МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИКИ
КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧНОЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

Затверджую
30 серпня 2021 року
Завідувач кафедри
теоретичної електротехніки
_____ **М.Я. Островерхов**

ПАСПОРТ ЛАБОРАТОРІЇ

лабораторний зал техніки високих напруг

(лабораторія №7-1)

Київ – 2021

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Відповідальний за лабораторію:

Шевченко Микола Дмитрович, провідний інженер

Викладачі, які проводять лабораторні заняття:

Бржезицький Володимир Олександрович, д.т.н., професор

Гаран Ярослав Олександрович, к.т.н., асистент

Проценко Олександр Ростиславович, к.т.н., доцент

Троценко Євгеній Олександрович, к.т.н., доцент

Загальний вигляд лабораторії техніки високих напруг

ПЕРЕЛІК НАВЧАЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН, З ЯКИХ ПРОВОДЯТЬСЯ ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

№ п/п	Дисципліна	Шифр спеціальності	Викладач
1.	1.Техніка високих напруг. 2. Електрофізика високих напруг 3. Техніка сильних електричних та магнітних полів	141 *«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*	Бржезицький В.О. Гаран Я.О. Проценко О.Р. Троценко Є.О.
2.	Ізоляція електротехнічного обладнання	141 *«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*	Гаран Я.О. Проценко О.Р.
3	1.Діагностування стану електротехнічного обладнання. 2.Методи та засоби технічного контролю ізоляції електротехнічного обладнання 3. Системи контролю ізоляції електротехнічного обладнання	141 *«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*	Гаран Я.О. Проценко О.Р.
4.	1. Електричні апарати-1. 2. Електричні апарати.	141 *«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*	Гаран Я. О., Проценко О. Р.
5.	1. Електричні апарати-2. 2. Випробування та експлуатація електричних апаратів.	141 *«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*	Гаран Я. О., Проценко О. Р.

2.ПЕРЕЛІК
лабораторних робіт, які виконуються в лабораторії техніки високих напруг

1. Дослідження електричної міцності повітряних проміжків на змінній напрузі. (Лабораторний стенд №5).
2. Дослідження ефекту полярності при пробої повітряних проміжків на постійній напрузі (Лабораторний стенд №6).
3. Дослідження імпульсної електричної міцності. (Лабораторний стенд №4).
4. Дослідження електричної міцності вздовж поверхні твердих діелектриків (Лабораторний стенд №2,3).
5. Дослідження розподілення напруги по гірлянді ізоляторів . (Лабораторний стенд №2).

6. Дослідження зон захисту стрижневих блискавковідводів. (Лабораторний стенд №1).

7. Дослідження електричної міцності конденсаторного паперу. (Лабораторний стенд №11).

8. Дослідження розподілу напруги вздовж гірлянди ізоляторів. (Лабораторний стенд №2).

9. Дослідження вольт-секундних характеристик ізоляторів. (Лабораторний стенд №5).

10. Імпульсний обмір обмоток силових трансформаторів та розрахунок їх поздовжньої ізоляції. (Лабораторний стенд №16).

11. Високовольтні випробування ізоляції енергетичного обладнання змінною напругою. (Лабораторний стенд №1).

12. Дослідження електричної міцності лінійних ізоляторів при імпульсній напрузі. (Лабораторний стенд №5).

13. Дослідження методів та устаткування для визначення електричних характеристик рідких діелектриків. (Лабораторний стенд №10).

14. Дослідження ефекту полярності електродів в повітряних проміжках. (Лабораторний стенд №6).

15. Вимірювання опору ізоляції й коефіцієнта абсорбції. (Лабораторний стенд №7).

16. Ємнісні методи контролю стану ізоляції. (Лабораторний стенд №7).

17. Абсорбційний метод контролю стану ізоляції. (Лабораторний стенд №7).

18. Вимірювання тангенса кута діелектричних втрат. (Лабораторний стенд №7).

19. Визначення вмісту розчинених у трансформаторному маслі газів. (Лабораторний стенд №7).

20. Визначення пробивної напруги трансформаторного масла. (Лабораторний стенд №10).

21. Визначення тангенса кута діелектричних втрат трансформаторного масла для різних температур. (Лабораторний стенд №7).

22. Визначення температури контактних з’єднань за допомогою тепловізора. (Лабораторний стенд №7).

23. Вимірювання коефіцієнта трансформації обмоток трансформатора. (Лабораторний стенд №7).

24. Діагностування стану ізоляції високовольтного трансформатора на основі вимірювання нормограм та дефектограм. (Лабораторний стенд № 16).

25. Дослідження імпульсної електричної міцності ізоляційних проміжків високовольтних електричних апаратів. (Лабораторний стенд № 5).

26. Дослідження струму зрізу вакуумного та елегазового високовольтного вимикачів. (Лабораторний стенд № 8).

27. Експериментальне дослідження коливання шин при дії струмів короткого замикання. (Лабораторний стенд № 9).

28. Дослідження перехідних процесів у пускачі тиристорному безконтактному (ПБТ). (Лабораторний стенд № 12).

29. Дослідження високовольтного комплексу генератора імпульсних струмів, призначеного для випробувань електричних апаратів на електродинамічну стійкість. (Лабораторний стенд № 3).

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИМІЩЕННЯ

Призначення приміщення: проведення аудиторних лекційних занять, лабораторних занять на низьковольтному (до 1000 В) та високовольтному (понад 1000 В) електрообладнанні. Існує можливість використання проекційної техніки.

Місце розташування приміщення: кафедра техніки і електрофізики високих напруг, корпус 1, поверх 1, аудиторія № 7-1.

Розміри приміщення: довжина 18,73 м, ширина 10,70 м, висота 3,8 м, корисна площа 189,8 м^2, об'єм 721,24 м^3.

Розміри аудиторної частини: довжина 15,3 м, ширина 5 м, висота 3,8 м, площа 76,5 м^2, об'єм 290,7 м^3.

Освітлення: 8 вікон розмірами 2 × 2,2 м^2 та загальне електричне: кількість ламп 114 потужністю 40 Вт, загальна потужність електричного освітлення 4560 Вт.

Опалення централізоване, згідно з нормативами.

Вентиляція віконна.

Мережа живлення: трифазна напруга 380/220 В, наявне заземлення всього електрообладнання.

Кількість посадочних місць 26.

Визначення опору заземлення та перевірка ізоляції виконано за протоколами проведення вимірювань відділу головного енергетика НТУУ «Київський політехнічний інститут» № 4 від 21.04.2016 р., № 5 від 21.04.2016 р.

Додається план розміщення обладнання.

ПЛАН ПРИМІЩЕННЯ ТА РОЗТАШУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ

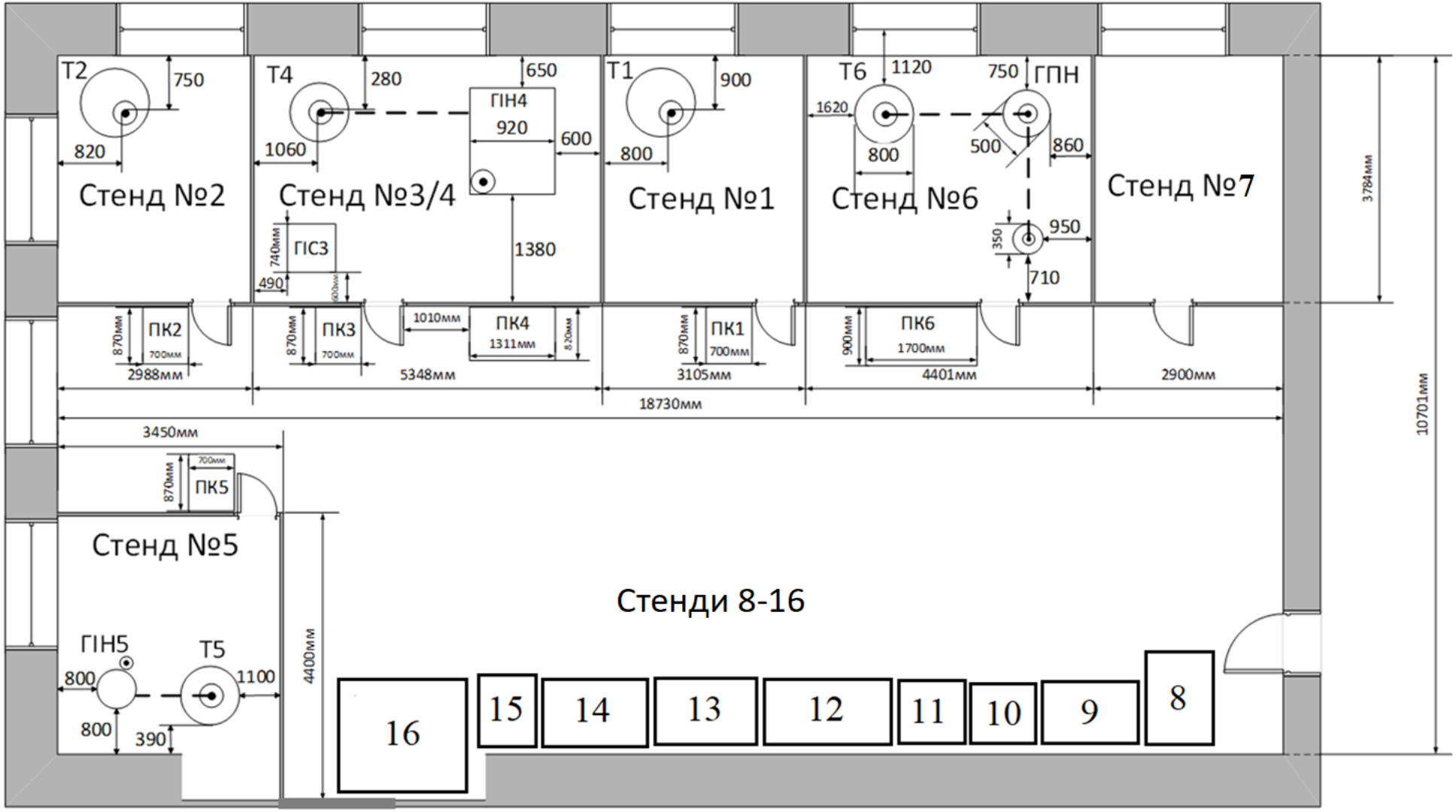


Рис. 2.1. План розміщення високовольтного обладнання у навчальному лабораторному залі № 7-1

4.1. ОПИС ПЛАНУ ПРИМІЩЕННЯ

1. Стенд № 1 містить випробувальний трансформатор Т1 типу ИОМ–100/25 з максимальною робочою напругою 68 кВ, потужністю 25 кВА та пульт керування ПК1, розміщення яких зображено на рис. 2.1.

2. Стенд № 2 містить випробувальний трансформатор Т2 типу ИОМ–100/25 з максимальною робочою напругою 60 кВ, потужністю 25 кВА та пульт керування ПК2, розміщення яких зображено на рис. 2.1.

3. Стенд № 3 містить генератор імпульсних струмів (ГІС) з максимальною робочою напругою 30 кВ та пульт керування ПК3, розміщення яких зображено на рис. 2.1.

4. Стенд № 4 містить випробувальний трансформатор Т4, генератор імпульсних напруг (ГІН4) з максимальною робочою напругою 120 кВ та пульт керування ПК4, розміщення яких зображено на рис. 2.1.

5. Стенд № 5 містить випробувальний трансформатор Т5, генератор імпульсних напруг (ГІН5) з максимальною робочою напругою 200 кВ та пульт керування ПК5, розміщення яких зображено на рис. 2.1.

6. Стенд № 6 містить випробувальний трансформатор Т6, генератор постійної напруги (ГПН) амплітудою до 70 кВ при максимальному струмі навантаження 0,1 А та пульт керування ПК6, розміщення яких зображено на рис. 2.1.

7. Стенд № 7, призначений для дослідження електричної міцності ізоляційних конструкцій на змінній та постійній напрузі (знаходиться на стадії розробки).

8. Стенд № 8 призначений для дослідження характеристик струмів зрізу високовольтних вакуумного та елегазового вимикачів на змінній напрузі. Не містить високовольтних джерел. Керування високовольтними вимикачами здійснюється на панелях керування вимикачів. Осцилографування сигналу напруги на шунті здійснюється за допомогою осцилографа-приставки типу USB-Oscill та ноутбука з операційною системою Windows із встановленим програмним забезпеченням розробника осцилографа. Розміщення стенду показано на рис. 2.1.

9. Стенд № 9 призначений для експериментального дослідження власних, вимушених та резонансних коливань системи шин при струмі короткого замикання. Не містить високовольтних джерел живлення. Керування електричними колами вбудовано в стенд. Містить трансформатор струму (до 3000 А) з приєднаним до вторинного кола амперметром. Осцилографування механічних коливань здійснюється за допомогою оптоелектронного перетворювача, осцилографа-приставки типу USB-Oscill та ноутбука з операційною системою Windows із встановленим програмним забезпеченням розробника осцилографа. Розміщення стенду показано на рис. 2.1.

10. Стенд № 10 для дослідження характеристик ізоляційних рідин (масел).

11. Стенд № 11 для дослідження характеристик ізоляційного паперу для високовольтних конденсаторів.

12. Стенд № 12 призначений для дослідження перехідних процесів під час використання тиристорного пускача типу ПБТ-16/380 для пуску асинхронного електродвигуна. Не містить високовольтних джерел. Керування електричними колами вмонтовано в стенд. Містить асинхронний електродвигун типу АОЛ2-22-2. Осцилографування сигналу напруги на шунтах та фазних напруг здійснюється за допомогою осцилографа-приставки типу USB-Oscill та ноутбука з операційною системою Windows із встановленим програмним забезпеченням розробника осцилографа. Розміщення стенду показано на рис. 2.1.

13. Стенд № 13 знаходиться на модернізації.

14. Стенд № 14 знаходиться на модернізації.

15. Стенд № 15 для дослідження закономірностей розповсюдження електромагнітних хвиль у лініях електропередачі.

16. Стенд № 16 призначений для дослідження перехідних процесів у високовольтних обмотках силових трансформаторів при впливі на ці обмотки імпульсних напруг. Не містить високовольтних джерел. Містить джерело стандартизованих імпульсних напруг. Осцилографування сигналу напруги на контрольних точках витків обмоток здійснюється за допомогою осцилографа-приставки типу USB-Oscill та ноутбука з операційною системою Windows із встановленим програмним забезпеченням розробника осцилографа. Розміщення стенду показано на рис. 2.1.

3. Перелік обладнання лабораторії техніки високих напруг

Додаток А1

ПАСПОРТ СТЕНДУ № 1

Призначення стенду: визначення електричної міцності повітряних проміжків між електродами різної конфігурації.

Технічні параметри стенду: живлення стенду здійснюється від мережі змінної напруги 380/220В частотою 50 Гц. Джерелом високої напруги є випробувальний трансформатор типу ИОМ–100/25 з максимальною робочою напругою 68 кВ, потужністю 25 кВА.

3.1. Схема стенду

Стенд складається з двох частин, розмежованих сітчастою огорожею. На одній частині (низьковольтній – місці роботи оператора) розташований пульт керування ПК1, що дозволяє подавати, регулювати і вимірювати напругу, яка подається на випробувальний об'єкт. На другій (високовольтній) – джерело високої напруги та конструктивні елементи, що дозволяють встановлювати випробувальний об'єкт.

Електрична схема стенду № 1 наведена на рис. А1.1.

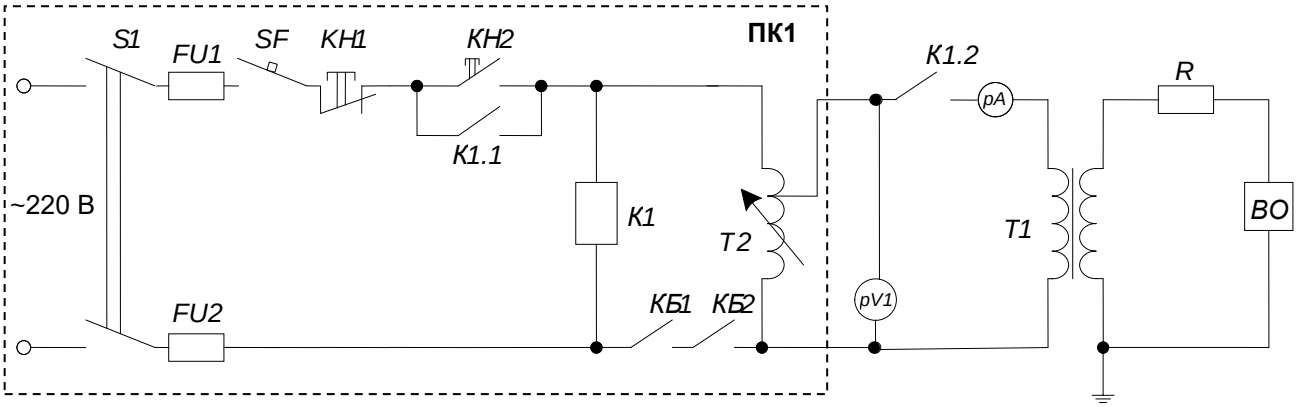


Рис. А1.1. Електрична схема стенду № 1

S1 – рубильник з видимим розривом; *FU1, FU2* – запобіжники; *SF* – автоматичний вимикач; *КН1* – кнопка «ОТКЛ»; *КН2* – кнопка «ВКЛ»; ПК1 – пульт керування стенду; *К1* – магнітний пускач; *Т2* – регулятор напруги; pV1 – вольтметр; *pA* – амперметр; *КБ1* – блок-контакти дверей; *КБ2* – блок-контакти штанги переносного заземлювача; *Т1* – випробувальний трансформатор; *R* – рідинний обмежувальний опір; *ВО* – випробувальний об'єкт

Джерелом високої напруги є випробувальний трансформатор *Т1* типу ИОМ-100/25. Випробувальний трансформатор ИОМ не має спеціальної обмотки для вимірювання високої напруги, тому вказана напруга вимірюється за показаннями вольтметра *PV1* з урахуванням коефіцієнта трансформації трансформатора ИОМ, який дорівнює 100000/350=285,7. Слід пам'ятати, що при вимірюваннях отримують діючі значення напруг. Для отримання амплітудних значень, які відповідають пробивним напругам, що визначаються в процесі експериментів, показання вольтметра *PV1* слід помножити на $\sqrt{2}$.

Плавне регулювання напруги випробувального трансформатора здійснюється регулятором *Т2*.

Вмикання стенду виконується за допомогою рубильника *S1* з придатним для візуального спостереження розривом, автоматичного вимикача *SF* і кнопки *КН2*.

Резистор *R* призначений для обмеження струмових перевантажень трансформатора *T1* у випадках виникнення електричних пробоїв. Значення пробивної напруги вимірюються за допомогою вольтметра *PV1*.

3.2. Інструкція з експлуатації

Вихідне (початкове) положення:

3.2.1. Відключити джерело живлення автоматичним вимикачем *SF* переміщенням його перемикача в нижнє положення.

3.2.2. Вимкнути рубильник *S1* з видимим розривом.

3.2.3. Рукоятку регулятора напруги *T2* встановити в нульове положення.

3.2.4. Відкрити двері огородження та накласти заземлення переносним заземлювачем на високовольтний вивід трансформатора *T1*.

3.2.5. Підключити до виводів високої напруги випробувальний об’єкт.

3.2.6. Зняти переносний заземлювач з високовольтного виводу випробувального трансформатора та, виходячи з випробувального поля, встановити його на важелі блок-контакту блокування дверей, зачинити двері огородження.

Порядок роботи:

3.2.7. Включити автоматичний вимикач *SF* переміщенням його перемикача в верхнє положення.

3.2.8. Ввімкнути рубильник *S1*.

3.2.9. Ввімкнути високу напругу кнопкою *КН2* "ВКЛ".

3.2.10. Обертанням рукоятки регулятора напруги *T2* плавно підвищити напругу на об'єкті до виникнення пробою, контролюючи напругу пробою за показанням вольтметра *PV1*.

3.2.11. Відключити високу напругу кнопкою *КН1* «ОТКЛ».

Порядок вимикання стенду:

3.2.12. Рукоятку регулятора напруги *T2* встановити в нульове положення.

3.2.13. Вимкнути рубильник *S1*.

3.2.14. Виключити автоматичний вимикач *SF* переміщенням його перемикача в нижнє положення.

3.2.15. Відкрити двері огородження та накласти заземлення переносним заземлювачем на високовольтний вивід трансформатора *T1*.

3.3. Техніка безпеки при роботі на стенді

3.3.1. Роботу виконують згідно інструкції з охорони праці «Безпека праці при роботі в електроустановках кафедри техніки і електрофізики високих напруг», а також з використанням нормативних документів “Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів”, “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”.

3.3.2. Під час виконання робіт повинні виконуватись вимоги інструкцій по роботі з електровимірювальними приладами та апаратами.

3.3.3. До роботи допускають студентів лише після проведення інструктажів з техніки безпеки, загального та на робочому місці (під розпис).

3.3.4. Робота на високовольтному стенді виконується лише під наглядом викладача.

3.3.5. При роботі на стенді обов’язково використовувати електрозахисні засоби: діелектричні рукавички та діелектричний килим.

3.3.6. Всі операції на випробувальному полі виконують після накладання переносного заземлювача на високовольтний вивід трансформатора *T1*.

Увага!

1. Максимальна напруга при роботі на стенді не повинна перевищувати 68 кВ.

Додаток А2

ПАСПОРТ СТЕНДУ № 2

Призначення стенду: дослідження електричної міцності ізоляційних конструкцій в неоднорідних електричних полях при дії на ізоляцію змінної напруги промислової частоти і розвитку розряду по поверхні твердого діелектрика; дослідження розподілення напруги по поверхні ізоляційних конструкцій, зокрема, гірлянди ізоляторів.

Технічні параметри стенду: живлення стенду здійснюється від мережі змінної напруги 380/220В частотою 50 Гц. Джерелом високої напруги є випробувальний трансформатор типу ИОМ–100/25 з максимальною робочою напругою 60 кВ, потужністю 25 кВА.

4.1. Схема стенду

Електрична схема стенду № 2 представлена на рис. А2.1. Джерелом високої напруги промислової частоти є випробувальний трансформатор Т1 типу ИОМ – 100/25 з максимальною робочою напругою 60 кВ, потужністю 25 кВА. Значення високої напруги цього трансформатора можна визначити як за допомогою показань вольтметра PV1 (враховуючи коефіцієнт трансформації 100000/200), так і вольтметра PV2 з коефіцієнтом трансформації 100000/100 (який приєднаний до вимірювальної обмотки випробувального трансформатора на стороні високої напруги). Варто пам'ятати, що при вимірюваннях одержують діючі значення напруги.

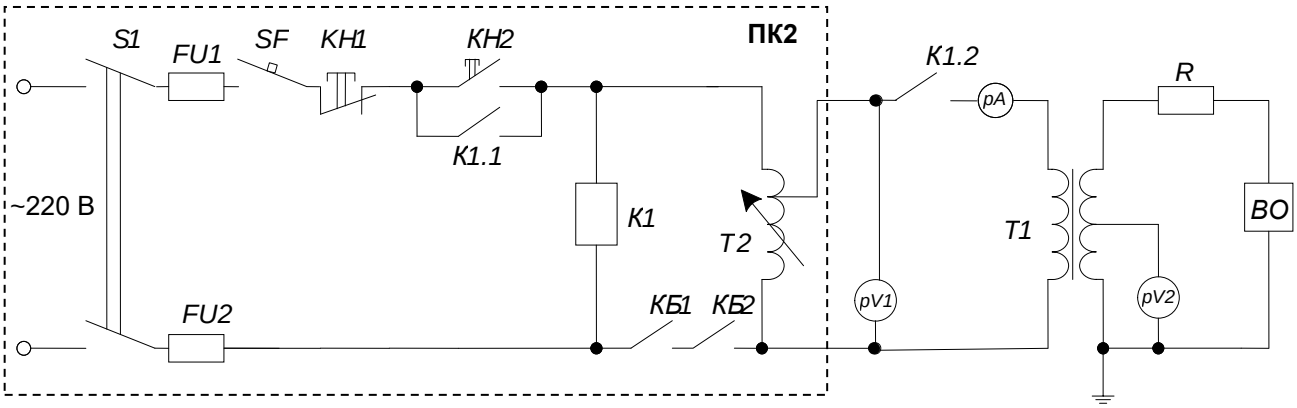


Рис. А2.1. Електрична схема стенду № 2

S1 – рубильник з видимим розривом; *FU1*, *FU2* – запобіжники; *SF* – автоматичний вимикач; *КН1* – кнопка «ОТКЛ»; *КН2* – кнопка «ВКЛ»; ПК2 – пульт керування стенду; *К1* – магнітний пускач; *Т2* – регулятор напруги; pV1 – вольтметр; *pA* – амперметр; КБ1 – блок-контакти дверей; КБ2 – блок-контакти блокування штанги ручного переносного заземлювача; *Т1* – випробувальний трансформатор; *pV2* – вольтметр; *R* – рідинний обмежувальний опір; *ВО* – випробовуваний об'єкт

Високовольтний резистор *R* призначений для обмеження струму розряду, що необхідно для захисту трансформатора від перевантажень.

Плавне регулювання напруги трансформатора *Т1* здійснюється регулятором напруги *Т2*.

Вмикання стенду здійснюється за допомогою автоматичного вимикача *SF*, рубильника видимого розриву *S1* та нормально розімкнених контактів кнопки *КН2* «ВКЛ» за умови замкнених контактів блокування дверей *КБ1*, що ведуть на поле випробувального стенду та контактів *КБ2* блокування штанги ручного переносного заземлювача. При включенні контактів кнопки *КН2* через котушку *К1* магнітного пускача протікає струм і його контакти *К1.1* та К1.2 замикаються. При цьому регулюючий трансформатор *Т1* одержує живлення завдяки замкненню контакту *К1.2*, а контакт *КН2* стає на самоблокування, тобто, кнопка може бути розімкнена при збереженні живлення котушки *К1*. Вимикання живлення котушки *К1*, а відповідно, контакту *К1.1* відбувається при розмиканні нормально замкнених контактів кнопки *КН1* «ОТКЛ», або контактів *КБ1* та *КБ2*.

Підвищення вихідної напруги *Т2* здійснюється його регулятором.

Штатне вимкнення високовольтного живлення стенду здійснюється кнопкою *КН1* «ОТКЛ» при незначній потужності розряду, або автоматично вимикачем *SF* при її збільшенні.

4.2. Інструкція з експлуатації

Вихідне (початкове) положення:

4.2.1. Відключити джерело живлення автоматичним вимикачем *SF* переміщенням його перемикача в нижнє положення.

4.2.2. Вимкнути рубильник *S1* з видимим розривом.

4.2.3. Рукоятку регулятора напруги *Т2* встановити в нульове положення.

4.2.4. Відкрити двері огородження та накласти заземлення переносним заземлювачем на високовольтний вивід трансформатора *T1*.

4.2.5. Підключити до виводів високої напруги досліджуваний об’єкт.

4.2.6. Зняти переносний заземлювач з високовольтного виводу випробувального трансформатора та, виходячи з випробувального поля, встановити його на важелі блок-контакту блокування дверей, зачинити двері огородження.

Порядок роботи:

4.2.7. Включити автоматичний вимикач *SF* переміщенням його перемикача в верхнє положення.

4.2.8. Ввімкнути рубильник *S1*.

4.2.9. Ввімкнути високу напругу кнопкою *КН2* "ВКЛ".

4.2.10. Обертанням рукоятки регулятора напруги *T2* плавно підвищити напругу на об'єкті до виникнення пробою, контролюючи напругу пробою за показанням вольтметра *PV1*.

4.2.11. Відключити високу напругу кнопкою *КН1* «ОТКЛ».

Порядок вимикання стенду:

4.2.12. Рукоятку регулятора напруги *T2* встановити в нульове положення.

4.2.13. Вимкнути рубильник *S1*.

4.2.14. Виключити автоматичний вимикач *SF* переміщенням його перемикача в нижнє положення.

4.2.15. Відкрити двері огородження та накласти заземлення переносним заземлювачем на високовольтний вивід трансформатора *T1*.

4.3. Техніка безпеки при роботі на стенді

4.3.1. Роботу виконують згідно інструкції з охорони праці «Безпека праці при роботі в електроустановках кафедри техніки і електрофізики високих напруг», а також з використанням нормативних документів “Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів”, “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”.

4.3.2. Під час виконання робіт повинні виконуватись вимоги інструкцій по роботі з електровимірювальними приладами та апаратами.

4.3.3. До роботи допускають студентів лише після проведення інструктажів з техніки безпеки, загального та на робочому місці (під розпис).

4.3.4. Робота на високовольтному стенді виконується лише під наглядом викладача.

4.3.5. При роботі на стенді обов’язково використовувати електрозахисні засоби: діелектричні рукавички та діелектричний килим.

4.3.6. Всі операції на випробувальному полі виконують після накладання переносного заземлювача на високовольтний вивід трансформатора Т1.

Увага!

1. Максимальна напруга при роботі на стенді не повинна перевищувати 60 кВ.

Додаток А3

ПАСПОРТ СТЕНДУ № 3

Призначення стенду: дослідження високовольтного ємнісного генератора імпульсних струмів (ГІС).

Технічні параметри стенду: живлення стенду здійснюється від мережі змінної напруги 380/220В частотою 50 Гц, зарядна напруга постійного струму до 30 кВ, імпульсний струм до 20 кА.

1. Схема стенду

Електрична схема стенду наведена на рис. А3.1.

Схема складається з трьох основних блоків: власне з генератора імпульсних струмів, який зібрано на 4 паралельно з'єднаних конденсаторах ИК-50-3 загальною ємністю С, яка дорівнює 12 мкФ при максимальній напрузі 30 кВ, генератора підпалювання ГП та генератора синхронізуючих імпульсів ГСІ.

У момент, що передує спрацюванню іскрового проміжку (ІП) ГІС, схема знаходиться в наступному стані: конденсатор С генератора, заряджений через вентиль VD1, високовольтний тиратрон Л4 типу ТГІ-400/І6, який замкнений нульовим потенціалом на сітці (властивість тиратронів з водневим наповненням), конденсатор С6 заряджений через вентиль VD2.

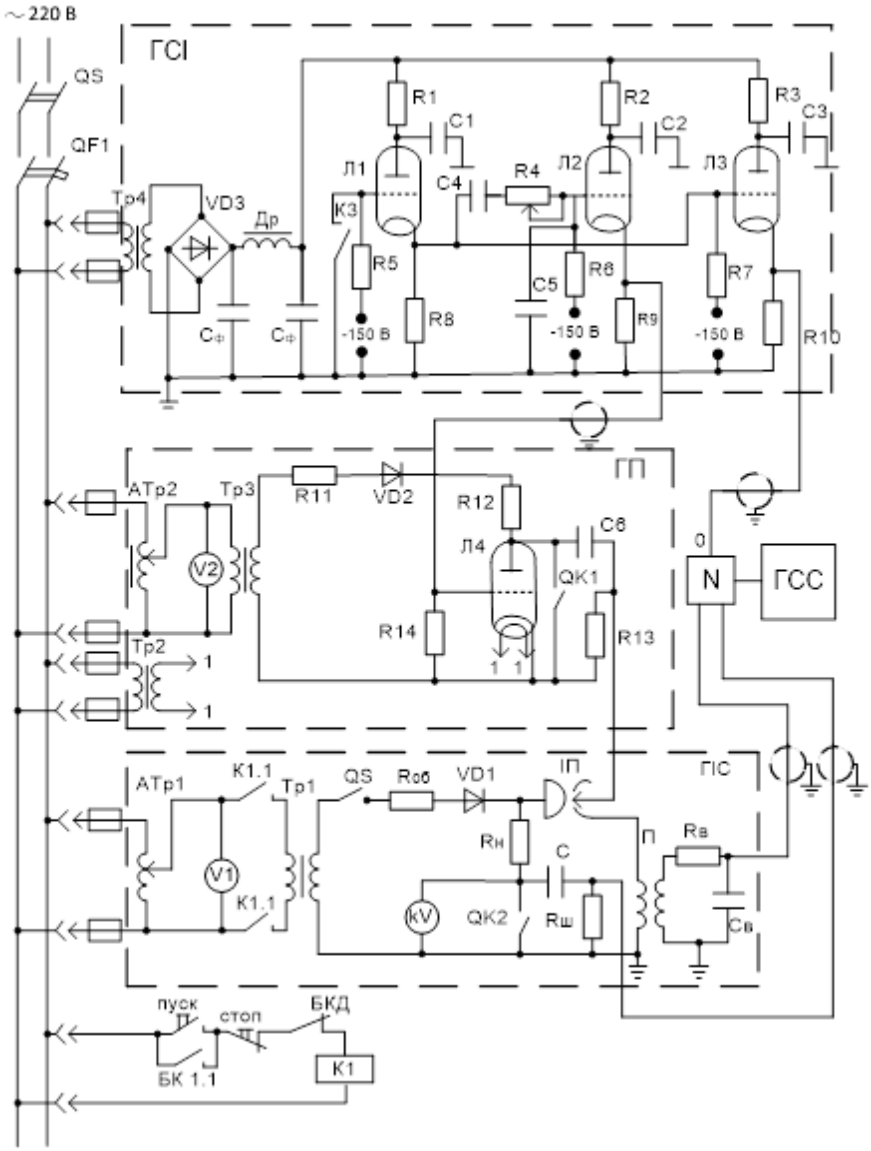


Рис. А3.1. Електрична схема стенду № 3

У схемі ГСІ тиратрони Л1…Л3 замкнені напругою зміщення – 150 В, конденсатори С1…С5 – заряджені.

Спрацьовування схеми відбувається при замиканні контактів кнопки «Пуск» (К3). При цьому сітка тиратрона Л1 набуває нульового потенціалу і тиратрон Л1 відмикається. Конденсатор С1 розряджається на резистор R8.
Позитивний імпульс напруги з R8 подається на сітку тиратрона Л3 і відмикає його. Сигнал з резистора R10, що виникає в результаті розряду С8, вмикає промінь і блок розгортки осцилографа.

З деяким запізненням на час, необхідний для перезарядки конденсатора С5, на сітку тиратрона Л2 надходить позитивний імпульс. Конденсатор С2 розряджається через тиратрон Л2 на резистор R9.
Сигнал з резистора R9 відмикає високовольтний тиратрон Л4 генератора підпалювання.

В результаті розряду конденсатора С6 ємністю 0,5 мкф та номінальною напругою 10 кВ на голку тригатрона поступає від'ємний імпульс.

Пробивається проміжок між голкою і правою напівсферою. Спрацьовує ІП. Час затримки спрацьовування ІП щодо осцилографа регулюється резистором R4.

Пробій ІП призводить до розряду конденсатора С ГІС на послідовно включені опір навантаження $R_н$, опір вимірювального шунта $R_ш$ та первинну обмотку поясу Роговського П.

Струм розрядного контуру ГІС реєструється осцилографом N, на вертикальні відхиляючі пластини якого поступають сигнали від шунта і інтегруючого кола поясу Роговського.

Зовнішній вигляд пульту керування ГІС згідно рис. А3.1 приведено на рис. А3.2.

Рис. А3.2. Зовнішній вигляд пульта керування ГІС згідно рис. 5.1

1 – сигнальна лампа «Мережа»; 2 – ручка регулятора напруги; 3 – перемикач ступеню захисту високовольтного трансформатора; 4 – тумблер включення ГСІ; 5 – сигнальна лампа «ГСІ включено»; 6, 7 – регулятори каналів затримки пускових імпульсів ГСІ; 8 – тумблер включення живлення ГП; 9 – сигнальна лампа «підготовка ГП»; 10 – сигнальна лампа готовності тиратрону; 11 – тумблер включення живлення аноду тиратрону; 12 – кнопка підключення високовольтного трансформатора; 13 – кнопка включення високої напруги живлення; 14 – сигнальна лампа «Керована напруга»; 15 - кнопка «Аварійний стоп»; 16 – амперметр у колі живлення; 17 – кнопка відключення високовольтного трансформатора; 18 – кнопка «Пуск»; 19 – пультовий кіловольтметр; 20 – вольтметр первинного живлення; 21 – сигнальна лампа «Індикація захисту»; 22 - кнопка відключення високої напруги живлення; 23 – сигнальна лампа заземлюючого пристрою; 24 – сигнальна лампа високовольтного роз’єднувача; 25 – кнопка підключення ємнісної батареї С ГІС; 26 – кнопка відключення ємнісної батареї С ГІС; 27 – запобіжники

2. Інструкція з експлуатації

Вихідне (початкове) положення:

2.1. Переконатися, що рубильник видимого розриву QS та автоматичний вимикач QF1 (рис. А3.1) вимкнені.

2.2. Відчинити двері випробувального поля, зняти переносний заземлювач з важелю блок-контакту дверей, провести почергове заземлення всіх елементів ГІС, які могли б зберігати залишковий заряд, заземлити батарею С конденсаторів ГІС. Накласти переносний заземлювач на конденсатор С ГІС.

2.3. Під наглядом викладача зібрати схему експерименту (рис.А3.1).

2.4. Зняти переносний заземлювач з батареї конденсаторів С ГІС та розмістити переносний заземлювач на важелі блок-контакту дверей.

2.5. Впевнившись в тім, що на випробувальному полі стенду немає людей, зачинити ззовні двері випробувального поля.

Порядок роботи:

2.6. Увімкнути рубильник QS випробувального стенду над пультом керування. При цьому засвічується сигнальне табло стенду «Стій! Висока напруга».

2.7. Включити автоматичні вимикачі А1 (при цьому спрацьовує сигнальна лампа 1) та А2, які розташовані у нижній частині пульту керування.

2.8. Вивести регулятор напруги 2 у нульове значення (крайнє ліве положення).

2.9. Встановити перемикач рівня захисту високовольтного трансформатора 3 у положення, яке визначає викладач.

2.10. Включити заземлюючий пристрій за допомогою кнопки 25. При цьому спрацьовують автоматичні вимикачі QK1 та QK2 (рис. А3.1), які розземлюють батарею конденсаторів ГІС та високовольтний накопичувальний конденсатор С6 ГП згідно рис. А3.2.

2.11. Включити ГСІ за допомогою тумблеру 4. При цьому запалюється сигнальна лампа 5.

5.2.12. Регуляторами 6 та 7 затримки імпульсів каналів керування ГСІ виставити попередні значення затримок сигналів ГП та осцилографа. За допомогою осцилографа визначити часові проміжки між вихідними імпульсами ГСІ в залежності від положення регуляторів затримки сигналів.

5.2.13. Включити тумблер 8 ГП. При цьому повинна загорітися сигнальна лампа 9. На протязі п’яти хвилин відбувається розжарення катода високовольтного тиратрона Л4. Після закінчення процесу спрацьовує реле часу та запалюється сигнальна лампа 10.

2.14. Включити тумблер 11 ГП.

2.15. За допомогою кнопки 12 підключити високовольтний трансформатор Тр1

2.16. За допомогою кнопки 13 включити регулятор живлення високовольтного трансформатора Тр1. При цьому запалюється сигнальна лампа 14.

2.17. При виникненні будь-яких непередбачуваних ситуацій негайно відключити високу напругу за допомогою кнопки 15 «Аварійний стоп».

2.18. За допомогою рукоятки 2 регулятора піднімати напругу, спостерігаючи за її рівнем за допомогою кіловольтметрів kV типу С-96 або С-100, які знаходяться на випробувальному полі.

2.19. За допомогою амперметра 16 контролювати зарядний струм, який не повинен перевищувати 2 А.

Порядок вимкнення стенду:

2.20. При досягненні необхідного рівня високої напруги відключити трансформатор Тр1 за допомогою кнопки 17 «Технологічний режим».

2.21. Включити ГІС на спрацювання за допомогою кнопки 18 «Пуск».

2.22. Після спрацювання ГІС за допомогою кнопки 22 відключити високу напругу.

2.23. Вивести регулятор напруги 2 в нульове положення, контролюючи процес за допомогою вольтметрів 19 та 20.

2.24. Відключити анод ГП за допомогою тумблера 11.

2.25. За допомогою тумблера 8 вимкнути накалювання катоду тиратрону Л4.

2.26. Відключити ГСІ за допомогою тумблера 4.

2.27. Відключити автоматичні вимикачі А1 та А2.

2.28. Вимкнути рубильник QS стенду.

2.29. Відкрити двері випробувального поля, зняти переносний заземлювач з важеля блок-контакту дверей, провести почергове заземлення всіх елементів ГІС та заземлити батарею конденсаторів ГІС.

3. Техніка безпеки при роботі на стенді

3.1. Роботу виконують згідно інструкції з охорони праці «Безпека праці при роботі в електроустановках кафедри техніки і електрофізики високих напруг», а також з використанням нормативних документів “Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів”, “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”.

3.2. Під час виконання робіт повинні виконуватись вимоги інструкцій по роботі з електровимірювальними приладами та апаратами.

3.3. До роботи допускають студентів лише після проведення інструктажів з техніки безпеки, загального та на робочому місці (під розпис).

3.4. Робота на високовольтному стенді дозволяється лише під наглядом викладача.

3.5. При роботі на стенді обов’язково використовувати електрозахисні засоби: діелектричні рукавички та діелектричний килим.

3.6. Доступ на випробувальне поле високовольтного стенду до початку роботи та у процесі її виконання дозволяється тільки після відключення рубильника видимого розриву стенду QS (згідно рис. 5.1), автоматичного вимикача А1 QF1 та заземлення елементів схеми ГІС за допомогою переносного заземлювача і його остаточного накладення на вихід ГІС.

Увага!

1. Максимальна напруга при роботі на стенді не повинна перевищувати 30 кВ.

Додаток А4

6. ПАСПОРТ СТЕНДУ № 4

Призначення стенду: дослідження електричної міцності повітря та зовнішньої ізоляції високовольтного обладнання імпульсною напругою**.**

Технічні параметри стенду: живлення стенду здійснюється від мережі змінної напруги 380/220В частотою 50 Гц при використанні роздільного трансформатору з коефіцієнтом трансформації 1:1. Максимальна робоча напруга ГІН складає 120 кВ.

1. Схема стенду

Стенд створений на основі ГІН виробництва фірми TUR (Німеччина), схему якого приведено на рис. А4.1.

Стенд зібрано на основі чотириступінчастого ГІН, генератора синхронізуючих імпульсів (ГСІ), генератора підпалювання (ГП), імпульсного осцилографа (N) та генератора зрізу імпульсу (ГЗ). Номінальна напруга ГІН складає 400 кВ. При цьому ємність кожного ступеня дорівнює 0,35 мкФ при номінальній напрузі 100 кВ.

Розрядні та фронтові опори розподілені по ступенях ГІН рівномірно. Три праві зарядні опори R_0 не впливають на форму імпульсу, оскільки кожний з цих опорів є значно більшими за суму опорів ($R_Р + R_Д$).

Живлення ГІН здійснюється від трьохфазної мережі 380/220 В при використанні роздільного трансформатора Т1 з коефіцієнтом трансформації 1:1, який призначений для захисту схеми від ймовірних імпульсів, які можуть надходити з мережі та для захисту живлячої мережі від можливих перенапруг, пов'язаних з роботою ГІН.

Опори R_2 та R_3 та розрядник FV_3 обмежують імпульсну напругу, яка надходить на ГП при спрацюванні ГІН.

В разі необхідності замість перемички у затискачі Х1 підключається фронтова індуктивність $L_ф$; індуктивність випробувального об'єкту може бути приєднана між затискачами X_3.

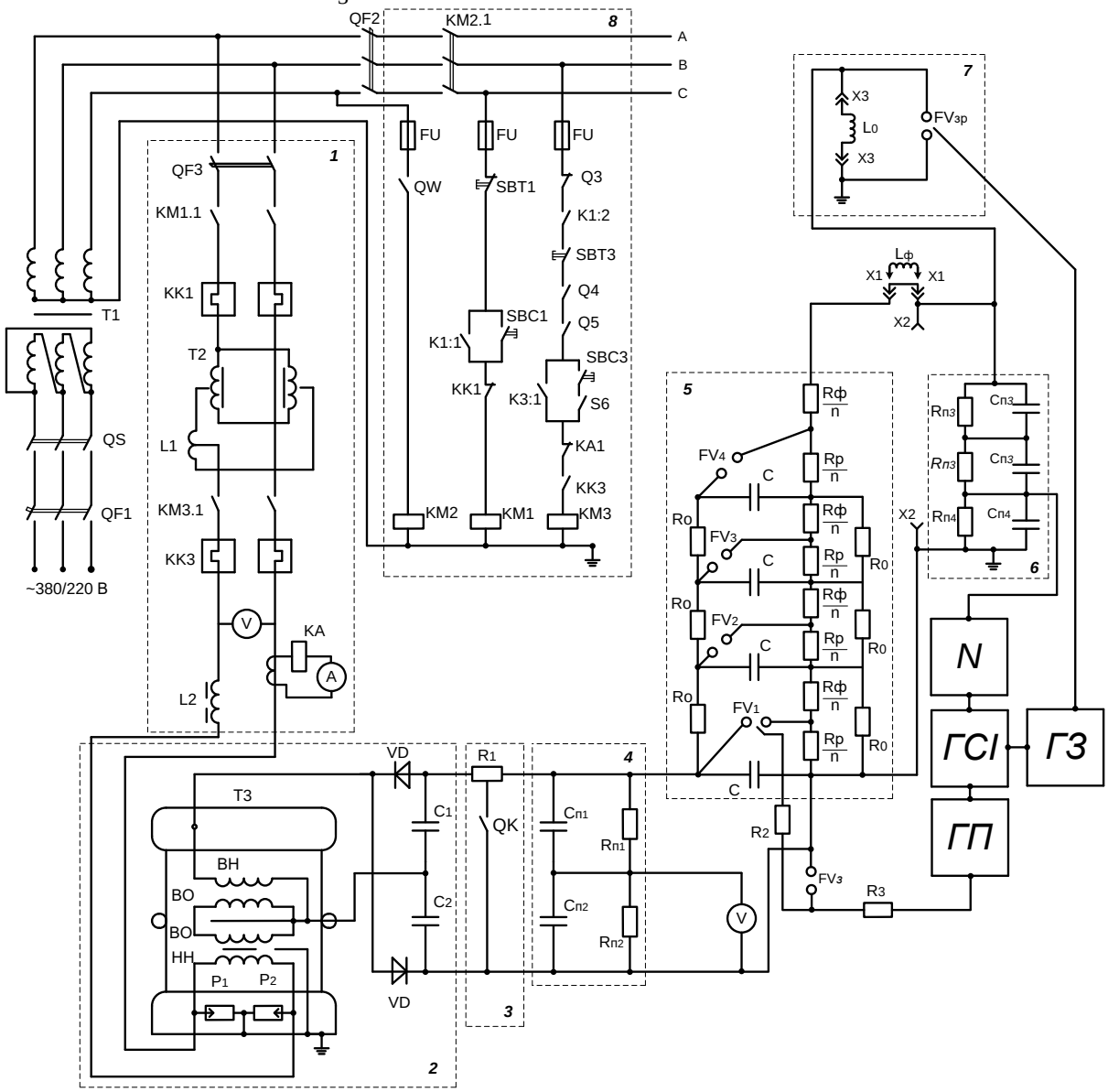


Рис. А4.1. Електрична схема стенду № 4

1 – блок регулювання живлячої напруги; 2 – блок зарядної напруги ГІН; 3 – автоматичний короткозамикач (розрядний вимикач); 4 – подільник зарядної напруги ГІН; 5 – генератор імпульсних напруг; 6 – подільник імпульсної напруги; 7 – блок градуювання та зрізу; 8 – блок керування ГІН; 9 - QS – рубильник видимого розриву живлення стенду; 10 – QF1 - автоматичний вимикач живлення стенду; 11 – роздільний трансформатор Т1; ГСІ – генератор синхронізуючих

імпульсів; ГП – генератор підпалювання ГІН; ГЗ - генератор зрізу імпульсів; N – імпульсний осцилограф

Схему генератора синхронізуючих імпульсів, який призначено для забезпечення програмованого режиму спрацювання та діагностики ГІН включно зі схемою генератора підпалювання, приведено на рис. А4.2.

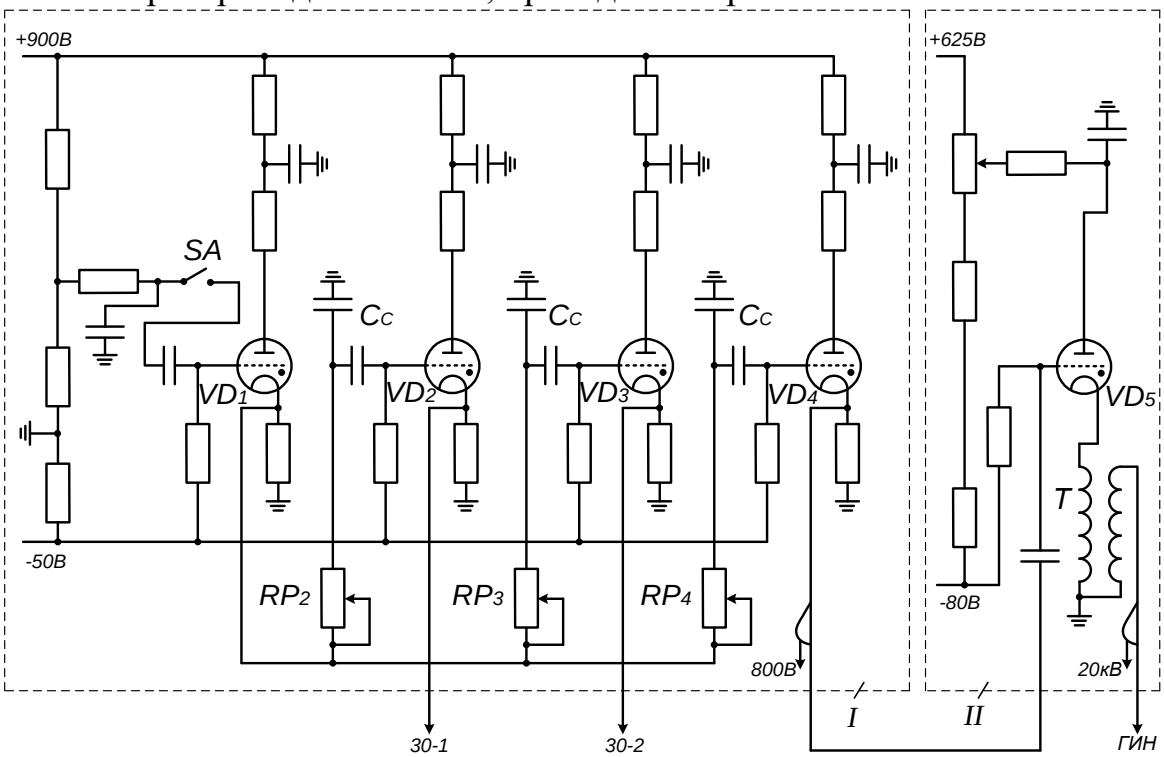


Рис. А4.2. Схема генератора синхронізуючих імпульсів та діагностики ГІН включно зі схемою генератора підпалювання
I – низьковольтний ступінь (ГСІ); II – високовольтний ступінь (ГП); VD_1 – VD_5 – тиратрони; C_C – ємність кола сітки; Т – підвищувальний трансформатор; RP_2 – RP_4 – потенціометри

При замиканні кнопки SA ГСІ спрацьовує та відкривається тиратрон VD_1. Це призводить до подачі позитивного імпульсу у точку А, яка з'єднана через резистори r_2 – r_4 та змінні опори $r_2^/$ – $r_4^/$ з сітками тиратронів VD_2 – VD_4, які відкриваються та подають пускові імпульси з амплітудою близькою 800 В на запуск осцилографа, а також на підпалювання ГП. Моменти подачі кожного імпульсу регулюються зміною опорів $r_2^/$ – $r_4^/$, через які керуючий імпульс надходить на сітки відповідних тиратронів.

ГП спрацьовує при подачі пускового імпульсу від ГСІ, який відпирає тиратрон VD_5, розряд якого через первинну обмотку підвищувального трансформатора Т утворює у його вторинній обмотці імпульс з амплітудою близько 20 кВ. Імпульс подається через сумарний опір (R_2 та R_3 згідно рис. А4.1) у декілька десятків кОм, який розрахований на напругу одного ступеня ГІН, на електрод підпалювання першого іскрового проміжку ГІН.

При цьому слід визначити, що опори R_2 та R_3 та розрядник FV_3 (рис. А4.1) обмежують імпульсну напругу, яка надходить на ГП при спрацюванні ГІН.

Схему генератора зрізу імпульсів ГІН типу SESF – 0,2/24 приведено на рис. А4.3.

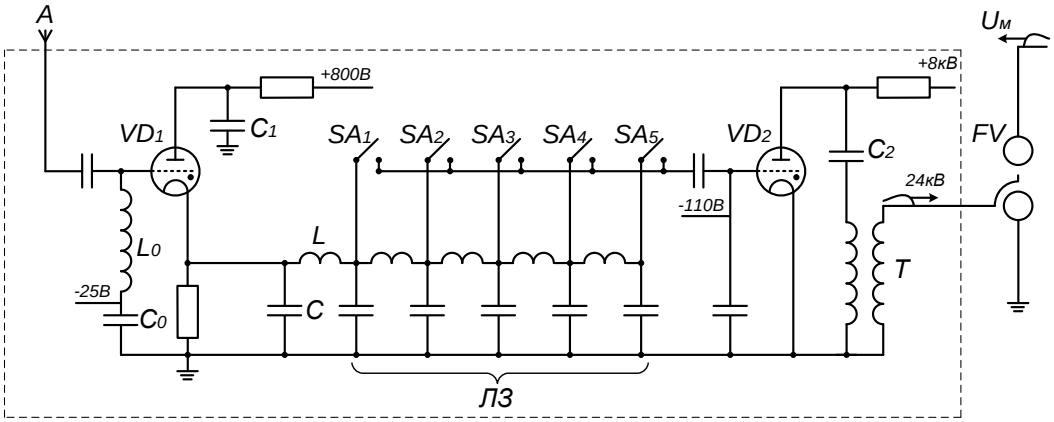


Рис. А4.3. Схема генератора зрізу імпульсів ГІН типу SESF – 0,2/24
А – висувна антена; VD_1, VD_2 – тиратрони; ЛЗ – лінія затримки; Т – підвищувальний трансформатор; FV – керований кульовий розрядник, SA_1…SA_5 – кнопкові замикачі

При спрацюванні ГІН на телескопічній антені А наводиться коливальна напруга, яка призводить до відпирання тиратрону VD_1 та подачі позитивного імпульсу на лінію затримки ЛЗ.

При зміні кількості комірок LC-кола змінюється час спрацювання тиратрона VD_2, на сітку якого надходить відкриваючий імпульс з ЛЗ. Імпульсна розрядна напруга конденсатора C_2 через тиратрон VD_2 підвищується трансформатором Т до 24 кВ та надходить до електроду підпалювання керованого проміжку FV. Передрозрядний час може бути встановленим у межах 1,4 – 2,0 – 3,0 – 5,0 мкс з точністю ±0,2 мкс. Розкид передрозрядного часу складає ±0,1 мкс.

Блок регульованої живлячої напруги 1 (рис. А4.1) містить автоматичний вимикач QF3 та регулювальний трансформатор Т2 з моторним приводом. Привід регулятора напруги Т2 забезпечує переміщення струмоз'ємних контактів за допомогою асинхронного двигуна М з конденсаторним двофазним пуском.

Індуктивність L1, яку підключено до рухомих контактів регулювального трансформатора, призначена для забезпечення рівномірного розподілу струму між обмотками цього трансформатора; дросель L2 слугує для захисту від перенапруг у живлячому колі та зворотних перенапруг трансформатора Т3.

Блок регульованої живлячої напруги 1 містить також реле КА з трансформатором струму ТА, які забезпечують максимальний струмовий захист живлячої мережі; контакти теплового захисту КК1 та КК2; контакти КМ1.1 контактора КМ1 та КМ3.1 контактора КМ3 блоку керування ГІН, вимірювальні прилади.

У подальшому викладенні приведено опис деяких блоків, які використовуються додатково у схемі рис. А4.1 та приєднані до її мережі живлення.

Схема керування приводом регулювального трансформатора наведена на рис. А4.4.

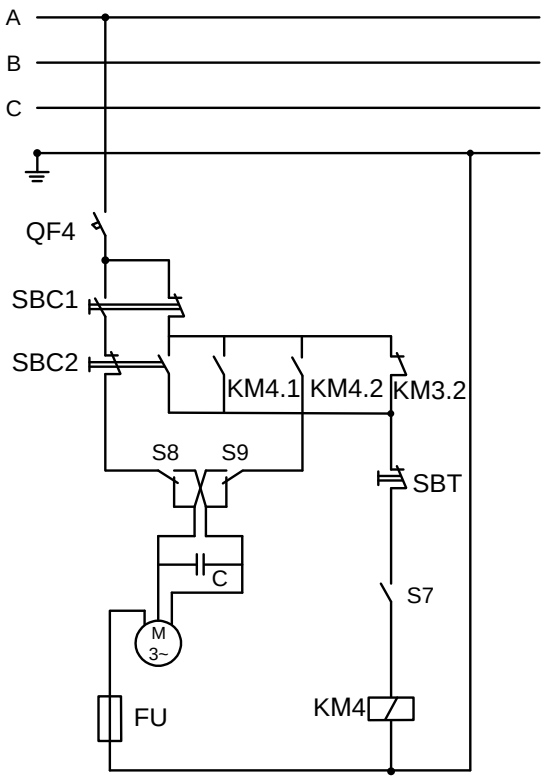


Рис. А4.4. Схема приводу регулятора напруги

Напрямок обертання двигуна М залежить від того, до якої з його фаз підключено напругу фази А мережі.

Висхідний стан схеми при включеному контакторі КМ3 (рис. А4.1) є наступним:

- блок-контакт КМ3.2 розімкнений;
- кінцевий вимикач регулювального трансформатора S7 розімкнено;
- автоматичний вимикач QF4 включено. При цьому напруга на виході регулювального трансформатора Т2 дорівнює нулю.

Напруга на виході Т2 збільшується при натисканні на кнопку SBC1. При цьому двигун починає переміщувати рухомі контакти регулювального трансформатора та замикається контакт S7. Для зниження напруги слід натиснути на кнопку SBC2. При цьому спрацьовує контактор КМ4. Блок – контакти КМ4.1 блокують кнопку SBC2, блок-контакти КМ4.2 забезпечують реверс двигуна. Напруга зменшиться до нуля, якщо не натиснути кнопку SBT. Якщо відпустити кнопку SBT та знов замкнути контакти SBC1, напруга знов почне зростати. Коли движки регулювального трансформатора Т2 досягнуть верхнього положення (що буде відповідати максимальній напрузі на виході регулювального трансформатора), спрацюють кінцеві вимикачі S8, S9 і напруга знизиться, а контакти S8, S9 займуть положення, яке відповідає рис. 6.4. Якщо у процесі роботи сталося відключення контактора КМ3 (рис. 6.1), то його блок – контакти замкнуть коло контактора КМ4 і напруга на виході регулювального трансформатора знизиться до нуля. Запобіжник FU та автомат QF4 захищають двигун від короткого замикання.

Блок високовольтного живлення 2 (рис. А4.1) ГІН являє собою двотактну схему подвоєння (Латура) з заземленим полюсом випрямленої напруги на осно-

ві високовольтного трансформатора Т3, випрямлячів VD та конденсаторів С1 та С2 (рис. А4.5).

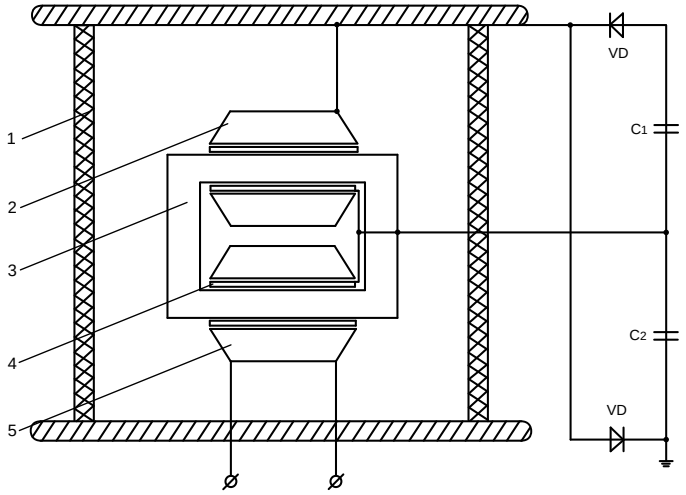


Рис. А4.5. Блок високовольтного живлення ГІН
1 – ізоляційний кожух; 2 – обмотка високої напруги;
3 – магнітопровід; 4 – обмотки вирівнювання; 5 – обмотка низької напруги

Випробувальний трансформатор Т3 виконаний у ізоляційному кожусі (1). Обмотки високої (2) та низької (5) напруг знаходяться на різних осердях.

Для підсилення електромагнітного зв'язку між обмотками та зниження індуктивності розсіювання введено обмотки вирівнювання (4). Магнітопровід ізольовано від днища кожуху; він знаходиться під постійним потенціалом U_{max}. Під тим же потенціалом працюють обмотки вирівнювання.

У разі, якщо магнітопровід такого трансформатора був би заземленим, то ізоляцію одного з країв обмотки високої напруги відносно магнітопроводу необхідно було б розраховувати на напругу $2U_{max}$. (U_{max} - амплітудне значення напруги високовольтної обмотки).

Обмотки високої та низької напруг виконуються ізольованими від магнітопроводу на напругу U_{max}, а ізоляція між ними, яка розрахована на напругу $2U_{max}$, забезпечується за допомогою бар'єру з електрокартону.

Схема керування автоматичним короткозамикачем (розрядним вимикачем) QK (блок 3 за рис. А4.1), який призначено для розрядки конденсаторної батареї ГІН та конденсаторів С1, С2 схеми подвоєння напруги, приведена на рис. А4.5.

Короткозамикач автоматично спрацьовує при відключенні контактора КМ3 (рис. А4.1.) з пульту керування, або при втраті його живлення з інших причин (наприклад, відключення живлячої електромережі). При цьому розмикається контакт КМ3.3 згідно рис. А4.5.

Ніж короткозамикача переміщується за допомогою електродвигуна М постійного струму з послідовним збудженням. Енергія на розходження контактів QK надходить від мережі змінного струму через випрямляч, а енергія на замикання контактів накопичується у конденсаторній батареї C_1, яка включена у схему приводу короткозамикача.

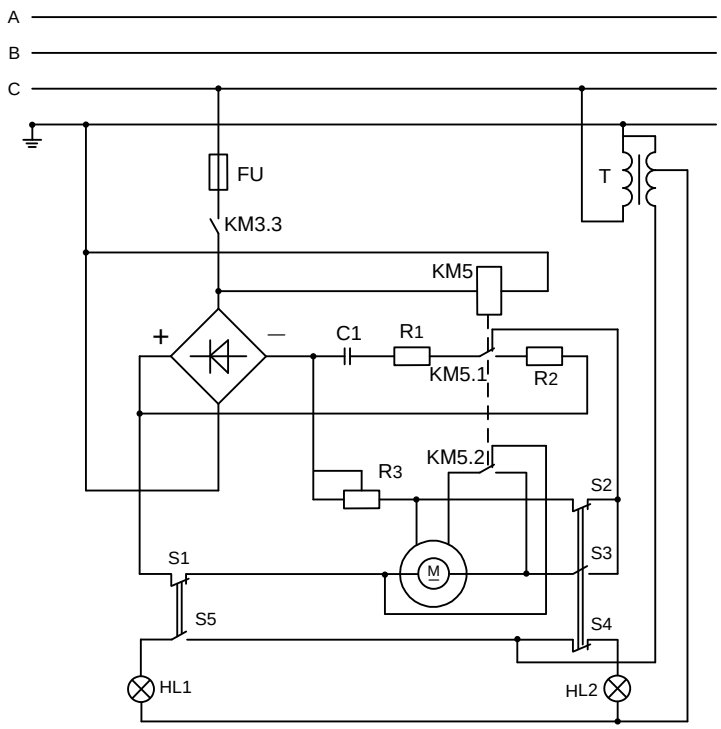


Рис. А4.6. Схема приводу короткозамикача

У процесі підготовки ГІН до роботи після включення контактора КМ3 його блок-контакти КМ3.3 підключають контактор КМ5 та подають напругу на випрямляч VD. Контакти КМ5.1 замикають коло заряду конденсаторної батареї С1 через резистори R1та R2, а контакти КМ5.2 підключають двигун М, який забезпечує розходження контактів короткозамикача QK у схемі згідно рис. 6.1. При цьому забезпечується коло струму двигуна: плюс випрямляча – контакти кінцевого вимикача приводу S1 – обмотка якоря двигуна – контакти КМ5.2 – збуджувальна обмотка двигуна – резистор R3 – мінус випрямляча. Відключення контактів короткозамикача супроводжується переключенням контактів кінцевих вимикачів S1 – S5. Контакт S1 розмикає коло живлення двигуна, а контакт S5 підключає сигнальну лампу HL1 «Стій! Висока напруга» біля дверей, які ведуть на випробувальне поле.

При відключенні контактора К3 або втраті напруги у мережі живлення контакти КМ5.1 та КМ5.2 повертаються у положення, яке наведене на рис. А4.6.

При цьому утворюється коло живлення двигуна: плюс конденсаторної батареї – резистор R1 – контакти S3 – обмотка якоря двигуна – контакти КМ5.2 - обмотка послідовного збудження двигуна – резистор R3 – мінус конденсаторної батареї. Змінюються напрям струму у обмотці якоря двигуна (струм у обмотці послідовного збудження не змінює напрямку) та напрям обертання двигуна, включаються контакти короткозамикача, переключаються контакти кінцевих вимикачів S1 – S5, контакти S3 розмикають коло живлення двигуна, контакти S5 знеструмлюють сигнальну лампу HL1, а контакти S4 підключають лампу HL2.

Для вимірювання зарядної напруги ступенів ГІН (рис. А4.1) використовується омічно-ємнісний подільник напруги (4), який складається з високовольтного ($C_{п1}$, $R_{п1}$) та низьковольтного вимірювального ($C_{п2}$, $R_{п2}$) плечей. Вольтметр V, який приєднаний до вимірювального плеча, знаходиться у пульті керування.

Регулювання вихідної напруги ГІН здійснюється зміною відстані між шарами розрядників FV1 – FV4 ГІН за допомогою асинхронного короткозамкненого двигуна М, обертання ротора якого перетворюється механічним редуктором у переміщення ізоляційної штанги з закріпленими на ній кулями розрядників. Схему керування відстані між кулями розрядників приведено на рис. А4.7. На пульт керування відстань між кулями передається за допомогою сельсинної пари М - М. Кнопки комутації реверсного магнітного пускача «Відстань між кулями збільшити, зменшити» винесені на пульт керування.

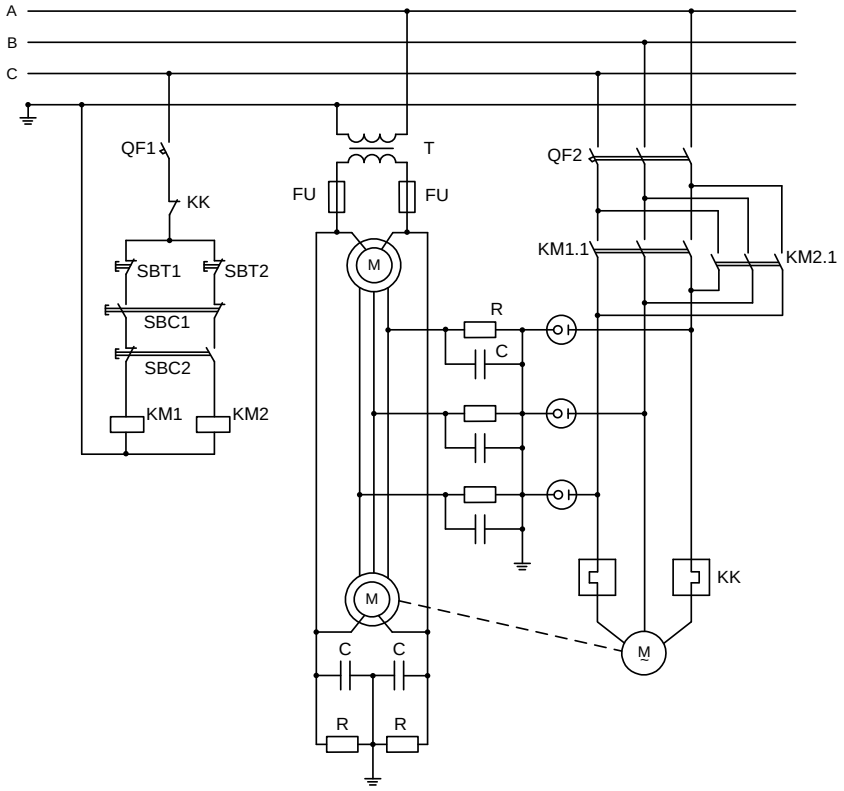


Рис. А4.7. Схема керування відстані між кулями розрядників ГІН

Кнопки керування SBC1 «Збільшити відстань» та SBC2 «Зменшити відстань» не шунтуються блок – контактами, тобто, ротор двигуна обертається, доки натиснуто одну з цих кнопок. У колах сельсинної передачі встановлено RC – фільтри та розрядники FV1 – FV3, які забезпечують стійкість її роботи в умовах впливу сильних електромагнітних полів

Вимірювання імпульсної напруги (згідно рис. А4.1) здійснюється за допомогою омічно-ємнісного подільника напруги (6) з високовольтним та вимірювальним плечима ($R_{п3}C_{п3}$), ($R_{п4}$ $C_{п4}$) відповідно. Ємність цього подільника може бути використана в якості ємності випробувального об’єкту.

Градуювання подільника за допомогою блока (7) згідно рис. А4.1 проводиться кульовим розрядником FV_{3P}. Напруга з вимірювального плеча подільника імпульсної напруги (6) надходить до високовольтного імпульсного осцилографа N.

Керування режимами стенду здійснюється зі спеціального пульту. Розташування органів керування на пульті приведено на рис. А4.8.

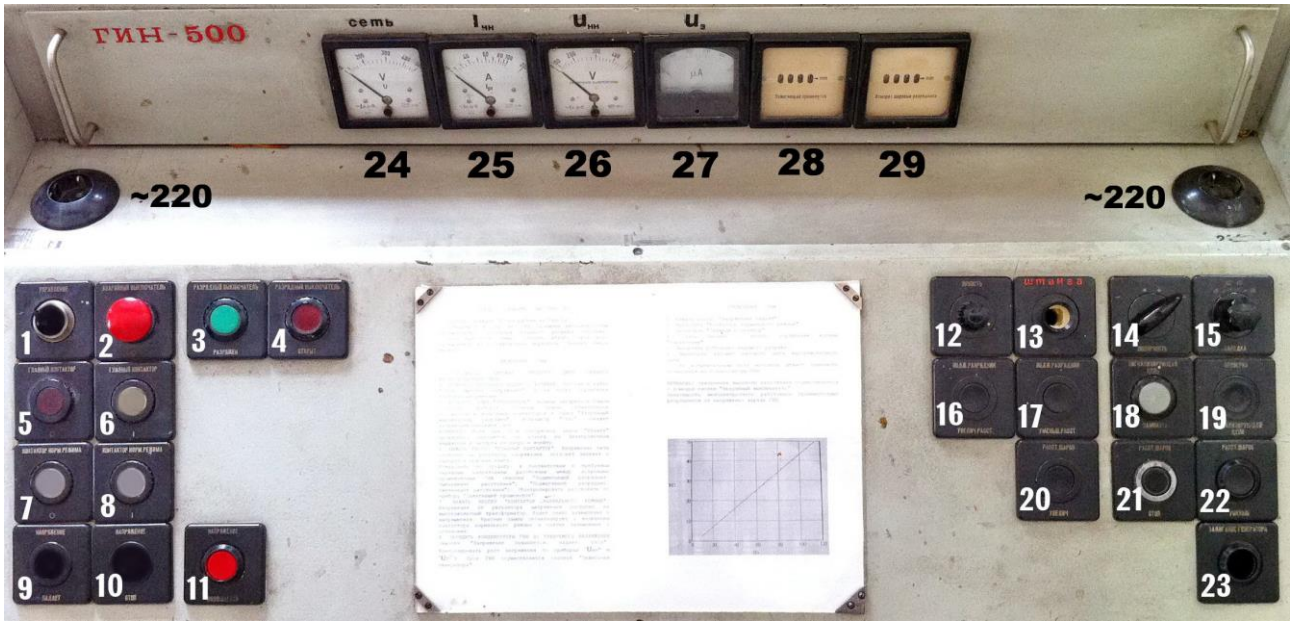


Рис. А4.8. Пульт керування ГІН

1 – включення керування; 2 – аварійний вимикач; 3 – розрядний вимикач «відключити»; 4 – розрядний вимикач «включити»; 5 – головний контактор «відключити»; 6 – головний контактор «включити»; 7 – контактор нормального режиму «відключити»; 8 – контактор нормального режиму «включити»; 9 – напругу «зменшити»; 10 – напруга «стоп»; 11 – напругу «підвищити»; 12 – яскравість; 13 – заземлююча штанга; 14 – полярність імпульсу; 15 – зарядна напруга; 16 – розрядник підпалювання «збільшити відстань»; 17 – розрядник підпалювання – «зменшити відстань»; 18 – сигнальне коло; 19 – перевірка сигнального кола; 20 – відстань між кулями «збільшити»; 21 – відстань між кулями «стоп»; 22 – відстань між кулями «зменшити»; 23 – підпалювання генератора; 24 – контроль мережі; 25 – струм зарядження; 26 – регульована первинна низька напруга; 27 – напруга ГІН; 28 – відстань між електродами проміжку підпалювання; 29 – вимірювальний кульовий розрядник.

2. Інструкція з експлуатації

Вихідне (початкове) положення:

2.1. Встановити нульове значення напруги кнопкою 9.

2.2. Відключити джерело живлення автоматом QF1, натиснувши кнопку «Викл».

2.3. Вимкнути вимикач з видимим розривом QS.

2.4. Відкрити двері огородження, накласти переносний заземлювач на вивід високої напруги ГІН.

6.2.5. Підключити до виводу високої напруги ГІН перший дослідний об’єкт.

2.6. Зняти переносний заземлювач з виводу високої напруги генератора та встановити його на важелі блок-контакту дверей, закрити двері огородження.

Порядок роботи:

2.7. Включити автомати QF1 – QF4, які розташовані на внутрішній частині пульту керування.

2.8. Включити перемикач «Керування» 1 на лицьовій панелі пульту.

2.9. Натиснути на кнопку 6 – головний контактор - «включити».

2.10. Натиснути на кнопку 8 – контактор нормального режиму – «включити».

2.11. Зарядити конденсатори ГІН до необхідної напруги.

2.12. Натиснути на кнопку 23 «підпалювання генератора».

2.13. Визначити за допомогою осцилографа параметри імпульсу напруги.

2.14. Зняти осцилограми імпульсних хвиль ГІН при різних значеннях $R_д$ та $R_р$. У якості ємності навантаження використовувати конденсатори подільника напруги. Порівняти амплітуди імпульсів на отриманих осцилограмах.

Порядок вимикання стенду:

2.15. Встановити нульове значення напруги кнопкою 9.

2.16. Натиснути на кнопку 7 – контактор нормального режиму – «відключити».

2.17. Натиснути на кнопку 5 – головний контактор – «відключити».

2.18. Включити заземлюючу штангу ГІН.

2.19. Виключити автомати QF1 – QF4, натиснувши кнопку "Викл".

2.20. Вимкнути рубильник з видимим розривом QS.

2.21. Відкрити двері огородження, накласти переносний заземлювач на вивід високої напруги ГІН.

3. Техніка безпеки при роботі на стенді

3.1. Роботу виконують згідно інструкції з охорони праці «Безпека праці при роботі в електроустановках кафедри техніки і електрофізики високих напруг», а також з використанням нормативних документів “Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів”, “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”.

3.2. Під час виконання робіт повинні виконуватись вимоги інструкцій по роботі з електровимірювальними приладами та апаратами.

3.3. До роботи допускають студентів лише після проведення інструктажів з техніки безпеки, загального та на робочому місці (під розпис).

3.4. Робота на високовольтному стенді виконується лише під наглядом викладача.

3.5. При роботі на стенді обов’язково використовувати електрозахисні засоби: діелектричні рукавички та діелектричний килим.

3.6. Доступ на випробувальне поле високовольтного стенду до початку роботи та у процесі її виконання дозволяється лише після відключення рубильника видимого розриву QS та автоматичного вимикача QF1, заземлення елементів схеми ГІН за допомогою переносного заземлювача та його накладення на вивід високої напруги ГІН.

Увага!

1. Максимальна напруга при роботі на стенді не повинна перевищувати 120 кВ.

Додаток А5

ПАСПОРТ СТЕНДУ № 5

Призначення стенду: дослідження на моделях зон захисту стрижневих блискавковідводів.

Технічні параметри стенду: живлення стенду здійснюється від мережі змінної напруги 380/220В частотою 50 Гц. Максимальна робоча напруга ГІН складає 200 кВ.

1. Схема стенду

На рис. А5.1 наведена електрична схема стенду № 5. Джерелом високої напруги (ВН) є імпульсний генератор високої напруги ГІН-400.

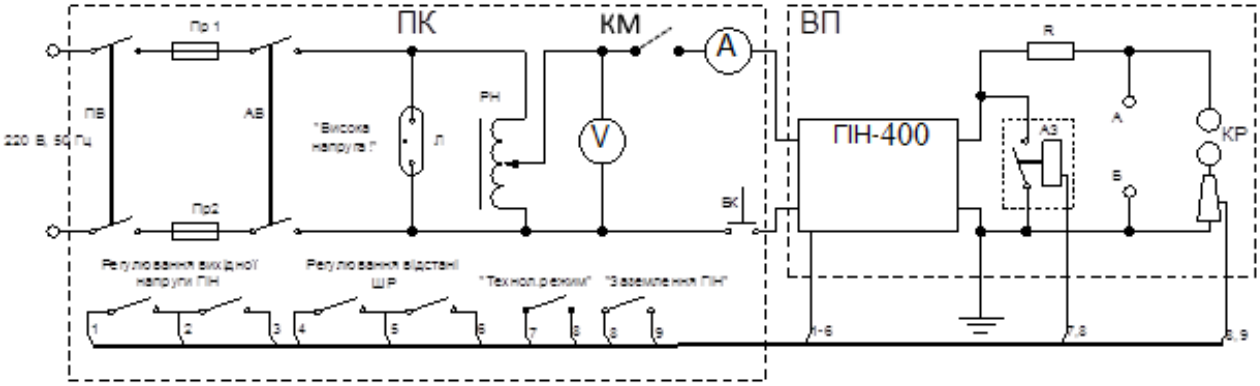


Рис. А5.1. Електрична схема стенду № 5

Принцип дії ГІН полягає у паралельному заряді високовольтних конденсаторів на початковому етапі його роботи та перемиканні заряджених конденсаторів за допомогою кульових розрядників у послідовне з'єднання на другому етапі – етапі генерації високовольтної хвилі напруги.

Пульт керуванням ГІН-400 та всім стендом в цілому передбачає наявність наступних контрольних приладів та вимикачів (рис. 7.2).

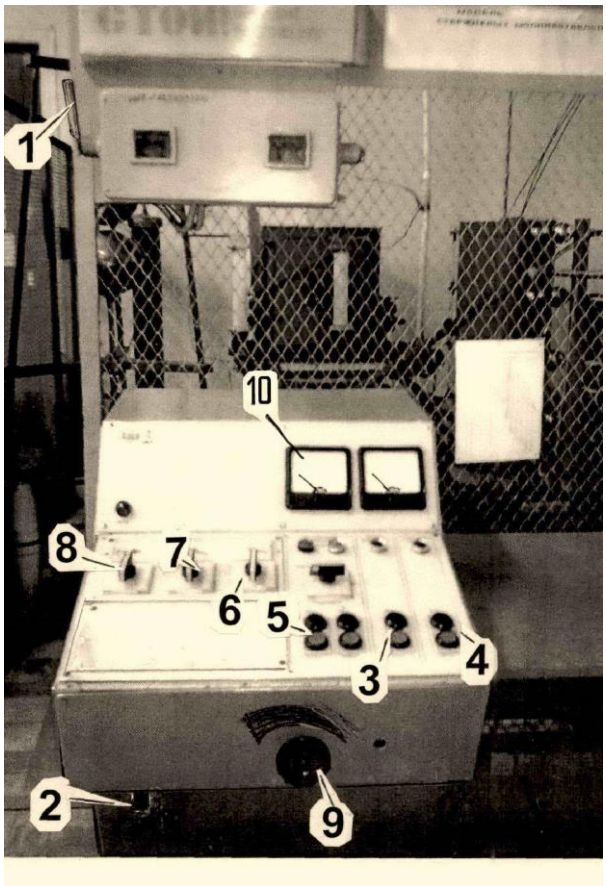


Рис. А5.2. Пульт керування ГІН-400

1 – рубильник видимого розриву; 2 – перемикач автомата захисту; 3 – кнопки управління заземлювачами; 4 – кнопки включення накалу кенотронів; 5 – кнопки «ВКЛ», «ОТКЛ» джерела живлення генератора; 6 – перемикач регулювання вихідної напруги джерела живлення ГІН-400; 7 – перемикач регулювання величини відстані між електродами об'єкта дослідження; 8 – перемикач регулювання величини відстані між кулями вимірювального розрядника КР; 9 – ручка регулювання величини вихідної напруги ГІН-400; 10 – прилади контролю вхідної напруги джерела живлення ГІН-400 та струму, що ним споживається.

2. Інструкція з експлуатації

Вихідне (початкове) положення:

2.1. Відключити джерело живлення автоматом АВ (2) переміщенням його перемикача в нижнє положення.

2.2. Вимкнути рубильник ПВ (1).

2.3. Рукоятку регулятора напруги РН (9) встановити в нульове положення.

2.4. Відкрити двері огородження, накласти переносний заземлювач на вихідний вивід генератора імпульсної напруги.

2.5. Підключити до виводу високої напруги ГІН перший дослідний об'єкт.

2.6. Зняти переносний заземлювач з вихідного виводу ГІН та встановити його на важелі блок-контакту дверей, закрити двері огородження.

Порядок роботи:

2.7. Включити джерело живлення автоматом АВ (2) переміщенням його перемикача в верхнє положення.

2.8. Ввімкнути рубильник ПВ (1),

2.9. Включити джерело живлення генератора (5), натиснувши кнопку "ВКЛ".

2.10. Розвести кулі вимірювального розрядника на відстань 50 мм, шляхом включення перемикача «Сферичний розрядник»-«Більше» (8), відстежуючи відстань між кулями по циферблату.

2.11. Включити розігрів накалів випрямляючих вакуумних ламп (кенотроннів) ГІН, натиснувши кнопку «Вкл» «Технологічний режим» (4).

2.12. Через 2 хвилини, на протязі яких лампи досягнуть технологічного режиму, розземлити ГІН, натиснувши кнопку «Вкл» «Заземлення» (3).

2.13. Плавно підвищити напругу на зарядному пристрої ГІН шляхом обертанням рукоятки регулятора РН (9) до появи імпульсів на його виході, але не більше ніж до 110-120 В, контролюючи вхідну напругу по вольтметру (11) на пульті керування. Частота генерування імпульсів може бути підвищена або знижена шляхом регулювання зарядної напруги. Максимальна частота не повинна перевищувати 1 імпульс в 2 секунди.

2.14. У разі, коли об'єкт випробування не пробився від поданих на нього імпульсів, необхідно збільшити їх амплітуду. Для цього необхідно, перемкнувши вимикач «ГІН» у положення «Більше» (7), розвести іскрові розрядники ГІН до моменту першого пробою об'єкту.

2.15. Після цього необхідно так підібрати амплітуду вихідних імпульсів ГІН, (тобто зменшити чи збільшити відстань між його іскровими розрядниками) щоб 50% імпульсів пробивали об'єкт, а 50%- не пробивали.

2.16. Встановивши таким чином необхідну амплітуду імпульсу, необхідно її виміряти, використовуючи для цього вимірювальні кульові розрядники.

2.17. Перед вимірюванням амплітуди імпульсу необхідно відключи об'єкт від ГІН-400. Для цього необхідно вимкнути ГІН-400 (див. вимкнення ГІН нижче за текстом), відкрити двері огородження, накласти переносний заземлювач на вихідний вивід генератора та від'єднати об'єкт дослідження.

2.18. Вимірювання вихідної напруги ГІН-400 необхідно починати з його ввімкнення автоматом АВ та рубильником ПВ, після чого включити на 2 хвилини розігрів накалів кенотронів, натиснувши кнопку «Вкл» «Технологічний режим», через 2 хвилини розземлити ГІН, натиснувши кнопку «Вкл» «Заземлення» (3), та кнопкою (5) (рис. 7.2) включити поштовхом напругу живлення генератора.

2.19. Для вимірювання вихідної напруги ГІН-400 необхідно плавно наблизити кулі вимірювального розрядника КР одну до одної, шляхом включення перемикача «Сферичний розрядник»-«Менше» (7), відстежуючи відстань між кулями

по циферблату.

2.20. Після виникнення першого розряду між кулями, необхідно виставити таку відстань між ними, щоб 50% імпульсів викликали пробій проміжку, а 50% - не викликали пробою.

2.21. Визначити амплітуду імпульсів, використовуючи для цього виміряну відстань між кулями вимірювального розрядника.

2.22. Розвести кулі вимірювального розрядника на відстань 50 мм, а потім знову наблизити їх одну до одної, повторивши попередній експеримент. Виміри необхідно повторити п'ять разів.

Порядок вимикання стенду:

2.23. Встановити рукоятку регулятора РН (9) в нульове положення.

2.24. Виключити джерело живлення генератора, натиснувши кнопку "ОТКЛ" (5).

2.25. Заземлити ГІН, натиснувши кнопку «ОТКЛ» «Заземлення» (3).

2.26. Виключити розігрів накалів випрямляючих вакуумних ламп (кенотронів) ГІН, натиснувши кнопку «ОТКЛ» «Технологічний режим» (4);

2.27. Вимкнути рубильник ПВ (1).

2.28. Відключити джерело живлення автоматом АВ (2) переміщенням його перемикача в нижнє положення.

2.29. Відкрити двері огородження, накласти переносний заземлювач на вихідний вивід генератора імпульсної напруги.

3. Техніка безпеки при роботі на стенді

3.1. Роботу виконують згідно інструкції з охорони праці «Безпека праці при роботі в електроустановках кафедри техніки і електрофізики високих напруг», а також з використанням нормативних документів "Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів", "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів".

3.2. Під час виконання робіт повинні виконуватись вимоги інструкцій по роботі з електровимірювальними приладами та апаратами.

3.3. До роботи допускають студентів лише після проведення інструктажів з техніки безпеки, загального та на робочому місці (під розпис).

3.4. Робота на високовольтному стенді виконується лише під наглядом викладача.

3.5. При роботі на стенді обов'язково використовувати електрозахисні засоби: діелектричні рукавички та діелектричний килим.

3.6. Всі операції на випробувальному полі виконують після накладання переносного заземлювача на вихідний вивід ГІН.

Увага!

1. Максимальна напруга при роботі на стенді не повинна перевищувати 200 кВ.

Додаток А6

ПАСПОРТ СТЕНДУ № 6

Призначення стенду: дослідження ефекту полярності електродів в газових проміжках з різконеоднорідним полем за допомогою генератора постійної напруги GP-50/300.

Технічні параметри стенду: живлення стенду здійснюється від мережі змінної напруги 380/220В частотою 50 Гц. В стенді використовується генератор постійної напруги (ГПН), який генерує постійну напругу різної полярності амплітудою до 70 кВ при максимальному струмі навантаження 0,1 А.

1. Схема стенду

Стенд № 6 побудований на основі генератора постійної високої напруги виробництва підприємства TUR (Німеччина).

Живлення трансформатора TR1 відбувається з мережі 380/220 В, 50 Гц. Конструкція трансформатора виконана таким чином, що між мережевою (низьковольтною) обмоткою, та високовольтною обмоткою знаходиться ізоляція, розрахована на робочу постійну та змінну напругу 150 кВ. Функціональна схема трансформатора наведена на рис. А6.1.

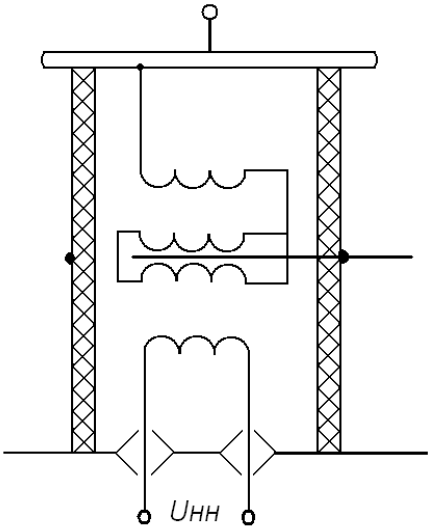


Рис. А6.1. Схема високовольтного трансформатора TR1 генератора постійної напруги GP50/300

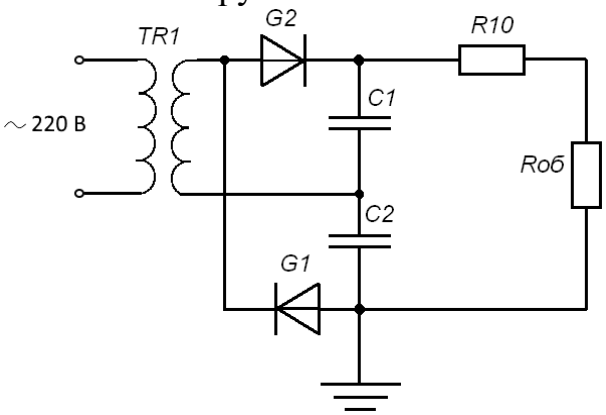


Рис. А6.2. Електрична схема генератора постійної напруги GP50/300

Змінна висока напруга максимальною амплітудою 150 кВ подається на випрямляючі селенові вентилі G1 та G2, які розраховані на зворотну напругу 300 кВ та максимальний струм навантаження до 0,1 А. При вказаних на рис. А6.2 полярностях вентилів високовольтні конденсатори *C*1 та *C*2 (номінальна ємність 144 нФ) заряджаються до максимальної напруги в 150 кВ (один на позитивному, а інший на негативному півперіоді промислової частоти). На виході генератора ці напруги сумуються, завдяки чому вихідна напруга генератора стає рівною 300 кВ. У разі необхідності в зміні полярності вихідної напруги потрібно змінити полярність включення вентилів G1 та G2 на протилежну.

Випробна напруга подається на об’єкт випробувань через обмежуючий резистор *R*10, який має опір електричному струму 50 кОм, та розрахований на номінальну напругу генератора в 300 кВ. Цей опір необхідний для обмеження струму через вентилі G1 та G2 у разі пробою об’єкта випробувань, та упередження можливості пошкодження вентилів.

В генераторі передбачена можливість вимірювання вихідної напруги на об’єкті досліджень. Для цього використовується високовольтний резистивний подільник MR1/300, який має коефіцієнт ділення 1/300, та складається з високовольтного плеча R11, та низьковольтного плеча H136. Сигнал з низьковольтного плеча подається на вимірювач MU7-1, який встановлений на пульті керу-

вання генератора і має три границі вимірів – 100 кВ, 200 кВ, 400 кВ, які перемикаються відповідними кнопками.

Всі елементи вимірювальної схеми мають відповідний захист розрядниками від можливості підвищення вихідних напруг вище 300 В.

Крім цього, генератор має автоматичну систему заземлення вихідних кіл, яка спрацьовує у разі відключення установки, незважаючи на причину відключення (пробій, вимкнення, спрацювання систем блокування і т.ін.).

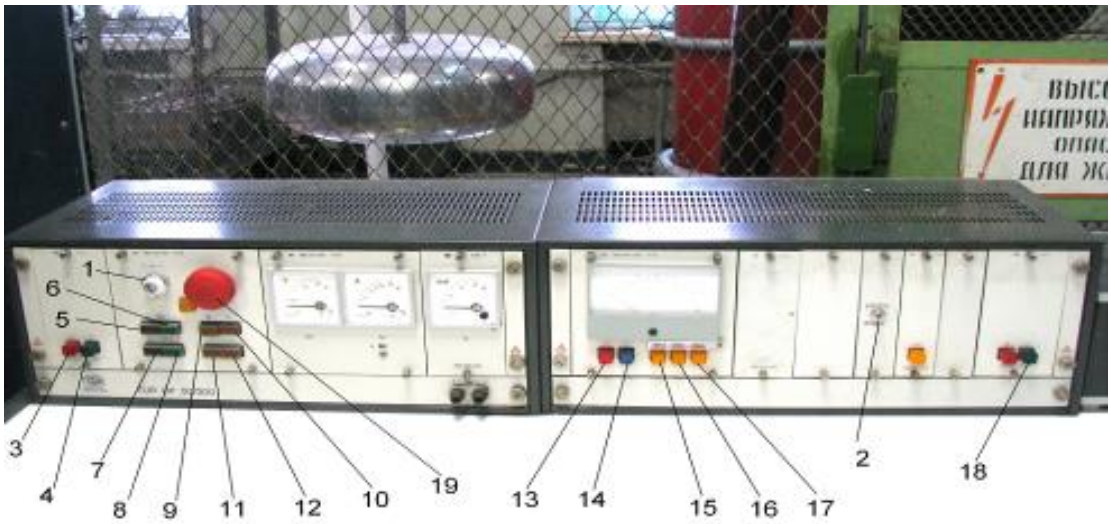


Рис.А6.3. Пульт керування стендом № 6

2. Інструкція з експлуатації

Вихідне (початкове) положення:

2.1. Відключити джерело живлення пульта керування стенду за допомогою вимикача 1, що замикається на ключ.

2.2. Накласти переносний заземлювач на високовольтний вивід генератора.

2.3. Встановити необхідну полярність вентилів генератора.

2.4. Візуально перевірити цілісність шин заземлення, розташованих на підлозі.

2.5. Зняти переносний заземлювач та встановити його на кінцевий вимикач над вхідними дверями випробувального поля.

2.6. Зачинити двері випробувального поля.

Порядок роботи:

2.7. Включити живлення генератора за допомогою вимикача 1, що замикається на ключ.

2.8. Включити коло керування натисканням кнопки «Загальний контакт ВКЛ» 4.

2.9. Встановити початкову міжелектродну відстань перемикаючи тумблер в режими «ВВЕРХ», «ВНИЗ» 2.

2.10. Включити універсальний пристрій для виміру випробних напруг 18, після його включення вибрати (відповідно до розташування діодів) полярність режиму роботи 13(+); 14(-).

2.11. Встановити границю вимірювання подільника напруги приладу MU7-1 на 100 кВ 17.

2.12. Включити головний контактор ВКЛ 6.

2.13. Включити кнопкою 8 контактор подачі високої напруги.

2.14. Для регулювання швидкості підйому напруги використовувати потенціометр, що розташований у нижній частині стенду. Отримати необхідну напругу за допомогою кнопок «зростання напруги» 11, «зменшення напруги» 12. Натискання кнопки «ВКЛ» 10 фіксує швидкість зміни напруги. Швидкість зміни напруги задається регулятором, що розташований на тумбі під пультом справа.

2.15. У разі необхідності установка УПТ-300 може бути виключена в екстреному режимі шляхом натискання червоної кнопки 19.

Порядок вимикання стенду:

2.16. Необхідно зменшити напругу на виході генератора до нуля шляхом натискання кнопки 12. Напругу контролювати за показанням приладу MU7-1.

2.17. Виключити кнопкою 7 контактор подачі високої напруги.

2.18. Виключити кнопкою 5 пульт керування генератором GP50/300.

2.19. Виключити пульт керування генератора натисканням кнопки 3.

2.20. Виключити живлення генератора за допомогою вимикача 1, що замикається на ключ.

2.21. Накласти переносний заземлювач на високовольтний вивід генератора.

3. Техніка безпеки при роботі на стенді

3.1. Роботу виконують згідно інструкції з охорони праці «Безпека праці при роботі в електроустановках кафедри техніки і електрофізики високих напруг», а також з використанням нормативних документів “Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів”, “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”.

3.2. Під час виконання робіт повинні виконуватись вимоги інструкцій по роботі з електровимірювальними приладами та апаратами.

3.3. До роботи допускають студентів лише після проведення інструктажів з техніки безпеки, загального та на робочому місці (під розпис).

3.4. Робота на високовольтному стенді виконується лише під наглядом викладача.

3.5. При роботі на стенді обов’язково використовувати електрозахисні засоби: діелектричні рукавички та діелектричний килим.

3.6. Вхід на високовольтне поле стенду дозволяється лише після спрацювання автоматичного заземлювача стенду.

3.7. Всі операції на випробувальному полі виконують після накладання переносного заземлювача на вихід високої напруги генератора.

Увага!

1. Максимальна напруга при роботі на стенді не повинна перевищувати 70 кВ.

Додаток А7

ПАСПОРТ СТЕНДУ № 7

Призначення стенду: , призначений для дослідження характеристик ізоляційних матеріалів та конструкцій.

Технічні параметри стенду: живлення стенду здійснюється від мережі змінної напруги 380/220В частотою 50 Гц. В стенді використовуються: міст Р-5026; міст «ВЕКТОР», мегометр Ф4100, прилад для вимірювання ємнісних характеристик ізоляції ПКВ-7; прилад для вимірювання струмів абсорбції в ізоляції У-268; хроматограф ЛХМ-72МД; тепловізор; термошафи.

1. Схема стенду

7.1. Схему дослідної установки з використанням моста Р-5026 зображено на рис.А7.1. Вона містить фазорегулятор Ф, автотрансформатор типу ЛАТР, високовольтний трансформатор НОМ-10 і вимірювальний міст.

Одно плече моста – ємність досліджуваного об'єкта C_x, друге – еталонний конденсатор без втрат C_N, третє – магазин опорів R_3. Четверте плече моста складається з постійного опору R_4 і магазина ємностей C_4. Нуль-індикатором служить транзисторний підсилювач із живленням від гальваніч-них елементів постійного струму зі стрілковим приладом на виході.

Особливістю моста Р-5026 є можливість вимірювання за нормальною чи перевернутою схемою. У першому випадку обидва електроди досліджуваного об'єкта ізольовані від землі, у другому – один з електродів заземлений, як показано на рис. А7.1.

Під час вимірювання за перевернутою схемою вимірювальна частина моста перебуває під високою напругою. Конструкція моста передбачає ізоляцію вимірювальної частини від заземленого корпусу для забезпечення вимог техніки безпеки в процесі випробувальних робіт.

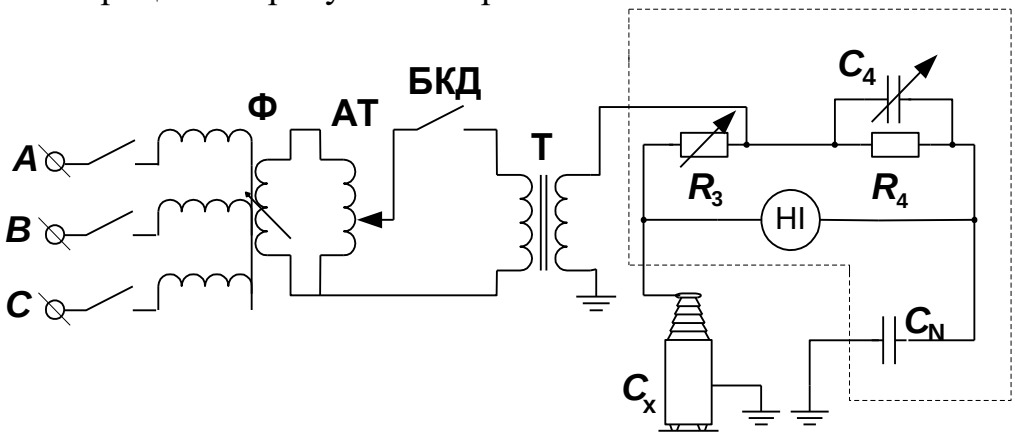


Рис. А7.1. Принципова схема експериментальної установки для вимірювання діелектричних втрат.

7.2. Для вимірювання ємнісних характеристик комбінованої паперово-масляної ізоляції (значень C_2/C_{50} і $C_{абс}/C_г$) застосовують прилад ПКВ-7. На рис. А7.2 зображено спрощену схему, що пояснює принцип вимірювання зазначених величин. Об'єкт дослідження подано схемою заміщення Максвелла – Вагнера.

У процесі вимірювання геометричної ємності $C_г$ випробовуваного об'єкта він спочатку заряджається від джерела стабілізованої постійної напруги U_0 = 350 В через замкнуті контакти К3, а потім, після їхнього перемикання розряджається на еталонний конденсатор $C_{ет}$ через замкнуті контакти К2. Через 0,01 с контакти К2 розмикаються, а К1 – замикаються, закорочуючи об'єкт випробування.

За час 0,01 с відбувається розрядження тільки ємності $C_г$, бо постійна її розряду дуже мала й визначається фактично омічним опором контактів К3 та К2. Тому напруга на еталонному конденсаторі пропорційна ємності $C_г$.

Напругу на еталонному конденсаторі вимірюють вольтметром з високим вхідним опором, шкала якого градуйована в одиницях ємності.

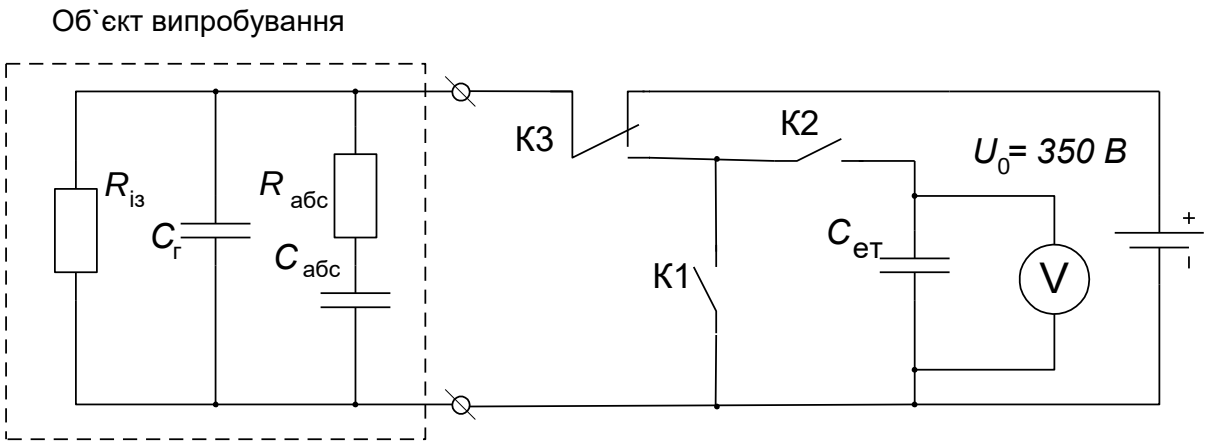


Рис. А7.2. Схема, яка пояснює принцип вимірювання ємнісних характеристик ізоляції

7.3. Для вимірювання опору ізоляції та визначення коефіцієнта абсорбції застосовують електронний мегомметр типу Ф-4100.

Електронний мегомметр живиться від мережі змінного струму 220 В, 50 Гц; він має блок стабілізованої напруги на 2500 В, високочутливий вольтметр і еталонний опір (рис. А7.3).

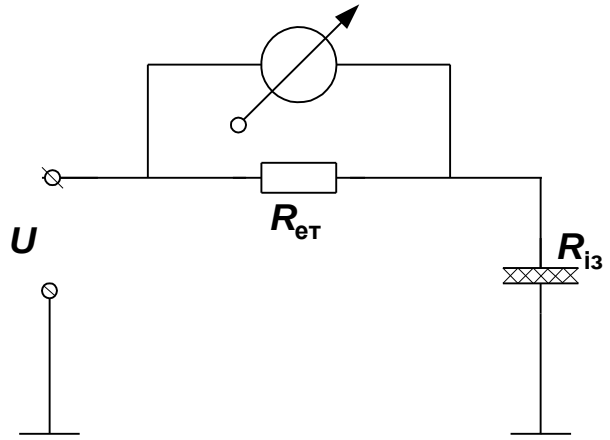


Рис. А7.3. Вимірювання напруги на еталонному опорі електронного мегомметра

Мегомметр має клеми з написами ЛІНІЯ, ЗЕМЛЯ та ЕКРАН. Клему ЛІНІЯ приєднують до високовольтної обмотки електричної машини чи трансформатора, а клему ЗЕМЛЯ – до заземленого корпуса.

Мегомметр підключають до досліджуваного об’єкта. Струм, що проходить через ізоляцію й еталонний опір, залежить від опору ізоляції, тому спад напруги на еталонному опорі також визначається опором ізоляції.

Вольтметр, що вимірює спад напруги на еталонному опорі, має шкалу, проградуйовану безпосередньо в мегаомах. Два реле часу сигналізують про моменти відліку через 15 і 60 с після подання напруги.

Досліджувані об’єкти – ізоляція трансформатора, електричної машини та моделі із сухою та зволоженою паперово-масляною ізоляцією (останні розміщені в термошафі).

7.4. Вимірювання струму абсорбції здійснюється за допомогою приладу абсорбції У-268. У ньому в цифровій формі фіксується значення струму абсорбції через 0,06, 0,1, 0,2, 0,4, 1, 2 с в діапазоні 0,1…1000 мкА, а також значення заряду геометричної ємності об'єкта дослідження в межах 0,1…1000 мкКл.

Струм вимірюють у три моменти часу після початку розрядження попередньо зарядженої ємності ізоляції, два з яких – 0,06 і 0,1 с – фіксовані, а третій може набувати одного із зазначених раніше значень.

Вимірювання заряду та трьох значень струму здійснюється автоматично. Тривалість циклу зарядження та вимірювання становить 60 с.

Функціональну схему вимірника струмів абсорбції зображено на рис. 3.3. Прилад містить зарядний пристрій (ЗП) та комутатор (К), керовані блоком автоматичного керування (БАК), блок ручного керування (БРК), масштабний перетворювач (МП), перетворювач напруги в код (ПНК), блок цифрової індикації (БЦІ) і блок живлення (БЖ).

Після натискання кнопки ПУСК, що знаходиться в БРК, відбувається запуск БАК, який формує команди керування роботою приладу відповідно до встановленого алгоритму. Від джерела постійної напруги 1000 В, що знаходиться в ЗП, заряджають об'єкт C_x, а потім вимірюють заряд його геометричної ємності $Q_г$ та струму абсорбції $i_{абс}$ в різні моменти часу.

За допомогою МП величини $Q_г$ та $i_{абс}$ перетворюють в постійні напруги, а потім за допомогою аналогово-цифрового перетворювача ПНК – у цифрові коди, які запам'ятовуються в БЦІ й виводяться на цифрове табло. Установка границь вимірювання $Q_г$ та $i_{абс}$, а також виведення результатів вимірювання на табло здійснюється за допомогою клавіатури БРК.

Об'єкт дослідження – моделі сухої та зволоженої паперово-масляної ізоляції розміщені в термошафі.

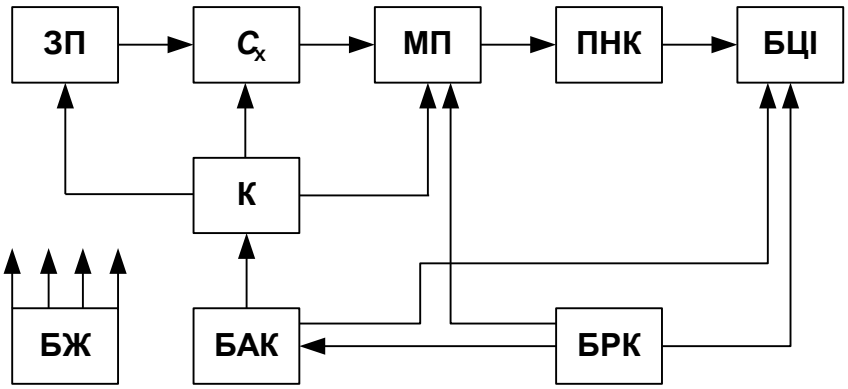


Рис. А7.4. Функціональна схема вимірника струму абсорбції

7.5. Для виконання досліджень з хроматографічного аналізу розчинених у маслі газів (ХАРГ) з отриманням концентрацій усіх газів, потрібних для діагностики розвиткових пошкоджень, можна застосовується хроматограф ЛХМ-72МД, який побудований за блок-схемою (рис. А7.51), згідно з якою аналіз газів виконується так.

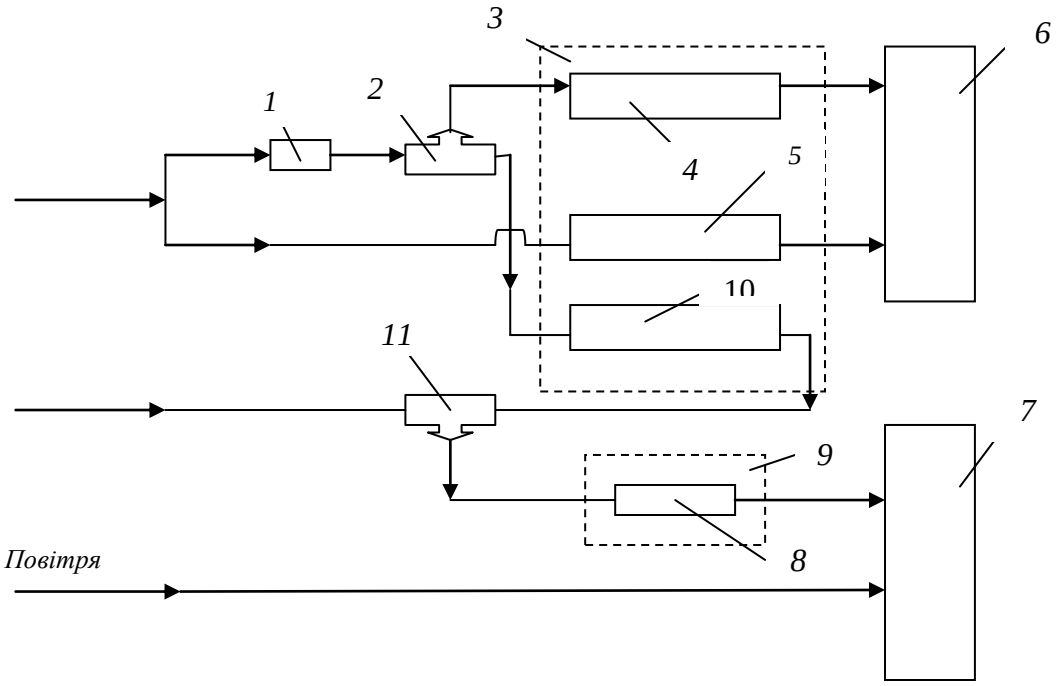


Рис. А7.5. Блок – схема хроматографа: *1* – дозатор; *2, 11* – трійники; *3* – термостат колонок; *4* – колонка з молекулярними ситами; *5* – колонка порівняння; *6* – детектор теплопровідності; *7* – полуменево-іонізаційний детектор; *8* – метанатор; *9* – термостат метанатора; *10* – колонка з полісорбом

За допомогою дозатора *1*, через який проходить газ-носій аргон, проба газу вводиться у трійник *2* і розділяється там на два потоки. Один з потоків подається на колонку з полісорбом-1 *10*, а другий – на колонку з молекулярними ситами *4*. Після колонки *5* компоненти проби потрапляють у детектор за теплопровідністю (ДТП) *6*, за допомогою якого здійснюється реєстрація H_2. Після колонки *10* компоненти проби потрапляють спочатку в метанатор *8*, де CO та CO_2 перетворюються в метан, а потім – у полуменево-іонізаційний детектор (ДІП), за допомогою якого реєструються CO, CO_2, CH_4, C_2H_4, C_2H_2, C_2H_6.

7.6. Для вимірювань за методом двох вольтметрів можуть застосовуватись як безпосередньо два окремих вольтметри, так вимірювальні багатофункціональні прилади (комплекси), що мають в своєму складі вольтметри чи мають декілька вимірювальних каналів, кожен з яких може бути приєднаний окремо до затискачів (виводів, клем тощо), де необхідно виміряти напругу. Одним із таких приладів є вимірювач «ВЕКТОР-2.0 М». Цей прилад дозволяє проводити вимірювання наступних величин:

- тангенс кута діелектричних втрат ізоляції;
- електричну ємність;
- частоту змінного струму та напруги;

- діючі значення перших гармонік напруги та струму (у т.ч. двох струмів чи двох напруг);

- різницю фаз між двома вхідними сигналами змінного струму та напруги (у т.ч. двох струмів чи двох напруг).

***Примітка**: у вимірювачі написи біля органах керування та на табло цифрового індикатора надані російською мовою, тому такі ж написи відтворюються далі по тексту методичних вказівок до цієї лабораторної роботи.*

Загальний вигляд лицьової панелі вказаного приладу представлений на рис. 1. На ній знаходяться:

1 – цифровий індикатор;

2 – світлодіод індикації режиму зарядки акумулятора;

3 – вікно інфрачервоного приймача-передавача;

4 – кнопка «РЕЖИМ»;

5 – кнопка «ВЫБОР»;

6 – кнопка «СБРОС»;

7 – кнопка вмикання-вимикання живлення «ВКЛ».

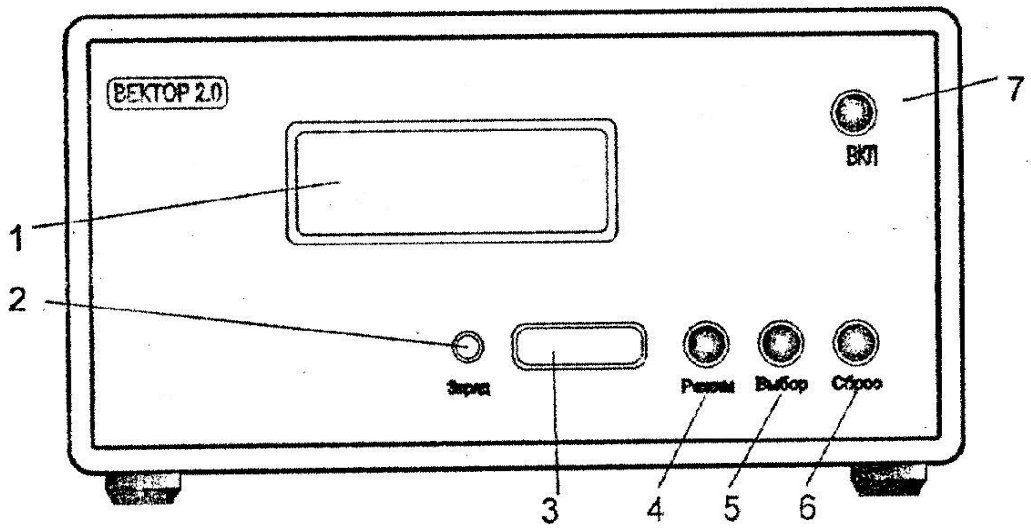


Рис. А7.6. Лицьова панель вимірювача «ВЕКТОР 2.0М»

На задній панелі, пердставленій на рис. А7.7, знаходяться:

1 – роз’єм для підключення вимірюваного струму не більше 100 мА до вимірювального входу (каналу) «0»;

2 - роз’єм для підключення вимірюваної напруги до вимірювального входу (каналу) «0»;

3 - роз’єм для підключення вимірюваного струму більше 100 мА до вимірювального входу (каналу) «0»;

4 – клема заземлення;

5 – кришка акумуляторного відсіку;

6 – тумблер перемикання функціонування вимірювача з робочих вимірювань на заряджання акумулятора - «РАБОТА»-«ЗАРЯД»;

7 - роз’єм для підключення кабелю зовнішнього мережевого блоку живлення;

8 - роз’єм для підключення вимірюваного струму більше 100 мА до вимірювального входу (каналу) «Х»;

9 - роз’єм для підключення вимірюваної напруги до вимірювального входу (каналу) «Х»;

10 - роз’єм для підключення вимірюваного струму не більше 100 мА до вимірювального входу (каналу) «Х»;

11 – кришка відсіку плавких запобіжників.

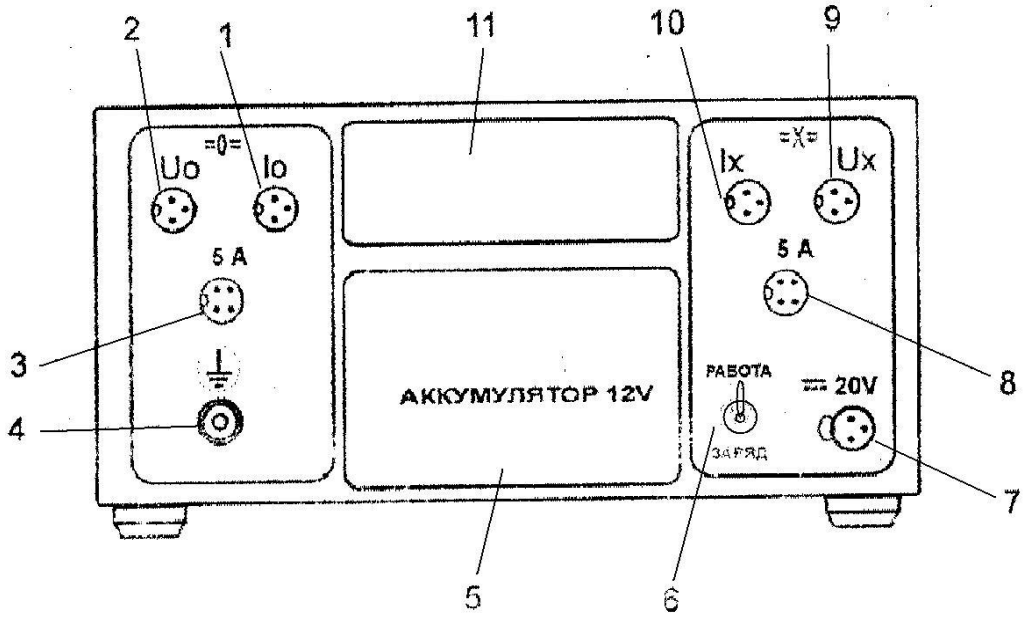


Рис. А7.7. Задня панель вимірювача

До комплекту вимірювача «ВЕКТОР-2.0 М» входять також блок зовнішнього мережевого живлення та пульт дистанційного керування (ДУ) з кнопками «РЕЖИМ» і «ВЫБОР», який дозволяє за допомогою інфрачервоного безпровідного зв’язку здійснювати управління вказаним вимірювачем. В комплект також входять кабелі з маркуванням стосовно допустимих значень струмів і напруг окремо для каналів «0» і «Х».

7.7. **Принцип дії та структурна схема тепловізора .** Тепловізор «Кріонік-2М» призначений для одержання теплових зображень і вимірювання миттєвого розподілу абсолютної температури різних об’єктів, що знаходяться на відстані 0,5…50 м і мають температуру в діапазоні – 40…+300 °С.

Принцип дії тепловізора базується на послідовному вимірюванні ІЧ випромінювання кожної точки поверхні нагрітого тіла, перетворенні його в електричний сигнал, а потім – у видиме зображення у формі термограми на моніторі персонального комп’ютера (ПК).

Конструктивно тепловізор включає два окремі, але функціонально пов’язані блоки:

– відеоблок, що забезпечує приймання випромінювання від контрольованого об’єкта й перетворення прийнятого випромінювання у відповідний електричний сигнал;

– пристрій керування відеоблоком і спеціалізованої обробки його вихідних сигналів на базі ПК типу Notebook.

Електричне з'єднання цих двох блоків здійснюється за допомогою інтерфейсного кабелю комп'ютера, а електричне живлення – від акумуляторів або мережі 220 В.

Тепловізор «Кріонік-2М», структурну схему якого показано на рис. 4.1, являє собою перетворювач ІЧ зображення з оптико-механічним скануванням.

Рис. 4.1. Структурна схема тепловізора «Кріонік-2М»

Кадрова та рядкова розгортки здійснюються двома дзеркалами, які коливаються відповідно у вертикальній та горизонтальній площинах. Кадрова розгортка здійснюється за допомогою кулачкового механізму. Для керування рядковою розгорткою застосовують генератор синусоїди. Кадрові та рядкові синхроімпульси формуються в пристрої синхронізації.

Об'єктив являє собою дзеркальний сферичний об'єктив Кассегрена. Електронний блок керування фокусуванням контролює переміщення об'єктива щодо приймача.

Нерухомий приймач ІЧ випромінювання розміщений у вакуумній частині оптичного кріостата (системи охолодження). Сигнал із фотоприймача надходить на попередній підсилювач. Посилений електричний сигнал подається на попередній відеопідсилювач із регульованим коефіцієнтом підсилення. Блок обробки забезпечує посилення сигналу до потрібного рівня й відновлення постійної складової сигналу.

Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) забезпечує перетворення сигналів у цифрову форму. У цій формі сигнал заноситься в оперативний за-

пам'ятовувальний пристрій (ОЗП), а пристрій керування виведенням цифрового сигналу забезпечує введення кожного рядка сигналу в ПК за допомогою паралельного інтерфейсу, створюючи там температурне зображення об'єктів. Отримані зображення мають назву термограми.

2. Техніка безпеки при роботі на стенді

2.1. Роботу виконують згідно інструкції з охорони праці «Безпека праці при роботі в електроустановках лабораторії високих напруг кафедри теоретичної електротехніки», а також з використанням нормативних документів "Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів", "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів".

2.2. Під час виконання робіт повинні виконуватись вимоги інструкцій по роботі з електровимірювальними приладами та апаратами.

2.3. До роботи допускають студентів лише після проведення інструктажів з техніки безпеки, загального та на робочому місці (під розпис).

2.4. Робота на високовольтному стенді виконується лише під наглядом викладача.

2.5. При роботі на стенді обов'язково використовувати електрозахисні засоби: діелектричні рукавички та діелектричний килим.

2.6. Вхід на високовольтне поле стенду дозволяється лише після спрацювання автоматичного заземлювача стенду.

2.7. Всі операції на випробувальному полі виконують після накладання переносного заземлювача на вихід високої напруги трансформатора.

Додаток А8

ПАСПОРТ СТЕНДУ № 8

Призначення стенду: дослідження струмів зрізу високовольтних вакуумного та елегазового вимикачів.

Технічні параметри стенду: живлення стенду здійснюється від мережі змінної напруги 380/220В частотою 50 Гц. В стенді використовуються високовольтний вакуумний вимикач VD4M 1212-25 та високовольтний елегазовий вимикач HD 4/C 12-06-25.

1. Схема стенду

Стенд № 8 побудований на основі живлення змінним струмом промислової частоти однієї фази обраного вимикача шляхом замикання обраної фази на активне навантаження, що забезпечує в колі струм, амплітудою більший за струм зрізу. Також в цьому колі присутній шунт, з якого знімається напруга та за допомогою осцилографа-приставки USB-Oscill передається на комп'ютер, відображається в реальному часі або зберігається у файл відповідного формату.

Живлення стенду відбувається трифазною мережею 380 В 50 Гц через рубильник S та автоматичний вимикач QS1. Автоматичні вимикачі QS2, QS3 відповідають за живлення кіл одного з досліджуваних високовольтних вимикачів (вакуумного VD4 та елегазового HD4, відповідно). Трипозиційний перемикач S1 відповідає за вибір для дослідження одного з двох досліджуваних високовольтних вимикачів, має нейтральну позицію. Чотирипозиційні перемикачі S2, S3 відповідають за вибір одного з 3 полюсів (P1, P2, P3) обраного високовольтного вимикача для дослідження, або нейтральну позицію. До вторинної обмотки трансформатора струму ТС приєднано амперметр А для контролю величини струму в досліджуваній гілці, який обмежується опором R. Відводи шунта Rш виведено на передню панель стенду для приєднання осцилографу. Електрична схема стенду наведена на рис. А8.1.

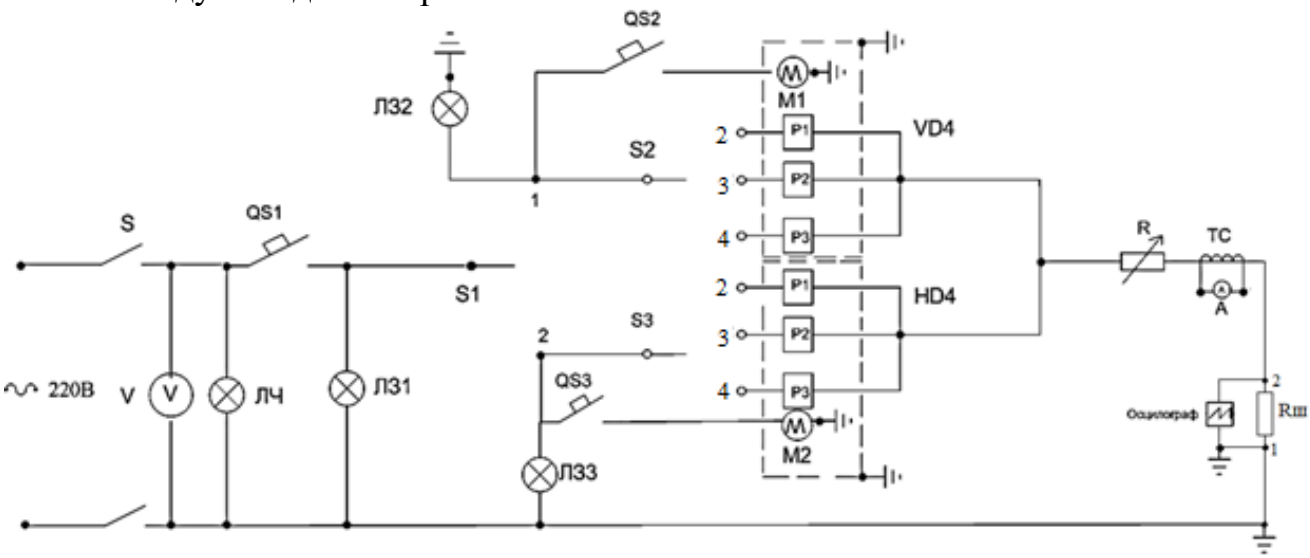


Рис. А8.1. Електрична схема стенду дослідження струмів зрізу вакуумного та елегазового вимикачів.

Перед початком виконання лабораторної роботи необхідно перевірити з'єднання заземлюваної клеми шунта, з якого зніматиметься осцилограма перенапруг при комутаційних операціях вимикачів, зі стаціонарним заземленням високовольтної лабораторії.

З моменту приєднання електроустановки до електромережі живлення все її обладнання та з'єднувальні проводи вважаються під напругою. Проводити будь-які перез'єднання у робочій схемі, доторкатися до обладнання електроустановки та до будь-якої її частини, стоячи на підлозі (без використання діелектричного килимка), забороняється.

Дії з приєднання і від'єднання приладів, які спричиняють розрив електричних кіл, слід виконувати після зняття напруги з цих кіл. Приєднання і

від’єднання приладів, що не потребують розриву електричних кіл, допускається виконувати під напругою з застосуванням електрозахисних засобів.

Виконання комутаційних операцій з обладнанням стенду допускається виключно в межах, обумовлених порядком виконання даної лабораторної роботи.

Виконання вимірювань електричних величин за допомогою вбудованих приладів стенду необхідно виконувати з дистанції, не торкаючись стенду та його складових елементів.

При виконанні вимірювань електричних величин за допомогою осцилографа забороняється торкатись провідних кабелів, що з’єднують осцилограф зі стендом, а також самого осцилографа.

У разі створення електронебезпечної ситуації або виникненні відхилення від програми роботи електроустановки, на якій виконується робота, електроустановку слід негайно відключити за допомогою її органів керування і захисту. Право відключення електроустановки при цьому має будь-хто з членів бригади.

У разі неможливості відключення електроустановки органами її керування і захисту необхідно відключити електроживлення лабораторії, в якій знаходиться ця електроустановка. Право відключення такої лабораторії при цьому має будь-хто з членів бригади.

2. Інструкція з експлуатації

Вихідне (початкове) положення:

2.1. Багатопозиційні перемикачі S1, S2, S3 знаходяться у нейтральних положеннях.

2.2. Автоматичні вимикачі QS2, QS3 вимкнені.

2.3. Автоматичний вимикач QS1 вимкнений.

2.4. Рубильник S вимкнений.

2.5. З’єднувальні провідники осцилографа від’єднані від клем вимірювального шунта Rш.

Порядок роботи:

2.6. Приєднати до клем вимірювального шунта Rш з’єднувальні провідники осцилографа USB-Oscill, приєднаного до комп’ютера.

2.7. Замкнути рубильник S.

2.8. Включити живлення стенду автоматичним вимикачем QS1 (сигналізує про включення живлення стенду сигнальна лампа Л31).

2.9. Обрати дослідження високовольтного вакуумного вимикача VD4, переводячи багатопозиційний перемикач S1 в положення 1 (про це сигналізує сигнальна лампа Л32).

2.10. Обрати дослідження першого полюса P1 вимикача VD4 переключенням багатопозиційного перемикача S2 в позицію 1.

2.11. Подати живлення на кола вакуумного вимикача VD4, включаючи автоматичний вимикач QS2.

2.12. Звести пружини вакуумного вимикача VD4 натисканням кнопки

на його лицьовій панелі керування.

2.13. Зафіксувати осцилограму усталеного струму робочого режиму полюса P1 вимикача VD4.

2.14. Розімкнути контакти полюса P1 вакуумного вимикача кнопкою на його лицьовій панелі керування.

2.15. Зафіксувати осцилограму перехідного процесу розмикання полюса P1вакуумного вимикача VD4.

2.16. Повторити дослідження полюсів P2 та P3 за пп.. 2.10 – 2.15, перемикаючи багатопозиційний перемикач S2 в позиції 2 та 3, відповідно.

2.17. Повторити дослідження високовольтного елегазового вимикача HD4, виконуючи операції за пп. 2.9 – 2.16, обираючи перемикання багатопозиційного перемикача S1 в положення 2 та замикання перемикача S3 замість S2 і обираючи відповідні полюси P1 – P3 високовольтного елегазового вимикача HD4 для дослідження за допомогою багатопозиційного перемикача S3.

Порядок вимикання стенду:

2.18. Перемкнути багатопозиційні перемикачі S1, S2, S3 у нейтральні положення.

2.19. Вимкнути автоматичні вимикачі QS2, QS3.

2.20. Вимкнути автоматичний вимикач QS1.

2.21. Вимкнути рубильник S.

2.22. Від’єднати з’єднувальні провідники осцилографа від клем вимірювального шунта Rш.

3. Техніка безпеки при роботі на стенді

Внутрішні елементи стенду можуть знаходитись під небезпечною для життя напругою! Розбирати стенд або торкатись незаземлених частин його конструкції заборонено! Всі операції зі стендом виконуються тільки під керівництвом викладача.

3.1. Роботу виконують згідно інструкції з охорони праці «Безпека праці при роботі в електроустановках кафедри техніки і електрофізики високих напруг», а також з використанням нормативних документів «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів», «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

3.2. Під час виконання робіт повинні виконуватись вимоги інструкцій по роботі з електровимірювальними приладами та апаратами.

3.3. До роботи допускають студентів лише після проведення інструктажів з техніки безпеки, загального та на робочому місці (під розпис).

3.4. При роботі на стенді обов’язково використовувати діелектричний килим.

Додаток А9

ПАСПОРТ СТЕНДУ № 9

Призначення стенду: експериментальне дослідження механічного коливання струмовідних шин при дії струмів короткого замикання.

Технічні параметри стенду: живлення стенду здійснюється від мережі змінної напруги 220В частотою 50 Гц. В стенді використовуються понижуючий трансформатор та трансформатор струму, які забезпечують струм до 2 кА в колі та його вимірювання при напрузі в одиниці вольт.

1. Схема стенду

Стенд № 9 складається з електричної та механічної частин. В електричній схемі забезпечується пониження напруги мережі живлення та збільшення струму у схемі короткозамкнених шинопроводів до рівня порядку 1 В та 2000 А. Амперметр А включений у вторинне коло трансформатора струму з коефіцієнтом ділення 2000:5.

Живлення стенду відбувається однією фазою трифазної мережі 380 В 50 Гц через рубильник Р1 та контактор К з кнопкою «Пуск». Вихідна обмотка понижуючого трансформатора Т приєднана до замкнених накоротко шинопроводів 1, які утримуються на ізолюючих опорах, закріплених на стенді, шинотримачами 2, два з яких є рухомими і можуть змінювати своє фіксоване положення (жорстке закріплення шин), змінюючи відстань L між точками тримання шинопроводів. Висота перерізу шин h становить 90 мм, ширина перерізу шин b становить 5 мм, відстань між сусідніми бічними поверхніми шин d становить 7,35 мм. До бічної поверхні однієї з шин, посередині її довжини, встановлено оптомеханічний перетворювач 3, який перетворює механічний рух шин в світловий

потік змінної інтенсивності. До оптомеханічного перетворювача за допомогою оптоволоконного кабелю приєднується оптоелектричний перетворювач 4, відводи якого з'єднуються з осцилографом-приставкою 5 USB-Oscill, який приєднується до комп'ютера 6, з встановленим необхідним програмним забезпеченням, яке надає можливість відображати, зберігати та переглядати осцилограми коливань електричних сигналів напруги. Електрична та функціональна схеми стенду наведені на рис. А9.1.

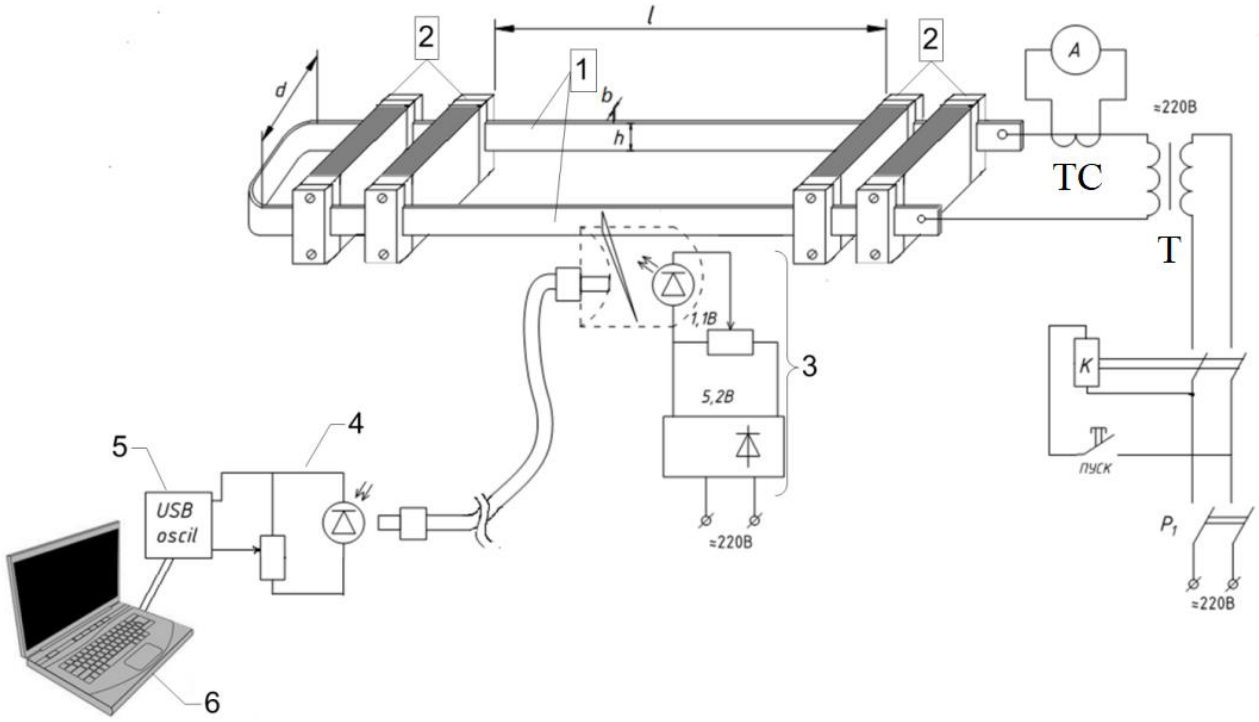


Рис. А9.1. Функціональна та електрична схеми стенду дослідження механічних коливань шинопроводів при дії на них струмів короткого замикання.

Перед початком виконання лабораторної роботи необхідно перевірити надійність з'єднання проводів амперметру з клемами вторинного кола трансформатора струму.

З моменту приєднання електроустановки до електромережі живлення все її обладнання та з'єднувальні проводи вважаються під напругою. Проводити будь-які перез'єднання у робочій схемі, доторкатися до обладнання електроустановки та до будь-якої її частини, стоячи на підлозі (без використання діелектричного килимка), забороняється.

Дії з приєднання і від'єднання приладів, які спричиняють розрив електричних кіл, слід виконувати після зняття напруги з цих кіл. Приєднання і від'єднання приладів, що не потребують розриву електричних кіл, допускається виконувати під напругою з застосуванням електрозахисних засобів.

Виконання комутаційних операцій з обладнанням стенду допускається виключно в межах, обумовлених порядком виконання даної лабораторної роботи.

Виконання вимірювань електричних величин за допомогою вбудованих приладів стенду необхідно виконувати з дистанції, не торкаючись стенду та його складових елементів.

При виконанні вимірювань електричних величин за допомогою осцилографа забороняється торкатись провідних кабелів, що з'єднують осцилограф зі стендом, а також самого осцилографа.

У разі створення електронебезпечної ситуації або виникненні відхилення від програми роботи електроустановки, на якій виконується робота, електроустановку слід негайно відключити за допомогою її органів керування і захисту. Право відключення електроустановки при цьому має будь-хто з членів бригади.

У разі неможливості відключення електроустановки органами її керування і захисту необхідно відключити електроживлення лабораторії, в якій знаходиться ця електроустановка. Право відключення такої лабораторії при цьому має будь-хто з членів бригади.

2. Інструкція з експлуатації

Вихідне (початкове) положення:

2.1. Рубильник Р1 розімкнено.

2.2. Амперметр А приєднано до вторинного кола вимірювального трансформатора струму ТС.

2.3. Контакти контактора К розімкнені.

2.4. Шинотримачі 2 знаходяться у довільному положенні.

2.5. Оптоволоконний кабель, разом з оптоелектричним перетворювачем 4 та осцилографом 5 від'єднані від оптомеханічного перетворювача 3.

Порядок роботи:

2.6. Приєднати осцилограф USB-Oscill, приєднаний до комп'ютера, до оптоелектричного перетворювача 4.

2.7. Приєднати оптоелектричний перетворювач 4 за допомогою оптоволоконного кабелю до оптомеханічного перетворювача.

2.8. Зафіксувати величину постійної напруги за допомогою осцилографа, що відповідає положенню спокою шинопроводів.

2.9. Механічно деформувати шинопроводи посередині до їх торкання бічними поверхнями і зафіксувати постійну напругу осцилографа, що відповідає деформації кожної шини на величину відстані d/2.

2.10. Визначити за величинами напруг у пп. 2.8 – 2.9 коефіцієнт пропорційності, у вольтах на міліметр, який співставляє максимальний деформаційний вигин шинопроводів (посередині довжини L) у міліметрах та зміну напруги на осцилограмі у у вольтах.

2.11. Зафіксувати положення рухомих тримачів шинопроводів 2 на однакових відстанях від центру довжини прольоту шини L, у відповідності до варіанту завдання до лабораторної роботи.

2.12. Включити живлення стенду рубильником Р1.

2.13. Підготувати програмне забезпечення осцилографа USB-Oscill до запису осцилограми в режимі очікування перехідного процесу.

2.14. Натисканням кнопки «Пуск» контактора К короткочасно здійснити подачу струму в короткозамкнене коло шинопроводів.

2.15. Зафіксувати значення струму в шинопроводі за допомогою амперметру А.

2.16. Зафіксувати осцилограму перехідного процесу для подальшого аналізу.

2.17. Вимкнути живлення стенду рубильником Р1.

2.18. Повторити пп.. 2.11 – 2.17 для всіх значень відстаней між шинотримачами L, які задані в лабораторній роботі.

Порядок вимикання стенду:

2.19. Вимкнути живлення стенду рубильником Р1.

2.20. Від'єднати оптоволоконний кабель з приєднаним до нього оптоелектричним перетворювачем від оптомеханічного перетворювача.

2.21. Від'єднати стенд від електромережі живлення.

3. Техніка безпеки при роботі на стенді

Внутрішні елементи стенду можуть знаходитись під небезпечною для життя напругою! Розбирати стенд або торкатись незаземлених частин його конструкції заборонено! Всі операції зі стендом виконуються тільки під керівництвом викладача. Категорично заборонено торкатись та від'єднувати провідники амперметру А від його клем та клем вторинного кола трансформатора струму ТС при поданій на стенд напрузі живлення!!!

3.1. Роботу виконують згідно інструкції з охорони праці «Безпека праці при роботі в електроустановках кафедри техніки і електрофізики високих напруг», а також з використанням нормативних документів «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів», «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

3.2. Під час виконання робіт повинні виконуватись вимоги інструкцій по роботі з електровимірювальними приладами та апаратами.

3.3. До роботи допускають студентів лише після проведення інструктажів з техніки безпеки, загального та на робочому місці (під розпис).

3.4. При роботі на стенді обов'язково використовувати діелектричний килим.

Додаток А10

ПАСПОРТ СТЕНДУ № 10

Технічні параметри стенду: живлення стенду здійснюється від мережі змінної напруги 380/220В частотою 50 Гц. В стенді використовуються: колонка для випробування трансформаторного масла типу АИМ-90; колонка для випробування трансформаторного масла типу АИМ-80.

1. Схема стенду

Наведена схема реалізована у апаратах для випробувань трансформаторного масла АИМ-90 та АИМ-80.

Апарати виконано у вигляді моноблока переносного типу. Принципова електрична схема наведена на рис.А10.1. У корпусі розміщено такі основні елементи:

– відсік з високовольтним трансформатором;

– регулятор напруги (варіатор) із моторним приводом переміщення щітки;

– посудина з електродами;

– схема комутацій, сигналізації, захисту та вимірювань.

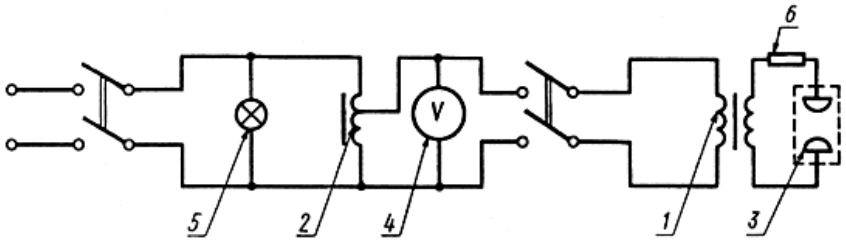


Рис.А10.1. Принципова схема установки
1 - високовольтний іспитовий трансформатор;
2 - регулюючий трансформатор; 3 – вимірювальна комірка;
4 - вольтметр; 5 - сигнальна лампа; 6 – захисний опір.

На лицьовій панелі апарата розташовано:

- вимірювальний прилад;
- лампочки світлової сигналізації (зелена – вмикання мережі, жовта – готовність схеми апарата до вмикання високої напруги, червона – увімкнуто високу напругу);

– вимикач мережі зі спеціальним ключем, що унеможливлює довільне вмикання апарата (~);

– кнопка вмикання високої напруги (□);

– кнопка вмикання електродвигуна після пробою діелектрика (→0);

– вимикач для зупинки електродвигуна (△);

– вимикач автоматичного повернення щітки регулятора напруги в нульове положення після пробою діелектрика (0⮌).

На задній стороні апарата розміщено дверцята. Вони відкривають доступ до запобіжників, газового розрядника та клем, призначених для приєднання в разі потреби контрольного вольтметра.

У нижній частині задньої сторони апарата знаходиться штепсельний роз'єм для кабелю живлення апарата від мережі та клема для приєднання проводу заземлення.

2. Техніка безпеки при роботі на стенді

2.1. Роботу виконують згідно інструкції з охорони праці «Безпека праці при роботі в електроустановках лабораторії високих напруг кафедри теоретичної електротехніки», а також з використанням нормативних документів "Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів", "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів".

2.2. Під час виконання робіт повинні виконуватись вимоги інструкцій по роботі з електровимірювальними приладами та апаратами.

2.3. До роботи допускають студентів лише після проведення інструктажів з техніки безпеки, загального та на робочому місці (під розпис).

2.4. Робота на стенді виконується лише під наглядом викладача.

2.5. При роботі на стенді обов'язково використовувати ындивыдуальны електрозахисні засоби: діелектричні рукавички та діелектричний килим.

Додаток А11

ПАСПОРТ СТЕНДУ № 11

Технічні параметри стенду: живлення стенду здійснюється від мережі змінної напруги 380/220В частотою 50 Гц. В стенді використовуються прилад ЕП-2000, розроблений в Українському науково-дослідному інституті паперу (УкрНДІП).

1. Схема стенду

Контроль пробивної напруги конденсаторного паперу проводиться на приладі ЕП-2000. Прилад має межу випробувальної напруги 2000 В, що забезпечує вимір пробивної напруги всіх існуючих номіналів конденсаторного паперу товщиною в один і більше прошарків. У приладі передбачено автоматичний підйом випробувальної напруги зі швидкістю, визначеною методикою випро-

бування паперів, і автоматичне знеструмлення зразка в момент пробою, що дуже важливо під час випробування конденсаторного паперу.

Схему приладу зображено на рис.А11.1. Прилад вмикають у мережу змінного струму тумблером *S7*. Сигнал про вмикання подає лампа «Вкл», встановлена в ланцюзі однієї з вторинних обмоток трансформатора *T3*. Друга обмотка того ж трансформатора використовується для живлення випрямляча *VD*. Стабілізація випрямленої напруги здійснюється фільтром *RC* (резистори *R*11, *R*12, конденсатори *C*3, *C*4) та газорозрядним стабілітроном *VL*2.

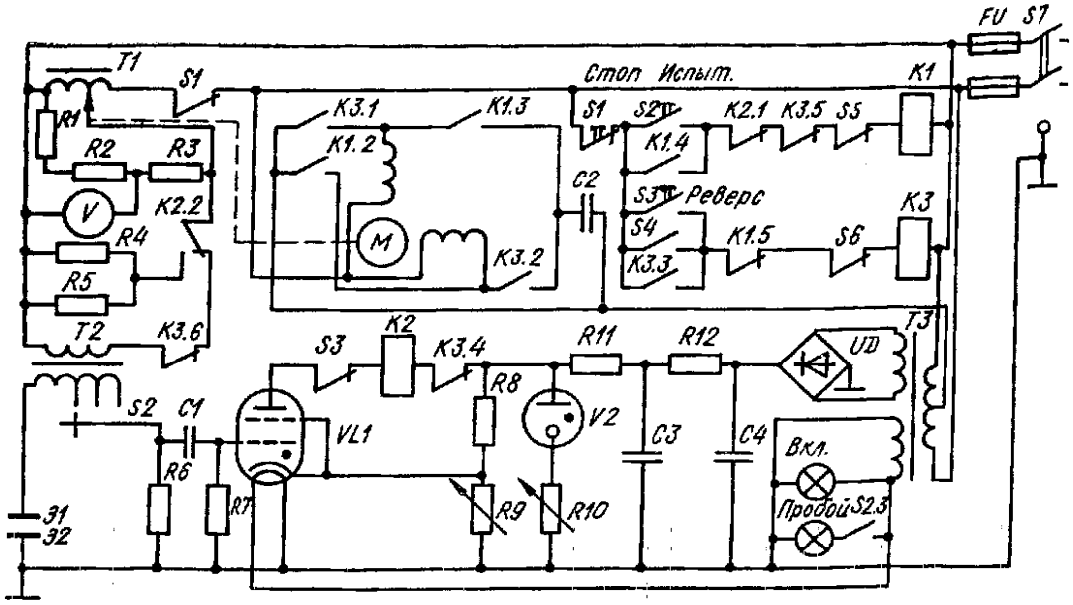


Рис. А11.1. Схема електрична приладу ЕП-2000

Випрямлена напруга через обмотку реле *K*2 надходить на електроди анод-катод тиратрона *VL*1, що замкнений, оскільки його катод у результаті падіння напруги на резисторі *R9* знаходиться під позитивним потенціалом щодо керувальної сітки. Через обмотку реле *K*2 струм не протікає. Контакти реле *K*2.2, *K*2.1 утримуються в замкнутому стані.

Випробуваний зразок розміщують між електродами *E*1, *E*2, увімкненими в ланцюг високовольтної обмотки випробувального трансформатора *T*2. Залежно від положення перемикача *S*2 напруга на стороні високої напруги (ВН) випробувального трансформатора змінюється в одному з наступних діапазонів: 0…500 В; 0…1000 В; 0…2000 В. Регулювання первинної напруги випробувального трансформатора здійснюється автотрансформатором *T*1, плавне переміщення движка якого відбувається за допомогою електродвигуна.

Підвищення напруги на випробуваному зразку починається після натискання кнопки «Испытание». При цьому спрацьовує реле *K*1, замикаються контакти *K*1.2, *K*1.3, *K*1.4, розмикається *K*1.5. Контакти *K*1.2, *K*1.3 вмикають двигун. Контакт *K*1.4 шунтує кнопку «Испытание», контакт *K*1.5 розриває ланцюг обмотки реле *K*3.

Пробій випробуваного зразка супроводжується протіканням струму у вторинному ланцюзі випробувального трансформатора і падінням напруги на резисторі *R*6, паралельно якому підключено диференціюючий ланцюжок *C*1 – *R*7. Перший же позитивний імпульс, що знімається з резистора *R*7, надходить на

керувальну сітку тиратрона *VL*1 і відкриває його. Спрацьовує реле *К*2, його контакт *К*2.1 розриває ланцюг обмотки реле *К*1. Розмикаються контакти *К*1.2, *К*1.3, і двигун зупиняється. Контакт *К*2.2 перемикає автотрансформатор *Т*1 із первинної обмотки випробувального трансформатора *Т*2 на паралельно підключені резистори *R*4, *R*5 і показання вольтметра довго зберігає значення пробивної напруги зразка. Контакт *К*2.3 замикає ланцюг сигнальної лампи «Пробой».

Для повернення движка автотрансформатора в крайнє ліве положення слугує кнопка *S*3 «Реверс». Її натискання приводить до спрацьовування реле *К*2. При цьому контакти *К*3.1, *К*3.2, що замикаються, змінюють напрям обертання двигуна, контакт *К*3.3 шунтує контакти кнопки «Реверс», а контакти *К*3.4, *К*3.5 і *К*3.6, що розмикаються, розмикають відповідно ланцюг живлення обмоток реле *К*2, *К*1 і ланцюг первинної обмотки випробувального трансформатора.

Коли напруга на виході автотрансформатора дорівнюватиме нулю, спрацює кінцевий вимикач *S*6, що розімкне ланцюг обмотки реле *К*3, і схема повернеться у початковий стан.

Якщо у вибраному діапазоні напруг не виникає пробій зразка, то кінцевий вимикач *S*5 вимикає реле *К*1, а кінцевий вимикач *S*4 замикає ланцюг реле *К*3, після чого напруга на виході автотрансформатора знижується до нуля.

Натисканням на кнопку «Стоп» двигун можна зупинити незалежно від напряму його обертання.

При відкритій кришці вимірювальних електродів блок-контакт *S*1 розриває первинний ланцюг випробувального трансформатора і вольтметр вказує на відсутність напруги на електродах.

2. Техніка безпеки при роботі на стенді

2.1. Роботу виконують згідно інструкції з охорони праці «Безпека праці при роботі в електроустановках лабораторії високих напруг кафедри теоретичної електротехніки», а також з використанням нормативних документів “Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів”, “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”.

2.2. Під час виконання робіт повинні виконуватись вимоги інструкцій по роботі з електровимірювальними приладами та апаратами.

2.3. До роботи допускають студентів лише після проведення інструктажів з техніки безпеки, загального та на робочому місці (під розпис).

2.4. Робота на стенді виконується лише під наглядом викладача.

2.5. При роботі на стенді обов’язково використовувати індивідуальні електрозахисні засоби: діелектричні рукавички та діелектричний килим.

Додаток А12

ПАСПОРТ СТЕНДУ № 12

Призначення стенду: дослідження перехідних процесів у пускачі тиристорному безконтактному (ПБТ).

Технічні параметри стенду: живлення стенду здійснюється від мережі змінної напруги 380/220 В частотою 50 Гц. В стенді використовуються тиристорний пускач ПБТ-16/380 та трифазний асинхронний електродвигун типу АОЛ2-22-2.

1. Схема стенду

Стенд № 12 складається з електричної схеми та електронного напівпровідникового пускача в цій схемі. В електричній схемі забезпечується подача електроживлення на асихронний електродвигун в режимі холостого ходу а також вимірювання перехідних прооцесів фазних напруг і фазних струмів шляхом осцилографування відповідних сигналів за допомогою шунтів та відповідних масштабних перетворювачів напруги (трансформаторів).

Живлення стенду відбувається трифазною мережею 380 В 50 Гц через автоматичний вимикач QS1. Вольтметри V01, V02, V03 а також амперметри A01, A02, A03 призначені для індикативного відображеня поточних середньоквадратичних значень напруг і струмів, що споживає електродвигун M та інші елементи стенду. Вказівник фаз M01 призначений для визначення правильного порядку чергування фаз підключеного електродвигуна. Електрична блок-схема стенду наведена на рис. А12.1.

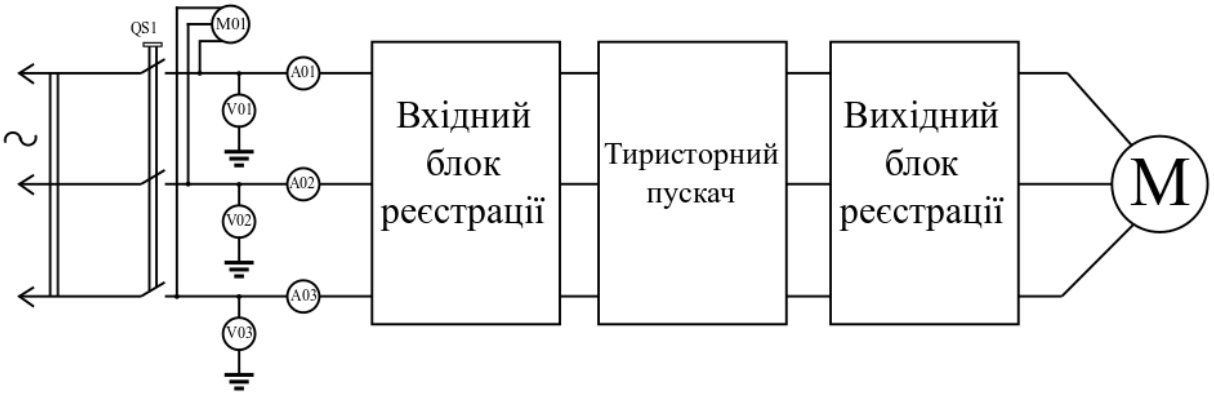


Рис. А12.1. Блок-схема стенду дослідження пускача тиристорного безконтактного.

Електричні схеми вхідного та вихідного блоків реєстрації напруг і струмів, що споживає схема в цілому і електродвигун окремо, представлені на рис. А12.2.

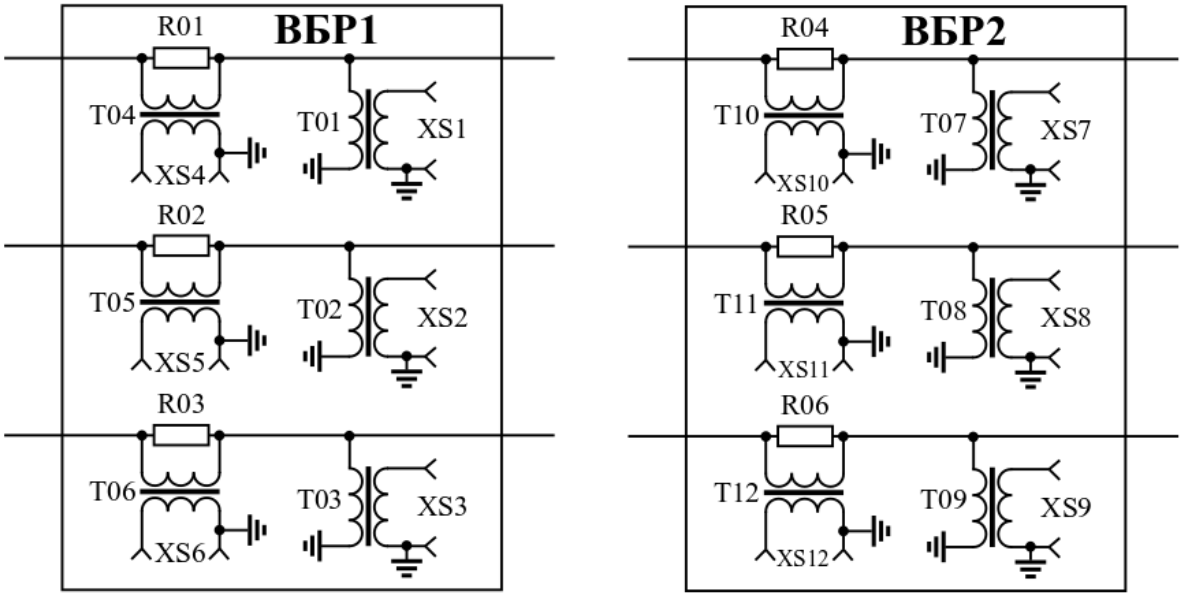


Рис. А12.2. Схеми електричні вхідного (а) та вихідного (б) блоків реєстрації параметрів електричних кіл стенду дослідження пускача тиристорного безконтактного.

Принципова електрична схема вмикання та вимикання пускача ПБТ-16/380 представлена на рис. А12.3.

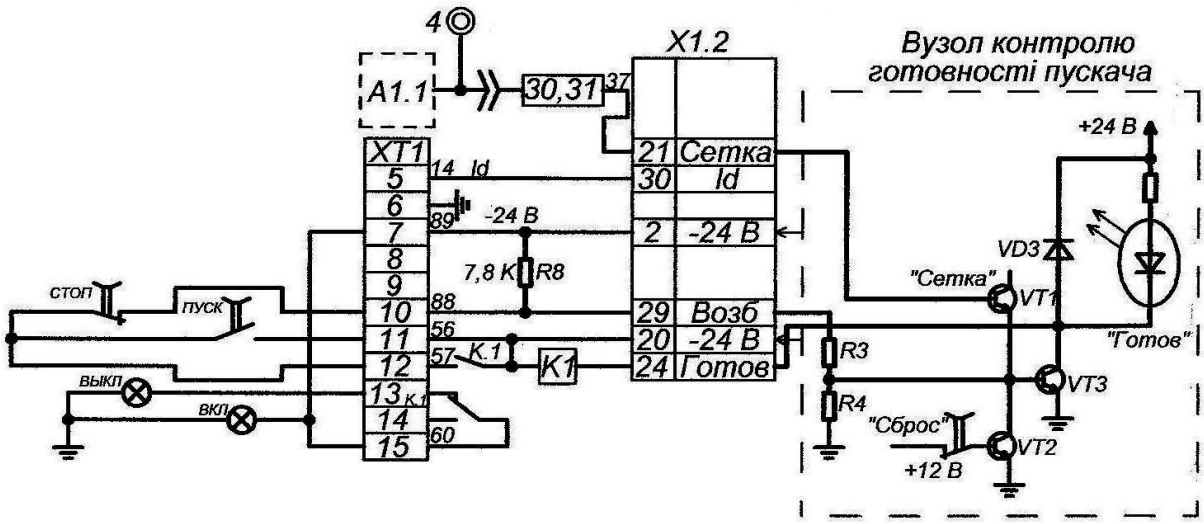


Рис. А12.3. Принципова електрична схема вмикання та вимикання пускача ПБТ-16/380.

Принципова електрична схема силових елементів пускача ПБТ-16/380 представлена на рис. А12.4.

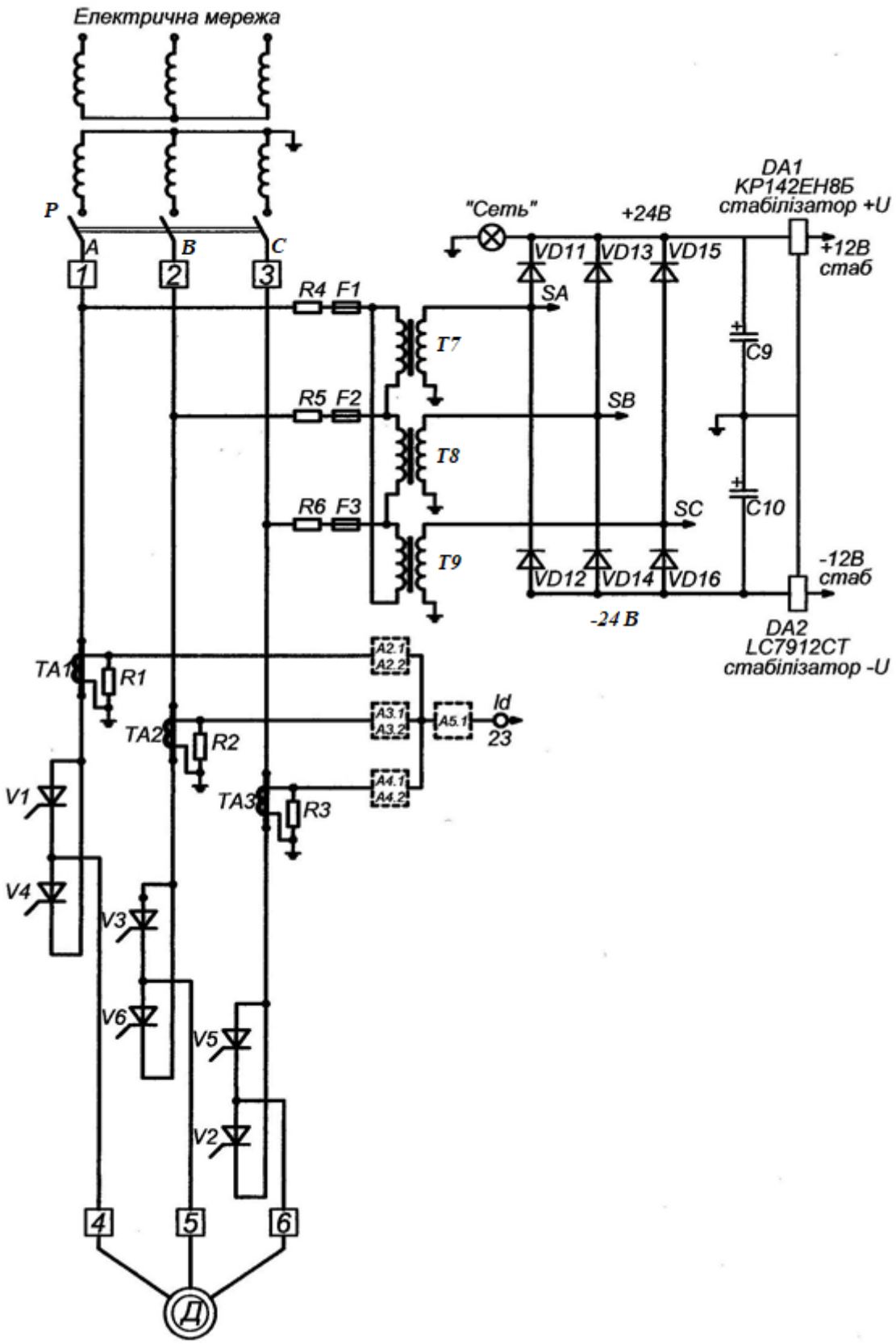


Рис. А12.4. Принципова електрична схема силових елементів пускача ПБТ-16/380.

Принципова спрощена схема регулювання струму пускача ПБТ-16/380 та система імпульсно-фазового керування (фаза А) представлена на рис. А12.5.

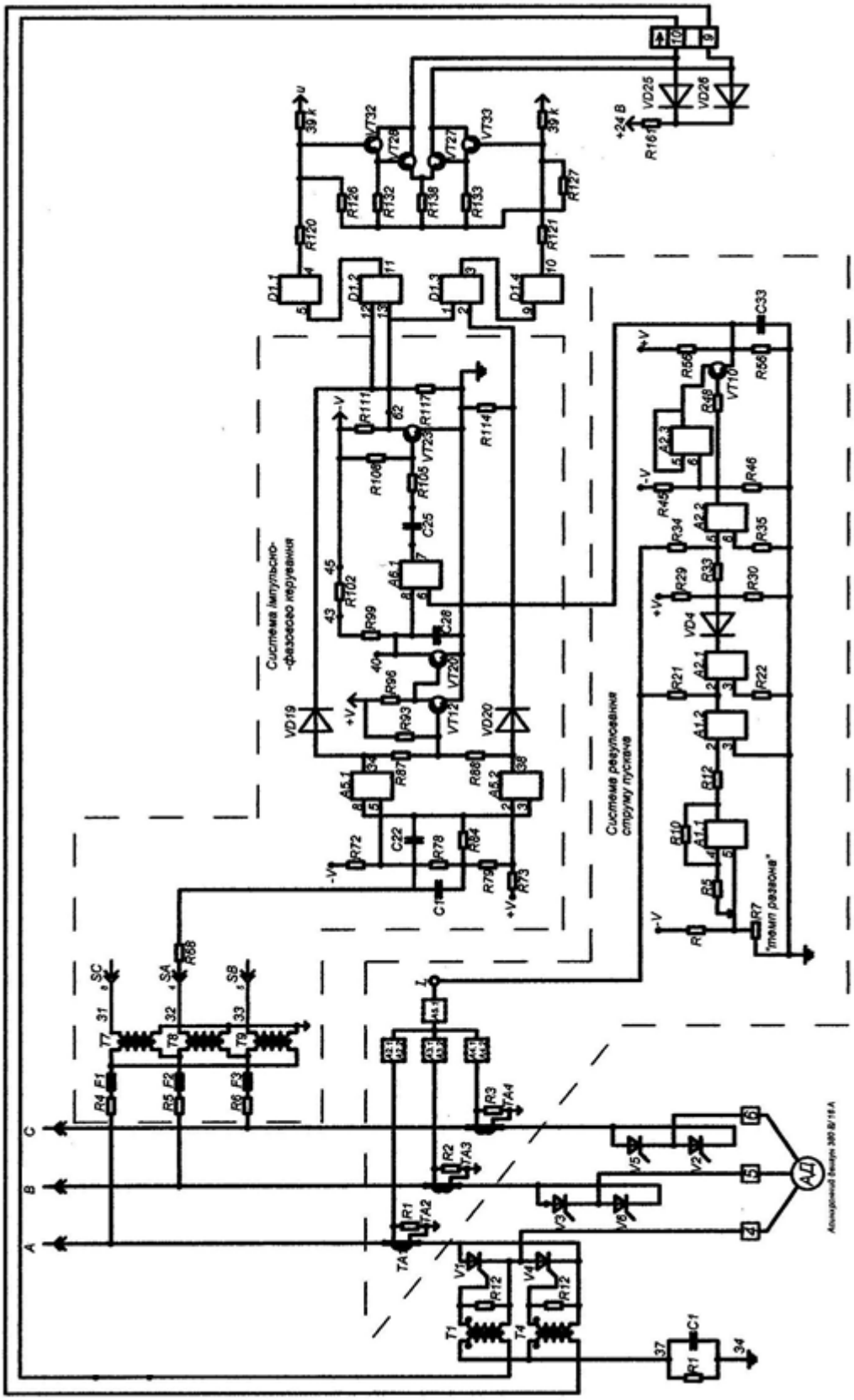


Рис. А12.5. Принципова спрощена схема регулювання струму пускача ПБТ-16/380 та система імпульсно-фазового керування (фаза А).

Перед початком виконання лабораторної роботи необхідно перевірити надійність приєднання стенду до стаціонарного заземлення лабораторії.

З моменту приєднання електроустановки до електромережі живлення все її обладнання та з'єднувальні проводи вважаються під напругою. Проводити будь-які перез'єднання у робочій схемі, доторкатися до обладнання електроустановки та до будь-якої її частини, стоячи на підлозі (без використання діелектричного килимка), забороняється.

Дії з приєднання і від'єднання приладів, які спричиняють розрив електричних кіл, слід виконувати після зняття напруги з цих кіл. Приєднання і від'єднання приладів, що не потребують розриву електричних кіл, допускається виконувати під напругою з застосуванням електрозахисних засобів.

Виконання комутаційних операцій з обладнанням стенду допускається виключно в межах, обумовлених порядком виконання даної лабораторної роботи.

Виконання вимірювань електричних величин за допомогою вбудованих приладів стенду необхідно виконувати з дистанції, не торкаючись стенду та його складових елементів.

При виконанні вимірювань електричних величин за допомогою осцилографа забороняється торкатись провідних кабелів, що з'єднують осцилограф зі стендом, а також самого осцилографа.

У разі створення електронебезпечної ситуації або виникненні відхилення від програми роботи електроустановки, на якій виконується робота, електроустановку слід негайно відключити за допомогою її органів керування і захисту. Право відключення електроустановки при цьому має будь-хто з членів бригади.

У разі неможливості відключення електроустановки органами її керування і захисту необхідно відключити електроживлення лабораторії, в якій знаходиться ця електроустановка. Право відключення такої лабораторії при цьому має будь-хто з членів бригади.

2. Інструкція з експлуатації

Вихідне (початкове) положення:

2.1. Автоматичний вимикач QS1 вимкнено.

2.2. Осцилограф від'єднаний від роз'ємів, на яких фіксуються напруги перехідних процесів.

Порядок роботи:

2.3. Увімкнути автоматичний вимикач QS1 та пересвідчитись, що напрямок обертання стрілки вказівника фаз M01 свідчить про правильний порядок фаз приєднання стенду.

2.4. Вимкнути автоматичний вимикач QS1.

2.5. Осцилограф USB-Oscill, приєднаний до комп'ютера, з'єднати з відповідними роз'ємами на стенді, у відповідності до завдання лабораторної роботи.

2.6. За допомогою плаского викрутки з ізольованою ручкою відрегульувати положення регулювача опорної напруги тиристорного пускача, щоб забезпечити необхідну плавність пуску електродвигуна, у відповідності до завдання до лабораторної роботи.

2.7. Натискаючи кнопку «Пуск» на лабораторному стенді, подати живлення на електричні кола тиристорного пускача та зафіксувати осцилограму пере-

хідного процесу за допомогою відповідного програмного забезпечення, встановленого на комп'ютері.

2.8. Натиснути кнопку «Стоп» на лабораторному стенді для завершення фіксації осцилограми перехідного процесу.

2.9. Повторити пп.. 2.4 – 2.8 для всіх режимів визначення напруг і струмів пофазно, які задано в лабораторній роботі.

Порядок вимикання стенду:

2.10. Вимкнути автоматичний вимикач QS1.

2.11. Від'єднати з'єднувальні провідники осцилографа від роз'ємів стенду.

2.12. Від'єднати стенд від електромережі живлення.

3. Техніка безпеки при роботі на стенді

Внутрішні елементи стенду можуть знаходитись під небезпечною для життя напругою! Розбирати стенд або торкатись незаземлених частин його конструкції заборонено! Всі операції зі стендом виконуються тільки під керівництвом викладача.

3.1. Роботу виконують згідно інструкції з охорони праці «Безпека праці при роботі в електроустановках кафедри техніки і електрофізики високих напруг», а також з використанням нормативних документів «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів», «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

3.2. Під час виконання робіт повинні виконуватись вимоги інструкцій по роботі з електровимірювальними приладами та апаратами.

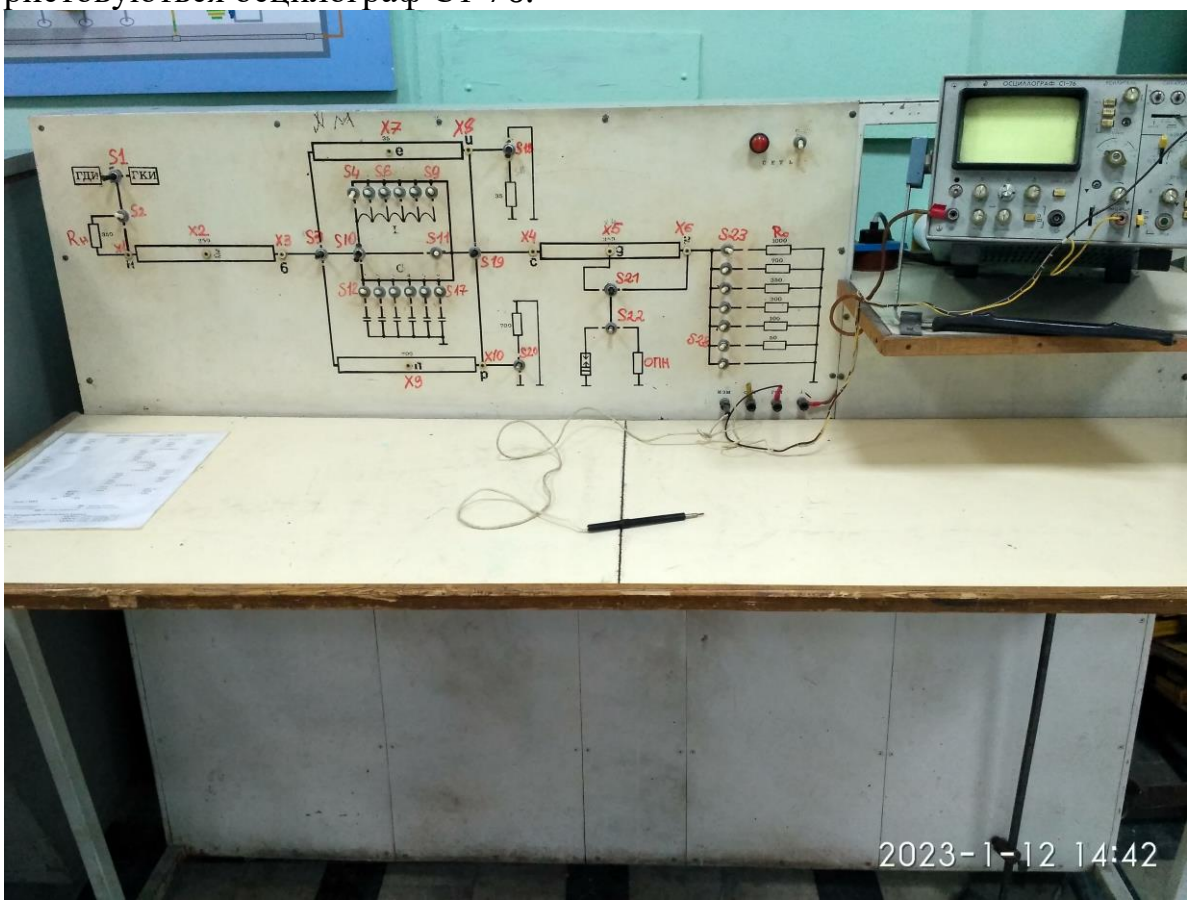
3.3. До роботи допускають студентів лише після проведення інструктажів з техніки безпеки, загального та на робочому місці (під розпис).

3.4. При роботі на стенді обов'язково використовувати діелектричний килим.

Додаток А15

ПАСПОРТ СТЕНДУ № 15

Технічні параметри стенду: живлення стенду здійснюється від мережі змінної напруги 380/220В частотою 50 Гц. Стенд включає в себе моделі довгих ліній з різним хвильовим опором, зосереджених ємностей та індуктивностей, моделі блискавкозахисних вентильного розрядника й обмежувача перенапруг нелінійного (ОПН), а також генератор довгих або коротких імпульсів. В стенді використовуються осцилограф С1-76.



1. Схема стенду

Дослідження закономірностей руху хвиль у лініях виконується на спеціальному стенді, що включає в себе моделі довгих ліній з різним хвильовим опором, зосереджених ємностей та індуктивностей, моделі блискавкозахисних вентильного розрядника й обмежувача перенапруг нелінійного (ОПН), а також генератор довгих або коротких імпульсів (рис. А15.1).

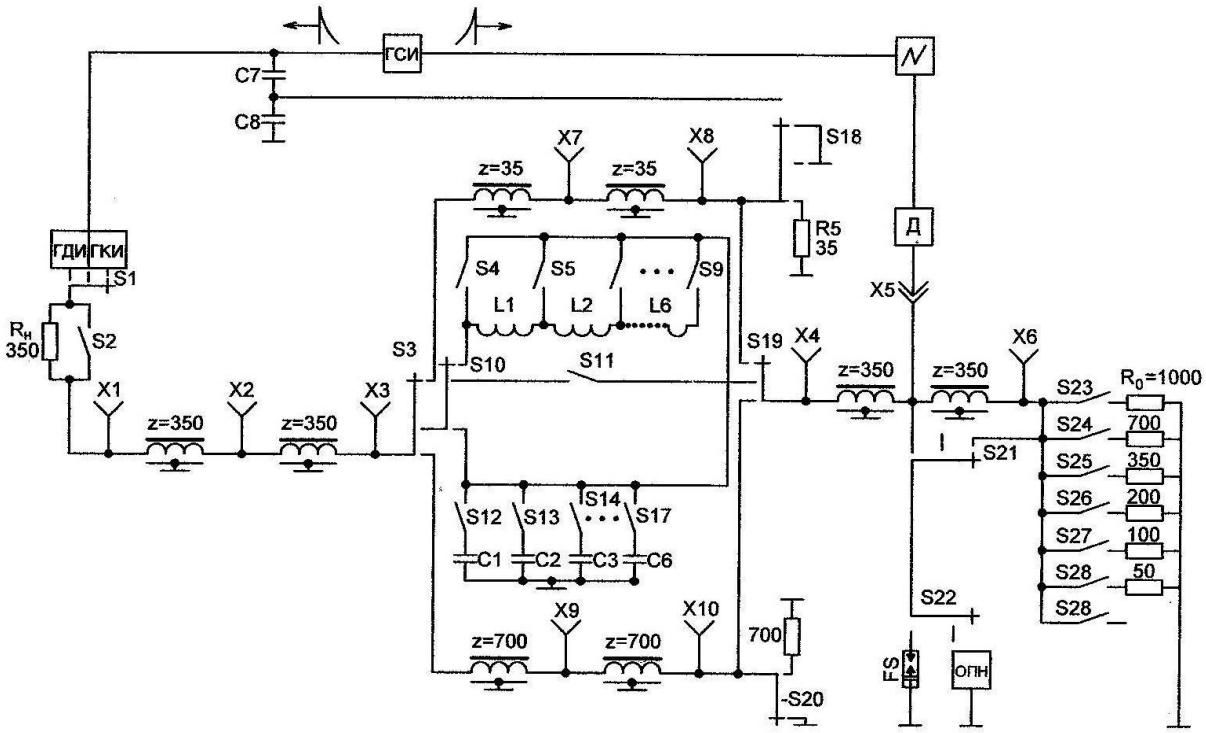


Рис. А15.1. Схема експериментального стенду.

Моделі довгих ліній зібрані з Т-подібних ланок кола і мають хвильовий опір 35, 350 й 700 Ом. На початку і наприкінці кожної моделі ЛЕП вмонтовані гнізда Х1 – Х10 для під'єднання електронного осцилографа з метою спостереження за його допомогою за зміною напруги у різних точках схеми лінії.

Зосереджені елементи моделюють поздовжній реактор *L1 – L6*, конденсаторну батарею *C1 – C6*, активний опір навантаження R_0. Зміна величини зосереджених елементів здійснюється комутацією тумблерів (таблиця А15.1).

Таблиця А15.1

Порядковий номер елементу	1	2	3	4	5	6
Ємність, мкФ	0,011	0.024	0,047	0,068	0,091	0,11
Індуктивність, мкГн	0	200	325	350	500	650

Моделі вентильного розрядника *FS* та обмежувача перенапруг ОПН, що зібрані на напівпровідникових приладах, підключаються тумблерами S21 і S22.

Окрім того, стенд має активні опори, що комутуються тумблерами S18 і S20 для узгодження з лініями *z* = 35 Ом і *z* = 700 Ом. Тумблером *S26* вмикається опір навантаження R_H = 350 Ом, за допомогою якого виключається можливість відбиття хвилі від навантаження.

Решта тумблерів дозволяє вибирати моделі основних схем з метою вивчення відбиття й заломлення хвиль у лініях.

Генератор синхронізуючих імпульсів (ГСІ), що зібраний на основі симетричного мультивібратора з диференціюючими ланцюжками на виході, виробляє два пускові імпульси , один з яких запускає розгортку осцилографа, а інший, що відстає на 4 мкс, - генератор імпульсів (довгих ГДІ або коротких ГКІ), що подаються у лінію. Частота повторення другого (загостреного) імпульсу вдвічі менше першого, тому на екрані осцилографа видно криву вимірювальної напруги (коли ГДІ або ГКІ працює) і нульову лінію (коли вони закриті). Оскільки тривалість післясвічення екрану велика, то на ньому одночасно видно криву напруги, що вивчається, і нульову лінію. Окрім цього на основний вхід осцилографа також подається загострений імпульс (спеціально ослаблений), що використовується в якості відмітки початку досліджувального процесу у лінії. Ця обставина значно полегшує роботу.

Генератор довгих імпульсів (ГДІ), що зібраний за схемою мультивібратора у режимі очікування, виробляє прямокутний імпульс, тривалість якого на порядок перевищує час розвитку будь-яких перехідних процесів у лінії. Це дозволяє вважати його за умов досліджень нескінченно довгим.

Генератор коротких імпульсів (ГКІ) також працює в якості мультивібратора у режимі очікування, в якому різко зменшена ємність роздільних конденсаторів. Перемикання живлення моделей з ГДН на ГКІ здійснюється тумблером S1.

На стенді встановлений осцилограф типу С1-76. З метою спостереження за імпульсними процесами перемикач «Синхронізація» необхідно встановити у положення «Зовнішня», «+», «1:10); рукояткою «Рівень» досягти стійкості імпульсної хвилі на екрані.

Перемикачі розгортки встановити у положення «Автоматичний запуск»; «1мкс х 1»; «х 2», а рукоятку «Час» вивести у крайнє положення за годинниковою стрілкою. Тривалість імпульсів визначається за шкалою на екрані осцилографа з указуванням вибраних положень рукояток.

Рукоятки підсилювача, регулювання яскравості, фокусування, зсуву й освітлення шкали встановлюються у положення, що відповідають графічній чіткості сигналу на екрані.

Методика проведення досліджень включає два основні етапи: набір потрібної схеми за допомогою перемикачів на передній панелі стенду і зняття осцилограм напруг у різних точках цієї схеми.

У всіх експериментах напруга на лінію подається одночасно з подачею на осцилограф загостреного імпульсу, який фіксує початок процесу. Тому проміжок часу від цього імпульсу до моменту появи напруги в точці x_i лінії (до цієї точки підключені пластини осцилографа) рівний часу руху електромагнітної хвилі від генератора до точки x_i.

Коли генератор дає довгу хвилю, зміна напруги в точці x_i, що досліджується, відбудеться лише після того, як хвиля досягне кінця лінії і, віддзеркалившись звідти, знов повернеться до точки x_i.

Оскільки швидкість руху електромагнітних хвиль у повітряних ЛЕП відома (300 м/мкс), то можна визначити довжину реальних ліній електропередачі, які представлені моделями, що використовуються.

Якщо змінювати комутацією тумблерів S23 - S28 величину опору резистора R_0, котрий підключений до кінця лінії, то можна досягти виконання рівності $R_0 = z$, у цьому випадку відбиття хвилі від кінця лінії не відбудеться. Це дозволяє, по-перше, за значенням R_0 визначити хвильовий опір моделі z, а по-друге, усунути вплив відбитих від кінця ліній хвиль на процеси у точці x_i, і по-третє, визначити коефіцієнт відбиття від кінця лінії шляхом зіставлення амплітуд імпульсів напруги наприкінці лінії у випадку різних значень опору R_0.

Щоб вивченню процесів у точці x_i не заважали хвилі, що відбиті від генератора, у розсічку між генератором імпульсів й лінією вводиться (шляхом розмикання тумблера S2) опір R_H, величина якого дорівнює хвильовому опору лінії.

Чотири моделі ЛЕП між точками X1 – X3 і X4 – X6 мають z = 350 Ом і однакову довжину. Тумблерами S3, S10, S11 і S19 їх можна включити послідовно і розглядати у якості однієї довгої ЛЕП. Тумблерами S21 і S22 до цієї лінії може бути підключений розрядник *FS* або обмежувач ОПН безпосередньо наприкінці або на деякому віддаленні від кінця лінії. Змінюючи навантаження наприкінці лінії можна досліджувати його вплив на перенапруги у різних точках лінії та спостерігати роль апаратів *FS* або ОПН, що обмежують перенапругу.

Якщо підключати тумблерами S12 – S17 до вузлової точки конденсатори або підключати тумблерами S4 – S9 у розсічку лінії реактори (при цьому тумблер S11 повинен бути розімкнений), можна вивчити відбиття й заломлення хвиль практично для всіх випадків, що зустрічаються в енергосистемах. Окрім того, тумблерами S3 і S19 у розсічку може бути включений відрізок лінії з хвильовим опором z = 35 Ом або z = 700 Ом з метою дослідження багатократних відбивань. Нарешті, якщо до цих ліній тумблерами S18 або S20 підключити резистори відповідно 35 Ом або 700 Ом, то можна досліджувати перехід хвиль з однієї лінії на іншу.

2. Техніка безпеки при роботі на стенді

2.1. Роботу виконують згідно інструкції з охорони праці «Безпека праці при роботі в електроустановках лабораторії високих напруг кафедри теоретичної електротехніки», а також з використанням нормативних документів “Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів”, “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”.

2.2. Під час виконання робіт повинні виконуватись вимоги інструкцій по роботі з електровимірювальними приладами та апаратами.

2.3. До роботи допускають студентів лише після проведення інструктажів з техніки безпеки, загального та на робочому місці (під розпис).

2.4. Робота на стенді виконується лише під наглядом викладача.

2.5. При роботі на стенді обов’язково використовувати індивідуальні електрозахисні засоби: діелектричні рукавички та діелектричний килим.

Додаток А16

ПАСПОРТ СТЕНДУ № 16

Технічні параметри стенду: живлення стенду здійснюється від мережі змінної напруги 380/220В частотою 50 Гц. В стенді використовуються градієнтограф, розроблений на кафедрі, осцилограф С1-70 та моделі обмотки силового трансформатора класу напруги 35 кВ.

1. Схема стенду

У роботі виконують імпульсний обмір моделей обмоток силового високовольтного трансформатора на 35 кВ.

Перша модель складається з 36 котушок, причому на обох кінцях обмотки розміщено по одному ємнісному кільцю і по одній гребінці з восьми екрануючих витків. На перших та останніх десяти котушках розміщено також додаткову ізоляцію, яка разом з міжвитковою ізоляцією має сумарну товщину на дві сторони D = 6 мм. Всі інші котушки мають тільки міжвиткову ізоляцію D = 1,95 мм (на дві сторони). В обмотці всі масляні канали ширину S = 10 мм, крім каналу між котушками *18* і *19*. Ємнісні кільця мають ізоляцію D = 14 мм (на дві сторони), магнітопровід замінено повним металевим циліндром. Від лінійного вводу A, нейтралі X і всіх зовнішніх переходів 2, 4, 6…34 між котушками прокладено відводи до відповідних клем.

Друга модель відрізняється від першої тим, що в ній немає екрануючих витків і додаткової ізоляції на котушках.

Обмір проводять за допомогою осцилографа С1-70 та спеціального градієнтографа. Градієнтограф зібрано з газонаповнених тиратронів. Вибір такої елементної бази зумовлено перш за все високою стійкістю газонаповнених ламп до зовнішніх перенапруг, які мають місце під час проведення випробувань. Крім того, якщо існує внутрішній пробій ізоляції лампи, то після відновлення її попередньої міцності прилад відновлює свої функціональні можливості.

Градієнтограф містить блок синхронізації на тиратронах *VL*1 і *VL*2, генератор грозових імпульсів на тиратроні *VL*3 із формувальними елементами і блок зрізу напруги на тиратроні *VL*4 (рис. А16.1).

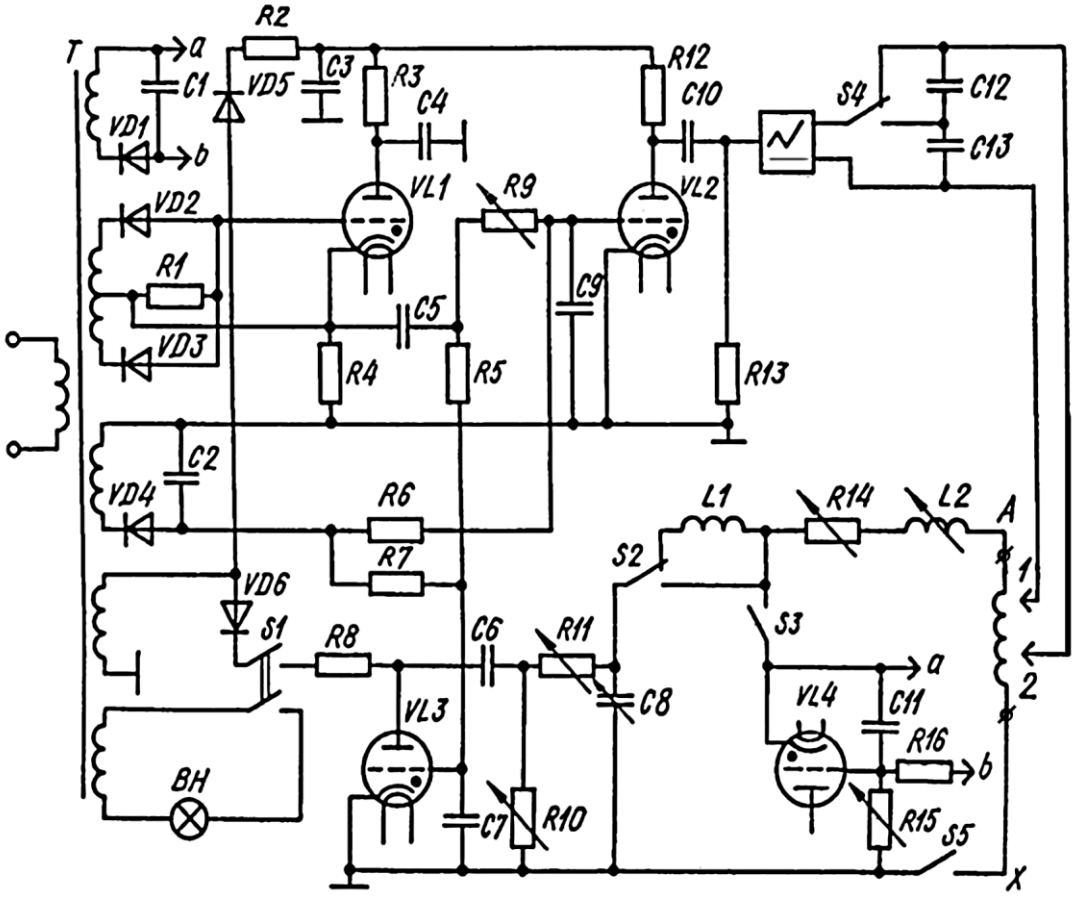


Рис. А16.1. Принципова схема градієнтографа

Тиратрон *VL*1 закрито керуючою напругою від двопівперіодного випрямляча без фільтрувального конденсатора. Конденсатор *C*4 заряджено. У кінці кожного півперіоду керуюча напруга зменшується настільки, що *VL*1 відкривається і *C*4 розряджається, створюючи на *R*4 позитивний пусковий імпульс напруги з частотою повторення 100 Гц. Цей пусковий імпульс через *R*5 перезаряджає *C*7, відкриваючи із встановленою затримкою тиратрон *VL*3 генератора грозових імпульсів, а через *R*9 перезаряджає *C*9, в результаті чого з регульованою затримкою відкривається *VL*2 і на *R*13 з'являється негативний імпульс для запуску осцилографа. Регулюючи *R*9, можна запустити розгортку осцилографа раніше чи пізніше появи грозового імпульсу.

Ємність *C*6 генератора грозових імпульсів заряджається через діод *VD*6 тільки у позитивні півперіоди анодної напруги, тому цей генератор працює з частотою 50 Гц. Таким чином, кожний пусковий імпульс від *VL*1 запускає розгортку осцилографа і тільки кожний другий запускає ГІН. У результаті на екрані осцилографа з'являється крива досліджуваної напруги, коли ГІН працює, і нульова лінія, коли ГІН не працює. Оскільки тривалість післясвітіння екрана довга, то на ньому одночасно видно криву градієнта (або потенціалу) і нульову лінію, що полегшує роботу.

Якщо вимикач *S*3 ввімкнено, то при появі грозового імпульсу ємність *C*11 перезаряджається через *R*15, тиратрон *VL*4 відкривається (з регульованою затримкою) і забезпечує зріз грозового імпульсу.

Формувальні елементи *R*10, *R*11, *R*14, *L*1, *L*2, *C*8 і блок зрізу забезпечують подачу на досліджуваний трансформатор усіх нормованих за формою імпульсів.

Подільник напруги дозволяє зменшити приблизно у 3 рази напругу, що подається на осцилограф.

Для вивчення процесів у обмотках використовують імпульсний осцилограф С1-70, який дозволяє досліджувати імпульси тривалістю від 0,02 мкс до 1 с з амплітудою від 0,1 до 100 В.

Калібраційні мітки дозволяють вимірювати тривалість досліджуваних імпульсів. Для вимірювання градієнтів корисною є можливість подати вимірювану напругу безпосередньо на пластини вертикально відхилення забезпечуючи при цьому мінімальні вхідні ємності.

2. Техніка безпеки при роботі на стенді

2.1. Роботу виконують згідно інструкції з охорони праці «Безпека праці при роботі в електроустановках лабораторії високих напруг кафедри теоретичної електротехніки», а також з використанням нормативних документів "Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів", "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів".

2.2. Під час виконання робіт повинні виконуватись вимоги інструкцій по роботі з електровимірювальними приладами та апаратами.

2.3. До роботи допускають студентів лише після проведення інструктажів з техніки безпеки, загального та на робочому місці (під розпис).

2.4. Робота на стенді виконується лише під наглядом викладача.

2.5. При роботі на стенді обов'язково використовувати індивідуальні електрозахисні засоби: діелектричні рукавички та діелектричний килим.

Лабораторні меблі та оргтехніка

Аудиторні столи – 12 шт.
Стільці – 26 шт.
Дошка – 1 шт.
Мультимедійний проектор – 1 шт.
Аудіосистема – 1 шт.