

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

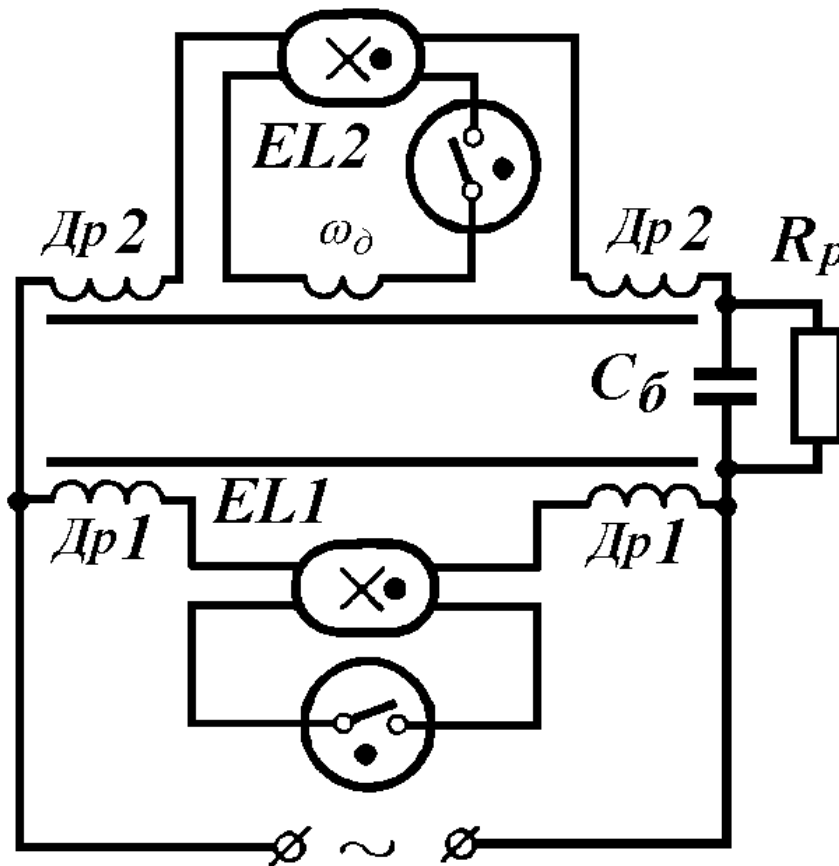
Є.В. ШЕПІЛКО

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

З КУРСУ “ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ ПРИСТРОЇ  
СВІЛОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ”

(для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання напрямку підготовки  
6.050701 - “Електротехніка та електротехнології” (0906 “Електротехніка”)  
спеціальності - “Світлотехніка і джерела світла”)



ХАРКІВ - ХНАМГ - 2010

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу “Електротехнічні пристрої світлотехнічних систем” для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання напрямку підготовки 6.050701 - “Електротехніка та електротехнології” (0906 “Електротехніка”) спеціальності - “Світлотехніка і джерела світла”/ Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: Є.В. Шепілко– Х.: ХНАМГ, 2009. - 60 с.

Рецензент: д.ф.-м.н., проф. Г. М. Кожушко

Рекомендовано кафедрою світлотехніки і джерел світла,  
протокол № 1 від 1 .09. 2009 р.

## ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Ці методичні вказівки містять опис лабораторних робіт з курсу “Електротехнічні пристрої світлотехнічних систем” для студентів 4-го курсу денної і заочної форм навчання спеціалізації 6.090.600 “Світлотехніка і джерела світла”

Завданням методичних вказівок є ознайомити студентів з деякими методами експериментального дослідження електричних кіл з розрядними джерелами світла в лабораторних умовах та порядком виконання необхідних лабораторних робіт.

Описи лабораторних робіт містять лише короткі теоретичні відомості, що необхідні для загального розуміння напрямку експериментальних досліджень, а тому для їх успішного виконання й отримання вірних результатів студент має попередньо вивчити відповідний теоретичний матеріал за підручниками для самостійної підготовки, ознайомитися з вимірювальним обладнанням лабораторних стендів, усвідомити фізичні закономірності, що лежать в основі робіт, які виконуються. Контрольні запитання й список літературних джерел з вказівкою сторінок, де можна більш детально ознайомитися з теоретичним матеріалом, наводяться в кінці кожного з описів лабораторних робіт.

Після завершення лабораторної роботи кожний студент має підготувати звіт-протокол про її виконання. У звіті-протоколі вказують прізвище виконавця, дату виконання й назву лабораторної роботи, наводять схеми вимірів, таблиці отриманих результатів з вказівкою розмірності виміряних величин, розрахункові формули, побудовані необхідні графічні залежності, остаточні результати розрахунків і висновки, а також вказують використані у роботі вимірювальні прилади з позначенням їх класу точності.

Побудову графіків здійснюють на міліметровому папері, а осцилограм – на кальці, після чого їх вклеюють до звіту.

Остаточні результати треба навести в одиницях СІ з урахуванням можливих похибок.

На наступному занятті кожний студент здає залік за виконану роботу й лише після цього він допускається до виконання нової роботи на подальшому занятті.

Студент допускається до виконання роботи після співбесіди з викладачем, якому він має назвати мету роботи, які залежності буде досліджувати і порядок виконання роботи.

У кінці методичних вказівок наведено список додаткової літератури для самостійної роботи, а також додатки I і II, де містяться пояснення й деякі довідникові матеріали.

Виконання лабораторних робіт сприяє більш глибокому засвоєнню матеріалу курсу, закріпленню знань, отриманих на лекціях, прищепленню практичних навичок наукового дослідження, а також допомагає студентам оволодіти спеціальністю.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ І НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК У СХЕМІ МЕРЕЖА-БАЛАСТ-РОЗРЯДНА ЛАМПА

Мета роботи - ознайомлення з електричними характеристиками розрядних ламп (РЛ), і чинниками, що впливають на них.

Завдання до роботи – виконати вимірювання й на їх основі побудувати статичні та динамічні характеристики РЛ, а також побудувати навантажувальні характеристики схеми мережа–баласт – лампа за різних баластних опорах, обчислити коефіцієнти нестабільності роботи РЛ і визначити за яким баластом розряд більш стійкий при відхиленні напруги джерела живлення від номінального значення.

Для виконання роботи студент має:

знати, визначення вольт-амперної характеристики (ВАХ) РЛ і навантажувальної характеристики баласту в схемі мережа-баласт-лампа, типи вольт-амперних характеристик, способи отримання цих характеристик, призначення баластних опорів і впливи їх на часові електричні характеристики РЛ, принципову схему вмикання РЛ зі стартерним запаленням, визначення пускорегулюючого апарату (ПРА), його основні призначення й вимоги до нього, вплив відхилень напруги мережі живлення на електричні параметри РЛ і ПРА, правила техніки безпеки при роботі з електричним струмом;

уміти накреслити й зібрати електричну схему вмикання РЛ зі всіма необхідними вимірювальними приладами для вимірювання електричних параметрів РЛ і ПРА, проводити вимірювання за допомогою осцилографа, будувати графіки вольт-амперних і навантажувальних характеристик, аналізувати отримані результати.

### СТИСЛІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Розрядна лампа – це розрядний пристрій, який використовується для освітлення. Причиною виникнення світла в РЛ є протікання електричного струму через суміш газів, що наповнюють лампу, а джерелом світла є випромінення енергії збудженими електричним струмом атомами газу, яка або сама є світлом (в РЛ високого тиску), або за допомогою люмінофору перетворюється в світло (люмінесцентні лампи). Тому РЛ поділяються на лампи низького тиску – люмінесцентні лампи (ЛЛ) та на РЛ високого і надвисокого тиску.

В електричному колі РЛ має властивості нелінійного опору й її електричні характеристики можуть бути описані вольт-амперною характеристикою.

Вольт-амперною характеристикою РЛ називається залежність напруги, прикладеної до її електродів, від струму розряду.

Розрізняють два види вольт-амперних характеристик – статичну й динамічну. Статичною ВАХ називають залежність між ефективними (діючими) значеннями падіння напруги на РЛ і струму розряду, що відповідають сталому режиму розряду –  $U_L = f(I_L)$ . Динамічною ВАХ називають залежність між миттєвими значеннями падіння напруги на лампі й струму розряду. Динамічні ВАХ можуть бути задані двома видами залежності напруги на лампі від струму розряду: безпосередньою залежністю –  $u = f(i)$  або параметричною (в залежності від параметру, наприклад, часу) –  $u = f(t)$ ;  $i = f(t)$ , й відповідно до цього, вони матимуть різній вигляд. Інколи параметричні ВАХ ще називають часовими. Якщо виключити параметр з параметричної залежності, то отримаємо ВАХ з безпосередньою залежністю.

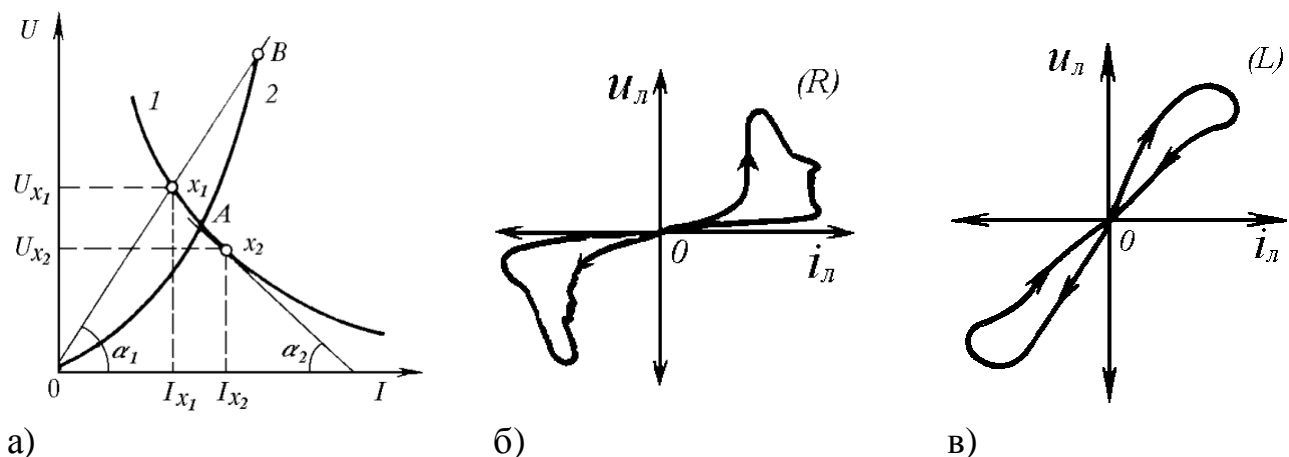


Рис.1.1 - Вольт-амперні характеристики:

а – статичні: 1 – спадаюча, 2 – зростаюча; б – динамічна з безпосередньою залежністю  $u = f(i)$  для активного баласту  $R$ ; в – динамічна – для індуктивного баласту  $L$ .

Динамічна ВАХ будується за даними для часових залежностей  $i(t)$  й  $u(t)$ , які отримують за допомогою осцилографа, для чого до вертикальних відхиляючих пластин електронної променевої трубки осцилографа прикладають або напругу, що діє на РЛ, або напругу, що відповідає струму, який протікає через РЛ; другий спосіб – до вертикальних відхиляючих пластин осцилографа прикладають напругу, що діє на РЛ, а до горизонтальних пластин – напругу, що відповідає розрядному струму. Перший спосіб побудови динамічної ВАХ отримав широке застосування, оскільки залежності  $i(t)$  й  $u(t)$  дають наочну картину залежності напруги й струму в будь-який момент часу, а це дає можливість знати стан розряду та його окремих етапів (запалення, робочий режим, погаснення).

На рис.1.1, а наведено два види статичної ВАХ - нерівномірно спадаючої - 1, й нерівномірно зростаючої - 2, які, наприклад, перетинаються в точці А, а також динамічних ВАХ за безпосередньою залежністю для різних баластів – активному (рис.1.1, б) та індуктивному (рис.1.1, в) для мережі живлення з промисловою частотою (50 Гц).

У зростаючої статичної ВАХ зростання струму викликає зростання падіння напруги на відповідну величину, тоді як у спадаючої ВАХ таке ж зростання струму викликає все зменшуване падіння напруги. Спадаюча ВАХ показує, що збільшення струму викликає зменшення статичного опору, а це в свій час приводить до ще більшого лавинного зростання струму.

Безпосередній вигляд статичної ВАХ залежить від типу лампи і умов розряду в ній. Навіть для однотипних РЛ статичні ВАХ мають різний вигляд, оскільки режим роботи лампи залежить від параметрів оточуючого середовища, а конструкція ламп має виробничі допуски. За цієї причини кожний тип РЛ характеризують не однією, а сімейством як статичних, так і динамічних ВАХ.

Якщо з'єднати початок координат з точкою  $B$ , то тангенс кута нахилу прямої  $OB$  буде характеризувати статичний опір розряду

$$r_{x_1} = \frac{U_{x_1}}{I_{x_1}} = m \cdot \operatorname{tg}(\alpha_1), \quad (1)$$

де  $m$  - коефіцієнт пропорційності.

Як видно з рис.1.1, а, той же статичний опір у точці  $B$  має зростаюча ВАХ.

Статичний опір у складі з рештою послідовно з'єднаних опорів кола визначає робочий струм РЛ, але він не визначає форму ВАХ. Остання визначається диференціальним опором, який також характеризує ще й стійкість горіння дуги.

$$r_d = \frac{dU_{x_2}}{dI_{x_2}} = m \cdot \operatorname{tg}(\alpha_2). \quad (2)$$

Якщо  $r_d$  більше нуля, то ВАХ зростаюча, якщо менше нуля - спадаюча. Як правило, розрядні джерела світла мають спадаючу ВАХ.

Якщо ВАХ лампи зростаюча (наприклад, у лампи розжарення), то її можна безпосередньо підключати до джерела струму без додаткових опорів. В цьому разі, за коливань напруги мережі живлення –  $U_m$  у бік збільшення або зменшення, робочий струм лампи зростає або зменшується відповідно до закону Ома в кожній окремій точці.

Якщо ж лампа має спадаючу ВАХ, тобто таку, де зростання струму викликає зменшення падіння напруги на ній, то при безпосередньому її підключенні до мережі живлення, збільшення напруги живлення приведе до миттєвого й необмеженого зростання робочого струму, до того часу, поки значний струм не зруйнує як електроди, так і лампу. Щоб цього не відбувалося, в електричне коло послідовно з лампою включається опір, який називають баластним або баластом. У колі постійного струму в якості баласту використовують резистори з активним опором, а в колі змінного струму – баласта як з активним, так і реактивним опором. У останньому випадку найчастіше застосовують індуктивні або індуктивно-ємнісні баласта з ємнісним характером опору.

## 1.1. Аналіз роботи розрядної лампи в колі з баластним опором. Умова стійкості розряду

Оскільки ВАХ РЛ загалом є спадаючою, то виникає питання, за якої умови розряд у РЛ буде стійким.

Математиком О.М. Ляпуновим [1] було доведено, що замкнута система, яка стійка за малих збурень, буде стійкою й за великих збурень, тому достатньо досліджувати і визначити стійкість “у малому”. За теорією Ляпунова нелінійне коло лінеаризується за малих прирощень відносно точки дослідження й відповідно до першої теореми, необхідною й достатньою умовою стійкості лінійної системи будь-якого порядку є додатність усіх коефіцієнтів характеристичного рівняння такої системи, тобто діюча система буде стійкою, якщо характеристичне рівняння лінеаризованої системи має усі розв’язки з від’ємними дійсними частинами.

Щоб з’ясувати умову стійкості розряду, застосуємо аналіз нелінійних кіл і використаємо умову стійкості О.М. Ляпунова для контура з РЛ, активним опором  $R$  і стабілізованим джерелом живлення з напругою  $U$ . Ємність елементів контуру позначимо еквівалентним конденсатором  $C$ , який підключено паралельно до РЛ, а їх індуктивність – котушкою з індуктивністю  $L$ , що підключена послідовно до РЛ, як зображено на рис. 1.2.

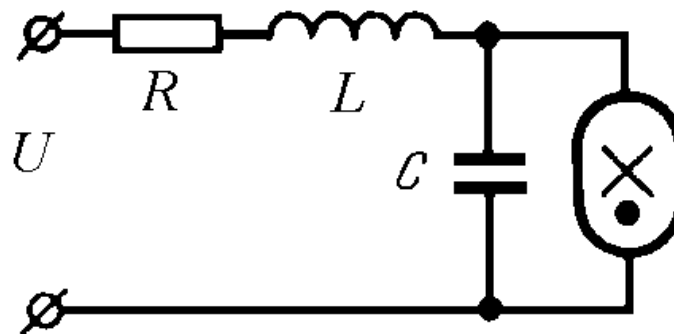


Рис.1.2 – Електрична схема з розрядною лампою.

Виберемо, наприклад, точку  $a$  на статичній ВАХ РЛ (рис.1.3,а) і проаналізуємо за яких умов робота РЛ буде стійкою. При аналізі кола приріст опору нелінійного елемента – це сама РЛ, замінюємо її диференціальним опором і для такого лінеаризованого кола складаємо рівняння  $Z(\omega) = 0$ , тобто

$$R + \omega L + r_d / \omega C (r_d + 1 / \omega C) = 0, \quad (3)$$

яке можна записати у вигляді диференційного рівняння (відомо, що  $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$ ),

тобто характеристичного

$$\omega^2 + \frac{\omega}{L} \left( \frac{L}{C \cdot r_d} + R \right) + \frac{1}{LC \cdot r_d} (R + r_d) = 0. \quad (4)$$

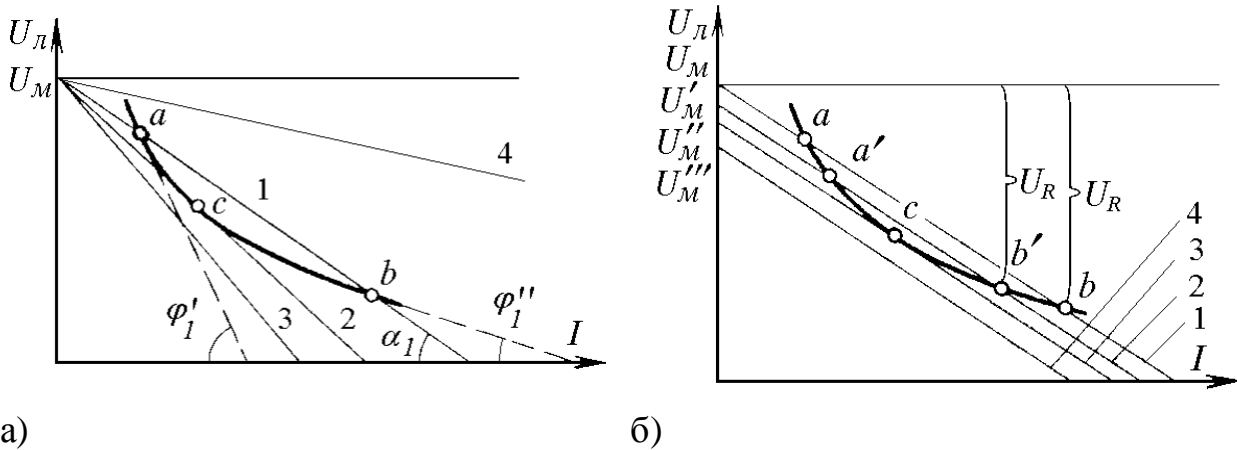


Рис. 1.3 – Статична і навантажувальні ВАХ

Згідно з першою теоремою теорії стійкості за Ляпуновим, коли всі коефіцієнти рівняння (3) будуть додатними, малі відхилення, що виникають відносно вибраної точки, будуть затухати, а це й свідчить про стійкий режим роботи. Таким чином, щоб розряд був стійким, необхідно задовольнити дві умови:

$$R > |r_d|, \quad (5)$$

а також

$$|r_d| < \frac{L}{C \cdot R} \quad (6)$$

Після об'єднання цих умов отримуємо нерівність, яка й є умовою стійкості розряду, що має спадаючу ВАХ

$$\frac{L}{C \cdot |r_d|} > R > |r_d| \quad (7)$$

Розглянемо схему, подібну до зображеної на рис. 2, але в якій баластом є тільки активний опір  $R$  (індуктивність  $L$  і ємність  $C$  відсутні). Режим роботи РЛ має задовольняти другий закон Кірхгофа

$$U_L = U_M - I R \quad (8)$$

Залежність (8) ще називають навантажувальною ВАХ баласту  $R$ . Ця ВАХ має вигляд прямої (рис.1.3, а), що відсікає на вісі ординат відрізок, рівний  $U_M$ , а на вісі абсцис – рівний  $U_M/R$ . Тангенс кута нахилу  $\alpha_1$  прямої до вісі абсцис пропорційний до величини опору  $R$ .

Точка перетину ВАХ лампи з навантажувальною ВАХ баласту буде визначати режим роботи РЛ за вибраних баластного опору  $R$  й напруги мережі  $U_M$ . Очевидно, що в даному разі (пряма 1 на рис.1.3, а) є дві точки перетину – точка  $a$  і  $b$ .

Перевіримо режими роботи РЛ на стійкість. Для цього проведемо дотичні до ВАХ РЛ в цих точках, щоб знайти диференціальні опори. Тангенси кутів нахилу  $\phi_1'$  і  $\phi_1''$  дотичних до вісі абсцис пропорційні відповідним диференціальним опорам РЛ. Для точки  $a$  маємо:  $R < |r_d|$ , і можемо зробити



висновок, що режим роботи буде нестійким, тоді як для точки  $b$ :  $R > |r_d|$ , а значить режим роботи буде стійким. Якщо візьмемо баласт з навантажувальною ВАХ, що відповідає прямій 2 на рис. 1.3,а, то матимемо тільки одну спільну з ВАХ РЛ точку  $C$ , для якої  $R = |r_d|$ . Такий режим буде граничним, оскільки будь-яке відхилення струму приведе до нестійкого розряду. За цієї причини режим для точки  $C$  не може бути робочим. Якщо баластний опір значно великий (пряма 3 на рис. 1.3, а) або малий (пряма 4), то стабілізувати розряд взагалі неможливо за будь-якого струму.

Таким чином для стабілізації роботи ЛЛ необхідно використовувати баласта, характеристика навантаження яких перетинає ВАХ РЛ в двох точках.

Стабільність роботи лампи залежить не тільки від опору баласта, але й від напруги мережі. На рис. 1.3,б наведені ВАХ РЛ і характеристики навантажень (прямі 1, 2, 3 й 4) для декількох значень напруги мережі:  $U'_m$ ,  $U''_m$  і  $U'''_m$ , при одному й тому ж баластному опорі. Точки перетину навантажувальних ВАХ з ВАХ РЛ визначають можливі робочі струми. Очевидно, що в точках  $a$ , і  $a'$  режим роботи буде нестійким, тоді як в точках  $b$ , і  $b'$  – стійким. Найменша напруга мережі, за якої розряд буде ще існувати, відповідає прямій 3 (точка  $C$ ). Наступне пониження напруги мережі (пряма 4) приведе до погасання розряду.

На рис. 1.3,б видно, що при стійкому режимі роботи, якому відповідає точка  $b'$ , незначне зростання напруги мережі від  $U'_m$  до  $U$  приведе до зростання робочого струму лампи й одночасно до зростання падіння напруги на баласті, робочий режим буде відповідати точці  $b$ . Тоді як, пониження напруги мережі на таку ж величину до  $U''_m$  приведе до значно більшої зміни робочого струму, зменшення падіння напруги на баласті й приведе до режиму роботи в точці  $C$ .

Отже, можна зробити висновок, що стабільність роботи лампи вища за режимів, в яких зменшується відношення  $U_l/U_m$ .

Втрати потужності на баластному опорі визначають коефіцієнтом потужності схеми. Очевидно, що потужність схеми вмикання лампи буде дорівнювати

$$P_{cx} = P_l + P_b. \quad (9)$$

Тоді

$$P_b = P_{cx} (1 - P_l / P_{cx}) = P_{cx} (1 - U_l / U_m). \quad (10)$$

Відношення  $P_l / P_{cx}$  визначає коефіцієнт потужності схеми  $\eta_{cx}$ , тобто

$$\eta_{cx} = P_l / P_{cx} = U_l / U_m. \quad (11)$$

З визначення коефіцієнта потужності схеми випливає що він тим більший, чим більше відношення  $U_l/U_m$ . Але збільшення відношення  $U_l/U_m$  погіршує умову стабільної (сталі) роботи лампи, тоді як підвищення стабільності роботи лампи потребує зменшення цього відношення, що приводить в цьому разі до зростання втрати потужності на баластному опорі.

Стабілізація роботи лампи за допомогою активного баластного опору пов'язана з великими втратами потужності на ньому. Тому приймають оптимальне рішення й на практиці баластний опір вибирають таким, щоб дотримувалася умова  $U_l \leq 0,65U_m$ .

Для зменшення втрат потужності за зберігання стабільної роботи РЛ необхідно застосовувати баласт з реактивним опором або генератори зі спадаючою ВАХ, опір яких зростає при збільшенні струму. Як баласт, що має реактивний опір за роботи РЛ на змінному струмі використовують дросель. Основними складовими частинами електромагнітного дроселя є магнітопровід і обмотка з дроту – котушка індуктивності. Магнітопровід виготовляється з феромагнітного матеріалу й призначений для підвищення локалізації магнітного потоку, який виникає при протіканні струму через витки обмотки, значно збільшує, таким чином, індуктивність котушки. Дроселі, які використовуються для стабілізації роботи РЛ на промисловій частоті струму, обов'язково мають на шляху циркуляції магнітного потоку немагнітний зазор – область, де спеціально створено відповідний опір для циркуляції магнітного потоку (розсіяння). За допомогою немагнітного зазора лінеаризують ВАХ дроселя й здійснюють його налаштування на заданий для РЛ робочий струм.

## 1.2. Динамічні характеристик люмінесцентних ламп

Динамічні характеристики РЛ (ВАХ) використовуються при живленні РЛ змінним струмом. Форма динамічних характеристик РЛ залежить від типу баластного опору і в параметричному вигляді порівнюється з синусоїдою напруги й струму мережі (див. рис. 1.4).

За активного баласту форма струму, що протікає через лампу, відрізняється від синусоїди. Струм періодичний, але його напівперіод менший, за напівперіод змінного струму промислового джерела, оскільки виникають паузи  $t_z$ ,  $t_n$ , коли струм в лампі дорівнює нулю. Це пов'язано з тим, що запалення розряду відбувається тільки за деякої напруги, яку називають напругою запалення  $U_z$ , а також з тим, що розряд гасне за напруги  $U_n$  в лампі (напруга погасання), що менша напруги горіння, тобто робочої напруги  $U_p$ , й запалюється знову, коли напруга досягне величини, рівної напрузі перезапалення.

Наявність таких пауз струму небажано, оскільки: під час паузи струму лампа не випромінює світловий потік; для отримання збільшення світлового потоку необхідно збільшити робочий струм лампи, тобто збільшити потужність лампи, що приводить до зниження терміну служби електродів лампи; поява пауз струму викликає пульсації світлового потоку, які негативно впливають на працездатність зорового апарату й приводить до виникнення стробоскопічного ефекту. В зв'язку з цим при змінному струмі баласта з активним опором застосовуються дуже рідко, а найчастіше використовують реактивні баласта: індуктивні та індуктивно-ємнісні.

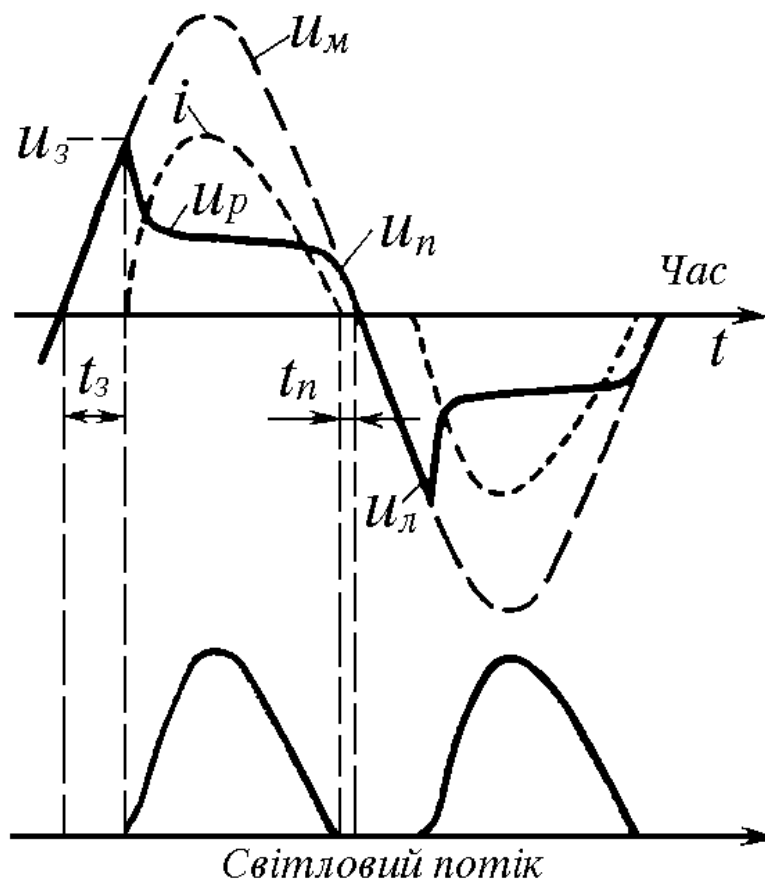


Рис. 1.4 – Динамічні ВАХ і світлового потоку РЛ

Ємнісні баласти, що складаються тільки з ємності, також не застосовують при живленні струмом промислової частоти (50 Гц) за значних пауз струму й пікових амплітудних значень струму, оскільки необхідно застосовувати великі ємності. Тільки за збільшення частоти мережі живлення понад 600 Гц ємнісні баласти мають малу ємність і не викликають помітних піків і пауз струму лампи.

При застосуванні індуктивних та індуктивно-ємнісних баластів, фаза струму зрушена відносно фази напруги і в цьому разі практично відсутні паузи струму, поліпшуються як електричні, так і світлотехнічні характеристики лампи.

Крім того слід зазначити, що наявність в колі індуктивності, сприяє поліпшенню умов запалення РЛ.

Оскільки запалення РЛ здійснюють за напруги  $U_3 > U_m$ , то потрібне додаткове джерело живлення, яке б у момент запалення подавало на лампу напругу, рівну або більшу за  $U_3$ . Однак, напругу запалення можна понизити, якщо попередньо підігріти електроди до температури 800-900°C, за якої електроди лампи починають інтенсивно випромінювати електрони за причиною виникнення термоемісії. Такий підігрів здійснюють застосуванням спеціальних схем стартерного або безстартерного запалення ЛЛ.

У даній роботі використана схема запалення, в якій застосовано стартер тліючого розряду. Стартер замикає коло, до якого входять електроди ЛЛ і баласт, тому протікаючий струм спочатку нагріває електроди, полегшуючи

запалення ЛЛ. Якщо термобіметалевий електрод стартера замикає коло, електроди ЛЛ нагріваються до температури 800-900°C, а при розмиканні контактів стартера в індуктивності баласта виникає Е.Р.С.(електрорушійна сила) самоіндукції, яка підвищує напругу на лампі до 700-1000 В. Лампа засвічується і в ній виникає дуговий розряд. Виникнення дугового розряду приводить до пониження напруги на лампі приблизно до половини напруги мережі.

### 1.3. Чинники, що впливають на роботу люмінесцентної лампи

До таких чинників в першу чергу слід віднести тип ПРА та його електричні параметри. ПРА мають бути надійними, економічними і забезпечувати якнайкращі умови роботи ЛЛ, за яких досягають високих світлотехнічних характеристик і терміну корисної роботи.

На роботу ЛЛ впливають коливання напруги мережі – відхилення від номінальної величини, значення амплітудного коефіцієнта струму, температура електродів і навколишнього середовища, вологість середовища і т.п.

Вплив коливань напруги мережі на роботу лампи визначають коефіцієнтами нестабільності струму й потужності. Коефіцієнтом нестабільності струму лампи називають відношення відносної величини зміни струму лампи до відносної величини зміни напруги живлення, що викликало таку зміну струму

$$\gamma = \frac{\Delta I_l}{I} : \frac{\Delta U_M}{U_M} \quad (12)$$

Коефіцієнтом нестабільності потужності лампи  $\lambda$  називають відношення відносної зміни потужності лампи до відносної величини зміни напруги живлення, що викликало таку зміну потужності

$$\lambda = \frac{\Delta P_l}{P_l} : \frac{\Delta U_M}{U_M} \quad (13)$$

при чому  $I_l$ ,  $U_M$ ,  $P_l$  – номінальні величини.

Коефіцієнти нестабільності для більшості РЛ нормуються державним стандартом при розробці ПРА, їх гранична величина дорівнює 2. Тобто ПРА має забезпечити за коливань напруги мережі в межах 10% зміну струму лампи в межах 20%.

Амплітудним коефіцієнтом струму лампи  $k_a$  називають відношення амплітуди струму лампи до діючого значення струму. Для ЛЛ і ламп типу ДРЛ величина  $k_a$  також нормується стандартом і має бути меншою за 1,7. За великих значень  $k_a$ , термін корисної роботи ЛЛ різко знижується. Наприклад, якщо  $k_a = 2,1$ , то термін роботи ЛЛ зменшується в два рази, а при значенні 2,4 складає тільки 10% від номінального.

Температура електродів і навколишнього середовища також впливає на напругу запалення. Найбільш висока напруга запалення відповідає ненагрітим електродом лампи і за від'ємної температури навколишнього середовища. Зі

зростанням струму підігріву електродів напруга запалення знижується і при струмах, рівних або трохи вищих за номінальний струм лампи, напруга запалення мінімальна. Подальше підвищення струму підігріву не приводить до суттєвого зниження напруги запалення, але за таких струмів можливий міжвитковий пробій на катодах.

За від'ємної температури навколишнього середовища зростання напруги запалення обумовлено зниженням концентрації пари ртуті, внаслідок чого напруга запалення визначається в основному іонізацією атомів газів-наповнювачів (аргон).

За високих додатніх температурах навколишнього середовища напруга запалення також підвищується. Високі температури викликають підвищення концентрації пари ртуті, що приводить до зростання початкового тиску газів.

#### 1.4. Процеси, що протікають при запаленні й роботі ЛЛ

Процес запалення ЛЛ має ряд особливостей, без зважання на які неможливо проаналізувати роботу схем вмикання ламп й розробки ПРА. Умовно можна виділити три етапи роботи ЛЛ та інших розрядних ламп: **температурна підготовка катодів, перехідні стадії розряду й робочий режим.** Найбільший вплив на характеристики розрядних ламп створюється на перших двох етапах.

Для пониження роботи виходу електронів катода ЛЛ виготовляють у вигляді вольфрамової біспіралі або триспіралі й покривають шаром оксидів лужноземельних металів (барія, кальція й стронція). Необхідне випромінення електронів з катодів створюється й підтримується завдяки автоелектронній та термоелектронній емісії, тому на першому етапі роботи ЛЛ здійснюється найбільший вплив на головну характеристику ЛЛ – термін роботи. Створення умов для забезпечення необхідного рівня термоелектронної емісії в робочому режимі здійснюють за допомогою нагрівання катодів зовнішнім джерелом струму або тепла, яке виділяє дуговий розряд. Для цього в ЛЛ використовують саморозжарювальні катода.

Існує два принципово різних режими вмикання ЛЛ, що створюють умови для виникнення дугового розряду: **холодне й гараче запалення.** В першому режимі достатня напруга для запалення ЛЛ прикладається до катодів лампи з температурою, що нижче температури, за якої виникає помітна термоелектронна емісія. За такого режиму вмикання катода лампи зазнають посиленого бомбардування іонами, яке приводить до різкого розпилу оксиду й скорочення терміну роботи лампи. В другому режимі виникнення дугового розряду полегшено тим, що напруга запалення прикладається до лампи тільки після попереднього підігріву її катодів. Це, окрім полегшення виникнення дугового розряду, зменшує витрати оксиду на катодах. Отже, той чи інший режим вмикання ЛЛ визначають температурною підготовкою катодів перед запаленням лампи, яка впливає на термін роботи лампи, напругу пробують міжелектродного простору та швидкість протікання перехідних стадій розряду.

Розпилення і випарення оксиду відбуваються й в робочому режимі, але на етапі запалення лампи вони протікають більш динамічно. Існування дугового розряду пов'язане з появою на катоді місця з найбільшою температурою, де й виникає найбільш інтенсивна термоелектронна емісія. Це місце називають катодною цяткою (КЦ). Запалення ЛЛ відбувається в такій послідовності: пробій (виникнення розряду) в просторі між одним з катодів й стінкою колби ЛЛ, міжкатодний пробій, тліючий розряд, напівперіодний несиметричний дуговий розряд й симетричний дуговий розряд, з формуванням КЦ.

### **1.5. Вимоги до ПРА й параметри, що характеризують ПРА**

В загальному ПРА має бути надійним у роботі, мати малу масу й об'єм, великий термін роботи, малі втрати потужності й початкову вартість, низькі експлуатаційні витрати й акустичні шуми, а також забезпечити надійне запалення лампи, її стабільну роботу за оптимальної потужності й світлового потоку, найбільший термін роботи лампи, компенсацію зрушення фази струму та підвищення коефіцієнта потужності схеми з лампою, якомога низькі радіовади й зменшення пульсацій світлового потоку.

Очевидно, що велика кількість вимог є взаємно протиречивою, тому проектування та виготовлення ПРА потребує оптимізації за різних умов його застосування з виділенням у окремі групи.

За призначенням ПРА поділяють на чотири групи:

- друга – це схеми й пристрої для забезпечення роботи ЛЛ з постійною напругою;
- третя – це схеми й пристрої для забезпечення роботи ЛЛ з напругою підвищеної частоти живлення;
- четверта – це схеми й пристрої для регулювання яскравості працюючих ЛЛ.

В залежності від створення температурного режиму електродів лампи, до цих груп відносяться ПРА, що забезпечують холодне (миттєве) запалення; ПРА, що забезпечують попередній підігрів катодів перед запаленням лампи – це ПРА гарячого (швидкого) запалення, які в свою чергу поділяються на ПРА в схемах стартерного запалення (з електронним, тепловим або розрядним стартером) й безстартерного запалення (резонансні, трансформаторні, комбіновані та з напівпровідниковим баластом).

За призначенням елементів, що входять до складу ПРА, розрізняють: дроселі баластні (ДБ), які призначені для забезпечення пускового струму й усталеної роботи лампи (наприклад, 1ДБІ – 80ДРЛ...); стартерні пристрої (УБ), які складаються з баласту й пускового елемента – стартеру, що призначені для запалення лампи імпульсом підвищеної напруги й стабілізації режиму роботи лампи (наприклад, 1УБЄ – 40/220...); пристрої безстартерного запалення (АБ), що призначені для гарячого запалення ламп, з попередньо прогрітими катодами за допомогою окремого трансформатора розжарення або пускового конденсатора (наприклад, 1АБІ – 80...); пристрої миттєвого (холодного) запалення (МБ), які складаються з баластного дроселя й пускових елементів, що забезпечують запалення підвищеною напругою без попереднього підігріву електродів лампи.

В залежності від величини коефіцієнта потужності схеми й зрушення фази струму ПРА поділяють на: індуктивні пристрої, що складаються з дроселя та мають коефіцієнт потужності не більше 0,85, такі пристрої створюють запізнюючий зсув фази струму відносно фази напруги мережі й маркуються літерою І; ємнісні пристрої, що складаються з ємнісного або індуктивно-ємнісного баласту та мають коефіцієнт потужності не більше 0,85, такі пристрої створюють випереджуючий зсув фази струму відносно фази напруги мережі й маркуються літерою Є; пристрої компенсовані, що мають коефіцієнт потужності більше 0,85 для однолампових пристроїв та не менше 0,9 для дволампових пристроїв у схемах з розщепленою фазою, вони маркуються літерою К.

Параметри, що характеризують ПРА можна розділити на три групи: пускові, робочі й експлуатаційні.

До пускових параметрів відносять: пусковий струм, що забезпечує попередній прогрів електродів ЛЛ або розгорання РЛ високого чи надвисокого тиску; форму вихідної напруги; величину напруги попереднього підігріву катодів; напругу холостого ходу; частоту, форму й величину запалюючих імпульсів; напругу на провідній смузі.

До робочих параметрів відносять: робочий струм, втрати потужності в ПРА, коефіцієнт потужності, коефіцієнт амплітуди кривої струму, світловий потік і робочу напругу лампи, рівень шуму й радіовад, що створює ПРА, теплові характеристики ПРА.

До експлуатаційних параметрів відносять: корисний та повний термін роботи ПРА й лампи з ПРА, вартість й витрати матеріалів, теплові та електричні характеристики ПРА за аварійних режимів роботи, електричну міцність й опір ізоляційних матеріалів окремих елементів ПРА, показники надійності ПРА, масу й габарити, можливі режими експлуатації та області використання, ремонтоспроможність та взаємозамінність елементів, можливості захисту ПРА від впливу магнітних полів.

Основні технічні вимоги як до стартерних, так й безстартерних ПРА стандартизовані й зведені в таблиці (див. Додаток 2).

## **1.6. Завдання до роботи**

1. Перед виконанням лабораторних завдань обов'язково необхідно ознайомитися з теоретичним матеріалом роботи ЛЛ в електричній мережі й чин-никами, що впливають на її роботу.

2. Ознайомитися з роботою осцилографа і системою його керування (див. Додаток 1).

3. Намалювати в звіті окремо схеми вмикання ЛЛ за різних баластів (активного, індуктивного та індуктивно-ємнісного), погодити їх з викладачем і виконати монтаж.

4. Поставити перемикач SA 3 (рис. 1.5) в положення 1 і провести вимірювання в схемах за різних баластів. Для цього:

5. Поставити перемикач SA 1.1 в положення 1(індуктивний баласт), після увімкнення стенду, ЛАТРОМ виставити номінальну напругу живлення  $U_n = 220V$  і виміряти  $U_L$ ,  $I_L$ ,  $\cos \varphi$ ,  $U_{др}$  та потужність схеми -  $P_{сх}$ . Підключити до схеми осцилограф і перевести з екрана на кальку з відображенням масштабної сітки та значень дільника напруги й розгортки: динамічну ВАХ –  $u = f(t)$  (Y-пластини осцилографа приєднуються до клем XS10 – XS11); динамічну ВАХ –  $i = f(t)$ , (X – пластини осцилографа приєднуються до клем XS11 – XS9). За отриманими динамічними ВАХ визначити характеристики РЛ, а за отриманими значеннями побудувати векторну діаграму роботи ЛЛ з індуктивним баластом.

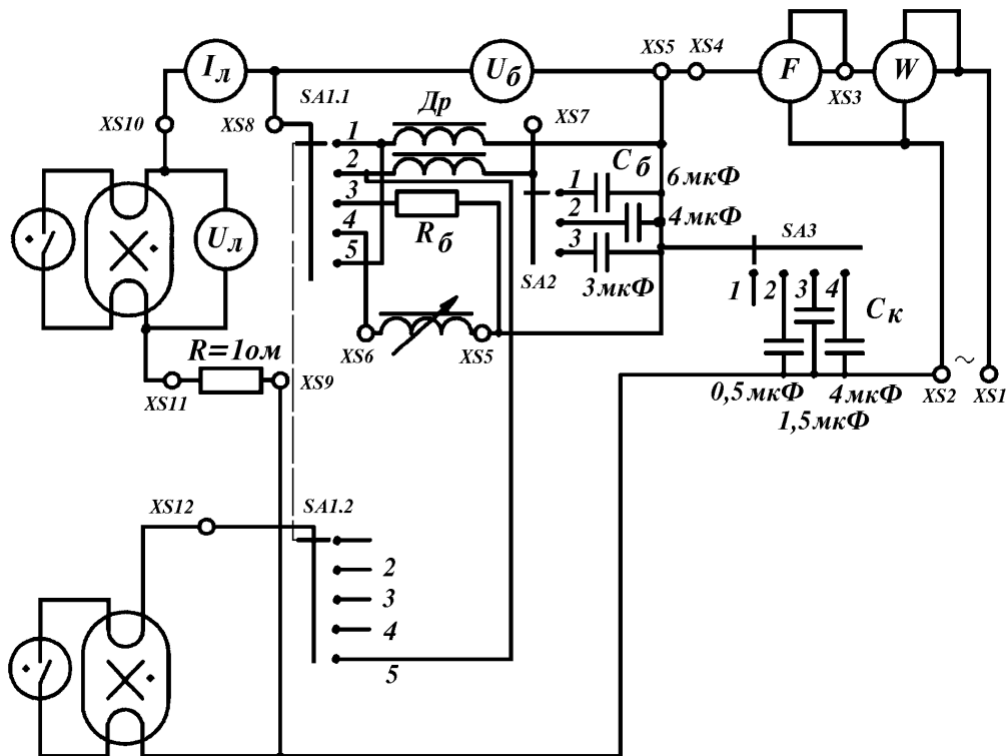


Рис. 1.5 – Схема стенду

6. Перевести перемикач SA 1.1 в положення 2 (індуктивно-ємнісний баласт), а перемикач SA 2 – в положення 1 ( $C_b = 6 \mu F$ ) й подібно до п.5 провести вимірювання  $U_L$ ,  $I_L$ ,  $\cos \varphi$ ,  $U_{бал.}$ ,  $P_{сх}$  й побудувати векторну діаграму роботи ЛЛ з індуктивно-ємнісним баластом (звернути увагу на знак кута зрушення фази!).

7. Перевести перемикач SA 1.1 в положення 3 (активний баласт  $R = 253 \text{ Ом}$ ) й згідно до п.5 провести вимірювання  $U_L$ ,  $I_L$ ,  $\cos \varphi$ ,  $U_{бал.}$ ,  $P_{сх}$ . Підключити до схеми осцилограф й перевести з екрана на кальку з відображенням масштабної сітки й значень дільника напруги та розгортки: динамічну ВАХ –  $u = f(t)$  (Y- пластини осцилографа приєднуються до клем XS10 – XS11); динамічну ВАХ –  $i = f(t)$ , (X – пластини осцилографа приєднуються до клем XS11 – XS9). За отриманими динамічними ВАХ визначити характеристики РЛ.

8. Повторити вимірювання за п.5, п.6 і п.7 при напрузі живлення  $1,1U_n$  і  $0,9U_n$ . За отриманими значеннями обчислити коефіцієнти нестабільності роботи



ЛЛ за різних баластів і зробити порівняльні висновки за яким баластом робота ЛЛ найслабкіше залежить від коливань напруги мережі.

9. Поставити перемикач SA 1.1 в положення 3 (активний баласт  $R_{б} = 256$  Ом) і провести вимірювання  $U_{л}$ ,  $I_{л}$ , змінюючи ЛАТРОМ напругу мережі живлення  $U_{м}$  від  $1,1U_{н}$  через кожні 5В до погасання лампи. За отриманими значеннями обчислити струми короткого замикання  $I_{кз} = U_{м} / R_{б}$  і побудувати навантажувальні ВАХ та статичну ВАХ ЛЛ подібно до рис.3, б.

10. Поставити перемикач SA 1.1 в положення 4 (змінний індуктивний баласт) і за номінальної напруги мережі живлення провести вимірювання  $U_{л}$ ,  $I_{л}$  для кожного послідовно зміненого положення барабану осердя дроселя, індуктивність якого при цьому змінюється (**слідкувати щоб струм лампи не перевищував 0,43 А**). За отриманими значеннями побудувати статичну ВАХ ЛЛ.

### 1.7. Вказівки до виконання роботи

Робота виконується за стандартною схемою вмикання люмінесцентної лампи, до якої студент додає необхідні вимірювальні прилади.

Спочатку ніж приступити до роботи необхідно накреслити на папері принципову схему вмикання ЛЛ з необхідними вимірювальними приладами і погодити її з викладачем.

Після монтажу схеми отримати дозвіл на її підключення до мережі. В роботі використовують ЛЛ потужністю 40 Вт.

Необхідно ретельно стежити за межами вимірювань, щоб не пошкодити як ЛЛ, так і прилади.

### 1.8. Контрольні запитання

1. Що таке ВАХ розрядної лампи?
2. Яку ВАХ називають статичною, динамічною? Методи їх побудови.
3. Чи можна з динамічних ВАХ розрядних ламп визначити основні параметри лампи і які?
4. Що таке навантажувальна ВАХ і як її визначити?
5. Для чого застосовуються баластні опори при підключенні РЛ до джерела живлення? Що називають дроселем і для чого в ньому необхідний немагнітний зазор?
6. Що таке критерій стійкості та його математичний вираз?
7. Яку форму мають динамічні ВАХ ЛЛ за різних типів баластних опорів і їх фізичне тлумачення?
8. Що називають ПРА, яке основне його призначення в колах з ЛЛ і які вимоги ставлять до нього?
9. Як впливають коливання напруги мережі на електричні параметри ЛЛ і ПРА? Що таке коефіцієнти нестабільності та як вони характеризують роботу РЛ?
10. Які чинники впливають на засвічення й роботу ЛЛ?

11. Що називають коефіцієнтом корисної дії схеми з РЛ й від чого він залежить?
12. Які параметри характеризують ПРА?
13. Яку будову мають катоди ЛЛ?
14. Які існують режими запалення ЛЛ?
15. На які етапи можна розділити роботу ЛЛ та які процеси там протікають?
16. Що називають катодною цяткою?
17. Які етапи роботи ЛЛ й чому найбільше впливають на термін роботи?

## **ЛІТЕРАТУРА**

1. Ляпунов А.М. Собрание сочинений т.2. – М.: Наука, 1956, - 473 с.
2. Шепілко Є.В. Конспект лекцій з курсу “Електротехнічні пристрої світло-технічних систем”. Харків: ХНАМГ, 2010, - 130 с.
3. Скобелев В.М., Афанасьева Е. И., Источники света и пускорегулирующая аппаратура. – М.: Энергия, 1973, С.248-268.
4. Рохлин Р.Н. Разрядные источники света. 2-е изд.– М.: Энергоатомиздат, 1991, С.155- 198, 430-435, 447-449.
5. Фугенфиров М. И. Электрические схемы с газоразрядными лампами. - М.: Энергия, 1974, С.7-16, 21-23, 37-41, 52-54, 63-65, і 73-75.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПУСКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК СХЕМ ВМИКАННЯ РОЗРЯДНИХ ЛАМП ВИСОКОГО ТИСКУ

Мета роботи: ознайомити студентів зі схемами вмикання РЛ високого тиску, їх пусковими характеристиками й чинниками, що впливають на них.

Завдання роботи: визначити та побудувати пускові характеристики РЛ високого тиску типу ДРЛ і ДнаТ.

Для виконання роботи студент має:

знати: схеми вмикання РЛ високого тиску, зокрема типу ДРЛ і ДнаТ; процеси виникнення розряду в РЛ високого тиску й чинники, що впливають на пускові характеристики лампи ДРЛ і ДнаТ;

уміти: зібрати електричну схему вмикання РЛ типу ДРЛ і ДнаТ; працювати з вимірювальними приладами і вірно знімати з них показання; аналізувати отримані результати;

Виконання роботи дає можливість отримати практичні навички монтування електричної схеми вмикання РЛ високого тиску типу ДРЛ та ДнаТ і вимірювання їх пускових характеристик.

### СТИСЛІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Розрядні лампи (РЛ) високого тиску відрізняються від РЛ низького тиску не тільки конструктивно, але й за характером перехідного і стаціонарного режимів розряду, а також електричними і світловими параметрами. В РЛ високого тиску значно більша густина випромінювання, тому їх ще називають лампами високої інтенсивності.

РЛ високого тиску, незважаючи на відносно велику потужність, мають малі розміри і високу яскравість в порівнянні з РЛ низького тиску. Так, наприклад, одна РЛ високого тиску типу ДРЛ з діаметром зовнішньої колби в 115 мм і довжиною 305 мм споживає таку ж потужність, як 10 люмінесцентних ламп завдовжки 1200 мм і діаметром колби 38 мм.

Незважаючи на різноманіття типів РЛ високого тиску, конструктивно вони оформлені у вигляді трьох вузлів: пальник, ніжки з струмоуводами й штенгелем і зовнішньої колби. Пальник лампи укріплений на струмоуводах ніжки, а остання сполучена із зовнішньою колбою.

Пальник ДРЛ виготовлено з прозорого кварцевого скла. В ньому вмонтовано два або чотири електроди (найбільш поширені чотириелектродні пальники). У останньому випадку два з них є основними, а два інших – запалювальними, які розташовані поблизу основних, причому запалювальні електроди електрично сполучені з протилежними основними електродами через струмообмежувальний опір. В середину пальника через штенгель уводиться під вакуумом дозована кількість ртуті (крапелька) та інертний газ аргон за тиском 150-200 Па.

Пальник ДнаТ має вигляд циліндричної трубки діаметром від 6 до 12 мм з двома вмонтованими електродами і виготовлений з полікристалічного оксиду алюмінія високої чистоти, оскільки пара натрію є дуже агресивною до сілікатного скла разом з кварцем. В нинішній час трубки пальника виготовляють з монокристалів оксида алюмінію – лейкосапфіру, який має дуже високу світлову прозорість до 97%. Кінці трубки вакуум-щільно закриті ковпачками з ніобію або керамічними заглушками з вмонтованими ніобієвими уводами, на яких закріплені вольфрамові активовані електроди. За вакууму в середину пальника уводиться дозована кількість амальгами натрію (сплав натрію і ртуті) та інертний газ (наприклад, ксенон за тиском порядку 2600 Па).

Інертні гази додають для пониження напруги запалення, а для забезпечення необхідного теплового режиму пальників й захисту їх від атмосферного середовища, вони оточені зовнішньою колбою, внутрішній об'єм якої заповнено нейтральним газом (у ДРЛ, наприклад, азотом) і вакуумом у ДнаТ.

В лампах типу ДРЛ на внутрішню поверхню зовнішньої колби нанесено шар люмінофору, для поліпшення кольоровості світла, яке вона випромінює.

Не зупиняючись на принципі роботи й подальшому докладному опису конструкції РЛ високого тиску, розглянемо їх пускові й експлуатаційні характеристики, що визначають особливості включення цих ламп до мережі.

## **2.1. Пускові й експлуатаційні характеристики РЛ високого тиску**

При включенні ДРЛ до мережі, напруга прикладається до її електродів й спочатку між запалювальним і основним електродом виникає тліючий розряд, який надалі розповсюджується по всьому пальнику до протилежного основного електрода. Після чого розряд існує вже між основними електродами. Характер розряду, його електричні й світлові параметри залежать від тиску пари ртуті.

Під час запалення розряду тиск в лампі рівний тиску суміші наповнюючого інертного газу й пари ртуті за температурою навколишнього середовища і характер розряду подібний до розряду ЛЛ.

Після виникнення тліючого розряду між основними електродами й переходу його в дуговий, струм розряду майже вдвічі перевищує номінальний робочий, температура стінок пальника починає підвищуватися, а разом з цим починає підвищуватися й тиск насиченої пари ртуті. Зі зростанням тиску насиченої пари ртуті підвищується градієнт потенціалу в стовпі розряду і його потужність й світлова віддача, а разом з тим, збільшується температура стінок пальника й відбувається подальше зростання тиску пари ртуті. Процес розгорання лампи закінчиться тільки тоді, коли вся ртуть в пальнику повністю випарується, тому кількість рідкої ртуті точно дозується за виготовлення пальників. Тривалість цього процесу може складати від 2 до 10 хв. залежно від потужності лампи й визначається швидкістю випаровування ртуті та швидкістю встановлення теплового режиму колби.

Якщо в процесі роботи РЛ відбудеться різке зниження напруги на ній або за якоїсь іншої причини лампа погасне, то її повторне запалення не може бути проведено відразу ж після погасання, а лише після того, як лампа охолоне до температури 200°C. Це обумовлено тим, що напруга повторного запалення лампи залежить від концентрації пари ртуті, яка у свою чергу визначається температурою стінки пальника. За високої температури стінки пальника напруга запалення велика, наприклад, за 500°C у лампі, що погасла  $U_z = 4-5$  кВ, а вже за температури 200°C та нижче напруга запалення знижується до 200-250 В.

Отже, для повторного запалення лампи необхідний якийсь проміжок часу і він залежить від умов охолодження, складу й тиску газів, що наповнюють зовнішню колбу. Зазвичай цей час складає 2-6 хв.

Напруга запалення РЛ високого тиску ще залежить від конструкції ламп. Для двоелектродної лампи напруга запалення значно вища, за напругу мережі живлення, тому для запалення необхідно використовувати додаткове джерело живлення, що подає на електроди короткочасні імпульси напруги, величиною до 5 кВ. Після виникнення стійкого розряду на лампі встановлюється робоча напруга, що обмежена баластом і це джерело автоматично відключається (короткочасні імпульси не формуються) й розряд у лампі підтримується струмом мережі.

Пальники чотириелектродних ламп зазвичай конструюють так, щоб їх напруга запалення за температури навколишнього середовища 26°C не перевищувала 200 В.

Розрядні лампи високого тиску, зокрема типу ДРЛ, мають спадаючу вольт - амперну характеристику, тому, як і всі розрядні лампи, вони включаються в електричну мережу послідовно з баластним опором. В якості баластного опору найчастіше використовують індуктивний баласт, що називається дроселем, і значно рідше – індуктивно-ємнісний баластний опір, тобто дросель з послідовно приєднаним конденсатором.

Вибір того або іншого баластного опору найчастіше визначається часом розгорання лампи, який прагнуть звести до мінімально можливого. Цього можна досягти шляхом збільшення пускового струму, поліпшення теплової ізоляції пальника і забезпечення умов швидкого нагріву того місця всередині пальника, де розташована крапелька рідкої ртуті.

Оскільки у момент розгорання лампи падіння напруги на ній мале (близько 25 В), то пусковий струм можна прийняти рівним струму короткого замикання баластного опору  $I_{к.з}$ . Тоді відношення  $I_{к.з}$  до робочого струму лампи  $I_{л.р}$  характеризуватиме час розгорання лампи. Чим більше це відношення, тим менше час розгорання лампи. Розрахунок показує, що це відношення у разі індуктивного баласту дорівнює:

$$\frac{I_{к.з}}{I_{л.р}} = \frac{I}{(1 - 1,09U_{л}/U)^2} \quad (1)$$

і знаходиться в межах 1,2 – 1,5.

У разі ж індуктивно-ємнісного баласту вираз для цього відношення складніший, але за звичайних співвідношеннях між індуктивністю і ємністю відношення  $I_{к.з}/I_{л.р}$  близьке до одиниці. Тому, час розгорання РЛ в схемі з індуктивним баластом завжди менший, ніж в схемі з індуктивно-ємнісним баластом за інших рівних умов. Проте не слід прагнути до дуже великих значень пускового струму для суттєвого зменшення часу розгорання лампи, оскільки при цьому можна значно понизити термін корисної роботи ламп з причини посиленого руйнування електродів, а також спричинити зниження надійності ПРА, наприклад, з причини теплового перенавантаження.

Для ДнаТ напруга запалення розряду залежить поряд з іншими рівними умовами від інертного газу і дорівнює 2 – 4 кВ. ДнаТ запалюється складніше, але подібно до запалення двоелектродної ДРЛ. Для їх запалення розроблені імпульсні запалюючі пристрої (ІЗП), які виробляють групу малопотужних короткочасних імпульсів напруги, що подає на електроди. Після ініціювання розряду ІЗП автоматично відключається. ДнаТ малочутливі до коливань температури оточуючого середовища й працюють за температур від –60 до +50°C.

## **2.2. Чинники, що впливають на пусковий і робочий режими РЛ високого тиску**

На процеси запалення РЛ високого тиску, зокрема на напругу запалення, істотний вплив здійснює температура оточуючого середовища, наявність або відсутність запалювального електроду, проникнення водню в пальник, тип баластного опору, матеріал оксидного покриття електродів і т.п. На робочий же режим лампи в основному робить вплив коливання напруги мережі.

У первинний момент часу процес запалення РЛ високого тиску протікає подібно до процесів запалення люмінесцентної лампи з холодними електродами, для яких напруга запалення і процес іонізації залежать від ефекту Пеннінга між аргоном і ртуттю, а також від роботи виходу електронів з електродів. Чим нижче температура навколишнього середовища, тим менше тиск насиченої пари ртуті і отже вище напруга запалення. Тому найбільш висока напруга запалення відповідає мінусовим температурам оточуючого середовища. Найменша  $Uз$  є при +25° С, вона трохи менша за амплітуду напруги мережі.

Пониження роботи виходу електронів зменшує величину напруги запалення, тому барієві плівкові електроди кращі за торієві. До того ж можна створити такі умови, за яких барієвий активатор швидше відновлюватиме емісійну здатність електродів РЛ, чим торієвий активатор. Це обумовлено тим, що окисел барію і продукти реакції між ним і кварцем прозорі на відмінність від торія, який приво-дить до почорніння стінки пальника.

Тому електроди з барієвим активатором можуть надійно працювати за умов, що забезпечують високу швидкість надходження активатора до робочої поверхні електроду без почорніння стінок пальника і, отже, втрат

випромінювання. РЛ високого тиску з барієвим плівковим катодом мають термін роботи до 20-30 тис.г, при чому через 20 тис.г. роботи світловий потік складає 75% первинного значення.

Про вплив запалюючого електроду на напругу запалення було вказано вище. Відзначимо тільки, що велика різниця в швидкостях руху електронів та іонів робить струм у колі запалюючого електрода несиметричним, струм буде значно меншим у від'ємному півперіоді, ніж у додатньому напівперіоді. А це значить, що біля запалювального електроду концентрації іонів натрію буде підвищеною, отже, між основним і запалюючим електродами буде діяти падіння напруги постійного знаку, яка може привести до електролізу домішок лугів, що знаходяться в кварці. Електроліз приведе до руйнування місць впаю електродів, тобто зниження терміну роботи пальника. Для уникнення цього, запалювальний електрод необхідно робити такої довжини, щоб він досягав області з достатньо щільною плазмою.

Як показують експериментальні дослідження, наявність водню в ртутному пальнику приводить до підвищення напруги запалення. Вважається, що це пов'язано з взаємодією молекул водню зі збудженими атомами ртуті й метастабільними атомами аргону, в результаті якого відібрана від них енергія витрачається на дисоціацію молекул водню. Для усунення порушеної рівноваги в стовпі розряду необхідне підвищення напруги. Крім того, якщо електроди активовані торієм, то водень, реагуючи з ним, руйнує торієвий моношар і тим самим підвищує напругу запалення. Цього недоліку позбавлені барієві плівкові електроди. Барієвий моношар взаємодіє й зв'язує водень, але при цьому не руйнується а, отже, напруга запалення не зростає.

На робочий режим РЛ високого тиску істотний вплив створює зміна напруги мережі, особливо різке її пониження. При різкому миттєвому пониженні напруги мережі РЛ може погаснути. Напруга мережі, при якій лампа може погаснути ( $U_n$ ) залежить від типу баласту, схеми вмикання РЛ, потужності лампи і напруги на ній. Проведені дослідження показали, що за інших рівних умов напруга погасання тим менша, чим більше потужність лампи і чим менша напруга на ній. Отже, лампи великої потужності з низькою робочою напругою горять стабільніше.

Експериментальні дослідження показали, що при роботі РЛ високого тиску типу ДРЛ з індуктивним баластом в мережах з номінальною напругою 220 В допускається зниження напруги до 0,9 номінальної напруги, а при роботі з індуктивно-ємнісним баластом - до 0,7 номінальної величини. Звідси витікає, що в мережах зі значними коливаннями напруги доцільно застосовувати індуктивно - ємнісні баласта. Окрім того, слід мати на увазі, що при нелінійному баласті зі зменшенням напруги мережі відбувається різкіше зниження струму, чим при лінійному, і лампа гасне швидше.

Натрієві лампи засвічуються значно швидше ніж ДРЛ, а процес розгорання проходить протягом 4-7 хв, в залежності від потужності лампи. В період розгорання в лампі встановлюється тепловий режим, при якому тиск пари натрію досягає оптимальні величини. Напруга на лампі дорівнює 22-25 В

у момент запалення, а через 4-5 хв досягає номінальної величини і за цей же час стабілізується струм і потужність лампи.

Характерною особливістю ДнаТ є змінення напруги повторного запалення в залежності від тривалості паузи після погасання. Через 30 с після погасання  $U_z$  дорівнює 3000 В. Через 3 хв  $U_z$  понижується до мінімуму і дорівнює приблизно 500 В. При подальшому охолодженні  $U_z$  починає підвищуватися і приблизно через 5-7 хв досягає звичайного значення.

### 2.3. Схеми вмикання РЛ типу ДРЛ

Зі схемами вмикання двоелектродних ламп типу ДРЛ можна детально познайомитися в [1], с. 278-281.

Схеми вмикання чотириелектродних ламп типу ДРЛ наведені на рис. 2.1 і 2.2.

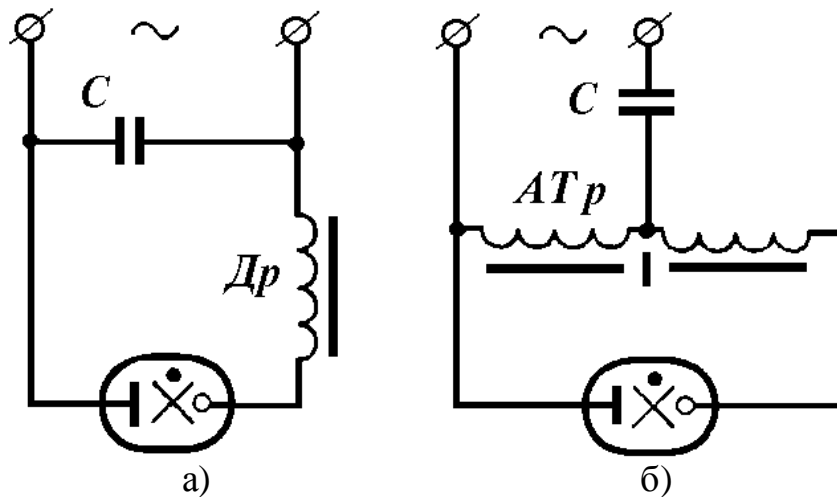


Рис. 2.1 – Схеми вмикання РЛ типу ДРЛ

Найбільш проста схема вмикання (рис. 2.1, а) - це схема з послідовно приєднаним до РЛ дроселем. Оскільки при індуктивному баласті коефіцієнт потужності схеми складає 0,5-0,6, то для його підвищення в схему включений конденсатор  $C$ .

У тому разі, якщо потрібна підтримка світлового потоку лампи на постійному рівні при коливаннях напруги мережі застосовують схему зі стабілізацією потужності лампи, РЛ підключають за схемою, що зображена на рис. 2.2, а. В таких схемах використовують послідовне з'єднання насиченого дроселя з конденсатором. Підвищення напруги мережі приведе до зростання струму лампи, оскільки реактивний опір дроселя зменшиться, але загальний реактивний опір послідовно з'єднаних дроселя і конденсатора зросте, тому струм лампи збільшиться незначно. При цьому конденсатор необхідно вибрати таким, щоб загальний баластний опір мав ємнісний характер. При роботі лампи в розглянутих схемах крива струму промислової частоти сильно спотворена наявністю вищих гармонічних складових струму, що виникають за дії дроселя.

З метою усунення цього недоліку замість насиченого дроселя застосовують автотрансформатор з розсіянням (див. рис.2.1, б). В цьому разі



крива струму лампи стає плоскішою й менш спотвореною й підвищується стабілізуюча дія схеми.

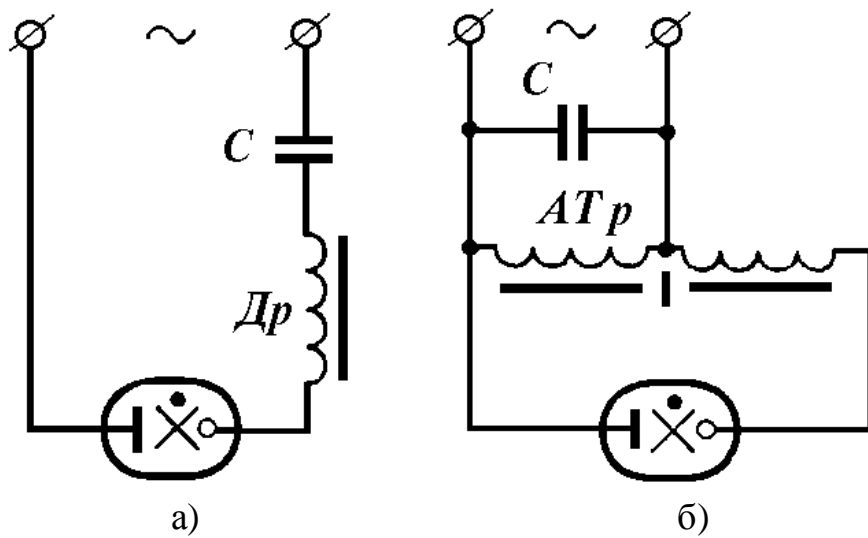


Рис. 2.2 – Схеми вмикання РЛ типу ДРЛ.

Для роботи РЛ за умови низької температури повітря оточуючого середовища (значно зростає напруга запалення лампи) або в умовах пониженої напруги мережі живлення необхідні схеми, що забезпечують необхідне підвищення напруги на лампі. До таких схем відносять схеми з автотрансформатором з розсіянням (рис. 2.2, б). Додаткова обмотка, що підключена до РЛ послідовно, забезпечує необхідне підвищення напруги живлення лампи й одночасно стабілізує її роботу, як дросель. Конденсатор С призначений для підвищення коефіцієнта потужності схеми.

#### 2.4. Схеми вмикання РЛ типу ДнаТ

Робоча напруга натрієвих ламп потужністю 400 Вт дорівнює 130 В, але для запалення її необхідно прикласти імпульс величиною не нижче 2 кВ.

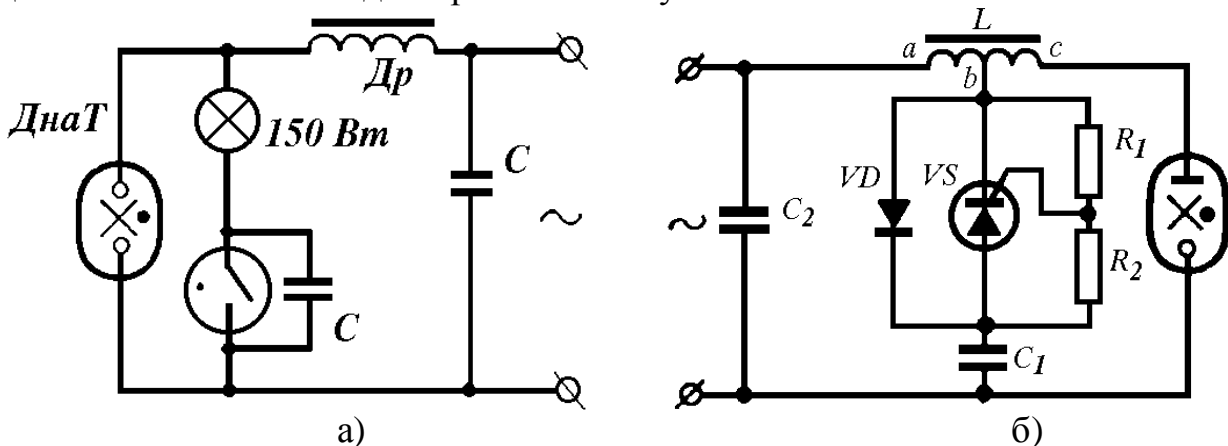


Рис. 2.3 – Схеми вмикання РЛ типу ДнаТ.

Найбільш простим вирішенням питання запалення ДнаТ є використання стартерів тліючого розряду, як для ЛЛ. Оскільки ці стартери працюють за струмом, що не перевищує 1,5 А, то їх необхідно підключати до схеми через

послідовний струмообмежувальний опір (рис. 2.3, а). В схемі таким опором є лампа розжарення, але може бути будь-який інший – відповідної величини.

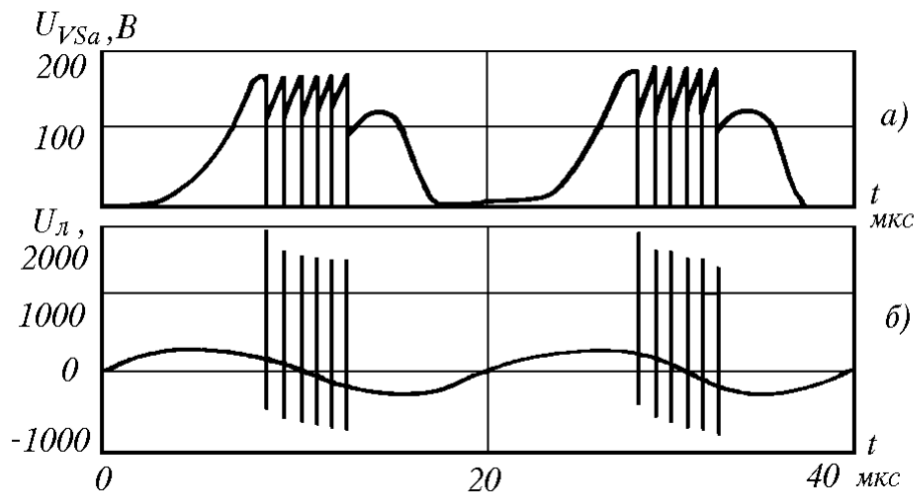


Рис. 2.4 – Осцилограми напруги на аноді тиристора і на лампі.

Широке застосування набули більш надійні спеціальні напівпровідникові схеми генератора імпульсів запалення, виготовлених як окремий пристрій – ІЗП (рис. 2.3, б), який формує високовольтні імпульси тільки перед запаленням лампи та забезпечує умови для робочого режиму.

В один з напівперіодів напруги мережі відбувається заряд конденсатора  $C_1$  до амплітудного значення напруги мережі через діод  $VD$ , оскільки тиристор  $VS$  знаходиться в запертому стані. В наступний напівперіод тиристор відкривається й в контурі, до якого входить частина  $ab$  обмотки дроселя і конденсатор, виникають коливання великої напруги з частотою, яка значно більша від частоти напруги мережі. Додаткова частина  $bc$  обмотки дроселя ще більше підвищує величину генеруємих імпульсів, які прикладені до лампи. Тиристор буде відкриватися кожний раз, коли напруга на його аноді буде досягти напруги відкриття. Коливання напруги на аноді тиристора і на лампі показані на рис. 2.3.

Конденсатор  $C_2$  підвищує коефіцієнт потужності схеми і одночасно є ланкою, що забезпечує зворотнє коло для коливань, які відбуваються в дроселі та конденсаторі  $C_1$ .

## 2.5. Завдання до роботи

Перш ніж приступити до виконання роботи, необхідно повторити матеріал, що стосується принципу дії й конструктивного виконання РЛ високого тиску, зокрема, лампи типу ДРЛ і ДнаТ ( див. [2] с.146-155, 169-174 і 301-312; [3] с.141-150, 200-289).

1. Ознайомитися з процесами запалення й робочим режимом РЛ високого тиску типу ДРЛ (див. [1] с.257-268; [2] с.175-181; [3] с.168-182).

2. Зібрати схему вмикання ДРЛ-250, згідно рис. 2.1, а.

3. Визначити залежність пускових характеристик лампи ДРЛ-250 від часу. Для цього з вимірювальних приладів зняти показання, відповідні моменту

запалення (пусковий струм, напруга на лампі й потужність лампи) і далі через певні проміжки часу (30 с), доки показання перестануть змінюватися й в РЛ установиться робочий режим. Отримані результати занести до таблиці 1.

4. Короткочасно натиснути на ключ  $K_3$  (коротке замикання РЛ) і заміряти струм короткого замикання. Лампа в цей момент погасне. Відпустити ключ  $K_3$  і заміряти час, через який відбудеться повторне запалення РЛ. Отриманий результат зафіксувати в таблиці 1 вимірів.

5. Знову короткочасно натиснути на ключ  $K_3$ , відпустити і після цього увімкнути ключ вентилятора. Заміряти час повторного запалення РЛ за роботи вентилятора. Отриманий результат зафіксувати в таблиці 1 вимірів.

6. Побудувати графіки залежності струму лампи, напруги на ній і потужності від часу розгорання.

7. За отриманими даними визначити час розгорання й занести його до таблиці 1 вимірів, а також, використовуючи формулу (1), обчислити відношення  $I_{к.з}/I_{л.р}$  і порівняти його з теоретичними значеннями.

8. Ознайомитися з чинниками, що впливають на пусковий і робочий режими РЛ високого тиску типу ДРЛ (див. [2] с.175-181, [3] с.168-182).

9. Повторити вимірювання згідно п.3 за напруги живлення, рівній 0,9 номінального. Отримані результати занести до табл.2.

10. Побудувати графіки залежності струму, напруги й потужності лампи від часу розгорання і за ним визначити цей час, а отриманий результат занести до табл.2. За отриманими даними, використовуючи формулу (1), обчислити відношення  $I_{к.з}/I_{л.р}$  і занести його до табл.2.

11. Понизити напругу мережі до погасання лампи, при цьому зафіксувати напругу погасання й показання вимірювальних приладів у момент погасання. Отримані дані занести до табл.2.

12. Ознайомитися з процесами запалення й робочим режимом РЛ високого тиску типу ДнаТ (див. [1] с.301-312; [3] с.609-623, 661-674).

13. Зібрати схему вмикання ДнаТ, згідно рис. 2.2, б. і повторити вимірювання згідно пп.3, 6 і 9 для ДнаТ. Отримані дані занести до табл.3.

14. Засвоїти схеми вмикання РЛ високого тиску, їх переваги і недоліки ([1] с. 278-312; [3] с.609-623, 661-674).

### Зауваження

До наступного заняття кожний студент складає письмовий звіт (за встановленим зразком), в якому приводить необхідні схеми, таблиці, графіки, розрахунки і робить висновки за отриманими результатами.

На занятті кожний студент здає залік за виконану роботу й лише після цього допускається до виконання наступної роботи.

### 2.6. Контрольні запитання

1. Будова й принцип роботи двоелектродних і чотириелектродних ДРЛ.

2. Будова й принцип роботи ДнаТ.
3. Схеми вмикання двоелектродних і чотириелектродних РЛ високого тиску, їх переваги і недоліки.
4. Схеми вмикання ДнаТ, їх переваги і недоліки.
5. Процеси, що протікають в ДнаТ у момент запалення й за її розгоранні.
6. Процеси, що протікають в ДРЛ у момент запалення й за її розгоранні.
7. Чинники, що впливають на процес запалення РЛ високого тиску.
8. Вплив напруги мережі й типу баластного опору на роботу РЛ високого тиску.
9. Від чого залежить тривалість розгорання й повторного запалення РЛ високого тиску? Якими чинниками можна впливати на неї?
10. Який пристрій називають автотрансформатором, а також автотрансформатором з розсіянням?
11. Пояснити як працює схема ІЗП для ДнаТ.
12. Чим відрізняються ІЗП, що призначені для запалення ДРЛ від тих, що призначені для запалення ДнаТ?

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Фугенфиров М. И. Электрические схемы с газоразрядными лампами. - М.: Энергия, 1974, С. 257-285.
2. Уэймаус Д. Разрядные лампы, - М.: Энергия, 1977, С.147-181, 307-308.
3. Рохлин Р. Н. Газоразрядные источники света. 2-е изд.– М. : Энергоатомиздат, 1991, С.141-150, 200-289,609-623, 661-674.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

### ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЛЛ У БЕЗСТАРТЕРНІЙ СХЕМІ ВМИКАННЯ

Мета роботи – ознайомити студентів з принципами засвічення люмінесцентних ламп (ЛЛ) в безстартерних схемах; показати їх переваги й недоліки порівняно зі схемами стартерного вмикання.

Завдання до роботи – виміряти напругу засвічення ЛЛ і напругу попереднього підігріву в схемах з трансформатором для нагріву катодів за різних величин струму попереднього підігріву катодів.

Для виконання роботи студент має:

знати умови засвічення ЛЛ; переваги й недоліки безстартерних схем вмикання; вимоги до безстартерних апаратів; принципи вибору струму попереднього підігріву відповідно до величини напруги холостого ходу в безстартерних ПРА; типи й склад безстартерних ПРА.

уміти складати безстартерну схему вмикання ЛЛ з трансформатором попереднього підігріву катодів; користуватися вимірювальною апаратурою для вимірювання електричних режимів роботи ЛЛ в безстартерній схемі;

Виконання роботи дає можливість набути навичок вимірювання основних електричних характеристик ЛЛ та аналізу результатів роботи ЛЛ в безстартерній схемі вмикання.

#### СТИСЛІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Одним зі шляхів створення надійних й зручних в експлуатації ПРА є застосування безстартерних схем вмикання ЛЛ. Хоча порівняно зі стартерними ПРА безстартерні апарати мають великі габарити, масу, витрату активних матеріалів, втрати потужності й т.п., але витрати на обслуговування освітлювальних установок, укомплектованих безстартерними апаратами, зменшується за рахунок збільшення надійності засвічення й збільшення терміну корисної роботи ЛЛ.

Стартерні й безстартерні схеми засвічення ЛЛ відносяться до схем швидкого (гарячого) засвічення. Основна відмінність роботи ЛЛ в стартерних і безстартерних схемах полягає в умові її засвічення й, зокрема, способі попереднього підігріву катодів до моменту засвічення ЛЛ.

#### 3.1. Принципи засвічення ЛЛ в безстартерних ПРА

Напруга засвічення холодних ЛЛ висока й значно більша навіть за амплітудне значення (311 В) напруги промислової мережі живлення. Загальним способом пониження напруги засвічення розряду в ЛЛ є попереднє створення умов для виникнення термоелектронної емісії з її катодів. Умовою виникнення термоелектронної емісії є нагрівання катодів напругою мережі живлення або спеціальною напругою, створеною понижуючими трансформаторами. Щоб ЛЛ запрацювала до неї прикладають напругу живлення. Напруга живлення, що

подається на холодну лампу й не запалює її називається напругою холостого ходу  $U_{xx}$ . Очевидно, що для засвічення ЛЛ необхідно, щоб ( $U_{xx}$ ), яку формує ПРА, дорівнювала напрузі засвічення лампи ( $U_z$ ). У свою чергу,  $U_z$  залежить від температури катоду.

Зв'язок між напругою засвічення лампи в безстартерній схемі й струмом попереднього підігріву, що забезпечує необхідну температурну підготовку катодів, ілюструє рис. 3.1 для ЛЛ потужністю 40 Вт. Збільшення струму попереднього підігріву (від 0 до 0,1 А) спочатку слабо впливає, але потім приводить до різкого пониження  $U_z$  (струм від 0,2 до 0,4 А).

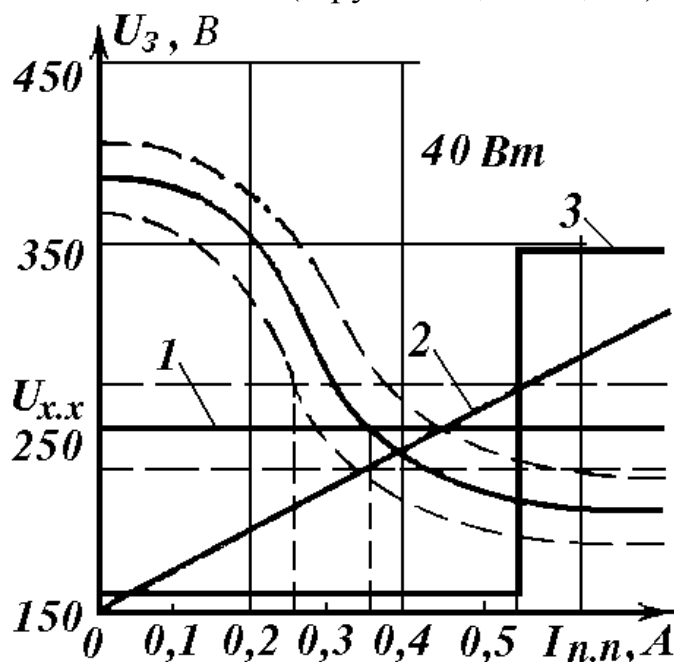


Рис. 3.1 – Залежність напруги засвічення ЛЛ від струму попереднього підігріву

На рис. 3.1 показані три можливі варіанти засвічення ЛЛ в безстартерних схемах. У першому варіанті (пряма 1 на рис.3.1) напругу  $U_{xx}$  прикладають до лампи одночасно з початком підігріву катодів і не змінюють до моменту засвічення й роботи лампи. Засвічення лампи відбувається в момент рівності  $U_{xx} = U_z$ . При цьому способі увімкнення є велика ймовірність “холодних” засвічень лампи, тобто засвічень лампи за недогрітих катодів, що негативно позначається на терміні роботи ЛЛ.

У другому варіанті (пряма 2 на рис.3.1)  $U_{xx}$  поступово збільшується за часом від моменту подачі мережевої напруги. Момент засвічення визначають як за зниженням  $U_z$ , так і за зростанням  $U_{xx}$ . У таких схемах попереднього підігріву катодів  $U_{xx}$  спочатку понижена, що дозволяє понизити ймовірність засвічення ламп з недогрітими електродами.

У третьому варіанті (крива 3 на рис.3.1) достатню напругу холостого ходу ПРА прикладають до лампи тільки після достатнього попереднього підігріву катодів. Цей спосіб отримав назву затриманого засвічення. Хоча в ньому й створюються якнайкращі умови засвічення ламп (ймовірність засвічення ламп з недогрітими катодами відсутня), він не набув широкого поширення зважаючи на складність реалізації й дорожнечу ПРА.

Про момент засвічення ЛЛ в тій або іншій безстартерній схемі можна говорити тільки з певним ступенем ймовірності, оскільки ЛЛ мають при виготовленні технологічні розкиди параметрів, внаслідок чого їх  $U_z$  розрізняються.

Крім того,  $U_z$  залежить від зовнішніх умов середовища (температура, вологість) й від тривалості використання ламп. Тому залежність  $U_z = f(In.n)$  для групи ламп перетворюється на сімейство кривих, що лежать в області, обмеженій на рис.3.1 штриховими лініями. Оскільки напруга змінної мережі зростає від нуля до амплітудного значення, а також може коливатися в певних межах, то величина  $U_{xx}$  буде знаходитися в області, що також обмежена другими штриховими лініями.

За величиною області, спільної для  $U_z$  і  $U_{xx}$ , видно, що найбільша ймовірність недогрітого засвічення відповідає першому варіанту подачі на ЛЛ напруги холостого ходу. На рис. 3.1 видно, що у першому варіанті деякі лампи засвітяться навіть за струмом попереднього підігріву, рівному 0,25 А, тобто тоді, коли  $U_z$  тільки почне понижуватися, а не досягне суттєво меншого значення, як за струмом 0,4 А.

Як бачимо, напруга засвічення суттєво залежить від величини струму попереднього підігріву. Чим більший  $In.n$ , тим більше понижується  $U_z$  ЛЛ. В той же час збільшення  $In.n$  приводить до зростання температури розжарення катодів, а тому більшого розпилення катодів і скорочення терміну їх роботи. За цих протилежних вимог величину струму попереднього підігріву вибирають компромісно, тобто так, щоб вона була близькою до робочого струму ЛЛ й знаходилась в межах 0,9 – 1,2 від номінального значення  $I_l$ . Струм попереднього підігріву  $In.n$  залежить від величини опору катодів ЛЛ і створюється по-різному, залежно від виду безстартерної схеми засвічення. В трансформаторних безстартерних схемах засвічення  $In.n$  створюється напругою вторинних обмоток окремого понижуючого трансформатора розжарення, первинну обмотку якого розраховують на напругу мережі живлення. Таким чином, для створення  $In.n$  потрібно знати ще й необхідну напругу попереднього розжарення катодів  $Un.n$ , а також величину опору, який мають катоди ЛЛ. Катоди можуть бути високоомні й низькоомні – це залежить від технології виготовлення (моно, біспіральні чи триспіральні). Для ЛЛ потужністю 20-80 Вт з високоомними катодами напруга попереднього розжарення  $Un.n$  знаходиться строго в межах 7,5-10 В. Верхня межа напруги обумовлена можливістю виникнення на катодах міжвиткового розряду, оскільки падіння напруги, що створюється на витках, стає рівною  $U_z$  газу в ЛЛ. В лампі виникає свігіння біля катодів під час їх підігріву, навіть за відсутності напруги, що прикладається до протилежних катодів для її роботи. Для низькоомних катодів  $Un.n$  може бути від 3,6 до 4,4 В.

Понизити  $U_z$  ЛЛ в безстартерних схемах можна також за допомогою струмопровідної смуги, яку наносять на колбу ЛЛ і способами її під'єднання в схемі живлення лампи. Ця смуга може бути заземлена, приєднана

безпосередньо до одного з електродів лампи або мати відповідний потенціал. Мінімальне значення  $U_3$  створюється в безстартерній схемі зі струмопровідною смугою, що безпосередньо приєднана до одного з електродів лампи.

Існує велика різноманітність безстартерних схем вмикання ЛЛ. Наприклад, резонансні, трансформаторні та схеми з автотрансформаторами з розсіянням магнітного потоку. Проте найбільшого поширення набули трансформаторні схеми швидкого пуску.

На рис.3.2 наведена проста безстартерна схема, в якій баластним опором є дросель, а попередній підігрів електродів здійснюють понижуючим трансформатором розжарення.

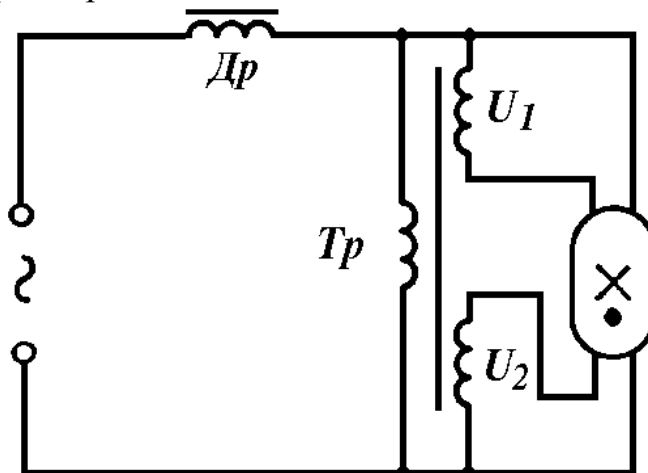


Рис. 3.2 – Безстартерна схема вмикання ЛЛ з трансформатором розжарення.

Понижуючий трансформатор має дві вторинні обмотки розжарення, які створюють напругу менше 10 В і слугують тільки для розжарення катодів.

Засвічення лампи відбудеться в той момент, коли  $U_3$ , що зменшиться в результаті попереднього підігріву катодів і стане рівною з напругою  $U_{xx}$ , тобто з напругою мережі, що прикладена одночасно як до первинної обмотки трансформатора, так і до протилежних катодів лампи.

Відомо, що первинна обмотка понижуючого трансформатора споживає малий струм, але після засвічення ЛЛ через дросель почне проходити робочий струм лампи. За причини падіння напруги на дроселі відбудеться розподіл напруги мережі й на ЛЛ установиться її робоча напруга, що приблизно в два рази менша за напругу мережі. Таким чином на первинній обмотці трансформатора розжарення відбудеться приблизно двократне зменшення напруги, а тому струм попереднього підігріву електродів в робочому режимі також зменшиться в два рази.

Оскільки при роботі лампи катоди нагріваються струмом розряду й немає потреби нагрівати їх додатково, тому кажуть, що в розглянутій схемі відбувається часткова компенсація струму попереднього підігріву.

### 3.2. Опис схеми вимірювальної лабораторної установки

У роботі досліджуються умови засвічення ЛЛ потужністю 40 Вт в безстартерній схемі, наведеній на рис. 3.3



ЛЛ підключають до мережі змінного струму через ЛАТР, що дозволяє подавати на лампу напругу від 0 до 250 В. До кожного з катодів лампи приєднана вторинна обмотка окремого трансформатора розжарення (Тр1, Тр2). Це дозволяє регулювати струм підігріву електродів незалежно від напруги, що прикладається до лампи ( $U_{л}$ ).

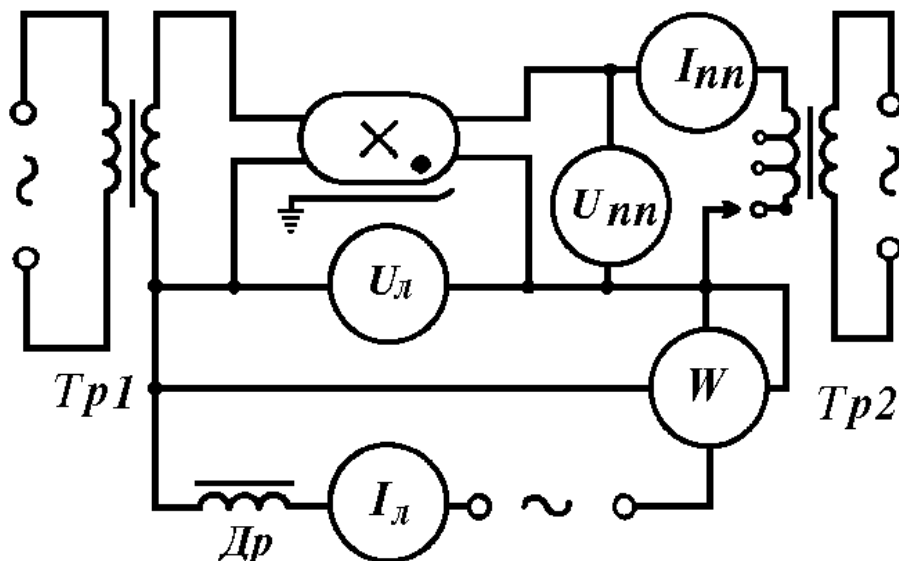


Рис. 3.3 – Електрична схема лабораторної установки.

Амперметр ( $I_{л}$ ) вимірює струм лампи в робочому режимі, амперметр ( $I_{нн}$ ) – значення струму попереднього підігріву катоду, вольтметр ( $U_{нн}$ ) – величину напруги на катоді, яку можна змінювати ступінчато від 4 до 12 В. Вольтметром ( $U_{л}$ ) вимірюють як робочу напругу лампи, так і  $U_{з}$  незасвіченої лампи.

### 3.3. Завдання до роботи

1. Зібрати електричну схему, наведену на рис. 3.3.
2. Зняти залежність струму попереднього підігріву ( $I_{нн}$ ) від напруги, що подається на катоди:  $I_{нн} = f(U_{нн})$ . Напруга подається ступінчато, як можливо на гніздах трансформатора. За отриманими вимірами побудувати графік цієї залежності.
3. Зміряти напругу засвічення розряду за різних значень струму попереднього підігріву катодів за відсутності струмопровідної смуги і при її наявності й побудувати залежності  $U_{з} = f(I_{нн})$ . Слід мати на увазі, що після засвічення ЛЛ на ній миттєво встановиться робоча напруга, а не  $U_{з}$ , яка завжди менша за  $U_{з}$ .
4. Провести вимірювання електричних характеристик лампи ( $I_{л}$ ,  $P_{л}$ ) як за номінальної напруги, так і при зміні напруги мережі ( $U_{м}$ ) в межах  $\pm 10\%$  від номінальної й обчислити коефіцієнти нестабільності за виразами:

$$\gamma = \frac{\Delta I_{л}}{I_{л}} : \frac{\Delta U_{м}}{U_{м}}, \quad \lambda = \frac{\Delta P_{л}}{P_{л}} : \frac{\Delta U_{м}}{U_{м}}$$

Результати вимірювань мають бути оформлені у вигляді таблиць, а графіки побудовані на міліметровці й вкесні в звіт. В звіті необхідно привести розрахунки і висновки за аналізом отриманих результатів.

### 3.4. Контрольні запитання

1. За якими чинниками визначається вибір величини струму підігріву і напруги холостого ходу в безстартерних схемах увімкнення ЛЛ?
2. Дати порівняльну оцінку стартерних і безстартерних ПРА.
3. Які види безстартерних схем засвічення ЛЛ існують? Навести схеми.
4. За яких міркувань вибирають напругу попереднього розжарення в трансформаторних безстартерних схемах?
5. Які існують способи зменшення  $U_z$  в безстартерних схемах?
6. Пояснити причини виникнення міжвиткового розряду на катодах ЛЛ.
7. Які існують способи компенсації струму попереднього підігріву в робочому режимі лампи в безстартерних схемах?
8. Яким чином можна підвищити напругу холостого ходу?
9. Які способи створення напруги холостого ходу існують? Навести їх недоліки й переваги.
10. Як необхідно підключити трансформатор попереднього розжарення, якщо компенсація струму попереднього підігріву є небажаною?
11. Пояснити чому наявність струмопровідної смуги понижує  $U_z$ ?
12. Що може діяти на  $U_z$  подібно до струмопровідної смуги?
13. Які недоліки, що пов'язані з аварійною роботою, присутні безстартерним схемам?

### ЛІТЕРАТУРА

1. Фугенфиров М. И. Электрические схемы с газоразрядными лампами. - М.: Энергия, 1974, С. 164-215.
2. Скобелев В.М., Афанасьева Е. И. Источники света и пускорегулирующая аппаратура. – М.: Энергия, 1973, С. 316-340.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

### ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СТАРТЕРІВ ДЛЯ ЗАСВІЧЕННЯ ЛЮМІНЕСЦЕНТНИХ ЛАМП

Мета роботи – ознайомити студентів з будовою й принципами роботи стартерів, з їх призначенням, перевагами й недоліками, з впливом коливань напруги мережі на їх електричні характеристики.

Завдання роботи – провести вимірювання електричних характеристик (тривалість стану тліючого розряду, тривалість замкнутого стану, загальну тривалість роботи, кількість спроб засвічення) стартерів за різної напруги мережі.

Для виконання роботи студент має:

знати: будову й принцип роботи стартерів різних типів; їх призначення, переваги й недоліки, електричні характеристики, а також схеми стартерного засвічення люмінесцентних ламп (ЛЛ) й схеми для визначення терміну корисної роботи стартера;

уміти: підключати стартер в електричну схему з люмінесцентною лампою для її засвічення та в схему для визначення терміну його корисної роботи; користуватися швидкодіючим самописним приладом типу НЗЗ8-ІІ для вимірювання електричних характеристик стартерів; обробляти й аналізувати отримані результати; визначати температуру катодів люмінесцентної лампи за відомими електричними характеристиками стартерів.

Виконання роботи дає можливість отримати практичні навички роботи зі стартерною схемою вмикання ЛЛ та з приладом типу НЗЗ8-ІІ.

#### СТИСЛІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Для засвічення люмінесцентних ламп використовують стартерні й безстартерні схеми засвічення. Безстартерні схеми засвічення описані в лабораторній роботі № 3, а в даній роботі розглядаються схеми, що містять різні типи стартерів.

Призначення стартера – забезпечити автоматичне засвічення ЛЛ протягом не більше трьох секунд після підведення до неї напруги від джерела живлення. При цьому бажано, щоб стартер створював як можна менший вплив на термін корисної роботи ЛЛ і щоб в ньому по можливості менше витрачалася електрична енергія. Першій вимозі задовільняють термостартери, а другій – стартери тліючого розряду.

До переваг стартерних схем вмикання ЛЛ слід віднести їх відносну простоту, невеликі розміри й масу, малу втрату потужності та низьку вартість порівняно зі складнішими безстартерними схемами. Але поряд з цим, їм властиві й суттєві недоліки: зниження терміну корисної роботи лампи й невисока надійність роботи. Якщо катоди ЛЛ нагріті недостатньо, а контакти стартера вже розмикаються, то в лампі виникають перехідні режими, що

приводять до значного розпилення оксиду катодів а, отже, до зниження терміну корисної роботи ЛЛ. Невисока надійність стартерів пов'язана з частими випадками залипання контактів й пробоем стартерного конденсатора, що приводить до перегріву ПРА і катодів лампи, та зрештою до виходу їх з ладу. Все це примушує шукати шляхи подолання зазначених недоліків та розробляти методи вимірювання електричних параметрів.

#### 4.1. Будова й принцип роботи стартера

Для засвічення ЛЛ застосовуються розрядні (стартери тліючого розряду) й теплові стартери. Стартер тліючого розряду є невеликою розрядною лампою (див. рис. 4.1, а), що складається зі скляного балона 3, наповненого за тиском 10-15 мм.рт.ст. сумішшю інертних газів (зазвичай 60% Ar + 28,8% Ne + 11,2 % He, хоча можуть бути й інші суміші), в якому до цоколя 5 вварені через відводи 1 електроди: один 2 нерухомий, виготовляється з нікеля, а інший з привареною термобіметалевою пластинкою 4. Це асиметрична конструкція стартера, але може бути й симетрична, в якій обидва електроди мають термобіметалеві пластинки. Паралельно до електродів підключають стартерний конденсатор ємністю 0,004-0,01 мкФ, який монтується зі стартером (див. рис. 4.1, б) і розміщують в захисному металевому або пластмасовому циліндричному корпусі.

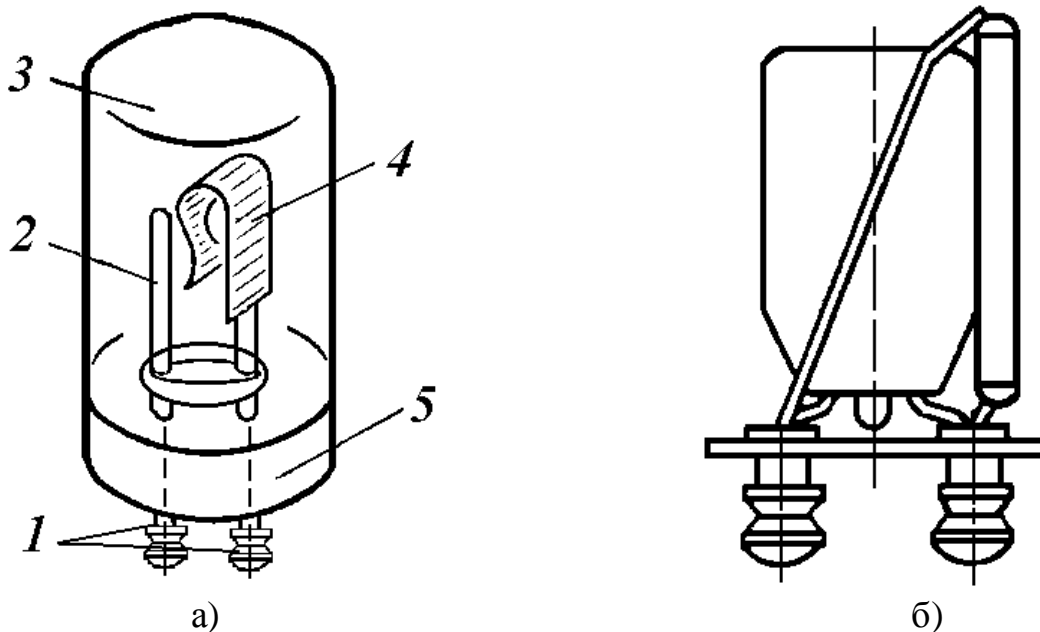


Рис. 4.1 – Будова стартера тліючого розряду

Тепловий стартер відрізняється за будовою тим, що в скляному балоні створено вакуум і вмонтовано не два, а чотири електроди (див. рис. 4.2, а) – один нерухомий з латуні, другий рухомий 1 з термобіметалу, причому вони дотикаються один до одного, на відміну від стартера тліючого розряду. До двох інших електродів приварена спіраль розжарення 2, яка розміщена поблизу термо-біметалевої пластинки, щоб ефективно нагрівати її, якщо через спіраль буде протікати струм розжарення. Очевидно, що для закріплення теплового

стартера необхідне гніздо, яке відрізняється за конструкцією від гнізда для розрядного стартера.

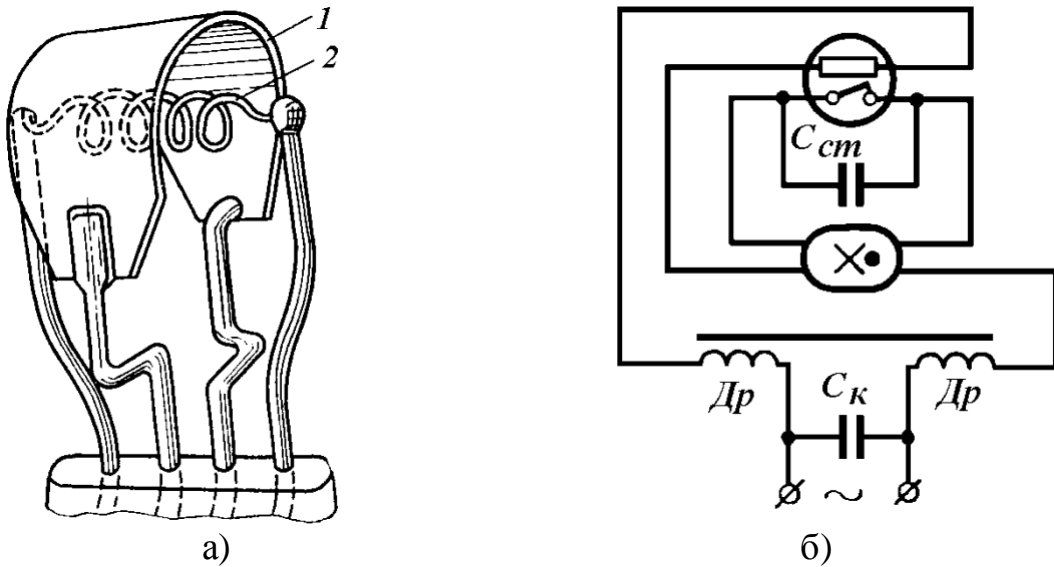


Рис.4.2 – Будова теплового стартера й електрична схема його підключення до ЛЛ

Процес засвічення ЛЛ в стартерній схемі за допомогою стартера будь-якого типу можна умовно розділити на чотири етапи: 1 – підготовчий; 2 – попередній підігрів катодів лампи; 3 – спроба засвічення лампи; 4 – підготовка стартера до повторі спроби засвічення лампи. У теплових стартерах перший етап відсутній.

На рис 4.2, б й рис. 4.3 наведені схеми стартерного засвічення, де використано симетричний дросель, який понижує радіовади схеми.

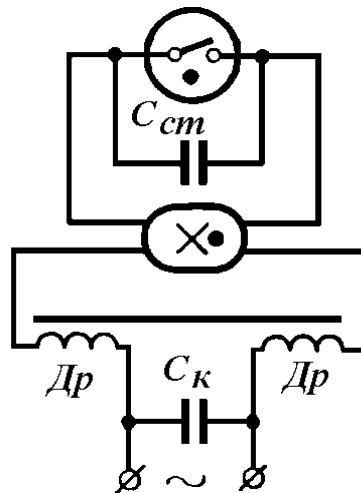


Рис. 4.3 – Схема стартерного засвічення ЛЛ розрядним стартером й симетричним дроселем

Перший етап починається з моменту прикладання напруги до контактів стартера й закінчується в момент замикання термобіметалевої пластинки 4 з нерухомим електродом 2 стартера. На цьому етапі в стартері виникає тліючий розряд, який триває 0,2-0,4 с. Оскільки прикладена напруга (220 В) значно нижча, за напругу засвічення ЛЛ з холодними катодами, то лампа не

засвітиться, але характеристики стартера (вибір відповідної суміші газів відносно напруги засвічення тліючого розряду, вибір її тиску й відстані між нерухомим електродом й термобіметалевою пластинкою) вибирають такими, щоб напруга мережі була достатньою для засвічення тліючого розряду між катодами стартера. Після засвічення тліючого розряду через стартер починає протікати по колу: дросель, катода лампи, стартер – струм тліючого розряду, величиною 0,01-0,04 мА. Цей струм не може помітно нагріти катода лампи, він невеликий, але в середині стартера він складається з електронів та іонів, що виникли в газі, тому виділене тепло й струм нагрівають термобіметалеву пластинку (або пластинки) стартера, яка починає вигинатися в напрямі до нерухомого електроду й в решті-решт стикається з ним. Відбувається замикання нерухомого електроду 2 з термобіметалевою пластинкою 4 стартера.

На цьому закінчується підготовчий етап і починається етап попереднього нагріву катодів лампи, оскільки через замкнуті електроди стартера починає протікати струм попереднього підгріву катодів, який в десять разів більший за струм тліючого розряду. Цей етап триває приблизно 0,2-0,8 с, до моменту розмикання електродів стартера. Електроди розмикаються, оскільки в цей період зникає тліючий розряд, між електродами стартера відсутня напруга. Електроди виготовляють за таким діаметром й конструктивними розмірами, щоб протікаючий струм попереднього нагріву катодів лампи був недостатнім для підтримки на необхідному рівні температури термобіметалу. Відсутність тліючого розряду приводить до охолодження термобіметалевої пластинки молекулами газів й остання починає повертатися до початкового положення, тому електроди стартера розмикаються, а струм у колі різко зменшується.

У момент розмикання контактів стартера настає короточасний третій етап. Завдяки наявності дроселя в електричному колі й різкому зменшенню струму, на електродах стартера виникає імпульс Е.Р.С. самоіндукції вельми великої величини (8-12 кВ), але дуже малої тривалості (1-2 мкс). Стартер підключають паралельно до лампи, тому на її катодах теж з'являється пік Е.Р.С. самоіндукції. З причини малої тривалості імпульсу, його енергії недостатньо для засвічення лампи. При підключенні конденсатора паралельно до стартера досягається зниження амплітуди імпульса Е.Р.С. до 700-1500 В й збільшення тривалості імпульсу до 1300-1500 мкс. У цьому разі енергії імпульсу може бути достатньо, щоб засвітити розряд у ЛЛ, але на практиці першим імпульсом лампа не засвічується. Електроди стартера стають розімкнутими.

Після розмикання електродів стартера й у разі не засвічення ЛЛ настає четвертий етап – підготовка до повторної спроби засвічення ЛЛ. Знову виникає тліючий розряд і все повторюється. Четвертий етап принципово нічим не відрізняється від першого, але його тривалість істотно менша й приблизно дорівнює 0,01-0,03 с. Надалі всі етапи повторюються до тих пір, поки не засвітиться лампа. Після засвічення лампи стартер стає непотрібним, тому він не має працювати, тобто необхідно, щоб тліючий розряд в ньому не виникав. Цього можна досягнути, якщо робоча напруга лампи буде меншою за напругу засвічення розряду в стартері.

Стартерний конденсатор окрім впливу на параметри імпульсу Е.Р.С. ще понижує ймовірність залипання електродів з причини виникнення дугового розряду в момент їх розмикання, а також понижує рівень радіовад, що виникають при роботі стартера та генеруються лампою. Одночасно при виході з ладу він приводить як до погасання лампи, так і небезпечному перегріву ПРА. Тому до стартерних конденсаторів ставлять високі вимоги відносно електричного пробою, тобто надійності роботи за високої робочої напруги.

В схемі засвічення ЛЛ з тепловим стартером (рис. 4.2, б) перший етап роботи стартера відсутній, оскільки електроди теплового стартера знаходяться в замкнутому стані й термобіметалева пластинка починає нагріватися струмом попереднього підігріву катодів лампи з моменту підключення схеми до напруги мережі, який протікає по колу: дросель, катода лампи й спіраль стартера, яка їх з'єднує послідовно. Тепло, що виділяє розжарена спіраль стартера, нагріває термобіметалеву пластинку й приводить до її розгинання. Струм різко зменшується й виникає імпульс Е.Р.С. самоіндукції, який запалює ЛЛ. Стартер конструюється так, щоб розгинання термобіметалевої пластинки відбулося після достатнього прогріву катодів ЛЛ (чезер 2-3 с). Оскільки й після засвічення ЛЛ через спіраль стартера тепер протікає робочий струм лампи, то термобіметалева пластинка залишається нагрітою, а тому в розімкнутому стані стартер не заважає роботі лампи. Суттєвим недоліком теплового стартера є те, що виникають додаткові втрати потужності на постійне розжарення спіралі, а також те, що при незасвіченні ЛЛ з першої спроби, необхідно чекати деякий час, поки термобіметалева пластинка охолоне й перейде в замкнутий стан.

На підставі викладеного процесу засвічення стартера можна сформулювати вимоги, що ставляться до параметрів стартерів. При отриманні заліку студентам необхідно самостійно сформулювати ці вимоги.

Слід відмітити, що кожна спроба засвітити лампу знижує її термін роботи, оскільки високовольтний імпульс 700-1500 В викликає розпилення оксидного шару на недостатньо нагрітих катодах ЛЛ. Крім того, стартери тліючого розряду мають значний розкид напруги засвічення тліючого розряду  $U_{тл}$  й тривалості замкнутого стану електродів. Якщо  $U_{тл} > U_m$  (напруга мережі), то тліючий розряд в стартері не виникає й лампа не засвітиться, якщо ж  $U_{тл} < U_{рл}$  (напруга на лампі, що горить), то контакти стартера періодично замикатимуться й розмикатимуться. У останньому разі лампа буде періодично мигати, що приведе до неможливості використання її як джерела світла й швидкому зносу її електродів.

Вказаних вище недоліків, що властиві стартерам тліючого розряду, позбавлені термостартери. У останніх відсутня можливість засвічення ЛЛ з недогрітими катодами; більш тривалий проміжок часу замкнутого стану електродів, достатнього для підігріву катодів лампи до необхідної температури; відсутні наступні одина за одною спроби запалити лампу. Термостартери потребують складнішого обладнання, а також додаткових втрат потужності, тому у вітчизняній практиці вони не знайшли широкого розповсюдження й





5. Клеми для вимірювальної напруги приладу приєднати до додаткового опору.
6. Увімкнути прилад шляхом натиснення на кнопку «мережа».
7. Однією рукою включити тумблер стенду, а потім другою рукою натиснути на кнопку розготки «пуск» з позначкою 50 або 100 мм/с. На стрічці повинен відбутися запис, за яким перо здійснюватиме коливальні рухи. Коли лампа засвітиться, коливальні рухи припиняться. У цей же час однією рукою натиснути на кнопку «стоп» (зліва червона), а другою – на тумблер стенду й вимкнути лампу.
8. Повторити вимірювання за п. 7 п'ять разів для напруги мережі  $0,9U_n, 1U_n$  й  $1,1U_n$  ( $U_n$  – номінальна напруга мережі) для декількох стартерів. **Після кожного вимірювання й вимкненій лампі робити паузи** тривалістю не менше 1 хвилини для охолодження катодів лампи.
9. Для дослідження впливу стартерного конденсатора необхідно замкнути ключ  $K$  й повторити вимірювання за п. 7.
10. Після закінчення вимірювань вимкнути прилад, зняти живлення електричного кола та поставити аретир на перо запису.
11. У разі потреби заміни паперової стрічки запросити викладача для допомоги, те ж зробити, якщо виникнуть відхилення від норми в роботі самописця.

### 4.3. Завдання до роботи

1. Перш ніж виконувати лабораторну роботу необхідно ознайомитися з принципом роботи та будовою стартерів, з їх призначенням, перевагами, недоліками й електричними параметрами, а також зі схемами стартерного вмикання люмінесцентних ламп (див. [1] с. 138-159; [2] с. 430-435, [3] с. 274-284).
  - Завдання до п. 4.1.
  - 1. Ознайомитися з процесом засвічення стартера (див. [1] с. 139-146; [3] с. 275-277) .
  - 2. Сформулювати вимоги до стартерів.
  - Завдання до п. 4.2.
  - 1. Зібрати схему згідно рис. 4.4.
  - 2. Підготувати прилад Н338-ІІІ до вимірювань згідно п. 4.2.
  - 3. За допомогою приладу Н338-ІІІ провести запис процесу стартерного засвічення ЛЛ згідно п. 4.2.
  - 4. Провести запис процесу засвічення ЛЛ за напруги  $0,9U_n, 1U_n$  й  $1,1U_n$ .
  - 5. Повторити вимірювання за п. 4 для кожного стартера, виданого викладачем.
  - 6. Замкнути ключ  $K$  і провести запис процесу засвічення з одним зі стартерів згідно п. 4.2.
  - 7. З отриманих записів процесу роботи стартера визначити тривалість стану тліючого розряду, тривалість замкнутого стану електродів, число спроб

засвічення, повну тривалість процесу засвічення лампи. Для визначення тривалості необхідно виміряти на стрічці довжину запису того чи іншого процесу й врахувати швидкість розгортки (переміщення стрічки). З п'яти записів обчислити середньоарифметичні значення знайдених електричних параметрів стартерів. Отримані результати звести в таблицю 1.

8. Провести порівняльний аналіз впливу стартерного конденсатора.
9. Визначити величину струму тліючого розряду й струму попереднього підігріву катодів ЛЛ. Для цього виміряти на стрічці запису амплітуду відхилення пера для того чи іншого стану роботи стартера й врахувати значення дільника вхідної напруги, величину опора резистора  $R$ , а також те, що струм змінний.
10. За допомогою графіка, прикладеного до приладу, визначити температуру електродів ЛЛ, за отриманою тривалістю замкнутого стану електродів стартера. За отриманими даними визначити середньоарифметичне значення температури електродів ЛЛ, а також абсолютні й відносні її відхилення від середнього значення. Результати звести в таблицю 2.
11. Зробити аналіз за отриманими даними.

#### **4.4. Контрольні запитання.**

1. Будова й принцип дії стартерів тліючого розряду та термостартерів.
2. Призначення стартерів і вимоги до них.
3. Переваги й недоліки стартерів тліючого розряду та термостартерів.
4. Пояснити як відбувається засвічення ЛЛ в стартерних схемах.
5. Навести електричні характеристики стартерів і вплив на них коливання напруги в мережі.
6. Навести вимоги, що ставляться до стартерів, а також пояснити в якому разі стартер не буде впливати на роботу засвіченої ЛЛ.
7. Пояснити необхідність стартерного конденсатора, а також як він впливає на роботу стартера й навести вимоги до нього.
8. Пояснити за якої необхідності в розрядних стартерах застосовують суміш газів.
9. Пояснити як за записами на паперовій стрічці самописного приладу НЗ38-ІІІ можна отримати значення параметрів стартера.
10. Навести головні дії для підготовки самописного приладу НЗ38-ІІІ до роботи.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Фугенфиров М. И. Электрические схемы с газоразрядными лампами. - М.: Энергия, 1974, С.138-159.
2. Рохлін Г. Н. Разрядные источники света. – М. – Л.: Энергия, 1991, С. 430-435.
3. Скобелев В.М., Афанасьева Е. И. Источники света и пускорегулирующая аппаратура. – М.: Энергия, 1973, С. 274-284.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

### ДОСЛІДЖЕННЯ ІНДУКТИВНО-ЄМНІСНИХ СХЕМ ВМИКАННЯ ЛЛ

Метою лабораторної роботи є вивчення впливу на електричні характеристики ЛЛ потужністю 40 Вт співвідношення опорів ємнісного й індуктивного баласту в пусковому й робочому режимах.

Для виконання лабораторної роботи студент має:

знати принципи стабілізації розряду; переваги й недоліки ємнісного, індуктивного й індуктивно-ємнісного баластів; принципи вибору співвідношення ємнісного й індуктивного опору в змішаних індуктивно-ємнісних баластах;

уміти зібрати індуктивно-ємнісну схему вмикання ЛЛ; користуватися необхідними вимірювальними приладами.

Виконання роботи дає можливість набути навичок вимірювання основних електричних характеристик комплексу ЛЛ-ПРА; використання осцилографу для вимірювання форми кривих струму й напруги при роботі лампи на змінному струмі в пусковому й робочому режимах.

### СТИСЛІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Ефективність використання розрядних ламп визначається не тільки якістю самих ламп, але й параметрами ПРА. Елементом, що стабілізує роботу ЛЛ на змінному струмі, тобто баластом, можуть бути як активний, так і реактивні опори – індуктивні та ємнісні. Створення ПРА з баластом на основі активних опорів не набуло поширення при роботі ЛЛ на змінному струмі з причини великих втрат активної потужності. Відомо, що для усталеної роботи РЛ необхідно, щоб відношення  $U_l/U_m$  було менше 0,65 (див. лаб. роб. № 1). Тому, приблизно половина потужності, що підводиться до схеми, витрачається на нагрівання баласту.

Не використовується при роботі ЛЛ на промисловій частоті 50 Гц для стабілізації розряду й чисто ємнісний баласт, бо при послідовному включенні конденсатора з розрядним джерелом світла створюються несприятливі для експлуатації режими роботи.

Так, в цьому разі робочий струм й усталену роботу ЛЛ, що має потужність 40 Вт, може забезпечити тільки конденсатор ємністю приблизно 10 мкФ. Це велика ємність і процеси заряду й розряду конденсатора в колі з малим опором відбуваються дуже швидко, тому робочий струм ЛЛ протікає в короткочасні моменти, його форма значно відрізняється від синусоїдальної та має великий амплитудний коефіцієнт  $k_a$ .

Такий режим скорочує термін роботи ЛЛ, а світловий потік має вигляд короткочасних світлових імпульсів (див. рис. 5.1), що несприятливо впливає на зір і може викликати яскраво виражений стробоскопічний ефект.

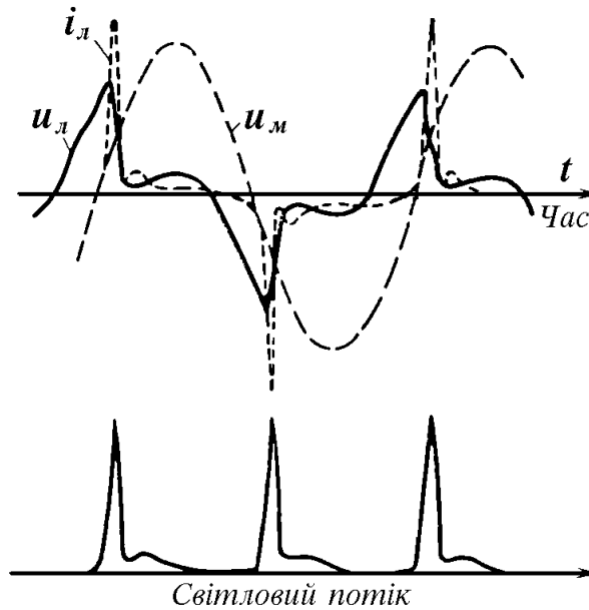


Рис. 5.1 – Динамічні ВАХ РЛ з ємнісним баластом на промисловій частоті струму.

### 5.1. Принцип роботи індуктивно - ємнісних ПРА

Широке практичне застосування в різних схемах вмикання ЛЛ отримав змішаний індуктивно-ємнісний баласт, який є послідовно сполученими конденсатором  $C_b$  і дроселем з індуктивністю  $L_{др}$ . Дросель додається для того, щоб форма струму стала близькою до синусоїдальної, але загальний опір при цьому залишався ємнісним.

Струм через лампу в цьому разі, якщо нехтувати активним опором дроселя й втратами в конденсаторі, визначається за формулою

$$I_l = \frac{U_b}{\frac{1}{\omega C_b} - \omega L_{др}} \quad (1)$$

Очевидно, що величина індуктивності дроселя необхідно буде відрізнятися від індуктивності дроселя, що застосовується в схемі з індуктивним баластом. На рис. 5.2 наведені криві струму й напруги на лампі, що працює в схемі з  $L$ - $C$  баластом. Можна бачити, що фаза струму випереджує фазу напруги мережі, тобто кут зрушення фази  $\varphi$  - від'ємний, а форма струму синусоїдальна. Коли струм знижується до нуля, до лампи прикладена напруга, що рівна різниці напруги на конденсаторі ( $U_k$ ), й напруги мережі ( $U_m$ ). Якщо  $U_k - U_m$  більша або дорівнює напрузі перезасвічення, то лампа працює в режимі без пауз струму.

За заданих напрузі живлення, напрузі на лампі й струму через лампу, величину опору баласта визначають однозначно. Проте величину цього опору можна отримати за різних значень індуктивного ( $X_L$ ) й ємнісного ( $X_C$ ) опорів.

Якщо зменшувати опір  $X_L$ , то можна зменшити розміри баластного дроселя й таким чином втрати в ньому, що є економічно вигідним. Але при цьому зростає величина відношення  $X_C : X_L$ , що викликає збільшення коефіцієнту амплітуди струму ( $k_a$ ), що приводить до зниження терміну корисної роботи лампи. Гранично допустимим значенням  $k_a$  є величина 1,7, яка й служить найчастіше критерієм вибору оптимального співвідношення між  $X_C$  й  $X_L$ . Проте, поряд з цим критерієм при виборі  $X_C$  й  $X_L$  необхідно брати до уваги й інші процеси, що мають місце за роботи ЛЛ в електричній мережі. Зокрема, за рівності  $X_C = X_L$  спостерігається резонанс напруги на основній частоті й величина струму теоретично стає нескінченно великою.

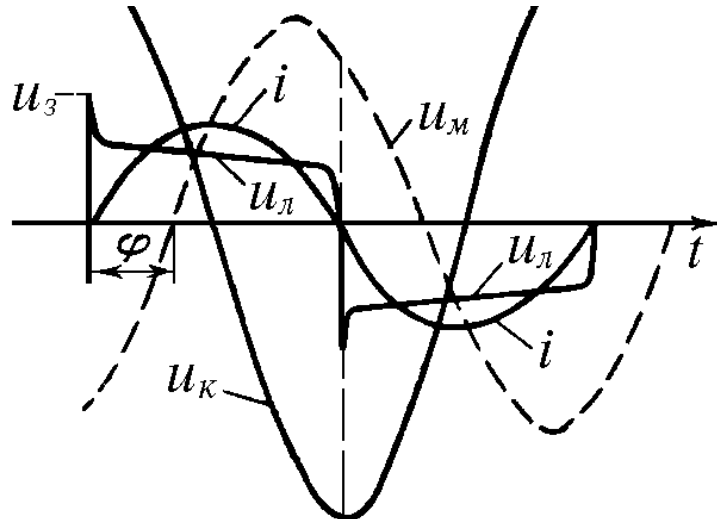


Рис. 5.2 – Динамічні ВАХ розрядної лампи з індуктивно-ємнісним баластом

Як показують дослідження для ЛЛ найкращими співвідношеннями є:

$$1,5 < X_C / X_L \leq 3,3 \text{ за } U_{\text{л}}/U_{\text{м}} < 0,5; \quad (2)$$

$$1,5 < X_C / X_L \leq 3,0 \text{ за } U_{\text{л}}/U_{\text{м}} > 0,5, \quad (3)$$

а для ламп типу ДРЛ:

$$1,5 < X_C / X_L \leq 3,0 \text{ за будь-якого значення } U_{\text{л}}/U_{\text{м}}. \quad (4)$$

## 5.2. Схема стартерного засвічення ЛЛ з несиметричним індуктивно-ємнісним баластом

Надійність засвічення й термін роботи ЛЛ з індуктивно-ємнісним баластом в стартерних схемах нижче, ніж в схемах з індуктивним баластом, оскільки струм попереднього підігріву (пусковий струм) менший. Для збільшення його застосовують баластний дросель з додатковою обмоткою, яку включають в коло стартера (див.рис.5.3), а величина пускового струму може знаходитися в межах 0,9- 2 від номінального робочого струму лампи.

Можна використати й звичайний уніфікований дросель без додаткової обмотки, але тоді баластний конденсатор вибирають з допуском відхилення величини не більше 4%, а дросель – з високими вимогами до точності налаштування.

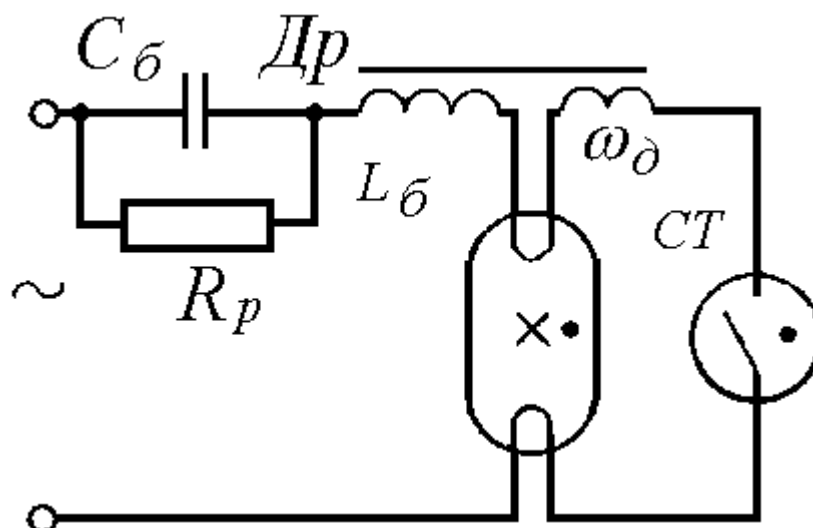


Рис. 5.3 – Схема стартерного вмикання ЛЛ з несиметричним індуктивно-ємнісним баластом.

Номінальну ємність конденсатора в фарадах для індуктивно-ємнісного баласту можна розрахувати за формулою

$$C_{\delta} = \frac{I_{л.н}}{2\omega U_m \sin \left[ \arccos \frac{P_{л.н} + P_{в.др}}{U_m I_{л.н}} \right]}, \quad (5)$$

де  $\omega$  – циклічна частота напруги мережі ( $\omega = 2\pi f$ ),  $f$  в Гц;  $I_{л.н}$  – номінальний робочий струм лампи, А;  $U_m$  – напруга мережі, В;  $P_{л.н}$  – номінальна потужність лампи, Вт;  $P_{в.др}$  – потужність втрат у баластному дроселі, Вт.

Потужність втрат у баластному дроселі залежить від потужності ЛЛ. Чим більша потужність ЛЛ, тим менша потужність втрат у дроселі. Для ЛЛ потужністю 40 Вт вона становить для індуктивно-ємнісного баласту 26 % від потужності лампи (див. Додаток 2).

### 5.3. Рекомендації відносно надійної експлуатації ПРА

Конденсатори, що використовуються в ПРА дуже часто є найбільш вразливими елементами пристрою за причини його надійності, тому до них ставляться наступні вимоги: номінальна робоча напруга конденсатора має бути не нижчою за 1,05 номінальної напруги мережі живлення, гарантована робоча здатність на протязі 100 годин за напругою, що виникає на них в аварійному або пусковому режимах, якщо напруга мережі дорівнює 1.1 номінального значення, електрична стійкість ізоляції між відводами й корпусом має витримувати подвоєну його робочу напругу, ще й збільшену на 1000 В, але не меншу за 1,5 кВ.

Після вимкнення ЛЛ на баластному конденсаторі залишається великий заряд (напруга), величина якого залежить від моменту вимкнення, тому схема навіть після вимкнення, може бути небезпечною для пресоналу, що обслуговує світильники. З метою пониження цієї напруги до 50 В й менше через 1 хв після

відключення схеми від мережі, паралельно до конденсатора приєднано розрядний резистор, величину якого розраховують за формулою

$$R_p = \frac{26}{C_0 \lg(1,4U / 50)}, \text{ Ом}, \quad (5)$$

де  $C_0$ —ємність баластного конденсатора в мкФ;  $U$ — діюча напруга конденсатора, В.

Так, для конденсаторів ємністю до 15 мкФ рекомендується розрядний опір в 1 МОм за номінальною потужністю 0,25 Вт.

Дозволяється не використовувати розрядний резистор, якщо конденсатор має ємність не більшу за 0,5 мкФ, а напруга на ньому в робочому або аварійному режимах не перевищує 500 В.

У ПРА вмонтованого типу виконання з класом захисту 01 має бути контакт заземлення, гвинт якого виготовлено з мідного сплаву й надійно захищено від дії корозії, а також має відкручуватися тільки за допомогою інструменту. Всі частини пристрою, до яких можна доторкнутися, мають бути надійно з'єднані з контактом заземлення, а повний опір між контактом заземлення та будь-якою доступною для дотику частиною має бути не більше за 0,5 Ом. Металеві деталі пристроїв мають бути захищені від дії корозії та мати відповідні захисні або захисно-декоративні покриття. Якщо ж світильники використовують в умовах середовища з агресивною дією, то пристрої ПРА мають бути герметизовані.

#### **5.4. Електрична схема для дослідження стартерного вмикання ЛЛ з індуктивно-ємнісним баластом**

Цю лабораторну роботу виконують на том ж стенді, де виконується лабораторна робота № 1. На рис. 5.4 наведена електрична схема вимірювального стенду.

Для проведення вимірювань перемикач  $SA 1.1$  необхідно поставити в положення 2, а перемикач  $SA 3$  — завжди в положення 1. Необхідні різні баластні конденсатори для зміни співвідношення  $X_C : X_L$  підключаються перемикачем  $SA 2$ . Використовують ЛЛ потужністю 40 Вт. З метою вивчення форми струму послідовно з ЛЛ включено невеликий активний опір  $R$ , напруга з якого подається на осцилограф.

Величина  $X_C : X_L$  визначається за відношенням падіння напруги на індуктивності й ємності. Вимірювання напруги й потужності на окремих елементах схеми та зрушення фази струму здійснюється відповідно вольтметром, ватметром і фазометром, під'єднаних до відповідних елементів схеми.

Ключ  $K_{пп}$  вмикається тільки короткочасно, з метою шунтування ЛЛ при визначенні струму попереднього підігріву катодів ЛЛ.

Збільшення або зменшення напруги живлення в межах  $\pm 10\%$  від номінального значення здійснюється за допомогою ЛАТРа, який приєднується до клем  $X_S 1$  й  $X_S 2$ .

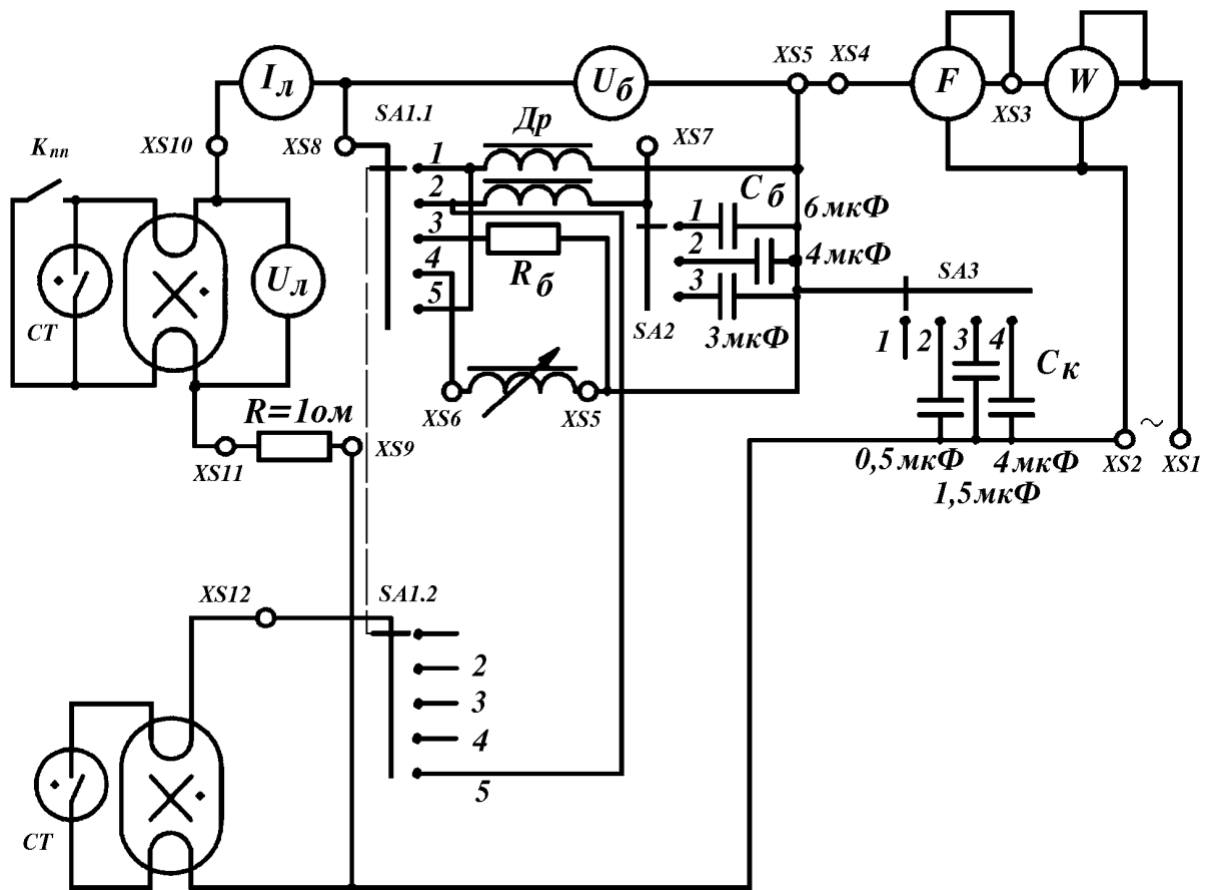


Рис. 5.4 – Електрична схема для дослідження роботи ЛЛ з індуктивно-ємнісним баластом.

### 5.5. Завдання до роботи

1. Зібрати електричну схему, наведену на рис. 5.4.
2. Провести вимірювання характеристик пускового режиму ЛЛ: струму попереднього підігріву катодів ( $I_{nn}$ ), напруги на дроселі й на конденсаторі та побудувати графіки залежностей  $I_{nn}$ ,  $U_{Др}$ ,  $U_c$  від співвідношення ( $X_c/X_L$ ). Для вимірювання  $I_{nn}$  необхідно натиснути на ключ  $K_{nn}$ , щоб лампа при цьому не засвітилась. Для вимірювання напруги на дроселі необхідно вольтметр підключити до клем  $XS 7$  та  $XS 8$ , напруги на конденсаторах – до клем  $XS 7$  та  $XS 5$ . Напруга живлення – 220 В.
3. За напруги мережі 220 В виміряти характеристики робочого режиму роботи ЛЛ:  $I_{л}$ ;  $U_{Др}$ ,  $U_c$ ;  $R_{л}$ ;  $R_{Др}$ ;  $R_c$ ;  $k_a$  та зрушення фази струму для різних значень відношення  $X_c : X_L$  й представити їх у графічному вигляді. Для розрахунку амплітудного коефіцієнта струму  $k_a$  необхідно підключити до клем  $XS 9$  й  $XS 11$  осцилограф і зняти динамічні ВАХ струму й напруги лампи (з екрану осцилографа зарисувати на прозорий папір з урахуванням значення дільника напруги на осцилографі).
4. Повторити вимірювання згідно п. 3 за відхилень напруги живлення на  $\pm 10\%$  від номінального й обчислити коефіцієнти нестабільності. Порівняти



коефіцієнти нестабільності з такими для схеми з індуктивним баластом (дані лабораторної роботи № 1).

5. Розрахувати за формулою (5) величину баластного конденсатора для ЛЛ, потужністю 40 Вт.

### 5.6. Вказівки до виконання роботи

1. Для вимірювання пускових характеристик ЛЛ має бути зашунтирована натисканням й утриманням в такому положенні ключа  $K_{np}$ .
2. Значення  $k_a$  визначається для кожного окремого відношення  $X_C : X_L$  за допомогою осцилограм струму, які мають бути зарисовані на прозорий папір з екрану осцилографа з відомим значенням дільника напруги.
3. Результати вимірювань мають бути оформлені у вигляді таблиць, графіки виконані на міліметрівці, осцилограми вкесні до звіту. В звіті навести необхідні розрахунки і аналіз отриманих результатів.

### 5.7. Контрольні запитання

1. Переваги й недоліки активного, індуктивного, ємнісного та індуктивно-ємнісного баластів.
2. Сформулювати принцип вибору величини відношення  $X_C : X_L$  для індуктивно-ємнісних баластів.
3. Які вимоги ставляться до параметрів баластного конденсатора?
4. Пояснити необхідність додаткової обмотки на дроселі в індуктивно-ємнісних баластів.
5. Чому не використовують чисто ємнісний баласт на промисловій частоті напруги живлення?
6. В якому випадку індуктивно – ємнісні баласта мають суттєві переваги?
7. Що називають амплітудним коефіцієнтом струму? Які вимоги до нього ставляться в схемах з ЛЛ?
8. Який елемент ПРА є найбільш вразливим з причини надійності?
9. Які рекомендації ставляться до елементів ПРА за для надійної роботи?
10. Пояснити як розраховувати величину баластного конденсатора для ЛЛ різної потужності, навести приклад розрахунку.
11. Чим відрізняється симетричний дросель від несиметричного й переваги його використання?
12. За якої причини застосовують розрядний опір і за яким виразом він розраховується?

### ЛІТЕРАТУРА

1. Фугенфиров М. И. Электрические схемы с газоразрядными лампами. - М.: Энергия, 1974, С. 73-80 й 154-156.
2. Скобелев В.М., Афанасьева Е. И. Источники света и пускорегулирующая аппаратура. – М.: Энергия, 1973, С. 252-262.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

### ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЛЮМІНЕСЦЕНТНИХ ЛАМП У СХЕМІ З РОЗЩЕПЛЕНОЮ ФАЗОЮ

Мета роботи – ознайомити студентів з принципами роботи дволампових схем з РЛ, з їх перевагами й недоліками та впливом напруги мережі на електричні характеристики схеми.

Завдання до роботи – провести вимірювання електричних характеристик (потужність схеми, зсув фаз струму й напруги, величину струму) за різної напруги мережі.

Для виконання лабораторної роботи студент має:

знати принцип роботи дволампової схеми з розщепленою фазою, її переваги й недоліки як самої, так і в порівнянні з одноламповими компенсованими схемами;

уміти зібрати дволампову схему з розщепленою фазою для увімкнення ЛЛ; користуватися необхідними вимірювальними приладами.

Виконання роботи дає можливість набути навичок вимірювання основних електричних характеристик комплексу ЛЛ-ПРА; проведення розрахунків компенсаційного елемента, що підвищує коефіцієнт потужності некомпенсованих схем.

### СТИСЛІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Для стабілізації розряду ЛЛ, які працюють на змінному струмі, найчастіше використовують реактивні баласты. Суттєвим недоліком реактивних баластів є те, що вони створюють зрушення фази струму відносно фази напруги мережі живлення. З причини цього зсуву фаз виникають втрати потужності в таких проміжних ланках, як лінії електропередач, розподільних трансформаторах, провідниках, запобіжниках і т.п., понижується коефіцієнт потужності схеми.

Відомо, що в колі з послідовно з'єднаними індуктивністю  $L$  й ємністю  $C$ , тобто реактивними опорами  $X_L$  та  $X_C$  – відповідно, до яких прикладена змінна напруга  $U$ , струм визначається за формулою

$$I = \frac{U}{\sqrt{r^2 + (X_L - X_C)^2}}, \quad (1)$$

де  $r$  – малий активний опір з'єднувальних дротів.

Якщо використати векторні діаграми, то можна бачити, що вектор загального струму є векторною сумою активного й реактивного струмів і тоді, кут зрушення фази струму відносно фази напруги мережі буде визначається за формулою

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L - X_C}{r} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{r}. \quad (2)$$

Це відношення показує, що кут  $\varphi$  може бути додатним або від'ємним залежно від того, який з реактивних опорів більший,  $X_L > X_C$ , чи  $X_L < X_C$  – відповідно.

Оскільки загальний опір кола буде  $Z = \sqrt{r^2 + (X_L - X_C)^2}$ , то  $\cos \varphi = \frac{r}{Z}$ , а  $\sin \varphi = \frac{X_L - X_C}{Z}$  й тоді активна та реактивна потужності кола будуть визначатися відповідно, як

$$P_a = rI_a^2 = UI \cos \varphi, \quad Q = (X_L - X_C)I_p^2 = UI \sin \varphi. \quad (3)$$

Вважаємо, що знак плюс для реактивної потужності буде відповідати випадку, коли струму відстає за фазою від напруги мережі, а мінус – струм випереджає за фазою напругу мережі.

Загальна потужність кола буде дорівнювати

$$P_{cx} = UI = \sqrt{P_a^2 + Q^2}. \quad (4)$$

Відношення активної потужності до загальної називають коефіцієнтом потужності схеми

$$\eta_{cx} = \cos \varphi = \frac{P_a}{P_{cx}}. \quad (5)$$

Активна потужність вимірюється ватами (Вт) або кіловатами (кВт), реактивна потужність – вольт-амперами реактивними (ВАР), а загальна потужність – вольт-амперами (ВА).

### 6.1. Компенсація зсуву фаз між струмом й напругою мережі живлення

У схемах засвічення РЛ з ПРА, що складаються з індуктивного баласту струм за фазою відстає від напруги живлення на кут  $\varphi$ , близький до  $60^\circ$ , а тому коефіцієнт потужності схеми дорівнює приблизно 0,5. ПРА, в яких не вжиті заходи для підвищення такого низького коефіцієнта потужності, називають некомпенсованими. Такі ж ствердження відносяться до схем з ПРА, що складається з індуктивно-ємнісного баласту, але тільки з тією відмінністю, що струм за фазою випереджує напругу живлення.

Щоб підвищити коефіцієнт потужності схеми необхідно усунути зсув фаз, тобто ввести до схеми додатковий елемент, що створить такий же зсув фаз, але протилежний за знаком. Так, якщо до схеми з індуктивним баластом додати компенсуючий конденсатор, що підключений паралельно до вхідних клем пристрою (рис.6.1), тоді коефіцієнт потужності схеми можна буде підвищити до значення, більшого за 0,85 ( $\cos \varphi > 0,85$ ). Ємність компенсуючого конденсатора вибирають за умови, щоб струм конденсатора дорівнював реактивному струму РЛ (див. рис.6.1, векторну діаграму для еквівалентних синусоїд), тобто

$$I_{лр} = I_{л} \sin \varphi = I_k = U_{м} \omega C_k. \quad (6)$$

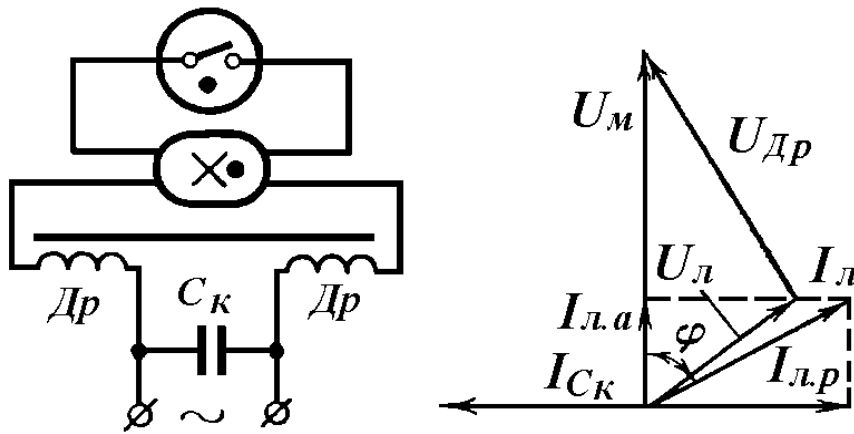


Рис. 6.1 – Електрична схема й векторна діаграма роботи ЛЛ зі стартерним засвіченням й підвищеним коефіцієнтом потужності

Оскільки форма струму РЛ відхиляється від синусоїдальної наявністю вищих гармонік, то неможливо підвищити коефіцієнт потужності схеми до одиниці. Тому компенсацію реактивної складової розраховують тільки для першої гармоніки. Хоча максимальне значення  $\cos \varphi$ , якого можна досягти на практиці, становить 0,92 – 0,96, але пульсація світлового потоку не понижується.

Ємність конденсатора, що підвищує коефіцієнт потужності схеми можна розрахувати за формулою

$$C_{\kappa} = \frac{I_{\text{л}}}{2\pi f U_{\text{м}}} \frac{\sin(\varphi_{\text{o}} - \varphi_{\kappa})}{\cos \varphi_{\kappa}}, \text{ Ф}, \quad (7)$$

де  $I_{\text{л}}$  – струм лампи, А;  $U_{\text{м}}$  – напруга мережі, В;  $f$  – частота струму мережі, Гц;  $\varphi_{\text{o}}$  – кут зсуву фаз до компенсації;  $\varphi_{\kappa}$  – кут зсуву для необхідної компенсації.

## 6. 2. Компенсація зсуву фаз між струмом й напругою мережі живлення в схемі з розщепленою фазою

Компенсацію зсуву фаз між струмом й напругою живлення можна здійснити без окремого компенсуючого елемента, якщо застосувати дволампову схему вмикання РЛ, що підключаються до мережі паралельно, але з протилежними за зсувом фаз баластами (рис. 6.2). Тому вона й називається схемою з розщепленою фазою й відноситься до розряду компенсованих схем.

Кожна лампа окремо працює з некомпенсованими ПРА, але з протилежними за зсувом фаз між струмом й напругою мережі. Лампа  $EL1$  працює в схемі з дроселем, тобто в схемі, де струм відстає за фазою від напруги мережі, тоді як лампа  $EL2$  – в схемі з ємнісним баластом, де струм випереджує за фазою напругу мережі. Лампи підключені паралельно до мережі, тому перша схема є компенсуючим елементом для другої та навпаки. Якщо налаштувати ПРА з другою лампою, де струм випереджує за фазою напругу мережі так, щоб зсув фаз між її струмом і напругою мережі став тим же, як зсув фаз між струмом першої лампи і напругою мережі, де ПРА створює відстаючий за

фазою струм від напруги мережі (див. рис. 6.2, векторну діаграму еквівалентних синусоїд), тоді отримаємо взаємну компенсацію зсуву фаз однієї лампи іншою.

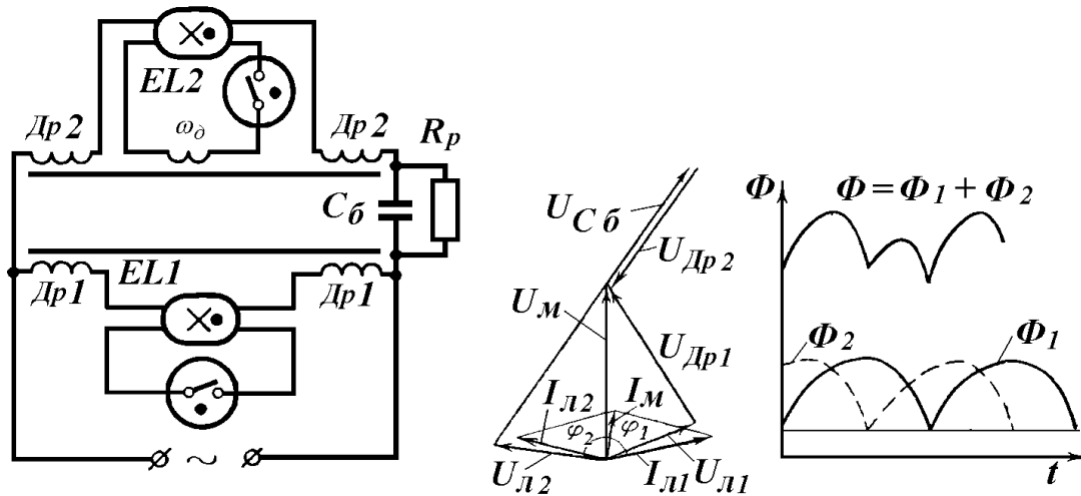


Рис. 6.2 – Електрична дволампова схема, векторна діаграма роботи ЛЛ з розщепленою фазою, стартерним засвіченням й симетричними дроселями та динамічна ВАХ світлового потоку

В схемах з розщепленою фазою можна досягнути коефіцієнта потужності 0,95–0,98. Окрім високого коефіцієнта потужності в схемах з розщепленою фазою суттєво зменшена пульсація загального світлового потоку  $\Phi$ , оскільки світлові потоки кожної лампи також зрушені за фазою (див. рис. 6.2, динамічну ВАХ). Якщо загальний кут зсуву фаз  $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$  між струмами ламп буде в межах 45–65°, то пульсація світлового потоку понизиться в 2,5 рази. Тому такі схеми ще називають антистробоскопічними. Наступною перевагою таких схем є те, що ємність баластного конденсатора на 5 – 15% менша за ємність компенсуючого конденсатора в однолампових індуктивних схемах з таким же високим коефіцієнтом потужності.

До важливої переваги дволампових схем з розщепленою фазою ще відноситься більша стабільність загального світлового потоку порівняно з одноламповою за коливань напруги мережі. Оскільки схеми з ємнісним баластом більш стабільні порівняно з індуктивними за коливань напруги мережі, то дійсно, що загальний світловий потік за коливань напруги мережі в межах  $\pm 10\%$  буде стабільнішим.

Недоліком схем з розщепленою фазою є необхідність початкового налаштування ПРА для пари ЛЛ. При виході з ладу однієї з ламп для досягнення зазначених переваг необхідно знову налаштовувати ПРА з новими лампами.

### 6. 3. Електрична схема для дослідження роботи ЛЛ в схемі з розщепленою фазою

Цю лабораторну роботу виконують на том ж стенді, де виконується лабораторна робота № 1. На рис. 6.3 наведена електрична схема вимірювального стенду.

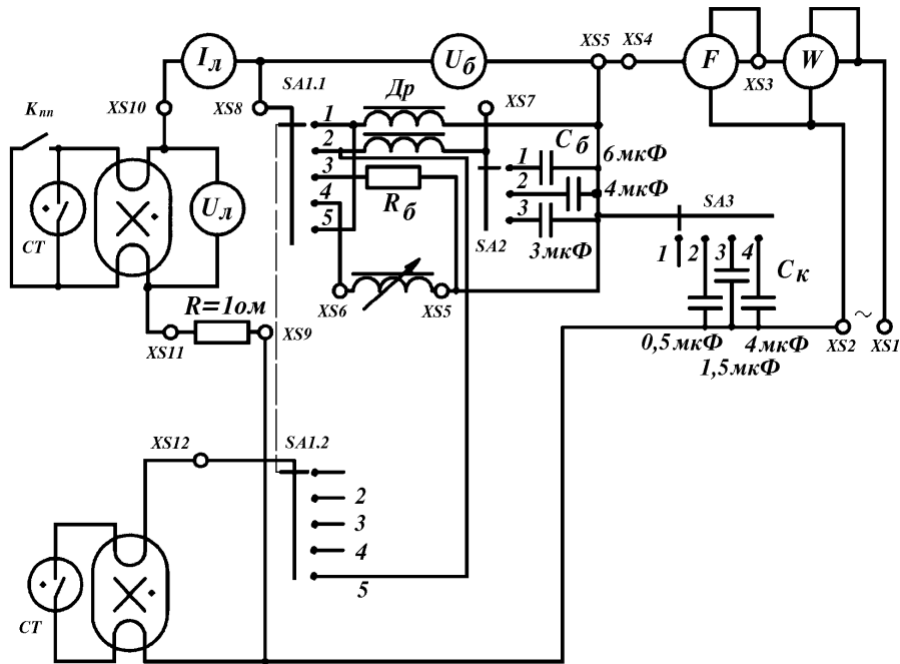


Рис. 6.3 – Електрична схема для дослідження роботи ЛЛ в схемі з розщепленою фазою

Для проведення вимірювань за схемою з розщепленою фазою необхідно перемикач *SA 1.1* поставити в положення 5, а перемикач *SA 3* – в положення 1.

Налаштування схеми за для збільшення коефіцієнта потужності здійснюється вибором баластного конденсатора *Cб* необхідної величини перемикачем *SA 2*.

Кут зсуву фаз між струмом і напругою мережі, а також коефіцієнт потужності схеми вимірюється за допомогою фазометра *F*, а потужність схеми – ватметром *W*.

#### 6.4. Завдання до роботи

1. Перш ніж виконувати лабораторну роботу необхідно ознайомитися з принципом роботи люмінесцентних ламп з компенсованими ПРА, з їх призначенням, перевагами, недоліками й електричними параметрами, а також зі схемами підвищення коефіцієнта потужності (див. [1] с.146-156; [2] с.176-181 й 197-201; [3] с.143-145, 185-194 й 281- 291).
1. Завдання до п. 6.2.
2. Зібрати схему згідно рис. 6.3.
3. Ознайомитися з роботою схеми з розщепленою фазою (див. [1] с.146-156; [2] с.197-201) .
4. Перевірити, що перемикач *SA 3* знаходиться в положенні 1.
5. Перемикач *SA 1.1* поставити в положення 5 (дволампова схема), а перемикач *SA 2* – в положення 1.
6. Увімкнути стенд й подати ЛАТРом напругу 220 В.

7. Провести вимірювання кута зсуву фаз й коефіцієнт потужності схеми, а також потужності схеми. Занести всі покази приладів, а також величину баластного конденсатора  $C_b$  до таблиці 1.
8. Вимкнути стенд. Поставити перемикач  $SA 2$  в положення 2 і повторити вимірювання згідно п.4-6.
9. Вимкнути стенд. Поставити перемикач  $SA 2$  в положення 3 і повторити вимірювання згідно п.4-6.
10. Визначити за яким баластним конденсатором  $C_b$  коефіцієнт потужності схеми був найбільшим, поставити перемикач  $SA 2$  в положення, що відповідає цьому конденсатору й повторити вимірювання згідно п. 4-6, змінив напругу мережі на  $\pm 10\%$  від номінального значення. Покази приладів занести до таблиці 2 й обчислити коефіцієнт нестабільності потужності схеми (за формулою (13) лаб.роб. №1). Вимкнути стенд.

Завдання до п. 6.1.

1. Перемикач  $SA 1.1$  поставити в положення 1, а перемикач  $SA 3$  – в положення 1 (індуктивний баласт – однолампова некомпенсована схема).
2. Увімкнути стенд й подати ЛАТРом напругу 220 В.
3. Провести вимірювання характеристик роботи ЛЛ:  $I_l$ ;  $U_{ДР}$ ;  $U_l$ ;  $P_{сх}$ ; кут зсуву фаз; коефіцієнт потужності. Покази приладів занести до таблиці 3. Вимкнути стенд.  $P_{ДР}$ ; струму згідно п. 4.2.
4. Повторити вимірювання згідно п. 2-3 змінив напругу мережі на  $\pm 10\%$  від номінального значення.
5. Поставити перемикач  $SA 3$  в положення 2 й повторити вимірювання згідно п. 2-3.
6. Поставити перемикач  $SA 3$  в положення 3 й повторити вимірювання згідно п. 2-3.
7. Поставити перемикач  $SA 3$  в положення 4 й повторити вимірювання згідно п. 2-3. Значення ємності конденсатора  $C_k$  кожний раз занести до таблиці 3 згідно вимірюванням.
8. Згідно даним таблиці 3 до п. 3-4 обчислити потужність лампи  $P_l$ , дроселя  $P_{ДР}$ , коефіцієнти нестабільності струму й потужності лампи й провести порівняння.
9. Згідно даним таблиці 3 до п. 5-7 визначити величину ємності конденсатора  $C_k$ , за якої коефіцієнт потужності схеми був найбільшим й поставити перемикач  $SA 3$  в положення, що відповідає йому.
10. Повторити вимірювання згідно п. 2-3 змінив напругу мережі на  $\pm 10\%$  від номінального значення.
11. Обчислити коефіцієнти нестабільності струму й потужності лампи й провести порівняння з даними некомпенсованої схеми.
12. Обчислити за формулою (7) величину ємності компенсуючого конденсатора для однолампової схеми, щоб отримати найбільший коефіцієнт потужності, який був у дволамповій схемі. Порівняти знайдену величину з відповідною ємністю баластного конденсатора й зробити висновки.

## 6.5. Контрольні запитання.

1. Що називають коефіцієнтом потужності та як його можна визначити?
2. Які ПРА називають компенсованим або некомпенсованими?
3. Що є причиною втрат потужності ПРА з реактивними баластами?
4. Яку схему засвічення РЛ називають схемою з розщепленою фазою й чому?
5. Які переваги та недоліки має схема з розщепленою фазою й чому?
6. З якою метою в дроселі індуктивно-ємнісного баласту стартерної схеми засвічення введена додаткова обмотка?
7. Який дросель називають симетричним? Які переваги він має?
8. Пояснити, чому схема з розщепленою фазою має більшу стабільність світлового потоку порівняно з одноламповою з індуктивним ПРА?
9. Який з однолампових ПРА має менший коефіцієнт нестабільності?
10. Чому ЛЛ, що працює з індуктивно-ємнісним баластом засвічується пізніше за ЛЛ, що працює з індуктивним баластом в схемі з розщепленою фазою?
11. Записати вирази для розрахунку компенсуючого конденсатора й пояснити його.
12. Накреслити схему з розщепленою фазою й пояснити її.
13. Записати формули для визначення активної, реактивної й повної потужностей.
14. Як і чому змінюються в схемі рис 6.3  $I_l$ ,  $U_{др}$ ,  $U_l$ ,  $P_{сх}$ ,  $\cos \varphi$  й  $\varphi$  при зміні ємності баластного конденсатора  $C_b$  ?

## ЛІТЕРАТУРА

1. Фугенфиров М. И. Электрические схемы с газоразрядными лампами. - М.: Энергия, 1974, С. 146-156.
2. Скобелев В.М., Афанасьева Е. И. Источники света и пускорегулирующая аппаратура. – М.: Энергия, 1973, С. 176-181 й 197-201.
3. Штурм Г.К. Пускорегулирующая аппаратура и схемы включения люминесцентных ламп. – М.: Иностранная литература, 1961, С. 143-145, 185-194 й 281-291.



## ДОДАТОК 1 БУДОВА ЕЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛОГРАФА В ЗАГАЛЬНОМУ Й ПОРЯДОК РОБОТИ З НИМ

Осцилограф – це прилад для спостереження, вимірювання й запису електричних процесів, що змінюються за часом. Спостереження й вимірювання електричних процесів здійснюється за допомогою електронно-променевої осцилографічної трубки, в якій зфокусований тонкий промінь електронів направляється до люмінесцентного екрану й відхиляється двома взаємноперпендикулярними електричними полями (рис. 1).

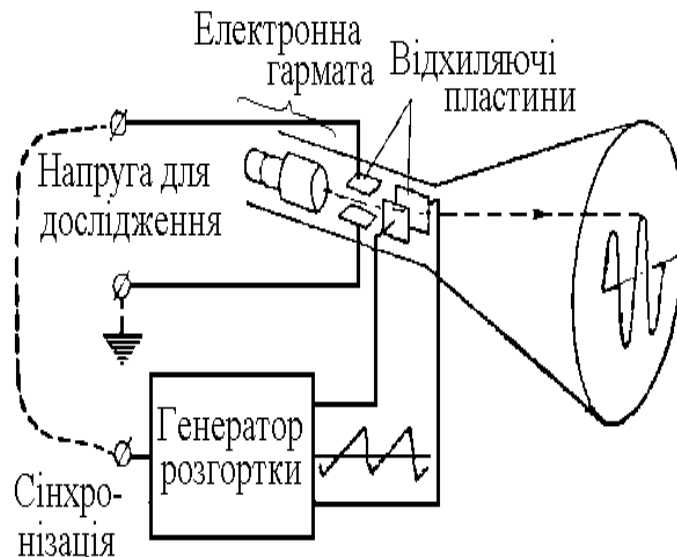


Рис. Д.1

Ці поля створюються напругами, що прикладаються до двох пар відхиляючих пластин – вертикальних і горизонтальних. Напряга, яку необхідно буде спостерігати прикладається до вертикальної пари відхиляючих пластин, тому ця пара пластин ще називається “пластинами явища” й променева цятка буде відхилятися у вертикальному напрямі (Y), пропорційно до цієї напруги. До другої пари відхиляючих пластин – пластин розгортки прикладається напруга розгортки, що змінюється за часом з постійною швидкістю й викликає поступове відхилення променя електронів й таким чином, засвіченої на екрані променевої цятки в горизонтальному напрямі (X). Остаточо, за одночасною дією напруг, що прикладаються до пластин, засвічена цятка на екрані трубки буде креслити криву, що відтворює зміну напруги явища, яка подається на пластини явища за часом.

Оскільки розміри екрану трубки обмежені конструктивно, після того, як засвічена цятка відхилиться в горизонтальному напрямі на край екрану, напруга розгортки зменшується стибком якраз настільки, щоб цятка повернулася знову до початку (іншого протилежного краю екрану) й потім процес відхилення повториться. Щоб так відбувалося напруга розгортки має мати пилоподібну форму за часом. Таку напругу створюють спеціальним генератором релаксаційних коливань. Якщо явище, що спостерігається, змінюється за часом періодично, зазвичай так і є, то будуть креслитися однакові криві. Щоб ці криві не зсувалися на екрані й остаточна картина була нерухомою, необхідно щоб криві накладалися одна на одну, тобто щоб розгортка автоматично синхронізувалась (запускалась) напругою явища, яке спостерігається.

Для спостереження явища, яке досліджується, необхідно після ввімкнення осцилографа спочатку регуляторами положення електронного променя, що мають позначки  $\updownarrow$  й  $\leftrightarrow$ , виставити лінію розгортки на середину екрану. Ручками «Фокус» й «Яскравість» за потреби добитися, щоб лінія була яскравою й чіткою. Досліджувана напруга подається на осцилограф за допомогою спеціального кабеля. Щоб крива не виходила за межі екрану трубки, необхідно поставити ручку «Рівень» у відповідне положення, яке покаже скільком вольтам відповідає довжина в 1 см. Кількість періодів кривої, що можна розмістити на ширині екрану, регулюють ручкою «Розгортка, час/см». Відповідне значення дає можливість знайти тривалість періоду кривої. Якщо крива переміщується, то можна зупинити її ручкою «Сінхронізація». Більшість регуляторів знаходяться на передній панелі осцилографа.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Шкурин Г.П. Справочник по электроизмерительным и радиоизмерительным приборам, 3 изд., М., 1960.
2. Осцилограф С1-77. Технічний опис та інструкція з експлуатації.

## ДОДАТОК 2

### ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО СТАРТЕРНИХ І БЕЗСТАРТЕРНИХ ПРА

#### Основні технічні вимоги до стартерних пристроїв

| Номінальна потужність ЛЛ, Вт | Діюча напруга холостого ходу на стартері, В, не менше | Амплітуда напруги холостого ходу на лампі, В, не більше | Пусковий струм, А |           | Втрати потужності в ПРА (% від потужності лампи), не більше |     |     |
|------------------------------|---|---|-------------------|-----------|---|-----|-----|
|                              |   |   | не менше          | не більше | УБІ   | УБК | УБС |
| 15                           | 114   | 215   | 0,30              | 0,65      | 25  | 28  | 31  |
| 20                           | 114   | 215   | 0,33              | 0,70      | 23  | 26  | 21  |
| 30                           | 198   | 400   | 0,33              | 0,70      | 23  | 26  | 21  |
| 40                           | 198   | 400   | 0,39              | 0,80      | 22  | 24  | 26  |
| 65                           | 198   | 400   | 0,61              | 1,24      | 21  | 23  | 25  |
| 80                           | 198   | 400   | 0,78              | 1,60      | 20  | 22  | 24  |

**Примітка.** Наведені втрати потужності в ПРА відносяться до пристроїв з нормальним рівнем шуму. Для пристроїв з пониженим та особливо низьким рівнем шуму допустимі втрати збільшуються на 2-4%.

#### Основні технічні вимоги до безстартерних пристроїв

| Номінальна потужність ЛЛ, Вт | Напруга нагріву в пусковому режимі, В |              | Струм в ланках катодів, А не більше | Напруга холостого ходу на ЛЛ, В |                   | Максим. струм попередн. нагріву за 1,1 $U_m$ , А |
|------------------------------|---------------------------------------|--------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|--|
|                              | за 0,9 $U_m$                          | за 1,1 $U_m$ |                                     | мінімальна діюча                | максим. амплітуд. |  |
|                              |                                       |              |                                     | не менше                        | не більше         |  |
| 20                           | 7,5                                   | 10,5         | 0,65                                | 170                             | 400               | 0,35   |
| 30                           | 7,5                                   | 10,5         | 0,75                                | 205                             | 420               | 0,46   |
| 40                           | 7,5                                   | 10,5         | 0,75                                | 205                             | 420               | 0,46   |
| 65                           | 3,1                                   | 4,4          | 1,10                                | 220                             | 420               | 0,80   |
| 0                            | 7,5                                   | 10,5         | 1,60                                | 220                             | 475               | 0,77   |

## ЗМІСТ

|  | Стор. |
|--|-------|
| Загальні вказівки .....  | 3     |
| Лабораторна робота № 1. Дослідження вольт - амперних і навантажувальних характеристик у схемі мережа-баласт- розрядна лампа .. | 4     |
| Лабораторна робота № 2. Дослідження пускових характеристик схем вмикання розрядних ламп високого тиску .....                   | 19    |
| Лабораторна робота № 3. Дослідження роботи ЛЛ у безстартерній схемі вмикання .....   | 29    |
| Лабораторна робота № 4. Дослідження роботи стартерів для засвічення люмінесцентних ламп .....                                  | 35    |
| Лабораторна робота № 5. Дослідження індуктивно-ємнісних схем вмикання ЛЛ .....   | 43    |
| Лабораторна робота № 6. Дослідження роботи люмінесцентних ламп у схемі з розщепленою фазою .....                               | 50    |
| Додаток 1. Будова електронного осцилографа в загальному й порядок роботи з ним .....   | 57    |
| Додаток 2. Основні технічні вимоги до стартерних і безстартерних ПРА ....  | 58    |

## НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу “Електротехнічні пристрої світлотехнічних систем” для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання напрямку підготовки 6.050701 - “Електротехніка та електротехнології” (0906 “Електротехніка”) спеціальності - “Світлотехніка і джерела світла”.

Укладач: к. фіз.-мат. н., доц. Євген Володимирович Шепілко

Редактор: М.З. Аляб'єв

Комп'ютерна верстка: Н.В. Зражевська

План 2009, поз.312 - М

---

|                         |                    |                     |
|-------------------------|--------------------|---------------------|
| Підп. до друку 17.11.09 | Формат 60x84 1/16. | Папір офісний.      |
| Друк на ризографі.      | Обл.-вид. арк. 3,1 | Ум.-друк. арк. 2,8. |
| Замовл. №               | Тираж 50 прим.     |                     |

---

61002, Харків, ХНАМГ, вул. Революції, 12

---

Сектор оперативної поліграфії ЦНІТ ХНАМГ  
61002, Харків, ХНАМГ, вул. Революції, 12