

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

2023.11.03.

Середі Євгенія Леонідовича

2023 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ

І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 631.171:621.311

ПОГОДЖЕНО

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження

Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій

проф., д.т.н.

/КАПЛУН В. В./

доц., к.т.н.

/ОКУШКО О. В./

вчене звання, науковий ступінь

підпис

вчене звання, науковий ступінь

підпис

" " 2023 р.

" " 2023 р.

число

місяць

рік

число

місяць

рік

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Багатострижневий розрядник-запальник»

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

к.т.н., доцент

Савченко В. В.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

Керівник магістерської роботи

к.т.н., проф.

Заблудський М. М.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

Виконав

Середа Є. Л.

(підпис)

(ПІБ)

КИЇВ – 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
НИ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри електротехніки,
електромеханіки та електротехнологій**

канд. техн. наук, доц. Окушко О.В.

“ ” 2023 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Середі Євгенію Леонідовичу

Спеціальність

141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма

Магістр

Магістерська програма

Науково-технічні засади електромеханічного перетворення енергії

Орієнтація освітньої програми

Освітньо-професійна

Тема магістерської роботи: **Багатостримерний розрядник-запальник**
затверджена наказом ректора НУБіП України від “ ” 2023 р.

№

Термін подання завершеної роботи на кафедру

Вихідні дані до магістерської роботи

(рік, місяць, число)

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Всебічне вивчення патентно-кон'юктурної та прикладної бази закордонного і вітчизняного досвіду з енергоощадних технологій та обладнання, в яких використовуються електромагнітні системи супроводження горіння пальної суміші.
2. Дослідження електродинамічних процесів і обґрунтування режимних параметрів електромагнітної системи супроводження горіння пальної повітряно-водно-вуглеводневогазової суміші.
3. Розробка удосконаленого багатостримерного розрядника-запальника пальної суміші.
4. Питання охорони праці при роботі з палинковими системами.

Перелік графічного матеріалу – презентація – наочні матеріали з результатами дослідження, алгоритми розрахунків і таблиці з отриманими результатами.

Дата видачі завдання “ ” 2023 р.

Керівник магістерської роботи

Заблудський М.М.

Завдання прийняв до виконання

Середі Є. Л.

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота «Багатостримерний розрядник-запальник».

Автор роботи: _____

Керівник роботи: _____

Обсяг – 73 с., 17 рис., 5 додатків, 20 джерел.

Метою даної дослідницької роботи є вивчення багатостримерних розрядників-запальників в контексті їх використання в електроенергетиці та електротехніці.

Головним завданням є розкриття механізмів виникнення запалюючого розряду та вивчення впливу параметрів розрядника на його запальність.

Об'єктом дослідження є багатостримерні розрядники-запальники, їхні особливості, характеристики та фізичні процеси, які відбуваються в їхньому функціонуванні.

Предметом дослідження є механізми виникнення запалюючого розряду в багатостримерних розрядниках-запальниках та вплив параметрів цих пристроїв на їхню запальність.

(дата)

(підпис)

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

НУБІП України

БРЗ - Багатостримерний розрядник-запальник.

ЕЕ - Електроенергетика.

ЕТ - Електротехніка.

МВЗ - Механізми виникнення запального розряду

ІРЗ - Параметри розрядника.

СЕ - Системи електропостачання.

ССЗ - Стійкість розрядника до корозії.

РТТ - Робочий тиск та температура.

НСР - Напруга та струм розряду.

РРР - Режим роботи розрядника.

СІР - Способи ініціювання розряду.

ТЗН - Технічні журнали та публікації.

ДТАРД - Дисертації та академічні роботи.

СНД - Стандарти та нормативи в галузі електроенергетики та електротехніки.

НТБД - Наукові та технічні бази даних.

ВЗ - Виробники розрядників-запальників.

Ключові слова: багатостримерний розрядник-запальник,

електроенергетика, електротехніка, механізми виникнення розряду, параметри розрядника, безпека систем електропостачання.

НУБІП України

НУБІП України

ЗМІСТ

НУБІП України

ВСТУП.....

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ БАГАТОСТРИМЕРНИХ РОЗРЯДНИКІВ-ЗАПАЛЬНИКІВ..... 9

1.1. Огляд розрядників та їх роль у системах безпеки..... 9

1.2. Запальність розрядників..... 6

1.3. Технічні характеристики багатостримерних розрядників-запальників..... 18

РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРЯДНИКІВ..... 22

2.1. Методи дослідження..... 22

2.2. Теоретичні методи аналізу..... 24

2.3. Вимірювання часткових розрядів при виявленні дефектів..... 35

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СХЕМИ ТА ЇЇ ОСОБЛИВОСТІ..... 38

3.1. Розробка схеми..... 38

3.2. Схема для захисту мережі від перенапрягання..... 47

РОЗДІЛ 4. РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИКОНАННЯ ЗАЗЕМЛЕНЬ НА ПІДСТАНЦІЯХ ВИСОКОЇ НАПРУГИ..... 49

4.1. Рекомендація з виконання заземлень..... 49

4.2. Природа виникнення перешкод на електростанціях..... 59

ВИСНОВКИ..... 65

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... 67

ДОДАТКИ..... 69

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

НУБІП України

Актуальність теми електроенергетики та електротехніки надзвичайно велика в сучасному світі, де нагромаджується безліч завдань та викликів, пов'язаних із забезпеченням надійного та ефективного електропостачання для різних сфер життя. Енергетична інфраструктура має важливе значення для суспільства, і забезпечення її безперебійної роботи є пріоритетною задачею. У цьому контексті виникає потреба у нових технологіях та рішеннях, що спрямовані на підвищення рівня безпеки та надійності систем електропостачання, зокрема, на вдосконаленні системи безпеки у випадку різноманітних ризиків, пов'язаних з електророзрядами.

НУБІП України

Магістерська робота розглядає проблему розробки та дослідження багатостримерних розрядників-запальників як одного з потенційних рішень у сфері безпеки систем електропостачання. Тема дослідження "Багатостримерний розрядник-запальник" має на меті вивчити та покращити характеристики цих пристроїв з метою забезпечення вищого рівня захисту від потенційно небезпечних електророзрядів.

НУБІП України

Сучасні суспільні та технологічні виклики, пов'язані зі змінами клімату, зростанням навантаження на електричну мережу, технічними поломками, та іншими факторами, ставлять під загрозу надійність систем електропостачання. Одним із факторів, які можуть спричинити аварійну ситуацію, є електророзряди. Вони можуть виникнути під час грозових бурь, в результаті перенапруги в мережі, або через механічне пошкодження обладнання. Ефективний захист від електророзрядів стає дедалі важливішим завдяки збільшенню кількості споживачів електроенергії та розширенню мережі.

НУБІП України

Розглядаючи електророзряди та їх наслідки, ми визначаємо завдання дослідження:

НУБІП України

Огляд сучасних проблем в галузі електроенергетики та електротехніки, які пов'язані з електророзрядами та безпекою систем електропостачання.

Аналіз інших розробок та технологій, які застосовуються у сфері безпеки від електророзрядів, та ідентифікація їхніх переваг та обмежень.

Розробка та дослідження багатостримерних розрядників-запальників, їх технічних характеристик, запальних властивостей та ефективності в різних умовах.

Моделювання та аналіз результатів, з метою визначення оптимальних параметрів розрядників для підвищення їхньої запальної ефективності.

Визначення практичних перспектив впровадження результатів дослідження у реальну практику електроенергетики та електротехніки з метою підвищення безпеки та надійності електромереж.

Ця магістерська робота спрямована на розв'язання актуальної проблеми в галузі електроенергетики та електротехніки і має на меті зробити вагомий внесок у покращення безпеки систем електропостачання. Ми надіємося, що результати дослідження допоможуть підвищити стійкість систем електропостачання до електророзрядів і сприятимуть покращенню якості життя суспільства.

У роботі буде розглянуто теоретичні аспекти багатостримерних розрядників-запальників, методологію дослідження, проведемо експериментальні дослідження та моделювання, і підсумуємо отримані результати, надаючи рекомендації щодо практичного використання отриманих даних у галузі електроенергетики та електротехніки.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ БАГАТОСТРИМЕРНИХ РОЗРЯДНИКІВ-ЗАПАЛЬНИКІВ

1.1. Огляд розрядників та їх роль у системах безпеки

Обмежувачі перенапруг використовуються для захисту високовольтного обладнання на підстанціях, наприклад трансформаторів, автоматичних вимикачів і прохідних прохідних елементів, від впливу блискавки та комутаційних перенапруг. Обмежувачі перенапруг підключаються поруч і паралельно з обладнанням, яке потрібно захистити. Їх мета полягає в безпечному відводі енергії стрибків на землю та забезпеченні того, щоб результуюча напруга на клеммах залишалася достатньо низькою, щоб не пошкодити ізоляцію пов'язаних пристроїв від впливу перенапруги.

Координація ізоляції визначається як вибір електричної міцності обладнання по відношенню до різних типів перенапруг (Рис 1.1), які можуть виникати в системі. Обмежувачі перенапруг є незамінною допомогою для економічної координації ізоляції в системах електроенергії. Це показано на малюнку нижче, де за відсутності будь-яких пристроїв захисту від перенапруги обладнання не може витримати високі діелектричні напруги, що є результатом блискавки та комутаційних перенапруг. Саме в цьому діапазоні розрядники перенапруги відіграють свою роль у системі, підтримуючи напругу на рівні, нижчому від витримуваної напруги (найвища напруга, яку можна застосувати до елемента без його пошкодження) обладнання, адекватний (захисний) запас. З іншого боку, розрядники перенапруг не можуть обмежити коливальні тимчасові перенапруги (TOV) і тому повинні бути розроблені таким чином, щоб витримувати такі тимчасові перенапруги разом із максимальною робочою напругою системи без пошкодження.

НУБІП України

НУБІП України

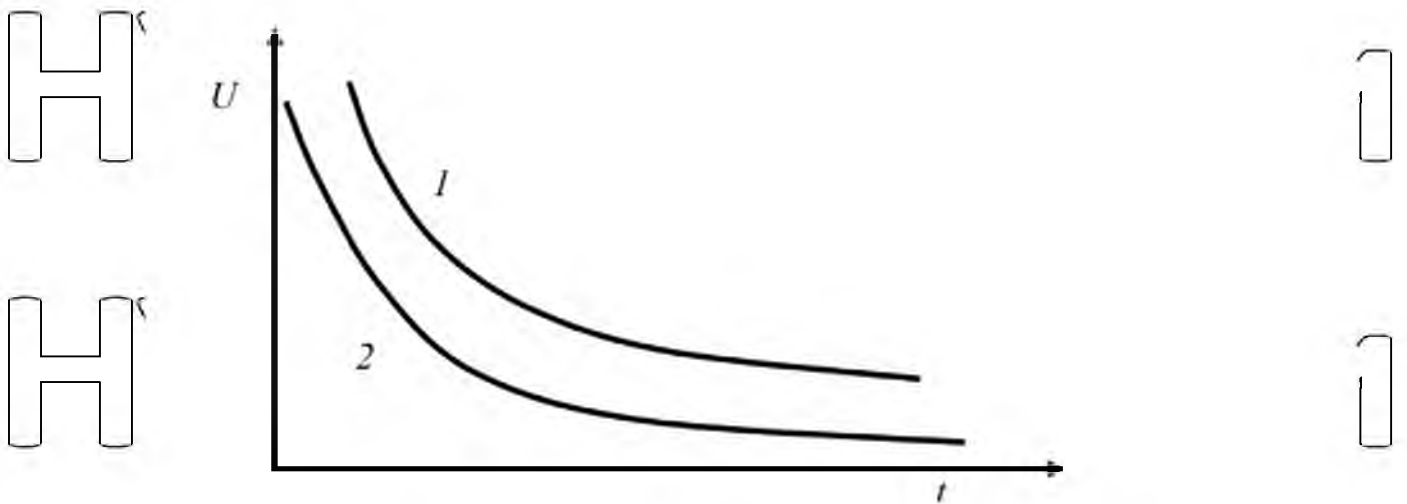


Рис 1.1. Графік залежностей. Вольт-секундні характеристики об'єкта що захищається та розрядника

В основі блоку розрядника перенапруги лежить варисторна колона МО, яка є його активною частиною. Колодка складається з блоків МО варисторів, складених один на одного. Ці блоки виготовлені з оксиду цинку (ZnO) та інших металевих порошків, змішаних разом, а потім спресованих у циліндричні диски. Діаметр кожного диска визначає здатність обмежувача перенапруги використовувати енергію. Для систем високої напруги зазвичай потрібен діаметр 100 мм (3,9 дюйма) або більше.

Необхідна здатність витривалості GOM (регулюється номінальною напругою розрядника), а також бажані рівні комутації та захисту від грозового імпульсу контролюють загальну висоту стовпа варистора МО. Однак у більшості випадків порцеляновий корпус розрядника перенапруги сконструйований значно довшим з причин діелектрика (вимоги щодо зазору та відстані витоків) і не залежить від висоти активної частини. В результаті колонка варисторів МО встановлюється в корпус розрядника за допомогою металевих прокладок. Розпірки складаються з алюмінієвих трубок з торцевими кришками для рівномірного розподілу контактного тиску.

Кілька опорних стрижнів і утримуючих пластин виготовлених із армованого скловолокном пластику (FRP), оточують колоду варистора МО у формі клітки; клітка механічно закріплює внутрішню активну частину. На верхньому кінці розрядника натискна пружина забезпечує необхідний осьовий тиск, щоб стиснути пакет МО-варисторів разом. Фланці прикріплені до обох кінців порцелянового корпусу розрядника перенапруг; фланці зазвичай виготовляються з алюмінію та охоплюють ущільнювальну систему

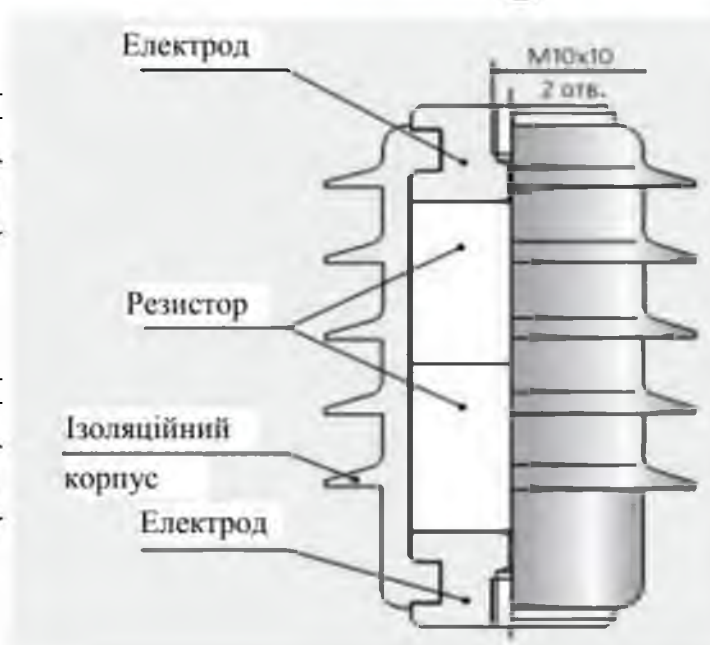


Рис 1.2. Поперечний розріз обмежувача перенапруг у порцеляновому корпусі

У системах високої напруги замість безпосереднього заземлення розрядників перенапруги пристрої контролю підключаються послідовно з розрядником. У таких випадках нижній фланець розрядника перенапруги встановлюється з ізоляційними ніжками, а заземлення (з'єднання заземлення) виконується через пристрій контролю.

Система ущільнення є одним із найважливіших компонентів розрядника перенапруги. По-перше, він повинен запобігати потраплянню води і забруднень всередину корпусу розрядника. По-друге, він повинен діяти як швидкодіючий пристрій скидання тиску (PRD) у разі перевантаження

розрядника, що може призвести до швидкого накопичення тиску всередині корпусу розрядника. Нарешті, він повинен забезпечувати добре налагоджену точку контакту для передачі струму від клеми зовнішнього підключення розрядника до варисторної колонки МО.

Система ущільнення обмежувача перенапруги складається з синтетичного ущільнювального кільця та діафрагми для скидання тиску, обидві з яких встановлено двічі на обох кінцях корпусу розрядника перенапруги. Дуже тонка діафрагма (лише кілька десятих міліметра завтовшки, або тисячні частки дюйма) виготовлена з нікелю або високоякісної сталі. Діафрагма притискається до ущільнювального кільця за допомогою затискного кільця, привинченого до корпусу фланця.

У разі перевантаження розрядника між двома фланцями всередині корпусу виникає дуга. Теплова енергія цієї дуги (яка переносить повний струм короткого замикання мережі) призводить до швидкого наростання тиску всередині розрядника перенапруги. Результуючий тиск скидається за допомогою розвантажувальної діафрагми, таким чином запобігаючи катастрофічній поломці розрядника та можливому пошкодженню навколишнього середовища. Гарячі гази, які утворюються в корпусі розрядника через перевантаження, спрямовуються через будь-який з двох вентиляційних отворів. За межами розрядника струми газу зустрічаються, змушуючи дугу, яка горіла всередині корпусу, зміщуватися (комутувати) і продовжувати горіти поза розрядником, доки несправність не буде усунена.

При вищих напругах, через вимоги до ізоляції та економічності виробництва, повний розрядник перенапруги складається з кількох блоків розрядника, з'єднаних послідовно. Крім того, на клемі високої напруги встановлено градууювальне кільце для контролю розподілу напруги від кінця високої напруги до землі.

Сучасні ОПН є високонадійними при правильному налаштуванні. Очікується, що вони матимуть майже необхідний термін служби 30 і більше років. Тим не менш, враховуючи високу вартість обладнання, яке

захищає розрядник перенапруги, і шкідливий вплив перевантажень розрядника, є вагома причина стежити за справністю розрядників перенапруги.

За нормальної робочої напруги розрядники перенапруг демонструють високий імпеданс, тому вони діють як ізолятор протягом більшої частини свого робочого терміну служби. Така поведінка необхідна для гарантування тривалого

терміну служби розрядника, а також стабільності відповідної електричної системи. Тому вкрай важливо виявити будь-яке погіршення ізоляційних властивостей обмежувача перенапруги до того, як ситуація

стане критичною. Два типи пристроїв моніторингу, які зазвичай

використовуються для високовольтних розрядників МО:

- Лічильники перенапруги, що реєструють кількість імпульсів перенапруги.
- Монітори струму витоку, які вимірюють струм витоку, що протікає через розрядник.

Основна передумова використання лічильників перенапруг полягає в тому, щоб визначити, чи зазнає дана лінія електропередачі або фаза системи надзвичайно високу кількість перенапруг, що призводить до спрацьовування розрядника. Крім того, різке збільшення швидкості підрахунку імпульсів також

може вказувати на несправність внутрішнього розрядника. Однак самі по собі

лічильники перенапруг показують лише часткову інформацію про моніторинг стану. Більшість пристроїв моніторингу розрядників перенапруги реєструють кількість (кількість) імпульсів перенапруги, а також вимірюють будь-який струм

витоку. Струм витоку надає додаткову інформацію про величину будь-яких

стрибків напруги та її актуальність у випадку перенапруги в

системі. Використання лічильників імпульсних перенапруг і пристроїв для вимірювання струму витоку в поєднанні один з одним дозволяє більш гнучко здійснювати моніторинг і діагностику стану розрядника.

Амперна характеристика (VI) ілюструє, як опір обмежувача перенапруги

змінюється залежно від напруги, а також дає уявлення про його роботу. Сильно нелінійні VI-характеристики МО-варистора роблять його придатним кандидатом для захисту від перенапруги. Варистор — це в основному змінний резистор, опір

якого залежить обернено від прикладеної напруги, тобто чим більша напруга, тим менший опір. На зображенні нижче показано типові характеристики розрядника перенапруги МО з номінальною напругою 420 кВ, що використовується в системі з номінальною напругою 550 кВ (міжфазна).

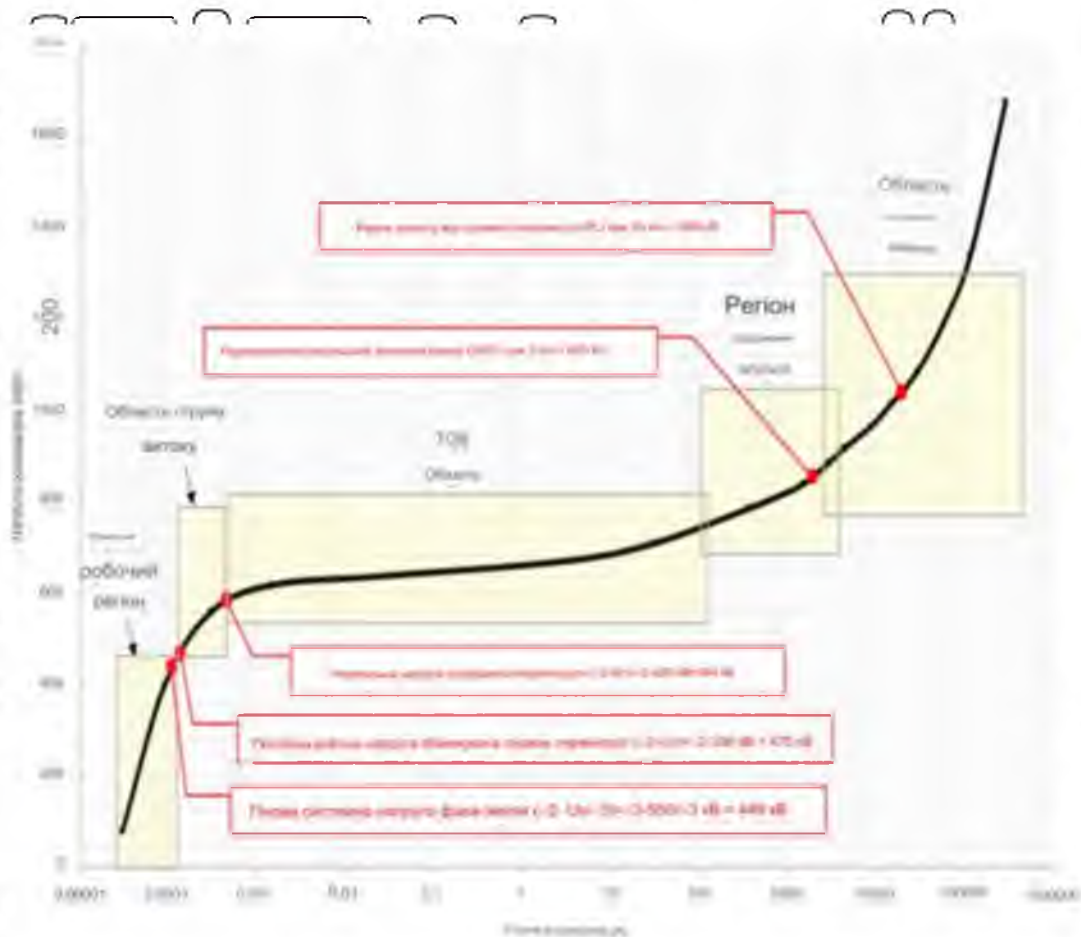


Рис. 1.3. Робочі характеристики розрядника перенапруги із середньоквадратичною номінальною напругою 420 кВ

Щоб краще зрозуміти робочі характеристики обмежувача перенапруги, необхідно дати визначення деяких важливих термінів і параметрів:

Максимальна напруга системи (U_s)

Найвища міжфазна середньоквадратична напруга частоти живлення, визначена для даної системи за нормальних умов.

Безперервна робоча напруга (U_r)

Максимально допустима середньоквадратична напруга промислової частоти, яку можна застосувати до клем розрядника протягом тривалого або невизначеного періоду часу; це також іноді позначається як $MCOV$. На практиці постійна робоча напруга (U_c) розрядника встановлюється такою, щоб бути більшою за найвищу напругу системи фаза-земля (U_{ph-g}) з запасом щонайменше на п'ять відсотків.

Номінальна напруга (U_r)

Максимальна середньоквадратична напруга промислової частоти, яку повинен витримувати розрядник перенапруг протягом певного короткого періоду (наприклад, 10 або 100 секунд). Характеризує здатність розрядника витримувати ТОВ системи. Коли розрядник перенапруги напружується до номінальної напруги (U_r), витікає струм витоку. Струм витоку визначається як ненавмисна течія струму на землю. Ця ситуація є небажаною, тому що при протіканні струму витоку буде відбуватися пропорційне підвищення робочої температури розрядника. Якщо цей стан зберігається довше зазначеного короткого часу, температура розрядника зростатиме, доки він не стане термічно нестабільним, що в кінцевому підсумку може призвести до виходу з ладу розрядника.

Захисний рівень імпульсного перемикачання (SIPL)

Пікове значення залишкової напруги на клемі розрядника перенапруги при номінальному розряді імпульсу струму перемикачання з формою хвилі 30/60 мкс і з піковою величиною 2 кА (у випадку систем надвисокої напруги).

Рівень захисту від грозового імпульсу (LIPL)

Пікове значення залишкової напруги на клемі розрядника перенапруги при номінальному розряді імпульсу струму блискавки з формою хвилі 8/20 мкс і піковою величиною 20 кА.

Вимоги до оптимального та задовільного вибору розрядників перенапруг диктують, що розрядники повинні забезпечувати адекватний запас захисту, а також вони повинні бути придатними для стабільної тривалої роботи. «Адекватний запас захисту» означає, що перенапруги пристрою завжди нижчі за

втримувану напругу з достатнім коефіцієнтом безпеки (запас безпеки). Тоді як «стабільна безперервна робота» означає здатність розрядника справлятися з усіма тривалими, тимчасовими або перехідними навантаженнями (які можуть бути спричинені роботою системи), залишаючись електрично та термічно стабільним протягом усього терміну служби.

На жаль, адекватний запас захисту та стабільна безперервна робота не можуть бути задоволені незалежно. Зниження захисного рівня розрядника (для забезпечення більшого захисного запасу) неминуче призводить до вищих електричних навантажень під час тривалої роботи. Крім того, номінальну напругу розрядника не можна довільно збільшити без підвищення його захисного рівня (що призводить до відповідного зниження захисного запасу). Тому необхідний компроміс, коли обидві вимоги збалансовані для досягнення оптимального рішення..

1.2. Запальність розрядників

Вивчення механізмів виникнення запалюючого розряду в багатостримерних розрядниках є ключовою частиною нашого дослідження, оскільки розуміння цих механізмів є важливим для оптимізації їхньої ефективності та безпеки. Запалюючий розряд - це явище, при якому струм електричного розряду виявляє велику енергію та впливає на навколишнє середовище.

Виникнення запалюючого розряду може бути спричинено різними механізмами, які важливо враховувати при розробці та налаштуванні багатостримерних розрядників.

Одним з основних механізмів виникнення запалюючого розряду є іонізація газу. Під впливом електричного поля, яке створюється між електродами розрядника, атоми та молекули газу можуть іонізуватися. Це означає, що електрони відокремлюються від атомів, утворюючи позитивні та негативні іони. Іонізація газу відбувається в результаті високого напруги та інтенсивності електричного поля між електродами. Цей процес може бути ініційований

різними факторами, включаючи високий електричний розряд, температурні коливання, та механічний тиск.

Інший механізм виникнення запалюючого розряду - це коронна розрядність. Коронний розряд відбувається, коли напруга між електродами настільки велика, що виникає іонізація повітря навколо них, але не відбувається повноцінного викиду. Замість цього, створюються велика кількість іонів, які можуть реагувати з навколишніми речовинами, такими як пил, газ, або пари рідин. Це може призвести до загорання або інших хімічних реакцій, що викликають запалення.

Поза іонізацією газу та коронною розрядністю, ще одним механізмом виникнення запалюючого розряду є герметичний прокол. Цей процес полягає в тому, що розрядник проникає через ізоляційний шар або бар'єр та контактує з оточуючим середовищем, створюючи шлях для електророзряду. Це може статися внаслідок фізичних пошкоджень розрядника або внаслідок високого тиску та температури.

Параметри багатостримерних розрядників мають суттєвий вплив на їхню запальність та здатність ефективно захищати системи електропостачання від електророзрядів. Розглянемо основні параметри та їх вплив на запальність розрядників:

Форма та конструкція розрядника мають велике значення. Наприклад, конфігурація електродів може вплинути на форму та розмір електричного розряду. Іноді оптимальна форма розрядника може сприяти більш ефективному викиду енергії.

Матеріали електродів - Вибір матеріалів для електродів також важливий. Різні матеріали мають різні властивості щодо провідності, теплопровідності та стійкості до корозії. Відповідний вибір матеріалів може покращити стійкість розрядника до дії агресивних середовищ.

Робочий тиск та температура - Робочий тиск та температура навколишнього середовища також мають велике значення. Висока температура

може сприяти іонізації газу, що може призвести до запалювання. Збільшений тиск також може збільшити імовірність герметичного проколу розрядника.

Напруга та струм розряду- Параметри електричного розряду, такі як напруга та струм, визначають інтенсивність електророзряду. Вони повинні бути належним чином налаштовані, щоб забезпечити ефективну роботу розрядника та запалювання електророзряду у разі необхідності.

Режим роботи розрядника- Режим роботи розрядника, такий як тривалість і частота розрядів, також важливий. Велика частота розрядів може призвести до надмірного нагрівання розрядника, що може вплинути на його тривалість служби та стійкість.

Способи ініціювання розряду- Ініціювання розряду може відбуватися різними способами, такими як механічний, електричний, або світловий вплив.

Вибір способу ініціювання також важливий для забезпечення запалювання в потрібний момент.

Узагальнюючи, вплив параметрів розрядника на його запалюваність великий і залежить від конкретних умов та завдань. Дослідження та оптимізація цих параметрів грає ключову роль у розробці багатостримерних розрядників- запальників, які можуть бути використані для підвищення безпеки та надійності систем електропостачання.

1.3. Технічні характеристики багатостримерних розрядників- запальників

Багатосмугові розрядники - це пристрої, що використовуються в електроенергетичних системах для захисту від перенапруг і ударів блискавки. Ці пристрої мають специфічні технічні характеристики, які визначають їхню продуктивність та ефективність у захисті електромережі. Ось деякі з ключових технічних характеристик багатополосних розрядників:

Номінальна напруга: Багатополосні розрядники призначені для роботи в певному діапазоні напруги. Номінальна напруга вказує на максимальну напругу, яку пристрій може витримати і ефективно розрядитися без виходу з ладу.

Поширені номінальні значення напруги для цих пристроїв можуть варіюватися від декількох сотень вольт до декількох кіловольт.

Здатність витримувати струм: Струмова здатність багатосмугового розрядника має вирішальне значення. Вона визначає максимальний струм, який пристрій може безпечно відводити під час перенапруги або удару блискавки. Ці пристрої призначені для проведення високих струмів, які можуть бути в діапазоні кілоампер.

Рівень розрядної напруги: Запалювачі багатосмугових розрядників повинні мати чітко визначений рівень напруги розряду. Це рівень напруги, при якому пристрій спрацьовує і забезпечує низькоімпедансний шлях для безпечного відведення струму перенапруги або блискавки на землю. Зазвичай він нижчий за номінальну напругу пристрою.

Час спрацьовування: Час спрацьовування пристрою є критично важливим.

Це час, необхідний для того, щоб запалювач багатополосного розрядника став повністю провідним, як тільки напруга на ньому перевищить рівень розрядної напруги. Багато менший час спрацьовування, оскільки не дозволяє пристрою швидко спрацьовувати під час перенапруги, зменшуючи ризик пошкодження підключеного обладнання.

Енергоємність: Енергоємність визначає максимальну кількість енергії, яку пристрій може розсіяти під час перенапруги або удару блискавки. Цей параметр є важливим для оцінки продуктивності пристрою та його здатності захищати електричну систему.

Міцність і термін служби: Запалювачі багатосмугових розрядників повинні бути розраховані на тривале використання. Міцність матеріалів і конструкції, а також очікуваний термін служби є вирішальними технічними характеристиками. Пристрої з довшим терміном служби є більш економічно вигідними в довгостроковій перспективі.

Діапазон робочих температур: Пристрої повинні бути здатні працювати в певному діапазоні температур. Здатність ефективно функціонувати в різних

умовах навколишнього середовища має важливе значення, оскільки вони можуть піддаватися впливу екстремальних температур при зовнішньому встановленні.

Монтаж і встановлення: Технічні характеристики також включають вимоги до монтажу та встановлення запалювачів багатополосних розрядників.

Вони повинні бути розроблені для простого та безпечного встановлення в різних конфігураціях, наприклад, на стовпах, підстанціях або всередині електричних панелей.

Моніторинг та дистанційна індикація: Деякі сучасні багатосмугові розрядники оснащені функціями моніторингу та дистанційної індикації. Ці функції дозволяють відстежувати їхній стан і продуктивність у реальному часі, що дає змогу обслуговуючому персоналу оперативно вживати заходів у разі потреби.

Відповідність стандартам: Багатосмугові розрядники повинні відповідати відповідним галузевим стандартам і сертифікатам, що гарантує їх надійність і безпеку. До загальних стандартів належать стандарти, розроблені такими організаціями, як Міжнародна електротехнічна комісія (IEC) та Інститут інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE).

Важливо зазначити, що конкретні технічні характеристики багатосмугових розрядників можуть відрізнятися залежно від виробника та сфери застосування. Вибираючи або визначаючи ці пристрої для конкретної електричної системи, дуже важливо враховувати вимоги системи та умови навколишнього середовища, щоб забезпечити оптимальну продуктивність і захист від перенапруги.

Технічні характеристики багатосмугових розрядників включають

Робоча напруга: Багатосмугові розрядники можуть працювати при напрузі до 1000 кВ.

Номинальний струм: Багатосмугові розрядники можуть витримувати струм до 100 кА.

Затримка запалювання: Затримка запалювання багатосмугового розрядника зазвичай становить менше 10 мікросекунд.

Напруга іскроутворення: Напруга іскроутворення багатосмугового розрядника зазвичай становить від 50% до 75% від робочої напруги.

Термін служби: Термін служби багатосмугових розрядників становить до 20 років.

Переваги багатосмугових розрядників:

Надійність: Багатосмугові розрядники відомі своєю надійністю і довговічністю.

Довговічні: Багатосмугові розрядники витримують суворі умови навколишнього середовища та інтенсивне використання.

Універсальність: багатополосні розрядники можна використовувати в різних сферах застосування, зокрема у високовольтних системах передачі та розподілу електроенергії, трансформаторах та іншому електрообладнанні.

Застосування багатосмугових розрядників.

Високовольтні системи передачі та розподілу електроенергії:

Багатосмугові розрядники використовуються для захисту високовольтних систем передачі та розподілу електроенергії від ударів блискавки.

Трансформатори: Багатосмугові розрядники використовуються для захисту трансформаторів від ударів блискавки та інших перенапруг.

Інше електрообладнання: Багатосмугові розрядники можуть використовуватися для захисту різноманітного електричного обладнання від ударів блискавки та інших перенапруг, наприклад, генераторів, двигунів і конденсаторів.

Загалом, багатосмугові запалювачі блискавковідводів - це надійний і довговічний тип запалювачів блискавковідводів, який добре підходить для різноманітних високовольтних застосувань.

НУБІП України

РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРЯДНИКІВ

2.1. Методи дослідження

На першому етапі – «індикація стану» – головним завданням є виявлення обладнання, яке працює нормально, за допомогою методів, обґрунтованих досвідом експлуатації та не потребують відключення обладнання. Основу таких випробувань складають аналізи проб олії (вимір вмісту продуктів деградації матеріалів, вологи, домішок, продуктів старіння олії). Такі випробування виконуються періодично, зазвичай не рідше одного разу на рік.

На другому етапі – «діагностика стану» – виконуються спеціальні випробування та перевірки, що дозволяють визначити причину виявленої аномалії, локалізувати її та відповісти на запитання, чи можна продовжувати і на яких умовах подальшу експлуатацію.

Дана методологія розроблена робочою групою СІРРЕ, перш за все, для оцінки стану обладнання після тривалої експлуатації, і заснована на наступних положеннях: 1. Трансформатор

представляється у вигляді ряду функціональних (під)систем, стан яких забезпечує виконання головних функцій: передачу електромагнітної енергії, збереження електричної міцності ізоляції, механічної міцності обмоток та цілісності струмопровідної системи.

2. Основою системи контролю та діагностики є функціональна модель дефектів, що визначає ймовірні дефекти або чутливі зони в даній конструкції за даних умов експлуатації на базі аналізу особливостей конструкції та причин відмов в експлуатації та, відповідно, мети та завдання діагностики.

3. Оцінка стану устаткування подається у формі системи запитів про стан його функціональних підсистем з урахуванням можливого сценарію розвитку дефектного стану у відмову.

4. Програма технічного обстеження концентрується на виявленні можливих дефектів за допомогою груп методів, що характеризують конкретний дефект.

5. Щонайменше дві діагностичні процедури потрібні для того, щоб підтвердити наявність дефекту та оцінити його кількісно.

Оцінка стану устаткування здійснюється переважно у робочих умовах, особливо у граничних умовах щодо навантаження, температури, напруги. Дана методологія не вимагає обов'язкової інформації про попередні характеристики, але обов'язково вимагає розуміння конструкції обладнання та наявності інформації про попередні критичні режими. Аналіз конструкції є першою процедурою діагностики.

Комплексне діагностичне обстеження виконується з метою перевірки функціональної працездатності всіх підсистем трансформатора та визначення необхідності виконання капітального ремонту трансформатора.

Тепловий стан: тепловіддача та справність охолоджувачів; перегрів олії та обмоток; зовнішні нагриви в зонах концентрації поля розсіювання. Незвичайні шуми і вібрація

Симптоми аномалій, що викликають деструкцію ізоляційних матеріалів

Симптоми аномального внутрішнього нагріву, іскріння або розрядів Електрична ізоляція

— ступінь старіння олії та ізоляції охолодження, контактора РПН та ін.)

Рівень забруднення олії вологою і механічними домішками Ступінь зволоження

твердої ізоляції (бар'єрів) Оцінка можливості значного зниження електричної

міцності ізоляції при зниженні температури після виділення бульбашок пара при

перевантаженні) Симптоми аномального перегріву (піролізу ізоляції) Характер

процесу старіння (нормальний-аномальний) і ступінь старіння олії Можливість

виділення осаду в період між випробуваннями Можливість прискореної

деструкції виткової ізоляції.

2.2 Теоретичні методи аналізу

Для багатьох профілактичних та діагностичних випробувань тенденція зміни параметрів є цінною додатковою інформацією. Особливою діагностичною характеристикою є швидкість зміни параметра часу.

У той самий час відсутність явної тенденції зміни параметрів який завжди є показником нормального стану.

Статистичний метод

Виділяється обладнання, кількісне значення характеристик якого потрапляє у 10- або 5-відсотковий статистичний інтервал нормального розподілу. Відповідно, 90 або 95% вибірки відноситься до нормального стану.

Кількісне визначення стану. Модель дефекту

Цей метод є основним у методології функціональної діагностики. Метод полягає у визначенні характеристик, властивих тільки даному дефекту, і дозволяє не тільки зробити надійний висновок про наявність дефектного стану, але в ряді випадків оцінити дефектну область кількісно. Далі, створюються моделі дефектів у вигляді специфічних областей зміни чисельних результатів тестів для типових дефектів, і, нарешті, встановлюються критерії для меж моделей дефектів за умовою праездатності трансформатора.

Система двоступінчастих профілактичних випробувань (обслуговування за станом)

Ця концепція випробувань є логічним розвитком традиційної системи з урахуванням застосування найефективніших методів, і навіть впровадження нових методів діагностики.

На першому етапі – «індикація стану» – головним завданням є виявлення обладнання, яке працює нормально, за допомогою методів, обґрунтованих досвідом експлуатації та не потребують відключення обладнання. Основу таких випробувань складають аналізи проб олії (вимір вмісту продуктів деградації матеріалів, вологи, домішок, продуктів старіння олії). Такі випробування виконуються періодично, зазвичай не рідше одного разу на рік.

На другому етапі – «діагностика стану» – виконуються спеціальні випробування та перевірки, що дозволяють визначити причину виявленої аномалії, локалізувати її та відповісти на запитання, чи можна продовжувати і на яких умовах подальшу експлуатацію.

Типовим прикладом системи двоступеневих діагностичних випробувань представлена в табл. 3 система випробувань, розроблена в Національній магістральній мережі Великобританії (National Grid Co.).

Складання моделі дефектів

Імовірність виникнення та розвитку дефекту залежить від особливостей конструкції (вихідні запаси міцності, чутливість до погіршення експлуатації), а також від конкретних умов роботи обладнання.

Модель дефектів представляє перелік можливих дефектів і ушкоджень у цьому функціональному вузлі трансформатора і можливий сценарій розвитку дефекту до відмови устаткування.

Можливий алгоритм складання моделі дефектів включає:

- складання функціональної схеми трансформатора з урахуванням його основних підсистем та компонентів;
- визначення видів можливих дефектів та пошкоджень за даними аналізу причин відмов та несправностей в аналогічному устаткуванні;
- визначення найбільш чутливих зон у конструкції на основі аналізу її особливостей;
- уточнення ймовірних дефектів та пошкоджень за даними аналізу умов експлуатації;
- визначення ймовірного сценарію розвитку пошкодження повністю обладнання, а також можливих наслідків відмови.

Аналіз конструкції

Аналіз конструкції є ключовою процедурою для розуміння структури трансформатора та основних функцій його компонентів, оцінки чутливості до можливого погіршення стану в процесі експлуатації, а також визначення моделі

ймовірних дефектів, що дозволяє оптимізувати програму діагностичних випробувань та вибрати найефективніші методи.

Предметом аналізу є:

- ідентифікація типу та тип виконання трансформатора, його призначення, технічних вимог щодо нього та основних технічних даних;

- ідентифікація складу та структури трансформатора, у тому числі особливостей магнітної системи, схеми розташування та з'єднання обмоток, структури головної ізоляції, наявності та розташування магнітних шунтів; типів та розташування високовольтних ввідів, вузла регулювання напруги (тип та

- розташування регулювальної обмотки, тип і розташування перемикаючих пристроїв), системи охолодження, системи захисту олії від зволоження та окислення, засобів керування, захисту;

- основні параметри за результатами заводських випробувань, у тому числі струм та втрати холостого ходу, втрати та напруга короткого замикання на номінальному та крайніх положеннях перемикаючого пристрою, опір обмоток постійному струму; перегрів обмоток, олії та магнітопроводу над навколишнім середовищем (дані випробувань на нагрівання);

- визначення зон, які мають мінімальні запаси електричної міцності;

- оцінка запасів міцності та стійкості обмоток при впливі струмів КЗ у задані умови експлуатації;

- оцінка конструктивних особливостей та «чутливих зон» встановлених високовольтних ввідів та перемикаючих пристроїв;

- оцінка контролепридатності конструкції (у тому числі особливостей, що впливають на чутливість діагностичних характеристик);

- аналіз експлуатаційної надійності конструкції, видів та причин відмов. Систематизований перелік відмов

та дефектів, виявлених за результатами випробувань чи оглядів під час ремонтів, є найбільш цінним джерелом інформації та основним матеріалом для розробки моделі дефектів. Першорядним завданням системи діагностики є виключення відмов, що повторюються. Приймаються до уваги відмови

однотипного та подібного обладнання (подібних вузлів), у тому числі однотипних введів та пристроїв РНН.

Оцінка умов експлуатації обладнання

Оцінюються особливості нормального режиму, аномальних, у тому числі аварійних режимів, а також незвичайні умови експлуатації.

Деякі особливості конструкції, що впливають на діагностичні характеристики

Заземлений електростатичний екран між обмотками знижує чутливість діелектричних характеристик зміни стану твердої ізоляції.

Наявність гідрофобного матеріалу (бакелітовий циліндр, склопластик і т. п.) в маслобар'єрному проміжку практично перешкоджає можливості оцінки вмісту вологи вмісту електрокартонних бар'єрів за допомогою електричних характеристик ізоляції.

Наявність у структурі ізоляції діелектричного матеріалу з підвищеними діелектричними втратами, наприклад, опорної ізоляції нейтрального краю обмотки може шунтувати і маскувати зміна стану головної ізоляції.

Резистор у ланцюзі заземлення магнітопровід може викликати спотворення електричних характеристик ізоляції, наприклад, збільшення тангенсу кута втрат ділянки «обмотка ПН-магнітопровід» та збільшення тангенсу кута втрат ділянки між обмотками.

Чутливість опору КЗ пари обмоток до виявлення радіальної деформації обмотки знижується зі збільшенням відстані між обмотками (з підвищенням класу напруги).

Чутливість електричних характеристик ізоляції до вмісту вологи твердої ізоляції знижується в міру збільшення ізоляційного проміжку через збільшення впливу масла.

Збільшення відкритої поверхні ізоляційних деталей (бар'єрів) сприяє більш інтенсивній адсорбції газів та продуктів старіння олії. Це призводить до зниження концентрації газів у маслі після відключення трансформатора.

Виникнення дефектів та пошкоджень у ряді випадків зумовлює зміну активного та індуктивного опорів обмоток, а також струму та втрат холостого ходу, тому електромагнітні параметри трансформатора можуть бути ефективними діагностичними характеристиками.

Характерні дефекти, що виявляються за допомогою вимірювання струму та втрат холостого ходу, струму, втрат та опору короткого замикання, а також зміни опору обмоток постійного струму.

Визначення коефіцієнта трансформації

Результати виміру порівнюються з розрахунковими чи паспортними даними. Результати вимірів вважаються задовільними, якщо відхилення значень не перевищує 2%. Очевидно, що в процесі експлуатації коефіцієнт трансформації може змінитися тільки внаслідок пошкодження, і відхилення, що допускається, визначається в основному похибкою вимірювання. У випадках, якщо напруга регульовального ступеня менше 2 %, а також для перевірки якості ремонту із заміною обмоток, така точність вимірювання може бути недостатньою. Стандарт IEEE визначає допустиме відхилення трохи більше $\pm 0,5\%$.

Однак така точність також може бути недостатньою, наприклад, при визначенні числа витків у ступенях регульовальних обмоток, а також в обмотках ВН з великим числом витків.

Вимірювання струму та втрат холостого ходу

Втрати та струм холостого ходу при номінальній нарузі є важливими характеристиками для контролю якості виготовлення, а також ремонту трансформатора, що потребує розширення верхнього ярма магнітопроводу.

Для трифазних трансформаторів значення втрат має відрізнятися від паспортного (вихідного) більш як 5%. Для однофазних трансформаторів відмінність отриманих значень від вихідних має бути більше 10 %.

Разом з тим, рівномірне збільшення втрат при вимірюваннях на зниженій нарузі після ряду років експлуатації спостерігається часто в бездефектному обладнанні.

При оцінці зміни струмів холодостого ходу слід враховувати, що у більшості випадків дефектний стан характеризується різницею між значеннями струмів у крайніх фазах або порівняно з попередніми вимірами понад 10%.

Вимір опору короткого замикання

Оцінку стану обмоток трансформатора проводять шляхом порівняння вимірних фаз даних з даними попередніх вимірювань. Значення відносної зміни опору K_3 у разі виникнення деформації обмотки залежить від конструкції трансформатора. Зазвичай граничне відхилення нормується лише на рівні 3 %.

Вимірювання втрат короткого замикання

Втрати від потоку розсіювання можуть бути ефективною діагностичною характеристикою визначення замикання паралельних провідників в обмотках. Деформація обмотки або її частин також спричиняє суттєві зміни втрат.

Діагностичні можливості вимірювань втрат від потоку розсіювання найбільш ефективно реалізовані методом визначення частотної залежності втрат у діапазоні частот 20 – 600 Гц.

Вимір опору обмоток постійному струму

Вимірювання виявляє погіршення контактів, особливо в місцях приєднання відводів до введів, а також контактів РПН, що розмикаються.

Можливими дефектами в обмотці можуть бути обрив або замикання паралельних провідників, пайка, що лопнула (переміжний контакт або обрив). Такі явища зазвичай призводять до зміни опору на кілька відсотків.

Перегрів та ерозія контактів викликає збільшення вихідної величини перехідного опору у кілька (і навіть у десятки) разів.

Вихідне значення опору контактів РПН, що розмикаються, становить зазвичай 40-200 мкОм. Збільшення перехідного опору контакту в 3-4 рази може бути ознакою дефектного стану, після чого очікується лавиноподібне наростання опору. На цій стадії стан контактів може бути покращено за допомогою багаторазового перемикавання. Збільшення перехідного опору в 5-10 разів може бути зумовлено вже незворотною ерозією поверхонь, і відновлення нормального стану потрібна спеціальна механічна обробка чи заміна контактів.

Причинами, що збільшують опір елементів контуру, можуть бути:

слабке контактне натискання;

- підгар контактів контактора,

- підгар контактів виборця внаслідок «звисання» рухомих контактів або тривалої роботи на одному положенні;

- неякісна затяжка болтових з'єднань чи погана пресування пресованих контактів відводів.

Для оцінки стану контактів також використовуються:

значення опору, виміряні на різних положеннях реверсора;

- різниця між опорами, виміряними на парних та непарних щаблях РПН;

- характер зміни опору зі збільшенням/зменшенням числа витків щодо основного положення. Опір обмоток трифазних

трансформаторів, виміряні на однакових відгалуженнях різних фаз при

однаковій температурі, не повинні відрізнятися більш ніж на 2%.

Характеристики ізоляції

Можливість виявлення дефектів за характеристиками ізоляції

Можливості виявлення дефектів у різних ізоляційних проміжках суттєво відрізняються.

Виявити зміни стану поздовжньої ізоляції за допомогою характеристик ізоляції практично неможливо.

Чутливість характеристик ізоляції до зміни стану твердих компонентів залежить від частки ізоляції та питомої ємності дефектної ділянки.

Оцінюючи характеристик маслбарьерной ізоляції враховуються такі вихідні характеристики основних компонентів

Електрокартон (сухий, чистий, просочений олією):

Вміст йоди, %..... <0,5

Значення $\tan \delta$ при 20-70 °С, %..... <0,5

Електропровідність при постійній напрузі (U_{20}), Ом \cdot м \cdot л..... < 2,5 \cdot 10 $^{-10}$

13

Діелектрична проникність, ск.....4,5

Трансформаторна олія, залита в трансформатор:

Вологовміст при температурі 60-70 ° С, г/г.....<10-15

tgS при температурі 90 ° С, %.....<0,5

Коефіцієнт полярності олії (практично неполярної).....E20 - п\ <0,01,

У реальній конструкції трансформатора результат вимірювання

характеристик ізоляції залежить від стану твердої ізоляції, масла, поверхні

ізоляції, а також співвідношення часток рідкого і твердого діелектрика та їх композиції в ізоляційному проміжку

У більшості випадків вплив поверхневої складової на результат виміру виявляється суттєвим лише за дуже сильного забруднення.

Тангенс кута діелектричних втрат та ємність ізоляційного проміжку

Для маслобар'єрної ізоляції тангенс кута діелектричних втрат при промисловій частоті може бути представлений у вигляді суми з двох складових, одна з яких залежить від тангенсу кута втрат картону, а інша від тангенсу кута втрат масла: $tg\delta = Ab \, tg\delta_K + Am \, tg\delta_M$

Коефіцієнти K_0 і K_m , враховують, відповідно, частку картону та олії у проміжку. Коефіцієнт K_0 в зоні міжобмотувальної ізоляції потужних трансформаторів зазвичай становить 0,4-0,6.

При вимірі tgδ без олії чутливість вимірюваної характеристики змiну стану бар'єрів підвищується на 20-30%.

Залежність тангенсу кута діелектричних втрат сухої або малозволоженої ізоляції від температури має U-подібний характер внаслідок екрануючого впливу вологи на іони домішок, відповідальних за зміну провідності та целюлози tgδ. У діапазоні температур 20-70 ° С значення tgδ не перевищує 0,5%. Тому значення

$tg\delta_K < 0,5\%$ може бути прийнято як норму для малозволоженої ізоляції.

Бездефектний стан ізоляції різних ізоляційних проміжків має задовольняти наступним критеріям.

• ємність ділянки залишається практично незмінною, дещо знижуючись після нагрівання (особливо у проміжку ВН-бак) внаслідок деякого зниження діелектричної проникності олії;

• $\text{tg}\delta$ ділянки «обмотка ВН-бак» у температурному діапазоні 20—70 °С, скоригований на величину tgS вводів, не повинен перевищувати значення: $0,2$

$$+ 0,6 \text{tg}\delta_M, \%$$

де $\text{tg}\delta_M$ — значення тангенсу кута діелектричних втрат масла при температурі вимірювання;

• $\text{tg}\delta$ ділянки «ВН-ПН» у температурному діапазоні 20—70 °С не повинен перевищувати значення

$$0,3 + 0,5 \text{tg}\delta_M;$$

дефектний стан може характеризуватись також зниженням $\text{tg}\delta_{\text{ВН ПН}}$ у разі сильного забруднення бар'єрів. Ділянка «обмотка ПН—бак» часто включає ізоляційні деталі, виконані з бакеліту, дерева, деревини, що ламінує, тощо, вихідні значення tgS яких можуть істотно відрізнитися від значень для целюлози і становити більше 1 %, в залежності від матеріалу і залишкової вологості, яка у товстих ламінованих та бакелітових виробах зазвичай перевищує 1 %. Тому слід враховувати вихідне значення, отримане під час заводських випробувань.

Абсорбційні характеристики

До абсорбційних характеристик ізоляції відносяться зміни провідності від часу, ємності від часу та частоти, а також тангенсу кута втрат від частоти.

Вимірювання частотної залежності tgS , особливо при дуже низькій частоті ($< 0,1$ Гц), дає високу чутливість до зволоження.

Слід зазначити, що всі електричні характеристики, засновані на параметрах абсорбції струму, взаємопов'язані і зміна однієї з них означає, що відповідно повинні змінитися й інші. Відмінність може бути переважно у діапазоні зміни.

Коефіцієнт абсорбції

Для залитого олією трансформатора значення коефіцієнта абсорбції залежить від значень опору ізоляції, температури, провідності олії, і навіть від конструкції ділянки (ступеня заповнення твердої ізоляцією).

Зазвичай вважається, що відмінна ізоляція характеризується значенням $\alpha > 1,3$.

Однак, при високому опорі масла постійна часу поляризаційних процесів може бути порівнянна з часом вимірювання опору ізоляції, коефіцієнт абсорбції може бути близький до одиниці.

$$\alpha = -\Delta I / (I_0 * \Delta x)$$

Де:

- α - коефіцієнт абсорбції.
- ΔI - зміна інтенсивності світла або енергії після проходження через матеріал або середовище.
- I_0 - початкова інтенсивність світла або енергії, яка виходить перед взаємодією з матеріалом або середовищем.
- Δx - товщина або відстань, на яку проходить світло через матеріал або середовище.

Цей коефіцієнт допомагає визначити, наскільки ефективно матеріал або середовище поглинає світло, і використовується в багатьох галузях, включаючи оптику, фізику, хімію та інженерію.

Залежність ємності від часу використана у приладі ЕВ. Показником стану (зволоженості) ізоляції є відношення AC/C.

Метод добре зарекомендував себе при контролі ступеня зволоження ізоляції трансформаторів без олії у процесі ревізії (ремонт) активної частини, а також у процесі сушіння. Метод відновленої напруги RVM (прилад Tettex RVM 5461)

Метод передбачає аналіз спектра поляризації при вимірюванні напруги, що відновлюється після короткочасного замикання зарядженого попередньо об'єкта.

Основна (домінуюча) постійна часу, що приблизно відповідає максимуму напруги, що відновлюється, залежить від зміни стану ізоляції, наприклад, через зволоження або утворення продуктів старіння.

Для сухої непостареної ізоляції основна постійна часу RVM становить понад 1000 с. Значне погіршення ізоляції характеризується її зниженням значення менше 10 с.

У трансформаторах, залитих олією, на результат вимірювання впливають параметри олії та відносне заповнення проміжку твердою ізоляцією. Оскільки вплив зазначених факторів метод не враховує, СІГРЕ не рекомендує використовувати його для прямої інтерпретації ступеня зволоження.

Досвід показує, що RVM, як і інші абсорбційні методи, може успішніше застосовуватися з метою оцінки стану порівняно однорідної ізоляції (паперово-масляна ізоляція трансформаторів, ввідів та інших.).

Метод вимірювання струму поляризації та деполіризації (PDC Analyzer 3205)

Метод розроблений з урахуванням впливу особливостей конструкції трансформаторів на перебіг абсорбційних процесів. Як основний об'єкт контролю обрано ділянку між обмотками.

Метод передбачає виявлення наступних дефектів:

- підвищеної вологості целюлозної ізоляції;
- підвищеної провідності олії за рахунок продуктів старіння або піролізу;
- хімічне забруднення целюлозної ізоляції;
- обвуглених слідів розрядів.

Частотна залежність тангенсу кута втрат Метод є подальшим розвитком абсорбційних методів з використанням вимірювання тангенсу кута діелектричних втрат у широкому частотному спектрі. Метод також розрахований на контроль маслобар'єрної ізоляції, з урахуванням реальних співвідношень рідкого та твердого компонентів. Основними завданнями методу є вимірювання вологості целюлози та провідності олії.

2.3. Вимірювання часткових розрядів при виявленні дефектів

В даний час перед ремонтними підприємствами існує актуальна проблема скорочення виробничих витрат та термінів проведення ремонту за одночасного підвищення якості та продуктивності праці. Тому постійно ведеться пошук нових ефективних методів оцінки стану обладнання та виявлення дефектів ізоляції. Нижче викладено попередні результати використання методу реєстрації часткових розрядів (ч.р.) виявлення дефектів ізоляції силових трансформаторів і високовольтних вводів.

Вимірювання ч.р. виконувались відповідно до рекомендацій літератури [1] та нормативними документами [2,3]. Методика проведення вимірювань докладно викладена у [4]. Вимірювання виконувались на силових трансформаторах, що плануються до ремонту, на місці їх встановлення, а також на вводах та трансформаторах після ремонту на випробувальному стенді трансформаторного електроремонтного заводу (ТЕРЗ). Вимірювання виконувались двома методами: електричним та акустичним. Місце та спосіб встановлення електричного та акустичного датчика пояснені на рис. 1.

Чутливість електричного каналу по заряду ч.р. визначалася відповідно до [2] паралельним способом градуювання. Чутливість акустичного каналу визначалася досить приблизно методом порівняння реакції двох каналів (акустичного та електричного) на один дефект (ч.р. в маслі на поверхні паперу) з амплітудою ч.р. 100 ... 1000 пКл на відстані від дефекту до місця встановлення акустичного датчика на стінці бака $\sim 0,3$ м. У всіх вимірах використовувався один акустичний датчик, чутливість якого залишалася незмінною і періодично контролювалася. При вимірах фіксувалося кількість імпульсів ч. за 1 с перевищують заданий поріг чутливості спрацьовування лічильника імпульсів.

Варіюючи поріг спрацьовування, вимірювався інтегральний амплітудний спектр ч.р. як залежності $N(Q)$. Контроль за фазовим розподілом та формою імпульсів ч.р. проводився періодично з допомогою цифрового осцилографа з урахуванням персонального комп'ютера. По кожному місцю установки датчика, що надалі

іменується точкою вимірювань, будувався інтегральний амплітудний спектр ч.р. $N(Q)$ та розраховувався сумарний струм ч.р. ($I_{\text{сум}}$). Результати обстеження кожного об'єкта оформлялися у вигляді протоколу з аналізом отриманих даних та висновком, що містить висновки та рекомендації. Зазначимо, що спектр ч.р. містить досить великий обсяг корисної (діагностичної) інформації. Нижче, для простоти викладу аналізуються лише два діагностичні показники: максимальний заряд ч.р. (Q_m) та сумарний струм ч.р. ($I_{\text{сум}}$).

згідно теорії математичної статистики, а саме центральної граничної теореми, розподіл Q_m і $I_{\text{сум}}$ слід очікувати нормальним

$$F(Q_m) = \Phi((Q_m - Q_{\text{ср}})/\sigma), \quad (1)$$

де $F(Q_m)$ - ймовірність виявлення Q_m більше заданого значення,

Φ - символ функції Гауса;

$Q_{\text{ср}}$ - середнє значення Q_m ;

σ - середньоквадратичне відхилення Q_m .

Якщо знайти аргумент функції Гауса від лівої та правої частини рівняння (1), то отримаємо

$$\arg \Phi(F) = Q_m/\sigma - Q_{\text{ср}}/\sigma \quad (2)$$

Рівняння (2) можна записати у вигляді: $y = a \cdot x + b$, тобто. у вигляді рівняння прямої лінії, де

$$y = \arg \Phi(F), \quad x = Q_m, \quad a = 1/\sigma, \quad b = Q_{\text{ср}}/\sigma$$

Графік з координатами $y = \arg \Phi(F)$ і лінійною віссю абсцис носить назву - нормальна ймовірнісний папір.

Якщо вибірка випадкової величини, що розглядається, належить одній генеральній сукупності, то отримані експериментальні значення повинні укладатися на пряму лінію на нормальному ймовірнісному папері. Такий розподіл Q_m буде відповідати нормальному природному процесу старіння ізоляції. Якщо в області найбільших значень Q_m спостерігається відхилення експериментальних значень у бік великих величин, це буде вказувати на наявність дефекту в цих точках вимірювання.

Аналогічні міркування можна застосовувати і до випадкової величини Q_m .

Характеристики цих точок виміру представлені у табл. 2. Як видно з таблиці, у всіх 9 точках було зазначено (за протоколами) наявність дефектів ізоляції високовольтних вводів. У більшості випадків був проведений ремонт вводів у заводських умовах з виявленням дефектів, що розвиваються на різних стадіях. Повзучий розряд, що розвивається по осаду на поверхні нижньої порцелянової покритишки внаслідок утворення осаду, виявлений у вводах з маслом Т-750, точки 5, 6, 7, 9. У вводах з маслом ГК (точки 1,8) виявлені сліди розряду,

що розвивається у верхній частині введення переважно по поверхні ізоляційного кістяка в районі уступу. Загальною рисою цих введень була несправність показників тиску. Введення (точки 2, 3, 4) негерметичні та мають високий рівень ч.р. через зволоження ізоляції, на що додатково вказав підвищений тангенс кута

діелектричних втрат; з організаційних міркувань ремонт заплановано лише весняно-літній період 2000 р. Процедура першого виявлення аномалій у розподілі $F(Q_m)$ можна умовно назвати виявленням дефектів першої черги. Якщо з вибірки Q_m виключити точки виявлених дефектів, можна приступити до визначення (у тому послідовності) менш небезпечних дефектів другої черги

тощо.

Як видно з представлених даних, максимальне значення заряду ч.р. Q_m , виміряне електричним методом, має гарну діагностичну інформативність і, судячи з наших даних, дозволяє виявляти дефекти, в першу чергу, у високовольтних вводах. Можна відзначити, що для обладнання, що обстежується, «нормальним» рівнем ч.р. є діапазон від 0 до 2500 пКл за основною ізоляцією; для високовольтних вводів бракувальний рівень - 400...500 пКл.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СХЕМИ ТА ЇЇ ОСОБЛИВОСТІ

НУБІП України

3.1. Розробка схеми

Типові схеми мереж електропостачання. Схеми мереж електропостачання різняться заземленням джерела живлення та електричного пристрою. Зазвичай застосовують такі типові схеми: .

Букви означають таке:

1-ша літера - режим нейтралі джерела струму:

- безпосереднє заземлення нейтралі;
- ізольована нейтраль;

2-га літера - стан доступних провідних частин відносно землі

- корпус електричного пристрою безпосередньо заземлений;
- корпус електричного пристрою з'єднаний із глухозаземленою нейтраллю джерела струму;

3-тя літера - відношення між провідом нейтралі робочого заземлення і провідом захисного заземлення (тільки для - мережі);

-провід і -провід прокладається як -провід (провід робочого заземлення, суміщений із захисним провідом) від джерела струму до електричного пристрою;

-провід і -провід прокладаються окремо від джерела струму до корпусу електричного пристрою.

За системи дроти і спочатку прокладають як єдиний -провід від джерела струму до електричного пристрою і потім ділять і прокладають окремо. Після поділу прокладання обох проводів разом не дозволяється.

Залежно від схеми мережі по-різному вирішуються проблеми електромагнітної сумісності.

Схему мережі необхідно брати до уваги під час вибору та встановлення обмежувачів перенапруги та розрядників, що зрівнюють потенціали. У трифазній мережі залежно від схеми необхідні три або чотири дроти для

обмеження поздовжніх напруг у головній частині та в наступній частині розподільної мережі. У двопровідній системі при живленні змінним струмом два активні проводи дають змогу двома або одним розрядником захистити мережу від поздовжніх перенапруг.

Схема захисту від перенапруг у $TN-C$ -мережі. При $TN-C$ -схемі в головній і місцевій частинах трифазної мережі для поздовжнього захисту від перенапруг потрібні три розрядники. Ці розрядники встановлюються між фазними проводами і заземленою системою зрівнювання потенціалів. У разі такого ввімкнення розрядників потрібне також пряме з'єднання проводу і системи зрівнювання потенціалів.

Розрядники на напругу 230/400 В, що застосовуються для захисту приладів від поперечних і поздовжніх перенапруг, за своїми характеристиками такі самі, як і розрядники, які застосовують у $TN-C$ -мережі. Провід приєднується до затискача.

На рис. 3.1 представлено ввімкнення розрядників $TN-C$ -мережі.

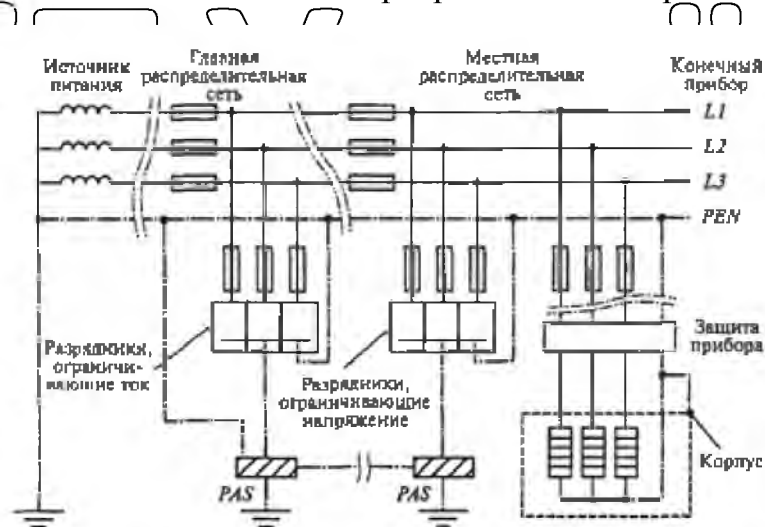


Рис. 3.1- Установка розрядника $TN-C$ -мережі

Схема захисту від перенапруг (Рис. 3.2-3.3) у $TN-C$ -мережі. У електромережі дроти і прокладаються окремо, тому можлива поява високої різниці потенціалів між цими дротами.

Отже, вмикати розрядники необхідно як між $TN-C$ -проводами і $TN-C$ -проводом, так і між $TN-C$ -проводами, при цьому $TN-C$ -провід слід розглядати як активний провід. При

живленні змінним струмом у -мережі як поздовжній захист від перенапруг як у головній, так і в місцевій розподільчих мережах необхідні чотири розрядники.

У -мережі виконують одноразовий контакт між проводом і системою зрівнювання потенціалів будівлі безпосередньо в місці встановлення розрядника головної розподільчої мережі, тобто в точці живлення будівлі. У цьому випадку потрібно тільки три розрядники.

Розроблені схеми до роботи

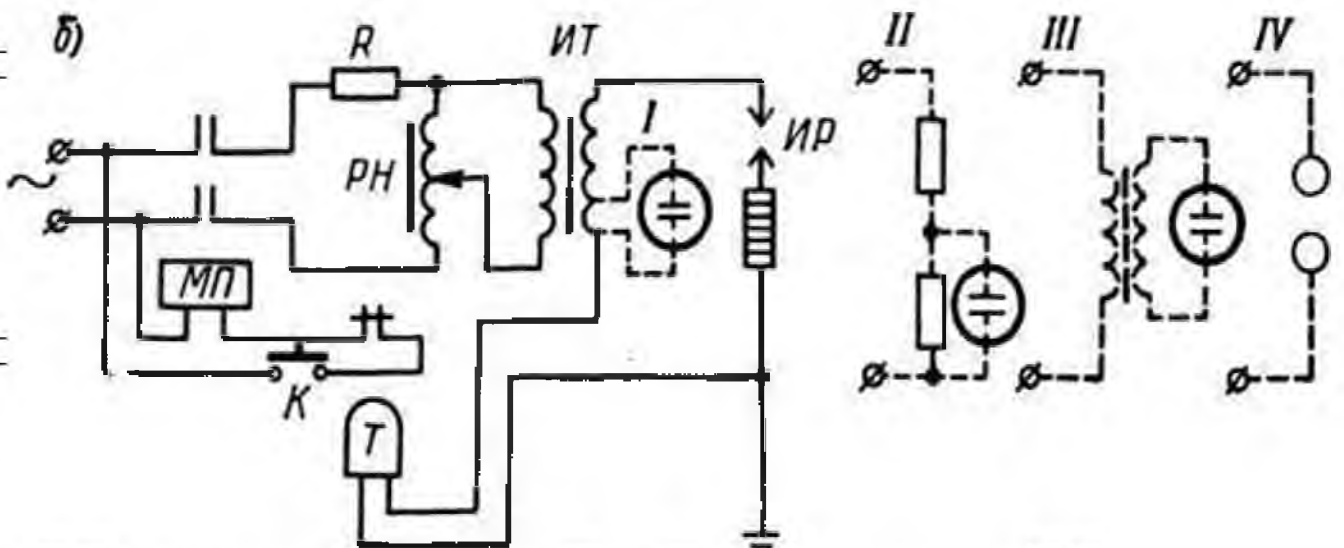
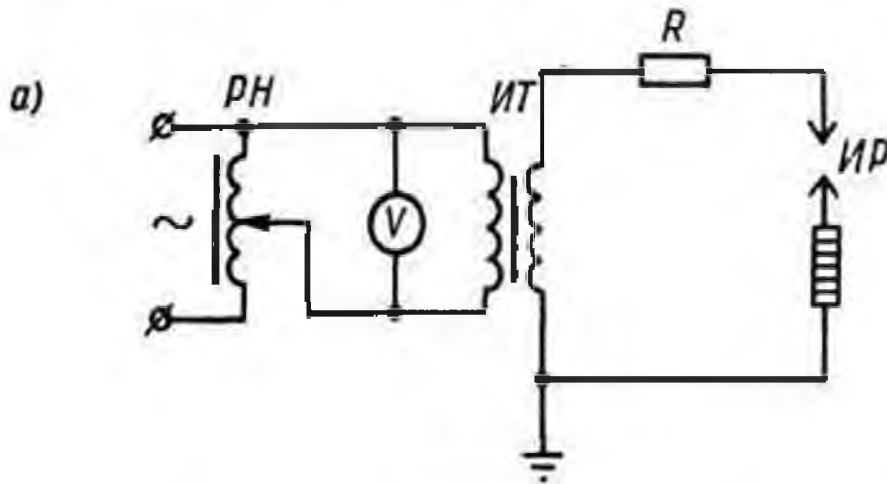


Рис 3.2-Схема підключення розрядника

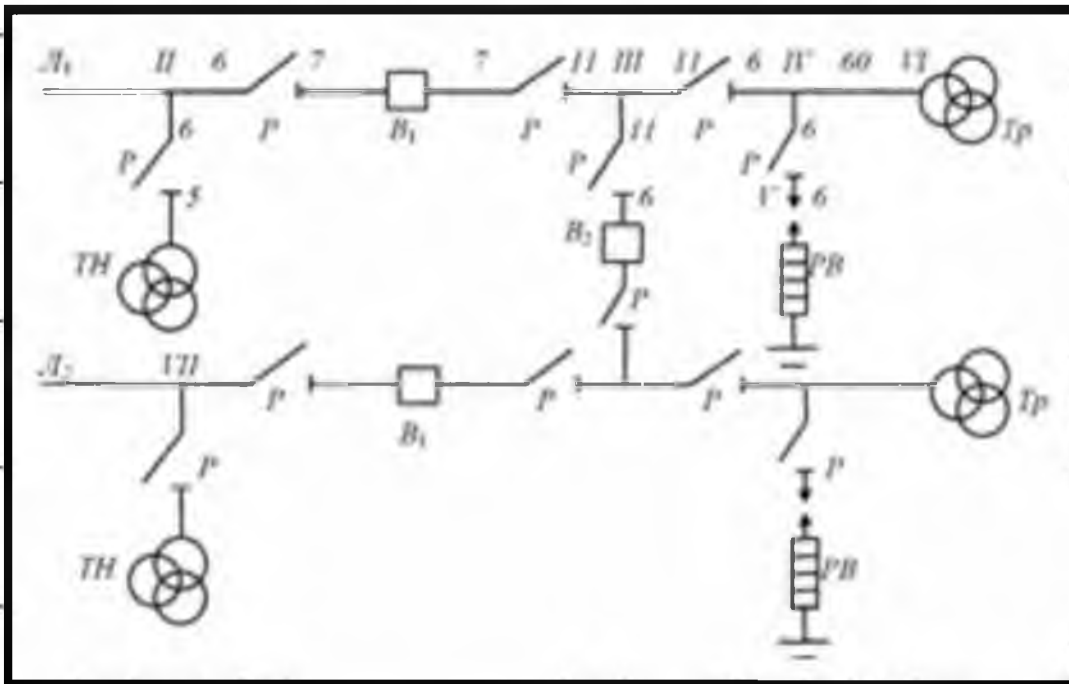


Рис 3.3.Схема підключення розрядника-2

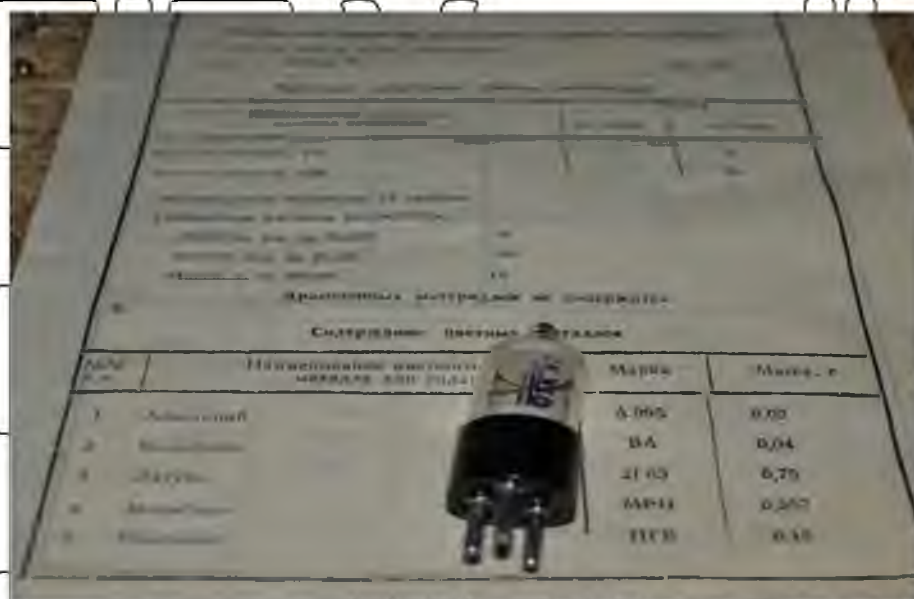


Рис 3.4-Приклад розрядника мережі

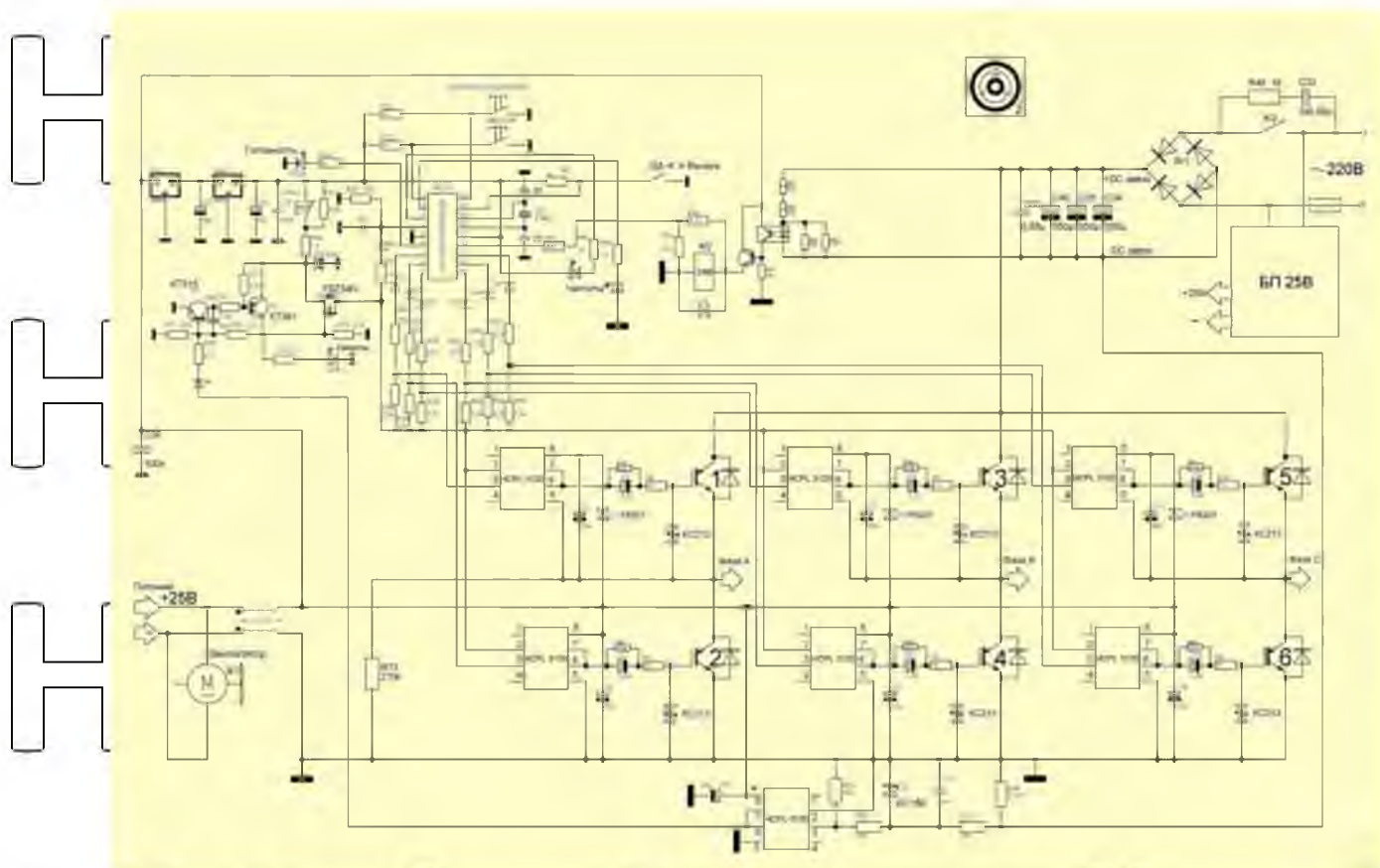


Рис.3.5.-Схема інвертора (12В)

Схема інвертора (12В) (рис 3.5-3/6) є пристроєм, який перетворює постійну напругу 12 вольт (зазвичай з автомобільної батареї або іншого джерела постійного струму) на змінну напругу, зазвичай 220 вольт (або інше стандартне значення змінної напруги, залежно від регіону), що дає змогу під'єднати та використовувати побутові та інші електричні пристрої, які працюють від мережі змінного струму.

Інвертори мають різноманітні застосування:

В автомобілях: Інвертори часто використовують в автомобілях, щоб живити побутові прилади, такі як ноутбуки, мобільні зарядні пристрої, електричні інструменти та інші пристрої, коли ви перебуваєте в дорозі. Вони дають змогу використовувати електроніку та інші пристрої, які зазвичай підключаються до мережі змінного струму.

У бізнесі: Інвертори також використовуються в комерційних і промислових системах для забезпечення резервного живлення в разі збоїв у

мережі змінного струму. Це може бути критично для бізнесів, які залежать від безперервної роботи обладнання.

У домашньому використанні: Інвертори можуть використовуватися в домашніх умовах для забезпечення резервного живлення в разі відключення електроенергії. Вони дають змогу під'єднувати основні побутові прилади, як-от холодильники, світло й обігрівачі, щоб забезпечити базове комфортне функціонування будинку в разі аварії.

Схема інвертора містить різні компоненти, як-от транзистори, конденсатори і трансформатори, які забезпечують перетворення постійної напруги в змінну напругу. Деякі інвертори також можуть бути обладнані захисними механізмами, щоб запобігти перевантаженням, коротким замкненням та іншим проблемам.

Загалом, інвертори широко використовуються для забезпечення доступу до електроенергії в місцях, де вона не доступна з мережі змінного струму, або у випадках, коли потрібно забезпечити безперервне електроживлення за умов вимкнення мережі. Логію захисту систем

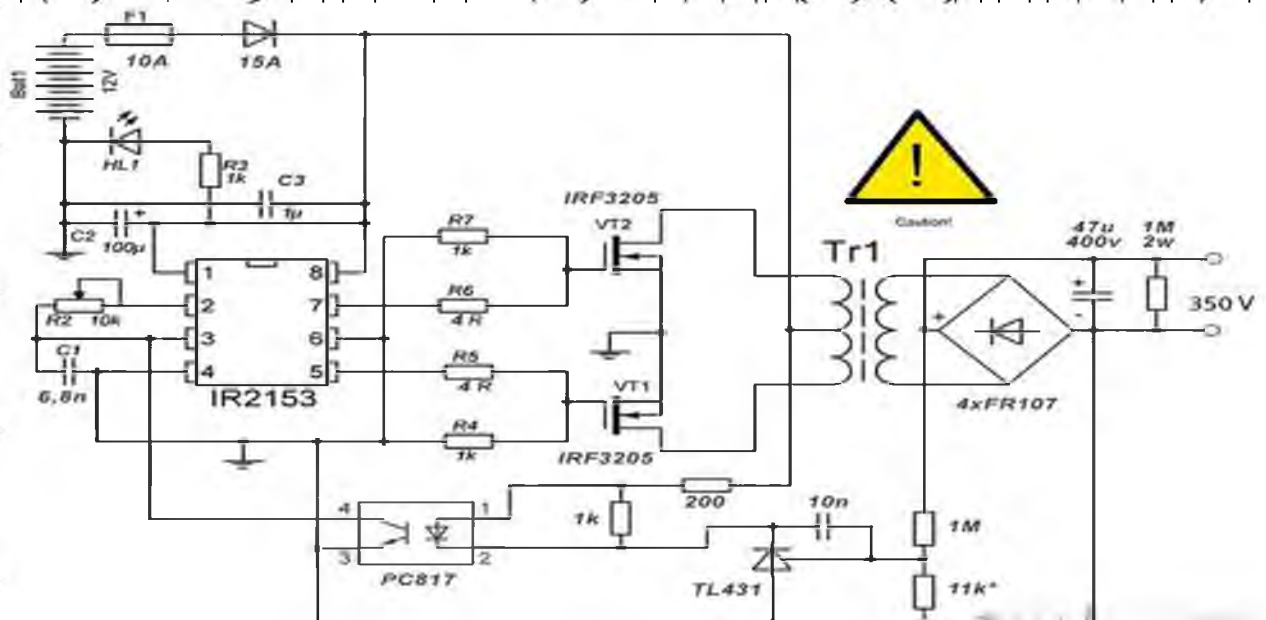


Рис 3.6. підключення зі стабілізацією 12-350V

Щоб запобігти виникненню небезпечної напруги дотику, в мережах різної конфігурації встановлюється різний струм витoku, на який реагує ПЗВ. У

місцевій розподільчій мережі необхідне налаштування ПЗВ за струмом витоку розрядників, що обмежують перенапруги. Завдяки тому, що імпульсний струм перед ПЗВ стікає на землю через систему вирівнювання потенціалів, ПЗВ захищений від впливу імпульсного струму. Дефекти, такі як зварювання контактів, в ПЗВ не виникають. Крім того, чутливий ПЗВ не піддається впливу імпульсного струму і не спрацьовує, тобто не відключає живлення. Цим досягається висока працездатність пристрою.

Встановлення ПЗВ перед варистором у місцевій розподільчій мережі доцільне тому, що ПЗВ контролює струми витоку, що протікають через варистор і систему зрівнювання потенціалів. Зазвичай у ланцюзі варистора встановлюється запобіжник. Внаслідок струмів витоку варистор може нагріватися. Якщо варистор занадто нагрітий, то він відокремлюється від мережі за допомогою спеціального теплового розчеплювача. Додатковий контроль за допомогою ПЗВ не потрібен. Однак у жодному разі контроль струмів витоку у варисторі не слід покладати тільки на ПЗВ.

Сучасні ПЗВ стійкі до струму. Існують ПЗВ, які не спрацьовують при струмі в багато сотень ампер, і навіть кілька кілоампер (8/20 мкс). У схемах з ОПН повинні використовуватися ПЗВ, стійкі до впливів струмів.

Виробники розрядників дають технічні параметри варисторів для розподільних мереж, а також значення напруг, що залишаються на варисторах за встановлених струмових впливів. Було б бажано, щоб ці струми збігалися з номінальним струмом варистора.

Насправді очікувана напруга, що залишається, залежить не тільки від типу варистора, а й від місця його встановлення в електричній мережі, а також від виконання заземлення об'єкту, що захищається (пристрою, що захищається), і варистора. Струмовий розрядник і варистор вмикаються зазвичай у розподільчій мережі електропостачання між активним проводом або нейтральним проводом і заземленою системою зрівнювання потенціалів.

Дріт, яким протікають струми перехідних процесів, приєднаний до проводу, що йде до варистора (рис. 3.5). Другий дріт йде від розрядника до шини

зрівнювання потенціалів. Ці проводи мають індуктивні опори та . Під час протікання струму під час перехідного процесу в ланцюзі створюється додаткова напруга .

$$U_{Z1} = L_{a1} \frac{di}{dt} + R_{a1} I_{\max}$$

У ланцюзі з другим проводом виникає напруга .

$$U_{Z2} = L_{a2} \frac{di}{dt} + R_{a2} I_{\max}$$

Під час додавання цих напруг визначається напруга, що залишається, яка вказується виробником.

$$U_{\text{ост}} = U_{\text{н}} + U_{Z1} + U_{Z2}$$

Для варистра з номінальним струмом (8/20 мкс), що дорівнює 15 кА, разом із двома сполучними проводами з міді завдовжки 1 м загальна напруга складала б 5,5 кВ за кВ.

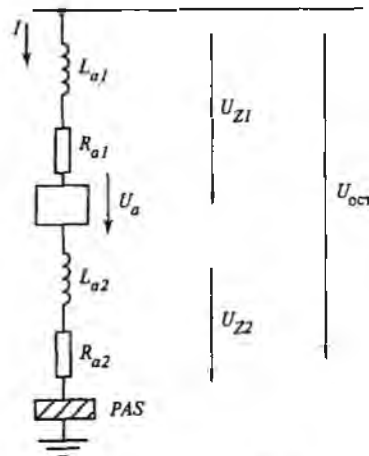


Рис 3.5. Виникнення додаткової напруги

При такому розгляді внесок активного опору проводів у напругу, що залишається, нехтувано малий.

Додаткова напруга також виникає, якщо ОПН з'єднується із заземленою точкою системи зрівнювання потенціалів об'єкта, що захищається (електронного приладу). Оскільки перехідний струм обмежувача через заземлювальний дріт проходить спочатку через шину електронного приладу і потім іде в землю, то перенапруга між активними дротами та потенціалом електронного приладу прямо залежить від відстані між розрядником і об'єктом, що захищається. З

кожним подвоєнням цієї відстані також подвоюється значення перенапруги.

Захисна дія варистора стає частковою або зовсім втрачається.

3.2. Схема для захисту мережі від перенапрягання

Пристрої для передавання сигналів з великими частотами виконуються без варисторів. Крім того, впливає демпфірування в колах, у яких замість розв'язувальної індуктивності використано активний опір. Такі пристрої можна використовувати за частот, що передаються, від кількох сотень кілогерц до кількох мегагерц.

Якщо частота, що передається, перевищує зазначену межу, то можливе застосування двоступеневого обмежувача, що має мостову схему (рис.3.6). Залежно від механічної конструкції цю схему можна укласти в корпус. При цьому можна досягти частоти до 200 МГц при загасанні 3 дБ. У разі використання одноступеневого газонаповненого розрядника можливе передавання сигналів частотою вище 1 ГГц.

Захисний рівень такого розрядника залежить від статичної розрядної напруги і від вольт-секундної характеристики. Усі елементи, що захищаються на вході (антена, інтерфейс даних), у цьому разі мають мати електричну міцність під час імпульсу $1,2/50$ мкс вище за 1 кВ.

У більш повній концепції захисту від перенапруг прагнуть до триступеневої системи з індуктивними розв'язувальними елементами. Лише за наявності високочастотних відгалужень переходять до двоступеневої схеми з активними розв'язувальними елементами або до одноступеневого розрядника.

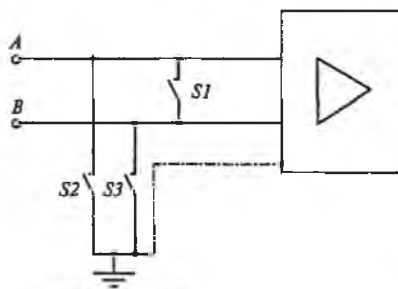


Рис.3.6. Мостова схема

Будь-який розрядник відповідно до принципу роботи потребує часу для спрацювання. Перехідні процеси з крутим наростанням напруги призводять до зростання напруги спрацювання розрядника. Залишкова напруга є найважливішим параметром під час вибору розрядника. Для порівняння розрядників використовують імпульс напруги крутизною 1 кВ/мкс або імпульс 1,2/50 мкс.

Щоб захистити електричні та електронні прилади від руйнування через перенапруги і запобігти цим самим сильним перехідним струмам, необхідно використовувати захисні схеми, здатні швидко реагувати на сильні струми і додатково створювати низький рівень напруг, що залишаються. Оскільки перехідні перенапруги мають малий час наростання в мікросекундному та наїосекундному діапазоні, то необхідні елементи з дуже малим часом спрацювання, щоб здійснити захисні заходи вже на фронті й тим самим знизити напругу, що залишається. За допомогою таких елементів можна швидко здійснити зрівнювання потенціалів, тобто організувати коротке замикання активних проводів один з одним або на землю.

Запобіжник потрібен і на випадок КЗ за струмів, більших за струми, які розрядник здатний відключити самостійно через зношування електродів під час частих спрацювань або за виділення в ньому великої енергії. Запобіжники в схемі на рис.3.7 потрібні лише тоді, коли перевищуються дані виробника для максимального струму запобіжника. Рекомендується вибрати запобіжники з урахуванням селективності. Це означає, що відношення струмів для них має бути 1:1,6, тобто повинен мати струм спрацювання на два ступені вищий, ніж . Якщо спрацює через великий струм КЗ трансформатора, то установка залишається в роботі завдяки тому, що не спрацював .

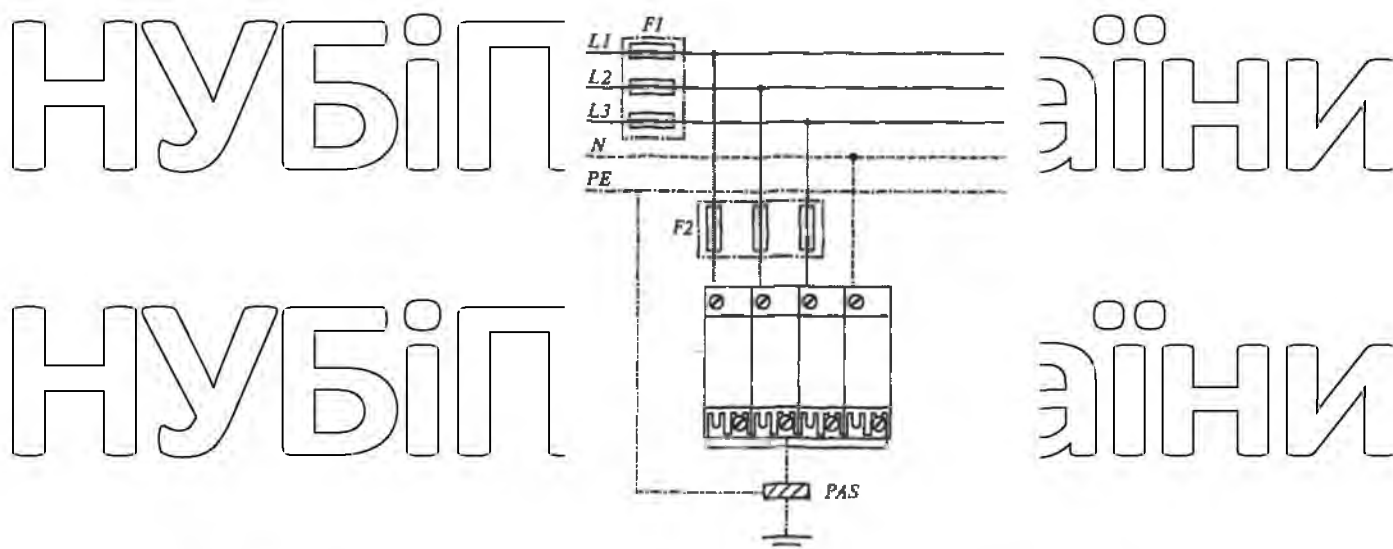


Рис.3.7. Схема із запобіжниками, включеними послідовно з розрядниками. Для забезпечення селективності спрацьовування необхідно оцінити, який струм КЗ очікується при спрацьовуванні розрядника. Це можна зробити за допомогою $U_{\text{д}}$. Вона дає відповідь на запитання, які запобіжники слід вибрати під час спрацьовування розрядника відповідно до струму КЗ (який із запобіжників повинен спрацювати, а який не повинен)

РОЗДІЛ 4 .РЕКОМЕНДАЦІ З ВИКОНАННЯ ЗАЗЕМЛЕНЬ НА ПІДСТАНЦІЯХ ВИСОКОЇ НАПРУГИ

4.1 Рекомендація з виконання заземлень

Порядок виконання заземлення. Термін "мережа заземлення" використовуватимемо для опису всіх взаємопов'язаних дотів, призначених для створення еквіпотенціальної мережі, а термін "заземлення" або "контур заземлення" - щодо всіх провідників, які перебувають у землі.

Порядок розрахунку.

Визначаємо допустимий нормативний опір заземлюючого пристрою $R_{\text{н}}$
 Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$R_{\text{розр}} = \rho_{\text{гр}} \cdot \psi \quad (4.1)$$

де $\rho_{\text{гр}}$ - питомий опір ґрунту, Ом \times м;

ψ - кліматичний коефіцієнт опору ґрунту, що враховує можливе підвищення опору ґрунту протягом року у порівнянні з заданим значенням (довідкові дані).

Для заданого типу та розмірів заземлювача визначається опір розтікання струму одного електрода (рисунок 8.12):

- якщо в якості вертикального електрода використовуються труба або сталевий прут, тоді при $H_0 > 0.5$ м і $l > d$ (умовні позначення ясні з рисунку 8.12):

$$R_1 = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot \ell} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot \ell}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot H + \ell}{5 \cdot H - \ell} \right); \quad (4.2)$$

- якщо електрод виготовлений зі сталевого кутка, то при $H_0 > 0.5$ м і $l > b$

$$R_1 = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot \ell} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l \cdot \ell}{b} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot H + \ell}{5 \cdot H - \ell} \right); \quad (4.3)$$

Знаючи кількість вертикальних заземлювачів і розміщення їх на плані (ряд або контур), відношення відстані між електродами до їх довжини (звичайно дорівнює 1, 2 або 3), визначається коефіцієнт використання вертикальних електродів $\eta_{\text{в}}$ (довідкові дані).



Рис. 4.1 - Параметри вертикальних та горизонтальних заземлювачів.

Після цього розраховується опір горизонтальних електродів R_{Γ}^1 за однією з формул:

- якщо електрод – сталеві смуги в ґрунті (при $\frac{L}{H} \geq 5$):

$$R_{\Gamma}^1 = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot H} \quad (4.4)$$

- якщо електрод – сталевий прут (при $\frac{L}{H} \geq 5$):

$$R_{\Gamma}^1 = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \frac{L^2}{d \cdot H} \quad (4.5)$$

Сумарна довжина горизонтального заземлювача L визначається виходячи з відстані між вертикальними заземлювачами a та їх кількості n :

$L = 1,05 \cdot a \cdot n$, м - при розташуванні заземлювачів по контуру;

$L = 1,05 \cdot a \cdot (n - 1)$, м - при розташуванні заземлювачів в ряд.

Уточнюється величина опору горизонтального електрода з урахуванням його коефіцієнта використання η_{Γ} (довідкові дані):

$$R_{\Gamma} = \frac{R_{\Gamma}^1}{\eta_{\Gamma}} \text{ Ом.} \quad (4.6)$$

Визначається максимально допустимий опір вертикальних заземлювачів:

$$R_{\text{в}} = \frac{R_{\Gamma} \cdot R_{\text{н}}}{R_{\Gamma} - R_{\text{н}}} \text{ Ом.} \quad (4.7)$$

Після цього, враховуючи величину коефіцієнта використання вертикальних заземлювачів, перевіряється їх мінімально допустима кількість:

$$n = \frac{R_1}{\eta_{\text{в}} \cdot R_{\text{в}}} \quad (4.8)$$

Заземлювальний пристрій призначений для досягнення таких цілей:

- створення невеликого опору розтікання;
- обмеження крокової напруги і напруги дотику;
- зниження синфазних ВЧ- і НЧ-перешкод.

Для досягнення цих цілей контур заземлення має бути багаторазово замкнутим і проходити всією територією підстанції (ПС), що містить устаткування високої напруги і всі її будови.

Опір розтікання багаторазово замкненої мережі з периметром p , прокладеної в ґрунті з питомим опором, може бути наближено розрахований за формулою.

Глибинні заземлювачі (вертикальні та похилі прутки, труби) можуть використовуватися для зниження опору заземлення на невеликих ПС або там, де опір землі зі збільшенням глибини знижується. Однак вони рідко використовуються з метою зниження рівня електромагнітних завад.

Заземлювач за можливістю має бути заглиблений принаймні на 50 см, а краще нижче глибини промерзання ґрунту. Поперечний переріз провідників визначається максимальним допустимим падінням напруги під час протікання струмів КЗ. Зазвичай допускаються падіння напруги в діапазоні 1-3 В/м.

З метою забезпечення механічної міцності перетин провідника не може бути меншим за 25 мм² для багатожильних мідних провідників і 90 мм² для захищеної від корозії сталі. На практиці зазвичай використовують мідні прутки перетином 150 мм².

Зниження наведених напруг вимагає створення контуру з площею осередку сітки не більше ніж 250 м² за нормального опору ґрунту ($< 200 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) і менше ніж 150 м² за опору ґрунту, що перевищує 1000 Ом \cdot м.

Для зниження хвильового опору щільність сітки заземлювача має бути підвищена (наприклад, до 5 \times 5 м) поблизу устаткування високої напруги, особливо біля силових трансформаторів, емнісних трансформаторів напруги, блискавковідводів, опор ліній електропередачі та інших заземлених опорних

конструктивних елементів, трансформаторів зв'язку для систем передавання даних по ПЛ.

Обладнання високої напруги має бути встановлене поблизу вузла сітки заземлення і пов'язане з нею принаймні двома, а краще чотирма провідниками, при цьому їхній переріз визначається струмами частотою 50 (60) Гц.

Металеві основи обладнання високої напруги, шаф керування, фундаменти будівель та інші металеві конструкції повинні бути складовою частиною заземлення.

Усі заземлювальні провідники повинні мати якомога меншу довжину. Під час заземлення перевагу слід віддавати з'єднанню за допомогою декількох провідників, віддалених один від одного на 10 см і більше. Зокрема, силові трансформатори слід з'єднувати з різними вузлами сітки заземлення за допомогою кількох дротів.

Слід уникати послідовного з'єднання заземлювальних проводів різного обладнання.

Заземлювальний провідник перерізом не менш як 50 мм² слід прокладати в кожному кабельному каналі або траншеї та приєднувати до заземлювального пристрою на обох кінцях, а якщо є можливість, то і в кількох інших точках. Усі провідники заземлення мають з'єднуватися в місцях перетину.

Якщо дві підстанції або більше розташовуються поблизу одна одної (наприклад, понижувальна підстанція, підстанції з РУ різної напруги) і якщо між ними відбувається обмін вимірювальними сигналами, сигналами керування або зв'язку, то їхні заземлювальні пристрої мають бути пов'язані принаймні двома проводами, перетин яких визначається максимальним очікуваним струмом частотою 50 (60) Гц між заземлювальними пристроями підстанцій.

Відстань між цими проводами має бути якомога більшою. Кабельні канали та траншеї слід прокладати поблизу шин заземлення (які можуть розташовуватися усередині траншеї), виготовляти їх бажано з металу і під час їхнього монтажу заземлювати з обох кінців.

Виконання заземлення будівель, що містять електронне обладнання, має переслідувати мету створення загальної площини нульового потенціалу. Для досягнення цієї мети шини заземлення мають прокладатися вздовж стін кімнат, бажано біля підлоги. Перетин цих шин не особливо важливий, але не має бути меншим за 50 мм² (для мідного прута або смуги).

Шини утворюють замкнену петлю, яка має з'єднуватися із заземлювачем принаймні двома проводами того самого перерізу, розміщеними на найбільшій відстані один від одного.

Шини слід приєднувати до виводів заземлення металоконструкції та корпусу устаткування в межах кімнати, до заземлювальних провідників, прокладених у кабельних траншеях, до екранів і вільних проводів кабелів, які виходять із кімнати.

Якщо кілька різних корпусів обладнання встановлені в ряд, то від однієї стіни до іншої має бути прокладена металева шина, що об'єднує собою все зазначене обладнання.

Кожна така шина робить свій внесок у створення багаторазово замкненої мережі, що є, своєю чергою, частиною загальної системи нульового потенціалу.

Зв'язок корпусів із шиною має виконуватися якомога коротшим (менше 10 см). Для забезпечення EMC перетин провідника не важливий. Достатнім є переріз від 4 до 16 мм², його вибір залежить від значення струмів, що протікатимуть цими провідниками, водночас слід пам'ятати, що установлення чотирьох провідників перерізом 4 мм², безсумнівно, є більш доцільним, ніж встановлення одного провідника перерізом 16 мм².

Незважаючи на те, що зазначені цілі сильно взаємопов'язані, тут ми розглядатимемо функцію забезпечення EMC, не зачіпаючи вимоги електробезпеки, регульовані наявними національними та міжнародними нормами.

Зокрема, поперечний переріз заземлювальних провідників поблизу електрообладнання високої напруги визначається рівнем струмів КЗ на стороні

високої напруги, при цьому необхідне значення перерізу мідних провідників може перевищувати 1000 мм².

Для забезпечення EMC достатніми є перерізи 100 мм² при використанні сталевих смуг (прутків) або 70 мм² для мідних провідів.

Зовнішній заземлювач повинен розташовуватися на всій площі електростанції. Крок сітки залежить від установленного обладнання. Зовнішній контур заземлення зазвичай проектується у вигляді замкнутого кільця, що прокладається навколо кожної будівлі на глибині від 0,5 до 1 м.

Заземлювальні провідники у фундаменті прокладаються в найнижчому шарі бетону кожного будинку з кроком сітки не більше 10 м.

Відстанції високої напруги, розташовані в безпосередній близькості від електростанції, також повинні зв'язуватися з основним контуром заземлення за допомогою принаймні двох провідників заземлення. Це правило справедливе для всіх установок (будівель, баків тощо), що мають будь-який електричний зв'язок з основною установкою, але не використовують той самий контур заземлення.

Зовнішні системи блискавкозахисту Системи захисту від прямого удару блискавки можуть ґрунтуватися на добре відомій електрогеометричній (ЕГ) моделі, яка, будучи частково емпіричною, підтверджена на досвіді. У моделі враховано параметри блискавки та вимоги електробезпеки, встановлені національними та міжнародними стандартами.

Система захисту від прямого удару складається з блискавкоприймачів, у які відбуваються удари блискавки, і певної кількості провідників, що спускаються донизу (сітки), які, крім відведення струму блискавки в землю, також діють і як блискавкоприймачі.

Нині вважають, що відстань орієнтування d між голівкою лідера, що розвивається з хмари, і місцем удару блискавки в землю в момент, коли із землі починає розвиватися зустрічний лідер, пов'язана з амплітудою імпульсу струму блискавки відповідно до виразу

де d виражено в метрах, I - у кілоамперах.

Звідси випливає, що для заданого кроку блискавкозахисної сітки справедливо таке: що вище очікуване значення струму блискавки, то вища ймовірність уражень блискавкою сітки.

Відомо, що ймовірність протікання струму блискавки значенням до 8 кА становить 90 %, крім того, електричні та електронні ланцюги усередині електростанції відносно просто захистити від прямої дії струму значенням менш як 8 кА, тому здається цілком обґрунтованим рекомендувати це значення струму блискавки як розрахункове для вибору кроку блискавкозахисної сітки.

Підстановка в зазначену вище формулу значення струму кА дає нам розрахунки.

На практиці кожен край будівлі має блискавкоприймач, більше того, кожен металевий об'єкт, наприклад вентиляційні труби й устаткування, парапет, сталева арматура, приєднується до блискавкозахисної системи, що призводить до зменшення дійсного кроку сітки порівняно з відстанню орієнтування приблизно до 20 м.

За необхідності будівлі, що містять дуже чутливе обладнання (або обладнання, що вимагає дуже високого рівня безпеки), можуть захищатися за допомогою сітки з кроком, що дорівнює не більше 15 м.

Усі провідники, що спускаються вниз, число яких для заданого об'єкта не повинно бути меншим за два, слід приєднувати до кільцевого заземлювального контуру навколо будівлі.

Крім того, арматура бетонних стін і колон повинна мати зварне (або інше надійне) з'єднання із заземлювачем у фундаменті або із зовнішнім контуром заземлення навколо будівлі внизу і з блискавкозахисною сіткою на даху вгорі. Сталеві прутки можуть використовуватися як спуски.

Правильний вибір кроку сітки і числа провідників-спусків дуже важливий.

Слід зазначити, що відстань між провідниками сітки зовнішньої системи блискавкозахисту визначається не тільки ймовірністю удару блискавки за будь-якого струму, а й також відіграє важливу роль у визначенні розподілу струму блискавки та відповідно наведених завад у захищеному просторі.

Що вища кількість провідників-спусків, то менший струм у кожному провіднику і тим менше магнітне поле поблизу них.

Різні теоретичні та практичні дослідження показали, що розподіл струму блискавки по різних гілках системи блискавкозахисту відбувається, грубо кажучи, обернено пропорційно довжині цих гілок за умови незмінності їхнього поперечного перерізу.

Це важливе твердження може бути дуже корисним під час розрахунку електромагнітних полів поблизу кожного заземлювального провідника, по якому можливе протікання струму блискавки або його частини.

Кожна димова труба повинна обладнуватися двома провідниками-спусками і, принаймні, одним блискавкоприймачем.

Слід стежити за забезпеченням надійного з'єднання (щонайменше двох провідників перерізом щонайменше 50 мм²) між заземлювачем труби (зазвичай контур навколо труби) і контуром основної будівлі.

Хоча градирні не потребують такого ж ступеня захисту, як інші будівлі, вони також повинні обладнуватися принаймні двома (а краще чотирма) провідниками спусками і на самому верху кільцем з шин заземлення, до якого повинна приєднуватися бетонна арматура.

Захист димових труб і градирень здебільшого має на меті забезпечення загального захисту станції за значних струмів блискавки (кА), ніж їхній власний захист.

Загальна філософія виконання заземлення всередині будівель і вирівнювання потенціалів заземлювача, рекомендована для сучасних електростанцій, ґрунтується на створенні тривимірної багаторазово замкнутої мережі заземлення за можливостями з вирівняним потенціалом на всьому її протязі.

Дуже важливо відзначити розробки, виконані в цій галузі пауки за останнє десятиліття.

Багато років електроніка ґрунтувалася на використанні низькочастотних аналогових сигналів, а єдиним типом збурення були перешкоди промислової

частоти. Тому природними завданнями старання уникнути створення петель для частоти 50/60 Гц за допомогою використання радіальних схем поділу між захисною, робочою землею і землею для електронного обладнання.

Нині зі збільшенням швидкості роботи сучасного електронного обладнання та підвищенням його чутливості до ВЧ-перешкод, але також і з більш повним розумінням механізмів передавання перешкод, така політика в частині виконання заземлення стає непридатною. Навпаки, відмова від неї не тільки допомагає розв'язати проблеми EMC, а й істотно спрощує прокладку кабелів і усуває необхідність поділу різних видів заземлення.

Зокрема, слід уникати використання роздільних мереж заземлення для живлення постійним струмом, підключення кабельних екранів і корпусів обладнання.

4.2. Природа виникнення перешкод на електростанціях

Проблеми EMC на електростанціях порівняно з ПС мають меншу гостроту. Серед основних причин можна назвати більші відстані між обладнанням високої та низької напруг і наявність кращого контуру заземлення.

Зокрема, удари блискавки та комутаційні операції на РУ високої напруги електростанції в дуже рідкісних випадках можуть ставати джерелами перешкод на самій станції, тим часом вони можуть бути причиною серйозних впливів на ПС високої напруги.

Однак на відміну від підстанцій, на електростанціях частіше випадки розміщення чутливого обладнання на обох кінцях кабелів (наприклад, електронні багатофункціональні датчики на одному кінці, апаратура - на іншому), що підвищує вимоги до прокладання кабелів і виконання їхніх екранів.

Далі зробимо огляд основних джерел збурень на електричних станціях.

Максимальні струми КЗ у розподільчих мережах середньої та низької напруги зазвичай становлять 10-20 кА. Однак на шинах генераторної напруги

струми КЗ можуть досягати близько 100 кА (при цьому при двосторонньому живленні струми КЗ від двох джерел підсумовуються).

Очевидно, що сітка заземлювача поблизу генераторів або трансформаторів має посилюватися з метою задоволення вимог електробезпеки.

Стационарні радіоустановки, подібні до пейджингових систем, іноді можуть впливати на нормальну роботу апаратури, якщо антену встановлено поблизу кіл із сигналами низького рівня.

Малоймовірно, щоб створювані ними поля радіочастотного діапазону безпосередньо впливали на окремі елементи апаратури, наприклад, інтегральні схеми, транзистори, діоди тощо, однак вони впливатимуть на різноманітні провідники, а наведені напруга та струм небажано впливатимуть на електронні модулі та обладнання, серед яких можна назвати:

- датчики температури (спотворення вхідних даних);
- системи управління (помилкові спрацьовування);
- передавачі сигналів (видача сигналів неправильного рівня);
- електронні джерела живлення (порушення стабільності рівня напруги)

У більшості апаратів робочі сигнали являють собою сигнали постійного або змінного струмів низької частоти, а діапазон РЧ-перешкод, що на них впливають, не збігається з їхнім робочим діапазоном. Однак наведені перешкоди РЧ-діапазону можуть чинити небажаний вплив за допомогою різних механізмів зв'язку. Може мати місце:

- перевантаження підсилювачів з великим коефіцієнтом посилення;
- випрямлення напруги РЧ-діапазону нелінійними елементами (наприклад, напівпровідниковим переходом) і подальше створення перешкоди у вигляді випрямленої напруги або струму;
- демодуляція модульованого сигналу на напівпровідниковому переході і подальше створення напруги перешкоди низької частоти;
- короточасні впливи під час увімкнення або вимкнення передавача.

Поля РЧ-діапазону від локальних передавачів можуть проникати в межі корпусу обладнання з дуже невеликим загасанням, якщо корпус виконаний не з

металу, або якщо розміри отворів перевищують $1/10$ частину довжини хвилі в металевому корпусі, або якщо бокові стінки металевого корпусу мають поганий контакт один з одним.

Проникнення полів РЧ-діапазону в апаратуру через сигнальні кабелі є переважним видом впливу в багатьох схильних до завад установках, оскільки вплив здійснюється на найбільш чутливі порти системи. Зокрема, це справедливо, якщо використовуються сигнали низького рівня без фільтрації або проміжного перетворення вхідного сигналу. Навіть у випадку із симетричними підсилювачами, коли наводка РЧ-діапазону є синфазною завадою, завада однаково може мати місце, тому що послаблення синфазної завади активного пристрою зазвичай зменшується на високих частотах та/або за високих рівнів синфазних напруг, які зменшуються.

На щастя, кабелі загального застосування для апаратури зазвичай виконані з діелектричних матеріалів, що мають значні втрати на ОВЧ і УВЧ, унаслідок чого в них відбувається істотне загасання на цих частотах. Загасання в провіднику кабелю довжиною 10 м на частоті 30 МГц може становити 10 дБ, на частоті 100 МГц - 20 дБ і на частоті 400 МГц - близько 60 дБ. З цієї причини, а також завдяки наявності металевих корпусів та інших екранувальних елементів місце і зона дії випромінюваних полів у загальному випадку будуть визначуваними, а перешкоди - незначними.

Однак для розглянутого частотного діапазону (до 470 МГц) більшість провідників заземлення, пов'язаних з електронним обладнанням, є електрично довгими. Зокрема, скрізь, де з'єднання між екранами кабелю та корпусами обладнання виконано не коаксіально (по периметру), є ймовірність виникнення завади.

У подібній ситуації перебувають ланцюги датчиків (наприклад, датчиків тиску), під'єднаних до обладнання сигнальними ланцюгами на 4-20 мА і з віддаленим живленням постійним струмом. Наведені в обмотках датчика напруги порядку декількох вольт можуть з легкістю викликати спрацьовування перетворювача і змінити значення постійного струму в ланцюзі.

Слід зазначити, що деякі сервоприводи також дуже чутливі до перешкод такого роду. Із зазначених причин максимально допустима потужність ручних радіопередавачів обмежена рівнем 200 мВт або ще менше (на атомних електростанціях), а в деяких країнах вони повністю заборонені.

Інші джерела впливів. Серед інших можливих джерел перешкод слід зазначити електрозварювання, яке, подібно до КЗ на частоті 50/60 Гц, може спричинити протікання значних струмів мережею заземлення. Однак всуцерець широко поширеній думці розв'язанням проблеми є виконання мережі заземлення у вигляді багаторазово замкненої, а не радіальної мережі для створення найкоротшого шляху повернення струму джерела збурення і зниження ймовірності виникнення зв'язку через загальний повний опір.

Крім НЧ-перешкод цього типу, зварювальні системи внаслідок виникнення ВЧ-коливань під час роботи зварювальних пістолетів плазмового типу можуть бути джерелами випромінювання.

Випромінювання радара перебуває на самому кінці спектрального діапазону перешкод.

Оскільки електростанції зазвичай розташовуються поблизу завантажених водних шляхів, імовірність впливу радарів на електронне обладнання ПС не така вже й мала.

Хоча нам не відомо про випадки впливу перешкод такого типу на обладнання електростанцій, на практиці трапляються випадки виникнення перешкод від роботи мікрохвильових радіосистем, пов'язані з проходженням суден водними артеріями поблизу об'єктів.

Контур заземлення призначений для створення шляху малого опору для струмів КЗ, а також для високочасових струмів, що виникають через перехідне підвищення напруги.

Перед проектуванням контуру необхідно з'ясувати найбільший струм КЗ на землю, провідність ґрунту і найбільший допустимий потенціал землі, після чого нескладно розрахувати необхідний повний опір заземлення. Наприклад, якщо найбільший допустимий потенціал становить 650 В, а струм замикання

10 кА, повний опір заземлення має бути менше ніж 0,065 Ом. Вказівки з цього питання є в численних національних і міжнародних стандартах. Для оптимізації конструкції контуру заземлення написані комп'ютерні програми.

Зазвичай на відкритих ПС забезпечити досить низький опір заземлення можна за допомогою неізольованої мідної рамки, прокладеної по периметру ПС, і внутрішніми провідниками для під'єднання різних елементів обладнання. Однак менша площа, яку займає КРПЕ, призводить до того, що розміри контуру будуть меншими і, отже, можуть знадобитися додаткові заходи.

Збільшення сумарної довжини провідників, прокладених усередині одиночної рамки, знизить опір сітки, але не прямо пропорційно збільшенню довжини.

Однак, прагнення забезпечити часті й короткі з'єднання між близько розташованими елементами обладнання слугує додатковим стимулом для прокладання сітки високої щільності.

Якщо використовується суцільна залізобетонна основа, то з'єднання залізної арматури з контуром заземлення безумовно призведе до зниження повного опору заземлення і забезпечить краще вирівнювання потенціалу усередині основи та по поверхні підлоги. Бажано, щоб стрижні арматури були з'єднані один з одним. Цей захід тягне за собою низку практичних труднощів, наприклад необхідність здійснення заземлення через бетонну основу і вимогу виключення небажаних контурів високочастотного струму. Можливо покласти сітку зверху бетонної основи, але це збільшить опір заземлення, тому що сітка не буде прокладена в землі.

Зниження опору заземлення до допустимо малого значення неможливе за допомогою описаних вище методів, тому для цієї мети можуть виявитися корисними вертикальні заземлювальні стрижні та хімічна обробка ґрунту.

Розрахункові опори заземлення можуть бути отримані за допомогою емпіричних формул, наведених у різних стандартах, проте, рекомендується проведення вимірювань після завершення будівництва. У разі необхідності проводять додаткові заходи. Вимога виконувати з'єднання із землею якомога

коротшими та прямими припускає, що корпус КРПЕ розміщений якомога ближче до поверхні землі, хоча це міркування не повинно бути визначальним під час проектування самого КРПЕ.

На розривах у корпусі КРПЕ можуть виникати високочастотні напруги, і тому необхідно вжити заходів щодо їх зниження.

Застосування ізоляційних фланців для кабельних вводів призводить до розриву оболонки корпусу. Доступне просте й економічне розв'язання проблеми шляхом встановлення нелінійних резисторів (варисторів), симетрично під'єднаних короткими з'єднувальними проводами навколо фланця. Замість нелінійних резисторів можна використовувати заводопонижувальні конденсатори.

ВИСНОВКИ

Магістерська робота з проблеми багатострумєрних розрядників-запальників у сфері електроенергетики та електротехніки присвячена важливій

галузі дослідження та розробки нових технологій для підвищення безпеки та надійності систем електропостачання. Основна мета роботи полягала в дослідженні механізмів виникнення запалюючого розряду, впливу параметрів розрядника на його запальність, та визначенні практичних застосувань отриманих результатів.

У результаті виконання магістерської роботи були досягнуті наступні важливі висновки:

Механізми виникнення запалюючого розряду: В роботі було досліджено основні механізми виникнення запалюючого розряду, включаючи іонізацію газу, коронну розрядність, та герметичний прокол. Розуміння цих механізмів є важливим для розробки розрядників, які можуть ефективно захищати системи електропостачання від електророзрядів.

Вплив параметрів розрядника на його запальність: Було показано, що параметри розрядника, такі як форма та конструкція, матеріали електродів, робочий тиск, та інші, мають значущий вплив на його запальність та ефективність. Оптимальний вибір цих параметрів допомагає підвищити стійкість розрядника до різних умов.

Моделювання та аналіз результатів: Була розроблена математична модель багатострумного розрядника-запальника, яка дозволила визначити оптимальні параметри для підвищення його запальної ефективності. Моделювання було валідовано на основі експериментальних даних, що підтвердило його точність та застосовність.

Практичне значення результатів: Отримані результати мають практичне значення для галузі електроенергетики та електротехніки. Вони можуть бути використані для розробки та вдосконалення багатострумних розрядників-запальників, що використовуються для захисту систем електропостачання.

Застосування оптимальних параметрів розрядників може підвищити безпеку та надійність електромереж.

Стандарти та нормативи: Робота відповідає вимогам стандартів та нормативів у галузі електроенергетики та електротехніки. Важливо забезпечити дотримання цих нормативів під час розробки та виробництва багатостримерних розрядників-запальників.

Загальною метою магістерської роботи було підвищення рівня безпеки та надійності систем електропостачання, а також сприяння покращенню якості життя суспільства. Праця над цією проблемою має актуальне значення, оскільки системи електропостачання стикаються зі зростаючими викликами та ризиками.

Багатостримерні розрядники-запальники можуть стати важливим інструментом у забезпеченні безпеки електромереж і підвищенні їхньої стійкості до різних видів електророзрядів.

У майбутньому, подальші дослідження та розробки в галузі багатостримерних розрядників-запальників можуть призвести до розширення їх застосування і покращення їхньої ефективності. Дослідження в області безпеки систем електропостачання завжди залишатиметься актуальним і важливим завданням для спеціалістів у галузі електроенергетики та електротехніки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дифракційна ґратка // Астрономічний енциклопедичний словник / За

загальною редакцією І. А. Климичина та А. О. Корсунь. Львів: ЛНУ—

ГАО НАНУ, 2003. — С. 133—134. — ISBN 966-613-263-X, УДК 52(031);

2. І.М.Кучерук, В.П.Дущенко. Загальна фізика. Оптика. Квантова фізика.

Вища школа, К.:1991, розділ 3;

3. Савельев И.В. Курс общей физики, т.2 М.: Наука, 1982, с.317, 407-421;

4. Дущенко В.П. Фізичний практикум, ч.2., К.: Вища школа, 1984, с.142-

146;

5. Ландеберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976, с.320-327;

6. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики т.3.-М.: Физматгиз.1961;

7. Бабушкин А. А., Бажулин П. А., Королев Ф. А. и др. Методы спектрально

го анализа. -М.: МГУ.-1962;

8. Шинловский А. А. Прикладная физическая оптика. М.. 1961;

9. Нагибина И. М., Прекофьев В. К. Спектральные приборы и техника

спектроскопии. Л., 1967;

10.Горбань І.С. Оптика. К. 1979;

11.Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. М.: Наука, 1971;

12.Заїдель А. Н., Основы спектрального аналізу, М., 1965;

13. Методи спектрального аналізу, М., 1962;

14.Чулановскій В. М., Введення в молекулярний спектральний аналіз, М.

Л., 1951;

15. Русанов А. К., Основы кількісного спектрального аналізу руд

імінералів.

М., 1971;

16. Б. М. Яворский и А. А. Детлаф. Справочник по физике. — М.: Наука, 1971;

17. Сивухин Д. В. Оптика // Общий курс физики. — М.: Физматлит, 2006.

Т. 4. — 792 с.

18. Романюк М. О., Крочук А. С., Пашук І. П. Оптика — Л.: ЛНУ ім. Івана

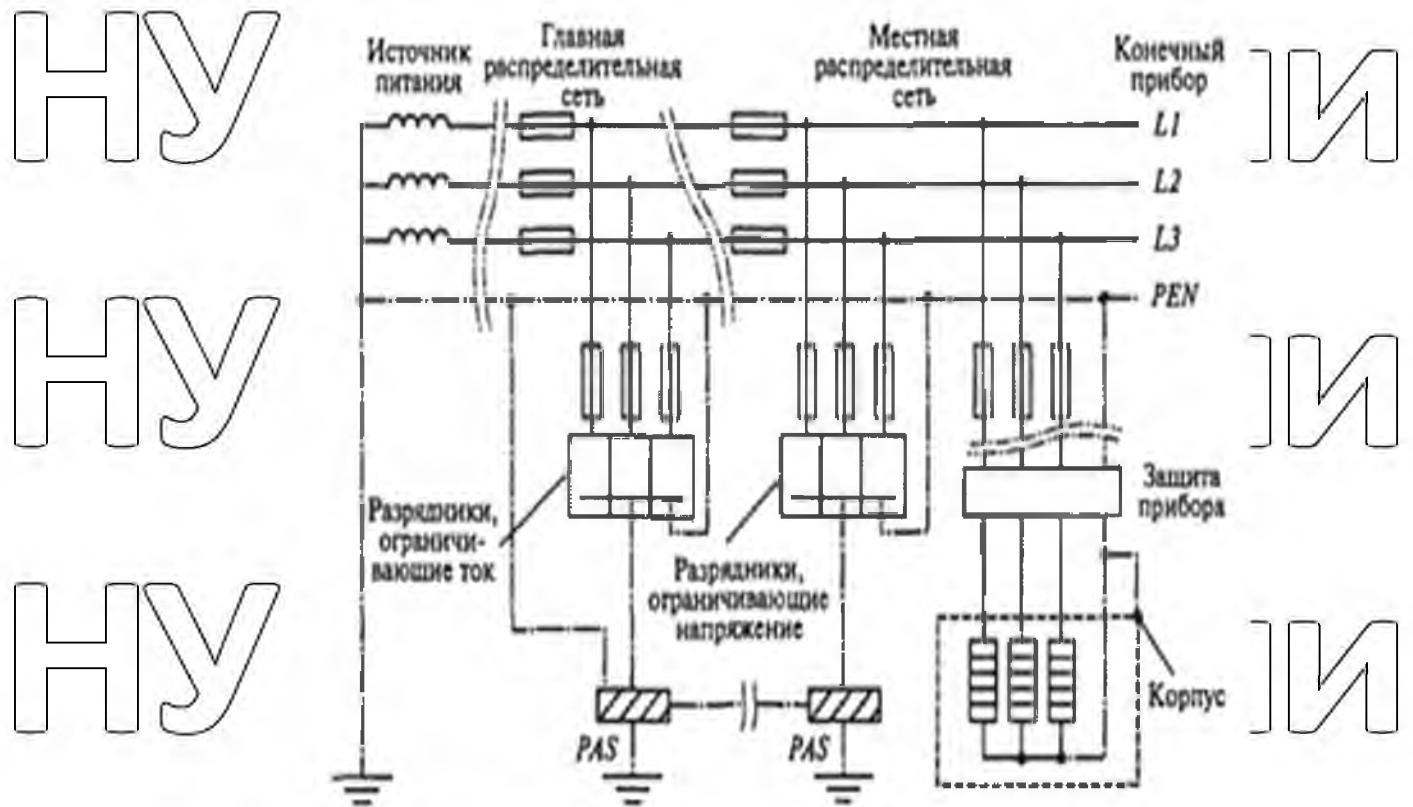
Франка, 2012. — 564 с;

19. Вавилов С. И. Принципы и гипотезы оптики Ньютона. Собрание сочинений. — М.: Изд-во АН СССР, 1956. — Т. 3;

20. Тарасов К. И. Спектральные приборы. — Л.: Машиностроение, 1968;

ДОДАТКИ

Додаток А. Установка розрядника TN – C - мережі



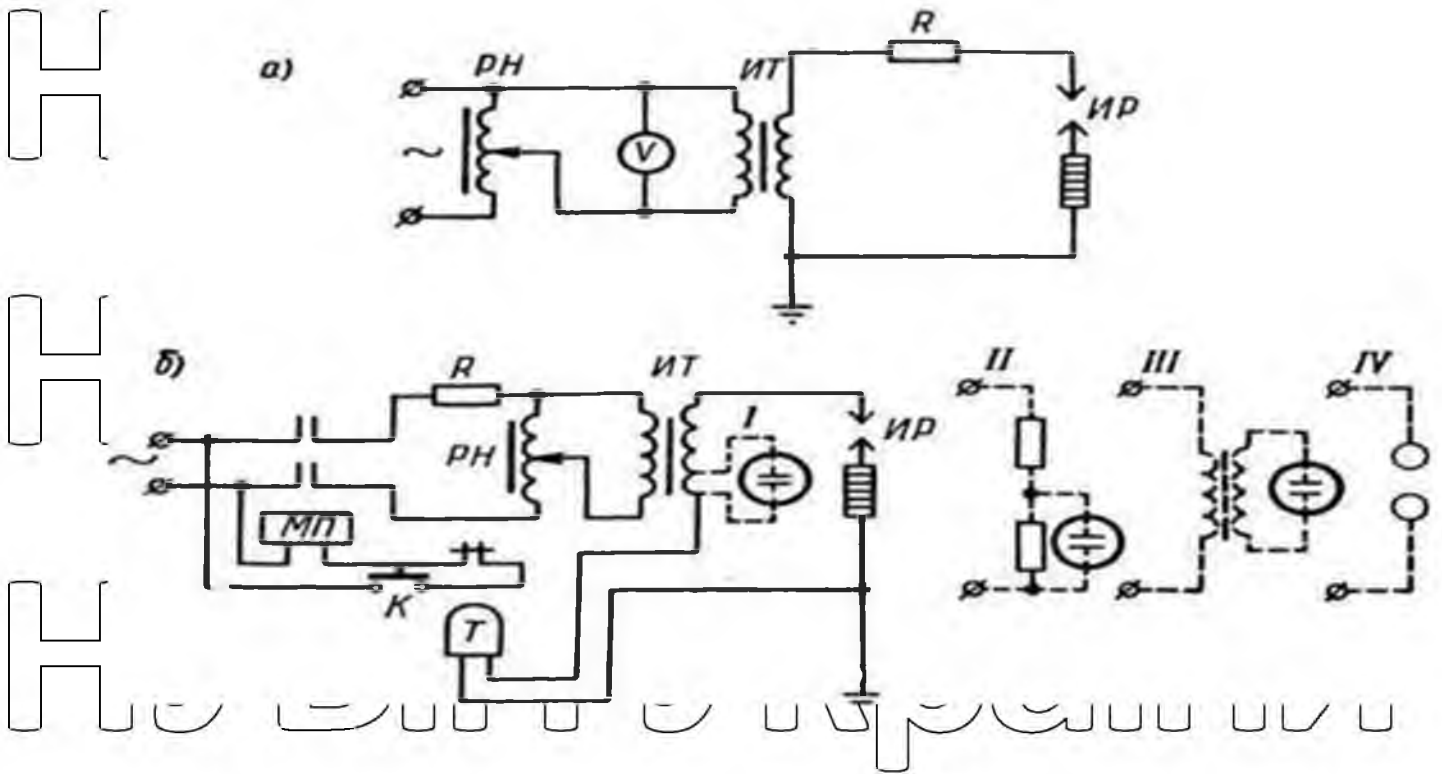
НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Додаток В. Схема підключення розрядника



НУБІП України

НУБІП України

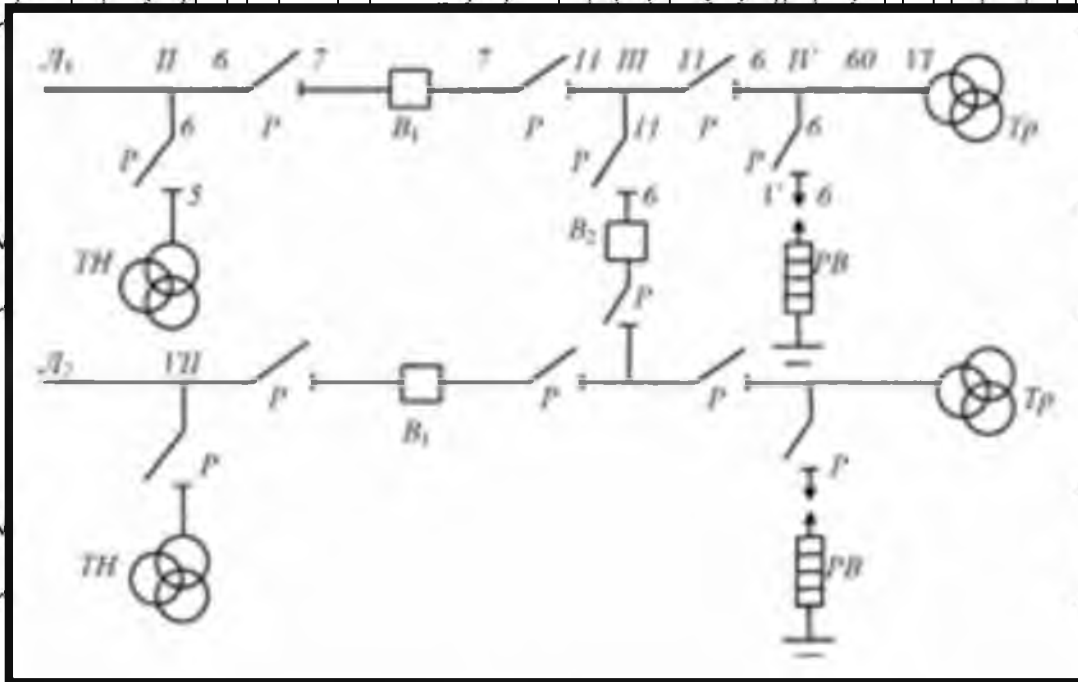
НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУ

НУ



И

И

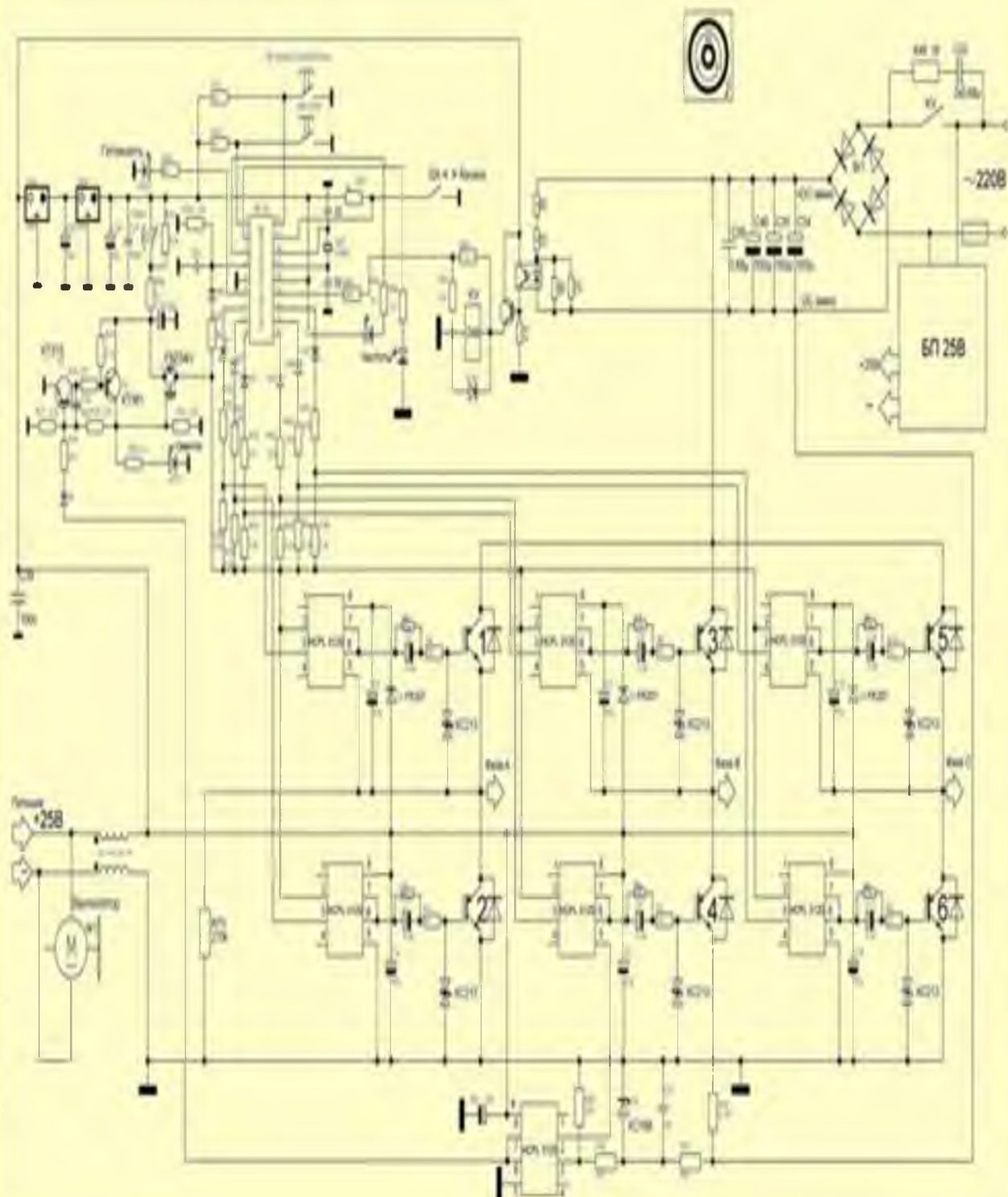
НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

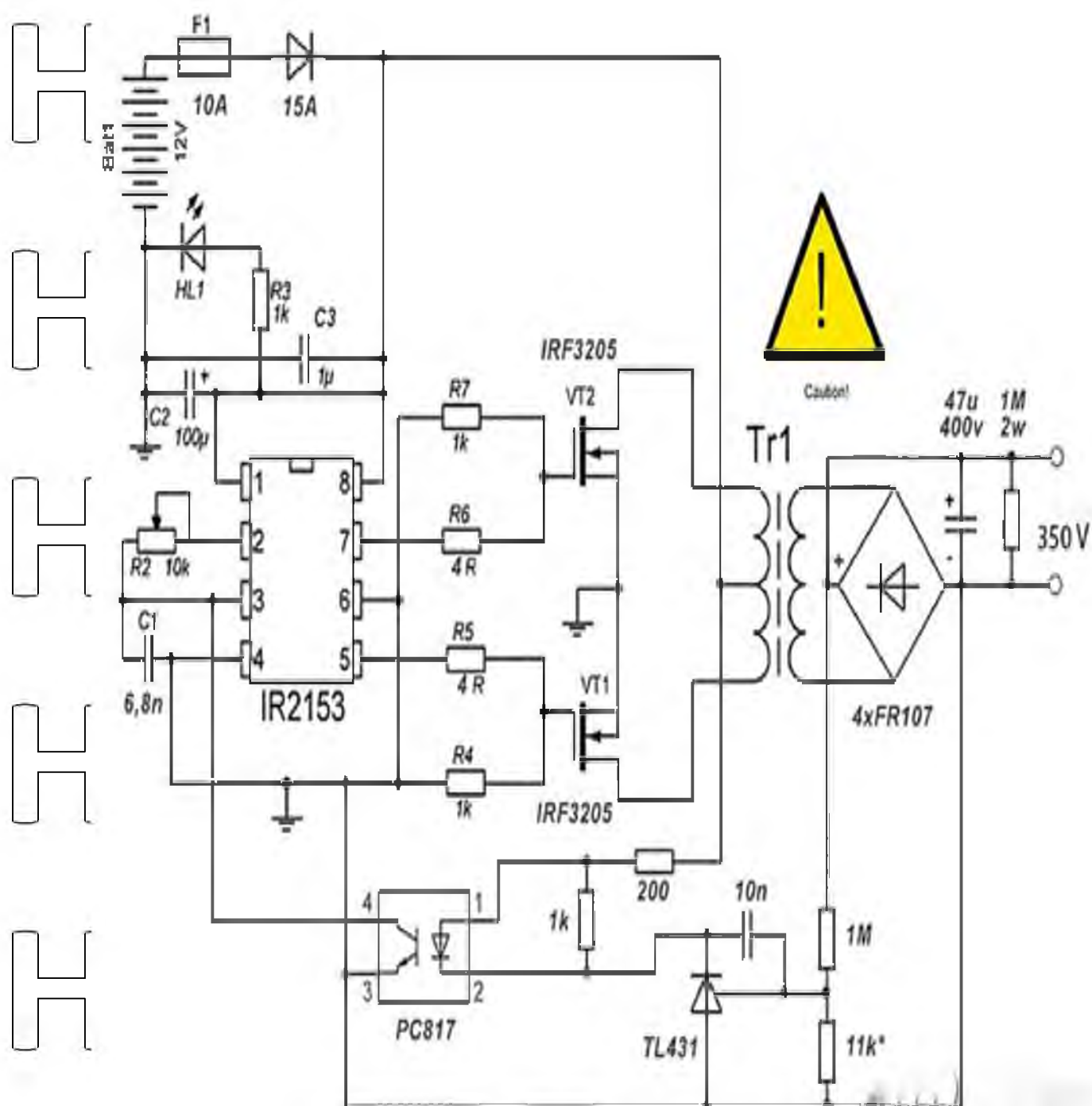
НУБІП України

Додаток Г. Схеми інвертора 12В



Додаток Д. Підключення за стабілізацією 12-350V

НУБІП України



НУБІП України

НУБІП України