

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ
ТА ТЕХНОЛОГІЙ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач вилускової кафедри


В.П. Квасніков
" 11 " 06 2021 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «БАКАЛАВР»

Тема: «Комп'ютеризована система малопотужних мереж від багатofазних замикань»

Виконавець


(підпис)

студент 416 групи Слотін А.Г.

(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник


(підпис)

к.т.н., доцент Орнатський Д.П.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Нормоконтролер


(підпис)

Катаєва М.О.
(П.І.Б.)

Київ 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Аерокосмічний факультет

Кафедра: комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій


Освітній ступень: «Бакалавр»

Спеціальність: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»,

Освітньо-професійна програма «Електротехнічні системи електроспоживання»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 В.П. Квасніков

« 10 » 05 2020 р.

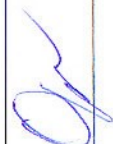
ЗАВДАННЯ



на виконання дипломного проекту

Слотіна А.Г.

(Ш.Б. випускника)

1. Тема проекту «Комп'ютеризована система малопотужних мереж від багатофазних замикань» затверджена наказом ректора від «29.04.2021» № 686/ст
2. Термін виконання проекту: з 10.05.2021 по 14.06.2021.
3. Вихідні дані до проекту: діапазон вхідних струмів 0.1 А – 100 А, швидкодія 20-40 мс
4. Зміст пояснювальної записки: Вступ, Зміст, Розділ 1, Розділ 2, Розділ 3
5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: Методи та засоби побудови систем релейного захисту малопотужних мереж при багатофазних замиканнях на землю, результати моделювання РТЗ-51 при різних співвідношеннях сигналу шуму
6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1.			
2.	Розділ 1. Обзор методів та засобів максимального струмового захисту		

3.	Розділ 2. Розробка систем релейного захисту малопотужних мереж		
4.	Розділ 3. Моделювання систем релейного захисту малопотужних мереж		

7. Дата видачі завдання: “ 10 ” травня 2021 р.

Керівник дипломної роботи (проекту)


Орнатський Д.П.
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання


Слотін А.Г.
(підпис виконавця) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Комп'ютеризована система малопотужних мереж від багатофазних замикань». Містить 39 сторінок, 22 рисунків, 12 використаних джерел.

Об'єкт дослідження – процес прецизійного дистанційного контролю стану ізоляції малопотужних мереж.

Мета дипломної роботи – розробити систему релейного захисту малопотужних мереж з підвищеними техніко-економічними показниками.

Під час виконання дипломної роботи вирішені наступні задачі:

- Виконано аналітичний огляд систем релейного захисту малопотужних мереж від багатофазних замикань на землю
- Проаналізовано шляхом комп'ютерного моделювання основні особливості сучасних систем релейного захисту
- Розроблено структурну схему вимірювального каналу релейного захисту малопотужних мереж з покращеними техніко-економічними показниками
- Було показано що основним обмежувальним фактором існуючих систем не достатньо (РТЗ-51)

Результати даної кваліфікаційної роботи. Оцінена позитивно, має яскравий, практичний напрямок і може дати швидкий вихід в практику

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
1. ОБЗОР МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ МАКСИМАЛЬНОГО СТРУМОВОГО ЗАХИСТУ	7
1.1 Принцип роботи струмового захисту	7
1.2 Двох фазне замикання на землю	7
1.3 Струмовий захист нульової послідовності.....	не
определена.	Закладка
2. РОЗРОБКА СИСТЕМ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ МАЛОПОТУЖНИХ МЕРЕЖ.....	20
2.1 Вимірювальні органи на ІМС	20
2.2 Інтераційно-інтегровальний перетворювач	21
3. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ МАЛОПОТУЖНИХ МЕРЕЖ.....	28
ВИСНОВКИ.....	38
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	39

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

- КЗ – коротке замикання;
- ДГК – дугогасна котушка;
- РЗ – релейний захист;
- ІМС – інтегральна мікросхема;
- РТЗ – реле тока;
- ОП – операційний підсилювач;

ВСТУП

В енергетичних електрообладнаннях електростанції, в електричних мережах та на електроустановках споживачів електроенергії можуть виникати пошкодження та ненормальні режими.

Пошкодження в більшості випадків супроводжуються значним збільшенням струму та глибоким пониженням напруги в елементах енергосистеми.

Підвищений струм виділяє велику кількість тепла, викликаючи руйнування в місці пошкодження та небезпечний нагрів непошкоджених ліній та обладнання, по яким струм протікає.

Зниження напруги порушує нормальну роботу споживачів електроенергії та стійкість паралельної роботи генераторів і енергосистеми в цілому.

Ненормальні режими зазвичай призводять до відхилення величини напруги, струму, і частоти від допустимих значень. При зменшенні частоти і напруги з'являється небезпека порушень нормальної роботи споживачів та стійкості енергосистеми, а підвищення напруги і струму загрожує пошкодженню обладнання та ліній електропередач.

Таким чином, пошкодження порушують роботу енергосистеми і споживачів електроенергії, а ненормальні режими створюють можливість виникнення пошкоджень або розлади роботи енергосистем.

Для забезпечення нормальної роботи енергетичної системи і споживачів електроенергії необхідно як швидше виявляти та відокремлювати місце пошкодження від неушкодженої мережі, відновлюючи таким шляхом нормальні умови роботи енергосистем і споживачів.

РОЗДІЛ 1

ОБЗОР МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ МАКСИМАЛЬНОГО СТРУМОВОГО ЗАХИСТУ

1.1 Принцип роботи струмового захисту

Однією з ознак виникнення КЗ (коротке замикання) є збільшення струму в лінії. Ця ознака використовується для виконання захистів, так званих струмових. Струмові захисти приходять в дію при збільшенні струму в фазах лінії понад певного значення. В якості реле, реагуючих на зростання струму, служать максимальні токові реле.

Струмові захисти поділяються на максимальні струмові захисти та струмові відсічення. Головна відмінність між цими захистами полягає в способі забезпечення селективності. Селективність дії максимальних захистів досягається за допомогою витримки часу. Селективність дії струмових відсічок забезпечується відповідним вибором струму спрацювання.

1.2 Двох фазне замикання на землю

Струми і напруги однофазних замикань на землю. Мережі з малим струмом замикання на землю працюють з ізолюваною нейтраллю або з заземленою через дугогасну котушку (ДГК).

В таких мережах замикання на землю однієї фази не викликає короткого замикання та не супроводжується, тому зниженням між фазних напруг і появи підвищених струмів в мережі.

Розглянемо характер зміни струмів і напруг в мережі і їх векторні діаграми при однофазних замиканнях на землю (рис. 1.1), приймаючи для спрощення, що навантаження мережі вимкнена.

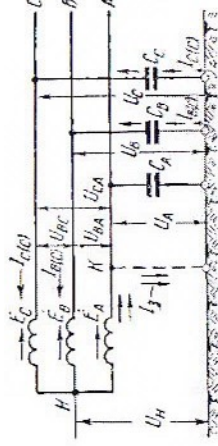


Рис. 1.1 Струми та напруги при замиканні на землю однієї фази мережі з ізолюваною нейтраллю

В нормальних умовах напруги проводів А, В і С по відношенню до землі дорівнюють відповідним фазним напругам U_A , U_B , U_C , які в свою чергу рівні з е.д.с. джерелом живлення E_A , E_B , E_C , оскільки навантаження вимкнене. Вектори цих фазних напруг утворюють симетричну зірку (рис. 1.2 а), а їх сума дорівнює нулю, в результаті чого напруга на нейтралі відсутня. Під дією фазної напруги через ємність фаз відносно землі C_A , C_B , C_C проходять струми, що випереджають відповідні напруги на 90° .

Сума ємнісних струмів, що проходять по фазам в нормальному режимі, дорівнює нулю, і тому відсутній.

Напруга мережі при замиканні на землю.

При металічному замиканні на землю однієї фази, наприклад А, її напруга відносно землі знижується до нуля, так як в результаті з'єднання на землю точка К набуває потенціал рівний нулю. Напруга нейтралі U_N по відношенню до землі становиться рівною напрузі між точками К і Н (рис.

1.2, б), тобто напрузі, рівній по величині і обратній за знаком е. д. с., заземленої фази.

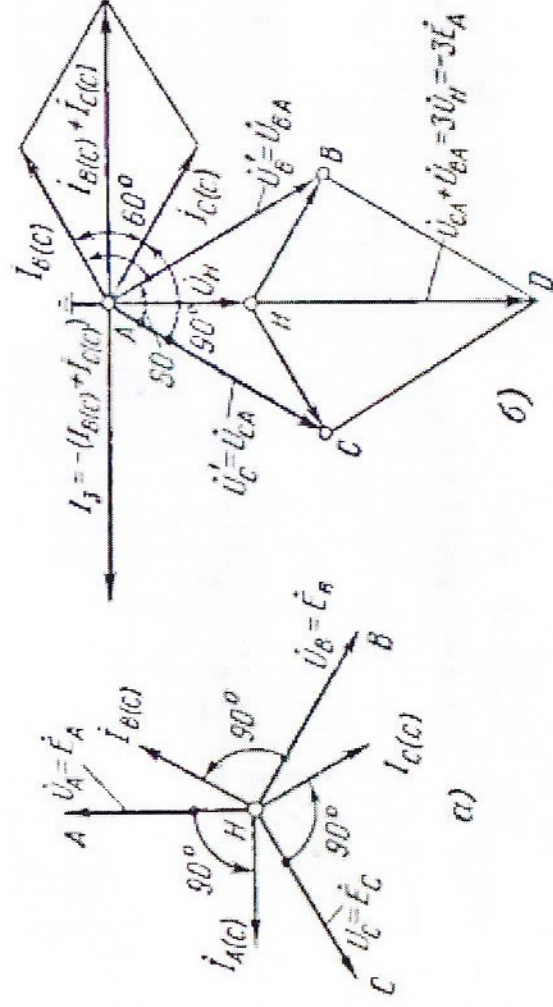


Рис. 1.2 Векторні діаграми струмів і напруги в мережі з ізольованою нейтраллю

Максимальний струмовий захист – є основним видом захисту для мереж більш з одностороннім живленням. У мережах більш складної конфігурації максимальний захист застосовується як допоміжні в окремих випадках.

У мережах з одностороннім живленням максимальний захист повинна встановлюватися на початку кожної лінії з боку джерела живлення (рис.1.3, а). При такому розташуванні захистів, кожна лінія має самостійний захист, що включає лінію в разі пошкодження на самій або на шинах, які живляться від неї підстанції.

При КЗ в будь-якій точці мережі, наприклад К1 (рис. 1.3, а), струм КЗ проходить по всіх ділянках мережі, розташований ним між джерелом живлення і місцем пошкодження, в результаті чого приходять в дію всі захисти (1, 2, 3, 4). Однак за умовою селективності спрацювати на відключення повинна тільки 4, встановлена на пошкодженій лінії.

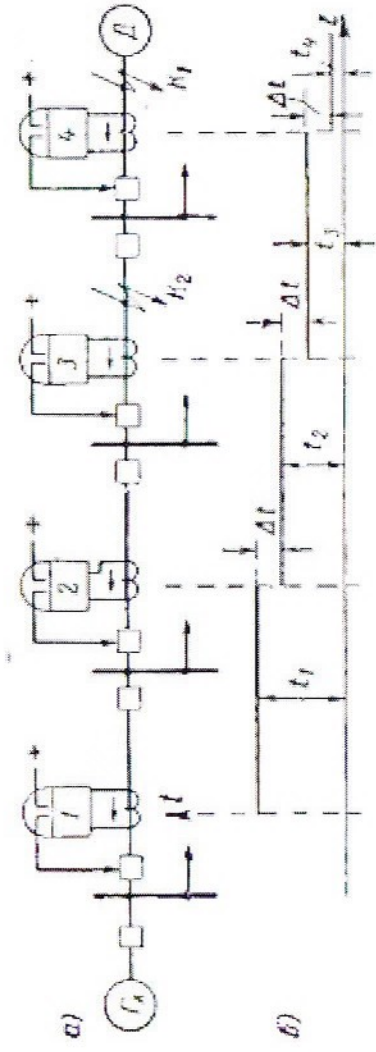


Рис. 1.3 Максимальні токові захисти в радіальній мережі з одностороннім живленням

а – розміщення захистів; б – витримки часу захистів, вибрані за ступінчастим принципом

Для забезпечення зазначеної селективності максимальні захисти виконуються з витримкою часу, наростаючим від споживачів до джерел живлення, як це вказано на рис. 1.3, б. При дотриманні цього принципу в разі КЗ в точці К1 раніше інших спрацює захист 4 та призведе відключення пошкодженої лінії. Захисти 1, 2, 3 повернуться в початкове положення, не встигнувши подіяти на відключення.

Відповідно при КЗ в точці К2 швидше всіх спрацює захист 3, а захисти 1 та 2, які мають більший час, не спрацюють. Розглянутий принцип підбору витягів часу називається ступінчастим. У мережах з двостороннім живленням досягти селективної дії максимального захисту тільки шляхом підбору витримання часу, як правило, не вдається, в цих мережах замість струмового захисту використовують більш складніші неправильні захисти.

Схеми захисту:

- Різновиди схем максимального захисту
- Максимальні захисти виконуються трьох фазною та двох фазною, прямою та побічною дією.

За способом живлення оперативних ланцюгів максимального захисту побічної дії діляться на захист постійним та змінним струмом.

За характером залежності часу дії реле від струму максимальні захисти діляться на залежні та незалежні.

Максимальні захисти прямої дії і на змінному оперативному струмі мають істотні відмінності у виконанні оперативних ланцюгів, застосовуваної апаратури і в розрахунку параметрів.

- Схеми трифазного захисту на постійному оперативному струмі захист з незалежною витримкою часу (рис. 1.4). У трьох фазних захистах трансформатори струму та обмотки струмових реле з'єднуються за схемою повної зірки. Основними елементами схеми максимального захисту (рис.1.4) є: струмове реле (1), що спрацьовують при появі КЗ і виконують функції пускового органу захисту, та реле часу (2), що створює витримку часу і виконує функції органу часу. Крім основних, у схемі є допоміжне реле, до них відносяться: проміжне реле (3) і вказівне реле (4).

При появі КЗ спрацьовують струмові реле тих фаз, по яким проходить струм КЗ. Контакти всіх струмових реле з'єднані паралельно, тому при спрацюванні будь-якого струмового реле замикається ланцюг обмотки реле часу (2).

Через заданий інтервал часу контакти реле замикаються і призводять до роботи проміжне реле (3). Останнім спрацьовує миттєво і подає струм до котушки відключення вимикача (6), через блокуючий контакт (5).

Проміжне реле (3) встановлюється в тих випадках, коли реле часу не може замикати ланцюг котушки відключення через недостатню потужність своїх контактів.

Вказівне реле (4) вмикається послідовно з котушкою відключення. При появі струму в цьому ланцюзі, вказівне реле спрацьовує, його фляжок випадає, фіксує, таким чином, дію максимального захисту і поява струму в котушці відключення.

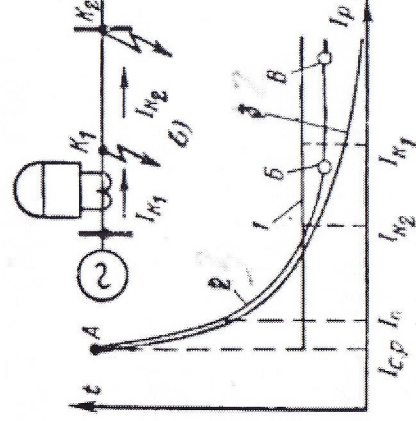


Рис. 1.5. Характеристика залежності витримки часу від струму в реле

МТЗ

Захист з залежною характеристикою. Поряд з незалежним захистом застосовується максимальний захист з залежною та обмеженою характеристикою $t=f(I)$ (криві 2 і 3 на рис. 1.5).

Обидва види залежних захистів виконуються за допомогою струмових реле, що працюють не миттєво, а з витримкою часу, що залежить від величини струму.

Схеми двох фазного захисту на постійно оперативному струмі.

У тих випадках, коли максимальний захист повинен діяти тільки при між фазних КЗ, застосовуються двофазні схеми з двома або одним реле.

Двох релейна схема з незалежною характеристикою (рис. 1.6). Струмове кола захисту виконуються за схемою неповної зірки.

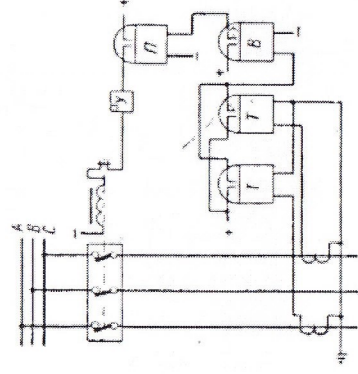


Рис. 1.6. Двох фазна схема МТЗ (двох релейна)

Перевагою двох релейної схеми є те, що вона:

1. Реагує (так само як і трифазна) на всі між фазні КЗ на лініях.
2. При замиканні на землю в двох різних точках мережі з ізолюваною нейтраллю робить селективною в більшому числі випадків, чим трифазна схема.
3. Економніше трифазної схеми, так як для її виконання потрібно менше обладнання та проводів.

До недоліків двох фазної схеми потрібно віднести її меншу чутливість (в порівнянні з трифазною), при двофазних КЗ за трансформатором із з'єднанням обмоток зірка або трикутник.

При необхідності чутливості двох фазної схеми можна підвищити, встановити третє струмове реле в загальному проводі струмових ланцюгів. У цьому дроті протікає геометрична сума струмів двох фаз, живлячих схему (А і С рис. 1.5, а), що дорівнює току третьої (відсутньої в схемі) фази В, тобто

$$I_{0.л} = -(I_a + I_c) = I_B$$

Таким чином, з додатковим реле двох фазна схема становиться рівноцінною по чутливості з трифазною. Внаслідок зазначених вище позитивних властивостей двох фазні схеми широко застосовуються в мережах з ізолюваною нейтраллю, де можливі тільки між фазні КЗ. Двох фазні схеми застосовують як захисту і від між фазних КЗ і в мережах з глухозаземленою нейтраллю, при цьому для відключення однофазних КЗ встановлюється допоміжний захист, регулююча на струм нульової послідовності.

Одно релейна схема рис. 1.5. Захист складається з тих же елементів, що і попередня схема. Струмове пускове реле T одне, воно включається на різницю струмів двох фаз

$$I_p = I_a - I_b$$

Та реагує на всі випадки між фазних КЗ (повної та неповної зірки).

Переваги схеми є найменше число токових реле і з'єднувальних проводів, необхідних для її виповнення (одно реле та два струмових провода).

До недоліків, що обмежує застосування схеми, потрібно віднести:

- Меншу чутливість в порівнянні з двох релейною схемою при КЗ між фазами АВ і ВС. Цей недолік має значення при малій кратності струмів КЗ, коли I_k близько до току навантаження.
- Не чинність захисту при одному з трьох можливих випадків КЗ за трансформатором із з'єднанням обмоток зірка або трикутник, коли

$$I_p = I_a - I_c = 0.$$

- При несправності єдиного токового реле або проводів, що зв'язують його з трансформаторами струму, захист відмовить в дії при КЗ. Дворелейна схема (рис. 1.5) не має такого недоліку, так як при трифазних КЗ і двофазних між А і С в цій схемі працюють два реле і тому обрив одного дроту не призведе до відмови захисту.

Перший недолік не дозволяє застосовувати одно релейні схеми в мережі з малою кратністю струмів КЗ. Другий виключає застосування схеми в мережах, де є трансформатори з з'єднанням обмоток зірки або трикутника. Третій обмежує застосування одно релейного захисту в мережах, де відмова захисту може відбутися на електропостачанні більшої ділянки мережі. Одно релейна схема застосовується в розподільчих мережах 6-10 кВ і для захисту електродвигунів. У мережах 35 кВ і вище через зазначених недоліків одно релейна схема майже не застосовується.

Двофазний захист з залежною характеристикою. Струмове коло цього захисту виконуються так само, як і у захисту з незалежною

характеристикою. Струмове реле має залежну характеристику, в якості якого використовується реле типу РТ-80.

Схеми захистів подібні схемам на рис 1.5 та 1.6, за винятком того, що в них відсутні реле часу і вказівне реле. Все сказане про двофазні схеми з залежною характеристикою відноситься і до схем з залежною характеристикою.

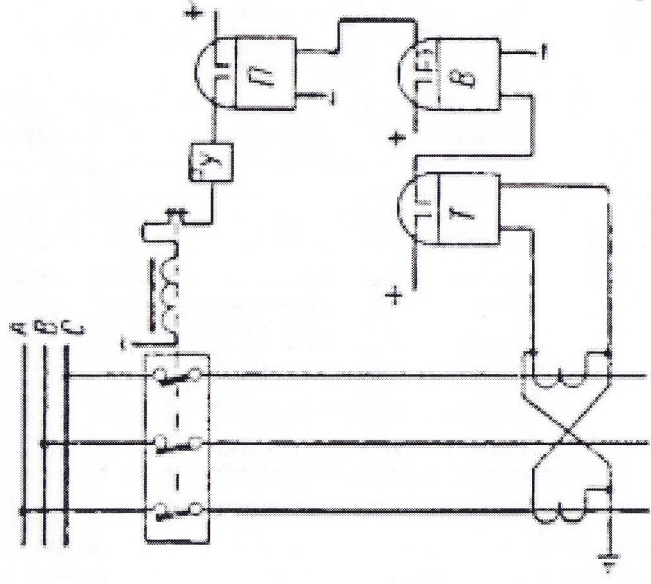


Рис. 1.6. Двох фазна схема МТЗ (одно релейна)

1.3 Струмівий захист нульової послідовності

Захист реагує на складові НП повного одно емнісного струму, що проходить по фазах захисного приєднання при замиканнях на землю. Схема РЗ дана на рис. 1.6. Струмове реле КА служить вимірювальним органом РЗ, воно діє на сигнал через реле часу КТ. Спрацювання РЗ фіксується вказаним реле КН.

Вимірювальний орган виконується за допомогою чутливого струмового реле миттєвої дії; використовується електромагнітне реле РТ-

40/0.2 і більш чутливе реле, виконане на транзисторах РТЗ-50, РТЗ-51 на інтегральних мікросхемах з покращеними технічними характеристиками (заводозахисності, час спрацювання). Захист з РТЗ-50 може спрацювати при первинному струмі порядку 1-2 А. Висока чутливість цього реле забезпечується за допомогою двокаскадного підсилювача постійного струму, включеного через проміжний трансформатор і випрямляючий міст. Живлення напівпровідникової схеми здійснюється або від дільника напруги 110/220 В постійного струму або випрямленою напругою змінного струму. Струм спрацювання реле плавно регулюється в межах 10-60 мА. Потужність спрацювання реле близько 12 мВ*А.

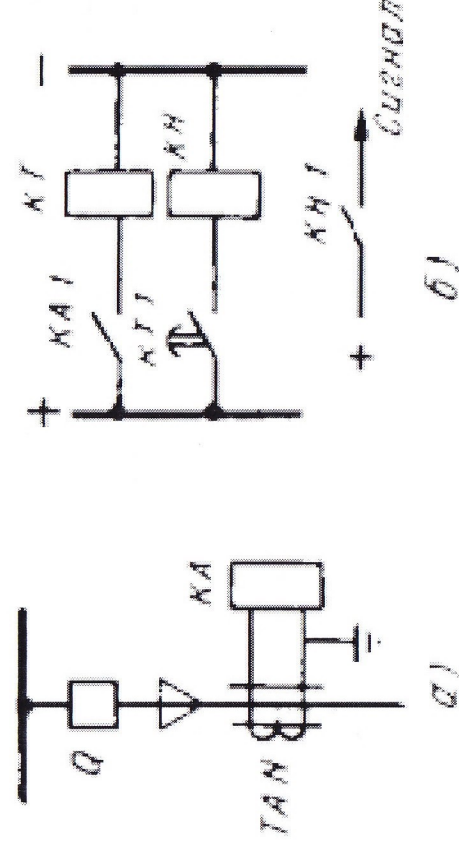


Рис. 1.7. Схема РЗ від замикання на землю на кабельній лінії. а – підключення струмового реле ТНП; б – ланцюги оперативного струму

Натомість РТЗ-50 ЧЕАЗ освоїв реле типу РТЗ-51, виконаного на ІМС. Пристрій реле РТЗ-51 пояснює функціональна схема реле, зображена на рис. 1.8. Відповідно до структурної схеми напівпровідникових реле струму її можна поділити на три функціональні частини: приймаючих вхідний сигнал, перетворює його і порівнює перетворений сигнал із заданою уставкою. Сприймаюча частина (як правило, в напівпровідниках реле)

виконується у вигляді проміжного трансформатора струму TA, замкнутого на резистор R2, паралельно якому за допомогою вимикачів SB1-SB5 можна переключити резистори R3-R7, призначені для дискретного регулювання уставки струму спрацювання реле. Діоди VD1, VD2 обмежують рівень вхідного сигналу. При замиканні на землю вхідний сигнал в вигляді струму 3I₀ надходить в первинну обмотку трансформатора TA і перетворюється в напругу на затискачах резистора R2 ($u_{R2}=i_{0m}A \cdot R1$). Ця напруга поступає в перетворюючу частину, яка складається з частотного фільтру Ф та посилювача А1. Фільтр пропускає струм 50 Гц та запирає вихід в схему зрівняння струмів вищих гармонік, якщо вони знаходяться в струмі замикання на землю (3I₀). Підсилювач А1 слугує для підвищення чутливості реле до малих значень струму I₃⁽¹⁾, на який повинно реагувати реле. В якості підсилювача А1 використовується операційний підсилювач (ОП). Сигнал з виходу А1 надходить на схему зрівняння, збудовану аналогічно типовому реле струму ИМС.

Схема зрівняння складається з порогового елементу, виконаного на операційному підсилювачі А2, час вимірювального ланцюга (утвореною із резистора R15, R16, діода VD5 та конденсатора C8) и тригера Шмітта, збудованого на операційному підсилювачі А3 з позитивним зворотнім зв'язком. Вихідний сигнал А3 впливає на виконавчий орган, функції якого виконує проміжне реле KL, увімкнуте в колекторний ланцюг підсиленого каскаду на транзисторі VT1. Реле KL спрацьовує при появі позитивного сигналу на виході А3.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА СИСТЕМ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ МАЛОПОТУЖНИХ МЕРЕЖ

2.1 Вимірювальні органи на ІМС

Загальні принципи вивчення. Оскільки вітчизняна промисловість випускає напівпровідні реле струму та напруги на ІМС, нижче розглянемо принципи розробки ОС тільки на базі мікросхем.

Реле струму і напруги відносяться до ОС с однією діючою та з однією зрівняльною величиною.

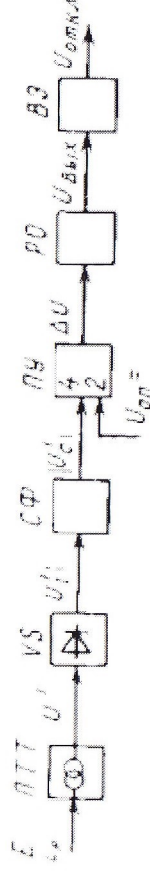


Рис. 2.1 Структурна схема напівпровідникового ІО з однією вхідною величиною

Принцип роботи таких реле оснований на порівнянні абсолютного значення контрольованої вхідної величини з еталонною, відповідної до заданого значення контролею емої величини, при якому реле повинно спрацювати. Величина яка впливає надходить з виходу вимірювальних ТТ або ТН. Оскільки струми і напруги мережі мають синусоїдальний характер, то для вивчення реле можна використовувати або випадкові значення або середнє за період значення вимірюваної величини.

Структурно функціональна схема подібного реле зображена на рис.

2.2. У цій схемі синусоїдальний струм, який надходить на вхід ТТ

аботрансформатору, призначення і функції яких були пояснені при розгляді структурної схеми напівпровідникових ІО.

2.2 Ітераційно - інтегруючий перетворювач

Має сенс застосувати в якості усереднюючого, швидкодіючого приладу ітераційно-інтегруючий перетворювач.

Принцип дії ітераційно-інтегрувального перетворювача з пристроєм вибірки-збереження (ПВЗ)

У цій схемі (рис. 2.1) як інтегратор використовується інтегрувальний підсилювач на основі операційного підсилювача DA_1 з резистором R_1 і конденсатором C_1 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.

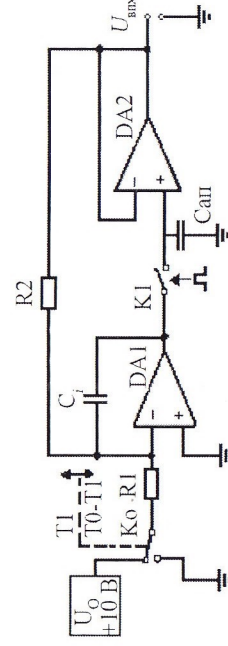


Рис. 2.1. Схема ЦМ на основі ітераційно-інтегрувального перетворювача з пристроєм вибірки-збереження

Пристрій вибірки-збереження призначений для зменшення похибки у вихідному сигналі перетворювача, пов'язаній 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.

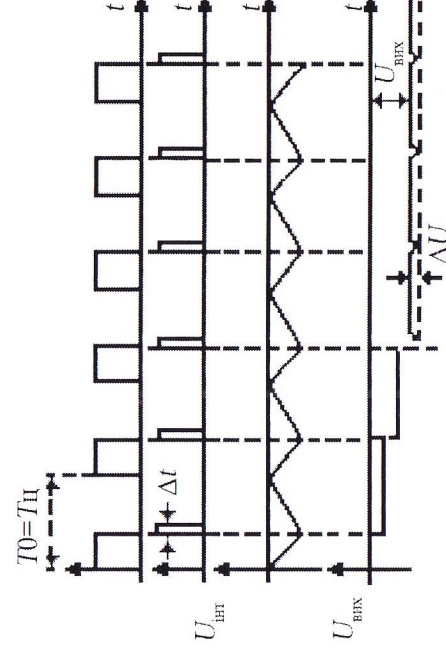


Рис. 2.2. Часові діаграми, що пояснюють роботу ІП з ПВЗ

Принцип дії ІП з ПВЗ і фільтром у ланцюгу негативного зворотного зв'язку перетворювача

Недоліком схеми ІП з ПВЗ є наявність похибки «пролазу» керувального сигналу. Фірма Vint-Brown для зменшення цієї похибки пропонує додавати на виході схеми ІП з ПВЗ RC -фільтр. Розглянемо реалізацію схеми ІПМ на основі ІП з ПВЗ і фільтром R_3C_3 у ланцюгу зворотного зв'язку (рис. 2.3).

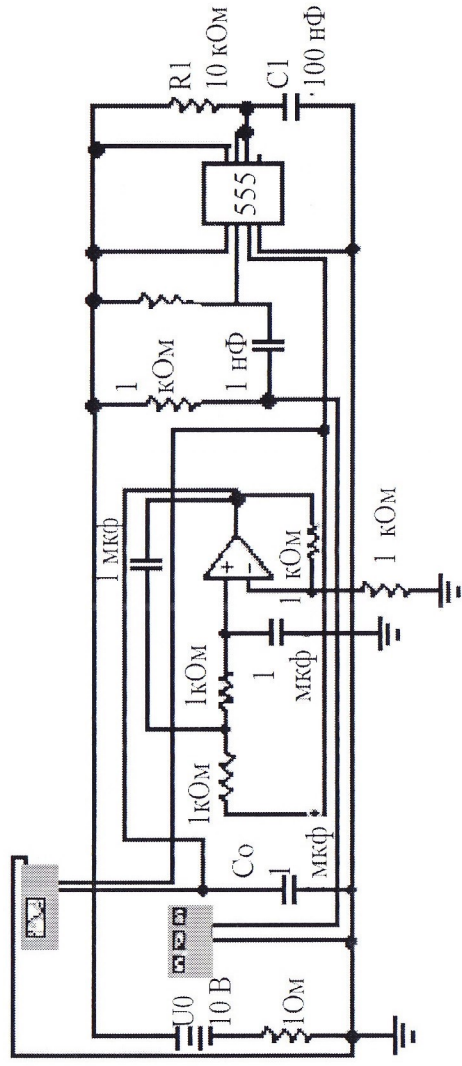


Рис. 2.3. Схема ЧМ на основі ІП з ПВЗ і фільтром у ланцюгу зворотного зв'язку

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 керуючими сигналами з мікро конвертера 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 ІП з ПВЗ (рис. 2.2).

Принцип дії ІП з динамічно-запам'ятовуючим пристроєм (ДЗП)

Одним із можливих методів усунення похибки «пролазу» керуючого сигналу без зменшення швидкодії є схема ІП, де замість пристрою вибірки-збереження використовуються два динамічно-запам'ятовуючих пристрої, які працюють у проти-фазі (рис. 2.4).

У цій схемі необхідний коефіцієнт ділення опорної напруги задається перемикачем K_0 , який керуючими сигналами з мікро конвертера замикається на

час T_1 і розмикається на час $T_0 - T_1$. На ключі K_3 і K_4 подаються керуючі сигнали. Як інтегратор використовується інтегровальний підсилювач на основі операційного підсилювача DA_1 з резистором R_1 і конденсатором C_1 у ланцюгу зворотного зв'язку.

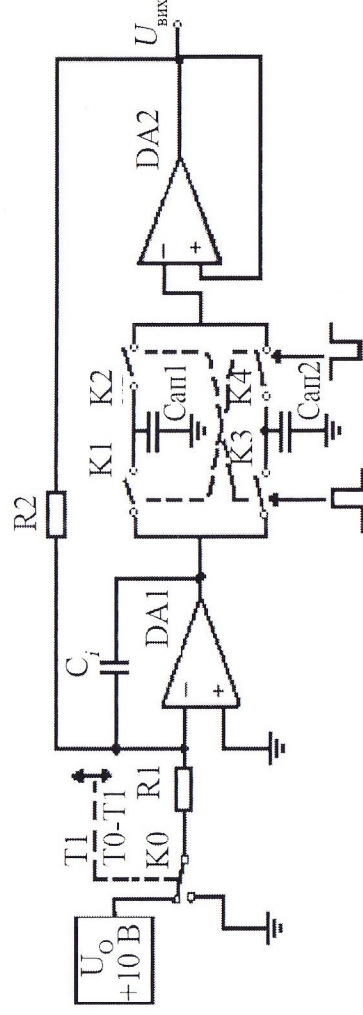


Рис. 2.4. Схема ЦМ на основі ІП з ДЗП

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 доки вона не буде дорівнювати середньому значенню модульованої опорної напруги.

Щоб отримати значення коефіцієнта перетворення ІП, 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, отримуємо $\bar{i}_1 = \bar{i}_2$.

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

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

Отже,

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

Для отримання перехідної характеристики ІІП розглянемо перехідний процес, який зображено на рис. 2.5 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. 2.5, а). Протягом часу від 0 до T_u напруга на виході інтегратора (рис. 2.5, б)

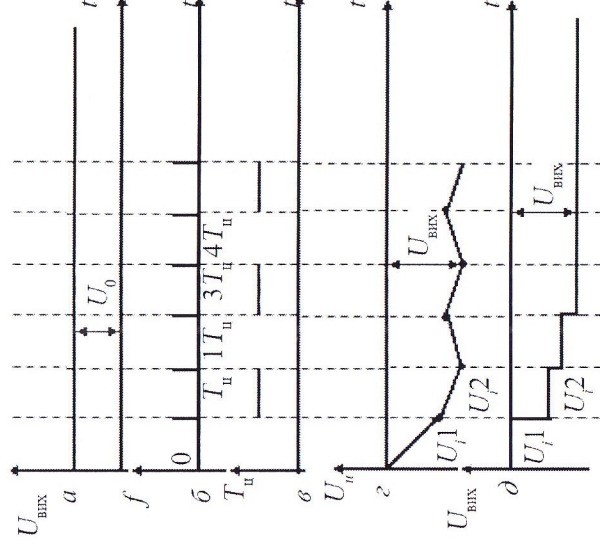


Рис. 2.5. Перехідні процеси в схемі ІІП з ДЗП

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

$$U_i(T_u) = \frac{1}{R_1 C_i} \int_0^{T_u} U_0 dt = \frac{U_0 T_u}{R_1 C_i}.$$

Протягом часу від T_u до $2T_u$

$$U_{12}(2T_u) = \frac{1}{R_2 C_1} \int_0^{T_u} U_0 dt + \frac{1}{R_2 C_1} \int_0^{T_u} U_1 dt + U_1,$$

звідки:

$$U_{12}(2T_u) = U_1(T_u) + U_1(T_u) \cdot \left(1 - \frac{T_u}{R_2 \cdot C_1}\right).$$

Отриманий вираз нагадує геометричну прогресію:

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

$$\text{де } a = U_1(T_u); \quad q = \left(1 - \frac{T_u}{R_2 \cdot C_1}\right).$$

Для збігу перехідного процесу необхідно, щоб $|q| < 1$. Якщо $q = 0$, маємо мінімальну тривалість перехідного процесу. Підставивши у вираз $q < 1$ значення $q = \left(1 - \frac{T_u}{R_2 \cdot C_1}\right)$, отримаємо умови збіжності перехідного процесу в ШП:

$$0 < \frac{T_u}{R_2 \cdot C_1} < 2.$$

З умови оптимальності $q = 0$ маємо $T_u = R_2 \cdot C_1$. Для n -перших членів, при $n \ll \infty$

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

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

$$\gamma_{\text{вст}} = \frac{S_n^* - S_{n=\infty}}{S_{n=0}},$$

де

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

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

$$\gamma_{\text{вст}} = q^n.$$

У реальних умовах $q \neq 0$, тобто $T_n \neq R_2 C_i$ за рахунок нестабільності керувального циклу (похибка γ_{T_n}), нестабільності R, C (похибка γ_r).

Тоді $\gamma_{\text{вст}}$ буде дорівнювати:

$$|\gamma_{\text{вст}}| = (\gamma_r + \gamma_{T_n})^n.$$

Звідси:

$$n = \log_{(\gamma_r + \gamma_{T_n})} \gamma_{\text{вст}} = \frac{\lg(\gamma_{\text{вст}})}{\lg(\gamma_r + \gamma_{T_n})},$$

де n —кількість циклів зрівноваження, тобто тривалість процесу встановлення.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ МАЛОПОТУЖНИХ МЕРЕЖ

В малопотужних мережах найбільш розповсюдженні отримали системи струмового захисту. Одною з актуальних проблем побудови систем релейного захисту є підвищення завадо захищеності їх вимірювальних частин [1]. Обмеження завадо захищеності найбільш розповсюджених сьогодні в вимірювальних органів побудованих на інтегральних мікросхемах, принцип дії яких базується на безпосередньому порівнянні середньо-спрямлених значень напруги, або струмів з уставкою, або на використанні часово-імпульсному принципі порівняння [2], не дає можливості збільшення чутливості вимірювальних органів, що суттєво обмежує область їх використання [2]. Дійсно дослідження завадо захищеності таких пристроїв в «EWB» виявило такі недоліки як:

- Суттєвий вплив вищих гармонік вхідного сигналу;
- Значна залежність часу затримки спрацювання від рівня вхідного сигналу;
- Суттєва залежність порогу спрацювання від співвідношення сигнал/шум.

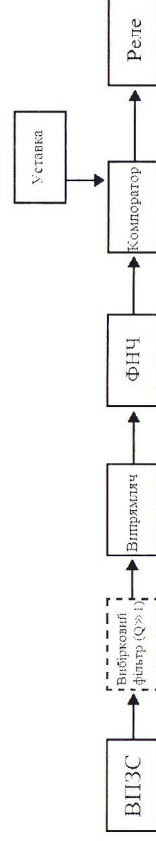


Рис 3.1. «Класична» Структурна схема системи струмового захисту.
(ВПЗС- вимірювальний перетворювач змінного струму, ФНЧ- фільтр нижніх частот.)

Принцип роботи цієї схеми полягає в порівнянні середньо спрямленого значення вхідного струму (напруги) з заданою уставкою. Зазвичай в якості ФНЧ використовуються активні, або пасивні фільтри, що призводить до зменшення завадо захищеності системи. Намагання запобігти цьому за допомогою вибіркового вузько смугових фільтрів « $Q \gg 1$ » призводить до втрати швидкодії (декілька секунд). Результати дослідження електричної моделі такої системи в EWB виявили наступне: при зменшенні співвідношення сигнал-шум зона нестійкої роботи компаратора розширюється. Так наприклад при співвідношенні сигнал-шум 9 дБ зона нестійкої роботи приблизно дорівнює 11.5% , а при погіршенні співвідношення сигнал-шум на 10 дБ зона нестійкої роботи розширюється більш ніж в три рази, а рівень спрацювання зменшується в три рази. Більшу захищеність дає схема принцип роботи якої базується на часово-пульсовому принципі порівняння (Рис.3.2)

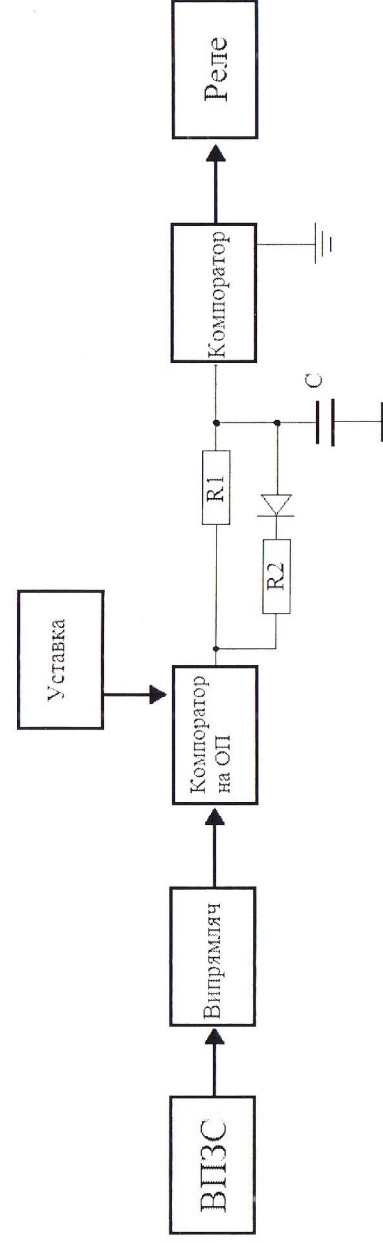


Рис. 3.2. Структурна схема струмового реле побудована на часово-імпульсному принципі порівняння (ВПЗС- вимірjувальний перетворювач змінного струму)

Принцип дії базується на усередненні з різними постійними часу біполярного ШІМ сигналу який формується за допомогою компаратора 1 (на основі операційного підсилювача) порівнянням спрямленого вхідного

сигналу з уставкию. При цьому індекс модуляції змінюється в межах від +1 до -0,5. Дослідження цієї схеми в EWB виявили наступне: при співвідношенні сигнал-шум 7 дБ (за рахунок третьої гармоніки) зона нестійкої роботи становить 3%, а зменшення порогу становить 25%. Для усунення вище перелічених недоліків було розроблено та досліджено схему на базі аналого-дискретних рекурсивних структур. Такі структури описуються нелінійними різницевиими рівняннями першого порядку, при цьому їх характеристики визначаються методами чисельного аналізу, або комп'ютерним моделюванням. В запропонованій системі вони використовуються для швидкого визначення середнього значення сигналу, та в системі синхронізації. Схема відрізняється від попередньої тим що між спрямляючим діодним мостом та електронним реле включений ітераційний інтегруючий перетворювач (Рис. 3.3)

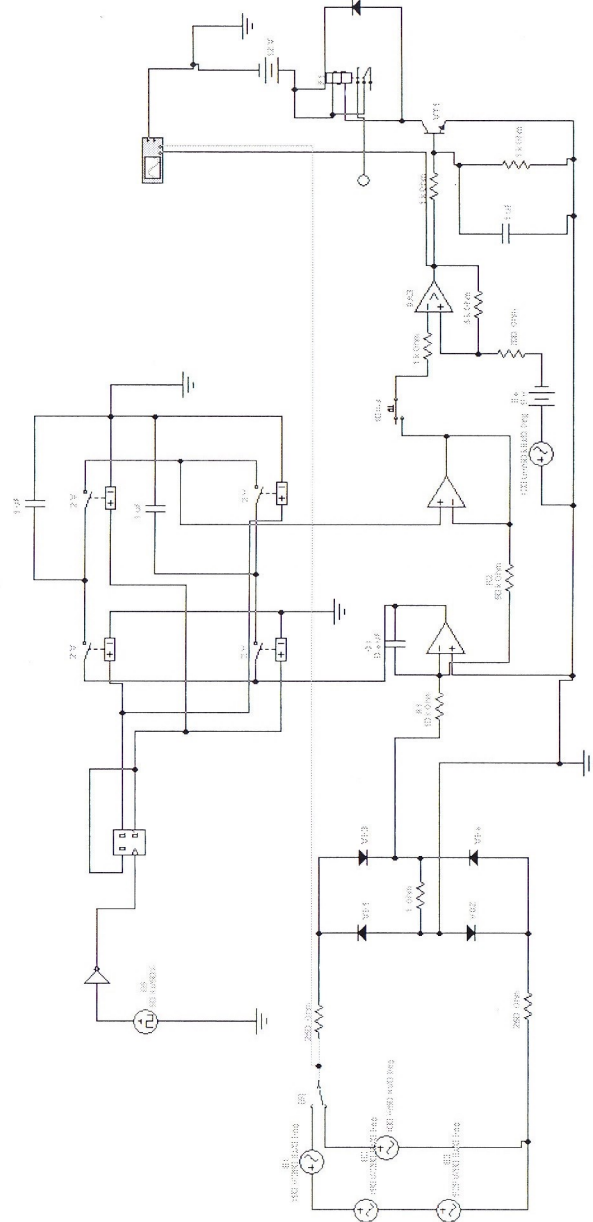


Рис. 3.3 Електрична модель запропонованого вимірювального органу в «EWB»

Схема на (Рис. 3. 3) складається з таких елементів як: E1 – генератор третьої гармоніки; E2 – генератор другої гармоніки; E3 – генератор

корисного сигналу; C1, R3, R4- фільтр нижніх частот; VD1, VD2, VD3, VD4 – випрямляч мостовий; DA1 DA2 – ітераційно-інтегруючий перетворювач;

P1- електромагнітне реле; DA3, VT1,

P1- електронне реле;

E4,P1,P2- схема формування уставки;

E5- сигнал синхронізації (50 гЦ).

Запропонована система працює наступним чином: сигнал після мостового випрямляча

VD1- VD1 потрапляє на вхід ітераційно-інтегруючого перетворювача (ІШ) з динамічно-запам'ятовувачими пристроями, виконаного на операційних підсилювачах

DA1- DA2. Такий перетворювач виконує функцію формування середньо спрямленого значення вхідного сигналу, та його підсилення. Оскільки частота мережі змінюється не більше ніж $\pm 0,5\%$ від номінального значення 50 гЦ, то тривалість перехідного процесу можна визначити за формулою

$$n = \log_{(\gamma_t + \gamma_{\text{вст}})} \gamma_{\text{вст}} = \frac{\lg(\gamma_{\text{вст}})}{\lg(\gamma_t + \gamma_{\text{вст}})},$$

де n –кількість циклів зрівноваження, γ_t - нестійкість постійної часу негативно-зворотного зв'язку ітераційно-інтегруючого перетворювача, $\gamma_{\text{вст}}$ - похибка встановлення вихідної напруги ІШ,

$\gamma T_{\text{ц}}$ - нестабільність частоти мережі.

Враховуючи що $\gamma T_{\text{ц}} = 0,5 * 10^{-2}$, $\gamma = R2 * C1$ (тобто $\gamma t = \gamma R2 + \gamma C1$, де $\gamma R2$ та $\gamma C1$ це клас точності відповідного резистора R2 та конденсатора C1). Якщо брати ці елементи типів C2-29 та K31-10 , γt можна забезпечити $\leq 0,5 * 10^{-2}$. Якщо обрати $\gamma_{\text{вст}} = 10^{-4}$ то $t_{\text{вст}} = n * T_{\text{цикла}} = 40$ мс. ($T_{\text{цикла}}$ - період мережевої напруги).

При дослідженні запропонованої схеми було виявлено що при співвідношенні сигнал-шум 7 дБ (за рахунок третьої гармоніки) зона не стійкої роботи становить менше 0,1%, а зміна порогу менше 7%.

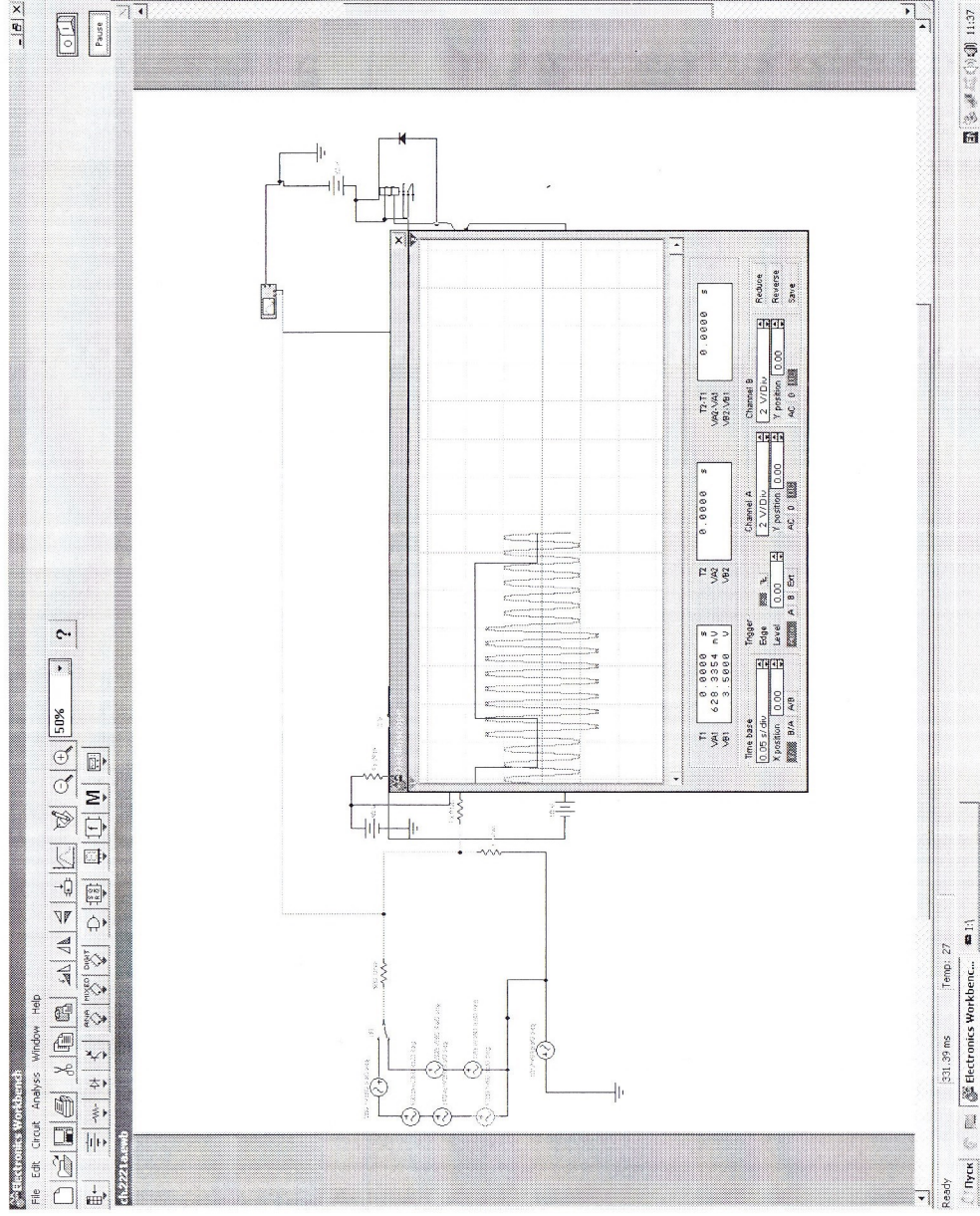


Рис. 3.4 РТЗ 51 при різних співвідношеннях сигналу шуму

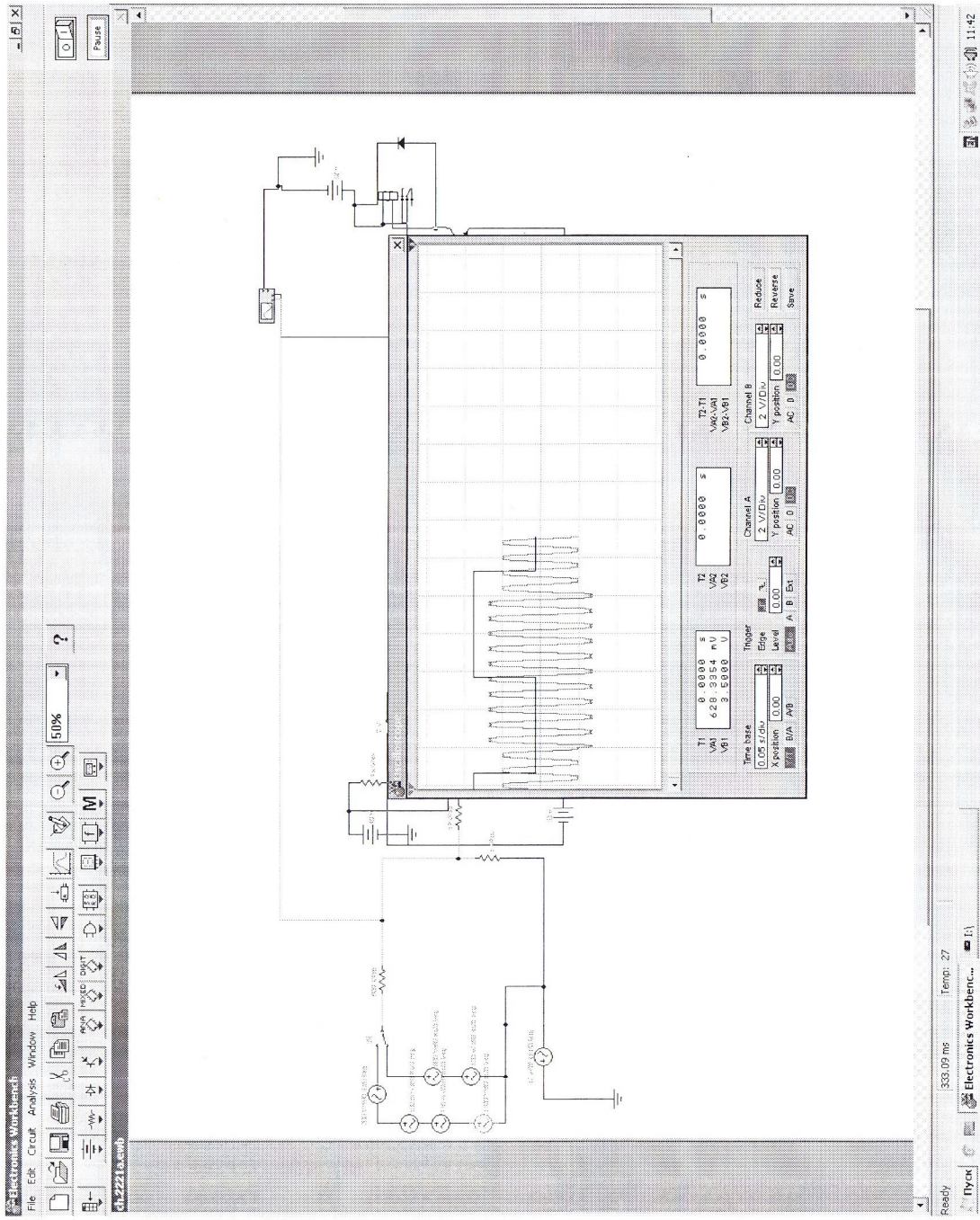


Рис. 3.5 РТЗ 51 при повному співвідношенні сигналу

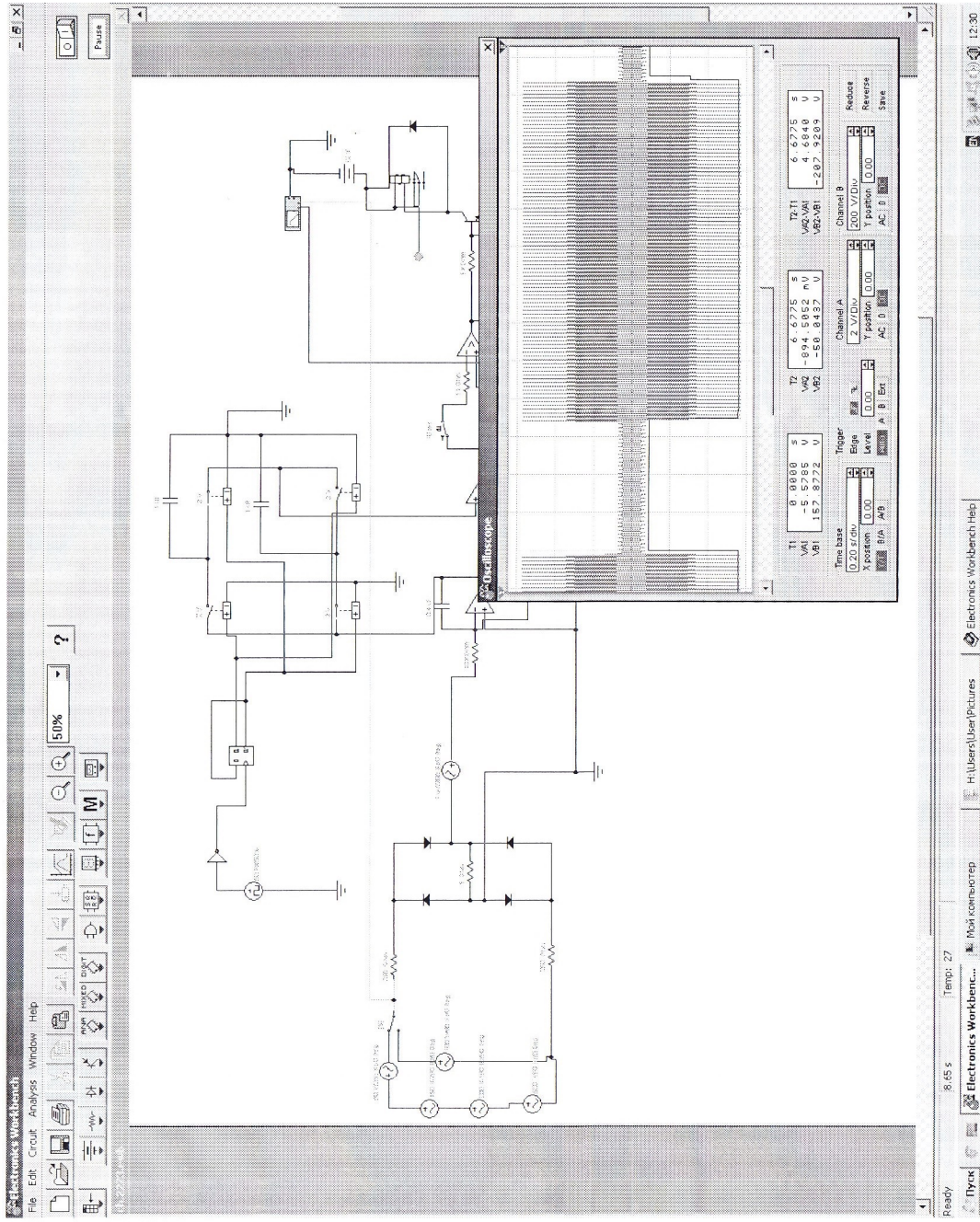


Рис. 3.7 Запропонована схема при між фазному КЗ

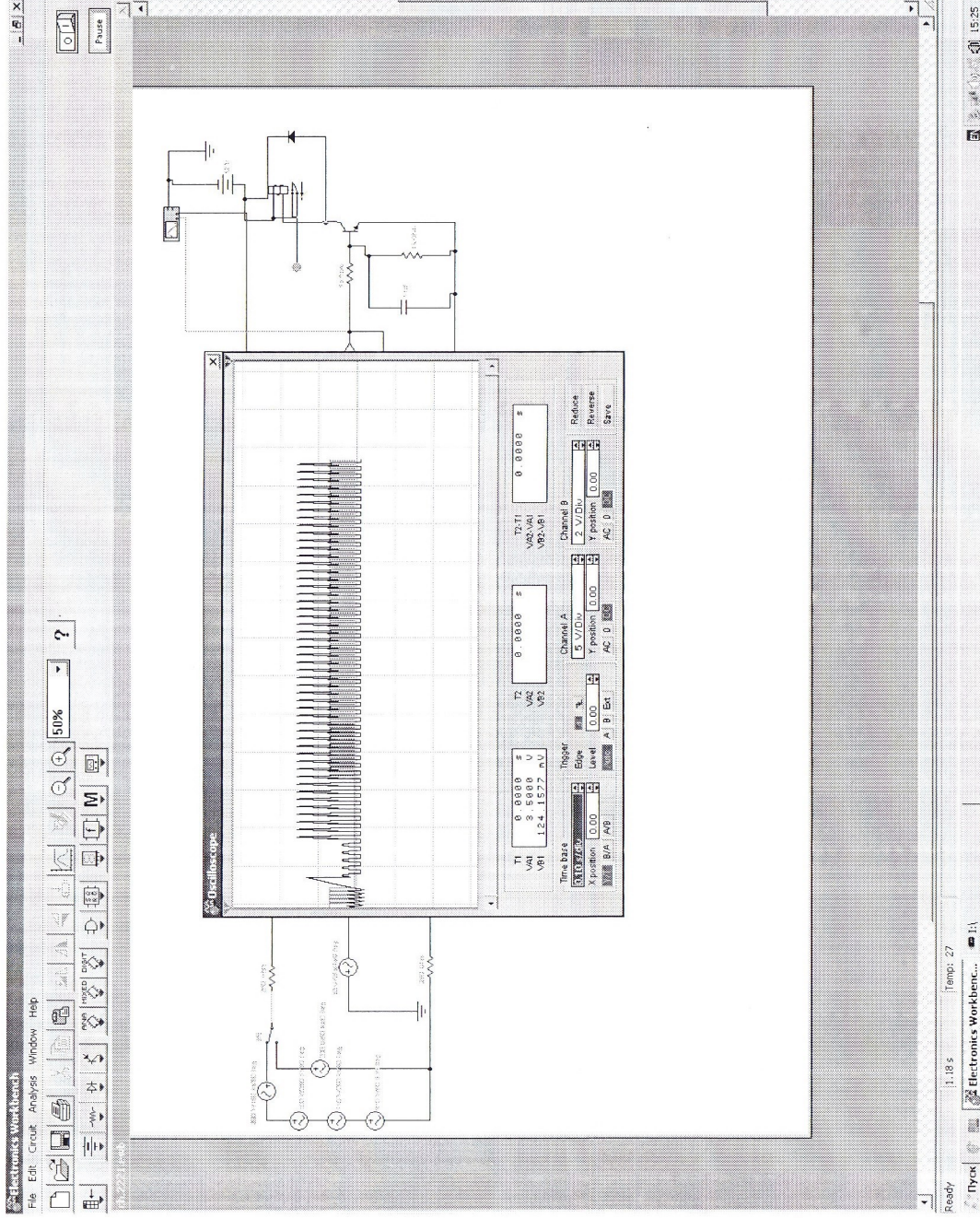


Рис. 3.9 РГЗ 51 при збагаченні вищими гармоніками

Висновки

Розроблена система на основі інтеграційно-інтегруючих перетворювачів з динамічними запам'ятовуючими пристроями, забезпечує можливість підвищення швидкодії, чутливості, заводозахищеності.

Тобто можна стверджувати що запропонована схема позбавлені недоліків попередніх схем і значно перевищують їхні показники при однакових умовах, і навіть при відсутності синхронізації з мережею, а затримка спрацювання не залежить від співвідношення сигнал-шум і становить 20-40мс.

Дослідження цієї схеми в EWB виявили наступне: при співвідношенні сигнал-шум 7 дБ (зарахунок третьої гармоніки) зона не стійкої роботи становить 3%, а зменшення порогу становить 25%.

При дослідженні запропонованої схеми було виявлено що при співвідношенні сигнал-шум 7 дБ (за рахунок третьої гармоніки) зона не стійкої роботи становить менше 0,1%, а зміна порогу менше 7%.

СПИСОК БІБЛЮГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ

ДЖЕРЕЛ

1. Аш Ж. Датчики измерительных систем / Ж. Аш. – М: Мир, 1992.
2. Белов А. М. Приборы для измерения температуры. / Белов А.М. – М: Недра, 1968.
3. Бусурин В. И. Волоконно-оптические датчики: физические основы, вопросы расчета и применения / Бусурин В. И. – М.: Энергоатомиздат, 1980.
4. Глаголев К. В. Физика в техническом университете: в 6 т / К. В. Глаголев, А. Н. Морозов. – м: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001.
5. Линеveg Ф. Измерение температур в технике / Ф. Линеveg. – М: Металлургия, 1980.
6. Оврен С., Адольфсон М. и др. Волоконно-оптические измерительные приборы // Контрольно-измерительная техника. Экспресс-информация. – 1986. № 42 – С. 23-28.
7. Преображенский В. П. Теплотехнические измерения и приборы / В. П. Преображенский. – М: Энергия, 1978.
8. Профос. Измерения в промышленности. Справочник. Способы измерения и аппаратура / Профос. – М: Металлургия, 1990.
9. Такамури О. Волоконно-оптические датчики. / О. Такамури. – М: Энергоатомиздат, 1991.
10. Сергеев О.А. Высокотемпературный волоконнооптический термометр // Контрольно-измерительная техника. Экспресс-информация. – 1985. № 3 – С. 7-12.
11. Серебрякова Л. В. Волоконная оптика в производственных измерениях // Контрольно-измерительная техника. Экспресс-информация. – 1987. № 33 – С. 13-18.
12. Чистяков С. Ф. Теплотехнические измерения и приборы / С. Ф. Чистяков, Д. В. Радун. – М: Высшая школа, 1972.