний обладнання; персонал, що працює з електроінструментом; електротехнічний персонал, який не пройшов перевірку знань з правил електробезпеки; прибиральники електроприміщень. Вони не мають спеціальної електротехнічної підготовки, але повинні мати елементарне уявлення про небезпеку електричного струму і заходи безпеки при роботі на дільниці, яку обслуговує, електрообладнанні, установці. Працівники цієї групи повинні бути практично знайомі з правилами надання першої допомоги при ураженні електричним струмом.

До II групи відносяться практиканти інститутів, технікумів, технічних училищ, а також електромонтери, електрослюсарі, зв'язківці, машиністи електротранспорту, електрозварники, практики-електрики, які досягли 18 років зі

стажем роботи на електроустановках не менше 1-го місяця (крім практикантів-учнів). Працівники цієї групи повинні мати елементарне технічне знайомство з електроустановками, чітко уявляти небезпеку електроструму і наближення до струмоведучих частин, знати основні запобіжні заходи при роботах на електроустановках, бути практично знайомими з правилами надання першої допомоги.

Електротехнічний персонал з відповідною підготовкою відноситься до більш високим групам - від III до V.

При проведенні робіт зі зняттям напруги в діючих електроустановках чи поблизу них слід виконувати:

- а) вимкнення установки (частини установки) від джерела живлення електроенергії;
- б) механічне блокування приводів апаратів, які здійснюють вимкнення, зняття запобіжників, від'єднання кінців лінії, яка здійснює електропостачання та інші заходи, що унеможливають випадкову подачу напруги до місця проведення робіт;
- в) встановлення знаків безпеки та захисних огорож біля струмопровідних частин, що залишаються під напругою і до яких у процесі роботи можливе доторкання або наближення на недопустиму відстань;
- г) встановлення заземлення (ввімкнення заземлювальних ножів чи встановлення переносних заземлень);
- д) огороження робочого місця та вивішування плакатів безпеки (наприклад «Не вмикати! Робота на лінії» на приводах роз'єднувачів).

#### 1.14.3 Розрахунок захисного заземлення цехової трансформаторної підстанції

Ефективність захисного заземлення залежить від опору заземлюючого пристрою проходженню струму замикання на землю.

Відповідно до чинних нормативів, величина опору заземлюючого пристрою в установках напругою до 1000 В не повинна перевищувати:

- 10 Ом при сумарній потужності генераторів (трансформаторів) 100 кВА і менше;

- 4 Ом при сумарній потужності генераторів (трансформаторів) більше 100 кВА.

Опір заземлюючого пристрою електроустановок, що живляться від мережі напругою більше 1000 В, повинен бути:

- не більше 0,5 Ом в мережах з ефективно заземленою нейтраллю;

- в мережах, ізольованих від землі, не більше визначеного з виразу  $125 / I_{33}$ . і приймається розрахунковим, але не більше 10 Ом.

*Конструктивно захисне заземлення включає заземлюючий пристрій і провідник, що з'єднує заземлюючий пристрій з обладнанням, яке заземлюється — заземлюючий провідник.*

Для заземлюючих провідників використовують неізольовані мідні провідники поперечним перерізом не менше  $4 \text{ мм}^2$  або сталеві струмопроводи діаметром 5...10 мм. Заземлюючі провідники між собою і з заземлювачами з'єднуються зварюванням, а з обладнанням, що заземлюється — зварюванням або за допомогою гвинтового з'єднання з застосуванням антикорозійних заходів. У виробничих приміщеннях заземлюючі провідники прокладаються відкрито, а обладнання приєднується до внутрішньої магістралі заземлення індивідуально шляхом паралельних приєднань.

Заземлюючі пристрої можуть бути природними і штучними. Як природні заземлюючі пристрої використовуються прокладені в землі трубопроводи, оболонки кабелів, арматура будівельних конструкцій, що має контакт із землею тощо. Штучні заземлюючі пристрої — це спеціально закладені в землю металоконструкції, призначені для захисного заземлення. Штучними заземлювачами можуть бути металеві, вертикально закладені в ґрунт електроди (стержні, труби, кутова сталь тощо), з'єднані між собою за допомогою зварки з'єднувальною смугою, смугова і листова сталь і т.ін.

Закладені в ґрунт вертикальні електроди, з'єднані металевою смугою в загальну мережу, використовуються, переважно, для цехових заземлюючих

пристроїв при значній кількості електроустановок, що заземлюються, заземлюючих пристроїв ВРП тощо. У цьому випадку, заземлюючий пристрій виконується у вигляді контурного або виносного заземлення

У випадку контурного заземлення в приміщенні відкрито, по будівельних конструкціях, споруджується внутрішній контур заземлення, з яким за допомогою з'єднувальних провідників з'єднуються неструмовідні елементи обладнання, що заземлюється. Зовні приміщення в ґрунті на глибині 0,7...1,0 м споруджується контурний заземлюючий пристрій 1 (вертикальні електроди, з'єднані горизонтальним електродом).

Внутрішня магістраль заземлення і заземлюючий пристрій з'єднуються між собою за допомогою зварювання не менше ніж у двох місцях.

На кожний діючий заземлюючий пристрій повинен бути паспорт, в якому приводиться його схема, дані про результати перевірок стану заземлюючого пристрою, проведені ремонтні роботи і конструктивні зміни.

Опір захисного заземлення струму розтікання контролюється в терміни, встановлені чинними нормативами, з веденням відповідної документації: на вугледобувних шахтах кожні 6 місяців; цехові заземлюючі пристрої — кожні 12 місяців; заземлюючі пристрої підстанцій — раз у 3 роки.

В електроустановках до 1 кВ із ізольованої нейтралю опір заземлюючого пристрою повинний бути не більше 4 Ом.

Розрахунок заземлювачів виробляється по формулах.

1) Визначаємо розрахунковий опір одного електрода:

$$r_e = 0,3 \cdot K_{сез} \cdot \rho \cdot \frac{1}{L} \quad (1.65)$$
$$r_e = 0,3 \cdot 50 \cdot 1,4 \cdot \frac{1}{18,9} = 11,1 \text{ Ом}$$

де  $\rho$  – питомий опір ґрунту (для чорнозему 50 Ом·м),  $K_{сез}$  – коефіцієнт сезонності.

2) Граничний опір сполученого ЗУ. На низьку напругу  $R_{ЗУ} \leq 4 \text{ Ом}$  приймаємо  $R_{ЗУ} = 4 \text{ Ом}$ .

3) Визначаємо кількість вертикальних електродів:

$$N'_{в.в} = \frac{r_в}{R_{3У}} \quad (1.66)$$

$$N'_{в.в} = \frac{18,9}{4} = 5$$

Приймаємо  $N'_{в.в} = 5$ . Тоді:

$$a = 1 = L$$

З урахуванням екранування:

$$N_{в.в} = \frac{N'_{в.в}}{\eta} \quad (1.67)$$

$$N_{в.в} = \frac{5}{0,74} = 7 \text{ шт.}$$

де  $\eta_{в}$  - коефіцієнт використання вертикальних електродів.

4) Визначаємо довжину смуги заземлюючого пристрою:

$$L_{п} = 2 \cdot 5 = 10 \text{ м}$$

5) Визначаємо уточнені значення опорів вертикальних і горизонтальних електродів:

$$R = \frac{r_в}{N_{в.в} \cdot \eta_в} \quad (1.68)$$

$$R_2 = \rho \cdot \frac{0,4}{L_n \eta_в} \quad (1.69)$$

$$R_2 = \frac{18,9}{7 \cdot 0,74} = 3,67 \text{ Ом}$$

$$R_2 = \frac{0,4}{10 \cdot 0,74} \cdot 50 \cdot \lg \frac{2 \cdot 10^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7} = 10,4 \text{ Ом}$$

де  $b$  - ширина смуги, для круглого горизонтального заземлювача  $b = 40$ ,  $t$  - глибина закладення

5) Визначаємо фактичний опір заземлюючого пристрою:

$$R_{\phi.3V} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1.70)$$
$$R = \frac{3,67 \cdot 10,4}{3,67 + 10,4} = \frac{586,5}{14,07} = 41,7 \text{ Ом.}$$
$$R_{\phi.3V} 2,7 \text{ Ом} < R_{3V} 4 \text{ Ом.}$$

Фактичний опір заземлюючого пристрою менший допустимого опору, значить заземлюючий пристрій буде ефективним.

#### 1.14.4 Пожежна безпека

Пожежа може виникнути з наступних причин:

- заміна запобіжника або проведення якого-небудь ремонту електричного устаткування при підключеному живленні; застосування запобіжників, які по номінальному струму не відповідають даному колу;
- при появі перехідного опору, який виникає в місцях з'єднання проводів, електричних контактів машин, апаратів тощо.

Не можна продовжувати роботу, якщо у кабіні відчувається запах гару і диму, якщо не з'ясована причина цього і не усунено несправність.

При виникненні пожежі персонал повинен припинити всі виконувані роботи. Потім від'єднати живлення та приступити до гасіння пожежі вуглекислотним вогнегасником. Ці вогнегасники можна використовувати для гасіння пожеж будь-яких речовин, машин і устаткування, у тому числі і електричного. Для гасіння пожеж можна також використовувати пісок з пісочниць.

Слід виконувати наступні правила протипожежної безпеки:

- забороняється встановлювати установку так, щоб вона перекривала проїзну частину, виходи і входи, закривала пожежні колодязі, пожежні щити та інші протипожежні пристрої, або утруднювала доступ до них;

- при постановці установки на місце стоянки необхідно відключити рубильник, виключити усі високовольтні електричні кола (опалення кабіни, освітлення, двигуни, робочі органи);

- якщо виникло займання мастильних матеріалів потрібно запобігти розповсюдженню горючого середовища, ізолювати його, застосувати заходи пожежогасіння, евакуювати людей у безпечну зону, викликати пожежників.

Необхідно проводити організаційні заходи по забезпеченню пожежної безпеки; навчання робітників правилам пожежної безпеки, проведення інструктажу та ознайомлення з нормами пожежної безпеки, проведення навчальних робіт з пожежної охорони об'єкта.

На території цеху встановлено пожежні щити. До комплексу засобів пожежогасіння, які розміщуються в ньому, включенні: вогнегасники ВП-5 - 3 шт., ящик з піском - 1 шт., покривало з негорючого теплоізоляційного матеріалу або повсті 2м x 2м - 1 шт., гаки – 3 шт., лопати - 2 шт., ломи - 2 шт., сокири - 2 шт.

Ящик для піску має місткість 3м<sup>3</sup> та укомплектований совковою лопатою. У кабіні установки розташований вогнегасник ВВ-5.

Техніко-економічне обґрунтування ефективності прийнятих рішень

Визначення кошторисної вартості елементів СЕП

Для визначення первісної балансової вартості основних фондів, що вводяться у дію, а також для розрахунку величини амортизаційних відрахувань необхідно провести розрахунки кошторисної вартості елементів системи електропостачання. Основою для складання кошторису є прийняті в проекті системи електропостачання технічні рішення і діючі кошторисні нормативи. На виконання будівельно-монтажних робіт (БМР) допускається закладати 30% від



загальної кошторисної вартості електрообладнання.

Результати розрахунку заводимо в таблицю 1.15.

---

## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

#### Вступ

На всіх стадіях свого розвитку людина була тісно пов'язаний з навколишнім світом. Але з тих пір як з'явилося високо індустріальне суспільство, небезпечне втручання людини в природу різко посилилося, розширився обсяг цього втручання, вона стала різноманітніше і він загрожує стати глобальною небезпекою для людства. Гідросфера, атмосфера і літосфера Землі в даний час піддається наростаючому антропогенному впливу.

Найбільш масштабним і значним є хімічне забруднення середовища невластивими їй речовинами хімічної природи. Серед них – газоподібні і аерозольні забруднювачі промислово-побутового походження. Прогресує і накопичення вуглекислого газу в атмосфері. Подальше розвиток цього процесу буде підсилювати небажану тенденцію у бік підвищення середньорічної температури на планеті. Викликає тривогу в екологів і триваюче забруднення Світового океану нафтою і нафтопродуктами, досягло вже 1/5 його загальної поверхні. Нафтове забруднення таких розмірів може викликати істотні порушення газо-і водообміну між гідросферою і атмосферою. Не викликає сумнівів і значення хімічного забруднення ґрунту пестицидами і її підвищеною кислотністю, що веде до розпаду екосистеми. У цілому

всі розглянуті фактори, яким можна приписати забруднюючий ефект, впливають на процеси, відбуваються в біосфері.

Охорона навколишнього природного середовища, раціональне використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини – невід'ємна умова сталого економічного та соціального розвитку України.

З цією метою Україна здійснює на своїй території екологічну політику, спрямовану на збереження безпечного для існування живої і неживої природи навколишнього середовища, захисту життя і здоров'я населення від негативного впливу, зумовленого забрудненням навколишнього природного середовища, досягнення гармонійної взаємодії суспільства і природи, охорону, раціональне використання і відтворення природних ресурсів.

Метою даного розділу є теоретична та практична підготовка інженерів-електриків до самостійного вирішення питань охорони навколишнього середовища як при проектуванні, так і при спорудженні та експлуатації електроустановок в системах електропостачання промислових підприємств, міст і сільського господарства.

### **5.1. Аналіз нормативно технічних документів**

Завданням законодавства про охорону навколишнього природного середовища є регулювання відносин у галузі охорони, використання і відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки, запобі-

гання і ліквідації негативного впливу господарської та іншої діяльності на навколишнє природне середовище, збереження природних ресурсів, генетичного фонду живої природи, ландшафтів та інших природних комплексів, унікальних територій та природних об'єктів, пов'язаних з історико-культурною спадщиною.

Відносини у галузі охорони навколишнього природного середовища в Україні регулюються Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища», а також розроблюваними відповідно до нього земельним, водним, лісовим законодавством, законодавством про надра, про охорону атмосферного повітря, про охорону і використання рослинного і тваринного світу та іншим спеціальним законодавством.

Основними принципами охорони навколишнього природного середовища є:

а) пріоритетність вимог екологічної безпеки, обов'язковість додержання екологічних стандартів, нормативів та лімітів використання природних ресурсів при здійсненні господарської, управлінської та іншої діяльності;

б) гарантування екологічно безпечного середовища для життя і здоров'я людей;

в) запобіжний характер заходів щодо охорони навколишнього природного середовища;

г) екологізація матеріального виробництва на основі комплексності рішень у питаннях охорони навколишнього природного середовища, використання та відтворення відновлюваних природних ресурсів, широкого впровадження новітніх технологій;

д) збереження просторової та видової різноманітності і цілісності природних об'єктів і комплексів;

е) науково обґрунтоване узгодження екологічних, економічних та соціальних інтересів суспільства на основі поєднання міждисциплінарних знань екологічних, соціальних, природничих і технічних наук та прогнозування стану навколишнього природного середовища;

є) обов'язковість екологічної експертизи;

ж) гласність і демократизм при прийнятті рішень, реалізація яких впливає на стан навколишнього природного середовища, формування у населення екологічного світогляду;

з) науково обґрунтоване нормування впливу господарської та іншої діяльності на навколишнє природне середовище;

и) безоплатність загального та платність спеціального використання природних ресурсів для господарської діяльності;

і) компенсація шкоди, заподіяної порушенням законодавства про охорону навколишнього природного середовища;

ї) вирішення питань охорони навколишнього природного середовища та використання природних ресурсів з урахуванням ступеня антропогенної зміненості територій, сукупної дії факторів, що негативно впливають на екологічну обстановку;

й) поєднання заходів стимулювання і відповідальності у справі охорони навколишнього природного середовища;

к) вирішення проблем охорони навколишнього природного середовища на основі широкого міждержавного співробітництва;

л) встановлення екологічного податку, збору за спеціальне використання води, збору за спеціальне використання лісових ресурсів, плати за користування надрами відповідно до Податкового кодексу України.

## **5.2. Ресурсозбереження. Утилізація. Еколого-економічний збиток**

Ресурсозбереження припускає комплексний підхід, органічне сполучення технологічних, економічних і соціальних напрямків інтенсифікації використання ресурсів. Це складова загального поняття «екологізація виробництва».

Екологізація виробництва включає: стимулювання ресурсозбереження, пошук принципово нових джерел енергії, маловідхідне виробництво, переробку відходів, а також процес випуску і використання товарної продукції,

В літературі, поряд із поняттям «екологізація виробництва», часто зустрічається термін «екологізація технологій».

Екологізація технологій означає впровадження у виробництво і повсякденне життя людей таких виробничих процесів, які при максимальному одержанні високоякісного продукту можуть забезпечити збереження екологічної рівноваги в природному середовищі і це будуть сприяти її забрудненню.

За Н.Ф. Реймерсом «екологізація технологій (виробництва) – це система заходів, спрямованих на запобігання негативному впливу виробни-

чих процесів на природне середовище, здійснюваних за рахунок маловідхідних технологій».

За І.І. Дедю «екологізація технологій» – розробка і впровадження у виробництво, комунальне господарство і побут людей таких технологій, які при максимальному одержанні високоякісної продукції забезпечували б збереження екологічної рівноваги в природі, кругообіг речовин і енергії, не допускаючи забруднення навколишнього середовища.

Екологізація включає: ощадливу витрату сировини, комплексне використання природних ресурсів, створення нових технологій, що забезпечують маловідхідне виробництво, замкнуті цикли водообігу, утилізацію відходів. Отже, основними моментами екологізації є:

- ресурсозбереження;
- маловідхідне виробництво;
- технології використання й утилізації відходів;
- нові джерела енергії і палива

**Ресурсозбереження** – система засобів, спрямованих на виробництво і реалізацію кінцевих продуктів із мінімальною витратою речовини й енергії на всіх стадіях технологічного процесу.

До складу виробничих ресурсів входять виробничі фонди (накопичені основні й оборотні кошти виробництва), науковий потенціал, трудові (у тому числі інтелектуальні) і природні ресурси, залучені в господарський обіг.

Загальною ознакою виробничих ресурсів є їхня потенційна можливість участі у виробництві, де вони трансформуються в продукцію (конкретно-

тні споживчі цінності), а також відносна їхня обмеженість при даному рівні і темпах економічного розвитку.

Взаємозв'язок виробленої продукції з чинниками виробництва виражається в показниках ефективності використання ресурсів - ресурсомісткості продукції або ресурсовіддачі.

Ресурсоміткість розраховується як співвідношення між спожитими ресурсами і виробленою продукцією в речовинній формі або у вигляді робіт і послуг.

Наприклад, водомісткість виробництва 1 кг сталі складає 30 кг, чавуна – 5 кг, целюлози – 0,5 т; бавовни – 10 т води.

При визначенні ресурсомісткості слід також враховувати: територіальну (земельну) ємкість, повітромісткість, енергоємність, трудомісткість, ступінь забруднення навколишнього середовища, розміри порушення екосистеми.

Ресурсовіддача характеризує вихід фізичного обсягу продукції на одиницю використаних для виробництва ресурсів (інтегральний ресурс) або їх окремих складових.

Ефективність використання природних ресурсів оцінюється інтенсивністю природокористування, що визначається збільшенням кількості кінцевої корисної продукції на одиницю залученого у виробництво конкретного або інтегрального ресурсу, чи питомими капіталовкладеннями на відтворення цих ресурсів.

Ресурсозбереження припускає зниження витрати усіх видів ресурсів на виробництво одиниці продукції. Його варто розглядати як умову, про-



цес, результат і показник поліпшення використання засобів виробництва і трудових ресурсів на всіх етапах виробничо-господарської діяльності об'єднань і підприємств, а також економічного і соціального розвитку регіонів і народного господарства в цілому.

Як показник, ресурсозбереження являє собою зниження ресурсомісткості виробництва або збільшення виходу кінцевої продукції з необхідних для її випуску ресурсів.

Ресурсозбереження – багатоаспектна проблема, її вирішення означає збільшення випуску продукції при незмінній або меншій витраті матеріальних ресурсів, зниження її собівартості, зростання прибутку, більш повне використання виробничих потужностей і підвищення продуктивності праці, зменшення капіталовкладень у видобувні галузі, поліпшення екологічної ситуації.

Результатом ресурсозбереження є також вивільнення з народногосподарського обігу первинних матеріальних ресурсів внаслідок їхньої заміни побіжними продуктами або відходами виробництва. Ресурсозбереження сприяє не тільки підвищенню ефективності суспільного виробництва, але й запобігає забрудненню навколишнього середовища.

Залучення в повторний господарський обіг раніше виробленої готової продукції (металевий брухт устаткування, брухт пластмас, склобій, макулатура) називається реутилізацією.

**Реутилізація** – повторне використання - одержання нової продукції з раніше використаної шляхом відповідної її переробки з метою одержання продукту того ж або близького складу.

В даний час в Україні ресурсозбереження, у тому числі енергозбереження - одне з основних напрямків господарської політики. Наприклад, на одиницю національного доходу витрачається більше, ніж у США: нафти і газу в 2,3 рази; енергії - у 2 рази; сталі і бавовни - у 3 рази; цементу - у 2,6 рази.

В Україні вторинні ресурси використовуються в основному на цілі, що не потребують розробки додаткових технологій.

Ресурсозбереження може стати більш ефективним при безпосередній економії вихідної сировини в процесі її переробки. Так, на 1 т вихідного корисного продукту в харчовій промисловості витрачається в декілька разів більше сировини.

Вже зараз можливо (є відповідні технічні розробки й устаткування) повторно використовувати 60% відходів, що утворюються. У майбутньому промислове виробництво буде в основному базуватися на поновлюваних і вторинних матеріальних ресурсах, і тільки для розширеного відтворення буде потрібно залучення первинної сировини.

Повторне використання матеріальних ресурсів має виняткове значення з огляду збереження або подовження часу використання запасів найважливіших руд (ресурсів, що вичерпуються).

Вся використана сировина (близько 90%) надходить в навколишнє середовище у вигляді різноманітних відходів. Цікаво, що до видобутку ці речовини в природі знаходилися в найменш розчинній, отже, найменш токсичній формі. Наприклад, метали - у вигляді малорозчинних оксидів, фтор - у вигляді фторида кальцію або фосфатів.

При одержанні металів, фосфорних добрив і ряду інших продуктів утворюється велика кількість твердих, рідких і газоподібних відходів, у яких важкі метали і фтор знаходяться в активній формі, що негативно діє на все живе.

В останні 20 років в усьому світі промисловість і транспорт викинули в навколишнє середовище свинцю більше, ніж за весь попередній період. Взагалі в результаті антропогенного навантаження в біосферу надійшло близько 20 млн т свинцю, 14 млн т цинку, більше 2 млн т міді.

Вторинні матеріальні ресурси - це відходи виробництва і споживання, що на даному етапі розвитку науки і техніки можуть бути використані в народному господарстві.

Вторинні матеріальні ресурси поділяються на використовувані і невикористовувані.

До невикористовуваних вторинних матеріальних ресурсів відносять відходи, що не знаходять застосування через відсутність капіталовкладень для їхньої переробки, відсутності споживача продукції або через не розробленість технології переробки.

Одним із резервів підвищення ефективності суспільного виробництва є використання побічних або побіжних продуктів, які (на відміну від відходів) можуть бути застосовані без доробки і переробки.

**Утилізація відходів** – від латинського utilis – корисний – означає залучення їх у нові технологічні процеси з метою одержання корисного продукту. Тобто використання відходів як вторинної сировини, палива, добрива, будівельних матеріалів або з іншою метою.

Варто розрізняти поняття «утилізація» відходів, «реутилізація» або «рециркуляція».

**Рециркуляція відходів** – це їхнє багаторазове використання після переробки (металевий брухт, макулатура, склобій, мастила і т.д.).

Іноді зустрічається термін «знешкодження відходів» технологічний процес або їхня сукупність, у результаті якого токсичні речовини (або група речовин) перетворюються в нетоксичні сполуки, що не розкладаються.

**Еколого-економічний збиток** – це фактичні та можливі збитки в їх кількісному та якісному вираженні, включаючи додаткові витрати на ліквідацію несприятливих наслідків для життєдіяльності людей, тварин, рослин і інших живих організмів, викликаних порушенням нормативів якості навколишнього природного середовища у результаті негативних дій господарської й іншої діяльності, техногенних аварій та катастроф.

У наш час оцінка еколого-економічного збитку дуже актуальна, тому що зростає увага до проблем навколишнього середовища. Всі ми хочемо жити в екологічно чистій місцевості, дихати чистим повітрям, пити чисту воду. Оцінка еколого-економічного збитку може стати ефективним механізмом щодо нормалізації екологічної обстановки в регіоні.

Еколого-економічні збитки поділяється на такі складові:

- економічний (наприклад, втрати від недоотримання продукції);
- соціально-економічний (зростання захворюваності економічно активного населення);
- соціальний (зокрема, зниження тривалості життя);
- Екологічний (зникнення біологічних видів).

### 5.3. Розрахунок еколого-економічного збитку

На даний час на більшості аеродромів України проводиться реконструкція, замінюються системи електропостачання та інше. При заміні старої системи електропостачання виникають відходи – старий кабель, який для економії коштів на вивезення просто закопують неподалік на території аеродрому.

Кабель електропостачання аеродромних вогнів виготовлений з міді та покритий гумовою оболонкою. Перетин струмовідної жили складає 6,0 мм<sup>2</sup> (або 10,0 мм<sup>2</sup>), в залежності від струму для якого він призначений. Довжина кабелю системи електропостачання аеродромних вогнів вимірюється кілометрами, наприклад довжина кабелю системи електропостачання вогнів наближення складає 3,5 км і для неї використовується кабель перетином 10,0 мм<sup>2</sup>. Електропостачання всіх ПССА здійснюється по двом кабельним лініям від двох джерел, тому довжину кабелю системи електропостачання можна сміливо помножити на два.

Таблиця 5.1

Розрахунок еколого-економічного збитку

Найменування ПССА	Перетин струмовідної жили, мм <sup>2</sup>	Загальна довжина кабелю, м	Маса міді в кабелі, кг	Вартість міді в кабелі, грн
Підсистема вогнів наближення та світлових горизонтів	10	7000	624,4	24976

Підсистема осьових вогнів ЗПС	6	12000	642,24	25689,6
-------------------------------	---	-------	--------	---------

*Продовження таблиці 5.1*

Підсистема бічних, вхідних та обмежувальних вогнів ЗПС	6	12240	655,0848	26203,39
Підсистема вогнів ЗПС зони приземлення	6	8400	449,568	17982,72
Підсистема глісадних вогнів ЗПС	6	4000	214,08	8563,2
Усього				103414,91

Густина міді становить 8920 кг/м<sup>3</sup>;

Вартість одного кілограму мідного металобрухту становить 30-50 грн., для розрахунків взято середнє значення 40 грн/кг.

#### **5.4. Висновки**

Захоронення відходів небезпечно з точки зору охорони навколишнього середовища, оскільки відходи, будучи продуктами з токсичними властивостями і нестабільного хімічного характеру, можуть мігрувати у вигляді летких компонентів у повітряне середовище або ж у формі розчин-

них сполук переходити в ґрунтові води, а потім асимілюватися в рослинах і потрапляти в корм тварин і в їжу людям.

Більш перспективним є шлях утилізації відходів у різні галузі промисловості.

Розрахунки показали, що близько 100 тис. грн., закопують у землю. Повторне використання таких відходів в деякій мірі відшкодує витрати на реконструкцію аеродрому та зменшить навантаження на навколишнє середовище.

В распределительных сетях с рабочим напряжением 6-35 кВ ключевой проблемой является режим заземления нейтрали, оказывающий решающее влияние на надежность электроснабжения потребителей, сохранность электрических машин и силовых кабелей, безопасность людей и животных, оказавшихся в местах прохождения линий, а также на выбор принципов и типов устройств релейной защиты и автоматики (РЗА), на способы использования этих устройств для отключения, сигнализации однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ).

ОЗЗ в сетях 6-35 кВ составляют 75-90% от общего числа повреждений. Ток ОЗЗ зависит от рабочего напряжения сети, суммарной емкости неповрежденных фаз сети по отношению к земле, сечения жил кабеля. Величина тока ОЗЗ соизмерима с током нагрузки и может изменяться от единиц до сотен ампер. При этом вся электрически связанная сеть длительно подвергается перенапряжениям, сопровождающимся перемежающейся электрической дугой в месте повреждения [5].

Теоретически при «металлическом» ОЗЗ перенапряжения на неповрежденных фазах равны 1,73 фазных напряжений (иф) [11].

Время работы сети с ОЗЗ ограничивается термической стойкостью измерительных трансформаторов напряжения (ТН), у которых нейтраль первичной обмотки глухо заземлена [11].

В России главным образом используются следующие режимы [7]:

- изолированная нейтраль;
- резонансно-заземленная нейтраль;

- с заземлением нейтрали через активное сопротивление (резистор), которое внесено в нормативные документы.

На основе известных методов и существующих устройств релейной защиты от ОЗЗ в сетях 6-35 кВ, обладающих во всех случаях 100% селективностью и требуемой чувствительностью, получить эти характеристики не удастся, что требует дополнительных дальнейших обсуждений.

Реально амплитуды дуговых перенапряжений достигают 3,5-3,8 иф, сопровождаются пробоем изоляции неповрежденных фаз с переходом в междуфазное короткое замыкание (КЗ) через землю, после отключения которого релейной защитой от междуфазных КЗ режим ОЗЗ продолжается. Перемежающая дуга в месте ОЗЗ сопровождается перенапряжениями на неповрежденных фазах сети.

Положение осложняется феррорезонансными явлениями в сети, приводящими к повреждениям трансформаторов напряжения и маломощных силовых трансформаторов.

При ОЗЗ на железобетонных опорах ВЛ-6 (10-35)

1Афанасенко Александр Семенович, аспирант, тел.: (3952) 405127. Afanasenko Alexander, Postgraduate, tel.: (3952) 405127.

кВ разрушается бетон опоры по границе с грунтом, возникают шаговые напряжения, наблюдаются падения опор [10].

В проводных линиях связи при ОЗЗ возникают большие электромагнитные помехи.

Как правило, ОЗЗ сопровождаются в месте повреждения электрической дугой, являющейся источником пожаров лесных массивов, торфяников. В кабельных сооружениях энергетических объектов при двойных замыканиях на землю с повреждениями оболочек кабелей возникают пожары, наносящие большой ущерб производственным объектам, объектам энергетики [4].

Перемежающая дуга в месте ОЗЗ при токе в дуге до 10 А создает перенапряжения порядка 3,5-3,8 11ф сети. При токах дуги больше 10 А создает перенапряжения порядка 3 иф сети, при токе 20-50 А перенапряжения держатся на уровне 2,7 иф. Снижение перенапряжений при ОЗЗ с увеличением тока в дуге объясняется ее устойчивым горением.

Максимум перенапряжения при ОЗЗ возникает в следующих ситуациях:

- при наличии напряжения на поврежденной фазе в момент первичного зажигания дуги;
- в момент погасания дуги и при напряжении повторного ее зажигания (вторичный пробой) в течение этого же полупериода напряжения [5].



Вторичный пробой происходит при ненулевом значении напряжения в нейтрали сети, которое зависит от условий гашения дуги после первого пробоя и имеет значение 0,5-1,4 11ф сети.

Максимум перенапряжения 3,8 иф сети при ОЗЗ достигается, если дуга гаснет при переходе через нулевое значение свободной составляющей тока дуги. Быстрое гашение дуги приводит к зарядке емкостей неповрежденных фаз до напряжения, превышающего 11ф, чем обуславливается появление напряжения на нейтрали и последующий пробой (зажигание дуги) в момент максимума напряжения поврежденной фазы, а также к нарастанию напряжения на нейтрали и к перенапряжению на неповрежденных фазах сети [3].

Недостатки сети с изолированной нейтралью частично компенсируются заземлением нейтрали через активное сопротивление (резистор), что позволяет снизить перенапряжения, исключить явление ферро-резонанса, улучшить условия срабатывания релейной защиты [2].

Применяются возможные режимы заземления нейтрали сетей 6-35 кВ:

- изолированная нейтраль;
- заземление нейтрали через дугогасительный реактор (ДГР);
- заземление нейтрали через резистор;
- заземление нейтрали через ДГР, зашунтированный резистором.

Заземление нейтрали через дугогасительный реактор (ДГР) позволяет полностью компенсировать емкостные токи в месте ОЗЗ и ограничить величину дуговых перенапряжений [8]. Это положительное качество имеет и негативную сторону, проявляющуюся при неточной настройке ДГР, что способствует возникновению больших кратностей перенапряжений при

ОЗЗ в сочетании с неполнофазным режимом, возникающим из-за одновременного отключения фаз выключателя или отказа одного из полюсов выключателя.

Резонансная настройка нейтрали сети в процессе ОЗЗ и погасания дуги в некоторых случаях приводит к повторным пробоям при напряжении, равном или меньше фазного, а на неповрежденных фазах перенапряжения могут достигать 2,4 иф. При расстройке компенсации от 15 до 30% дуговые перенапряжения достигают 2,8-3 11ф сети, что снижает эффективность заземления нейтрали через ДГР. При резонансной настройке нейтрали сети токовая защита от ОЗЗ отказывает [8].

При неточной настройке ДГР процесс выравнивания напряжений фаз после погасания дуги носит характер биений. Частота биений определяется степенью расстройки компенсации и добротностью образованного колебательного контура [11].

При точной настройке ДГР или настройке с незначительной перекомпенсацией возникновение ОЗЗ неизбежно приводит к расстройке ДГР, а возникновению биений способствует отключение от сети присоединения с большим емкостным током.

Биения могут привести к повторному ОЗЗ, которое произойдет при напряжении, близком к максимуму, что станет причиной перенапряжений на неповрежденных фазах сети [11].

Однако в неповрежденных фазах сети протекают преимущественно емкостные токи, токи утечки, в которых присутствуют гармоники высших порядков по отношению к основной частоте сети. Выделение этих токов, изучение условий их возникновения и растекания, возможно, позволит в перспективе обеспечивать селективные отключения ОЗЗ в сетях 6-35 кВ [4].

Для достижения селективных срабатываний релейной защиты (РЗ) уставка срабатывания защиты отстраивается от емкостного тока защищаемого присоединения при условии, что ток срабатывания защиты меньше тока ОЗЗ всей сети. Поэтому сети с ДГР предпочтительно эксплуатируются с перекомпенсацией емкостного тока ОЗЗ [8].

Заземление нейтрали сети через высокоомный или низкоомный резистор дает ряд положительных качеств.

Заземление через высокоомный резистор нейтрали сети выполняется с целью ограничения дуговых перенапряжений и исключения феррорезонансных явлений при ограниченно допустимом времени работы сети с ОЗЗ при отыскании поврежденного участка сети дежурным персоналом.

Высокоомный резистор, установленный в нейтрали, позволяет уменьшить постоянную времени разряда емкости неповрежденных фаз сети во время без-токовой паузы. Время полного разряда емкостей фаз - 0,008-0,010 секунды. Расчетная величина сопротивления резистора должна обеспечивать ток при ОЗЗ больше тока срабатывания РЗ [2].

Низкоомный резистор в нейтрали сети обеспечивает срабатывание релейной защиты при ОЗЗ и максимальную зону защиты обмоток генераторов, транс-

форматоров, электродвигателей, способствует подавлению феррорезонанса и ограничению перенапряжений на неповрежденных фазах сети. Заземление нейтрали через низкоомный резистор эффективно для сетей с синхронными генераторами и вращающимися машинами. Резистор в этом случае создает условия, предотвращающие недопустимые перенапряжения в неповрежденных фазах сети с емкостным током не менее тока ОЗЗ, обеспечивает селективное отключение поврежденного присоединения при срабатывании РЗ от ОЗЗ.

Расчетная величина резистора из рассмотренных условий выбирается минимальной [2].

Шунтирование резистором ДГР позволяет устранить биения после погашения дуги, ограничить перенапряжения при повторных пробоях до 2,4 иф сети. Шунтирующий резистор позволяет:

- ограничить перенапряжение на неповрежденных фазах сети при ОЗЗ до величины профилактического испытательного напряжения обмоток вращающихся электрических машин переменного тока в соответствии с «Объемами и нормами испытания электрооборудования» [9];

- увеличить активную составляющую в токе ОЗЗ и тем самым обеспечить селективность токовых защит, исключить феррорезонансные процессы.

Расчетная величина шунтирующего резистора должна обеспечивать максимальное значение перенапряжения на неповрежденных фазах сети при ОЗЗ не более 2,6 иф сети [9].

Режим заземления нейтрали в сети 6 (10-35) кВ выбирается по одному из важных признаков:

- величине тока ОЗЗ,

- наличию генераторов и электродвигателей в сети (обязательное требование для ограничения перенапряжений).

Отсутствуют единые методики в расчетах уставок РЗ от ОЗЗ в сетях 6-35 кВ (в силу несовершенства применяемых), а также методы проверки чувствительности защит. Расчеты уставок срабатывания по току защиты от ОЗЗ на кабельных линиях, выполненных несколькими параллельными кабелями, уточняются натурными испытаниями. Трансформаторы тока нулевой последовательности (ТТНП) устанавливаются на каждый кабель, а их вторичные обмотки соединяются последовательно и нагружаются на пусковой орган (реле тока) защиты. Селективное срабатывание защиты зависит от технически правильного исполнения заземления оболочек силовых кабелей. Неисправность контактных соединений в первичной схеме приводит к неселективной работе защиты.

На воздушных линиях (ВЛ) схемы включения вторичных обмоток трансформаторов тока на сумму токов трех фаз (фильтр тока нулевой последовательности (3 10)), имеют большой ток небаланса, зависящий от характеристик и качества изготовления трансформаторов тока. Отстройка от тока небаланса приводит к значительному увеличению уставки по току срабатывания защиты.

Переходное сопротивление в месте ОЗЗ при обрыве на ВЛ провода и падении его на землю достига-

ет 5-7 кОм, ток ОЗЗ оказывается ниже расчетной уставки срабатывания защиты. В этом случае чувствительность защиты не обеспечивается, не срабатывает сигнализация от замыканий на землю.

При всех способах заземления нейтралей в сетях 6-10 кВ токовые защиты от ОЗЗ с ТТНП часто не отвечают требованиям селективности и чувствительности при ОЗЗ, однако они применяются и селективно отключают междуфазные короткие замыкания через землю.

От ОЗЗ в сетях 6-10 кВ применяются защиты [1]:

- по напряжению нулевой последовательности (3 и0) (сигнализация);
- направленная токовая защита по току 3 10 и напряжению 3 и0 на основной частоте 50 Гц;
- токовая защита по току 3 10 на основной частоте 50 Гц;
- с наложением тока с частотой, отличной от 50

Гц;

- реагирующие на высокочастотные (ВЧ) составляющие в токе ОЗЗ, возникающие естественным путем (при переходных процессах во время горения дуги);
- реагирующие на напряжение 3 и0 и ток 3 10 в переходных процессах.

Защита по напряжению нулевой последовательности с действием на отключение выполняется на одиночных линиях, отходящих от шин. Ее преимущество перед направленной защитой по току 3 10 и другими защитами - минимум составляющих ВЧ гармоник, она лучше работает при перемежающейся дуге, на ней не сказывается влияние ДГР.

Эффективность направленных защит по току 3 0 возрастает в сетях:

- с малым током при ОЗЗ с заземлением нейтрали через резистор с активным током 35-40 А в нейтрали, а с собственным емкостным током ОЗЗ - на присоединениях не более 5 А (типовая схема с ТТНП);
- в РУ-6 - РУ-10 кВ с ДГР на подстанциях промышленных предприятий, городских сетей с большим количеством кабельных линий с собственным емкостным током ОЗЗ на присоединениях не более 5 А.

Выполнить эффективную защиту по току 3 10 без реактора в этом случае сложно: необходимо заземлить нейтраль через резистор с током 10-15 А.

Для решения проблемы селективной сигнализации ОЗЗ в компенсированных сетях разрабатываются устройства защиты и сигнализации ОЗЗ, основанные на использовании электрических величин переходного процесса. По принципу действия устройства используются также в сетях с изолированной нейтралью или с высокоомным заземлением нейтрали через резистор.

Наибольшее применение находят устройства, в которых определение поврежденного присоединения осуществляется с применением следующих двух способов:

- сравнение амплитуд переходных токов в присоединениях защищаемого объекта;
- определение знака мгновенной мощности нулевой последовательности в начальный момент пере-

ходного процесу.

По першому способу виконуються централізовані токові пристрої відносного заміру, а по другому - направлені централізовані та автономні (індивідуальні) пристрої захисту від ОЗЗ.

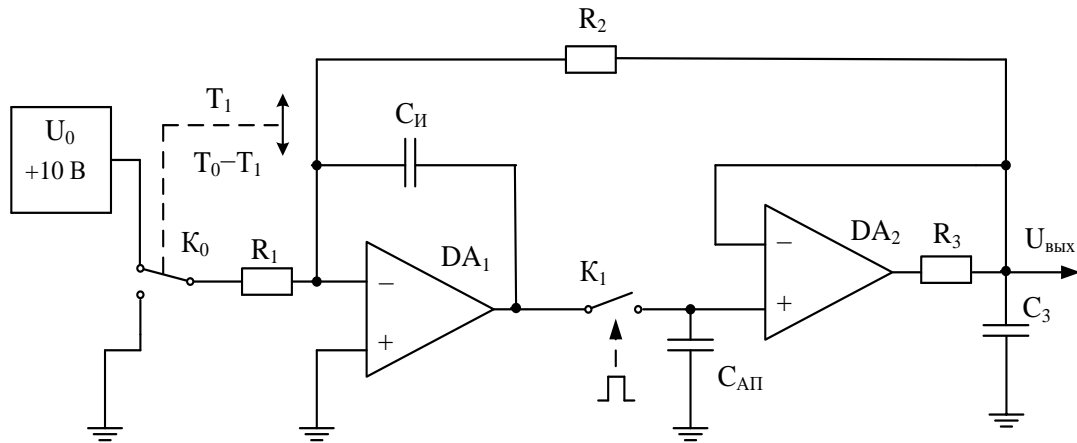
Автономні та централізовані пристрої захисту від ОЗЗ реагують тільки на електричні величини перехідного процесу та не мають необхідним властивістю неперервності дії, як при «металічних» (стійких) ОЗЗ.

На основі вищесказаного можна зробити наступні висновки:

1. Перенапруги в мережах 6-35 кВ при ОЗЗ присутні при всіх режимах заземлення нейтралі та можуть досягати 3,5-3,8 11ф мережі.
2. При ОЗЗ величина струму в місці замикання змінюється в широких межах та залежить від робочого напруги, схеми та довжини мережі, що не дозволяє забезпечити відстройку та селективність при спрацьовуванні захисту від ОЗЗ.
3. В струмі ОЗЗ містяться ВЧ гармоніки. Частота та амплітуда гармонік залежать від добротності утвореного коливального контуру.
4. Відсутні єдині методики розрахунку уставок РЗ від ОЗЗ в мережах 6-35 кВ (в силу неідеальності застосовуваних), а також методи перевірки чутливості захисту.
5. На основі результатів аналізу умов роботи, селективності та чутливості захисту від ОЗЗ в мережах 6-35 кВ можна говорити про необхідність розробки підходів до вирішення завдань, забезпечуючих нормативні вимоги до релейної захисту.

### **3.4. Дослідження схеми ШУП на основі ІП з ПВЗ і фільтром в колі зворотного зв'язку перетворювача**

Недоліком схеми ІП з ПВЗ є наявність похибки "пролазу" керуючого сигналу. Фірма Burr-Brown для зменшення цієї похибки пропонує додавати на виході схеми ІП з ПВЗ RC-фільтр. Розглянемо реалізацію схеми ШУП на основі ІП з ПВЗ і фільтром  $R_3 C_3$  в колі зворотного зв'язку (мал.3.20).



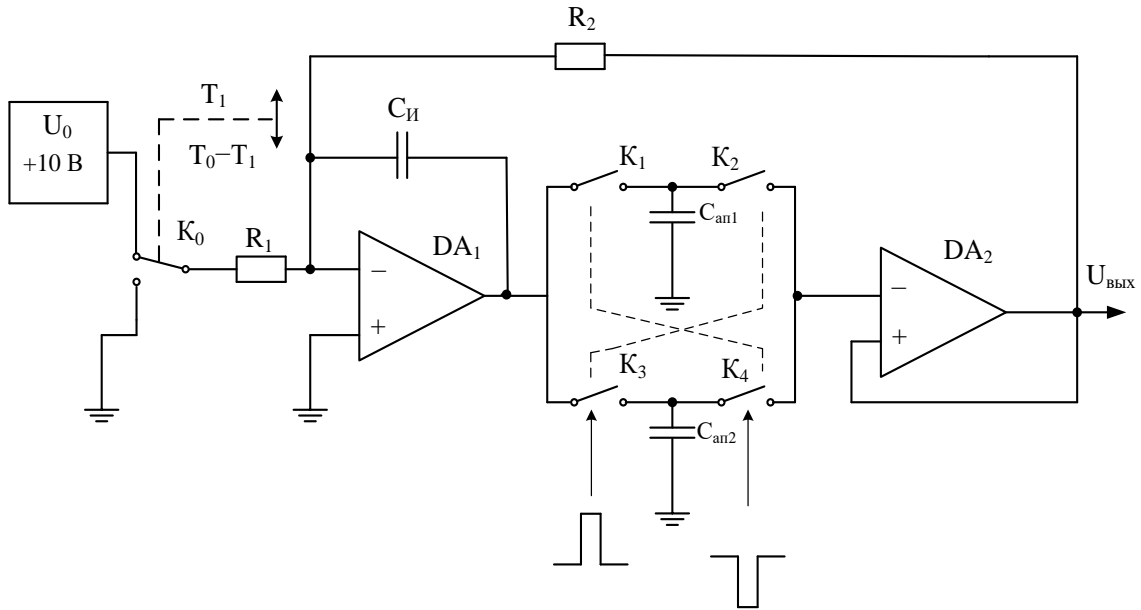
Мал. 3.20. Схема ЗУП на основі ІІ з ПВЗ і фільтром в колі зворотного зв'язку

Вихідна напруга знімається з виходу фільтра  $R_3 C_3$  і, крім того, через резистор  $R_2$  подається на підсилювач інтегратора. Інтегратор  $DA_1$  підлаштовує вихідна напруга фільтра до тих пір, поки воно не стане рівним середньому значенню модульованого опорного напруги. Необхідний коефіцієнт поділу опорного напруги задається перемикачем  $K_0$ , який керуючими сигналами з мікроконвертера замикається на  $U_0$  на час  $T_1$ , і замикається на землю на час  $T_0 - T_1$ . На ключ  $Do_1$  подається сигнал управління пристроєм вибірки-зберігання.

Принцип роботи схеми, а також діаграми, що описують принцип роботи даної схеми є аналогічними принципом роботи схеми ІІІ з ПВЗ, розглянутої в попередньому розділі.

### 3.5. Дослідження схеми ЗУП на основі ІІІ з ДЗУ

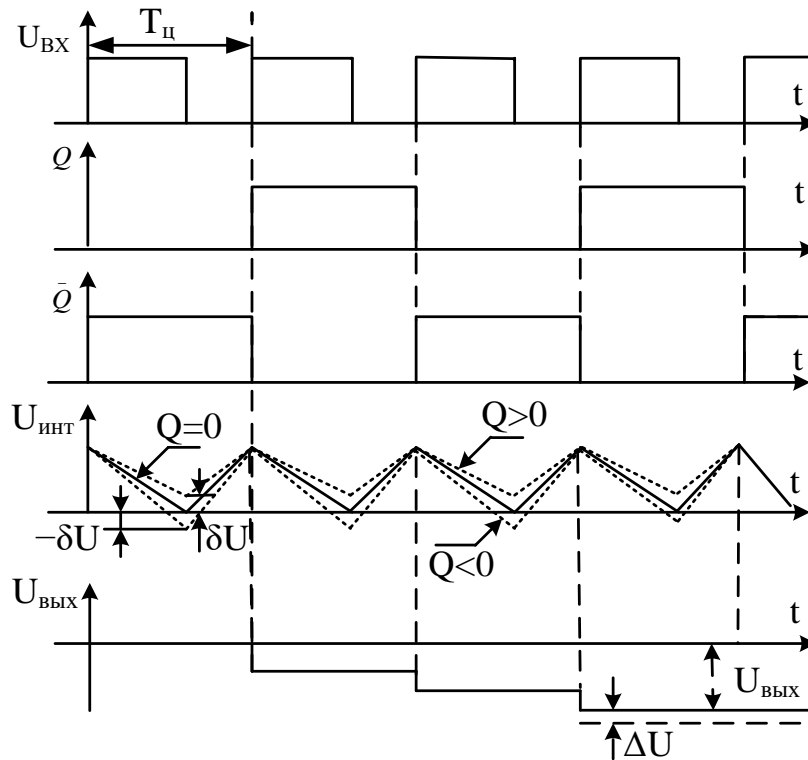
Одним з можливих методів виключення похибки "пролазу" керуючого сигналу без втрат у швидкодії є схема ІІІ, де замість пристрою вибірки-зберігання використовується два динамічно-запам'ятовуючих пристрої, які працюють в протифазі (мал. 3.21).



Мал. 3.21. Схема ШУП на основі ІІП з ДЗУ

У даній схемі необхідний коефіцієнт ділення опорної напруги задається перемикачем  $K_0$ , який керується сигналами з мікроконвертера замикається на час  $T_1$ , і розмикається на час  $T_0 - T_1$ . На ключі  $K_3, K_4$  подаються керуючі сигнали. Як інтегратора використовується інтегруючий підсилювач на основі операційного підсилювача  $DA_1$  з резистором  $R_1$  і конденсатором  $C_1$  в колі зворотного зв'язку.

На виході інтегратора знаходиться два ДЗУ, які складаються з ключів  $K_1 - K_4$ , 2-ух конденсаторів  $C_{АП}$  (ємність аналогової пам'яті). Вихідна напруга знімається з виходу повторювача  $DA_2$  і, крім того, через резистор  $R_2$  подається на підсилювач інтегратора. Інтегратор  $DA_1$  підлаштовує вихідна напруга  $DA_2$  до тих пір, поки воно не стане рівним середньому значенню модульованої опорної напруги.

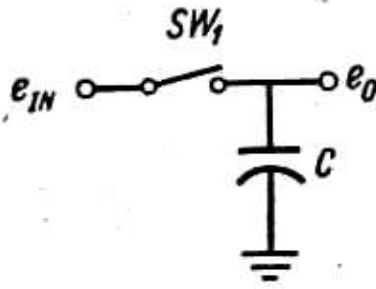


Мал. 3.22. Тимчасові діаграми, що пояснюють роботу ІП з ДЗУ

**Динамічно-запам'ятовуючим пристроєм** називається електронне пристосування, в якому забезпечується стеження за амплітудою вхідного сигналу і подальше зберігання (запам'ятовування) поточного значення цього сигналу по команді, що приходить у вигляді логічного керуючого сигналу. ДЗУ часто застосовують спільно з вимірювальними пристроями, для яких, неприпустимо зміна вхідного сигналу під час вимірювання.

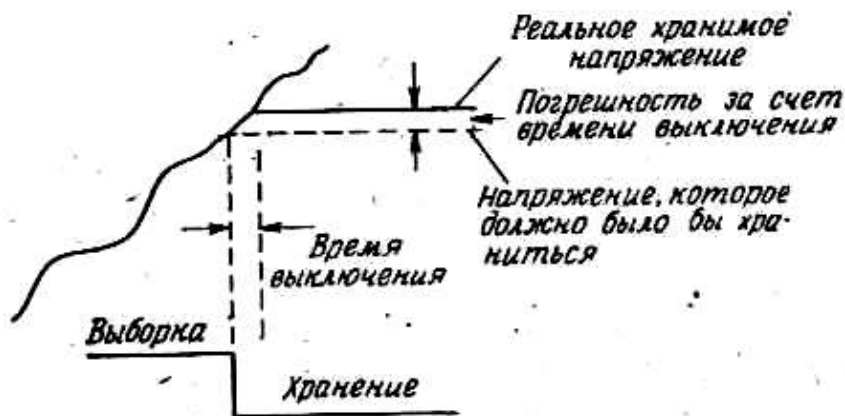
Найпростіша схема ДЗУ (мал. 3.23) складається з ключа і конденсатора. Користуючись цією схемою, неважко визначити два основних параметри, якими характеризується ДЗУ - час автоматичного вимкнення та увімкнення.





Мал. 3.23. Найпростіша схема ДЗУ

Часом виключення називається час затримки між моментом, коли від схеми управління приходить команда на розмикання ключа і моментом, коли це розмикання фактично відбувається. При електронних ключах на польових або біполярних транзисторах досяжно час менш 100 нс.



Мал. 3.24. Похибка за рахунок часу вимикання

Якщо амплітуди діючих в електронній системі сигналів змінюються в часі, то, поки ДЗУ зберігає попередню вибірку, амплітуда сигналу на вході змінюється, а тому важливо час, який потрібен на те, щоб після переходу з режиму зберігання на режим вибірки сприйняти (із заданою точністю) нове поточне значення сигналу. Воно визначається *часом включення*. Оскільки схема ДЗУ є поєднанням перемикаючих і аналогових схем, в ній будуть мати місце перехідні перешкоди, що виникають за рахунок міжелектродних ємностей і ємностей монтажу.

Коли ДЗУ переходить в режим зберігання, деяка частина заряду може витікати із пам'яті конденсатора через міжелектродному ємність ключа. Пов'язана з цим зарядом зміна напруги на конденсаторі називають похибкою зсуву рівня при перемиканні в режим зберігання. У режимі зберігання деяка мала частина вхідного сигналу проходить через міжелектродну ємність ключа прямо на вихід схеми. Це пряме проходження сигналу зростає зі збільшенням вхідної частоти, але його вплив можна зменшити шляхом збільшення ємності  $C$ . У режимі зберігання струми витoku  $I_l$  викликатимуть зміну вихідної напруги, що відбувається зі швидкістю:

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{I_l}{C} \text{ В/с.}$$

Складовими сумарного струму витoku можуть бути струм зміщення ОУ, струм витoku ключа в розімкнутому стані і власний струм витoku запам'ятовуючого конденсатора. Якщо вхідний каскад ОУ і електронний ключ зібрані на польових транзисторах, загальний струм витoku (а отже, і зміна вихідної напруги) буде збільшуватися вдвічі на кожні  $10^\circ\text{C}$  підвищення температури.

Коли навколишня температура відхиляється від нормальної ( $25^\circ\text{C}$ ), зміщення нуля ОУ змінюється, що викликає зрушення нульового рівня на виході схеми в режимі зберігання. У цьому режимі можливо також температурний вплив похибки в величині коефіцієнта посилення ОУ.

Для того щоб отримати значення коефіцієнта перетворення ПП, врахуємо те, що він являє собою астатичну систему, тобто в статичному стані середнє значення вхідного струму буде дорівнювати середньому значенню струму зворотного зв'язку. Таким чином, отримаємо:  $\bar{i}_1 = \bar{i}_2$

Підставляючи в цю рівність значення  $\bar{i}_1 = \frac{\bar{U}_{\text{вх}}}{R_1}$  і  $\bar{i}_2 = -\frac{U_{\text{вих}}}{R_2}$ , Отримаємо:

$$\frac{\bar{U}_{\text{вх}}}{R_1} = -\frac{U_{\text{вих}}}{R_2}$$

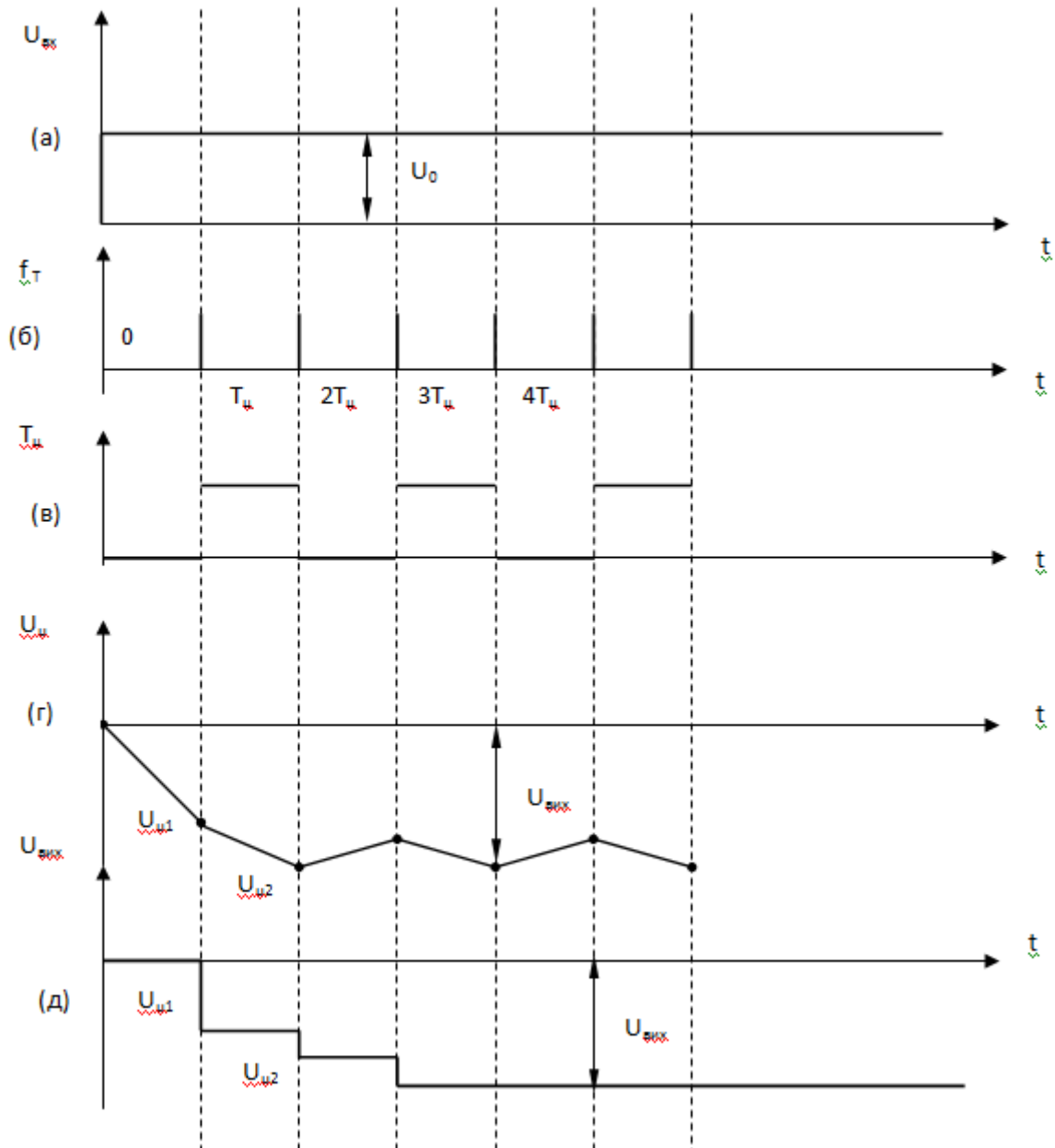
Звідки:

$$U_{\text{вих}} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \bar{U}_{\text{вх}}$$

Для отримання перехідної характеристики ПП розглянемо перехідний процес, який зображений на малюнку 3.22 при нульових початкових умовах ( $U_u(-0) = 0$ ,  $U_{\text{суп}}(-0) = 0$ ). На вхід надходить ступінчастий сигнал з амплітудою  $U_0$  в момент часу  $t = 0$  (рис. 2.34, а). Протягом часу від 0 до

$T_u$  напруга на виході інтегратора буде змінюватися відповідно до наступного співвідношенню, і в кінці цього інтервалу воно буде дорівнювати:

$$U_{u_1}(T_u) = \frac{1}{R_1 C_u} \int_0^{T_u} U_0 dt = \frac{U_0 T_u}{R_1 C_u}$$



Мал. 3.25. Перехідні процеси в схемі ІІІ з ДЗУ

Протягом часу від  $T_u$  до  $2T_u$ :

$$U_{u_2}(2T_u) = \frac{1}{R_1 C_u} \int_0^{T_u} U_0 dt + \frac{1}{R_2 C_u} \int_0^{T_u} U_{u_1} dt + U_{u_1}$$

Звідси:

$$U_{u_2}(2T_u) = U_{u_1}(T_u) + U_{u_1}(T_u) \cdot \left(1 - \frac{T_u}{R_2 C_u}\right)$$

Отриманий вираз нагадує геометричну прогресію:

$$S_n = a + a \cdot q + a \cdot q^2 + \dots,$$

де  $a = U_{u_1}(T_u); \quad q = \left(1 - \frac{T_u}{R_2 C_u}\right)$

Для збіжності перехідного процесу необхідно, щоб  $|q| < 1$ . Коли

$q = 0$  маємо мінімальну тривалість перехідного процесу. Підставивши в вираз  $q < 1$  значення  $q = \left(1 - \frac{T_u}{R_2 C_u}\right)$ , отримаємо умови збіжності перехідного процесу в ШП:

$$0 < \frac{T_u}{R_2 C_u} < 2$$

З умови оптимальності  $q = 0$  маємо  $T_u = R_2 C_u$ . Для  $n$  - перших членів, при  $n \ll \infty$ :

$$S_n^* = \frac{a(1 - q^n)}{1 - q}$$

Похибку встановлення шукаємо як різницю  $S_n^*$  і  $S_{n=\infty}$ :

$$\gamma_{\text{вст}} = \frac{S_n^* - S_{n=\infty}}{S_{n=\infty}}$$

де

$$S_{n=\infty} = \frac{a}{1-q}$$

Підставивши у вираз  $\gamma_{\text{вст}}$  значення  $S_n^*, S_{n=\infty}$ , отримаємо:

$$\gamma_{\text{вст}} = q^n$$

В реальних умовах  $q \neq 0$ , тобто  $T_{\text{ц}} \neq R_2 C_u$ :

- За рахунок нестабільності керуючого циклу (похибка  $\gamma_{T_{\text{ц}}}$ ),

- За рахунок нестабільності R, C (похибка  $\gamma_{\tau}$ ).

тоді буде:

$$|\gamma_{\text{вст}}| = (\gamma_{\tau} + \gamma_{T_{\text{ц}}})^n$$

Звідки:

$$n = \log_{(\gamma_{\tau} + \gamma_{T_{\text{ц}}})} \gamma_{\text{вст}} = \frac{\lg \gamma_{\text{вст}}}{\lg(\gamma_{\tau} + \gamma_{T_{\text{ц}}})}$$

n - кількість циклів врівноваження, тобто тривалість процесу встановлення.

## ВИСНОВКИ

Всі електроустановки обладнанні пристроями релейного захисту, призначеного для відключення ділянки в колі, якщо пошкодження спричиняє за собою вихід з ладу елемента або електроустановки в цілому. Релейний захист спрацьовує і тоді, коли виникають умови, загрозливі порушенням нормального режиму роботи електроустановки. У релейному захисті електроустановок захисні функції покладені на реле, які служать для подачі імпульсу на автоматичне відключення елементів електроустановки або сигналу про порушення нормального режиму роботи устаткування, ділянки електроустановки, лінії і так далі.

Релейний захист та протиаварійна автоматика є основною складовою частиною стабільної роботи ОЕС України. Одним із суттєвих недоліків є високий рівень зношеності релейного обладнання. Частка пристроїв РЗ та ПА, яка відпрацювала свій ресурс сягає 75%.

Існуюче фінансування пристроїв релейного захисту і протиаварійної автоматики на даному етапі дозволяє підтримувати функціональну здатність пристроїв РЗ за рахунок технічного обслуговування, але цього недостатньо для потреб реконструкції і модернізації пристроїв РЗА, що відпрацювали свій експлуатаційний ресурс. Особливо складне становище в цьому відношенні склалося на теплових станціях. Там, до цього часу, знаходиться в експлуатації автоматика виробництва 60-70 рр.

Відсоток правильної роботи пристроїв РЗА становить 98,7%, що вище середньостатистичного за останні роки, але залишається високою доля випадків неправильних спрацювань РЗ і ПА із вини персоналу.

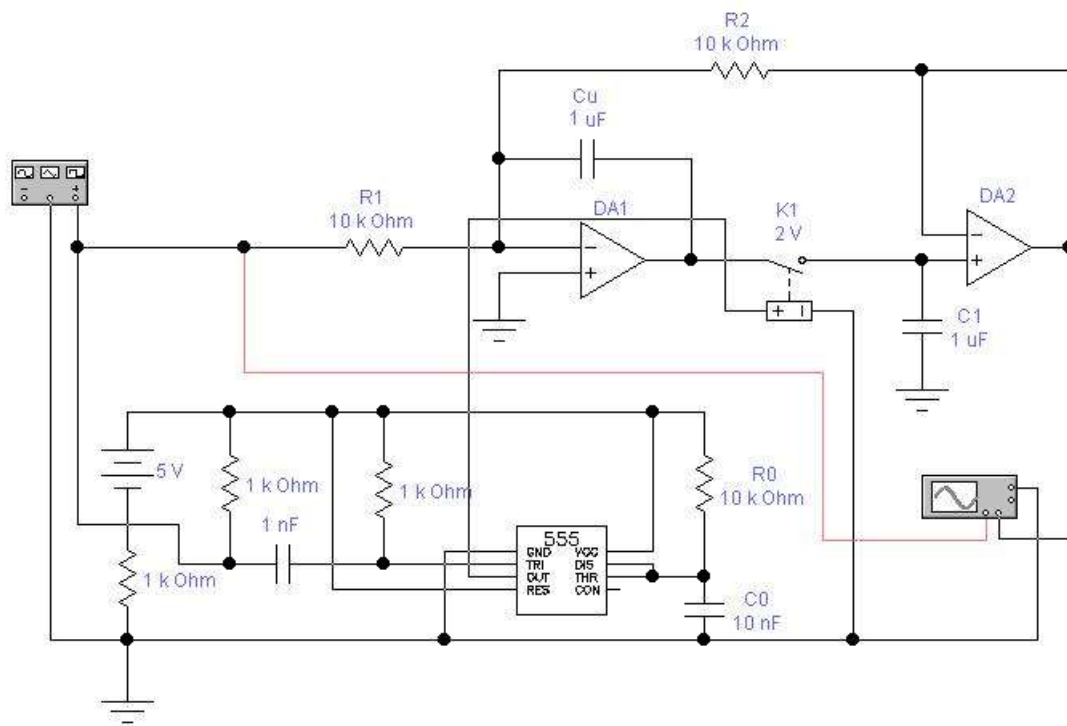
Мають місце серйозні недоліки в професійній підготовці релейного персоналу – недостатня матеріальна база. Відсутні галузеві органи, що визначають стратегію і технічну політику в напрямках розвитку систем РЗ і ПА в енергетиці. Відчувається відсутність розробок, рекомендацій по викори-

станню нових пристроїв РЗА, їх сертифікації та відповідності вимогам використання в ОЕС України.

Існуюча тенденція заміни РЗ, що відпрацювали свій ресурс, на сучасні мікропроцесорні пристрої створює проблеми перепідготовки фахівців-релейщиків. Впровадження на об'єктах енергетичних компаній сучасних мікропроцесорних пристроїв РЗ, випробувально-повірочних комплексів, систем реєстрації аварійних сигналів і параметрів, автоматизованих систем моніторингу і контролю потребує значних коштів, а також відповідно підготовленого персоналу проектних, монтажних-налагоджувальних та експлуатаційних організацій, наявності нормативно-технічної документації та методологічного забезпечення для виконання зазначених робіт.

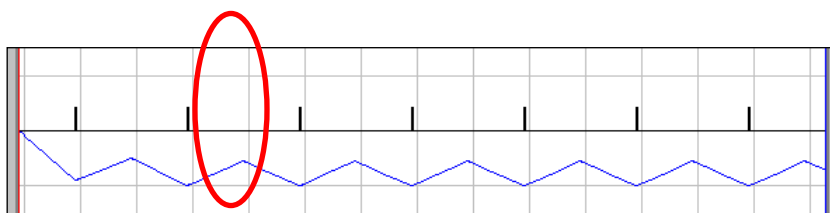
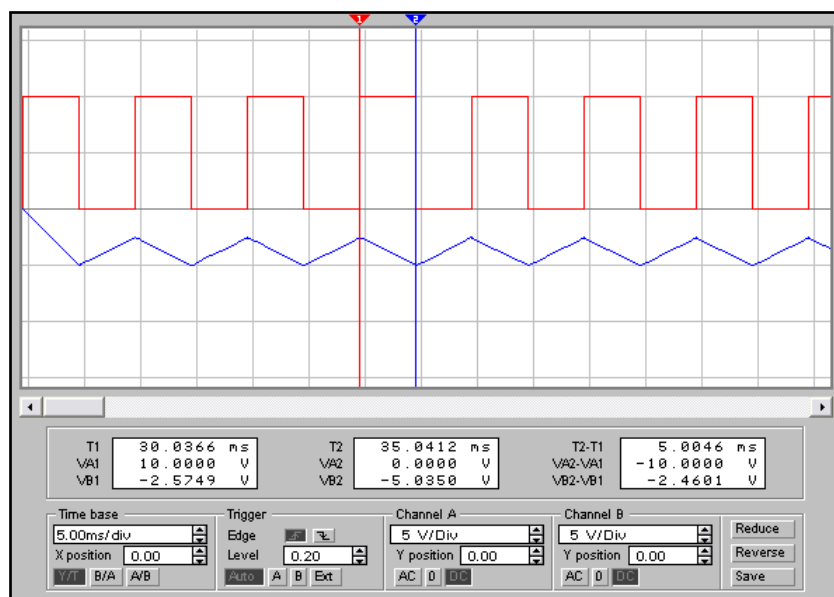
## Експериментальна частина

Розглянемо реалізацію схеми ШУП на основі ІП з ПВЗ в програмному середовищі Electronics Workbench.



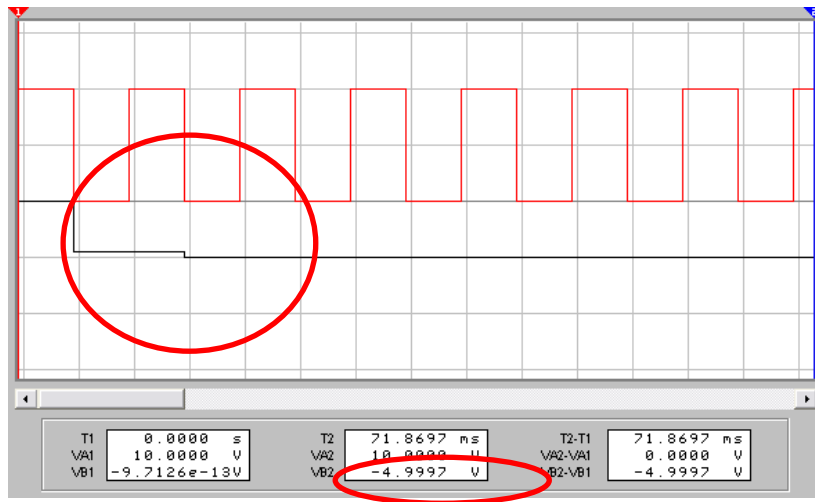
Мал. 3.16. Реалізація схеми ШУП на основі ІП з ПВЗ в програмному середовищі Electronics Workbench

У даній схемі в якості інтегратора використовується інтегруючий підсилювач на основі операційного підсилювача  $DA_1$  з конденсатором  $C_1$  в колі зворотного зв'язку. Пристрій вибірки і зберігання реалізовано на операційному підсилювачі  $DA_2$ , конденсаторі  $C_1$  і на ключі  $K_1$ . Як формувача коротких імпульсів для управління ПВЗ використаний одновибратор, реалізований на інтегральній мікросхемі таймера 555. Ключ  $K_1$  замикається періодично на короткі проміжки часу, цей час задається проведенням RC-ланцюжка ( $R_0 C_0$ ). Тривалість імпульсів  $T_1$  і їх частота проходження задається регулюванням відповідних параметрів генератора прямокутних імпульсів.



Мал. 3.17. Діаграми, що пояснюють роботу ІІІ з ПВЗ

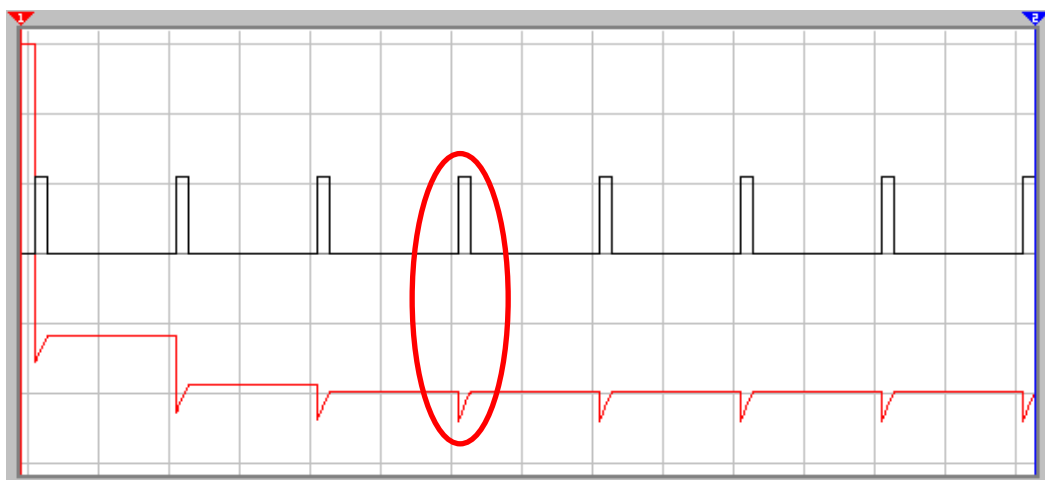




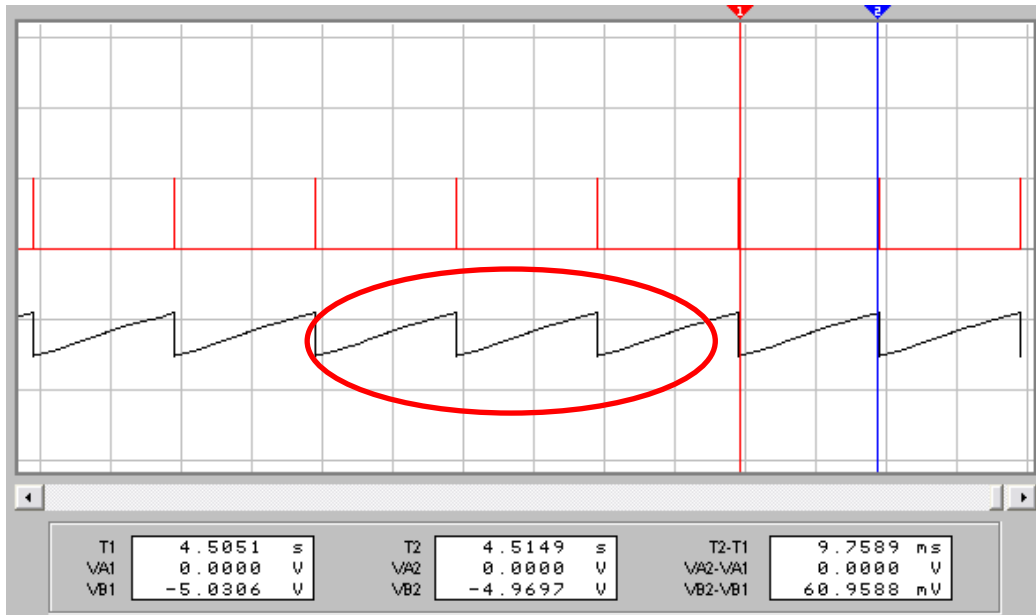
Мал. 3.17. Діаграма, що пояснює роботу ІП з ПВЗ

Недоліками даного методу розподілу напруги на основі ІП з ПВЗ є похибки:

- $\Delta U_n$ , викликана пульсаціями вихідного напруги (рис. 2.18);  $D U_n$  - похибка "пролазу" керуючого сигналу на вихід преобразователя із - завляння конечной длительности импульса выборки  $D t$ ;
- $\Delta U_c$ , викликана спадом напруги в режимі зберігання (у пам'яті великого об'єму конденсаторі);  $\Delta U_c$ , - похибка "відколу" аналогової пам'яті (мал. 3.19).
- 



Мал. 3.18. Похибка "пролазу" керуючого сигналу на вихідну напругу



Мал. 3.19. Похибка "відколу" аналогової пам'яті  $\Delta U_c$