

Міністерство освіти і науки України
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
Фізико-технічний факультет
Кафедра фізики і методики викладання

Лабораторна робота № 12

ВИВЧЕННЯ РЕЛАКСАЦІЙНИХ КОЛИВАНЬ

Мета роботи: знайти вольт-амперну характеристику газонаповненої лампи і вивчення релакційних коливань.

Теоретичні відомості

Гази в основному стані складаються з електрично нейтральних атомів і молекул, не мають вільних зарядів і тому не проводять електричний струм. Проводити вони можуть тільки в тому випадку, коли частина молекул іонізується – розщеплюється на позитивні і негативні іони. Звичайно проходить розщеплення на одновалентно позитивно заряджений іон і електрон. Іонізація може відбуватися внаслідок: сильного нагрівання, рентгенівських променів, радіоактивного випромінювання, космічних променів, бомбардування молекул газу які рухаються іонами і електронами (так називається ударна іонізація).

Так як в звичайних умовах газ завжди піддається впливу космічних променів і радіоактивного випромінювання, то в ньому завжди знайдуться вільні заряди. Однак інтенсивність іонізації Δn_1 , вивчається числом пар іонів різного знака, виникаючи в одиниці об'єму газу за одиницю часу, в звичайних умовах дуже мала і не може забезпечити значної електропровідності. Тому гази поведуть себе як ізолятор. Поряд з процесом іонізації в газі проходить і зворотній процес – рекомбінація, з'єднання позитивних і негативних іонів в нейтральні атоми. Вірогідність такого процесу пропорційна як числу позитивних, так і числу негативних іонів. Тому кількість рекомбінованих за 1с в одиниці об'єму пар іонів Δn_2 пропорційна квадрату іонів що міститься в одиниці об'єму:

$$\Delta n_r = k \cdot n^2, \quad (12.1)$$

де k – коефіцієнт рекомбінації.

Під впливом іонізації і рекомбінації в газі встановлюється рівність положень (так називається динамічна рівновага), коли число пар іонів, виникаючи в одиничному об'єму за одиницю часу, рівна числу

рекомбінованих пар: $\Delta n_1 = \Delta n_2$. В положенні рівноваги в одиниці об'єму газу буде знаходитись n пар іонів:

$$n = \sqrt{\frac{\Delta n_1}{k}} \quad (12.2)$$

Якщо газ, знайдений під впливом зовнішнього іонізатора, закріплений в колбу з впаяними в неї електродами, то при подачі на електроди напруги по трубці пройде струм. Процес проходження струму через газ називається газовим розрядом. Коли електропровідність газу виникає за рахунок зовнішнього іонізатора, то електричний струм, виникаючи в ньому, називається несамостійним розрядом. Із припиненням дій зовнішнього іонізатора такий розряд припиняється. Електричний розряд в газі, зберігається після припинення дій зовнішнього іонізатора, називається самостійним газовим розрядом. Щоб це здійснити необхідно, щоб в результаті самого розряду в газі безперервно утворились вільні заряди.

Величина електричного струму в газі j (електричний струм, проходить через одиницю площі поперечного перерізу) зумовлена рухом як позитивних, так і негативних зарядів:

$$j = q^+ nV^+ + q^- nV^- , \quad (12.3)$$

де q^+ і q^- – величини позитивних і негативних зарядів; \mathcal{V}^+ і \mathcal{V}^- – середня квадратична швидкість впорядкованого руху заряду; n – концентрація заряду

Середня швидкість впорядкованого руху пропорційна напруженості електричного поля E :

$$\mathcal{V}^+ = \mathcal{V}^+ \cdot E; \quad \mathcal{V}^- = \mathcal{V}^- \cdot E, \quad (12.4)$$

де \mathcal{V}^+ і \mathcal{V}^- – рухи позитивних і негативних зарядів (швидкість їх впорядкованого руху при напруженості електричного поля $E=1$ В/м). Тоді

$$j = (q^+ \cdot \mathcal{V}^+ + q^- \cdot \mathcal{V}^-)nE. \quad (12.5)$$

Порівняємо цю формулу із законом Ома в диференціальній формі:

$$j = \sigma \cdot E, \quad (12.6)$$

де G – електропровідність.

Електропровідність буде рівна:

$$\sigma = (q^+ \cdot \mathcal{G}^+ + q^- \cdot \mathcal{G}^-)n. \quad (12.7)$$

Враховуючи, що гази іонізуються, як правило, на електрон і одновалентний позитивно заряджений іон, можна записати:

$$\sigma = e \cdot n(\mathcal{G}^+ \cdot \mathcal{G}^-). \quad (12.8)$$

Залежність струму від прикладеної до електродів напруги називається вольт-амперною характеристикою. Вона зображується на рис. 12.1.

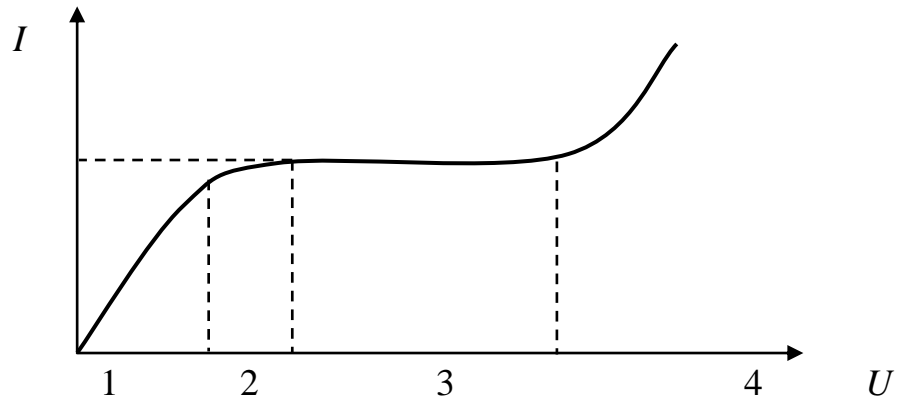


Рис.12.1

Коли до електродів прикласти напругу, то іони і електрони під дією сил зі сторони електричного поля будуть рухатись до протилежних електродів. При малих напругах (ділянка 1) концентрація зарядів залишається постійною, так як інтенсивність іонізації Δn_1 буде постійною, а електроди будуть досягати лише незначного числа заряджених частинок. Тому електропровідність також залишається постійною, і сила струму пропорційна напруженості електричного поля в відповідності до закону Ома (12.6).

Із збільшенням різниці потенціалів (ділянка II) лінійна залежність порушується. Це пов'язано з тим, що під дією поля значна частина іонів і електронів досягає електродів. Це призводить до зменшення концентрації заряду і порушення пропорційності між струмом і напругою. Починаючи з деякого значення напруга (ділянка III), струм залишається незмінним з зростанням напруги. Це пояснюється тим, що всі заряди, виникаючі в газі під дією зовнішнього іонізатора, досягають електродів, не встигаючи рекомбінувати. Тому при незмінній інтенсивності іонізації не проходить

дальшого росту струму при збільшенні напруги. Коли в об'ємі трубки V в одиницю часу утворюється $\Delta n_1 V$ пар вільних зарядів і всі вони попадають на електроди, то струм в трубці буде:

$$I_n = \Delta n_1 \cdot V \cdot e, \quad (12.9)$$

Де I_n – струм насичення – максимально можливий струм при даній інтенсивності іонізації. Газовий розряд, проходить при напругах, які відповідають областям I, II, III, знаходиться несамостійний газовий розряд.

При подальшому зростанні напруги (ділянка 4) проходить різне збільшення струму. Це пояснюється ударною іонізацією: електрони, які виникли в газі за рахунок зовнішнього іонізатора під час часу свого руху до аноду під дією електричного поля, набувають енергії, достатньої для іонізації нейтральних молекул газу при зіткненні з ними. При зіткненні утворюються вторинні електрони і іони. В свою чергу вторинні електрони, які прискорювались полем, можуть також іонізувати нейтральні молекули газу.

Число носіїв струму лавиноподібно зростає, зростає і величина струму. Але розряд в газі залишається ще несамостійним, так як ударна іонізація, викликана одними електронами, недостатня для підтримання розряду при знищенні зовнішнього іонізатора. Це визначено тим, що електрони рухаються в електричному полі від катода до анода. Тому вони можуть іонізувати тільки ті молекули газу, які стоять ближче до анода порівняно з місцем виникнення даного електрона. Поблизу катода електрони ще не мають енергії, достатньої для іонізації, і в цій області електрони можуть виникати тільки завдяки наявності зовнішнього іонізатора.

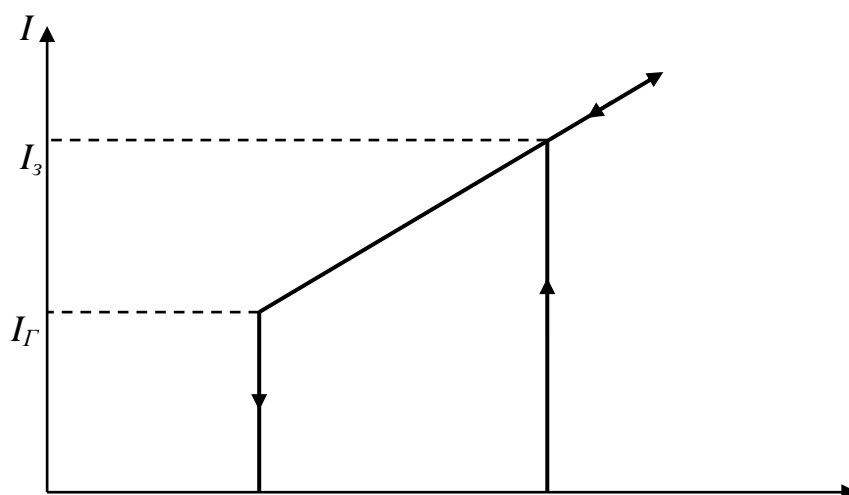
Коли дія останнього припиняється, то область ударної іонізації буде постійно скорочуватись, притягаючись до аноду по мірі руху до нього електронів, і в кінці кінців ударна іонізація і електричний струм в газі припиняється. Перехід від несамостійного розряду до самостійного залишається можливим лише при такій напрузі між електродами, коли позитивні іони теж набувають енергії, достатньої для іонізації молекул газу, виникають два зустрічних потоки, кожен з яких здатний викликати іонізацію

газу. В цьому випадку зовнішній іонізатор не відіграє важливої ролі в газовому розряді, так як число початкових іонів мале порівняно з числом вторинних іонів і припинення дії іонізатора не впливає на проходження розряду.

Досвіт показує, що в більшості випадках спостерігається не ударна іонізація молекул газу іонами, а вибивання ними електронів з поверхні катода, так як в цьому випадку робота, виконана іонами, менша, чим при ударній іонізації. Поряд з процесами вибивання іонами електронів із катодів – вторинна емісія, не менш важливим виявляється фотоефект – вибивання електронів із катода під дією світла – достатньо швидкий електрон може не тільки іонізувати молекулу, але і перевести утворений іон в збуджений стан. Переходячи за цим в постійне положення, іон залишає квант енергії, який здатний викликати фотоіонізацію. Випускання світла проходить при рекомбінації позитивних іонів з електронами – «рекомбінаційне свічення».

Підвищення напруги на електродах, може викликати всі ці процеси і здійснити перехід від несамостійного розряду до самостійного. Цей перехід називається електричним пробігом газу, а відповідна напруга – напруга запалювання U_3 . Вона залежить від хімічної природи газу, матеріалу катода, форми електродів і відстані між ними, тиску газу і наявності в ньому примісій.

Ідеалізовану вольт - амперну характеристику газонаповненої лампи яку ми вивчаємо в даній роботі наведено на рис. 12.2.



U_{Γ} U_3 U

Рис.12.2

При напрузі $U < U_3$ струм в лампі при звичайних зовнішніх іонізаторах малий, і ми його розглядати не будемо.

Якщо збільшувати різницю потенціалів на електродах лампи, то при значенні $U < U_3$ стрибком встановлюється значення струму, рівне I_3 , і лампа «загоряється». При подальшому зростанні напруги струм збільшується за законом, близьким до лінійного. Якщо зменшувати напругу на «лампі», то при напрузі, рівній U_3 , лампа ще не гасне. Продовжуючи зменшення напруги, можна побачити, що лише при деякій напрузі (напруга згасання U_{Γ}), яка менша, чим U_3 , лампа «гасне» і струм стрибкоподібно падає. При цьому самостійний розряд в лампі припиняється. У звичайної лампи залежність $I = f(U)$ виявляється не повністю лінійною, причому при $U > U_3$ криві, зняті при зростанні і спаданні напруги, не повністю співпадають. Але ці відмінності не значні, і ми можемо в даній роботі цим знехтувати.

Наповнені газом лампи часто використовують для отримання релаксаційних коливань. Релаксаційні коливання – періодичне коливання, яке за формою різко відрізняється від синусоїдальних і являє собою процес виникнення електричної напруги, яка періодично повторюється.

Розглянемо роботу генератора релаксаційних коливань. Принципова схема представлена на рис.12.3. Він складається із джерела постійної напруги U_0 , конденсатора ємністю C , опора R і лампи L . Якщо підключити джерело, то в колі з'явиться струм. Опір лампи, яка не світиться нескінченно великий, і струм буде заряджати конденсатор. Різниця потенціалів на його обкладках буде зростати. Відповідно зростає і різниця потенціалів на електродах лампи, підключених паралельно конденсатору. Коли вона досягає значення напруги запалювання U_3 , лампа «загоряється» його опір стрибкоподібно зменшується, і вона починає проводити струм. Так як опір R великий, то підтримувати струм будуть в основному заряди, розміщені на обкладках конденсатора. Це викликає швидке спадання напруги на конденсаторі, і коли він досягає значення напруги гашення U_{Γ} , лампа «гасне»

і процес починається знову. Виникають релаксаційні коливання. Крива зміни напруги на конденсаторі представлена на мал. 12.4.

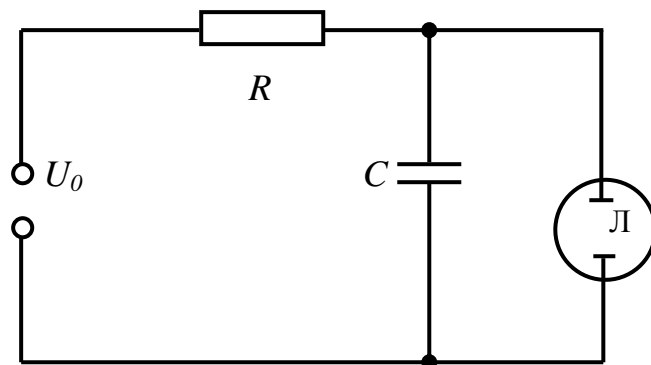


Рис. 12.3

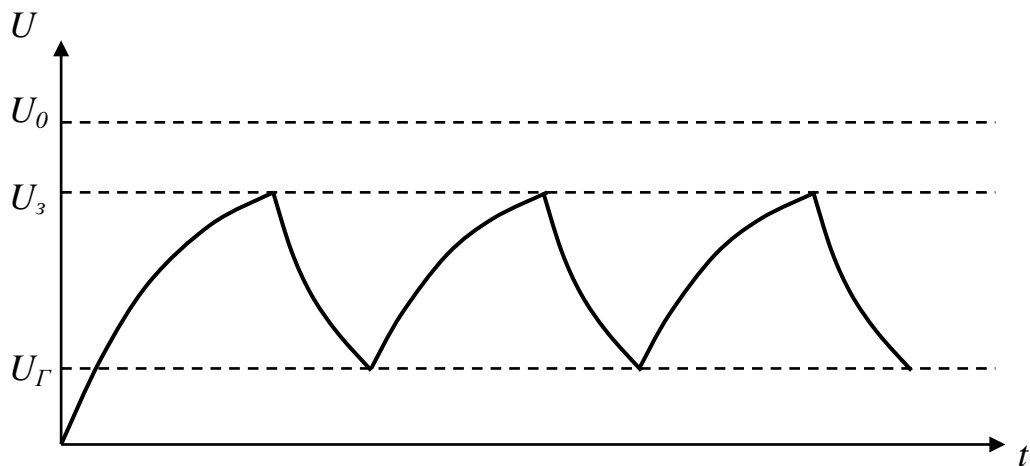


Рис.12.4

Знайдемо закон, за яким буде змінюватися напруга на конденсаторі.

В будь-який момент часу величина напруги U_0 рівна сумі напруг в елементах кола:

$$U_0 = IR + U, \quad (12.10)$$

де U – різниця потенціалів на обкладках конденсатора.

Заряд конденсатора змінюється впродовж протікання по колі електричного струму:

$$dq = I \cdot dt. \quad (12.11)$$

Зміна заряду викликає зміну різниці потенціалів:

$$dU = \frac{dq}{C} \quad (12.12)$$

Із рівняння (12.11) і (12.12) знаходимо:

$$I = C \frac{dU}{dt}, \quad (12.13)$$

Підставляючи (12.13) в (12.10), отримаємо:

$$RC \frac{dU}{dt} = U_0 - U, \quad (12.14)$$

Перетворимо рівняння (12.10):

$$\frac{dU}{U_0 - U} = \frac{dt}{RC}, \quad (12.15)$$

Проведемо інтегрування:

$$\ln(U_0 - U) = -\frac{t}{RC} + \text{const}, \quad (12.16)$$

Сталу інтегрування знаходимо із умови: при $t=0$ $U=0$. Тоді $\text{const} = \ln U_0$.

Потенціюючи вираз (12.16), отримаємо закон зростання напруги на конденсаторі генератора релаксаційних коливань:

$$U = U_0 (1 - e^{-t/RC}) \quad (12.17)$$

Обладнання:

1. БЖ – блок живлення;
2. РО – електронний осцилограф;
3. РQ – звуковий генератор;
4. РА – амперметр;
5. МО – магазин опорів;
6. МС – магазин ємностей;
7. ФПЕ-12 – модуль.

Опис установки.

Електрична схема установки зібрана в модулі ФПЕ-12 рис.12.5. При вимкненій кнопці «режим» реалізується схема отримана вольт-амперною характеристикою газонаповненої лампи. При натисненій кнопці «режим»

отримується схема генератора релаксаційних коливань рис.12.3. Магазин ємностей MC і опорів MO виконують роль ємності C і опора R генератора.

В роботі визначається період релаксаційних коливань двома способами. Перший спосіб полягає в тому, що сигнал від отриманих в колі релаксаційних коливань поступає на вхід осцилографа і на екрані останнього можна спостерігати зображення цих коливань.

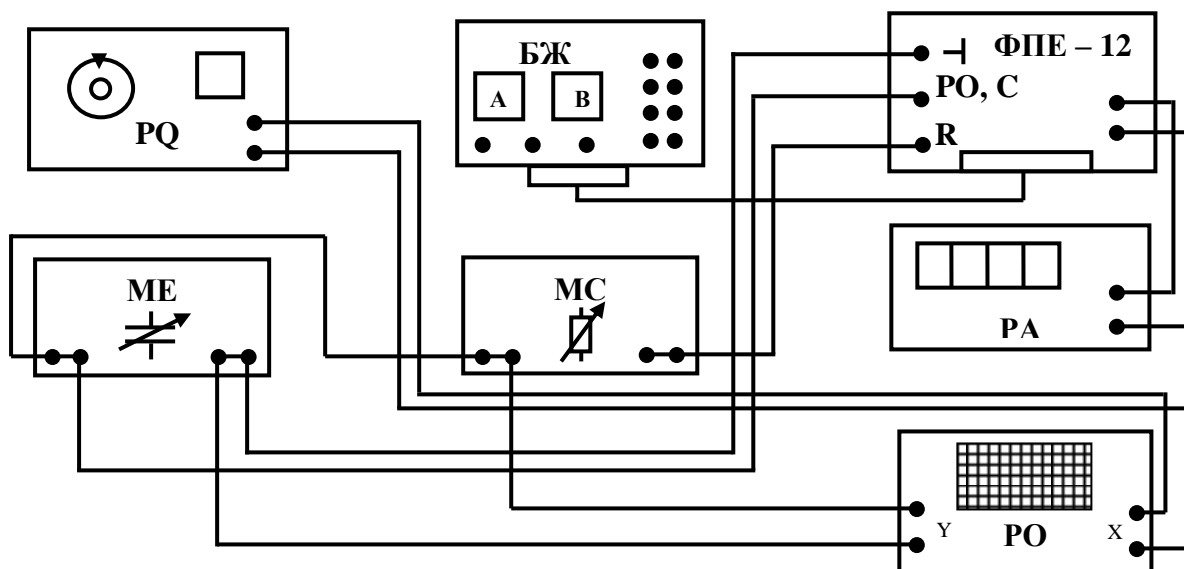


Рис.12.5

Період можна виміряти безпосередньо з екрану при роботі осцилографа в режимі вимірювання довжини сигналу.

Другий спосіб, більш точний, полягає в тому, що додатково на другий вхід осцилографа поступає сигнал певної частоти. В електронно-променевої трубі проходить накладання двох взаємно перпендикулярних коливань: релаксаційних коливань лампи і синусоїдальних коливань, що подаються на другий вхід осцилографа. В результаті на екрані появляються фігури Ліссажу. Якщо частоти коливань, які накладаються відносяться як цілі числа, то картина на екрані нерухома. Знаючи частоту сигналу, який подається, по вигляді фігури Ліссажу можна визначити відношення частот і частоту релаксаційних коливань.

Порядок виконання роботи.

Скласти електричну схему див. мал.. (12.5)

Завдання І. Зняття вольт-амперної характеристики газонаповненої лампи.

1. Підготувати прилади до роботи:

Кнопку «режим» модуля ФПЕ-12 вимкнути. Ручку регулювання напруги $120V$ джерело живлення встановити в крайнє ліве положення. Вимірювальний прилад РА підготувати до роботи в режимі, обчислювальними вимірюваннями сили струму до $12mA$.

2. Включити електронний стенд, джерело живлення БЖ і вимірювальний прилад РА.

3. Ручкою регулювання напруги джерела живлення змінювати напругу від 40 до $120V$ через $10V$ і вимірювати силу струму в I_{np} . Записати в другий рядок таблиці 1 значення сили струму.

Таблиця 1.

U, V	40	50	60	70	80	90	100	110	...
I_{np}, mA									
$I_{обр}, mA$									

4. Зменшуючи напругу від $120V$ до $40V$, виміряти силу струму $I_{обр}$. Результати внести в третій рядок таблиці 1.

5. Визначити напругу запалювання і гасіння лампи, Для цього вибрати із таблиці 1 інтервал напруги, в якому лампа запалилась (погасла). У вибраному інтервалі, поступово збільшуючи (зменшуючи) напругу на $1-2V$, зафіксувати таку напругу, при якій струм в лампі стрибком збільшується від 0 до скінченної величини (або зменшується до 0). Це і буде напруга запалювання(гасіння).

6. Виключити вимірювальний прилад.

7. Побудувати графік залежності струму I від напруги U .

Завдання 2. Вивчення роботи генератора релаксаційних коливань.

1. Приготувати прилади до роботи:

Натиснути кнопку «режим» модуля ФПЕ-12. Встановити на магазині опорів $R = 1 \cdot 10^6 \text{ Ом}$. На магазині ємностей встановити ємність $C = 3 \cdot 10^{-3} \text{ мкФ}$. На джерелі живлення ручку регулювання вихідної напруги 120В встановити в крайнє ліве положення. Осцилограф підготувати до роботи в режимі довжини сигналу.

2. Включити лабораторний стенд, джерело живлення і осцилограф. Встановити ручкою регулювання джерела живлення 110В , яке надалі підтримує стан. Підсилення по осі Y осцилографа установити таким, щоб можна було вимірювати змінну напругу 1В . Включити генератор розгортки осцилографа і встановити таку частоту розгортки, щоб на екрані було видно 1-2 релаксаційних коливання.

3. Виміряти на екрані осцилографа період релаксаційних коливань.

4. Виміряти період релаксаційних коливань з допомогою генератора сигналів PQ. Підготувати осцилограф до роботи в режимі спостереження фігур Ліссажу. Включити генератор PQ і встановити вихідну напругу $\sim 1\text{В}$ і частоту $\sim 200\text{Гц}$. Включити генератор розгортки осцилографа. Плавню змінюючи на генераторі PQ частоту вихідного сигналу, отримати на екрані осцилографа нерухому фігуру Ліссажу, відповідно відношенню частот $1:1$ рис.12.5. Записати значення частот генератора PQ. Поступово збільшуючи частоту сигналу, отримати фігури Ліссажу, відповідно відношення частот $1:2$ і $1:3$. Записати значення цих частот. Розрахувати частоту релаксаційних коливань по формулі $f = \frac{f_{12}}{n}$, де f_{12} - частота сигналу генератора PQ, виміряна в першому, другому і третьому випадках; $n=1,2,3$ – відношення частоти сигналу генератора PQ до частоти релаксаційних коливань. Знайти середнє значення f і розрахувати період релаксаційних коливань: $T = \frac{1}{f}$.

5. Виключити осцилограф, генератор сигналів, джерело живлення і лабораторний стенд.
6. Розрахувати похибки визначення періоду релаксаційних коливань, отриманих в п.4, задається похибкою генератора сигналів із його паспортних даних.

Контрольні питання.

1. Від чого залежить електропровідність газів?
2. Пояснити вольт-амперну характеристику газонаповненої лампи.
3. Який механізм виникнення самостійного розряду?
4. Як працює генератор релаксаційних коливань?
5. Що таке фігури Ліссажу і як вони одержуються вданій роботі?