

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

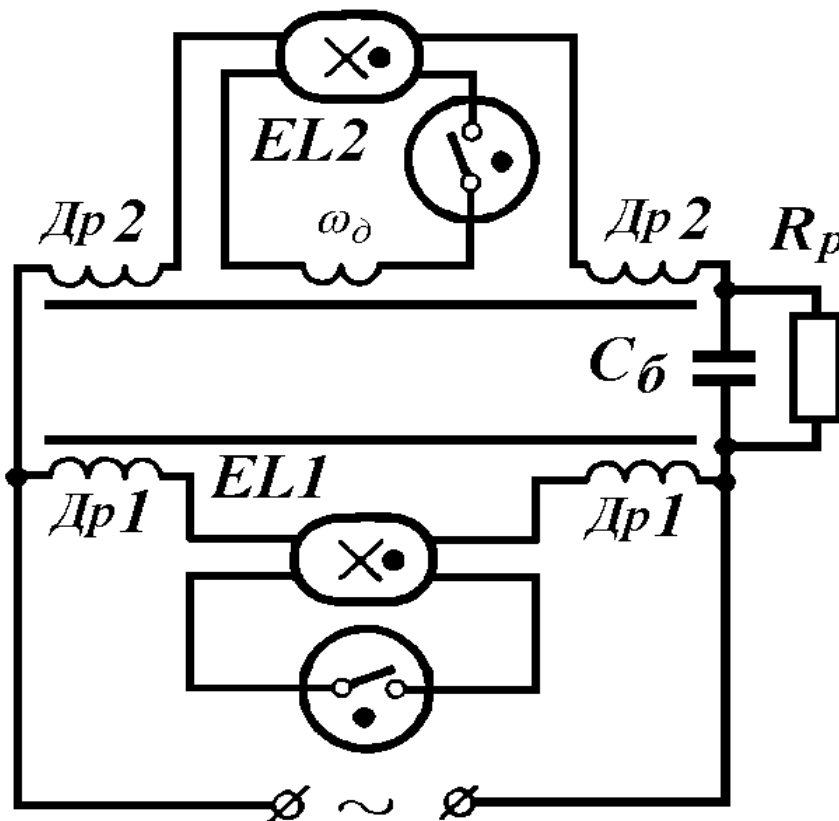
Є. В. ШЕПІЛКО

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з курсу

**“ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ ПРИСТРОЇ  
СВІЛОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ”**

*(для студентів 4-5 курсу денної і заочної форм навчання  
напрямку підготовки 6.050701 “Електротехніка та електротехнології”  
спеціальності “Світлотехніка і джерела світла”)*



ХАРКІВ  
ХНАМГ  
2013

**Шепілко Є. В.** Конспект лекцій з курсу “ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ ПРИСТРОЇ СВІТЛОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ” (для студентів 4-5 курсу денної і заочної форм навчання напрямку підготовки 6.050701 “Електротехніка та електротехнології” спеціальності “Світлотехніка і джерела світла”) / Є. В. Шепілко; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2013. – 115 с.

Автор: Шепілко Є. В.

Рецензент: доктор фізико-математичних наук,  
провідний науковий співробітник А. І. Фісун (ІРЕ НАН України)

Рекомендовано кафедрою світлотехніки і джерел світла,  
протокол № 3 від 7.12. 2010 р.

© Шепілко Є. В.  
ХНАМГ, 2013

## ПЕРЕДМОВА

“Земля ж була безвидна і  
пуста, і тьма над безоднею;...  
І промовив Бог: хай буде світло.  
І стало світло.”

Біблія, Буття, розділ 1

Світло має двоєдину корпускулярно  
-хвильову природу.

Фізичний словник

Переважну частину інформації людина отримує через зір, завдяки якому світ виглядає яскравим і кольоровим, але в Природі не існує кольору, існує тільки енергія.

На освітлення витрачають не менше 10 % електричної енергії. Тому вимоги до її заощадження і розумної витрати привели до створення принципово нових, ефективних джерел світла порівняно з традиційними лампами розжарення, які значну частину енергії перетворюють в тепло. Такими джерелами є розрядні лампи, які, навпаки, значну частину підведеної електричної енергії перетворюють в світло. Розрядні лампи для роботи потребують спеціальної пускорегулювальної апаратури (ПРА), яка забезпечує не тільки роботу розрядної лампи, а й високий коефіцієнт корисної дії, тобто суттєве зниження витрат електроенергії. Вибір ПРА впливає на термін роботи розрядної лампи, її електричні й світлові характеристики.

Головна мета цього конспекта – допомогти студентам у вивченні курсу “Електротехнічні пристрої світлотехнічних систем”, предметом якого є фізичні закони і особливості засвічення та роботи розрядних джерел світла в колах з різними баластами, аналіз електричних схем з розрядними лампами при постійному або змінному струмі мережі живлення як промислової, так і підвищеної частоти. У конспекті також розглянуті питання забезпечення роботи таких сучасних напівпровідникових джерел світла, як світлодіоди.

Матеріал курсу розміщений за темами навчальної програми. У кінці в додатках наведені деякі довідникові дані, таблиці з основними характеристиками різних ПРА та загальний вигляд елементів промислових ПРА.

## Тема 1. ЗМІСТ КУРСУ

Курс призначений для вивчення спеціального устаткування, без якого не можна забезпечити нормальну роботу порівняльно нового ряду джерел світла, такого як розрядні лампи та світлодіоди. У курсі розглядається класифікація, будова, принцип роботи такого устаткування, та проводиться аналіз і розрахунок різноманітних електричних схем, що забезпечують роботу вказаних джерел світла.

У наш час неможна уявити наше життя без штучних джерел світла, як це було на початку розвитку людства, яке жило з постійним жахом перед темрявою та можливістю загубити отриманий відкритий вогонь. Але непереможне бажання і прагнення жити краще рано чи пізно завжди приводило до задоволення цих потреб і прогресу в розвитку. Першим штучним джерелом світла був відкритий вогонь, наприклад, скіпа або газові ліхтарі. Тепер відомо, що світлом ми називаємо дуже вузький спектр енергетичного випромінення, тільки на яке за посередництвом очей реагує наш мозок. Якщо характеризувати цей спектр електромагнітним випроміненням, то його ширина за довжиною хвилі складає  $\approx 380\div 760$  нм, тобто від синього до червоного кольору (кольорів “веселки”). Слід мати на увазі, що кольорів у природі не існує, вони існують тільки у нашій уяві, яка викликається дією енергії. В природі існує тільки енергія. Деякі звірі бачать і вночі, тобто в інфрачервоному спектрі, але ми не називаємо цей спектр світлом. Світло є в спектрі випромінення полум'я свічки, вольтової дуги, а також нагрітих до значних температур (близьких до температури плавлення) металів (лампа розжарювання).

Лампи розжарювання (ЛР), що вперше з'явилися у ХУІІІ столітті й вдосконалені пізніше, дуже широко використовуються в наш час, але вони, як джерела світла, малоефективні, оскільки мають коефіцієнт корисної дії (ККД)  $\approx 5\%$ , тобто тільки  $5\%$  енергії, що до них надходить, вони перетворюють у світло. Світло в ЛР випромінює розігріта електричним струмом металева нитка і його спектр знаходиться переважно в червоній частині. Боротьба за економію енергії та підвищення ефективності джерел світла привели до винаходу в ХІХ столітті якісно нового способу створення світла та нових джерел, що створюють світло. Одним з таких джерел світла є розрядна лампа (РЛ). Коефіцієнт корисної дії РЛ  $\approx 45\%$ . На відміну від ЛР вони позначаються в електричних схемах, як на рис.1.1 і відносяться до нелінійних електричних елементів, тобто їх розрахунок за законом Ома в загальному буде помилковим, оскільки провідником струму в РЛ є низькотемпературна плазма.

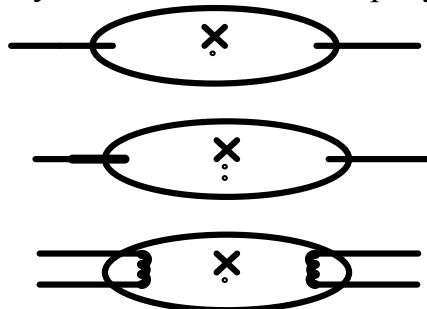


Рис.1.1

Маленький хрестик на позначених РЛ означає, що це джерело світла: одна крапка показує, що в лампі є газ низького тиску, а дві – високого тиску. Різні вигляди електричних уводів показують їх різну будову.

У загальному РЛ поділяються в залежності від тиску газу, що їх наповнює, на лампи низького тиску (НТ) і позначаються як ЛЛ -люмінесцентні лампи; високого тиску (ВТ) і позначаються як НЛВТ – натрієві лампи високого тиску (головний газ - натрій); ДКсТ - криптонові, МГЛ – металогалогенні, ДРЛ–ртутні лампи високого тиску (головний газ – пара ртуті) , ДРІ – лампи високого тиску й високої інтенсивності (з домішками металів до пари ртуті) і лампи надвисокого тиску – НВТ (ДРТ – дугові, ртутні, трубчасті; ДРК – дугові, ртутні, кульові), та інші.

В РЛ першою причиною виникнення світла є газ, тобто його молекули, причому в ЛЛ таким газом є пара ртуті; її молекули випромінюють електромагнітну енергію в невидимій оком людини частині спектру, а саме в ультрафіолетовій (УФ). У світло це випромінення претворюється завдяки люмінофору, що наносять на колбу лампи з внутрішнього боку. Таким чином ЛЛ створюють світло опосередковано. РЛ ВТ також створюють світло опосередковано і в них електромагнітна енергія також випромінюється молекулами пари ртуті, проте високий тиск газу приводить до появи частини випромінення і у видимій частині спектру. Щоб молекула змогла випромінювати електромагнітну енергію, необхідно переводити її кожного разу в збуджений стан. Одним зі способів переведення молекул в збуджений стан є передача їй енергії в результаті удару іншою частинкою. У залежності від сили удару молекула може перейти в збуджений стан або іонізуватися. Іонізація молекули це – претворення її в заряджену частинку при втраті свого електрона або отриманні додаткового. Для збудження або іонізації молекул часто застосовують потужне електричне поле або інші частинки, що прискорюються до великих швидкостей. Ці частинки при стиканні з молекулами газу і створюють ударну іонізацію або їх збудження. У загальному такими частинками є потік електронів. В РЛ потік електронів створюється в результаті термоелектронної емісії, що виникає при розжаренні електродів лампи, а для прискорення цих електронів (для збільшення їх кінетичної енергії) до електродів лампи прикладають електричне поле, що створюється джерелом живлення. Електрод, що випромінює електрони називають катодом і до нього прикладають від'ємний полюс джерела живлення, а електрод, до якого прикладають додатний полюс джерела живлення називають анодом. Таким чином, через газ починає протікати електронний струм, хоча сам по собі газ (молекули) є електрично нейтральним.

Потік електронів при стиканні з молекулами газу іонізує й збуджує їх. В результаті через газ починає протікати електронно-іонний струм і газ перетворюється в плазму. **Протікання електричного струму через газ називають газовим розрядом.**

Виникнення електричного струму між електродами в газовому середовищі й наступне його зростання за дією прикладеної напруги може привести до свічення газу, кажуть, що газ «засвітився» або, що в газі відбувся пробій. Напругу,

за якої виникло свічення, називають напругою засвічення даного газу і позначають, як  $U_3$ . Це свічення особливе за виглядом і його спектр (кольоровість) залежить від виду газу. Зазначимо таку особливість, що напруга засвічення завжди більша за робочу напругу РЛ. Етап засвічення РЛ називають пусковим. За цієї причини РЛ, на відміну від ЛР, не можна підключати до мережі живлення безпосередньо, інакше РЛ вийде з ладу. Вони підключаються в електричне коло за допомогою додаткової апаратури, яку й називають пускорегулюючою (ПРА), або – електротехнічні пристрої та устаткування.

Якщо збільшувати розрядний струм, то вигляд і характер свічення буде змінюватися. У залежності від цього розряд має різну назву, наприклад: тліючий, дуговий та інше.

Головне призначення електротехнічних пристроїв та устаткування (ПРА) для розрядних ламп полягає в забезпеченні номінальних параметрів пускового і робочого режимів роботи розрядних ламп, тобто надійного засвічення, розгорання й стабілізації розрядного струму ламп. Електричні, світлові та експлуатаційні параметри розрядних ламп суттєво залежать від електротехнічних пристроїв та устаткування, що працює в комплекті з розрядними лампами. Через це, при розробці конкретних видів електротехнічних пристроїв та устаткування необхідно вирішувати задачу оптимізації показників комплексу розрядна лампа - електротехнічний пристрій та устаткування, як єдиного цілого. У зв'язку з цим інженер-світлотехнік має вельми чітко уявляти собі картину фізичних процесів, що протікають у всіх елементах комплексу розрядна лампа - електротехнічний пристрій та устаткування.

Для надійного засвічення розрядної лампи, тобто пробою газового міжелектродного проміжка й наступного формування дугового розряду, який використовують у більшій кількості ламп, що працюють як на промисловій, так і на підвищених частотах струму живлення, електротехнічні пристрої та устаткування мають забезпечити достатню напругу “холостого ходу”, тобто напругу між електродами незасвіченої лампи. Ця напруга завжди вища за робочу напругу на працюючій лампі й дорівнює напрузі засвічення газу або суміші газів, що заповнюють лампу. Напруга засвічення розрядної лампи залежить від тиску й температури газу, на які, в свою чергу, впливає температура стінок колби лампи і, відповідно, температура оточуючого середовища.

За низької температури оточуючого середовища напруга засвічення газу може досягати декількох сотень вольт, що примушує використовувати різні допоміжні пристрої та засоби, щоб полегшити засвічення (наприклад, на колбу лампи наносять провідникові покриття, конструюють лампу з допоміжними електродами, та інш.). Від “засвічення” РЛ, що працює на змінному струмі, при її першому вмиканні, слід відрізнити “перезасвічення”, в моменти після проходження струму в колі через нуль. Напруга перезасвічення нижча від напруги засвічення газу, тому проблеми забезпечення перезасвічення розрядної лампи зазвичай не виникає, але у “гарячій” лампі ВТ, тобто лампі, що працювала, але короткочасно погасла за якоїсь причини, тиск газу або пари зазвичай настільки великий, у порівнянні з початковим (“холодної” лампи), що негайне повторне її засвічення неможливе без допоміжних пристроїв. Тому перед повторним

засвіченням газу лампа має вихолонутися, зазвичай протягом 10-20 хвилин.

Після засвічення й формування дугового розряду, напротязі деякого часу, встановлюється температурний режим лампи - температурне поле стінки колби і газового наповнення розрядної лампи. У залежності від складу газового наповнення й теплової інерційності колби розрядної лампи цей “період розгорання” триває від декількох хвилин до декількох десятків хвилин (люмінесцентні лампи і ДКсТ - не більше 5 хв., НЛВТ, МГЛ - до 15 хв. і більше). Тривалість перехідних процесів в електричному колі після вмикання розрядної лампи суттєво залежить і від характеристики електротехнічних пристроїв та устаткування. Вірно спроектовані й розраховані електротехнічні пристрої та устаткування мають забезпечити мінімально можливу тривалість розгорання, інакше значно скорочується термін використання як електродів розрядної лампи, так і самої лампи.

### **Контрольні запитання**

1. Яке явище називають “розрядом”?
2. Пояснити, які явища є основою випромінення світла в розрядних лампах.
3. Який ККД мають РЛ?
4. Від чого залежить вид розряду?
5. Яку напругу називають “напругою засвічення газу”, та її особливості?
6. Які переваги й недоліки мають розрядні джерела світла?
7. Як позначають РЛ в електричних схемах?
8. До яких електричних елементів відносять РЛ?
9. Що називають “ПРА” та його призначення?
10. Чи можна підключати РЛ безпосередньо до мережі живлення, якщо ні, то чому?

## Тема 2. ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Для дослідження будь-якого газового розряду використовують залежність діючого падіння напруги на розрядному проміжку  $U_p$  від діючого розрядного струму  $I_p$ , тобто вольт-амперні характеристики (ВАХ). Миттєві значення останньої можуть бути задані як в явному вигляді –  $u_p=f(ip)$ , так і в неявному – параметричному: напруга й струм розряду зображені окремо залежно від якогось спільного параметра. Таким параметром найчастіше буває час, або фаза. Так, параметрична форма ВАХ це –  $u=f(t); i=f(t)$ , де  $u, i$  – миттєві значення напруги й струму.

ВАХ, задану в параметричній формі, можна привести до ВАХ у явній формі, якщо виключимо спільний параметр.

ВАХ, у якій наводять залежність діючих значень напруги й струму називають статичною, а ВАХ, у якій наводять залежність миттєвих значень, називають динамічною.

ВАХ ще розрізняють у залежності від вигляду кривої. Зростаючі ВАХ – це такі ВАХ, у яких з підвищенням струму падіння напруги теж зростає. Спадаюча ВАХ – зростання струму веде до зменшення падіння напруги. На рис.2.1 наведені приклади таких явних статичних і динамічної ВАХ.



Рис. 2.1

### Вольт-амперна характеристика розряду

ВАХ розряду має складний вигляд, тому для детальної характеристики її розділяють на кілька умовно окремих ділянок.

Щоб побудувати ВАХ розряду необхідно провести вимірювання падіння напруги на розрядному проміжку в залежності від струму розряду, наприклад, у такій електричній схемі з РЛ, що наведена на рис. 2.2,

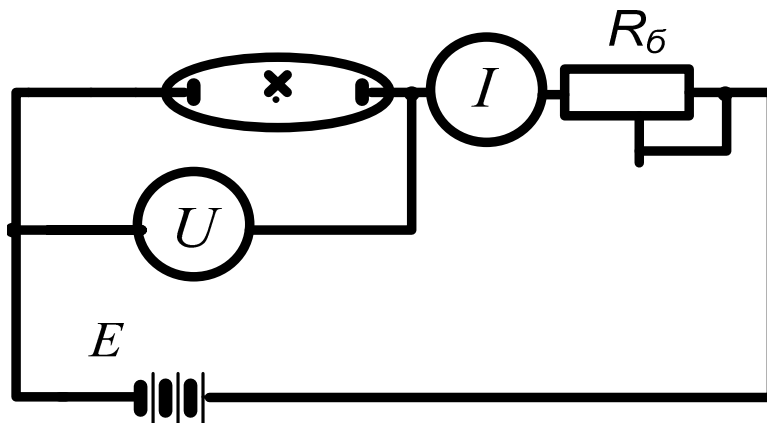


Рис. 2.2



де за допомогою опору  $R_6$  можна змінювати величину струму розряду, оскільки він підключений до кола послідовно з РЛ. ВАХ розряду має вигляд, як на рис. 2.3.

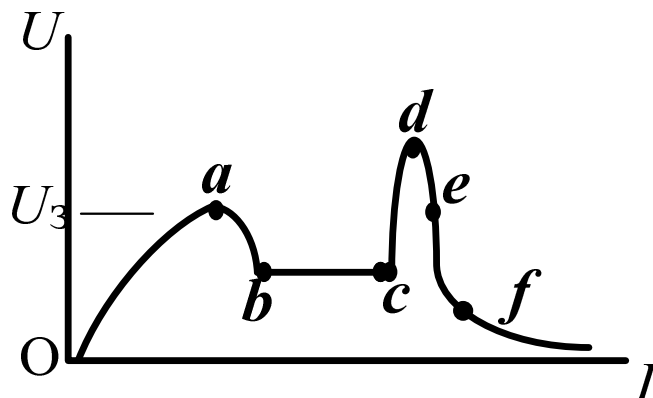


Рис. 2.3

У будь-якому розряді ВАХ завжди починається з нуля, тобто струм розряду починається з нуля. Відрізок на ділянці  $Oa$  – це зростаюча ВАХ розряду, який називають темним розрядом, чим підкреслюють, що газ не випромінює світло. Темний розряд (струм розряду порядку міліампера) використовують у деяких радіолампах для посилення сигналу. Значимо, що майже всі ВАХ окремих ділянок розряду застосовують на практиці.

Ділянку  $ab$  називають ВАХ перехідного розряду. Особливістю його є поява свічення газу. Останнє супроводжується збільшенням розрядного струму, тобто зростанням провідності розрядного проміжку. За цієї причини після засвічення газу падіння напруги на розрядному проміжку різко зменшується. Зростання провідності газу пов'язане зі значним збільшенням кількості іонів у газі, тобто зростанням кількості зарядів.

Характерно, що на відріжку  $bc$  падіння напруги не змінюється зі збільшенням струму (становить порядка 100 В), а також те, що газ починає світитися. Це свічення подібне до свічення тліючого вугілля і заповнює увесь простір, де є газ. Тому цей вид розряду називають тліючим, тобто таким, що свічення то з'являється в одних точках та місцях або інших, то зникає. Це наочно показує, що причиною свічення є молекула, яка випромінює фотон при переході зі збудженого стану в основний. Колір тліючого розряду залежить від виду газу, тобто має лінійчатий спектр.

Тліючий розряд використовують в стабілітронах – приладах для стабілізації напруги на навантаженні, оскільки зростання струму не супроводжується зміною спаду напруги. Стабілітрон підключають паралельно до елемента, який потребує стабілізованої напруги.

Ділянку  $cd$  називають ВАХ аномального тліючого розряду. Аномальність його полягає в тому, що при збільшенні струму розряду – збільшується падіння напруги, тоді як у нормальному тліючому розряді падіння напруги залишається незмінним.

Ділянку  $de$  називають ВАХ переходу аномального тліючого розряду в

дуговий, а ділянку  $ef$  - ВАХ дугового розряду. Дуговий розряд характерний тим, що його ВАХ спадаюча, а розрядний струм значно перевищує струм тліючого розряду (може бути більшим за 1А), падіння ж напруги стає меншим 100 В. Свічення газу зосереджується на поздовжній осі РЛ у вигляді шнура з кольорами свічення залежно від тиску і є значно інтенсивним, ніж у тліючому розряді. Дуговий розряд використовують у розрядних лампах, які застосовують для освітлення.

Очевидно, для того, щоб розрядний прилад працював на певній ділянці ВАХ дугового розряду, необхідно зафіксувати робочу точку, тобто обмежити розрядний струм, тому що ВАХ спадаюча, а напруга мережі живлення  $U_m$  – незмінна. Яким же чином можна зафіксувати робочу точку? Вона фіксується підключенням послідовно з лампою відповідного опору, що і буде обмежувати її струм ( $I_p = U_m / R_\phi$ ). Такий опір називають баластом.

Таким чином усі розрядні прилади з дуговим розрядом вимагають додаткових пристроїв, тобто баластів, що обмежують струм розряду при підключенні до мережі живлення. Баласт, як додатковий пристрій, є складовою частиною ПРА.

Оскільки напруга засвічення  $U_z$  є одним з важливих параметрів РЛ, то необхідно пам'ятати, що  $U_z$  залежить (є функцією) від добутку тиску газу на відстань між електродами ( $Pd$ ). Цю залежність відкрив Ф. Пашен і вона має для різних газів (наприклад 1 або 2) подібний вигляд:

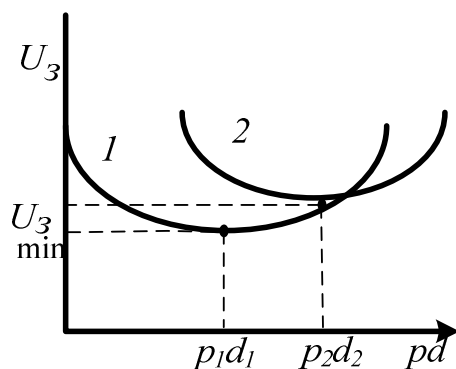


Рис. 2.4

Особливістю цієї залежності є те, що існує мінімальне значення  $U_z$  за відповідного добутку ( $pd$ ). Мінімальне значення  $U_z$  можна змінити створивши суміш газів. Вченим Ф. Пенінгом було встановлено, що komponуючи суміш газу,  $U_z$  суміші можна зробити меншою, за найменшу напругу засвічення однієї з відповідних складових суміші газу або навпаки – більшою за найбільшу.

Для характеристики режиму роботи лампи у відповідній точці ВАХ та форми кривої залежності вводять два види опору лампи: статичний  $R_{ст}$  і диференціальний  $r_{диф}$ .

В загальному РЛ у відповідній точці ВАХ можна представити еквівалентною схемою, до якої входить якийсь активний опір  $R_{ст}$  ( $R_{ст} = U_n / I_n = m \text{ tg}(\alpha)$ ), рис. 2.5 а.

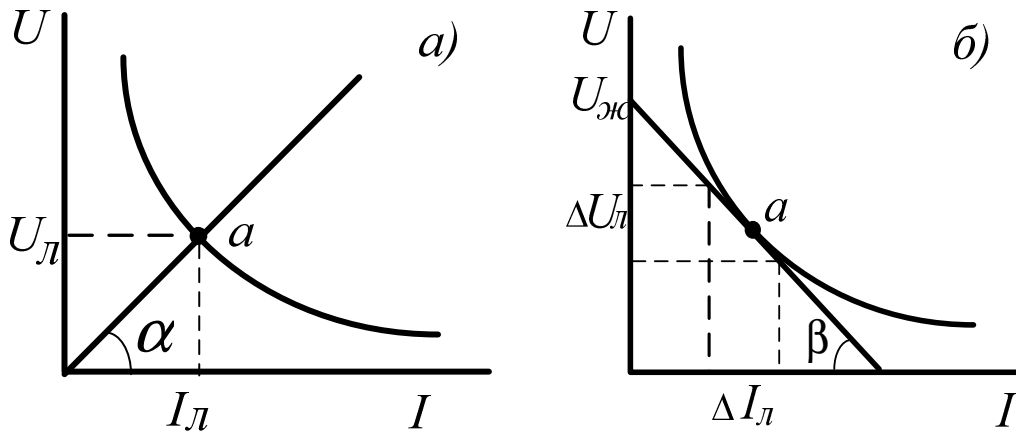


Рис. 2.5

Статичний опір лампи  $R_{ст}$  показує який опір створює лампа в робочій точці  $a$ . Він не характеризує форму кривої ВАХ. Для характеристики форми кривої вводять диференціальний опір лампи. З математики відомо, що форму кривої на відповідному відрізку можна визначити за знаком похідної від функції залежності, а також, що геометричним змістом такої похідної є тангенс від кута нахилу дотичної в даній точці. Проведемо пряму з точки  $U_ж$  напруги живлення лампи дотичну до кривої ВАХ у точці  $a$  (рис. 2.5 б) і тоді  $r_{диф} = dU_L/dI_L = -m \operatorname{tg}(\beta)$ . Коефіцієнт  $m$  є масштабним множником.

Як видно з графіка на рис. 2.5 б, відношення прирощення падіння напруги на лампі  $\Delta U_L$  до прирощення струму  $\Delta I_L$  в точці  $a$  має від'ємний знак. Це відношення і називають диференціальним опором лампи, а від'ємний знак показує, що ВАХ є спадаючою. Зростаюча ВАХ має додатній диференціальний опір. Таким чином, щоб визначити, яку ВАХ (спадаючу чи зростаючу) має прилад, необхідно знайти його диференціальний опір у відповідній робочій точці.

Всі прилади, що мають спадаючу ВАХ, в їх числі й РЛ, не можна безпосередньо підключати до мережі живлення, а для забезпечення робочого режиму (робочого струму), необхідно підключати тільки послідовно з додатковим опором, який називають баластом. Тому проста схема підключення РЛ до джерела живлення має такий вигляд, як наведено на рис. 2.6.

Схема підключення РЛ до мережі живлення

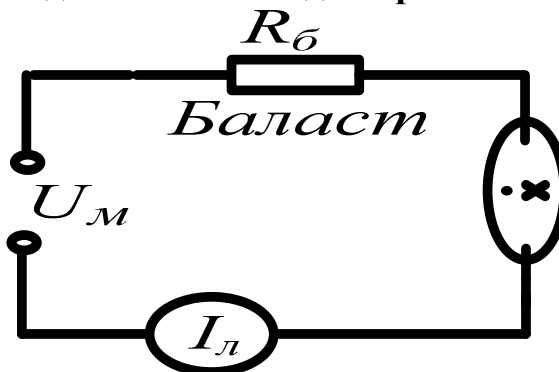


Рис. 2.6

Наявність у схемі з баластним опором РЛ тільки зменшить струм у колі.

Навіть якщо лампа буде закорочена, тобто буде мати таку ж провідність, як звичайний провідник, то значення струму в колі залишається обмеженим.

### Аналіз роботи розрядної лампи в колі з баластовим опором. Умова стійкої роботи РЛ

Оскільки ВАХ РЛ загалом є спадаючою, то виникає питання, за якої умови розряд у лампі 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 знайти умову стійкості розряду, застосуємо аналіз нелінійних кіл і використаємо для контура з РЛ, активним опором  $R_b$  і стабілізованим джерелом живлення з напругою  $U$  умову стійкості, що отримав О.М. Ляпунов для нелінійних систем. Для цього розглянемо електричну схему з РЛ, що наведена на рис. 2.7 і в якій ємність елементів контуру позначимо еквівалентним конденсатором величиною  $C$ , який підключено паралельно до РЛ, а індуктивність – котушкою з індуктивністю  $L$ , що підключена послідовно до РЛ.

Розглянемо роботу РЛ в схемі проводячі аналіз статичної й навантажувальних ВАХ.

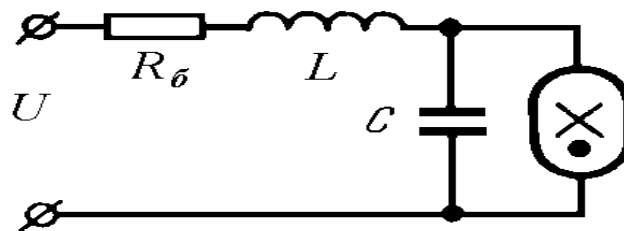


Рис. 2.7. – Електрична схема з розрядною лампою.

Виберемо, наприклад, точку  $a$  на статичній ВАХ РЛ (рис.2.8) 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

$$R_b + \omega L - |r_d| / [ \omega C ( |r_d| + 1 / \omega C ) ] = 0, \quad (2.1)$$

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

тобто характеристичного

$$\omega^2 + \frac{\omega}{L} \left( \frac{L}{C \cdot |r_d|} + R_b \right) + \frac{1}{LC \cdot |r_d|} (R_b - |r_d|) = 0. \quad (2.2)$$

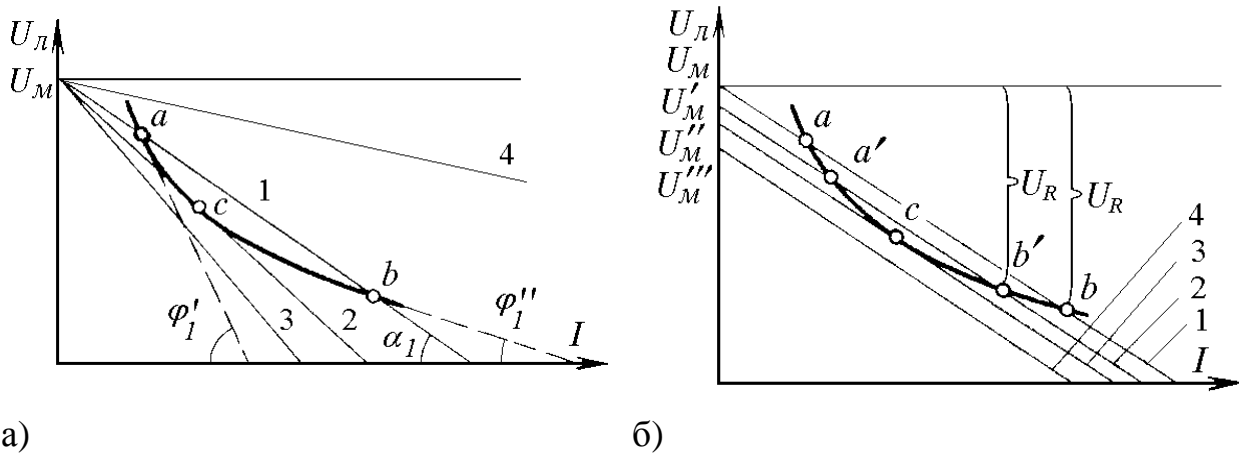


Рис. 2.8 – Статична і навантажувальні ВАХ

Згідно з першою теоремою теорії стійкості за Ляпуновим, коли всі коефіцієнти рівняння (2.2) 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 умову:

$$R_{\delta} > |r_d|, \quad (2.3)$$

яка й є **умовою стійкості розряду**, що має спадаючу ВАХ.

Розглянемо схему, подібну до зображеної на рис. 2.6, в якій баластом є тільки активний опір  $R$  (індуктивність  $L$  і ємність  $C$  відсутні). Режим роботи РЛ має задовольняти другий закон Кірхгофа:

$$U_{\lambda} = U_m - I_{\lambda} R_{\delta}. \quad (2.4)$$

Залежність (2.4) ще називають навантажувальною ВАХ баласту  $R_{\delta}$ . Ця ВАХ має вигляд прямої (рис.2.8 а), що відсікає на вісі ординат відрізок, що дорівнює  $U_m$ , а на вісі абсцис –  $U_m/R_{\delta}$ . Тангенс кута нахилу  $\alpha_1$  прямої до вісі абсцис, пропорційний до величини опору  $R_{\delta}$ .

Точка перетину ВАХ лампи з навантажувальною ВАХ баласту буде визначати режим роботи РЛ за вибраних баластового опору  $R_{\delta}$  й напруги мережі  $U_m$ . Очевидно, що в даному разі (пряма 1 на рис. 2.8 а) є дві точки перетину – точки  $a$  і  $b$ .

Перевіримо режими роботи РЛ на стійкість. Для цього проведемо дотичні до ВАХ РЛ у цих точках, щоб знайти диференціальні опори. Тангенси кутів нахилу  $\varphi_1'$  і  $\varphi_1''$  дотичних до вісі абсцис пропорційні відповідним диференціальним опорам РЛ. Для точки  $a$  маємо:  $R_{\delta} < |r_d|$ , і можемо зробити висновок, що режим роботи буде нестійким, тоді як для точки  $b$ :  $R_{\delta} > |r_d|$ , і значить режим роботи буде стійким. Якщо візьмемо баласт з навантажувальною ВАХ, що відповідає прямій 2 на рис. 2.8 а, то матимемо тільки одну спільну з ВАХ РЛ точку  $c$ , для якої  $R_{\delta} = |r_d|$ . 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. 2.8 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 у двох точках.

Стабільність роботи лампи залежить не тільки від опору баласта, але й від напруги мережі. На рис. 2.8 б наведені ВАХ РЛ і характеристики навантажень (прямі 1, 2, 3 та 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. 2.8 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 збільшення 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  $U_l/U_m$ .

Втрату потужності на баластовому опорі визначають коефіцієнтом потужності схеми. Очевидно, що потужність схеми вмикання лампи буде дорівнювати

$$P_{cx} = P_l + P_b. \quad (2.5)$$

Тоді

$$P_b = P_{cx} (1 - P_l / P_{cx}) = P_{cx} (1 - U_l / U_m). \quad (2.6)$$

Відношення  $P_l / P_{cx}$  називають коефіцієнтом потужності схеми  $\eta_{cx}$ , тобто

$$\eta_{cx} = P_l / P_{cx} = U_l / U_m. \quad (2.7)$$

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 (сталого) роботи лампи, тоді як підвищення стабільності роботи лампи потребує зменшення цього відношення, що приводить у цьому разі до зростання втрати потужності на баластовому опорі.

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

Отже, для стійкої роботи лампи опір баласту  $R_b$  завжди має бути більшим за  $r_{диф}$  у заданій робочій точці. Фактично ця умова задає робочий струм лампи (максимальний).

Визначимо струм, за яким РЛ віддаватиме найбільшу потужність і для цього розглянемо схему на рис. 2.6. Відомо, що

$$P_l = U_l I_l,$$

або

$$P_l = U_m I_l - I_l^2 R_b. \quad (2.8)$$

Щоб знайти максимум  $P_l$  знайдемо першу похідну залежності (2.8) й

прирівняємо до нуля. Тоді

$$\begin{aligned}U_M &= 2I_L R_\phi, \\ I_L &= \frac{U_M}{2R_\phi}.\end{aligned}\quad (2.9)$$

Таким чином, РЛ за заданими значеннями  $U_M$  і  $R_\phi$  віддає найбільшу потужність, якщо струм дорівнює (2.9), а напруга на лампі в два рази менша за напругу мережі живлення:

$$\begin{aligned}U_L I_L &= U_M I_L - I_L^2 R_\phi \\ U_L &= U_M - I_L R_\phi \\ U_L &= U_M / 2\end{aligned}\quad (2.10)$$

Найбільша потужність РЛ буде дорівнювати  $P_L = U_M^2 / (4R_\phi)$ .

Загальна потужність, що підводиться до схеми, складається з потужності витрат на баластовому опорі й потужності, переданої в лампу.

Висновок: при конструюванні баласту й розрахунку комплекту, необхідно враховувати виведену умову.

### Контрольні запитання

1. Яку залежність називають “вольт-амперною характеристикою”?
2. Яку ВАХ називають “статичною, динамічною та навантажувальною”?
3. Як розрізняють статичні ВАХ за виглядом кривої залежності?
4. Який вигляд має загальна статична ВАХ розряду? (Навести графік).
5. Який розряд називають “тліючим” та які особливості він має?
6. Який розряд називають “дуговим” та які особливості він має?
7. Що називають “статичним опором” РЛ?
8. Що називають “диференціальним опором РЛ” і з якою метою його вводять?
9. Чому необхідно стабілізувати роботу (струм) РЛ?
10. Яким чином стабілізують роботу РЛ?
11. Наведіть вираз для умови стійкої роботи РЛ.
12. Наведіть умову, за якої потужність РЛ буде максимальною.

### Тема 3. БЛОК-СХЕМА КОМПЛЕКТУ РЛ-ПРА

#### Склад ПРА

ПРА для вмикання РЛ (рис.3.1) складається з баластового опору  $Z_b$ , компенсуючого елементу  $KE$  й елементу  $ZE$ , що забезпечує засвічення лампи.

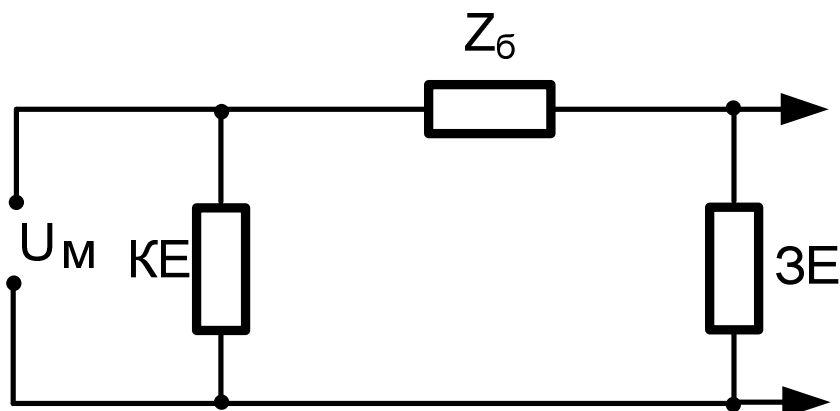


Рис. 3.1

Призначення елементів: баластовий опір  $Z_b$  обмежує струм лампи й стабілізує її роботу; компенсуючий елемент  $KE$  забезпечує підвищення коефіцієнта потужності схеми; засвічуючий елемент  $ZE$  забезпечує засвічення РЛ.

Таким чином, ПРА забезпечує засвічення лампи, задає її робочий струм й стабілізує роботу лампи. Часто в схемах останні два елементи відсутні. Засвічуючий елемент може бути об'єднаний з РЛ, а також додається ще фільтр радіоперешкод, що забезпечує сумісність РЛ з іншими електронними приладами.

РЛ можуть працювати як у колі постійного, так і в колі змінного струму, але для цього необхідні загалом різні види баластів. Для роботи лампи на постійному струмі баластом є активний опір, причому потужність цього опору має бути такою ж, як і потужність лампи, оскільки на опорі падає напруга, що дорівнює половині напруги мережі живлення, а значить і опір його має дорівнювати статичному опору РЛ, що складає величину орієнтовно декількох сотень Ом. Активний опір перетворює електричну енергію в теплову. Тому схеми з активним баластом мають втрати потужності такі ж за величиною, як і потужність РЛ.

При живленні лампи змінним струмом в якості баласту можна використовувати активний баласт, з його недоліками, але можна використовувати ще й баласты, що створюють реактивний опір, тобто реактивні баласты такі, як індуктивність, ємність або їх комбінація. Реактивні баласты мають незначний активний опір, а отже й незначні активні втрати потужності, але значний реактивний опір вони створюють завдяки зрушенню фази струму відносно фази напруги мережі живлення. Дроселем називають котушку з великою індуктивністю з мідного або алюмінієвого дроту. Основними складовими частинами електромагнітного дроселя є магнітопровід (осердя) і обвитка з дроту – котушка індуктивності. Магнітопровід (або осердя, що



вставляють в котушку) виготовляють зі сталі (при низьких частотах змінного струму) або з феросплавів на високих частотах струму й призначений для підвищення локалізації магнітного потоку, який виникає при протіканні струму через витки обвитки, значно збільшує таким чином індуктивність котушки.

Дроселі, які використовують для стабілізації роботи РЛ на промисловій частоті струму, обов'язково мають на шляху циркуляції магнітного потоку немагнітний зазор – ділянка, де спеціально створено відповідний опір циркуляції магнітного потоку (розсіяння). За допомогою немагнітного зазора лінеаризують ВАХ дроселя й здійснюють його налаштування на заданий для РЛ робочий струм. У відповідності до виду баласту схеми вмикання РЛ зображають, як на рис. 3.2.

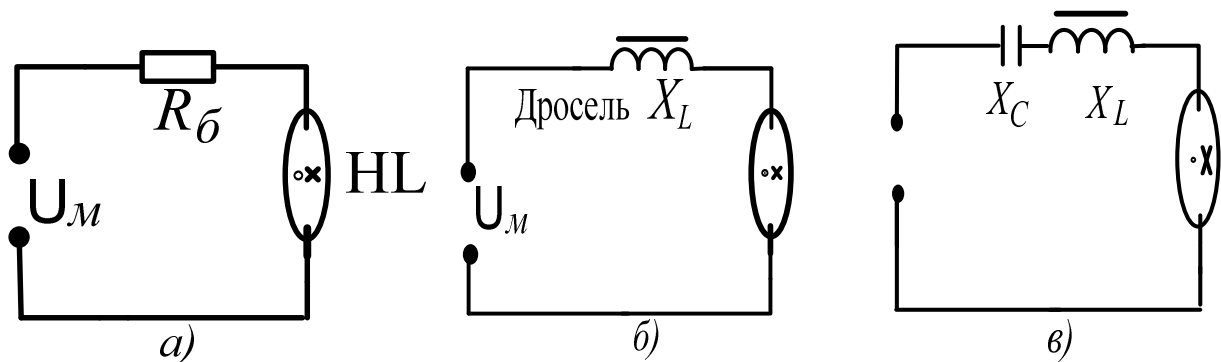


Рис. 3.2

Слід зауважити, що з чисто ємнісним баластом (рис. 3.2 в без дроселя) не використовують при живленні напругою промислової частоти (50 Гц), оскільки такий баласт різко змінює форму струму, що негативно впливає як на форму світлового потоку, так і на термін роботи РЛ.

### Динамічні ВАХ люмінесцентних ламп

Динамічні характеристики РЛ (ВАХ) використовують при живленні РЛ змінною напругою для аналізу роботи ЛЛ. Для цього побудуємо параметричні динамічні ВАХ, а також графік зміни світлового потоку й визначимо з цих ВАХ роботу схеми й лампи. Форма кривих динамічних характеристик РЛ залежить від типу баластного опору. В параметричній залежності динамічні характеристики РЛ порівнюють з синусоїдою напруги мережі. Розглянемо схему з активним баластом (рис. 3.2 а) за умови, що напруга мережі живлення змінюється за синусоїдальним законом:  $u_m = U_o \sin(\omega t + \varphi_o)$ , де  $U_o$  - амплітуда,  $\omega t$  - фаза, а  $\varphi_o$  - початкова фаза.

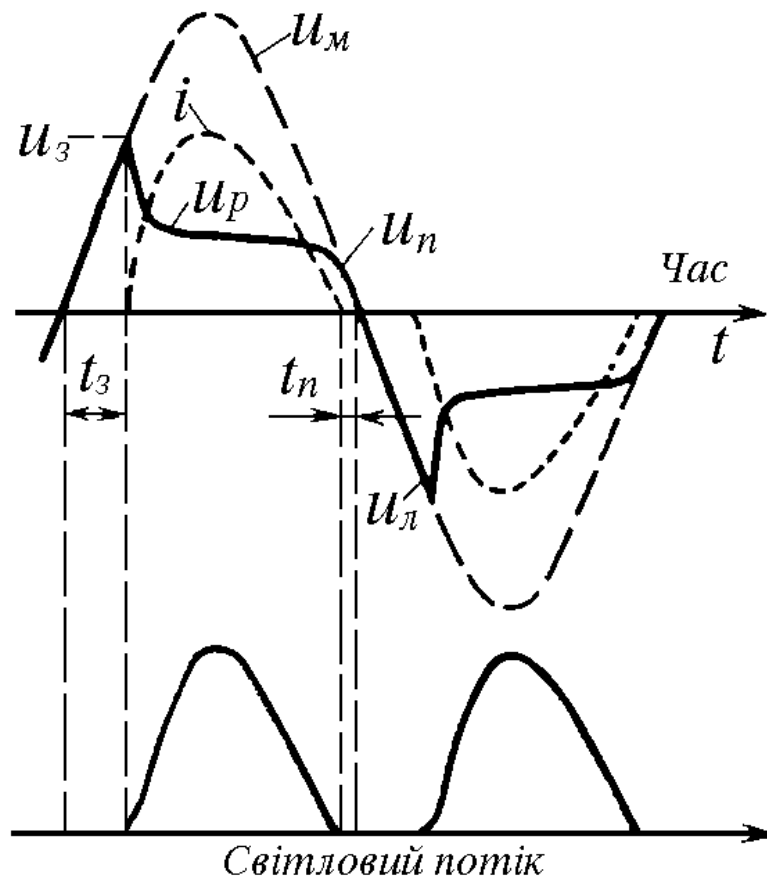


Рис. 3.3

Очевидно, що форма напруги на непрацюючій лампі буде такою ж, як і форма напруги мережі. Але так буде до моменту, коли значення напруги досягне величини засвічення газу  $U_3$ . Після завічення газу провідність РЛ різко зростає, що приведе до пониження напруги на РЛ, незважаючи на зростання напруги мережі. При зменшенні напруги мережі до величини  $U_n$  процеси рекомбінації зарядів (деіонізація) будуть перевищувати іонізацію і лампа погасне. Тому величину  $U_n$  називають напругою погасання РЛ. Після зміни полярності напруги мережі РЛ знову засвітиться, коли значення напруги мережі досягне величини перезасвічення газу  $U_{n3}$  і процес повториться в цьому напівперіоді. Таким чином, напруга на лампі має не синусоїдний вигляд, а трапецієподібний. Тому часто  $U_L$  моделюють трапецієподібною або прямокутною кривою.

Струм протікає тільки тоді, коли РЛ працює, тобто при наявності розряду, тому форма струму відрізняється від синусоїди. Струм періодичний, але його напівперіод менший, за напівперіод змінного струму промислового джерела живлення, оскільки виникають паузи  $t_3$ ,  $t_n$ , коли струм у лампі дорівнює нулю. Першу паузу струму  $t_3$  називають початковою паузою струму – лампа ще не засвітилась, хоча напруга прикладена до неї; друга пауза  $t_n$  – лампа погасла, хоча  $U_n$  ще не зменшилась до нуля; третя пауза  $t_{n3}$  – лампа засвічується повторно в другому напівперіоді. Напруга перезасвічення  $U_{n3}$  завжди менша за напругу початкового засвічення  $U_3$  і залежить від температурного стану електродів РЛ, теплопровідності газу, роботи виходу

електронів з катодів і наявності залишкової іонізації. Напряга перезасвічення буде меншою для електродів, що маєть меншу роботу виходу електронів та більшу температуру. Тривалість пауз струму можна зменшити тільки збільшенням напруги живлення або підвищенням частоти.

Наявність за період пауз відсутності струму приводить до наявності пауз відсутності світлового потоку й викликає збільшення пульсації світлового потоку. Пульсуючий світловий потік негативно впливає на працездатність зорового апарату й викликає швидке втомлення зору, а також сприяє виникненню стробоскопічного ефекту – освітлені деталі, що обертаються, здаються нерухомими, якщо частота пульсацій збігається із частотою обертання. Для збільшення світлового потоку необхідно збільшити робочий струм лампи, тобто збільшити потужність лампи, що приводить до зниження терміну служби електродів лампи. Тому використовувати активний баласт при роботі лампи на змінному струмі не бажано. Активний баласт найкраще використовувати при живленні РЛ постійним струмом.

Які параметри, що характеризують роботу РЛ, можна визначити з ВАХ? Як видно з рис. 3.3 з ВАХ можна визначити  $U_z$ ,  $U_n$ ,  $U_{nz}$ ,  $U_l$  а також паузи струму на періоді (істотний недолік роботи лампи з активним баластом). Чи можна ці паузи зменшити?

Щоб зменшити паузи струму необхідно підвищити частоту живлення або ж зменшити відношення напруги  $U_l$  до  $U_m$ .

Зменшення  $U_l$  приводить до збільшення падіння напруги на баласті  $U_b$ , а це призводить до збільшення втрат потужності на баласті, тобто до зменшення коефіцієнта корисної дії (ККД). Чим вище  $U_b$ , тим більші втрати потужності на баласті  $P_b$

$$P_b = I^2 R_b = U_b I_l. \quad (3.1)$$

З наведених причин при живленні РЛ змінною напругою баласту з активним опором застосовують дуже рідко, а найчастіше використовують реактивні баласту: індуктивні, ємнісно- індуктивні або ємнісні.

### **Динамічні ВАХ РЛ при роботі з індуктивним баластом**

Побудуємо динамічні ВАХ в параметричній формі при роботі лампи з індуктивним баластом (рис. 3.2 б) і порівняємо їх з динамічною параметричною ВАХ напруги мережі промислової частоти, а також побудуємо графік зміни світлового потоку РЛ на періоді.

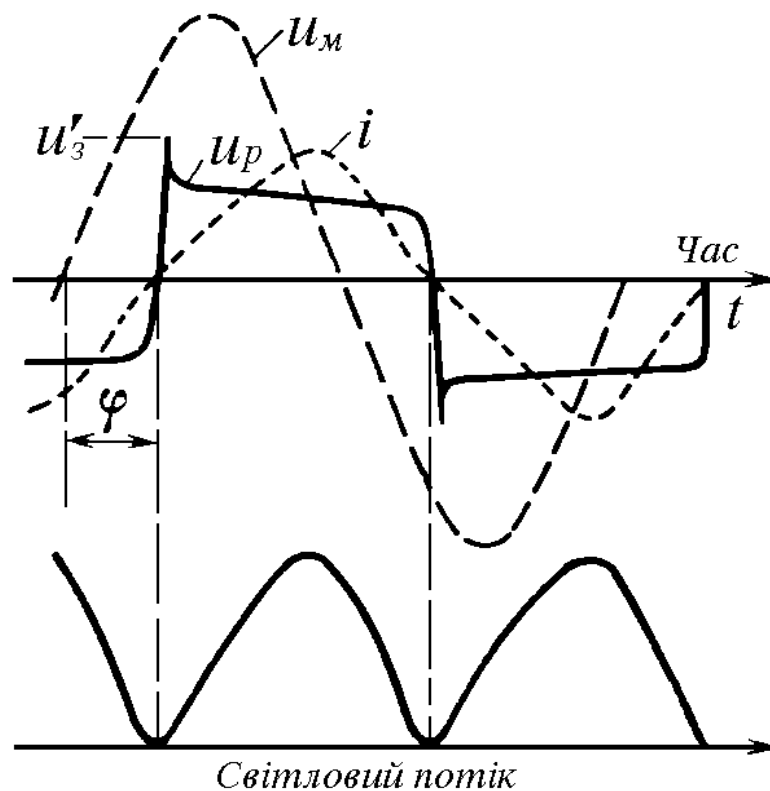


Рис. 3.4

Відомо, що протікання змінного струму через індуктивність викликає появу електрорушійної сили самоіндукції (е.р.с.с.), яка завжди протидіє зміні струму, що й викликає зрушення фази струму відносно фази напруги мережі живлення. Тому РЛ засвітиться не в момент досягнення напруги мережі значення напруги засвічення розряду  $U_z$ , як при активному баласті, а при збільшеній напрузі, що компенсує е.р.с.с. й тоді (після засвічення розряду) потече розрядний струм, який буде мати зрушення фази  $\varphi$  (рис. 3.4), відносно фази напруги мережі. Таким же чином відбудеться перезасвічення в другому напівперіоді, а форма кривої струму ( $i$ ) буде максимально наближена до синусоїдальної (невеликі сплюснення при проходженні струму через нуль викликані малим активним опором дроту котушки дроселя). Отже, паузи струму відсутні, але існує зрушення фази струму. Середній світловий потік більший за світловий потік при активному баласті, але стробоскопічний ефект зберігається, незважаючи на зростання середнього значення світлового потоку лампи. Фазове зрушення струму в цьому випадку є істотним недоліком. Воно викликає додаткові втрати потужності в схемі та в лініях мережі живлення, але його можна компенсувати, якщо ввести до схеми додаткові реактивні елементи. Тоді такі схеми називають компенсованими.

Для стабілізації розряду на змінному струмі можуть бути використані також баластові конденсатори (рис. 3.2 в без дроселя). Однак форма кривої струму через конденсатор (рис. 3.5), а отже й лампу, залежить від величини ємності й частоти і протікає тільки протягом частини напівперіоду, необхідної для його зарядки й наступної розрядки. Великі піки струму лампи й більші паузи струму практично не дозволяють використати конденсатор як баласт для

розрядних ламп на промисловій частоті. Форма струму шпильаста, отже світловий потік буде мати таку ж форму. Тільки при збільшенні частоти живлення вище 600 Гц ємність баластового конденсатора настільки знижується, що не викликає скільки-небудь помітних піків і пауз у струмі лампи.

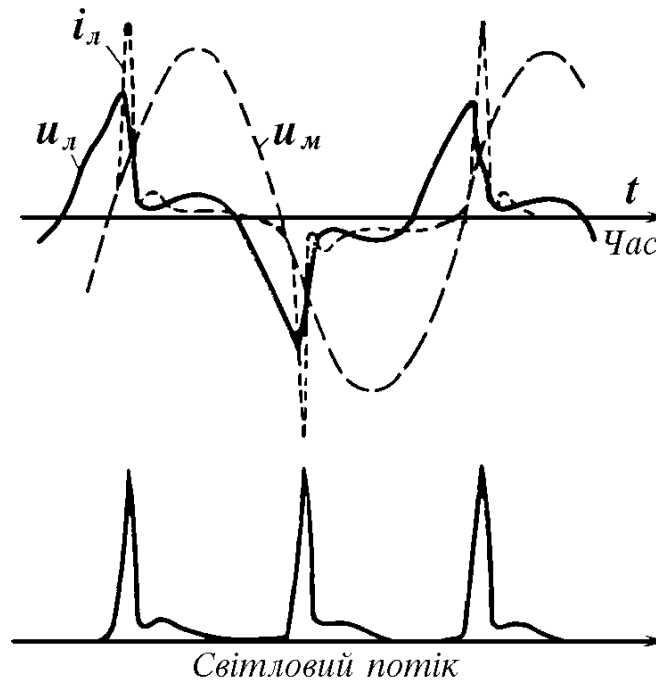


Рис. 3.5

Для зниження шпильастого характеру й приведення його близько до синусоїдного, до схеми додають додатковий дросель, але так, щоб реактивний опір ємності був більше індуктивності балласту. Тому при живленні напругою промислової частоти застосовують ємнісно-індуктивні баласты (рис. 3.2 в). Наявність у колі індуктивності, сприяє поліпшенню умов засвічення РЛ.

Ємнісно-індуктивні баласты являють собою послідовно з'єднані конденсатор, ємністю  $Cб$  і дросель, з індуктивністю  $Lб$ , причому загальний опір ланцюга  $Cб-Lб$  носить ємнісний характер, тобто  $1/(\omega Cб) > (\omega Lб)$ ; ( $3XL \leq XC$ ). Струм лампи в цьому випадку, якщо знехтувати активним опором дроселя й втратами в конденсаторі, визначають виразом:

$$I_l = Uб / (1/(\omega Cб) - \omega Lб). \quad (3.2)$$

Форма динамічних параметричних ВАХ (рис. 3.6) повторює ВАХ РЛ з індуктивним балластом. Але головною відмінністю є те, що струм лампи в цьому випадку випереджує за фазою напругу мережі, тобто зрушення фази струму має протилежний знак. Коли струм знижується до нуля, до лампи прикладена напруга, що дорівнює різниці напруги на конденсаторі  $Uк$  і напрузі мережі  $Uм$ . Якщо ця різниця більша або дорівнює напрузі перезапалення  $Unз$ , то лампа працює в режимі без пауз струму.

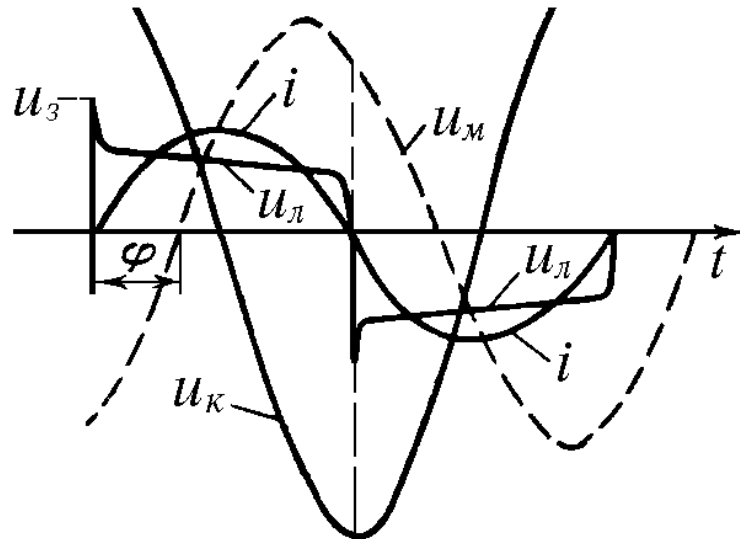


Рис. 3.6

### Контрольні запитання

1. З яких елементів складається ПРА для РЛ?
2. У порівнянні з чим будують і аналізують динамічні ВАХ РЛ у параметричному вигляді?
3. Побудуйте й проаналізуйте динамічні ВАХ РЛ у схемі з активним баластом. Які недоліки та переваги має ця схема?
4. Побудуйте й проаналізуйте динамічні ВАХ РЛ у схемі з індуктивним баластом. Які недоліки та переваги має ця схема?
5. Побудуйте й проаналізуйте динамічні ВАХ РЛ у схемі з ємнісним баластом. Які недоліки та переваги має ця схема?
6. Побудуйте й проаналізуйте динамічні ВАХ РЛ у схемі з ємнісно-індуктивним баластом. Які недоліки та переваги має ця схема?
7. Чи можна з динамічних ВАХ розрядних ламп визначити основні параметри лампи і які?
8. Для чого застосовують баластні опори при підключенні РЛ до джерела живлення? Що називають дроселем (його головні складові) й для чого в ньому створюють немагнітний зазор?

## Тема 4. ПОБУДОВА ВЕКТОРНИХ ДІАГРАМ РОБОТИ РЛ

### Векторні діаграми

У колах змінного струму виникають активні й реактивні складові струму й напруги. Для дроселя без втрат (ідеалізований варіант) вектор напруги на дроселі перпендикулярний вектору струму лампи. Побудуємо векторну діаграму (рис. 4.1) для схеми РЛ - індуктивний баласт – мережа, що зображена на рис. 3.2 б. Якщо струм лампи зрушений стосовно напруги мережі на кут  $\varphi$  і цей кут не дорівнює  $90^\circ$ , то струм лампи містить активну  $I_{л.а}$  й реактивну  $I_{л.р}$ , складові. З векторної діаграми (рис. 4.1 а) роботи РЛ видно, що в колі з індуктивним баластом струм лампи відстає від напруги мережі на кут  $\varphi$  і це обумовлено наявністю в колі реактивної складової струму  $I_{л.р}$ .

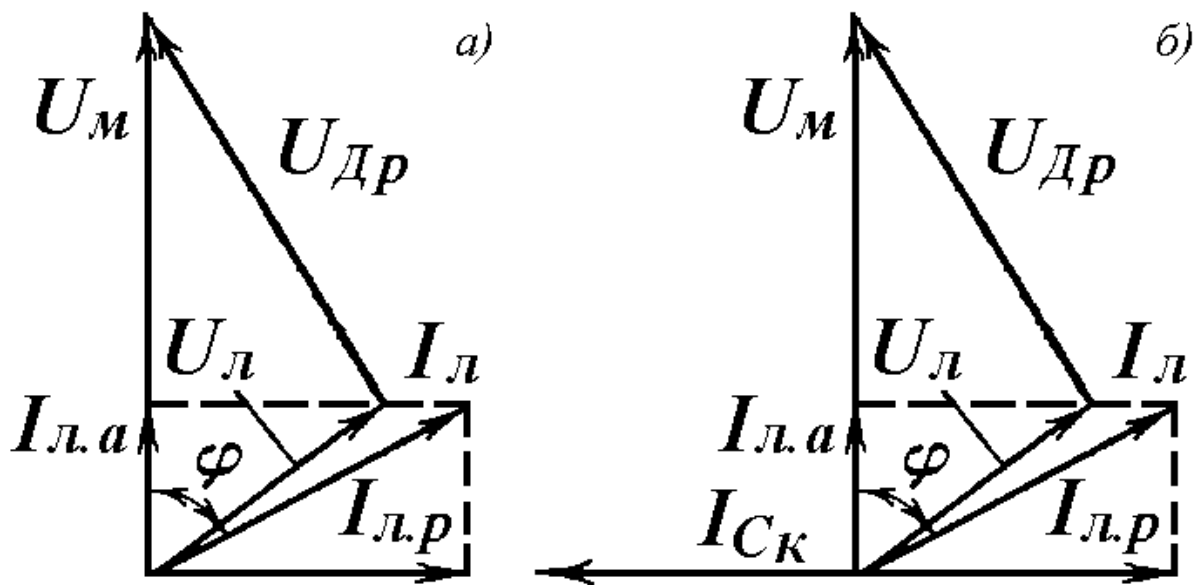


Рис. 4.1

Для компенсації реактивної складової струму  $I_{л.р}$  необхідно створити таку ж за величиною реактивну складову струму  $I_{Ск}$  (рис. 4.1 б), але протилежного напрямку. Це можна здійснити, якщо паралельно до мережі підключити компенсуючий конденсатор  $C_k$ .

### Коефіцієнти потужності схеми з РЛ при живленні змінною напругою, та інші чинники, що впливають на роботу РЛ

Коефіцієнт потужності схеми з РЛ показує, яку частину складає активна потужність схеми відносно повної потужності, що споживає схема з мережі. З векторної діаграми, що зображена на рис. 4.1 а, видно, що

$$\eta = P_{сх.а} / P_{сх} = U_M I_{л.а} / P_{сх} = U_M I_л \cos \varphi / (U_M I_л) = \cos \varphi, \quad (4.1)$$

$\varphi$  - кут зрушення між фазою струму лампи і фазою напруги мережі живлення.

Отже, коефіцієнтом потужності схеми з РЛ називають косинус від

**кута зрушення фази струму**, а тому, чим більшим буде зрушення фази струму відносно фази напруги мережі, тим меншим буде коефіцієнт потужності схеми з РЛ і тим більшою буде реактивна складова струму, який споживає схема. Збільшення реактивного струму може викликати струмове перевантаження мережі й помилкові спрацювання захисних пристроїв, оскільки реактивний струм, якщо не компенсувати його, буде проникати до мережі живлення.

Фаза напруги на засвіченій лампі зрушена стосовно фази струму лампи при роботі на промисловій частоті на кут  $8\text{—}12^\circ$  через викривлення форми кривих струму й напруги лампи наявністю в струмі лампи складових більш високих частот, ніж частота мережі живлення.

Косинус кута зрушення фази  $\varphi$  можна визначати також відношенням напруги на лампі до напруги мережі (як у схемі живлення постійною напругою) й приблизно він дорівнює відношенню  $U_{\text{л}}/U_{\text{м}}$ . Чим менше це відношення, тим нижче коефіцієнт потужності. Для люмінесцентних ламп потужністю 40 й 80 Вт при вмиканні в мережі з напругою 220 В й індуктивним баластом –  $\cos\varphi \approx 0,5$ . Для ламп потужністю 15 й 20 Вт при вмиканні в мережі 127 В –  $\cos\varphi \approx 0,5$ , а при вмиканні цих же ламп у мережі 220 В з індуктивним баластом значення  $\cos\varphi$  падає до 0,25-0,35.

Характеристики баласту суттєво впливають на термін роботи РЛ. З курсів “Фізичні основи джерел світла” та “Джерела світла” відомо, що термін роботи РЛ визначають явищем розпилення оксидного покриття її катодів, яке приводить до значного пониження величини світлового потоку, за яким подальше використання РЛ стає економічно недоцільним, а також призводить до неможливості засвічення розряду з причини зростання  $U_z$ . Стан катодів залежить від величини робочого струму РЛ, який, у свою чергу, визначають якраз баластом та напругою мережі. При підвищенні робочого струму ЛЛ на 1% термін роботи лампи скорочується на 1,5%. Стан катодів залежить також від інтенсивності бомбардування їх поверхні додатними іонами, що виникають в плазмі розряду. Інтенсивність бомбардування визначається величиною миттєвого значення робочого струму РЛ. Воно, як ми бачили з динамічних ВАХ, залежить від типу баласта. Можна сказати, що баласт, окрім усього іншого, ще й обмежує амплітудне (найбільше) значення робочого струму. Амплітудне значення робочого струму залежить від форми кривої струму і для його оцінки вводять параметр, який називають амплітудним коефіцієнтом струму. Амплітудний коефіцієнт струму – це відношення амплітудного значення струму РЛ до діючого й позначають його, як  $K_a = I_a / I_{\text{д}}$ . Величину  $K_a$  для РЛ при розробці ПРА нормують: має бути не більшою за 1,7. Для синусоїди  $K_a = 1,41$ . 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.

Таким чином до чинників, що впливають на роботу РЛ 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.

Окрім значення амплітудного коефіцієнта струму, на роботу РЛ впливають коливання напруги мережі – відхилення від номінальної величини,



температура електродів і навколишнього середовища, вологість середовища й інші чинники.

Вплив коливань напруги мережі на роботу лампи визначають коефіцієнтами нестабільності струму й потужності РЛ за умови, що напруга мережі живлення змінюється не більше, ніж на 10% від номінального значення. Коефіцієнтом нестабільності струму лампи називають відношення відносної величини зміни струму лампи ( $\Delta I_l = I'_l - I_l$ ) до відносної величини зміни напруги живлення ( $\Delta U_M = U'_M - U_M$ ), що викликало таку зміну струму:

$$\gamma = \frac{\Delta I_l}{I_l} : \frac{\Delta U_M}{U_M}. \quad (4.2)$$

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

$$\lambda = \frac{\Delta P_l}{P_l} : \frac{\Delta U_M}{U_M}, \quad (4.3)$$

при цьому  $I_l$ ,  $U_M$ ,  $P_l$  – 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 й потужності лампи в межах 20%.

З динамічних ВАХ РЛ видно, що при роботі на змінному струмі світловий потік змінюється в кожному напівперіоді, тобто є пульсуючим. Оцінку пульсації світлового потоку здійснюють у відсотках за коефіцієнтом пульсації:

$$K_\phi = \frac{2(\Phi_{\max} - \Phi_{\min})}{\Phi_{\max} + \Phi_{\min}} = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{\Phi_{cp}} \cdot 100, \quad (4.4)$$

де  $\Phi_{\max}$ ,  $\Phi_{\min}$ ,  $\Phi_{cp}$  – максимальне, мінімальне й середнє значення світлового потоку за період напруги живлення. Для ЛЛ типу ЛБ  $K_\phi = 22-23\%$  в схемі з індуктивним баластом, для ДРЛ – 63-74%, а для ДРІ – 30 %.

Очевидно, що для зниження коефіцієнта пульсації слід застосовувати світильники з декількох РЛ, при цьому, найкращої дії досягають за підключення трьох РЛ з однаковими типами баластів до трифазної мережі живлення, оскільки між струмами кожної лампи існує зрушення фази в  $120^\circ$ . Загальний коефіцієнт пульсації для ЛЛ знижується до 8-12%. Для однофазної мережі існують інші схеми для зниження коефіцієнта пульсації, які розглянемо в наступних темах.

Температура електродів і навколишнього середовища впливає на напругу засвічення. Найбільш висока напруга засвічення відповідає ненагрітим електродам лампи і за від'ємної температури навколишнього середовища. Якщо перед засвіченням газу в РЛ, попередньо підігрівати її електроди, то зі зростанням струму підігріву електродів напруга засвічення знижується і при струмах, рівних або трохи вищих за номінальний струм лампи, напруга засвічення мінімальна. Подальше підвищення струму підігріву не приводить до суттєвого зниження напруги засвічення, але за підвищеного струму попереднього підігріву можливий міжвитковий пробій на катодах ЛЛ.

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

За високих плюсових температур навколишнього середовища напруга засвічення також підвищується. Високі температури викликають підвищення концентрації пари ртуті, що приводить до зростання початкового тиску газів.

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

У 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 засвічення 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 протилежною, тому проектування та виготовлення ПРА потребує оптимізації за різних умов його застосування з виділенням в окремі групи. За призначенням ПРА поділяють **на чотири групи:**

**перша** – це схеми й пристрої для забезпечення роботи ЛЛ з напругою промислової мережі живлення;

**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 світильників з РЛ.

У залежності від створення температурного режиму електродів лампи, до цих груп відносяться ПРА, що забезпечують холодне (миттєве) засвічення; ПРА, що забезпечують попередній підігрів катодів перед запаленням лампи – це ПРА гарячого (швидкого) засвічення, які в свою чергу поділяються на ПРА в схемах стартерного засвічення (з електронним, тепловим або розрядним стартером) й безстартерного засвічення (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 – стартера, що призначені для засвічення лампи імпульсом підвищеної напруги й стабілізації режиму роботи лампи (наприклад, **1УБЄ – 40/220...**); пристрої безстартерного засвічення (АБ), що призначені для гарячого засвічення ламп, з попередньо прогрітими катодами за допомогою окремого трансформатора розжарення або пускового конденсатора (наприклад, **1АБІ – 80...**); пристрої миттєвого (холодного) засвічення (МБ), які складаються з баластного дроселя й пускових елементів, що забезпечують засвічення підвищеною напругою без попереднього підігріву електродів лампи.

У 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 маркують літерою **I**;

– 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; їх маркують 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 роццепленою фазою; їх маркують 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 засвічуючих імпульсів; напругу на провідній смузі.

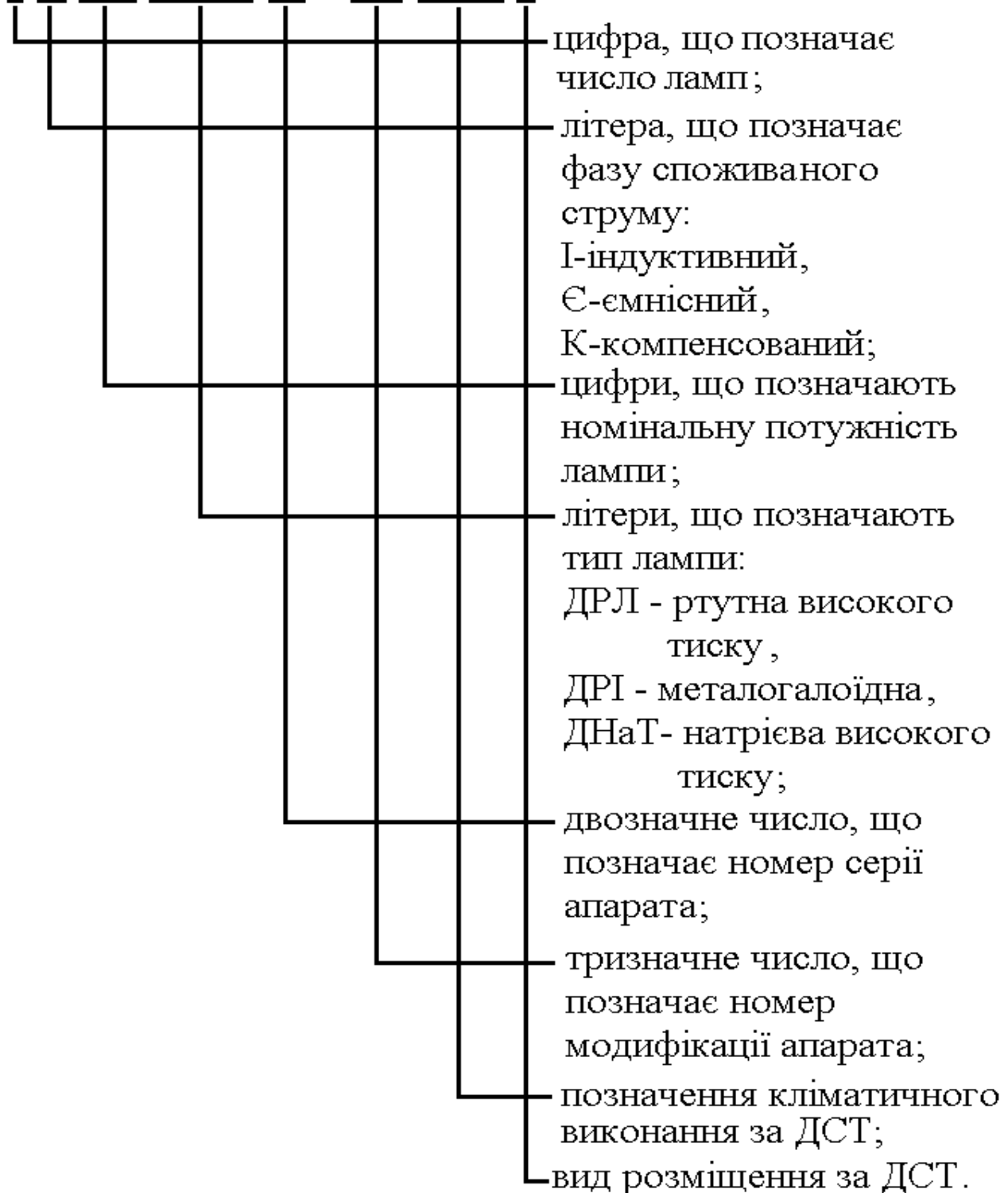
До робочих параметрів відносять: робочий струм, втрати потужності в ПРА, коефіцієнт потужності, коефіцієнт амплітуди кривої струму, світловий потік і робочу напругу лампи, рівень шуму й радіовад, що створює ПРА, теплові характеристики ПРА.

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 сфери використання, ремонтоспроможність та взаємозамінність елементів, можливості захисту ПРА від впливу магнітних полів.

Основні технічні вимоги як до стартерних, так і безстартерних ПРА, стандартизовані й зведені в таблиці (див. Додаток 1).

Нове позначення ПРА для РЛ високого тиску незначно відрізняється від старого й має такий вигляд:

**1 К 400 ДНаТ 30 - 012 УХЛ 1**



### Контрольні запитання

1. Як впливають коливання напруги мережі на електричні параметри РЛ і ПРА?
2. Що таке “коефіцієнти нестабільності” та як вони характеризують роботу РЛ?

3. Що таке “амплітудний коефіцієнт струму РЛ”, на що він впливає та які вимоги до його величини РЛ?
4. Як визначають коефіцієнт пульсації світлового потоку?
5. Яким чином можна понизити коефіцієнт пульсації світлового потоку?
6. Які чинники впливають на засвічення й роботу ЛЛ?
7. Що називають коефіцієнтом корисної дії схеми з РЛ й від чого він залежить?
8. Яким чином можна підвищити коефіцієнт корисної дії схеми з РЛ?
9. Які параметри характеризують ПРА?
10. Які існують режими засвічення ЛЛ?
11. Як позначають ПРА РЛ і в залежності від яких параметрів їх поділяють?
12. Побудуйте векторну діаграму для кола РЛ-індуктивний баласт-мережа змінної напруги і проведіть її аналіз.

**Тема 5. НАВАНТАЖУВАЛЬНІ ВОЛЬТ-АМПЕРНІ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПОРІВНЯННЯ РОБОТИ РЛ З ІНДУКТИВНИМ  
І ЄМНІСНО - ІНДУКТИВНИМ БАЛАСТОМ НА СТІЙКІСТЬ РОБОТИ  
В КОЛІ ЗМІННОГО СТРУМУ**

**Графічна побудова навантажувальних ВАХ і порівняльний аналіз роботи  
схем з індуктивним і ємнісно- індуктивним баластом**

Для побудови навантажувальної ВАХ використаємо графічний метод, тобто графічного додавання ВАХ РЛ до ВАХ баласту. Спочатку побудуємо навантажувальну ВАХ для індуктивної схеми (рис. 5.1 б).

ВАХ дростеля лінійна тільки на початку, а далі проявляється вплив магнітного осердя (гістерезису). За цієї причини навантажувальна ВАХ буде розлогою (рис. 5.1 а).

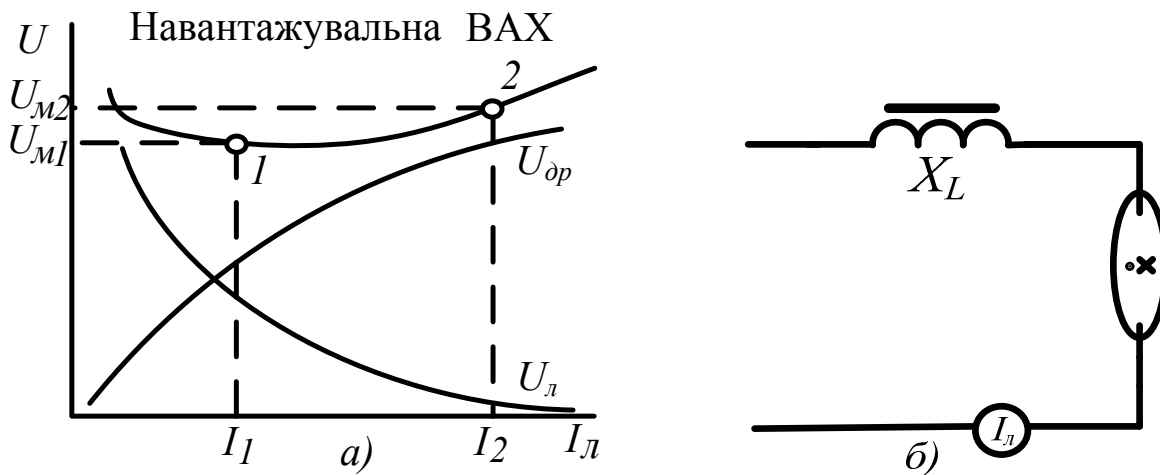


Рис. 5.1

Тепер побудуємо навантажувальну ВАХ для ємнісно-індуктивної схеми (рис. 5.2 б).

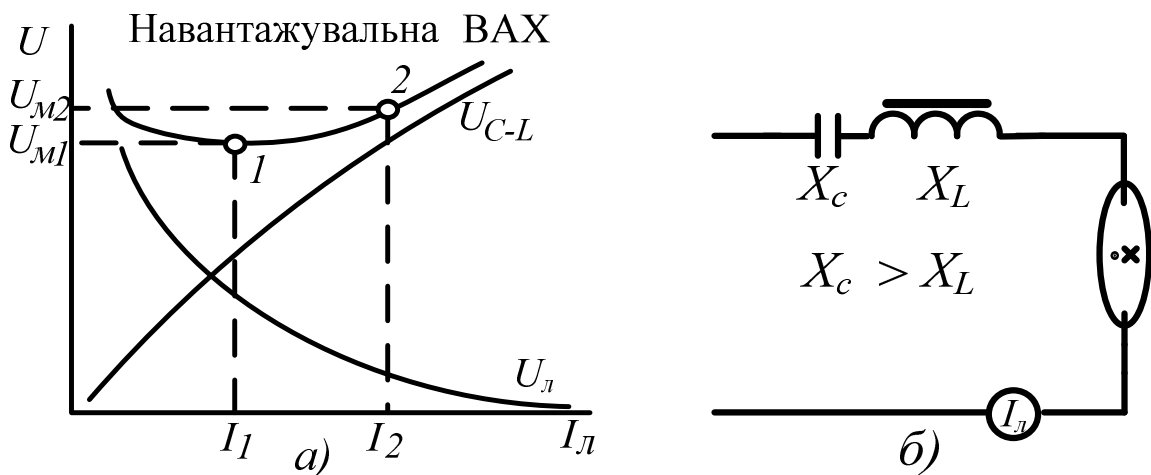


Рис. 5.2

ВАХ загального ємнісного баласту лінійна в значно більшому діапазоні струмів, а тому навантажувальна ВАХ буде звуженою за причини лінійності ВАХ конденсатора (рис. 5.2 а) в порівнянні з навантажувальною ВАХ індуктивної схеми. Які наслідки з цього? Проведемо порівняльний аналіз роботи РЛ при відхиленні значення напруги мережі на 10 % від номінального у відповідній схемі.

Якщо в схемі з індуктивним баластом (рис. 5.1 б) напруга мережі за якихось причин зросте до величини  $U_{m2}$  від номінального  $U_{m1}$ , то робоча точка на навантажувальній ВАХ зміститься до положення 2 (рис. 5. 1 а), оскільки зростання напруги мережі викличе зростання струму РЛ до величини  $I_2$ . Одночасно, таке ж зростання напруги мережі в схемі з ємнісним баластом (рис. 5.2 б) приведе до меншого зростання струму (рис. 5. 2 а).

Отже, вплив зміни величини напруги живлення буде меншим у схемах з ємнісним баластом, аніж у схемах з індуктивним баластом. Тому схеми, що мають баласт ємнісного типу є більш стабільними за схеми з баластом індуктивного типу. Очевидно, що ємнісний баласт дорожчий та складніший за індуктивний, але якщо мережа живлення нестабільна (має багато різних користувачів), то для забезпечення стабільної роботи РЛ необхідно використовувати схеми з ємнісними баластами. За стабільної мережі використовують індуктивний баласт.

Таким чином, навантажувальні ВАХ дають можливість проаналізувати стабільність роботи схеми з РЛ. На стабільність роботи РЛ впливає тип баласту. Оскільки коефіцієнт нестабільності за струмом  $\gamma = \frac{\Delta I_a}{I_a} : \frac{\Delta U_m}{U_m}$ , то  $\gamma^C < \gamma^L$ , тобто,

величини коефіцієнтів нестабільності за струмом лампи та за її потужністю в схемах з ємнісним баластом менші за такі в схемах з індуктивним баластом.

За необхідності подібно складають вирази для визначення нестабільності струму або потужності в залежності від інших параметрів.

Оскільки електричні параметри баластів за коливань напруги мережі змінюються по іншому, ніж параметри РЛ, то наявність баласту не тільки обмежує струм, а ще й стабілізує її роботу. Продемонструємо це графічно. Для цього розглянемо наведену схему й подивимося, як буде змінюватися робоча точка на ВАХ лампи при зміні струму.

Допустимо, що за невідомих причин струм лампи зросте, отже її робоча точка переміститься в нове положення, що відповідає більшому струму. Це приведе до зростання спаду напруги на баласті, але спад напруги не може бути більшим, ніж коли лампа перебуває в короткому замиканні, тобто ніж у стані, що забезпечує джерело живлення.

Отже струм лампи не буде зростати, а повернеться у початковий стан, тобто зменшиться. Якщо за якихось умов струм зменшиться, то це приведе до того, що напруга на баласті зменшиться, а напруга на лампі зросте і струм збільшиться, тобто знову повернеться у початковий стан.

Таким чином, баластовий опір не тільки обмежує й задає струм лампи, але й стабілізує її роботу при випадкових змінах, тобто повертає струм її до робочого значення.

## Процеси, що протікають при засвіченні й роботі ЛЛ, методи полегшення засвічення РЛ

Засвічення газу в РЛ є достатньо складним процесом, що пов'язаний як зі створенням лавинної іонізації, так і з процесами, що відбуваються на електродах РЛ, так і з процесами, що протікають на стінках розрядної трубки. Процес засвічення РЛ відбувається за постійної дії напруги мережі і має ряд загальних особливостей, без зважання на які неможливо проаналізувати роботу схем вмикання ламп та розробити ПРА. Електричне поле прискорює й примушує емісійні електрони рухатися до аноду, а додатні іони – до катоду, але напруженості створеного електричного поля між електродами РЛ, що розміщені на великій відстані один від одного, недостатньо для засвічення газу між ними.

Засвічення розряду в довгих трубках за низьким тиском, тобто в ЛЛ, неможливо здійснити зразу по всій довжині від електроду до іншого електроду, оскільки заряди, що з'являються, швидше потряплять за дії дифузії на стінки трубки, аніж встигнуть переміститися в продольному напрямі до іншого електроду. Тому засвічення газу за дії напруги, що прикладена до електродів, умовно можна розділити на три стадії: 1) спочатку відбувається пробій (слабе засвічення) газу в проміжку між електродом і ближньою стінкою трубки, тобто створення початкової плазми; 2) потім розповсюдження фронту плазми уздовж стінки трубки до іншого електроду, тобто розряд розвивається (ковзає) між фронтом початкової плазми й наступною ділянкою стінки в напрямі іншого електроду до виникнення тліючого розряду між електродами; 3) зростання іонізації й перехід тліючого розряду в дуговий.

Усі РЛ, що використовують для освітлення, створюють світло завдяки дуговому розряду, але перш ніж буде створено дуговий розряд, в РЛ обов'язково виникнуть інші усі види розряду, з притаманними для них особливостями і впливом на характеристики РЛ. Найбільший вплив на характеристики розрядних ламп створюється на перших двох етапах.

Вільні заряди в газі створюються в результаті емісій з катодів РЛ. До таких емісій відносять електростатичну, термоелектронну, фотоелектронну та вторинну, що вивчалися в курсі “Фізичні основи джерел світла”.

Електростатична емісія виникає за дії високого електричного поля ( $10^8$  В/м), яке створюють на “холодних” катодах прикладанням напруги мережі, тому її ще називають холодною емісією. Для РЛ ця емісія небажана, вона є одною з причин руйнування катодів, але її неможливо позбутися, оскільки високе електричне поле обов'язково створюється необхідністю засвічення розряду, яке виникає в більшості РЛ за напруги, що значно перевищує робочу напругу розряду. Напруга першого пробію залежить від багатьох факторів: від роботи виходу електронів й полярності електрода, де вперше виникає пробій, їх конфігурації та температури, зміни коефіцієнта іонізації й розподіленої ємності стінок трубки. Але вона не залежить від довжини ЛЛ. Оскільки внутрішня поверхня трубки по відношенню до землі або заземлених зовнішніх провідників біля лампи створює ємність (є конденсатором), то ця ємність впливає на



напругу першого пробою, створюючи неоднорідне електричне поле. Чим ближче до поверхні ЛЛ розміщені заземлені провідники, тим більшою буде ємність стінок. Збільшення ємності стінок приводить до зростання в малому об'ємі напруженості електричного поля, яке й понижує напругу першого пробою. Електричне поле зосереджується між фронтом плазми й ближньою поверхнею стінки. Воно сприяє виникненню нової іонізації й розширенні та переміщенні плазмової області, яка має на передньому фронті електричне поле, яке сприяє подальшій іонізації. Це поле називають ведучим і його величина, що необхідна для засвічення газу, залежить від діаметра трубки та тиску газу.

Суттєво впливає на пониження напруги засвічення газу величина роботи виходу електронів з катодів та температура електродів. Чим менша робота виходу, тим нижча напруга засвічення. З цієї причини електроди РЛ покривають оксидом барію, а також конструюють в ЛЛ з можливістю попереднього нагріву для створення інтенсивної термоелектронної емісії, яка також понижує напругу засвічення газу в розрядному проміжку.

Загалом напруга мережі є недостатньою для засвічення газу, тому застосовують різні методи для полегшення засвічення газу. Так, створюють збільшену напругу  $U_m$ , яку подають на РЛ, чи попередньо зменшують напругу засвічення або суміщають одночасно те й інше. Збільшення напруги  $U_m$  здійснюють схемно, створенням імпульсу підвищеної напруги, який виникає при розімкненні кола з індуктивністю, або завдяки резонансу напруги, або за допомогою підвищуючих трансформаторів чи автотрансформаторів. Попереднє пониження напруги засвічення  $U_z$  здійснюють, головним чином, створенням попередньої іонізації в газі, шляхом використання катодів з низькою роботою виходу електронів та створенням неоднорідного електричного поля. Для цього використовують допоміжні електроди (в РЛ ВТ), які ще називають засвічувальними. Ці електроди розміщують поблизу основних і з'єднують з протилежним основним через опір, що обмежує їх струм. В ЛЛ використовують довгу струмопровідну смужку, що наносять на зовнішню поверхню трубки, а також катоди, що допускають можливість попереднього підігріву. В РЛ ВТ і НВТ застосовують спеціальні імпульсні засвічуючі пристрої, які створюють серію високочастотних високовольтних імпульсів, амплітуда яких у 5-20 разів більша за амплітуду напруги мережі.

Для пониження роботи виходу електронів, катоди ЛЛ виготовляють у вигляді вольфрамової біспіралі або триспіралі й покривають шаром оксидів лужноземельних металів (барію, кальцію й стронцію). Необхідне випромінення електронів з катодів створюється й підтримується завдяки електростатичній 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 катодів зовнішнім джерелом струму або тепла, яке виділяє дуговий розряд. Для цього в ЛЛ використовують саморозжарювальні катоди.

Існує два принципово різних режими вмикання ЛЛ, що створюють умови для виникнення дугового розряду: **холодне й гараче засвічення**. У

першому режимі достатню напругу для засвічення ЛЛ прикладають до катодів лампи з температурою, що нижча температури, за якої виникає помітна термоелектронна емісія. За такого режиму вмикання катоди лампи зазнають посиленого бомбардування іонами, яке призводить різкий розпил оксиду й скорочення терміну роботи лампи. В другому режимі виникнення дугового розряду полегшено тим, що напругу засвічення прикладають 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 засвіченням лампи, яка впливає на термін роботи лампи, напругу пробою міжелектродного простору та швидкість протікання перехідних стадій розряду.

Розпилення і випарення оксиду відбуваються й в робочому режимі, але на етапі засвічення 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 плямою (КП).

Отже нагадаємо, що засвічення ЛЛ відбувається в такій послідовності: пробій (виникнення розряду) у просторі між одним із катодів і стінкою колби ЛЛ, міжкатодний пробій, тліючий розряд, напівперіодний несиметричний дуговий розряд і симетричний дуговий розряд, з формуванням КП.

Окрім того, слід зазначити, що оскільки засвічення газу здійснюють за напруги  $U_z > U_m$ , то потрібне додаткове джерело живлення, яке б у момент засвічення подавало на лампу напругу, що дорівнює або більшу за  $U_z$ . Однак, напругу засвічення можна знизити, якщо попередньо підігріти електроди до температури 800-900°C, за якої електроди лампи починають інтенсивно випромінювати електрони за причини виникнення термоемісії. Такий підігрів здійснюють застосуванням спеціальних схем стартерного або безстартерного засвічення ЛЛ.

### **Перезасвічення газу**

Промислова мережа живлення – це змінна напруга, тому фізичні процеси, що протікають в РЛ, суттєво відрізняються від процесів, що мають місце в РЛ при живленні постійною напругою. Під дією змінної напруги в РЛ засвічення газу відбувається в кожному напівперіоді, тобто двічі за період. Але перше засвічення відрізняється від наступного тим, що напруга першого засвічення називається напругою засвічення розряду; вона значно більша за робочу напругу РЛ. Напругу повторного засвічення (засвічення газу в другому напівперіоді) називають напругою перезасвічення газу і вона менша за напругу початкового засвічення. Після засвічення газу виникає значна кількість зарядів, а отже зростає струм розряду, що в свою чергу знижує напругу на розрядному проміжку (спадаюча ВАХ дугового розряду). При зменшенні напруги мережі зменшується й струм розряду й при проходженні напруги через нуль розряд гасне і в газі деіонізація (рекомбінація, тобто зникнення зарядів) стає переважною, але вона має інерцію. Дуговий розряд гасне в момент зменшення струму розряду до якогось мінімального значення, при якому іонізація стає

меншою за деіонізацію. Для перезасвічення газу напруга має зрости до напруги, достатньої для повторного засвічення. При погасанні розряду температура електродів і ступінь іонізації в газі будуть більшими, ніж за початкового засвічення газу. Тому напруга перезасвічення буде меншою, але крива напруги на РЛ у цей момент теж матиме пік напруги, який називають піком перезасвічення, хоча його величина залежить від багатьох обставин. Чим більша пауза струму між згасанням розряду і перезасвіченням, тим більшим буде пік напруги перезасвічення, оскільки буде необхідно витратити більше додаткової енергії на створення плазмової зони як у прикатодних ділянках, так і в стовпі плазми. Очевидно, що чим більшою буде напруга на РЛ (або мережі) в момент переходу струму розряду через нуль, тим швидше відбудеться перезасвічення розряду. Отже необхідно примусово створити зрушення фази струму відносно фази напруги мережі, яке і створюють схемно додатковими елементами (дроселем).

Напруга перезасвічення розряду також залежить від роботи виходу електронів з катодів, від маси і форми катодів, від частоти напруги живлення. Підвищена температура катодів й низька робота виходу електронів понижують напругу перезасвічення розряду. Слід зауважити, що на величину цієї напруги впливає стабільність напруги мережі. Існує граничне значення найменшого струму за даної напруги мережі, нижче якого засвічення вже не відбудеться. Найменший струм розряду залежить від емісійних властивостей катодів, які поступово погіршуються з терміном використання РЛ.

Дослідження наявності піків перезасвічення показало, що вони зникають за достатньої температури катодів; засвічення дуги відбувається стрибкоподібно й без виникнення катодних плям. Наявність піків перезасвічення скорочує термін використання РЛ, оскільки збільшення напруги перезасвічення збільшує катодне падіння напруги й обумовлює підсилене бомбардування катодів додатними іонами, тобто прискорює розпилення катодів.

### **Контрольні запитання**

1. Що називають “навантажувальною ВАХ” і як її можна побудувати?
2. Які переваги й недоліки мають індуктивні й ємнісно- індуктивні баласты?
3. За якої нестабільності мережі використовують той, чи інший баласт?
4. На які етапи можна розділити роботу ЛЛ та які процеси там протікають?
5. Що називають “катодною плямою”?
6. Які етапи роботи ЛЛ і чому найбільше впливають на термін роботи?
7. Що називають “напругою перезасвічення газу”, чому й чим вона відрізняється від напруги засвічення?
8. Які методи полегшення засвічення розряду існують?
9. Чому перезасвічення впливає на термін використання РЛ?
10. Яке засвічення називають холодним, а яке – гарячим?
11. Пояснити яким чином баласт стабілізує роботу РЛ.

## Тема 6. ЗАСВІЧЕННЯ РОЗРЯДНИХ ЛАМП

Раніше ми зазначали, що напруга засвічення розряду за будь-яких рівних умов, залежить не окремо, а від добутку тиску газу на відстань між електродами, до яких прикладена напруга (закон Пашена), а також від виду газу. При цьому, що дуже важливо, завжди можна підібрати такий добуток, що напруга засвічення буде найменшою. Оскільки РЛ не ізолювана за теплопровідністю від оточуючого середовища, то очевидно, що температура газу в РЛ буде залежною від температури середовища. Дійсно, після виготовлення РЛ, відстань між електродами залишається незмінною, але добуток тиску газу на відстань між електродами може змінюватися зі зміною температури газу, оскільки  $p=nkT$ , а значить напруга засвічення газу буде більшою за найменшу (рис. 6.1).

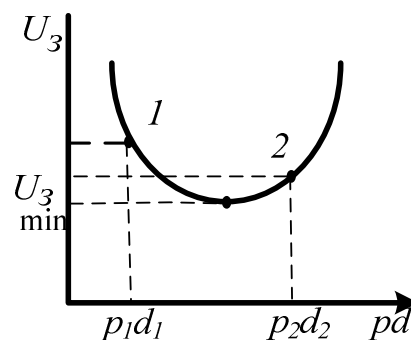


Рис. 6.1

Конструктивно лампи виготовляють так, щоб зміна температури за даних кліматичних умов слабо впливала на напругу засвічення, але за великих кліматичних відхилень (за від'ємних температур або підвищених ) напруга засвічення зростає й РЛ засвічується гірше. Оскільки тиск залежить від концентрації, то можна сказати, що за понижених температур оточуючого середовища в РЛ знижується тиск пари ртуті, що приводить до зростання напруги засвічення, а також за температури оточуючого середовища вище  $+35^{\circ}\text{C}$  тиск пари ртуті в РЛ збільшується, що також приведе до зростання напруги засвічення, тобто до погіршення засвічення.

Для пристосування напруги засвічення газу в РЛ до напруги мережі приймають різні технічні рішення, одним з них є використання ефекту Пеннінга, а саме, до пари ртуті в лампі додають інші гази (аргон) з метою відповідного пониження напруги засвічення створеної суміші. Іншим рішенням напругу засвічення понижують введенням в колбу РЛ допоміжних (засвічуючих) електродів, які розміщують близько до основних. Для ЛЛ найбільш ефективним без зміни їх технологічних параметрів є виготовлення катодів такої форми, що було можливим їх попереднє розжарення, з метою можливості створення термоелектронної емісії. Це накладає відповідні вимоги до монтажу РЛ в світильнику (використовують G патрон).

Напруга засвічення газу в РЛ залежить ще від вологості оточуючого середовища й поверхневого опору скла трубки ЛЛ. На рис. 6.2, а наведені ці

залежності. Для аналізу вказаних залежностей розглянемо еквівалентну схему ЛЛ з баластом (рис. 6.2, б), де  $C_1$  - ємність між катодом і стінкою трубки;  $C_2$  - ємність між стінкою трубки й землею;  $R_n$  - поверхневий опір стінки трубки між катодами;  $R_б$  - опір витоку струму через скло трубки в місці кріплення катоду. За малого поверхневого опору  $R_n$  (наприклад, наявність струмопровідної стрічки) прикладена до ЛЛ напруга мережі фактично буде зосереджена в області між катодом і стінкою, тому засвічення газу відбудеться спочатку у цьому місці, що полегшить наступний пробій між електродами.

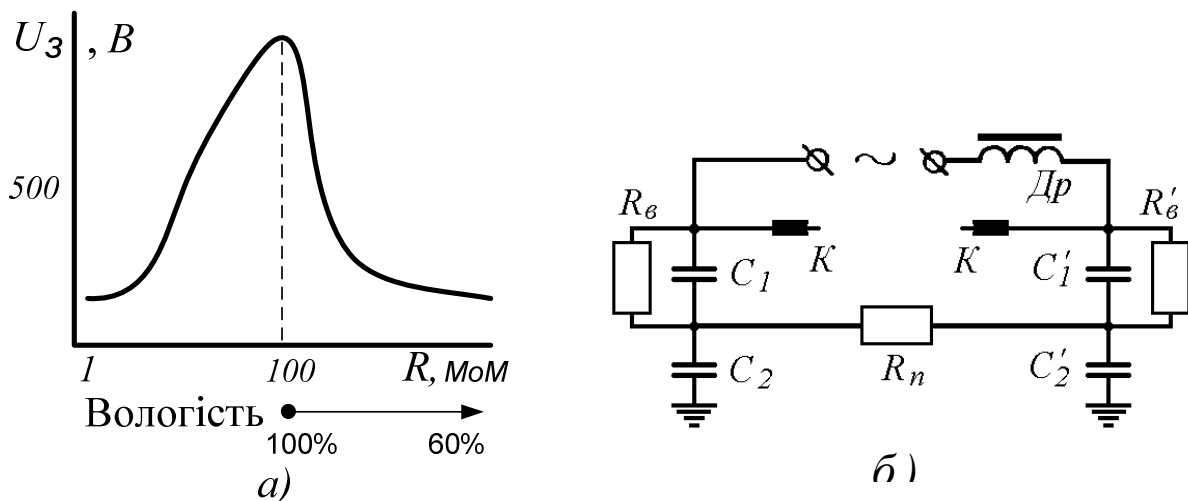


Рис. 6.2

За великого поверхневого опору помітний вплив створюють ємності  $C_1$  і  $C_2$ , але оскільки  $C_1$  значно менша за  $C_2$ , то знову напруга мережі буде зосереджена у проміжку між катодом і стінкою, що викличе засвічення газу і полегшить пробій у ЛЛ. У проміжній частині величини  $R_n$ , де  $R_n$  домірно з ємнісним опором, що створює ємність  $C_1$ , відбувається зростання напруги засвічення й при 100 МОм вона досягає максимуму.

Отже, для пониження впливу вологості у вологих умовах оточуючого середовища, тобто підтримки високих значень  $R_n$ , необхідно забезпечити ізолювання РЛ від вологи (герметизацію) або на трубку слід нанести прозоре водовідштовхуюче покриття. Конденсована волога змінює поверхневий склад скла й збільшує його діелектричну проникність, що приводить до зростання напруги засвічення.

### Вплив температури катодів на напругу засвічення

Експериментально встановлено, що за холодних електродів (катодів) напруга засвічення є високою й для РЛ приблизно дорівнює 1000 В, але якщо катоди попередньо нагріти до температури, за якої виникає помітна термоелектронна емісія, то напруга засвічення різко знижується. Забезпечити попереднє розжарення катодів можна пропусканням через них струму. Тому катоди ЛЛ мають по два відводи.

Типова залежність напруги засвічення газу в ЛЛ від їх температури наведена на рис. 6.3 (температурі відповідає відносна величина струму попереднього підігріву  $I_n$  до величини робочого струму лампи  $I_{л}$ ).

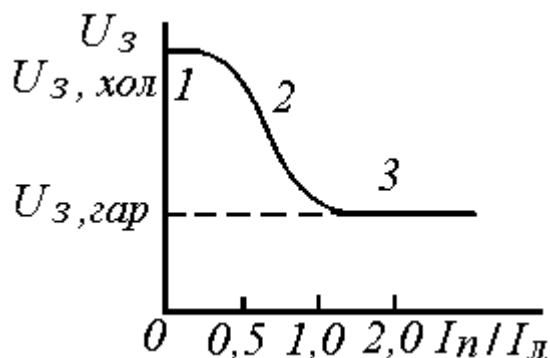


Рис. 6.3

Залежність має два пологих відрізка (1, 3) й один крутий (2). За малого нагріву (відрізок 1, відношення струмів дорівнює 0,2—0,3) напруга засвічення помітно не знижується, тобто за недостатнього нагріву напруга засвічення знижується дуже повільно. Тому засвічення на цьому відрізку відносять до холодного (мало нагрітого). Тільки за виникнення термоелектронної емісії (температура  $\approx 900^{\circ}\text{C}$ ) починається різке зниження напруги засвічення (відрізок 2) – зростання інтенсивності термоелектронної емісії. Наступне підвищення температури нагріву катода до температур вище  $\approx 1000^{\circ}\text{C}$  (відрізок 3), тобто збільшення величини струму попереднього нагріву, не приведе до суттєвого зниження напруги засвічення, але викликає прискорене випаровування катодів. З практичних міркувань зручно вибирати струм попереднього підігріву більшим або таким же, як робочий, оскільки робочий струм створює термоелектронну емісію достатньої інтенсивності. Очевидно, що необхідно погодитися на компроміс: зменшення струму попереднього підігріву вигідне з огляду на зменшення додаткової витрати енергії, але приводить до недогрітих катодів, а отже, до збільшеної напруги засвічення, збільшення струму підігріву відносно робочого збільшить додаткові витрати енергії та приведе до перегріву катодів, а отже скороченню терміну їх ефективної роботи. Тому засвічення газу на початку відрізка 3 є найбільш сприятливим для терміну роботи катодів РЛ. На відрізку 2 засвічення відбувається за підвищеної напруги засвічення, тобто за недогрітих катодів і відбувається коли ЛЛ працює в мережі з пониженою напругою. Струм попереднього нагріву ще називають пусковим.

Щоб здійснити електричне розжарення катодів їх виготовляють у вигляді спіралі (рис. 6.4, а) з тугоплавкого металу (вольфраму), а для зменшення роботи виходу електронів (у вольфрама вона велика  $\approx 4,5$  еВ), покривають матеріалом (оксиди лугоземельних металів) зі зменшеною роботою виходу електронів ( $\approx 2$  еВ). Для покращення електричних властивостей катодів їх виготовляють у вигляді біспіралі або триспіралі. Тому підвищена температура нагріву катодів негативно впливає на оксидне покриття (веде до прискореного розпилення).

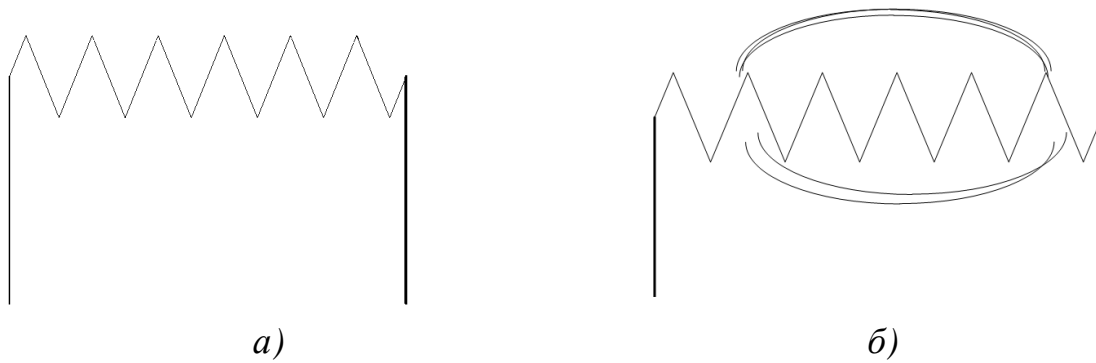


Рис. 6.4

Окрім цього, збільшення пускового струму пов'язане з підвищенням напруги попереднього нагріву на кожному витку спіралі катода, а отже, можливості місцевого міжвиткового розряду (рис. 6.4, б), дуга якого буде шунтувати частину катода, яка буде слабше нагріватися за збільшених витрат енергії та одночасно перегріву й прискореному руйнуванню місць дуги.

Розповсюдження отримав оксидний (напівпровідниковий) катод, оскільки він має такі переваги в порівнянні з плівковими катодами, як:

- 1) низьку роботу виходу електронів ( $\approx 1,6$  eV);
- 2) велику питому емісію ( $\approx 10^4$  А/м<sup>2</sup> за температури 800<sup>o</sup> С), що на порядок більша за емісію вольфрамового або торованого вольфрамового катода;
- 3) висока ефективність (відношення струму емісії до потужності нагріву катода)  $\approx 20$  мА/Вт, тоді як у вольфрамового катода  $\approx 1$  мА/Вт;
- 4) оксидний катод можна виготовляти, як катод з непрямим нагрівом (з окремим нагрівачем), що забезпечує еквіпотенціальність катода, а також велику емісійну поверхню, яка дозволяє створити великий струм емісії ( $\approx 300$  А).

Оксидний катод складається з металевого керна (підкладки-основи), який покривають шаром окислів лугоземельних металів. Як kern частіше використовують нікель і вольфрам. Оксидне покриття є сумішшю ВаО (оксид барія) й SrO (оксид стронція) – двокомпонентний оксид або ВаО, SrO й СаО(оксид кальція) – трикомпонентний оксид.

Для виготовлення оксидних катодів розроблені різні технології. Одним з способів виготовлення таких катодів є нанесення на kern оксидної пасти, яка складається з карбонатів металів (ВаСО<sub>2</sub> й інш.), замішаних для скріплення на речовині, яку називають біндером. Такий катод монтують у трубку ЛЛ. Після прокалювання катода за одночасної вакуумної відкачки карбонати розкладаються на окисли й вуглекислий газ (СО<sub>2</sub>), який відкачують з трубки. Суміш окислів за тривалого нагрівання перетворюється в твердий розчин Ва, Sr, О, який за електричними властивостями є діелектриком. Тому наступним кроком є активація катода. Катод короткочасно нагрівають до температури  $\approx 1000^o$  С, яка більша за нормальну

робочу температуру на  $200^{\circ}\text{C}$ . За температури активації барій частково відновлюється з окислу [3]. Атоми барію розподіляються в об'ємі оксиду й на його поверхні, в результаті перетворюють оксид у напівпровідник з електронною провідністю.

Вигорання біндера та розкладання карбонатів приводять до пористості катода з виникненням шорсткої й неоднорідної поверхні. Тому робота виходу дещо різна на різних ділянках катода, а отже катод має не однорідну, а п'ятнисту емісію, яка приводить до нерівномірності самонагріву катода в робочому режимі (дуговим розрядом).

### **Класифікація ПРА за способом засвічення ламп**

Явища, що відбуваються на катодах підчас засвічення газу значно впливають на термін їх роботи й придатності. В основному він залежить від швидкості витрати нанесеного шару оксиду. За значної витрати оксиду робота виходу електронів зростає, тому навіть за незруйнованої спіралі катода газ в лампі не буде засвічуватися. Можливі способи засвічення газу в РЛ забезпечують за допомогою ПРА, тому їх класифікують за рядом ознак і перш за все за температурним режимом катодів підчас засвічення. Схеми ПРА поділяють на схеми миттєвого (холодного) засвічення, що забезпечують засвічення без попереднього короткочасного розжарювання катодів (іонізація створюється завдяки інтенсивній електростатичній емісії електронів з поверхні катодів) і схеми швидкого засвічення (з попереднім короткочасним розжарюванням катодів), в яких напругу живлення подають одночасно або з деякою затримкою відносно початку попереднього короткочасного розжарювання катодів. Попереднє розжарювання катодів знижує напругу засвічення газу, а тому є можливість знизити розміри й масу ПРА.

За схемами миттєвого засвічення створюють ПРА для всіх розрядних ламп високого й надвисокого тиску, а також для ламп тліючого розряду та інш. Для забезпечення необхідного тривалого терміну використання люмінесцентних ламп, що використовують у схемах миттєвого засвічення, створюють для них катоди спеціальної конструкції, з підвищеною кількістю оксиду. Для забезпечення миттєвого засвічення необхідно створити високу напругу на лампі, тому ПРА миттєвого засвічення ще поділяють на ПРА з трансформацією та без трансформації напруги; на резонансні ПРА; на ПРА з додатковим запускаючим пристроєм; та на комбіновані ПРА.

За схемами швидкого засвічення створюють ПРА для ЛЛ з можливістю, попереднього нагріву катодів, яка забезпечує надійне засвічення. Схеми швидкого засвічення в свою чергу ділять на дві групи — стартерного й безстартерного засвічення. Стартерні ПРА мають додатковий засвічуючий пристрій, який називають стартером, тому їх ще поділяють на ПРА з розрядним стартером; на ПРА з тепловим стартером, та на ПРА з напівпровідниковим стартером. Стартерні ПРА підключають до мережі живлення ЛЛ безпосередньо або через підвищуючий трансформатор чи автотрансформатор, які в цьому випадку входять до ПРА, як складова частина.



За великого різноманіття безстартерних схем ПРА їх додатково розділяють за схемними та конструктивними ознаками: резонансні ПРА; трансформаторні ПРА; комбіновані ПРА – резонансно-трансформаторні; ПРА з напівпровідниковим баластом; високочастотні електронні ПРА (ЕППРА).

### **Контрольні запитання**

1. Від чого залежить напруга засвічення газу та як вона залежить від температури оточуючого середовища?
2. Як напруга засвічення газу залежить від вологості оточуючого середовища?
3. Чому на зниження напруги засвічення газу суттєво впливає попереднє розжарювання катода?
4. Який вид має залежність напруги засвічення газу від температури розжарювання катода? Поясніть як використовують цю залежність.
5. Яку будову мають катоди ЛЛ та які недоліки з цим пов'язані?
6. Чому може виникнути міжвитковий розряд? Які напрями уникнення міжвиткового розряду?
7. Які катоди називають оксидними та чому їх широко використовують?
8. Яка технологія виготовлення оксидних катодів?
9. Як класифікують ПРА за способом засвічення РЛ?

## Тема 7. ІМПУЛЬСНЕ (СТАРТЕРНЕ) ЗАСВІЧЕННЯ ЛЮМІНЕСЦЕНТНИХ ЛАМП

### Стартерне засвічення ЛЛ

Однією з важливих особливостей газового розряду є те, що для засвічення газу в РЛ необхідно спочатку подати на газовий проміжок напругу не меншу за напругу засвічення даного газу, яка завжди більша за робочу напругу розрядної лампи. За холодних катодів напруга засвічення становить  $\approx 1000$  В, що очевидно, значно більше за напругу мережі живлення, а тому виникає необхідність як створення імпульсу (короткочасної) високовольтної напруги додатковим пристроєм, так і можливого перед цим зниження напруги засвічення.

Знизити напругу засвічення можна попереднім (до засвічення) короткочасним розжарюванням катодів. Очевидно, що таке буде створювати відповідну паузу (затримку) між початком розжарювання (вмиканням РЛ) й наступним засвіченням і тривалість паузи буде залежати від ступеня зниження напруги засвічення та величини високої напруги, яку створить додатковий засвічуючий пристрій. Було б добре, коли б цей пристрій створював не тільки високовольтний імпульс, а й можливість попереднього розжарювання катодів. Такий додатковий пристрій називають стартером. Стартер може бути як окремим пристроєм, так і складовою частиною ПРА.

Існує три види стартерів для засвічення РЛ: стартер тліючого розряду, термостартер та напівпровідниковий стартер. Функцією стартера є створення попереднього розжарювання катодів та створення високовольтного засвічуючого імпульсу. Таку дію може виконувати додатковий звичайний вмикач (ключ  $K_1$ , рис. 7.1), який на відміну від ключа  $K$ , що вмикає напругу мережі, з'єднує або роз'єднує катоди ЛЛ.

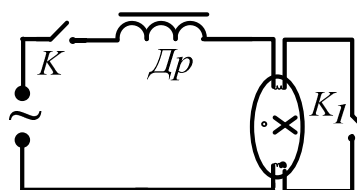


Рис. 7.1

До замикання ключа  $K_1$  на ЛЛ (після замикання ключа  $K$ ) діє напруга мережі, але вона менша за напругу засвічення газу в ЛЛ, тому струм в колі не протікає. Після замикання ключа  $K_1$  катоди ЛЛ з'єднуються послідовно і в колі виникає струм (пусковий), який буде попередньо розжарювати катоди, а газовий проміжок (РЛ) буде закороченим, тобто на електродах ЛЛ буде однаковий потенціал. Величина струму попереднього розжарювання  $I_{np}$ , очевидно, буде не меншою за робочий струм, величину якого визначають

опором баласту, тобто дроселем  $Dp$  та опорами катодів. Розжарювання катодів приводить до виникнення термоелектронної емісії, яка в свою чергу викличе зниження напруги засвічення. Чим триваліше ключ  $K$  буде в замкнутому положенні, тим ефективнішою буде дія термоелектронної емісії. При розмиканні ключа, відповідно до закону фізики [4, 5], в колі виникне електрорушійна сила самоіндукції ( $E.P.C.$ ), величина якої пропорційна швидкості зникнення струму:  $E = -L(di/dt)$ . Оскільки розмикання ключа відбувається швидко, а індуктивність кола  $L$  велика (наявність дроселя), то величина  $E.P.C.$  буде короткочасною, але значно більшою за напругу мережі. Якщо енергія імпульсу буде достатньою для засвічення газу, то ЛЛ засвітиться. Енергія буде достатньою, якщо імпульс діятиме не миттєво, а відповідний час ( $\approx 1$  мс) для того, щоб у газі накопичилось достатньо зарядів, і його амплітуда буде більшою за напругу засвічення газу, а також інтенсивність термоелектронної емісії від попереднього нагріву катодів буде такою, що при розімкненні ключа  $K_1$ , охолодження катодів не приведе до суттєвої рекомбінації зарядів (деіонізації). Після розімкнення ключа  $K_1$  і засвічення газу через ЛЛ потече робочий струм розряду й лампа засвітиться.

### Будова й принцип роботи стартера тліючого розряду

Для автоматизації процесу засвічення РЛ ключ  $K_1$  замінено додатковим пристроєм – стартером.

Стартер тліючого розряду (рис. 7.2, а) складається з герметичної скляної колби 3, запаяної з одного боку та з герметичним цоколем 6 - з другого. У цоколь уварені два циліндричних електрода (з нікеля) 2, діаметром близько 0,5 мм з електричними відводами 1. До одного з електродів приварена біметалева пластина 4, вільний кінець якої розміщений біля електрода 2, а колба наповнена сумішшю газів (Ar, Ne, Xe, Kr) за тиском близько 10 мм.рт.ст=10 торр.

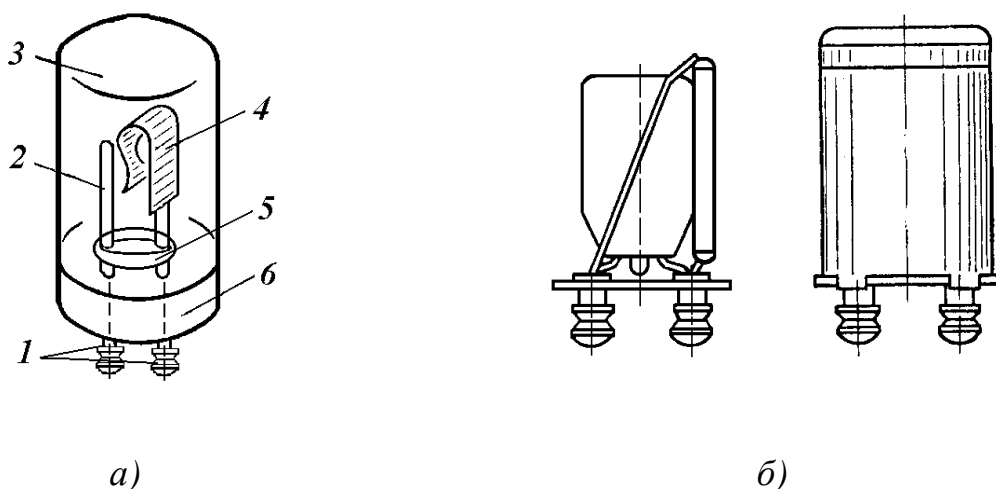


Рис. 7.2

Біметалева пластина (рис. 7.3), що може бути виготовлена як у вигляді дужки, так і стрічки, складається з двох зварених між собою металів (1,2), один з яких має більший коефіцієнт теплового розширення, ніж інший. Тому, якщо таку пластину нагрівати, то вона вигинається в бік металу, з меншим коефіцієнтом теплового розширення, а якщо остудити, то повернеться в початковий стан.

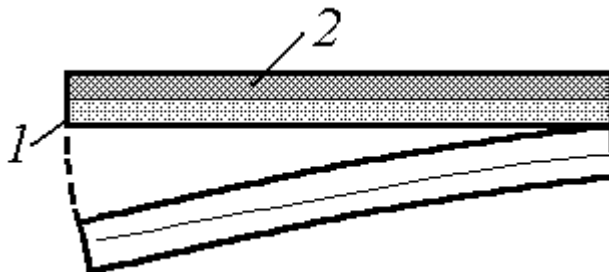


Рис. 7.3

Біметалеві пластини широко використовують у різних теплових реле. У стартері біметалева пластина розміщена так, що метал з меншим коефіцієнтом теплового розширення знаходиться з боку електрода 2, тому при нагріванні вона буде вигинатися в бік електрода 2 до моменту торкання. За такої конструкції стартер називають несиметричним стартером тліючого розряду. Деякі світлотехнічні фірми виготовляють симетричні стартери тліючого розряду, де біметалева пластина у вигляді стрічки приварена до кожного електрода. Загальний вигляд стартера наведено на рис. 7.2, б.

Робота стартера подібна до роботи ключа  $K_1$ , але з відповідними особливостями, що визначаються конструктивною будовою стартера. Роботу стартера можна розділити на чотири етапи:

1. Перший етап непродуктивний – етап засвічення тліючого розряду. На цьому етапі на стартер подають напругу мережі (після замикання ключа  $K$ ). Амплітуда напруги мережі має бути не меншою за напругу засвічення газу в стартері. У результаті в стартері виникає тліючий розряд між нерухомим електродом і біметалевою пластинною, що триває  $\approx 0,3$  с. Струм тліючого розряду (він незначний,  $\approx 30$  мА й створюється направленим рухом не тільки електронів, що виникли від електростатичної (холодної) емісії, а й іонами, що з'являються в газі) нагріває біметалеву пластину й вона починає вигинатися в напрямі до іншого електрода, поки не замкнеться з ним.
2. Другий етап починається з моменту замикання біметалевої пластини з іншим електродом. Тліючий розряд зникає й через стартер починає протікати електронний струм короткого замикання електродів (величина цього струму в електричній схемі вмикання РЛ – це фактично струм попереднього нагріву ЛЛ, буде близькою до робочого струму РЛ – для ЛЛ 40Вт  $\approx 0,4$  А, тобто в 10 разів більшою за струм тліючого розряду). Цей струм буде протікати, поки пластина замкнута з електродом  $\sim 0,6$  с. Щоб цей струм не

розжарював електроди стартера, їх виробляють з відповідним діаметром. Оскільки тліючий розряд зник, то біметалева пластина почне охолоджуватися молекулами газу, що наповнюють стартер й настане момент, коли вона розімкнеться з іншим електродом. У момент розмикання виникає високовольтний імпульс.

3. Третій етап - це повторення першого, якщо високовольтний імпульс не засвітить газ в ЛЛ. У стартері виникне тліючий розряд, який почне знову нагрівати біметалеву пластину.

4. Четвертий етап – повторення другого.

На рис. 7.4 наведені динамічні ВАХ стартера тліючого розряду, що засвічує ЛЛ за схемою рис. 7.5. Звичайно засвічення ЛЛ не відбувається після першого розмикання електродів стартера (другий етап), оскільки тривалість цього етапу  $t_2 - t_1$  (попередній нагрів електродів ЛЛ – коротке замикання електродів стартера) мала, тому додається третій, четвертий та інші етапи, поки ЛЛ не засвітиться і через неї потече робочий струм розряду  $I_{л}$ , а на електродах стартера встановиться робоча напруга лампи  $U_{л}$ .

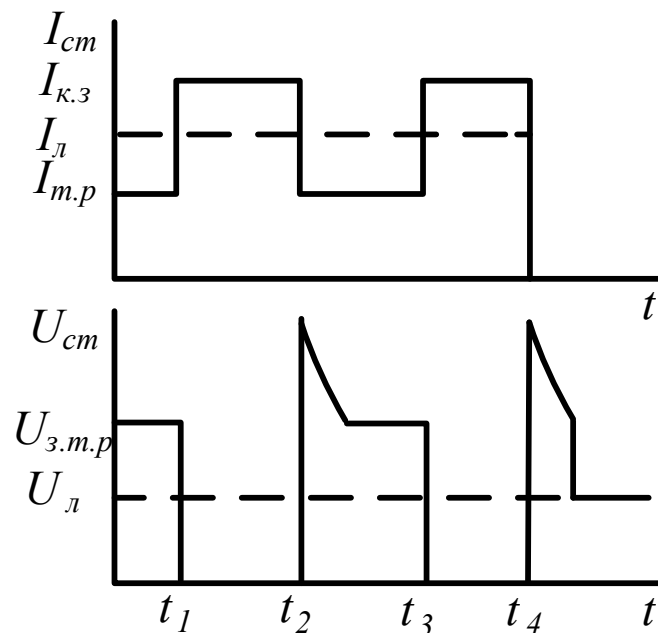


Рис. 7.4

Стартер, як і ключ  $K_1$ , підключають паралельно до ЛЛ, тому після засвічення ЛЛ він стає непотрібним, але цього можна досягти тільки тоді, коли напруга на стартері стане меншою за напругу засвічення в ньому тліючого розряду. Тобто, щоб стартер перестав працювати після засвічення ЛЛ, напруга засвічення газу в стартері має бути більшою за робочу ЛЛ і меншою за амплітудне значення напруги мережі живлення ЛЛ:  $U_m < U_{z.m.p} > U_l$ . Напругу засвічення стартера визначають у залежності від напруги мережі живлення ( $\sim 220$  В або  $\sim 127$  В), а робоча напруга лампи  $\sim U_m/2$ . Тому умова роботи стартера виконана. Щоб енергія високовольтного імпульсу була достанньою для засвічення ЛЛ, паралельно до електродів стартера приєднують

стартерний конденсатор  $C$  (рис. 7.5), ємністю  $\sim 0,033$  мкФ. Стартерний конденсатор понижує амплітуду імпульса до  $\sim 1000$  В, але й одночасно збільшує його тривалість приблизно в 300 разів, таким чином підвищує надійність засвічення ЛЛ і скорочує число етапів роботи стартера перед засвіченням ЛЛ. Стартерний конденсатор, а також інші ємності в ПРА є одним з вразливих елементів, тому до нього виставляють високі вимоги з електричної надійності (робоча напруга має в 1,5 рази перевищувати напругу імпульса). Монтується він з відповідною ізоляцією в корпусі стартера (рис. 7.2 б). За роботи РЛ генерує шумові високочастотні радіоколивання в широкому діапазоні, які заважають радіопередачам як через випромінення ефіром, так і проникненням через спільну мережу живлення. Для ефективного пониження цих радіовад до схем вмикання РЛ додають ємнісний фільтр  $C_\phi$ , з'єднаний з землею світильника в серединній точці, хоча стартерний конденсатор також понижує радіовади.

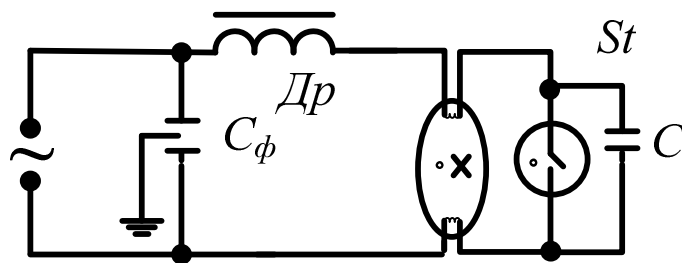


Рис. 7.5

### Переваги й недоліки стартера тліючого розряду

До переваг стартера тліючого розряду відносять його просту конструкцію, дешевизну виготовлення й те, що за працюючої лампи стартер не споживає енергію.

До недоліків відносять наявність непродуктивного етапу роботи; ненадійність механічної конструкції й пов'язаний з цим розкид напруги засвічення (відповідну початкову відстань між електродами стартера, на яку ще може впливати його робота, важко встановити, тому електроди скріплюють скляною бусинкою 5( рис. 7.2), хоча зазор між електродами в кожному стартері є величиною випадковою); мала тривалість попереднього нагріву електродів ЛЛ, а тому незасвічення лампи з першої спроби, тобто наявність декількох спроб; можливість залипання електродів при розмиканні після контакту (при розмиканні електродів між ними виникає дуговий розряд, який розплавляє метал електродів і крапелька розплавленого металу після охолодження приварює один електрод до іншого); явища, що відбуваються в стартері протягом його експлуатації (розпилення електродів, зниження роботи виходу електронів та інш.) викликають поступове зниження напруги засвічення газу в стартері. Тоді як явища, що протікають в РЛ протягом її використання, призводять зниження її робочої напруги (процес старіння лампи) і це може

привести до того, що стартер почне засвічуватися при працюючій лампі, і після замикання електродів стартера РЛ погасне, а потім знову засвітиться, тобто почне мигати, а не світити. Стартерний конденсатор  $C$  (рис. 7.5) понижує ймовірність залипання, оскільки понижує амплітуду високовольтного імпульсу. Процес пониження напруги засвічення стартера визначає термін використання стартера. Старий стартер, як і стартер з привареними електродами замінюють (інколи електроди роз'єднуються, якщо постукати по колбі стартера).

### Будова й принцип роботи термостартера

З метою зменшення недоліків роботи стартера тліючого розряду та підвищенню ймовірності засвічення РЛ за пониженої ймовірності холодного засвічення лампи, був розроблений інший стартер – термостартер, в якому не створюється тліючий розряд, тобто відсутній перший непродуктивний етап.

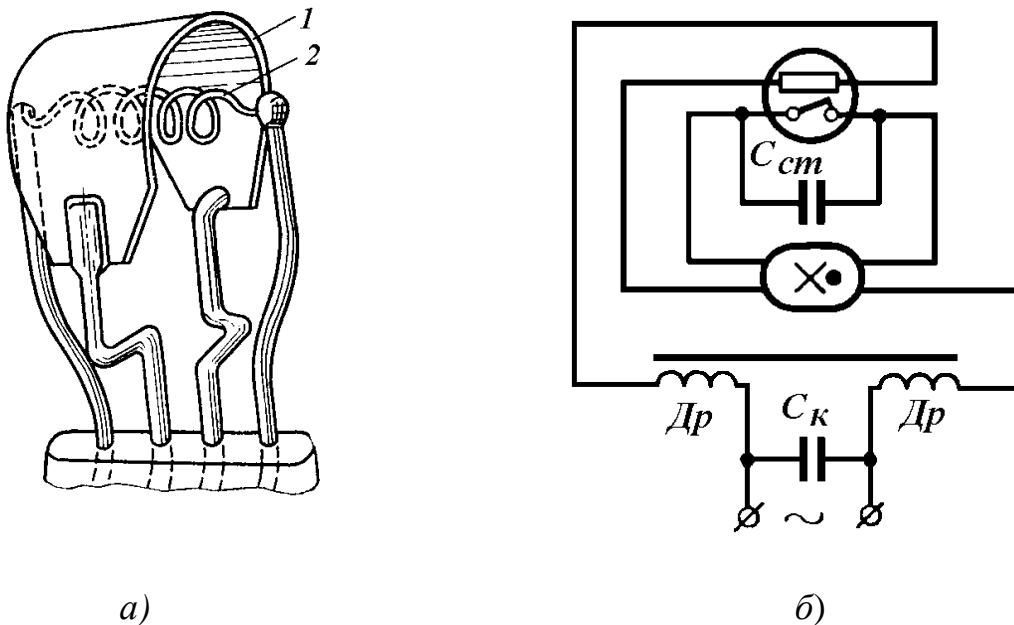


Рис. 7.6

Термостартер (рис. 7.6 а) складається з скляної колби під вакуумом, всередині якої розміщено не два, а чотири електроди: два з них розміщені як і в стартері тліючого розряду – один з біметалевою пластинкою 1, але на відміну вона в початковому стані знаходиться в контакті з іншим електродом; до двох останніх електродів приварена спіраль 2, що служить тілом для радіаційного нагрівання біметалевої пластинки. Струм, що протікає через спіраль буде розжарювати її й виділене тепло нагріє біметалеву пластинку, яка в результаті вигнеться й розімкне контакт.

Схема вмикання ЛЛ з тепловим стартером наведена на рис. 7.6, б. Для здійснення нагрівання біметалевої пластинки спіраль підключають послідовно з РЛ, так щоб протікаючий струм завжди розжарював її, як до засвічення ЛЛ, так і після. Електроди стартера (біметалевої пластинки) підключають паралельно до ЛЛ, як і зі стартером тліючого розряду. Стартерний конденсатор також вмонтований у корпус стартера. Після приєднання до мережі живлення,

оскільки електроди стартера замкнені, по колу зразу потече струм пропереднього розжарювання електродів ЛЛ. Цей же струм потече й через спіраль стартера та викличе їх розжарювання, а отже й радіаційне нагрівання біметалевої пластинки. Розмикання контактів стартера викличе появу високовольтного імпульсу, що засвітить газ в ЛЛ. Після засвічення через лампу потече робочий струм, який буде також розжарювати тіло нагріву, а отже, підтримувати контакти стартера в розімкненому стані. Для зменшення радіовад у наведеній схемі застосовують симетричний дросель, на відміну від несиметричного, що на схемі рис. 7.5, а також використовують конденсатор  $C_K$ , призначений для компенсації зсуву фази струму. Тому схему на рис.7.6,б називають компенсованою, тобто з підвищеним коефіцієнтом потужності.

До переваг теплового стартера в порівнянні зі стартером тліючого розряду відносять надійність засвічення лампи, тобто з першої спроби та відсутність непродуктивного етапу роботи.

До недоліків відносять більшу конструктивну складність (збільшена кількість електродів, значить складніше гніздо приєднання), додаткова витрата потужності, що йде на постійний нагрів тіла нагріву, необхідність тривалого часу  $\sim 5$  хв для охолодження біметалевої пластинки й наступного замикання контактів стартера, якщо засвічення лампи не відбулося з першої спроби.

Загальним недоліком стартерного засвічення є наявність паузи між вмиканням (приєднанням до мережі живлення) і засвіченням ЛЛ. Збільшення надійності засвічення, а отже терміну роботи ЛЛ, приводить до необхідності збільшення такої паузи.

### Дослідження роботи стартерів РЛ

Для дослідження роботи стартерів застосовують схеми з самописцем (наприклад, схема на рис. 7.7) або з осцилографом для зняття динамічних ВАХ, а також пірометри для вимірювання температури нагріву біметалевої пластинки та електродів ЛЛ.

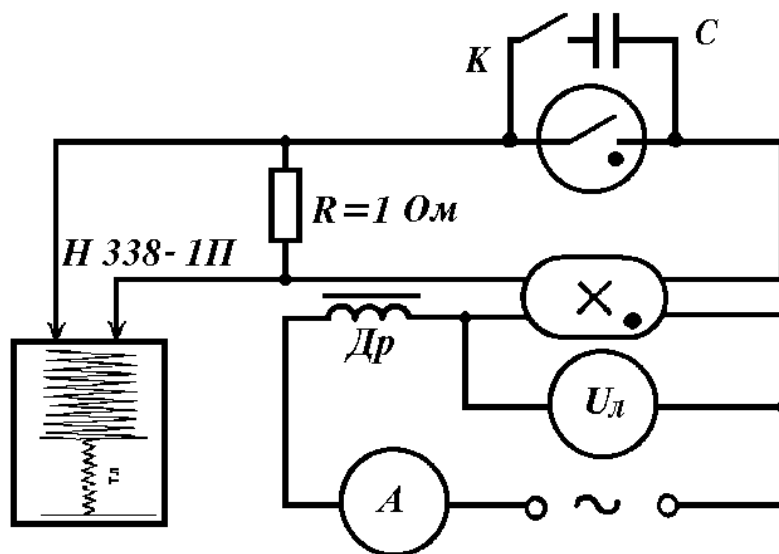


Рис. 7.7



Послідовно зі стартером включено додатковий резистор  $R$ , з опором 0,2-1,0 Ом. Резистор може бути замінений магазином опорів типу Р-33, на якому встановлюють за допомогою перемикачів указаний опір. Падіння напруги з додаткового резистора подають на швидкодіючий самописний прилад типу Н338-ІІІ або осцилограф. Напруга мережі може бути змінена за допомогою ЛАТРу (лабораторного автотрансформатора).

Швидкодіючий самописний прилад типу Н338-ІІІ – це паперово-механічний осцилограф. Крива напруги, що залежить від струму, який протікає через стартер (струм тліючого розряду або пусковий струм), відтворюється чорнильним пером самописця на паперовій стрічці в напрямі, перпендикулярному до її переміщення, що здійснюється з відповідною швидкістю механічним пристроєм у самописці. Зручна амплітуда відхилення пера регулюється дільником напруги, а швидкість руху (розгортка) стрічки – відповідними кнопками на самописці. Таким чином завжди можна отримати зручний вигляд записаної залежності напруги від заданої швидкості розгортки.

Протягом тліючого розряду на опорі  $R$  буде напруга, що пропорційна струму тліючого розряду, а після замикання біметалевої пластинки – струму попереднього нагріву електродів ЛЛ, тому з амплітуди відхилення пера можна вирахувати амплітуди цих струмів, а з довжини запису на стрічці й тривалість цих етапів. При цьому необхідно враховувати встановлені величини швидкості розгортки та дільника відхилення пера, та заправляти паперову стрічку відповідної довжини. Для дослідження впливу стартерного конденсатора необхідно замкнути ключ  $K$ . Після засвічення газу в ЛЛ на стартері діє робоча напруга ЛЛ, що менша за напругу засвічення стартера, тому через стартер, а отже через опір  $R$ , струм не протікає й перо залишиться нерухомим (буде писати пряму лінію без відхилень). Діючий робочий струм та робочу напругу ЛЛ вимірюють відповідно амперметром і вольтметром для порівняння.

На відповідність вимірювань впливає попередній температурний стан як електродів стартера, так і ЛЛ. Тому після кожного вимірювання й непрацюючій лампі необхідно робити паузи тривалістю не менше однієї хвилини для їх охолодження. Температуру вимірюють пірометром, наведенням його об'єктива на відповідні поверхні електродів.

### **Аналіз електричних схем стартерного вмикання ЛЛ з ємнісним баластом**

Широке практичне застосування в різних схемах вмикання ЛЛ отримав змішаний індуктивно-ємнісний баласт, який є послідовно з'єднаними конденсатором  $C_б$  і дроселем з індуктивністю  $L_{др}$  (рис. 7.8). Дросель додають 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:

$$I_l = \frac{U_б}{\frac{1}{\omega C_б} - \omega L_{др}}. \quad (7.1)$$

Очевидно, що величина індуктивності дроселя необхідно буде відрізнятися від індуктивності дроселя, який застосовують у схемі з індуктивним баластом (рис. 7.5).

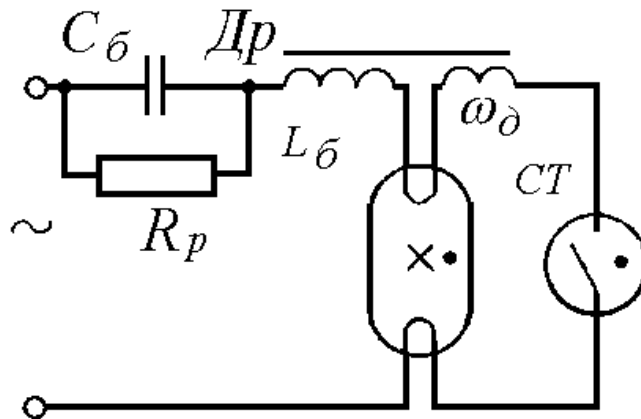


Рис. 7.8

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 обвиткою  $\omega_{\delta}$ , яку включають в коло стартера, а величина пускового струму може знаходитися в межах 0,9- 2 від номінального робочого струму лампи.

Можна використати й звичайний уніфікований дросель (симетричний або несиметричний) без додаткової обвитки, але тоді баластний конденсатор вибирають з допуском відхилення величини не більше  $\pm 4\%$ , а дросель – з високими вимогами до точності налаштування.

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

$$C_{\delta} = \frac{I_{л.н}}{2\omega U_{м} \sin \left[ \arccos \frac{P_{л.н} + P_{в.др}}{U_{м} I_{л.н}} \right]}, \quad (7.2)$$

де  $\omega$  – циклічна частота напруги мережі ( $\omega = 2\pi f$ ),  $f$  в Гц;  $I_{л.н}$  – номінальний робочий струм лампи, А;  $U_{м}$  – 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 його конструктивних розмірів та електричних характеристик (чим менші розміри, тим вищі втрати), до того ж, в індуктивно-ємнісних вона більша. Тому для ЛЛ потужністю 30 Вт вона складає 30 % від потужності ЛЛ, для ЛЛ 40 Вт – 27%, а для ЛЛ 65 Вт – 25%.

Після вимикання світильника з 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 зниження цієї напруги до 50 В і менше через 1 хв. після відключення схеми від мережі, паралельно до баластного конденсатора приєднують розрядний резистор, величину якого розраховують за формулою:

$$R_p = \frac{26}{C_b \lg(1,4U / 50)}, \text{ Ом}, \quad (7.3)$$

де  $C_b$  – ємність баластного конденсатора в мкФ;  $U$  – діюча напруга конденсатора, В.

Так, для конденсаторів ємністю до 15 мкФ рекомендують 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.

### Схеми з трансформацією напруги живлення

Практично іноді напруга мережі живлення може бути більшою за робочу напругу на ЛЛ не в два рази, а значно більше, або, навпаки, робоча напруга ЛЛ близька до напруги мережі. Тому виникає необхідність введення до схем трансформатора (рис. 7.9, а) або автотрансформатора (рис. 7.9, б).

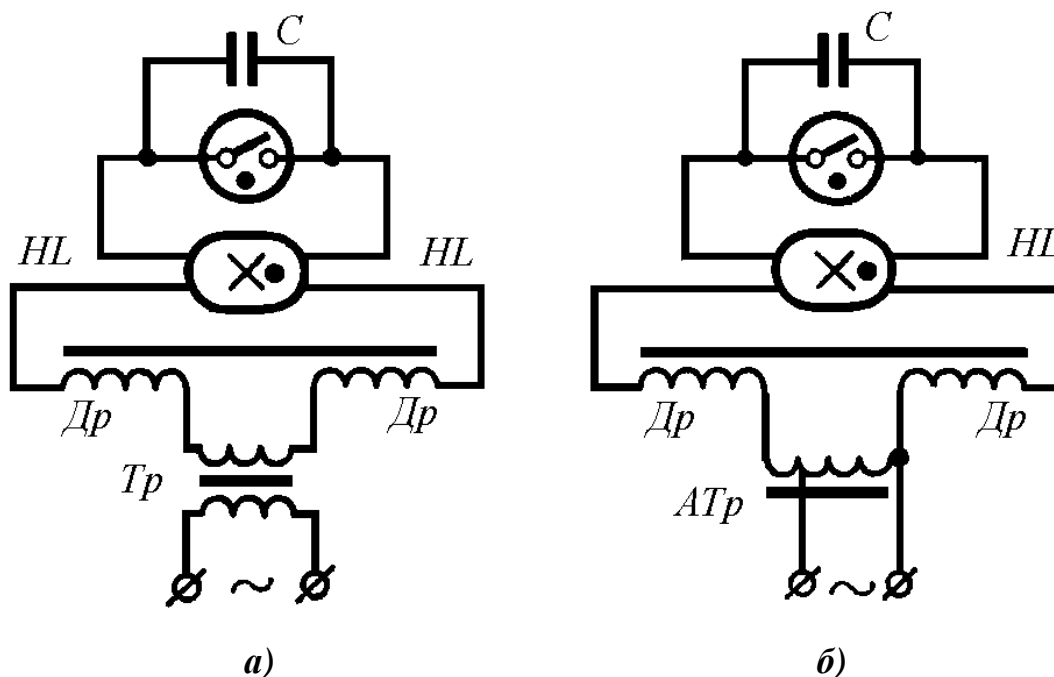


Рис. 7.9

Трансформатори вигідно з економічних міркувань використовувати за великих коефіцієнтів трансформації, а автотрансформатори – за малих.

Інколи, з метою забезпечення більшої тривалості використання ЛЛ, застосовують стартерні схеми з понижуючим трансформатором для попереднього розжарення катодів (рис. 7.10).

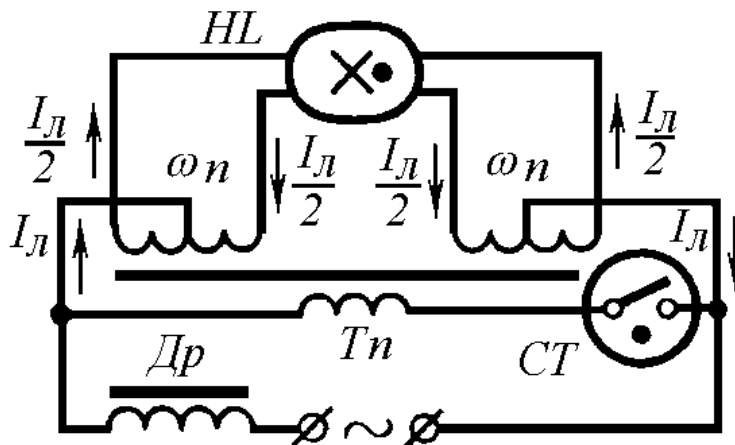


Рис. 7.10

Первинна обвитка трансформатора попереднього розжарення катодів підключена до мережі живлення через стартер, а дві вторинні, що мають відводи які ділять обвитки на дві рівні частини, живлять катоди ЛЛ. Відводи вторинних обмоток приєднані до дротів живлення лампи. При замиканні контактів стартера первинна обвитка буде приєднана до мережі живлення і через неї потече струм, що наведе у вторинних обмотках електрорушійну силу індукції, яка викличе струм попереднього розжарення катодів. При розмиканні контактів стартера виникне високовольтний імпульс, що засвітить газ в ЛЛ і через неї потече робочий струм, який поділиться порівну в дротах, що живлять електроди ЛЛ. За цієї причини кінці електродів будуть мати приблизно однаковий температурний режим, тому катодні плями з'являться на обох кінцях електрода. За рівності струмів, завдяки серединному відводу, осердя трансформатора буде повністю розмагніченим. Порушення балансу рівності струмів викличе електрорушійну силу розбалансу, що вирівня ці струми. Оскільки стартер приєднаний до первинної обвитки трансформатора розжарення, то пусковий струм стартера буде меншим, ніж у звичайній стартерній схемі, що полегшить його режим роботи. Тому вибір стартера буде менше залежати від потужності ЛЛ. Робота з двома катодними плямами збільшує термін використання ЛЛ.

### Дволампові схеми стартерного вмикання РЛ

Інколи виникає необхідність використання ЛЛ з потужністю 15 або 20 Вт у мережі живлення 220 В. З економічних міркувань такі ЛЛ можна використати в дволампових схемах послідовного з'єднання, що отримали широке розповсюдження (рис. 7.11). При послідовному з'єднанні двох ЛЛ загальна робоча напруга буде орієнтовно 120 В, що становить приблизно половину напруги мережі живлення.

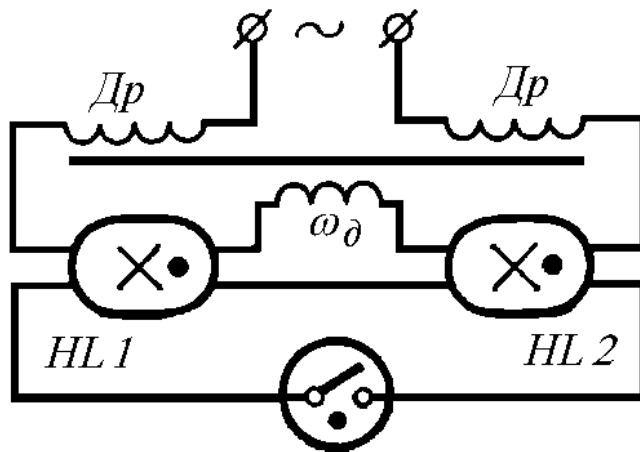


Рис. 7.11

Баластний дросель вибирають стандартний, але з потужністю, що дорівнює сумі потужностей двох ЛЛ, або спеціальний дросель для схем послідовного з'єднання двох ламп. Необхідно зауважити, що в таких схемах забороняється використовувати ЛЛ різної потужності. Лампи мають мати обов'язково однакові потужності. У схемі використовують один стартер з робочою напругою, що відповідає напрузі мережі, але дросель з додатковою обвиткою для попереднього розжарення середніх катодів, тобто обвиткою з подвособною напругою розжарення катодів ЛЛ. Така схема більш надійна за схему без додаткової обвитки, але з двома стартерами (для кожної лампи), що мають у два рази меншу робочу напругу.

Недоліком таких схем є неможливість засвічення світильника, якщо одна з ламп вийде з ладу (наприклад, порушиться один з катодів), або якщо в схемі без додаткової обвитки вийде з ладу хоча б тільки один зі стартерів, навіть за нормальних ламп, оскільки це призведе розрив кола загального струму.

Значно ефективними є спеціальні схеми паралельного з'єднання двох ламп. Такі схеми розглянемо в наступних темах.

### Контрольні запитання

1. Призначення стартерів і вимоги до них.
2. Поясніть будову й принцип дії стартерів тліючого розряду та термостартерів.
3. Наведіть переваги та недоліки стартерів тліючого розряду.
4. Наведіть переваги та недоліки термостартерів.
5. Наведіть електричні характеристики стартерів і вплив на них коливання напруги в мережі.
6. Наведіть вимоги, що ставлять до стартерів, а також поясніть в якому разі стартер не буде впливати на роботу засвіченої ЛЛ?
7. Поясніть необхідність стартерного конденсатора і наведіть вимоги до нього.
8. Поясніть за якої необхідності в розрядних стартерах застосовують

суміш газів?

9. Наведіть та зробіть аналіз схеми вмикання ЛЛ зі стартером тліючого розряду.
10. Наведіть та зробіть аналіз схеми вмикання ЛЛ з тепловим стартером.
11. Наведіть та зробіть аналіз схеми дослідження роботи стартерів.
12. Поясніть як за записами на паперовій стрічці самописця можна отримати значення електричних характеристик стартера.

## Тема 8. ВИМОГИ ДО СТАРТЕРНИХ ПУСКОРЕГУЛЮЮЧИХ АПАРАТІВ ЛЛ

### Вимоги до стартерних ПРА ЛЛ

До основних вимог, що ставлять до стартерних ПРА, відносять такі:

1. ПРА має забезпечити пусковий струм за коливань напруги мережі ( $\pm 10\%$  від номінального значення) в межах 0,9 – 2,0 від робочого струму ЛЛ.
2. Робочий струм ЛЛ з відповідним ПРА не має перевищувати 1,15 струму цієї ж ЛЛ, але зі зразковим вимірювальним дроселем (ЗВД) за номінальної напруги мережі живлення. Допускають що стартерні ПРА ЛЛ мають розкид робочого струму в межах 20—30 % від номінальної величини.
3. ПРА має забезпечити потужність ЛЛ не нижче 0,85 від потужності цієї ж ЛЛ з ЗВД при зменшенні напруги мережі на  $-10\%$  від номінального значення, а також не вище 1,15 від потужності цієї ж ЛЛ з ЗВД при збільшенні напруги мережі на  $+10\%$  від номінального значення.
4. Коефіцієнт амплітуди струму лампи, не має перевищувати 1,7.

Нормування зазначених параметрів має забезпечити нормальну роботу ЛЛ і номінальний термін її використання. Окрім цього ПРА мають відповідати додатковим вимогам, що пов'язані з самим ПРА. Величину втрат потужності в ПРА визначають конструкцією, рівнем шуму, масою магнітного осердя, параметрами обвитки. Втрати потужності в дроселі обернено пропорційні його розмірам – зменшення розмірів дроселя веде до зростання втрат у ньому. Втрати в ПРА понижують загальну світлову віддачу комплекта ПРА + ЛЛ.

Елементи ПРА мають задовольняти вимогам електричної стійкості та опору ізоляції. Ці вимоги називають параметрами електробезпеки, оскільки вони забезпечують безпеку людей від ураження електричним струмом та є запобіжними від виникнення коротких замикань в ПРА, тобто забезпечують пожежну безпеку. Оскільки протікання струму через обвитку дроселя та втрати в ньому викликають його нагрівання, то температуру нагріву обвитки, корпусу дроселя й конденсаторів ПРА нормують з метою забезпечення терміну його роботи близько 10 років, а також враховують можливість створення охолодження змонтованих ПРА. Так, наприклад, температура обвитки має не перевищувати  $60^{\circ}\text{C}$  у робочому режимі й  $130^{\circ}\text{C}$  – в аварійному; температура корпусу ПРА –  $60^{\circ}\text{C}$  у робочому режимі й  $130^{\circ}\text{C}$  – в аварійному; температура корпусу конденсатора має бути на  $35^{\circ}\text{C}$  нижчою за гранично допустиму для нього.

### Позначення стартерних ПРА

В умовному позначенні стартерних ПРА є цифра, яка показує кількість ЛЛ, що використовують з цим ПРА; літерне позначення УБ; літеру, що позначає фазу струму (І – індуктивний, Є – ємнісний, К – компенсований); відношення чисел: у чисельнику – потужність ЛЛ, у знаменнику – номінальна напруга мережі живлення; літеру, що вказує на конструктивне виконання корпусу (В – вмонтоване, Н – незалежне); літеру, що вказує на рівень шуму,

який створює ПРА (без літери – нормальний рівень, П – понижений, ПП – особливо понижений). Наприклад, 1УБІ-40.220-Н ПП-030.

Для апаратів типу 1УБІ та 1УБЄ, які використовують в одному світильнику, аналогом може бути дволамповий апарат типу 2УБК з розщепленою фазою. Виробництво апаратів поелементного виконання більш доцільне з міркувань як уніфікації виробництва, так і з пониження рівня шуму.

### Використання напівпровідників у схемах засвічення ЛЛ

Розвиток напівпровідникової техніки, її мініатюрність забезпечили широке використання напівпровідникової елементної бази в схемах засвічення РЛ. Так терморезистори з від'ємним температурним коефіцієнтом (рис. 8.1, а) і діоди (рис. 8.1, б) використовують для шунтування катодів ЛЛ з метою створення режиму роботи з двома катодними плямами.

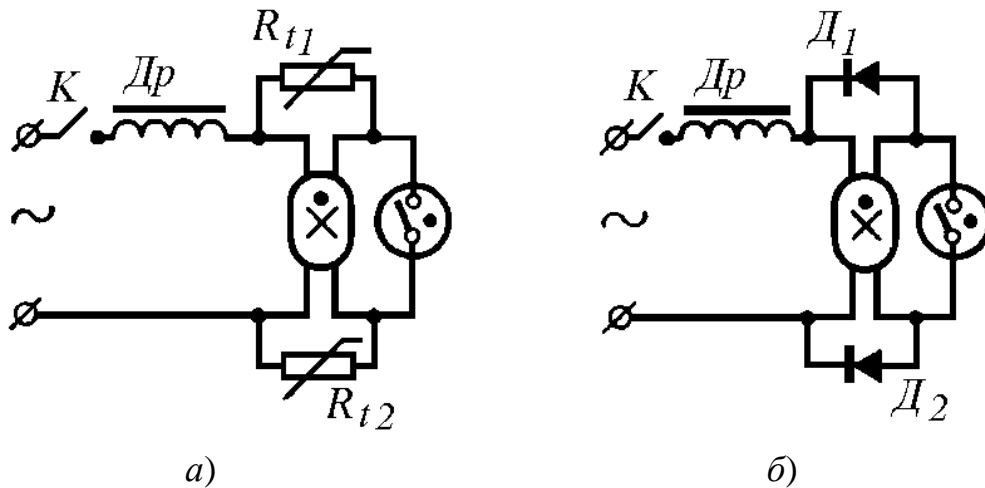


Рис. 8.1

Після замикання ключа  $K$  на ЛЛ подана напруга мережі, яка не засвічує газ у лампі, але засвічує тліючий розряд у стартері. Коли контакти стартера замкнуться, потече струм попереднього нагріву катодів ЛЛ, який також почне нагрівати й терморезистори  $R_t$  (рис. 8.1,а). Оскільки в ненагрітому стані опір терморезистора в десять разів більший, ніж в нагрітому, то майже 90% пускового струму буде протікати через катоди ЛЛ, що й забезпечить їх попереднє нагрівання й наступне засвічення ЛЛ. Робочий струм лампи буде протікати не тільки через катоди, ай через терморезистори. Через  $\approx 20$  с терморезистор нагріється, його опір знизиться до найменшої величини й настане термодинамічна рівновага. Якщо вибрати терморезистор з мінімальним опором, що дорівнює опору розігрітого катода, то робочий струм розподілиться між ними порівну, а кінці катода будуть мати однаковий потенціал. Отже ЛЛ буде працювати в режимі з двома катодними плямами. Наявність терморезистора, що шунтує катод, забезпечує захист ЛЛ від перенавантаження в разі замикання контактів стартера. Тоді розігрітий терморезистор буде через себе пропускати



половину пускового струму й катода ЛЛ будуть захищені від перенавантаження.

Недоліком такої схеми є необхідність деякого часу на охолодження терморезистора для переходу його в початковий стан у разі короткочасного відключення напруги живлення ЛЛ й наступного її засвічення. Якщо терморезистор не охолоне для переходу в початковий стан, то його шунтуюча дія приведе до недогріву катодів, а отже до холодного засвічення.

В якості шунтів можна використати напівпровідникові діоди, що приєднані до катодів зустрічно (рис. 8.1, б). Пусковий струм буде протікати через кожний діод тільки в різні напівперіоди, тому тільки через 0,01 с він досягне встановленої величини. У робочому режимі струм буде протікати через діод, що шунтує електрод лампи, який працює як катод, тому струм буде текти через два кінці й переміщення катодної плями буде зменшувати струм, що тече через катод, струм через відкритий шунтуючий діод буде зростати. Отже, за період загальний струм буде в середньому меншим за номінальний в кожній частині катода, тому температура катодної плями буде меншою, а площа – більшою в порівнянні зі звичайною стартерною схемою. У результаті світлова віддача зростає на 4-5 %; декілька зростає термін використання ЛЛ і зменшується втрата потужності в лампі.

Інші напівпровідникові елементи, такі як динистори, позистори, фоторезистори й тиристри, з їх перевагами й недоліками, також використовують, наприклад, для заміни стартерів або для полегшення засвічення ЛЛ (див. [6-9]), але більшу перспективу розвитку в заміні звичайних стартерів отримали напівпровідникові електронні стартери.

### Електронний стартер

Мінітюаризація напівпровідникової елементної бази, наявність багатofункціональних інтегральних мікросхем дозволило створити різноманітні схеми електронних стартерів, які працюють без недоліків звичайного стартера і які легко розмістити в корпусі звичайного стартера, тобто не створювати нового монтування в світильниках. Принцип роботи електронних стартерів подібний до роботи стартера тліючого розряду, вони виконують ті ж функції, але не мають у своїй будові механічних рухомих контактів. На рис. 8.2 наведена одна з багатьох принципових схем електронного стартера, що має два функціональних вузла: в основі інтегральна мікросхема (UBA 2000T) зі стандартним восьмивідводним корпусом (SO-8) й зовнішній силовий електронний ключ VS (несиметричний високовольтний *p-n-p-n* тиристор TN -22), який має малий вхідний струм (струм керуючого електроду). Діод VD5 захищає тиристор від напруги зворотної полярності. Мікросхема забезпечує всю послідовність дій, що необхідні для засвічення ЛЛ.

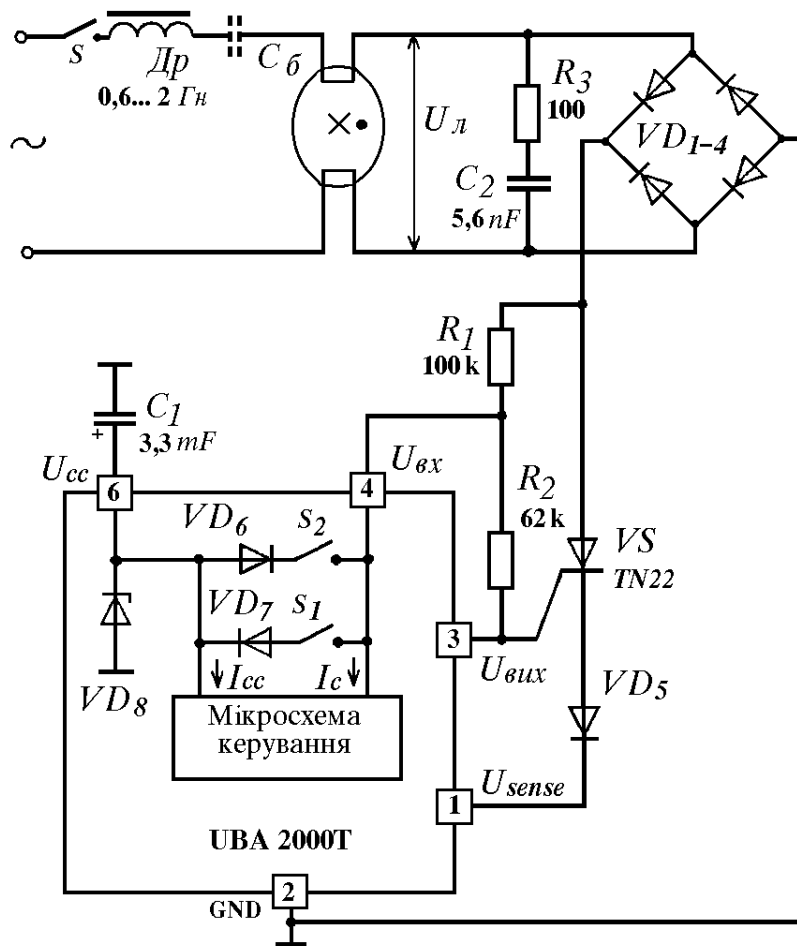


Рис.8.2

Схема працює наступним чином. Після замикання зовнішнього ключа  $S$  на ЛЛ подається напруга промислової мережі живлення, яка через електроди лампи подається також на зовнішній діодний випрямляч  $VD1-VD4$  і після випрямлення через дільник до необхідного рівня із зовнішніх опорів  $R1, R2$  подається на мікросхему як зовнішнє джерело живлення  $U_{vx}$ . Через тригерний ключ  $S1$  мікросхеми, що замикається, ця напруга буде заряджати буферний конденсатор  $C1$ . Напругу  $U_{cc}$  на конденсаторі, що заряджається, використовують для запуску внутрішнього джерела живлення мікросхеми стабілізованим струмом, що не залежить від напруги заряду конденсатора. Мікросхемний стабілітрон обмежує напругу на відводі 6 мікросхеми на стартовому максимальному рівні  $U_{cc,s}$ . Коли напруга на  $C1$  досягне стартового рівня і напруга мережі буде на рівні, що близький до амплітудного, в мікросхемі формується вихідна напруга  $U_{vix}$ , що відкриє силовий зовнішній тиристор і через електроди ЛЛ, тиристор та інтегрований датчик струму (через відвід 1 мікросхеми на внутрішню мікросхему керування) потече струм попереднього прогріву катодів ЛЛ. Отже, прогрівання катодів при вмиканні ключа  $S$  відбудеться не миттєво, а через проміжок часу досягнення напруги заряду конденсатора стартового рівня. Після замикання тиристорного ключа, напруга на конденсатор  $C1$  не поступає, тому він починає розряджатися

протягом усього часу попереднього прогріву. Цей час дорівнює 1,52 с і відраховується внутрішнім лічильником, тактовою частотою якого є частота мережі живлення 50 Гц. Завдяки цьому час прогрівання катодів витримується дуже точно. Після прогрівання катодів ЛЛ і в момент, коли напруга  $U_{sense}$ , забезпечить через відвод 1 струм не менший за 285 мА на струмовимірному опорі мікросхеми керування, силовий тиристор закриється. Закриття тиристора припинить струм у колі з індуктивним навантаженням ( $Dp$ ), що приведе до генерації високовольтного імпульсу, який засвітить ЛЛ. Оскільки живлення мікросхеми здійснюють від енергії, що накопичилась в конденсаторі  $C1$ , то після закриття тиристора він знову заряджається, але вже не з нульового рівня. Якщо з першої спроби лампа не засвітиться, то процес повториться, але час повторного прогрівання програмно зменшено до 0,64 с, оскільки катоди ЛЛ ще не охололи після першої спроби. Якщо ЛЛ не засвітиться після 7 спроб, то мікросхема переходить у стан спокою, в якому тиристор залишається закритим. Це відвертає мигання лампи, в якій витратився ресурс роботи.

Після засвічення лампи, на ній установиться робоча напруга  $U_l$ , яка в два рази менша за напругу мережі живлення. Тому напруга на мікросхемі не досягає стартового рівня, а тиристор залишається в закритому стані. Мікросхема має захист від перевантаження струмом, що протікає через тиристор. Якщо струм перевищить рівень захисту, то силовий тиристор закриється, а мікросхема перейде в режим спокою. Тільки вимикання й наступне вмикання зовнішнього ключа  $S$  приведе до переведення схеми захисту в початковий стан. Конденсатор  $C2$  не тільки є вадозахисним, а разом з опором  $R3$  обмежує при розряді на опір  $R3$  імпульсний струм, що протікає через відкритий тиристор. Підключення дільника  $R1, R2$  до керуючого електроду тиристора, а не до загального дроту (землі), не приводить до помітної зміни коефіцієнта поділу, струм додається до струму відкривання тиристора.

Електронний стартер має такі переваги:

- надійне засвічення ЛЛ;
- точно встановлений час попереднього підігріву катодів;
- збільшений термін роботи (8000 год) завдяки відсутності механічних частин;
- відсутність електромагнітних вад;
- автоматичний захист при перервах напруги живлення;
- захист від перенавантаження збільшеним струмом;
- широкий діапазон зовнішньої температури (від  $-30$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ );
- відключення стартера при старінні ЛЛ, що запобігає перегріванню баластного дроселя.

Електронні стартери виготовляють різні фірми. Наприклад, фірма Philips виготовляє для ЛЛ 18-22 Вт стартери S2-E, для ЛЛ 30-60 Вт – S10-E.

## Особливості роботи РЛ на підвищеній частоті струму

Дослідження роботи РЛ з метою зниження недоліків, що супроводжують їх роботу (пульсації світлового потоку, велика маса і конструктивні розміри ПРА), показали, що це можливо за живлення РЛ струмом підвищеної частоти. При роботі РЛ в схемах з підвищеною частотою струму живлення (20 кГц і вище) проявляються такі переваги:

- зростає світлова віддача лампи на 30% завдяки зниженню втрат енергії в прикатодній ділянці;
- подовжується термін роботи катодів завдяки покращенню умов перезасвічення і понижується спадання світлового потоку, а отже подовжується термін роботи й самої лампи;
- зменшується маса і конструктивні розміри ПРА, а отже й втрати енергії в ПРА;
- практично зникає пульсація світлового потоку, а отже і ймовірність стобоскопічного ефекту;
- підвищується коефіцієнт потужності лампи.

За живлення РЛ напругою підвищеної частоти суттєво знижується величина необхідної баластної індуктивності або баластного конденсатора (пониження обернено пропорційне частоті) й застосування стартерних схем стає малонадійним і неефективним, тому застосовують безстартерні ПРА. На підвищених частотах форма струму лампи практично не залежить від типу баластного опору (індуктивного чи ємнісного), а маса дроселя зменшується більше ніж у 40 разів, оскільки для виготовлення магнітопроводу використовують не електротехнічну сталь, а феромагнітні матеріали.

До недоліків відносять значне ускладнення схеми ПРА за умови необхідності перетворення напруги живлення промислової частоти (50-60 Гц) в напругу підвищеної частоти (до десятків кілогерц). Таке перетворення здійснюють за допомогою електронних генераторів або перетворювачів (інверторів) мостової або напівмостової схеми [7,9,13]. Для живлення таких приладів необхідна постійна напруга, тому виникає ще й необхідність використовувати додаткове джерело постійної напруги (акумулятори) або електронні випрямлячі, що перетворюють змінну напругу промислової мережі живлення в постійну. Використання акумуляторів дозволяє створювати світлові прилади і освітлювальні установки з автономним (переносним) джерелом живлення.

Генерацію напруги з підвищеною частотою створює, наприклад, схема інвертора (рис. 8.3) з резонансним контуром  $L_3, C_3$ , що самозбуджує високочастотні коливання й задає частоту вихідної напруги з високою стабільністю. Живлення здійснюють постійною напругою від джерела з потужністю не меншою за ту необхідну потужність, яку витрачають на навантажені  $R_H$ , напругу на якому створює вторинна обвитка  $\omega_2$  силового високочастотного трансформатора  $T_1$ . Цей трансформатор має первинну обвитку з відводом від середини, до якого приєднаний один з відводів джерела живлення

(полярність залежить від типу провідності силових транзисторів  $VT_1, VT_2$ ). У момент прикладення напруги джерела живлення через один з транзисторів і половину первинної обвитки силового трансформатора  $T_1$  потече струм  $I$ , який через магнітопровід трансформатора наведе напругу відповідної полярності як у вторинній обвитці, тобто на опорі  $R_H$ , так і в додатковій обвитці  $\omega_\partial$ , яка викличе високочастотні коливання з частотою, що задає ланцюг  $L_3, C_3$  у колі з первинною обвиткою  $\omega_1$  додаткового трансформатора.

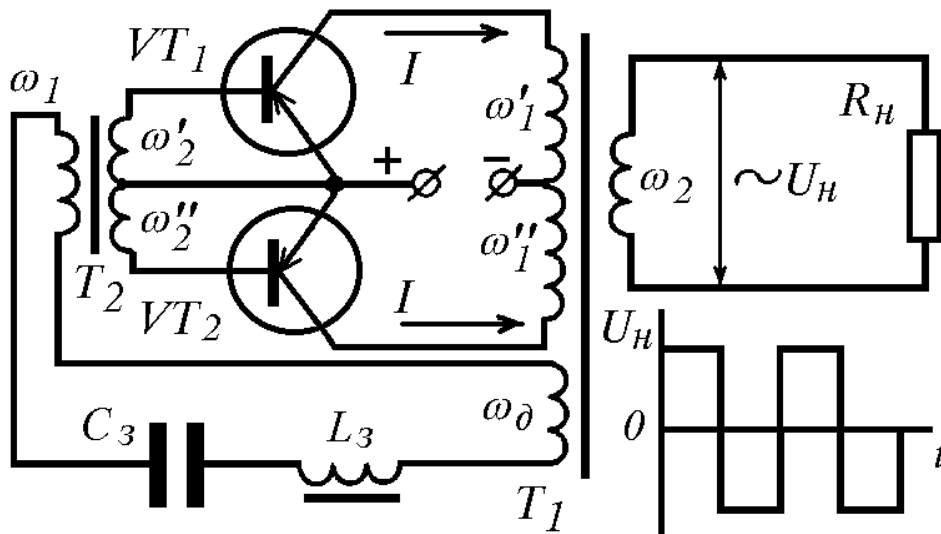


Рис. 8.3

Високочастотний струм у контурі наведе напругу в первинній обвитці додаткового трансформатора  $T_2$ . В результаті у вторинній обвитці буде наведена високочастотна напруга з полярністю, що закриє транзистор, через який протікав струм і відкриє інший. Тепер струм від джерела живлення потече у зворотному напрямі й наведе у вторинній обмотці силового трансформатора напругу протилежної полярності, тобто напругу другого напівперіода і всі процеси повторяться. Отже, в інверторі відбудеться самозбуження і генерація коливань високої частоти; на опорі  $R_H$  буде діяти змінна напруга високої частоти, що задана індуктивністю  $L_3$  і конденсатором  $C_3$ . Очевидно, що параметри силових транзисторів мають забезпечити як високу швидкість процесів їх закривання й відкривання, так і відповідну електричну потужність, тобто необхідний імпульсний струм і робочу напругу.

У наш час розроблені різноманітні промислові електронні ПРА, що забезпечують надійну й стабільну роботу РЛ на високих частотах, принцип роботи яких більш детально розглянемо в наступних темах.

### Контрольні запитання

1. Які вимоги ставлять до стартерних ПРА?
2. Як позначають стартерні ПРА?

3. З якою метою застосовують напівпровідникові елементи в схемах засвічення ЛЛ?
4. Поясніть роботу схеми, в якій застосовано терморезистори з від'ємним температурним коефіцієнтом.
5. Поясніть роботу схеми, в якій застосовано шунтуючі діоди.
6. Які переваги та недоліки мають наведені схеми з терморезисторами або діодами?
7. З яких головних частин складається електронний стартер?
8. Поясніть роботу електронного стартера.
9. Які переваги та недоліки мають електронні стартери?
10. Які переваги та недоліки має ПРА, що забезпечує роботу РЛ зі струмом підвищеної частоти?
11. Поясніть роботу схеми транзисторного інвертора з елементами, що задають стабільну частоту генерації вихідної напруги.
12. Які вимоги ставлять до силових транзисторів, що застосовують в інверторних схемах?

## Тема 9. ГАРЯЧЕ (ШВИДКЕ) ЗАСВІЧЕННЯ ЛЮМІНЕСЦЕНТНИХ ЛАМП

### Швидке засвічення люмінесцентних ламп

Засвічення ЛЛ за допомогою стартерів відносять до швидкого але імпульсного засвічення, оскільки газ у лампі засвічується імпульсом високої напруги, який створюється в колі при розмиканні стартера після попереднього короткочасного розжарювання катодів. Цей імпульс, амплітуда якого значно більша за амплітуду напруги мережі живлення необхідний, оскільки попереднє прогрівання катодів ЛЛ є короткочасним і напруга засвічення залишається високою, хоча й трохи пониженою відповідно до нагріву катодів.

Чи можна засвітити газ в ЛЛ без використання стартерів? Можна, за живлення змінною напругою саме в безстартерних схемах, в яких катоди лампи попередньо нагрівають доти напруга засвічення понизиться до величини, що менша за амплітудне значення напруги мережі. Отже, безстартерні схеми – це схеми, в яких газ в ЛЛ засвічується синусоїдальною напругою, а не імпульсною. Очевидно, що наявність на ЛЛ струмопровідної смужки буде сприяти полегшенню засвічення, особливо при з'єднанні смужки з одним катодом або землею, або за прикладення до неї відповідного потенціалу. У безстартерних схемах засвітити газ в ЛЛ можна взагалі без попереднього розжарення катодів, тобто миттєво, але для цього необхідно значно підвищити напругу мережі до напруги засвічення. Тому безстартерні ПРА ділять на ПРА швидкого засвічення (з попереднім розжаренням катодів) і на ПРА миттєвого засвічення.

Оскільки за роботи ПРА миттєвого засвічення головним чинником в засвіченні газу в ЛЛ є електростатична (холодна) емісія, то для відповідного терміну роботи використовують спеціальні ЛЛ з підсиленими катодами. Звичайні ЛЛ з таким ПРА мають значно скорочений (на 50-70%) термін роботи, тому що створення електростатичної емісії викликає та сприяє швидкому розпиленню оксидного шару на катодах ЛЛ.

Якщо попереднє розжарення катодів зробити більш тривалим, ніж в стартерних схемах, то напруга засвічення відповідно до відомої залежності від температури (або відносної величини струму попереднього розжарення) може бути значно понижена. Очевидно, що з метою забезпечення попереднього розжарення кожний катод ЛЛ має два електричні відводи, тобто, ЛЛ має патрон типу G, а не E. Основою катода ЛЛ є вольфрамова спіраль, попереднє розжарення якої не потребує великої напруги (менше 10 В), тому таку напругу отримують за допомогою понижуючого трансформатора або спеціальним підключенням катодів в коло струму.

Зв'язок між напругою засвічення газу в ЛЛ в безстартерній схемі й струмом попереднього розжарення катодів, що забезпечує необхідну їх температурну підготовку, ілюструє рис. 9.1, а для ЛЛ потужністю 40 Вт.

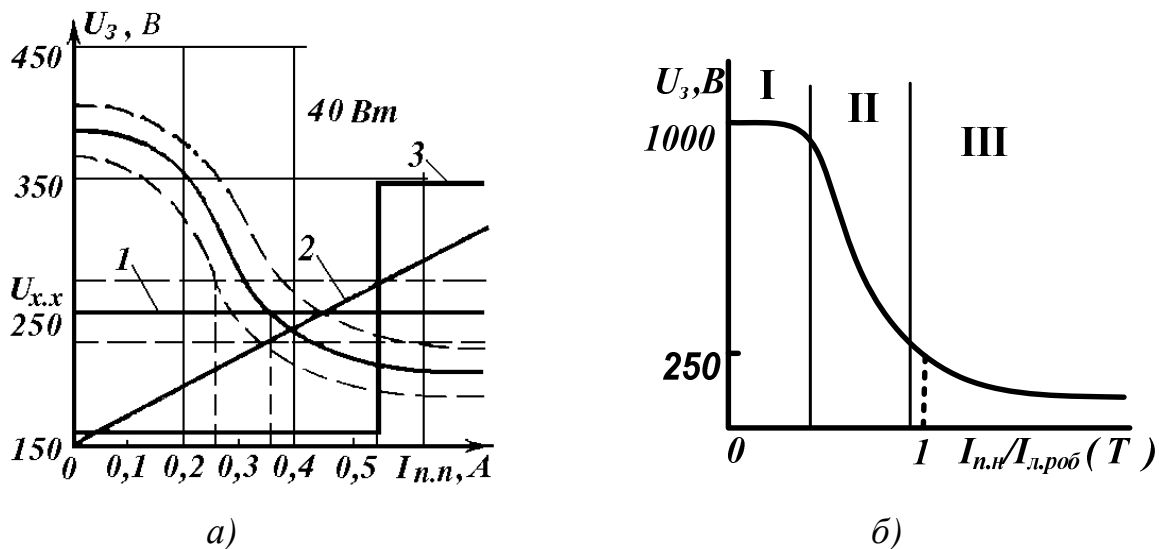


Рис. 9.1

Для аналізу зміни напруги засвічення від температури використаємо більш універсальну залежність, що наведена на рис. 9.1, б. При засвіченій ЛЛ через її катоди протікає робочий струм  $I_{л.роб}$ , тобто струм дугового розряду, який самонагріває катоди і підтримує температуру термоелектронної емісії. Струм попереднього розжарення катодів і робочий струм лампи не одне і те ж. Перший – це струм, який протікає через електроди незасвіченої лампи, тоді як робочий струм – це струм розряду, що протікає між анодом і катодом, тобто через газ. Тому доцільно струм попереднього розжарення  $I_{n.n}$ , вибрати такої ж величини, як робочий. Як бачимо на залежності рис. 9.1, б, напруга засвічення газу  $U_3$  в цьому випадку значно понизилась. Ця залежність має три характерних зони: перша – де напруга засвічення майже не змінюється, тобто дорівнює напрузі засвічення холодних катодів; друга – де напруга засвічення різко знижується; третя – де напруга засвічення низька й далі майже не зменшується. Очевидно, що перша зона – це зона холодних катодів (струм попереднього розжарення значно менший за робочий), друга – це зона недогрітих катодів (струм попереднього розжарення менший за робочий), а третя – це зона нагрітих або перегрітих катодів (струм попереднього розжарення дорівнює або більший за робочий).

Для забезпечення попереднього розжарення катодів необхідно подати на ПРА напругу. Напругу, що подають на незасвічену лампу називають напругою холостого ходу  $U_{x.x}$ , але доцільно щоб ця напруга засвічувала газ в ЛЛ після пониження  $U_3$  та підтримувала роботу ЛЛ, тобто була напругою живлення.

Існує три види ПРА, які розрізняють за способом створення напруги холостого ходу (див. рис. 9.1, а): ПРА, в яких напруга холостого ходу – це напруга мережі живлення, яку подають одночасно з початком прогрівання катодів (залежність 1); ПРА, в яких напруга холостого ходу від початку прогрівання катодів лінійно зростає до  $U_3$  з попередньо розжареними катодами ЛЛ (залежність 2); ПРА, в яких напругу холостого ходу подають тільки після



достатнього прогрівання катодів (залежність 3). Останні називають ПРА затриманого засвічення.

Про момент засвічення газу в ЛЛ з тим або іншим ПРА можна говорити тільки з певним ступенем ймовірності, оскільки ЛЛ мають при виготовленні технологічний розкид параметрів, внаслідок чого їх  $U_3$  розрізняються.

Окрім того,  $U_3$  залежить від зовнішніх умов середовища (температура, вологість) і від кількості часу використання ламп. Тому залежність  $U_3 = f(I_{n.n})$  для групи ламп перетворюється на сімейство кривих, що лежать в зоні, обмеженій на рис.9.1, *a* штриховими лініями. Оскільки напруга змінної мережі живлення також може коливатися в певних межах, то величина  $U_{x.x}$  буде знаходитися в зоні, що також обмежена другими штриховими лініями.

З величини зони, спільної для  $U_3$  і  $U_{x.x}$ , видно, що найбільша ймовірність недогрітого засвічення відповідає першому виду подачі на ЛЛ напруги холостого ходу. На рис. 9.1 *a* видно, що з ПРА першого виду деякі лампи будуть засвічені навіть при струмі попереднього розжарення, що дорівнює 0,25 А, тобто тоді, коли  $U_3$  тільки почне знижуватися, а не досягне суттєво меншого значення, як за робочого струму 0,4 А. З ПРА другого виду ймовірність недогрітого засвічення менша в порівнянні з попереднім, оскільки напруга холостого ходу менша й досягає  $U_3$  за більшого струму попереднього розжарення (~ 0,35 А), але вони скадніші. З ПРА третього виду ймовірність недогрітого засвічення відсутня, але широкого поширення вони не набули, зважаючи на складність реалізації й дорожнечу виробництва, хоча чим менша ймовірність засвічення з недогрітими катодами, тим більше термін роботи ЛЛ.

Як бачимо, напруга засвічення суттєво залежить від величини струму попереднього розжарення. Чим більший  $I_{n.n}$ , тим більше знижується  $U_3$  ЛЛ. В той же час збільшення  $I_{n.n}$  призводить до зростання температури розжарення катодів, а тому більшого розпилення катодів і скорочення терміну їх роботи. За цих протилежних вимог величину струму попереднього розжарення вибирають компромісно, тобто таку, щоб вона була близькою до робочого струму ЛЛ, знаходилась у межах 0,9 – 1,2 від номінального значення  $I_{л.роб}$ . Струм попереднього розжарення  $I_{n.n}$  залежить також від величини опору катодів ЛЛ і створюється по-різному, в залежності від виду безстартерної схеми засвічення.

### **Класифікація безстартерних ПРА та вимоги до них**

Безстартерні ПРА відносять до окремої самостійної групи ПРА, в яких засвічення газу в РЛ відбувається синусоїдальною напругою, що забезпечує збільшену надійність засвічення, а отже й більший термін роботи РЛ. Але їх конструкція значно складніша ніж стартерних, вони мають більші розміри та втрати потужності. Надійність засвічення зменшує економічні експлуатаційні витрати на обслуговування освітлювальних установок у порівнянні зі стартерними ПРА. Процес засвічення газу в РЛ, що забезпечують безстартерні ПРА, подібний до стартерного з різницею тільки в тому, що в безстартерних

ПРА засвічення здійснюють синусоїдальною напругою. Тому важливими стають всі способи зниження напруги засвічення (попереднє розжарення катодів, наявність струмопровідної смужки на колбі лампи та інш.).

Безстартерні ПРА мають забезпечити:

- 1) попереднє зниження напруги засвічення шляхом попереднього розжарення катодів до температури інтенсивної термоелектронної емісії;
- 2) створення й подачу на незасвічену РЛ напруги холостого ходу;
- 3) компенсацію потужності попереднього розжарення в робочому режимі РЛ (за необхідності), оскільки це забезпечує максимальний термін роботи лампи;
- 4) стабілізацію у відповідних межах робочого режиму РЛ.

Безстартерні ПРА, що забезпечують роботу ЛЛ, поділяють на три основні групи:

- 1) резонансні, в яких попереднє розжарення здійснюють струмом резонансного контура, що складають пусковий конденсатор і індуктивність пускового та баластного дроселя (напруга холостого ходу створюється на пусковому елементі, що паралельно включений до ЛЛ);
- 2) трансформаторні (з трансформатором для здійснення попереднього розжарення катодів), в яких збільшену напругу холостого ходу створюють за допомогою спеціальних пускових конденсаторів або ускладненням конструкції трансформатора;
- 3) автотрансформаторні (автотрансформатор з розсіянням магнітного потоку, що забезпечує стабілізацію робочого режиму ЛЛ), в яких необхідну для засвічення підвищену напругу холостого ходу створюють вибором необхідного числа витків вторинної обвитки.

Позначення безстартерних ПРА відрізняють від стартерних ПРА за першою літерою: у стартерних – це літера У, а в безстартерних – А (1АБІ-40/220 -...).

### **Принцип роботи безстартерних схем засвічення РЛ**

Щоб засвітити газ в РЛ необхідно подати на неї напругу, що дорівнює напрузі засвічення даного газу або суміші газів. У холодному стані газ в РЛ має високу напругу засвічення (приблизно 1000 В). Така напруга значно вища навіть за амплітуду напруги промислової мережі живлення. У стартерних схемах напруга засвічення створювалась у момент розмикання контактів стартера і вона мала вигляд імпульсу. У безстартерних схемах такий імпульс не створюють, тому лампу, що спеціально попередньо не підготовлена, засвітити напругою мережі неможливо. Попередня підготовка полягає в короточасному розжаренні катодів до температури термоелектронної емісії ( $\approx 1000^{\circ}\text{C}$ ), що супроводжується значним пониженням напруги засвічення. У залежності від групи, до якої належить ПРА, попередню підготовку здійснюють по-різному.

Розглянемо роботу резонансного ПРА, проста схема якого наведена на рис. 9.2, а.

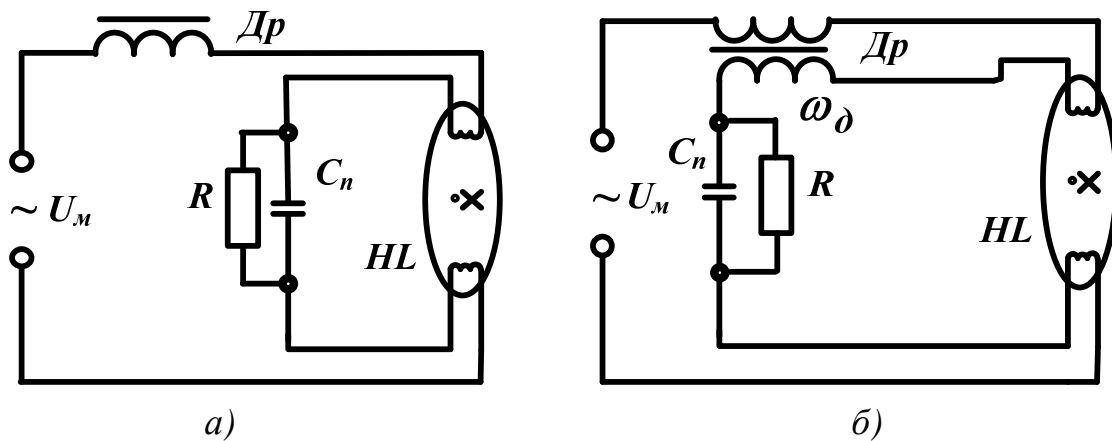


Рис. 9.2

У пусковому режимі на лампі діє напруга мережі, що прикладена до катодів ЛЛ через баластний дросель  $D_p$ , але яка значно менша за напругу засвічення, тому газ у лампі не засвічується. Одночасно, через катоди ЛЛ, завдяки пусковому конденсатору  $C_n$ , що з'єднує їх послідовно, протікає пусковий струм, який здійснює попереднє розжарення катодів. Величина пускового струму залежить в основному від вибору ємності пускового конденсатора й індуктивності  $L$  баластового дроселя:

$$I_n = \frac{U_m}{\sqrt{R_k^2 + [\omega L - 1/(\omega C_n)]^2}}, \quad (9.1)$$

де  $R_k$  – загальний активний опір двох катодів ЛЛ і обвитки дроселя;  $\omega$  – циклічна частота струму мережі.

Якщо ці елементи налаштовані близько до резонансу ( $\omega L$  декілька більше за  $1/(\omega C_n)$ ), то струм буде необхідної величини, напруга холостого ходу буде напругою на пусковому конденсаторі, оскільки він підключений паралельно до ЛЛ (анода й катода). Величина цієї напруги дорівнює:

$$U_{x.x} = I_n / (\omega C_n). \quad (9.2)$$

Після засвічення газу через лампу починає протікати стабілізований дроселем робочий струм розряду, який порушує резонанс у пусковому колі, що значно зменшує пусковий струм.

Таку схему широко застосовують тільки за живлення струмом підвищеної частоти, оскільки на промисловій частоті необхідна велика ємність пускового конденсатора, що створює паузи струму, спотворює криву струму (коефіцієнт амплітуди зростає до 2,5, тоді як норма 1,7) та потребує спеціальних пристроїв для відключення пускового конденсатора від лампи після засвічення, щоб виключити його вплив.

Частіше у світильниках загального освітлення застосовують резонансні ПРА за схемою рис. 9.2, б, в якій негативний вплив пускового конденсатора пом'якшено додатковою обвиткою  $\omega_d$  в баластовому дроселі, яка з'єднана послідовно з конденсатором в колі катодів ЛЛ. Пусковий струм визначають за формулою (9.1), де  $L$  тепер сума індуктивностей обмоток дроселя і величина конденсатора може бути меншою.

Більш широко застосовують резонансні безстартерні ПРА за схемою, що на рис. 9.3, а.

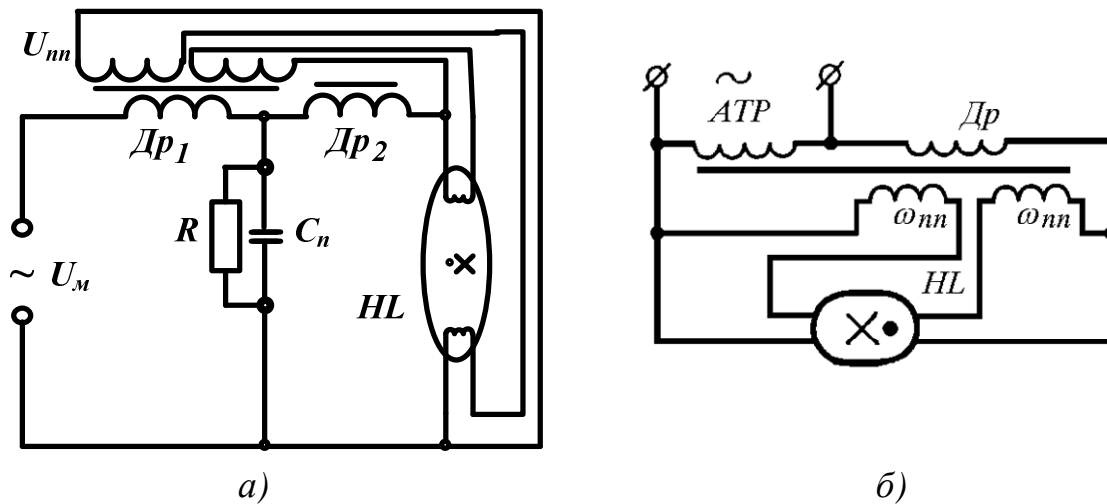


Рис. 9.3

За цією схемою ПРА складається з двох дроселів і пускового конденсатора. Перший дросель  $Dr_1$  має дві вторинні обвитки, що служать для здійснення попереднього розжарення катодів ЛЛ, а другий дросель  $Dr_2$  в сумі з першим забезпечує робочий струм ЛЛ і стабілізацію її роботи. Пусковий струм протікає через первинну обвитку дроселя  $Dr_1$  і пусковий конденсатор  $C_n$ . За вибором величини ємності конденсатора близької до резонансної забезпечують як необхідний струм попереднього розжарення, так і необхідну напругу холостого ходу, яку через обвитку дроселя  $Dr_2$  подають на незасвічену лампу. Після засвічення ЛЛ пусковий конденсатор в цій схемі зменшує зрушення фази струму, отже підвищує коефіцієнт потужності схеми.

За необхідності мати підвищену синусоїдальну напругу холостого ходу для засвічення ЛЛ в складних умовах оточуючого середовища або в умовах з пониженою напругою мережі живлення застосовують ПРА з автотрансформатором (рис.9.3, б). Автотрансформатор  $АВТ$  має на загальному магнітопроводі дві електрично з'єднані частини обвитки: першу підключають паралельно до мережі живлення, іншу, що підключена послідовно з лампою, використовують як для підвищення напруги мережі, тобто напруги холостого ходу, так і в якості баласту  $Dr$  після засвічення лампи, але для цього в магнітопроводі автотрансформатора має бути немагнітний зазор, тобто має бути автотрансформатор з розсіянням. У пусковому режимі (лампа не засвічена) струм, що протікає через першу обвитку створює в магнітопроводі магнітний потік, який наводить у другій частині обвитки напругу, яка збільшує напругу мережі, тобто збільшує напругу холостого ходу, прикладену до лампи. У вторинних обвитках  $\omega_{nn}$  наводять напругу, якою здійснюють попереднє розжарення катодів у пусковому режимі.

### Контрольні запитання

1. Яке засвічення називають гарячим?
2. Чим відрізняється гаряче засвічення в стартерних і безстартерних ПРА?

3. Які особливості миттєвого безстартерного засвічення?
4. Які вимоги ставлять до безстартерних ПРА?
5. Як позначають безстартерні ПРА?
6. На які три основні групи поділяють безстартерні ПРА, що забезпечують роботу ЛЛ?
7. Який струм називають струмом попереднього розжарення катодів ЛЛ та робочим, чим вони відрізняються?
8. Яку напругу називають напругою холостого ходу?
9. Чим зумовлено створення безстартерних ПРА за різним способом подачі напруги холостого ходу на лампу?
10. Який вигляд має залежність напруги засвічення газу в ЛЛ від струму попереднього розжарення катодів?
11. Наведіть й проаналізуйте просту схему резонансного ПРА.
12. Які недоліки має ця схема?
13. Наведіть й поясніть вирази, за якими розраховують величину струму попереднього розжарення катодів ЛЛ та напругу холостого ходу.
14. Наведіть й проаналізуйте схему резонансного ПРА з двома дроселями?
15. За яких умов застосовують автотрансформаторні ПРА?

## Тема 10. ТРАНСФОРМАТОРНІ СХЕМИ БЕЗСТАРТЕРНОГО ЗАСВІЧЕННЯ ЛЮМІНЕСЦЕНТНИХ ЛАМП, ЇХ НЕДОЛІКИ ТА ПЕРЕВАГИ

### Трансформаторні схеми безстартерного засвічення люмінесцентних ламп

Найбільшого розповсюдження отримали різноманітні трансформаторні ПРА безстартерного засвічення ЛЛ. Проста схема трансформаторного ПРА наведена на рис. 10.1, а.

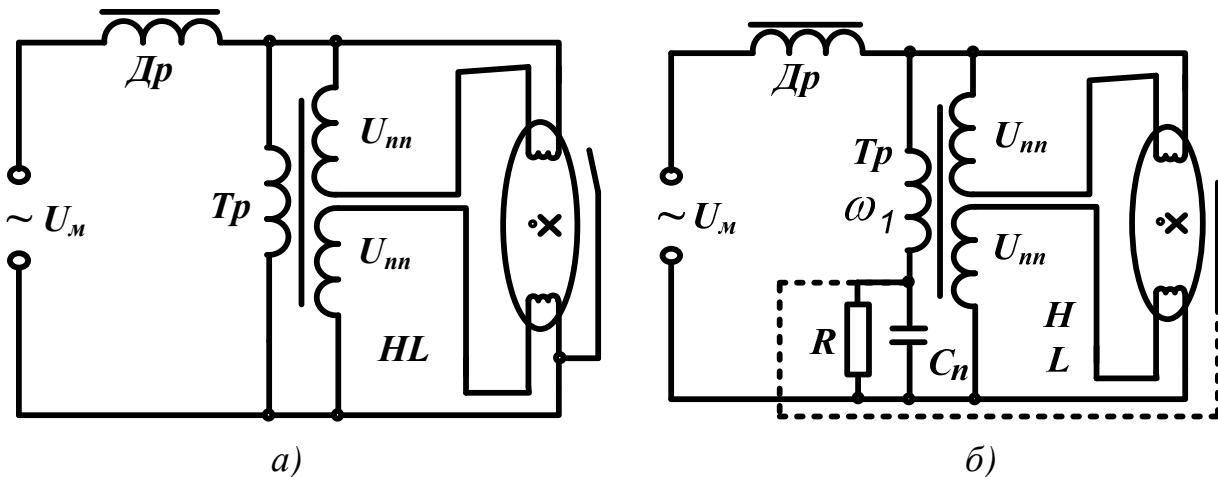


Рис. 10.1

Робочий режим і струм ЛЛ забезпечує баластовий дросель  $D_p$ , що включений послідовно в коло лампи, а пониження напруги засвічення газу в ЛЛ до величини напруги мережі забезпечує понижуючий трансформатор  $T_p$ , який має дві вторинні обвитки для незалежного розжарення катодів лампи.

Зауважимо, що повний опір дроселя в таких схемах має бути на порядок меншим за повний опір первинної обвитки трансформатора.

За подачі на схему напруги мережі  $U_m$  через дросель  $D_p$  протікає незначний струм первинної обвитки трансформатора  $T_p$ , яка підключена паралельно до лампи. Тому на ній, як і на лампі, буде незначно зменшена напруга мережі. Чим менша потужність, що необхідна для попереднього розжарення катодів, тобто необхідна потужність вторинних обвиток, тим менший струм первинної обвитки. Очевидно, що засвічення ЛЛ відбудеться не зразу після подачі напруги мережі на схему, а через час, за який напруга засвічення газу в ЛЛ понизиться до напруги холостого ходу, тобто напруги мережі, що діє на лампі з самого початку. Після засвічення газу через ЛЛ, а отже, через дросель, потече робочий струм (струм дугового розряду), який створить значне падіння напруги на дроселі, що необхідне для забезпечення робочого режиму лампи. Фактично на засвіченій лампі напруга  $U_L$ , а отже й напруга на первинній обвитці трансформатора  $T_p$ , буде в два рази менша за напругу мережі  $U_m$ . Тому напруга у вторинних обвитках  $U_{nn}$ , тобто напруга попереднього розжарення, також зменшиться в два рази. Взагалі, після засвічення ЛЛ необхідність у попередньому розжаренні катодів зникає,

оскільки струм дугового розряду саморозжарює катоди до температури термоелектронної емісії, тому постійне розжарення катодів від вторинної обвитки трансформатора є додатковими непродуктивними витратами потужності. Але, щоб відключити трансформатор  $Tr$  від мережі, необхідно значно ускладнити схему. За цієї причини хоча б часткова компенсація цих витрат, як в розглянутій схемі, є прийнятною. Тому схему з включенням понижуючого трансформатора після дроселя (а не перед ним) називають схемою з частковою компенсацією напруги попереднього розжарення катодів. Струмопровідна прозора смуга, що нанесена на колбу й з'єднана з одним катодом, понижує напругу засвічення, а отже, полегшує засвічення ЛЛ.

У трансформаторі  $Tr$  первинну обвитку розраховують на напругу мережі живлення. Для розрахунку вторинної обвитки, окрім величини струму попереднього розжарення катодів, вибір якого був визначений у попередніх темах, необхідно знати ще напругу попереднього розжарення катодів  $U_{nn}$ , величину якої визначають виходячи з двох міркувань: високий опір електродів ЛЛ (високоомні катоди) потребує підвищеної напруги, але підвищена напруга  $U_{nn}$  створить міжвитковий розряд на витках спіралі катода (рис. 10.2) і в незасвіченій лампі виникне світіння біля електродів під час їх розжарення, навіть за відсутності напруги, яку прикладають до протилежних катодів для її роботи. Тому для ЛЛ потужністю 20-80 Вт напругу вибирають строго в межах 7,5-10 В; для електродів з низьким опором (низькоомні катоди) напруга  $U_{nn}$  може бути від 3,6 до 4,4 В. Високоомність або низькоомність електродів залежить від технології виготовлення (моно або біспіральні чи триспіральні – значно технологічно складніші). Таким чином завжди можна провести необхідний розрахунок трансформатора для попереднього розжарення катодів ЛЛ в безстартерних схемах, як звичайного понижуючого трансформатора.

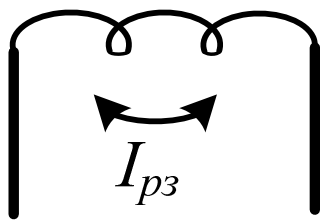


Рис. 10.2

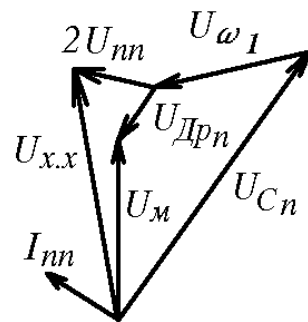


Рис. 10.3

За необхідності збільшення напруги холостого ходу застосовують схему трансформаторного безстартерного засвічення з додатковим пусковим конденсатором  $C_n$ , включеним послідовно з первинною обвиткою трансформатора  $Tr$  (рис. 10.1,б). Якщо вибрати ємність пускового конденсатора  $C_n$ , щоб виконалась нерівність  $1/(\omega C_n) > \omega(L + L_{Dp})$ , то пусковий струм буде ємнісним (для ламп потужності 40-80 Вт  $C_n \sim 1\text{мкФ}$ ) і за режиму близького до резонансу напруга на конденсаторі  $C_n$  буде більшою за напругу мережі, а отже

напруга холостого ходу  $U_{x.x}$  буде підвищеною (див. векторну діаграму на рис. 10.3). Струмopрoвідна смуга може бути приєднана до пускового конденсатора (щоб мати збільшений потенціал) замість електрода.

До недоліків ПРА трансформаторного безстартерного засвічення відносять можливість аварійних режимів, які приводять до суттєвого перегрівання елементів ПРА. Так, робота ПРА без лампи є роботою холостого ходу (без навантаження) трансформатора. В такому режимі напруга на трансформаторі, його індуктивність, струм намагнічування магнітопроводу зростають, що приводить до посиленого нагрівання обвитки. Інший аварійний режим виникає за роботи ПРА з лампою, в якій один з катодів втратив емісію. Робочий струм лампи буде протікати тільки в одному напрямі, отже в колі виникне постійна складова струму, яка мало обмежується низьким активним опором обвитки дроселя, тому загальний збільшений струм викличе перегрівання елементів ПРА. Наведені недоліки також обмежують використання ПРА в схемах з індуктивно-ємнісним баластом (ємність не пропускає постійну складову), але існує ряд схем з індуктивно-ємнісним баластом, захищених від впливу постійної складової робочого струму спеціальним включенням баластового конденсатора.

### **Трансформаторні та автотрансформаторні з розсіянням схеми безстартерного засвічення люмінесцентних ламп**

Схеми (ПРА) безстартерного засвічення люмінесцентних ламп з окремим трансформатором, що забезпечує попереднє розжарення катодів ЛЛ називаються трансформаторними. Широкого розповсюдження в світильниках зовнішнього освітлення набули ПРА, в яких баластовий дросель і трансформатор для попереднього розжарення катодів об'єднані одним магнітопроводом. Для забезпечення стабілізуючої дії такий ПРА має трансформатор або автотрансформатор з розсіянням, тому такі ПРА називають трансформаторні або автотрансформаторні з розсіянням. Об'єднання баластового дроселя і трансформатора попереднього розжарення на одному магнітопроводі зменшує масу, розміри й загальні втрати потужності ПРА. Схема ПРА з трансформатором з розсіянням для безстартерного засвічення люмінесцентних ламп наведена на рис. 10.4.

Звичайні трансформатори або автотрансформатори для того, щоб зменшити втрати потужності, мають коефіцієнт магнітного зв'язку первинної та вторинної обвиток, який наближається до одиниці. Тому видозміна навантаження у вторинній обвитці практично не впливає на величину робочого магнітного потоку, а, отже, на величину напруги вторинної обвитки. Особливістю РЛ є значна різниця напруги засвічення газу й робочої напруги лампи. Цю різницю фактично компенсує обов'язковий баласт (дросель чи будь-який опір, який включають послідовно з РЛ), тобто за перехід РЛ в робочий режим напруга на ній має бути зменшена майже в два рази. Такого зменшення можна досягти й без дроселя, якщо в робочому режимі знизити магнітний зв'язок первинної та вторинної обвиток.



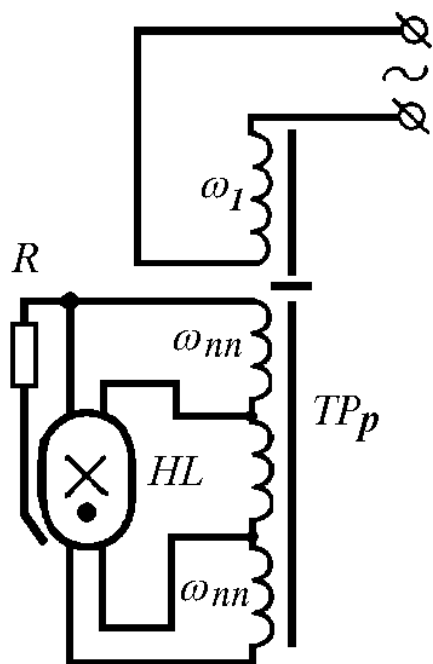


Рис. 10.4

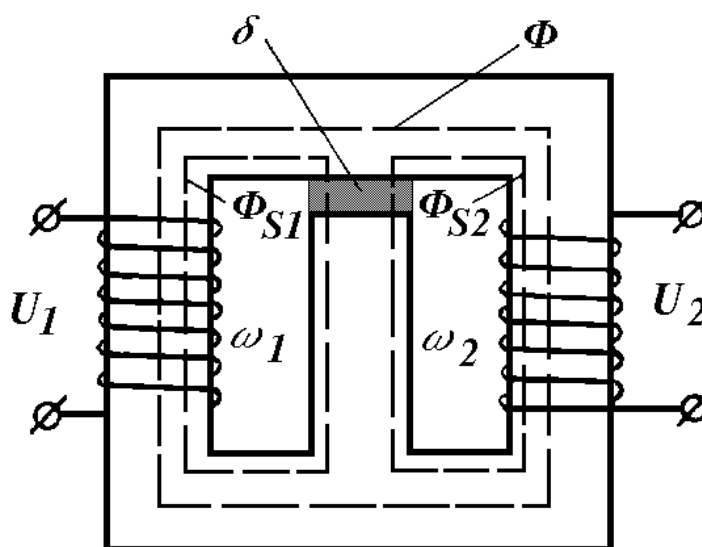


Рис. 10.5

Пониження магнітного зв'язку первинної та вторинної обмоток у робочому режимі досягають створенням немагнітного зазору відповідної товщини  $\delta$  на центральній частині осердя (шунті), тоді як обмотки розміщують окремо на бокових частинах осердя (рис. 10.5). Вторинна обмотка має відводи, а отже створює напругу як для розжарення катодів, так і напругу холостого ходу. За подачі на первинну обмотку  $\omega_1$  трансформатора з розсіянням  $TP_p$  напруги мережі живлення струм холостого ходу первинної обмотки створює магнітний потік  $\Phi$ , який у повній вторинній обмотці наводить напругу холостого ходу, а в частинах  $\omega_{nn}$  – напругу попереднього розжарення катодів. Наявність немагнітного зазору збільшує магнітний опір і частка відгалуження потоку  $\Phi$  у центральній частині осердя буде незначною. Після зниження напруги засвічення газу до напруги холостого ходу газ засвічується і лампа переходить у робочий режим. Струм робочого режиму, який значно більший за струм холостого ходу, створить домірні до потоку  $\Phi$  магнітні потоки  $\Phi_{S1}$ ,  $\Phi_{S2}$ , які будуть циркулювати через центральну частину магнітопроводу, і будуть зменшеними. Тому напруга на вторинній обмотці знизиться і струм розряду не зросте, а стане робочим струмом лампи. Вирівнювання струму робочого режиму до номінального робочого струму лампи, тобто стабілізації струму лампи, досягають вибором відповідної товщини немагнітного зазору  $\delta$ .

Автотрансформатор з розсіянням відрізняють від трансформатора за наявністю електричного з'єднання первинної і вторинної обмоток.

До недоліків таких схем відносять низький коефіцієнт потужності.

## Компенсовані схеми гарячого засвічення. Схеми вмикання ЛЛ з розщепленою фазою

У схемах, які мають реактивні елементи, виникає зрушення фази струму відносно фази напруги мережі. Знак зрушення фази залежить від того, який діє реактивний елемент (індуктивність чи ємність), незалежно від стартерного чи безстартерного типу ПРА. Так, у схемі з індуктивним ПРА (рис. 10.6) фаза струму відстає від фази напруги мережі, а в схемі з ємнісним ПРА – випереджає. Наявність зрушення фази струму збільшує витрати електричної потужності. ПРА, що створюють зрушення фази струму, називають некомпенсованими. Вони мають коефіцієнт потужності не більший за 0,85 ( $\cos\varphi=0,85$ ), а ПРА, що не створюють зрушення фази струму – компенсованими ( $\cos\varphi$  не менше за 0,85 для однолампових ПРА і не менше за 0,9 для дволампових ПРА). Уведення в схему індуктивного ПРА конденсатора  $C_k$ , відповідної величини (рис. 10.7), який підключають паралельно до введів напруги мережі, компенсує індуктивне зрушення фази струму. Тому таку схему називають компенсованою, тобто схемою з підвищеним коефіцієнтом потужності. Очевидно, компенсуючий елемент має бути також реактивним і тоді реактивні складові струму будуть компенсувати одна одну, а втрати потужності будуть зменшені до мінімуму.

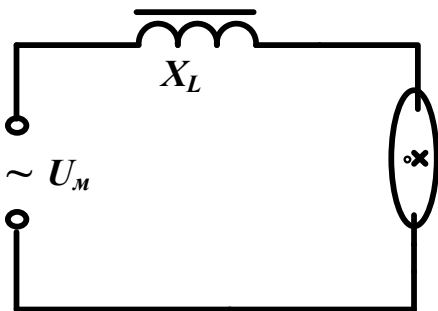


Рис. 10.6

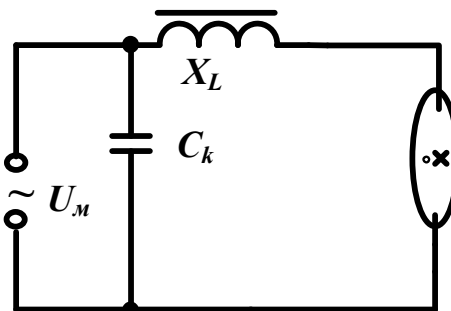


Рис. 10.7

Величину ємності компенсуючого конденсатора (у фарадах) розраховують за формулою:

$$C_k = \frac{I_l}{2\pi f U_m} \frac{\sin(\varphi_o - \varphi_k)}{\cos \varphi_k} \text{ (Ф)}, \quad (10.1)$$

де  $I_l$  – струм лампи, А;  $U_m$  – напруга мережі, В;  $f$  – частота струму мережі, Гц;  $\varphi_o$  – кут зрушення фази струму до компенсації;  $\varphi_k$  – кут зрушення фази струму до необхідної компенсації.

У схемі однолампового компенсованого ПРА, що наведена на рис. 10.7, середня величина світлового потоку не змінюється, тому широкого розповсюдження набули дволампові компенсовані ПРА (рис. 10.8, а).

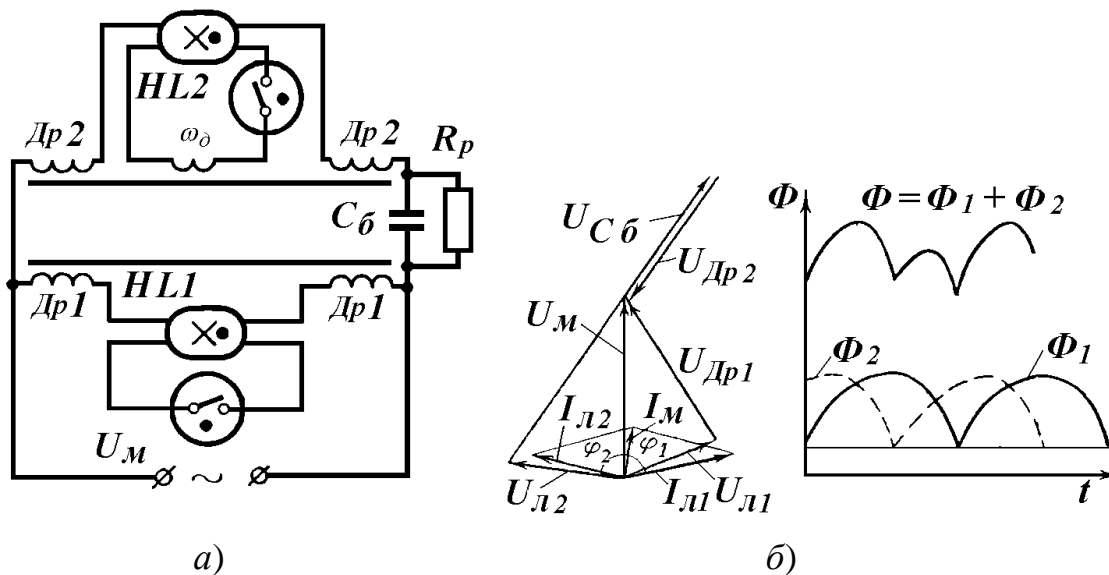


Рис. 10.8

Дволампові компенсовані ПРА можуть бути будь-якими, а не обов'язково стартерними, як показано на рис. 10.8, а (на цій схемі зображено дроселі з симетричними обвитками – симетричні дроселі). Головне, що в дволампових компенсованих ПРА (світильники з двома лампами) зрушення фази струму, що створює індуктивний ПРА однієї окремої лампи (*HL1*), підключеної до мережі живлення, компенсують зрушенням фази струму, що створює окремий ємнісний ПРА з іншою лампою (*HL2*). Тобто, зрушення фази струму компенсують не окремим компенсуючим елементом, як в схемі рис.10.7, а підключенням паралельно до мережі іншої лампи, але з ПРА, що створює протилежне зрушення фази струму. Тому такі ПРА ще називають як ПРА з розщепленою фазою.

Якщо налаштувати ПРА з іншою лампою, де струм випереджає за фазою напругу мережі так, щоб зрушення фази між її струмом і напругою мережі  $\varphi_2$  стало тим же, за величиною, як зрушення фази між струмом першої лампи і напругою мережі  $\varphi_1$ , тоді отримаємо взаємну компенсацію зрушення фази однієї лампи іншою (див. векторну діаграму еквівалентних синусоїд, що наведена на рис. 10.8, б).

До переваг ПРА з розщепленою фазою відносять можливість 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 зрушенні за фазою (див. на рис. 10.8, б динамічні ВАХ). Якщо загальний кут зрушення фаз  $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$  між струмами ламп буде в межах  $45\text{--}65^\circ$ , то пульсація світлового потоку знизиться в 2,5 рази. Тому такі схеми ще називають антистробоскопічними. Наступною перевагою таких ПРА є те, що ємність баластового конденсатора  $C_b$ , на 5 – 15 % менша за ємність компенсуючого конденсатора  $C_k$ , в однолампових індуктивних схемах з таким же високим коефіцієнтом потужності.

До вагомї переваги дволампових ПРА з розщепленою фазою ще відносять більшу стабільність загального світлового потоку порівняно з одноламповою за наявності 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.

До недоліків компенсованих ПРА відносять неможливість зменшення втрат потужності до нуля, оскільки струм РЛ має високочастотні реактивні складові, а не тільки з частотою 50 Гц. Недоліком ПРА з розщепленою фазою є необхідність початкового налаштування ПРА тільки для відповідної пари ЛЛ. При виході з ладу однієї з ламп для досягнення зазначених переваг необхідно знову налаштувати ПРА з новими лампами. Налаштування проводять розрахунком компенсуючих елементів ПРА для кожної лампи окремо.

### Контрольні запитання

1. Поясніть роботу трансформаторної схеми безстартерного засвічення люмінесцентних ламп.
2. Які вимоги ставлять до повного опору дроселя відносно повного опору первинної обвитки трансформатора?
3. Які недоліки й переваги мають трансформаторні схеми безстартерного засвічення люмінесцентних ламп?
4. Чим обумовлена необхідність трансформаторних або автотрансформаторних ПРА безстартерного засвічення люмінесцентних ламп?
5. Чим відрізняють трансформаторні ПРА безстартерного засвічення люмінесцентних ламп від ПРА трансформаторних або автотрансформаторних з розсіянням?
6. Поясніть роботу трансформаторного ПРА з розсіянням для безстартерного засвічення люмінесцентних ламп.
7. Які ПРА називають компенсованими або не компенсованими і чим обумовлена необхідність компенсації?
8. Яким має бути компенсуючий елемент і як його підключають в ПРА?
9. Поясніть роботу ПРА з розщепленою фазою. Проведіть аналіз векторної діаграми.
10. Які переваги й недоліки мають ПРА з розщепленою фазою?

## Тема 11. БАГАТОЛАМПОВІ СВІТИЛЬНИКИ З ЛЮМІНЕСЦЕНТНИМИ ЛАМПАМИ

До багатолампових світильників з ЛЛ відносять світильники з двома і більше лампами. У них застосовують або ПРА для послідовного з'єднання ЛЛ, що мають однакову потужність, але розраховані на мережу живлення з нижчою напругою, або для збільшення коефіцієнта потужності й середнього світлового потоку – ПРА для схем з роцщепленою фазою, або трилампові світильники для тифазної мережі живлення 380/220 В. Останні мають широке застосування для освітлення промислових цехів і приміщень та зовнішнього освітлення, оскільки також мають підвищений середній світловий потік і коефіцієнт потужності.

Проаналізуємо як працює триламповий ПРА (рис. 11.1) для трифазної мережі. Трифазна мережа добре підходить до безстартерного засвічення ЛЛ тим, що в ній є різниця між фазною та лінійною напругою, а тому можна легко отримати підвищену синусоїдальну напругу холостого ходу й застосувати трансформаторні безстартерні ПРА.

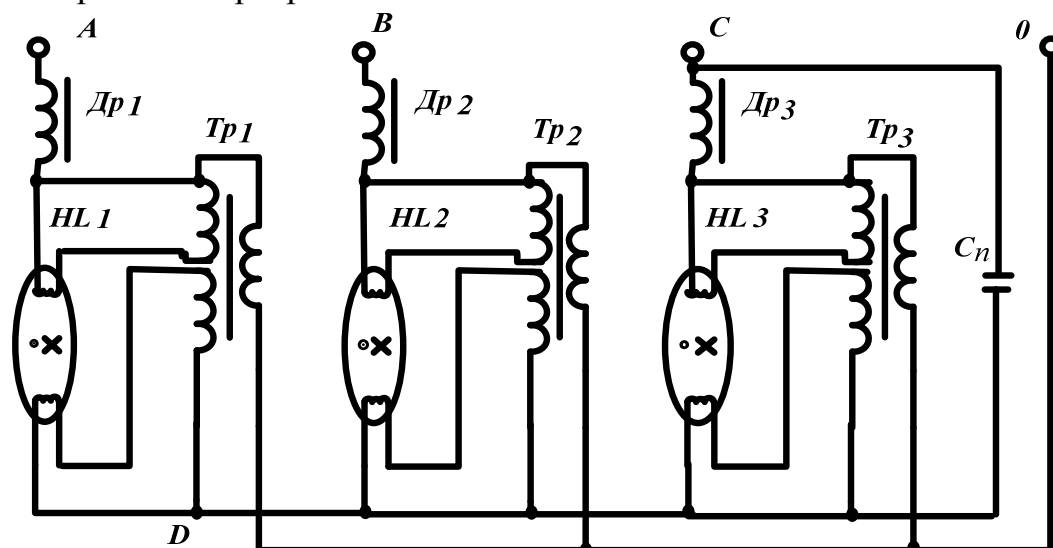


Рис. 11.1

Попереднє розжарення катодів кожної ЛЛ забезпечують окремі понижуючі трансформатори, які підключено до фазної напруги 220 В, окрім цього, первинні обвитки підключені після дроселя для забезпечення компенсації напруги розжарення катодів у робочому режимі. До трифазної мережі кожна ЛЛ зі своїм баластовим дроселем підключені за схемою “зірка” із загальною (нульовою) точкою  $D$ , що з'єднана з однією з фаз (на схемі з фазою  $C$ ) пусковим конденсатором  $C_n$ , а тому на кожній лампі діє напруга холостого ходу, що дорівнює лінійній напрузі 380 В. З двох ЛЛ ( $HL1$ ,  $HL2$ ), в якій після попереднього розжарення катодів напруга засвічення газу знизиться до напруги холостого ходу, газ засвітиться. Подібно відбудеться засвічення наступної лампи, після чого на лампі  $HL3$  буде діяти теж лінійна напруга, тому й у ній відбудеться засвічення газу. Практично засвічення трьох ламп відбудеться майже одночасно.

## Пускорегулюючі апарати для розрядних ламп високого тиску типу ДРЛ

Джерела світла, які називають люмінесцентними лампами, відносять до розрядних ртутних ламп з низьким тиском газу (від  $10^{-3}$  до декількох Торр). Експериментальні дослідження ртутного розряду в залежності від тиску газу показали, що максимум світлової ефективності розряду має місце не тільки за низького, а й за високого тиску (від 0,25 до 10-15 ат і вище), при цьому значно більшої величини (до 70 лм/Вт і вище). Розряд у газі за високим тиском має значно більшу густину випромінення порівняно з розрядом за низьким тиском, тому розрядні лампи високого тиску ще називають лампами високої інтенсивності. Збільшення тиску газу в робочому режимі досягають розігріванням газу до високої температури для випарювання розміщеної краплі рідкої ртуті з буферним газом аргонем в герметичному міцному об'ємі, що називають пальником, тому будова лампи високої інтенсивності (рис. 11.2) відрізняється від будови ЛЛ. Пальник 1, який виготовляють з кварцевого скла (для непоглинання ультрафіолетового випромінення розряду та утримання високої температури), має циліндричну форму й розміщений в захисній колбі 2. Остання не пропускає ультрафіолетове випромінення назовні, сприяє температурному режиму розряду й в деякій мірі пом'якшує вплив зовнішнього середовища на робочий режим лампи. На внутрішню поверхню колби наносять шар люмінофорного покриття 3. Електричну енергію вводять до лампи через патрон Є типу 4 і називають такі лампи, як ДРЛ (дугові, ртутні, люмінофорні). Якщо пальник має два робочих електроди 5, то лампу називають двоелектродною, а якщо має окрім робочих, ще й один або два засвічуючих електроди 6 – триелектродною або чотириелектродною. Для обмеження пускового струму, що протікає через засвічуючі електроди, вони приєднані до протилежних робочих – через обмежувальний резистор 7. За формою робочі електроди ДРЛ, що використовують для змінної мережі живлення, є однаковими і мають витримувати високі температури. Слід зауважити, що розподіл температури на колбі в робочому режимі залежить від положення лампи. Оптимальним для ДРЛ є вертикальне положення лампи. Для такого положення на рис.11.2 наведені температури колби ДРЛ 400 в робочому режимі.

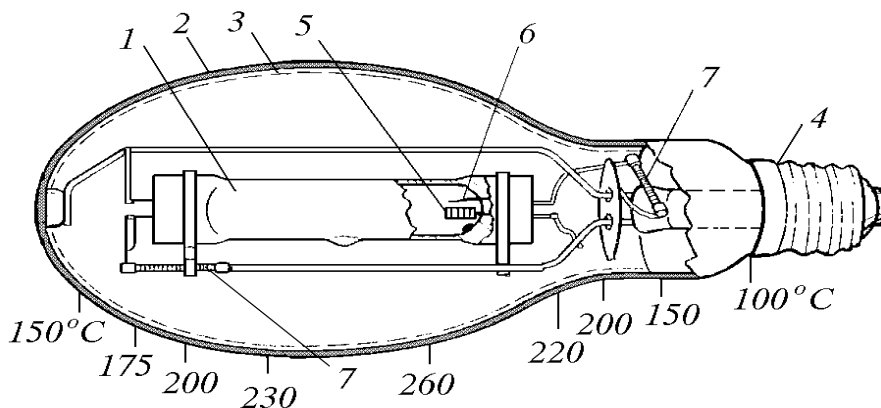


Рис. 11.2

Особливістю ДРЛ є те, що розряд у ній відбувається в газі за великим тиском, який приблизно дорівнює атмосферному, а тому робочий струм має збільшені значення відносно робочого струму ЛЛ. З цієї причини ПРА ЛЛ не можна використовувати для ламп високого тиску, оскільки вони перегріються й вийдуть з ладу. Дроселі для ламп високого тиску намотують дротом збільшеного діаметра. Напряга засвічення газу в двоелектродних ДРЛ (близько 4000 В) значно більша за напругу мережі, тому для засвічення їх до складу ПРА додають окремий пристрій, який називають імпульсним засвічуючим пристроєм (ІЗП). ІЗП має задовольняти таким вимогам:

- забезпечити створення імпульсів високовольтної напруги (4000 – 4500 В) для іонізації й наступного засвічення газу;
- автоматично відключитися після того, як відбудеться засвічення газу, оскільки в робочому режимі необхідність у високовольтних імпульсах відсутня;
- автоматично знову запрацювати, якщо лампа короткочасно погасне.

За конструкцією ІЗП виготовляють окремими або вмонтованими та за способом підключення до ДРЛ – паралельного або послідовного типу. Як окремий пристрій ІЗП паралельного типу має всього два високовольтні електричні вводи, послідовного типу – три.

Схема підключення паралельного ІЗП для засвічення двоелектродної ДРЛ наведена на рис. 11.3, а.

За подачі напруги мережі живлення на схему засвічення двоелектродної ДРЛ не відбувається, а тому струм через неї не протікає. Але через дросель, обмежувальний опір  $R$ , розрядний конденсатор  $C_p$  і вторинну високовольтну обвитку 2 імпульсного трансформатора  $ITp$  буде протікати струм, який заряде конденсатор  $C_p$  до відповідної напруги на його обкладинках.

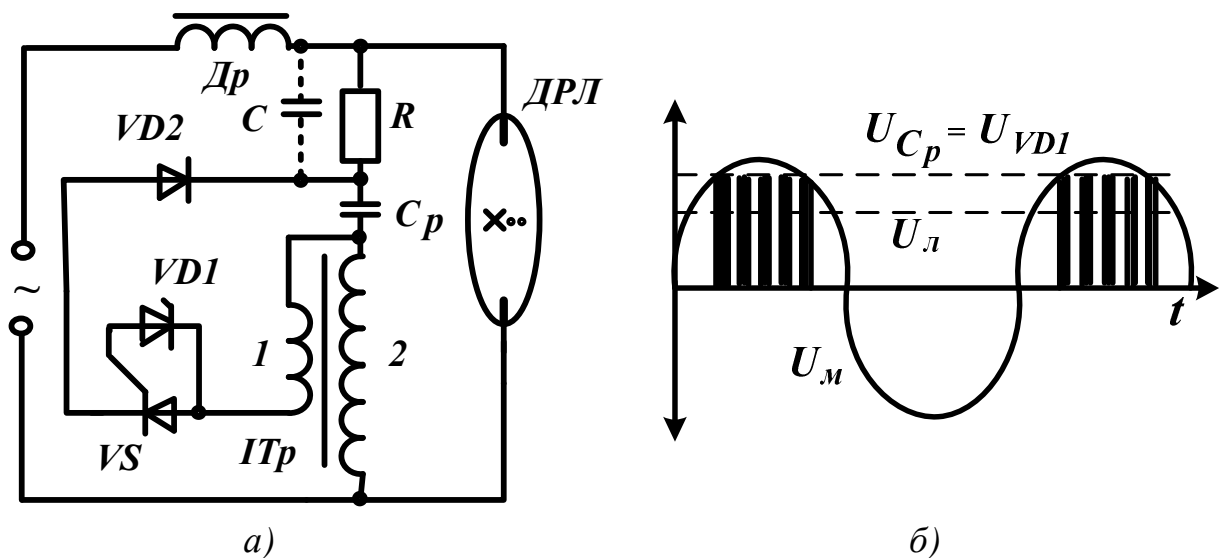


Рис. 11.3

Величина напруги  $U_{Cp}$ , до якої зарядиться конденсатор, залежить від характеристики стабілітрона  $VD1$ , оскільки він підключений до конденсатора

через первинну обвитку  $I_{Tr}$ , керуючий електрод тиристора  $VS$  і діод  $VD2$ . Стабілітрон вибирають таким, щоб його струм, за досягнення напруги стабілізації  $U_{VD1}$ , був достатнім для відкриття тиристора. Оскільки первинна обвитка  $I_{Tr}$  має всього 10 витків (тоді як вторинна до 200), відкриття тиристора приведе до миттєвого розряду конденсатора через первинну обвитку  $I_{Tr}$ , тиристор і діод  $VD2$ . Струм первинної обвитки наведе високовольтний імпульс у вторинній обвитці, який подіє на лампу через конденсатор  $C_p$  і опір  $R$ . Для полегшення проходження імпульсу опір іноді шунтують відповідною ємністю  $C$ . Перші імпульси частково іонізують газ, а наступні, що виникнуть через період, засвітять газ. Після засвічення газу через лампу потече робочий струм, величина якого залежить від опору баластового дроселя  $Dp$ , тому на лампі буде діяти не напруга мережі живлення, а робоча напруга  $U_l$ , яка в два рази менша, і конденсатор  $C_p$  тепер зарядиться до в два рази меншої напруги, якої не достатньо для роботи стабілітрона і стабілітрон не досягне робочої напруги й не відкриє тиристор, а отже ІЗП автоматично відключиться. За короткочасного погасання лампи напруга після дроселя, тобто на ІЗП, знову зростає до напруги мережі, що автоматично запусить ІЗП. Фактично ІЗП це – генератор групи високовольтних імпульсів. Кількість імпульсів у групі залежить від швидкості (сталого заряду  $\tau = 0,7R C_p$ ), з якою заряджається конденсатор  $C_p$  до напруги стабілізації стабілітрона, й величини цієї напруги. Очевидно (рис. 11.3, б), що величина напруги стабілізації стабілітрона має бути більшою за робочу напругу РЛ, тобто більшою за половину напруги мережі живлення.

У ІЗП послідовного типу вторинну обвитку  $I_{Tr}$  підключають послідовно з лампою (рис. 11.4), а тому через неї проходить ще й робочий струм лампи. Очевидно, що обвитки  $I_{Tr}$  мають задовільняти високим вимогам електричної ізоляції як між собою, так і відносно землі.

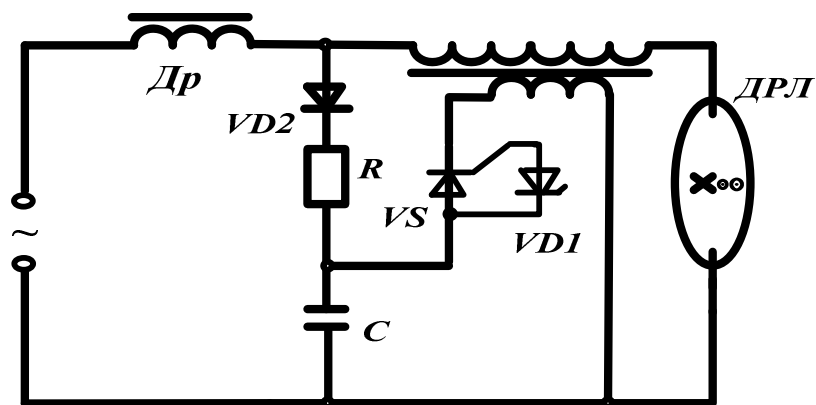


Рис. 11.4

Високовольтні імпульси негативно діють на катоди РЛ тому, щоб не виникала потреба в ІЗП, розробили чотириелектродні ДРЛ, що отримали широке розповсюдження для зовнішнього освітлення. Схема підключення чотириелектродної ДРЛ та будова пальника наведені на рис. 11.5. Пальник має,



окрім робочих електродів *1*, два засвічуючих *2* та краплю рідкої ртуті *3*.

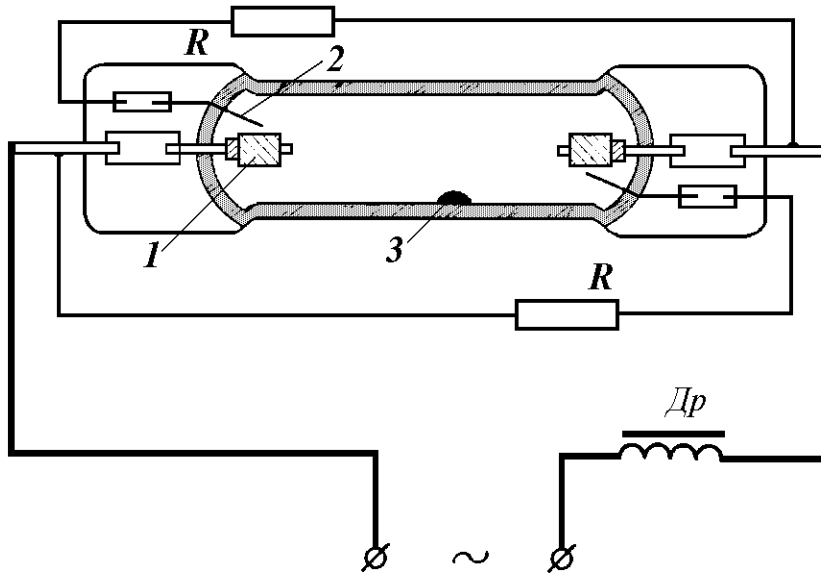


Рис. 11.5

У холодному стані пальник має газ з низьким тиском. За прикладення до схеми напруги мережі живлення засвічення газу між основними електродами не відбувається, оскільки для цього необхідна напруга, яка значно більша за напругу мережі. Але в лампі з додатковими засвічуючими електродами, що розміщені поблизу основних, тобто на відстані, що значно менша за відстань між основними електродами, можна підібрати опір  $R$  такої величини, щоб за вибраної напруги мережі виник допоміжний тліючий розряд з необхідним струмом між основним і засвічуючим електродом. Допоміжний розряд поступово ініціює розряд між основними електродами. Процес розвитку засвічення лампи високого тиску типу ДРЛ можна в головному розділити на три стадії: засвічення тліючого розряду між засвічуючим *2* і основним *1* електродами (подібно відбувається між іншим засвічуючим і основним електродами); розповсюдження зустрічних фронтів іонізації від одного основного електрода до іншого; об'єднання іонізаційних фронтів і формування тліючого розряду між основними електродами; перехід тліючого розряду між основними електродами в дуговий за змінним тиском; розгорання лампи (відбувається випарювання рідкої ртуті та перехід її в стан газу високого тиску); формування дугового розряду в газі сталого високого тиску, тобто стабілізація розрядного струму). В останній стадії стабілізацію розрядного струму забезпечує баласт (дросель), який на відміну від баласту люмінесцентних ламп, пропускає значно більший робочий струм.

Суттєвий вплив на процеси в лампі здійснює засвічуючий електрод, як його розміщення, так і його форма. Для забезпечення найменшої напруги засвічення допоміжного розряду засвічуючий електрод розміщують на відповідній відстані поблизу від основного електрода, щоб напруга засвічення не перевищувала напругу мережі. При цьому струм допоміжного розряду теж має бути відповідної величини. Величина цього струму загалом незначна й залежить від допоміжного опору  $R$ , який вибирають у межах 14-40 кОм, щоб струм

забезпечив розвиток тліючого розряду та не впливав на основний розряд. За формою засвічуючий електрод відрізняється від основного – є тонким дротиком.

Характерною особливістю ДРЛ є розгорання розряду протягом 5-10 хв в залежності від її потужності. Процес розгорання триває поки в пальнику не випариться вся рідка ртуть. Температура стінок пальника починає зростати з моменту засвічення основного (дугового) розряду. Зростання температури прискорює випарювання ртуті, а отже супроводжується зростанням тиску пари ртуті. Підвищення тиску пари супроводжується зменшенням струму, але зростанням градієнта потенціала в розряді й напруги на розряді, а отже й потужності. Зростання потужності приводить до наступного зростання температури, доки не випариться вся ртуть. Залежності характеристик розгорання розряду (світлового потоку, струму, напруги на лампі й потужності) від часу називають пусковими. Типовий вигляд пускових кривих наведено на рис. 11.6 для ДРЛ потужністю 400 Вт.

Характерною особливістю працюючої чотириелектродної ДРЛ є неможливість її повторного засвічення після короткочасної відсутності напруги мережі. Процеси засвічення розпочнуться тільки після охолодження лампи до температури  $\sim 200^{\circ}\text{C}$ , оскільки напруга засвічення за вищих температур стає значно більшою від напруги мережі. На рис. 11.7 наведена залежність напруги засвічення від температури стінки пальника. Напруга засвічення слабо залежить від температури стінки тільки у випадку коли вся ртуть випарилась (за температури  $\sim 500^{\circ}\text{C}$ , але напруга засвічення дуже велика 4000-5000 В), або коли пальник охолонув і напруга засвічення понизилась до 200-250 В. Отже, повторно ДРЛ засвітиться тільки після охолодження, зазвичай це – 2-6 хв, і залежить від умов охолодження й складу газу, яким наповнюють лампу.

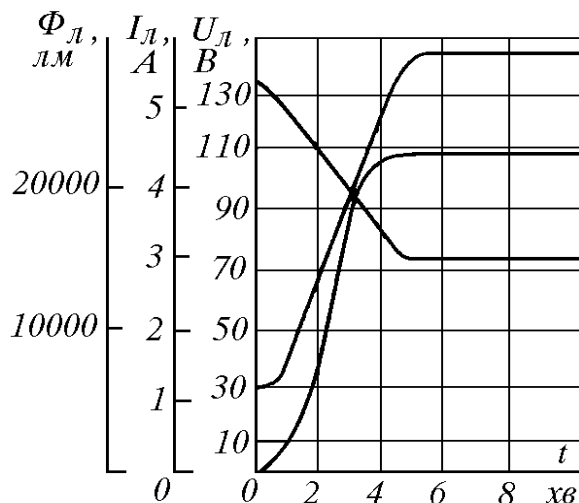


Рис. 11.6

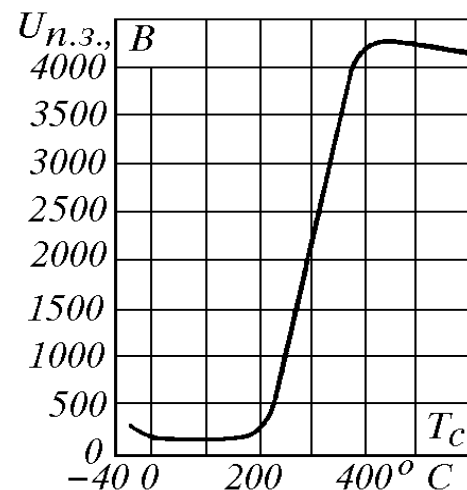


Рис. 11.7

На тривалість розгорання впливає температура довкілля, теплоізоляція зовнішньої колби лампи та потужність лампи. За пониженої температури довкілля тривалість розгорання зростає. Окрім цього, за від'ємних температур ( $\sim -20^{\circ}\text{C}$ ) зростає напруга засвічення, яка залежить тільки від тиску буферного

газу (аргону) в пальнику, оскільки тиск пари ртуті значно понижується. Пальники чотириелектродних ламп зазвичай конструюють так, щоб напруга засвічення тільки за температури докільля  $20 - 25^{\circ}\text{C}$  не перевищувала 200 В.

В якості баластового опору найчастіше використовують індуктивний баласт, але вибір того або іншого баластового опору найчастіше визначається часом розгорання лампи, який прагнуть звести до мінімально можливого. Цього можна досягти шляхом збільшення пускового струму. Оскільки у момент розгорання лампи падіння напруги на ній мале (близько 25 В), то пусковий струм можна прийняти таким, що дорівнює 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 в разі індуктивного баласту дорівнює:

$$\frac{I_{к.з}}{I_{л.р}} = \frac{1}{(1 - 1,09U_{л}/U)^2} \quad (11.1)$$

і знаходиться в межах 1,2 – 1,5.

У разі ж індуктивно-ємнісного баласту вираз для цього відношення складніший, але за звичайних співвідношень 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 для суттєвого зменшення часу розгорання лампи до дуже великих значень пускового струму, 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.

Деякі розрядні ртутні лампи високого тиску (ДРТ – дугові, ртутні, трубчасті, див. рис. 11.8) мають неякісну кольорову характеристику, тому їх не використовують для освітлення, але широко застосовують для опромінення в медицині, фотохімії, сільському господарстві та інше.

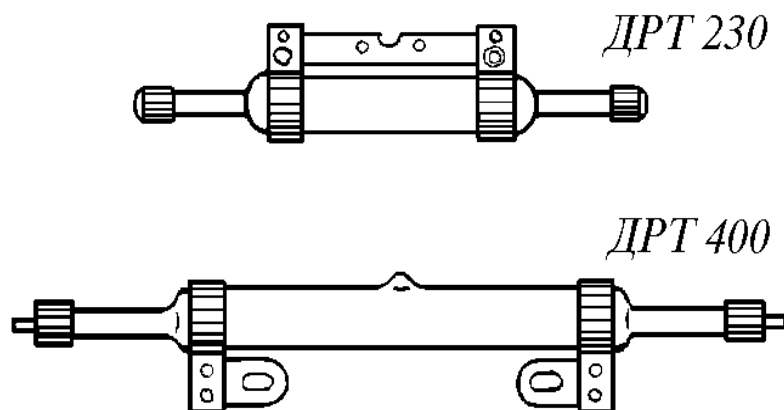


Рис. 11.8

До мережі живлення такі лампи приєднують в загальному через індуктивний ПРА (дросель), а засвічення полегшують металевою смужкою, що закріплюють на пальнику і яку з'єднують є електродом через конденсатор  $C_3$  ємністю 300 – 500 пФ (Рис. 11.9). Засвічують лампу натисканням пускової кнопки  $K$ . Тоді в результаті резонансу в колі: дросель, конденсатор  $C_1$ , опір  $R_o$ , мережа на конденсаторі з'явиться підвищена напруга, яка й засвітить газ. Якщо засвічення не відбудеться, то кнопку знову натискають і відпускають поки не відбудеться засвічення. Опір  $R_o$  обмежує імпульс струму, що виникає в процесі засвічення. Тривалість розгорання близько 10 -15 хвилин. Повторне засвічення ДРТ відбудеться тільки через 10 хв, тобто після повного охолодження.

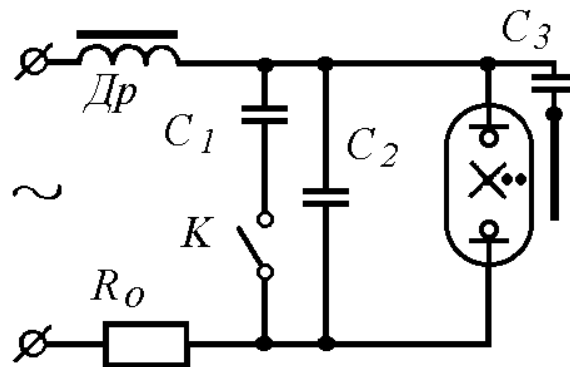


Рис. 11.9

Високу яскравість створюють ртутні кульові розрядні лампи надвисокого тиску з короткою дугою (ДРКНТ). Лампа являє собою виготовлену з кварцевого скла товстостінну (2 – 3 мм) колбу, кульову або близьку до неї форму (рис. 11.10). Активовані потужні вольфрамові електроди розміщені на відстані декількох міліметрів один від одного. Деякі лампи для полегшення засвічення виготовляють ще з допоміжним засвічуючим електродом з вольфрамів дроту. Особливістю таких ламп є низька робоча напруга (не більше за 36 В) за живлення напругою мережі 220 або 127 В, тоді як потужність може бути від 50 до 2000 Вт.

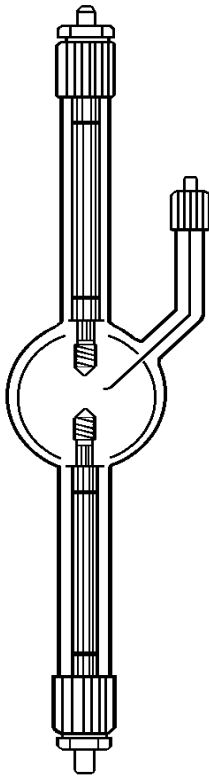


Рис. 11.10

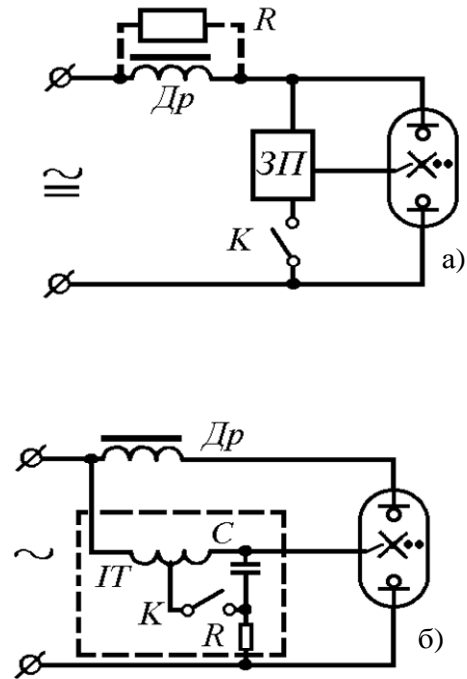


Рис.11.11

Такі лампи працюють як в колах постійного, так і в колах змінного струму. На рис. 11.11 наведені схеми ПРА, в яких на допоміжний засвічуючий електрод подають високовольтний імпульс, що створюють засвічуючим пристроєм ЗП. Одна з можливих схем засвічуючого пристрою з імпульсним підвищуючим трансформатором  $IT$  наведена на рис. 11.11, б). При підключенні до мережі засвічення лампи не відбувається, але відбувається зарядження конденсатора  $C$ . Резистор  $R$  обмежує струм заряду. Після замикання ключа  $K$  відбувається миттєвий розряд конденсатора  $C$  через низькоомну частину обмотки імпульсного трансформатора  $IT$  і на допоміжному електроді виникає високовольтний імпульс (5 - 10 кВ), який засвіче розряд в лампі. Після засвічення розряд ключ знаходиться в розімкненому положенні.

Металогалогенні лампи маркують як ДРІ МГЛ (дугова, ртутна, з добавками металів), газова суміш таких ламп складається окрім аргону і пари ртуті, ще з трійки йодидів Na, Tl, In (натрій, талій, індій) або Na, Sc, Th (натрій, скандій, торій). ДРІ мають високу світлову віддачу, великий термін корисної роботи та забезпечують достатню якість відтворення кольорів. Будова ДРІ подібна до будови ДРЛ (рис. 11.12), але пальник, що має два електроди або два основних і один засвічуючий, у них коротший і захисна зовнішня колба не має люмінофорного покриття. Робоче положення лампи (пальника) суттєво впливає на характеристики лампи. У горизонтальному положенні світловий потік зменшується в порівнянні з вертикальним, тому сучасні фірми випускають лампи для роботи у відповідному положенні.

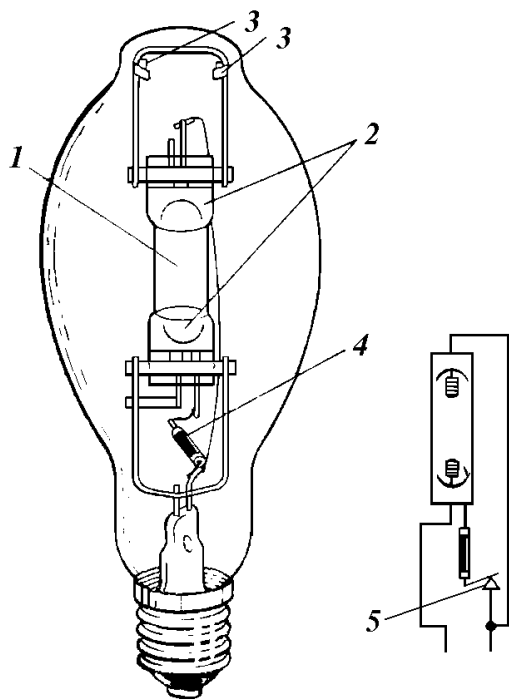


Рис. 11.12

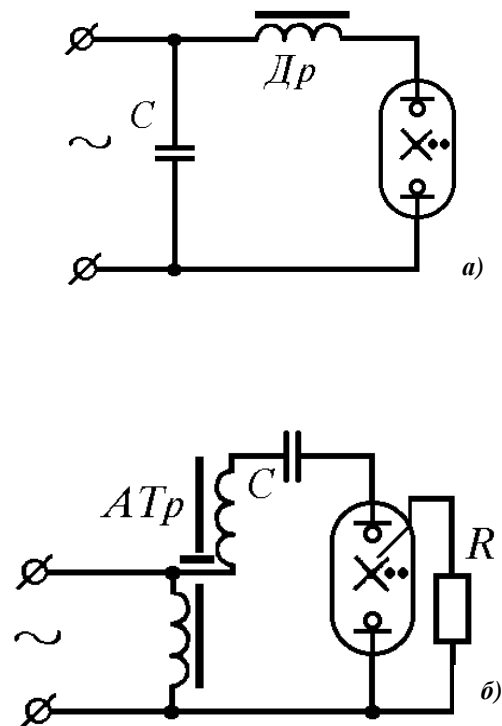


Рис. 11.13

Початкова напруга засвічення ламп ДРІ більша, ніж у ламп ДРЛ, тому для них використовують спеціальні ПРА або конструюють лампу з пальником 1, що має засвічуючий електрод, який через струмообмежувальний термостійкий опір 4 з'єднано з вмонтованим у колбу лампи засвічуючим термобіметалевим контактом 5. В еліпсоїдальній прозорій колбі пальник утримуть пружні розпирачі 3. Для збереження теплового режиму на кінці пальника наносять утеплюючі покриття 2. Наявність засвічуючого електроду дозволяє знизити напругу засвічення до 180-300 В. Термобіметалевий контакт після розмикання, створює високовольтний імпульс, який надійно засвітить газ у пальнику. Тепло, що виділяє пальник працюючої лампи, постійно нагріває термобіметалевий контакт, тому він буде розімкненим. Тривалість розгорання в лампі ДРІ в межах 2-5 хв, а повторне засвічення може відбутися тільки через 3-20 хв у залежності від швидкості охолодження, потужності лампи, її конструкції та схеми вмикання.

Схема ПРА для ламп з вмонтованим термобіметалевим контактом не відрізняється від схеми ПРА ДРЛ і наведена на рис.11.13, а), конденсатор  $C$  введено для підвищення коефіцієнта потужності схеми. Схема ПРА для триелектродної ДРІ без термобіметалевого контакту наведена на рис. 11.13, б). Опір  $R$  обмежує струм засвічуючого електрода, а вторинна обвитка пікового автотрансформатора з розсіянням  $ATp$  з конденсатором  $C$  створюють ємнісний баласт. Магнітопровід пікового автотрансформатора з розсіянням має немагнітний зазор на частині, де намотана вторинна обвитка для того, щоб відбулося швидке намагнічення. Тому наведена електрорушійна сила у вторинній обвитці викривляється й з синусоїдальної форми перетворюється в пікоподібну. Коефіцієнт амплітуди збільшується до 2 і це сприяє швидкому

засвіченню газу в лампі. Після засвічення форма напруги на лампі стає наближеною до синусоїдальної, оскільки ступінь насичення осердя за наявності зазору зменшується. Використання емнісного баласту має ряд переваг у порівнянні з індуктивним, таких як: зменшення пускового струму до номінальної величини; виключає напівперіодний режим, а отже захищає дросель від перенавантаження; лампу можна вмикати на фазну, тобто на пониженому напругу, а не на лінійну.

За високої якості передачі кольору лінійні МГЛ (рис. 11. 14, а) широко використовують для освітлення в кольоровому телебаченні. Оскільки такі лампи мають високу напругу засвічення (від 30 до 60 кВ), то для запобігання пробом відводи розведені на різні кінці лампи, а необхідний імпульс створюють в ПРА.

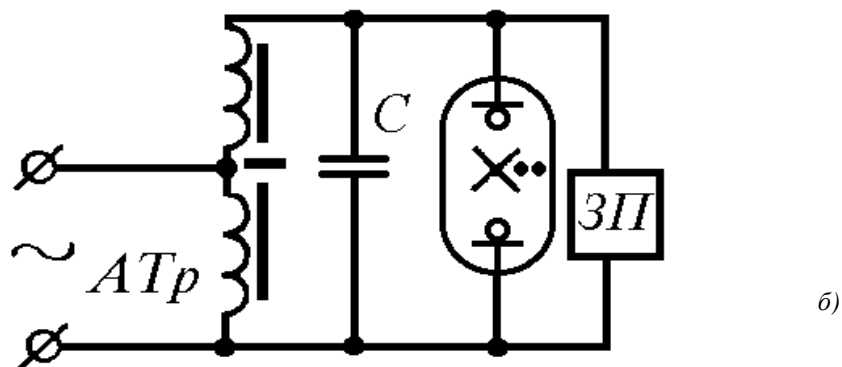
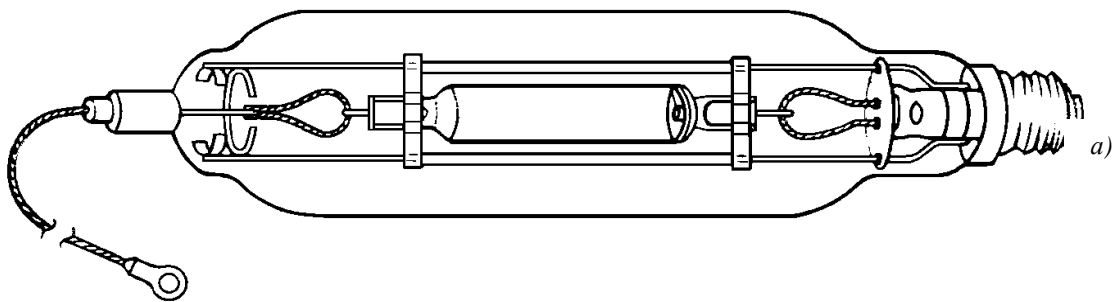


Рис. 11. 14

Автотрансформатор з розсіянням  $ATp$  (рис. 11.14, б) підвищує фазну напругу 220 В і одночасно є баластом (вторинна обмотка), а засвічуючий імпульс підвищеної напруги створює спеціальний засвічуючий пристрій.

Широкого застосування набули ртутні лампи високого тиску з добавкою в пальник натрію, тобто натрієві лампи високого тиску (ДнаТ), оскільки вони мають підвищену світловіддачу (100 лм/Вт) й термін корисної роботи до 20 тис. годин. За будовою ДнаТ відрізняється від ДРЛ формою й матеріалом пальника.

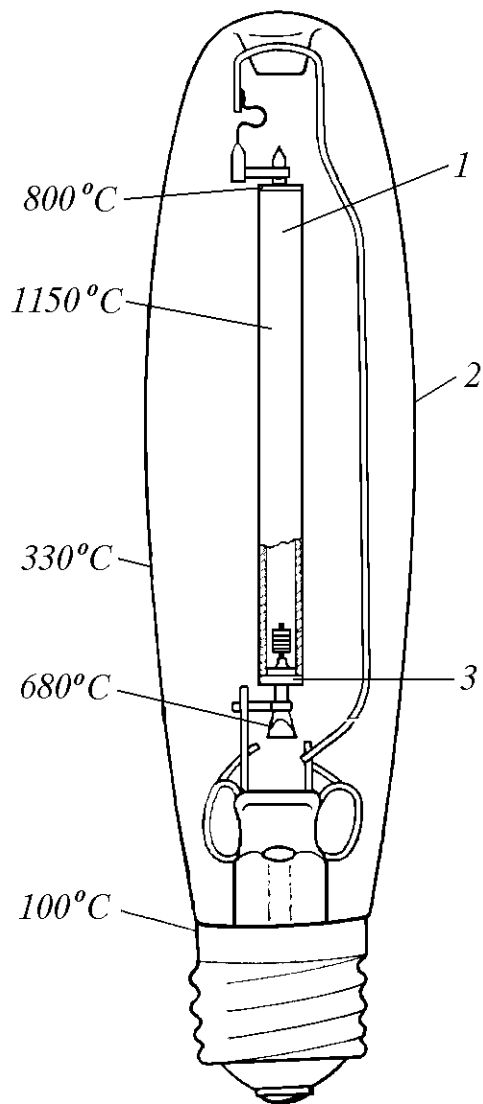


Рис. 11.15

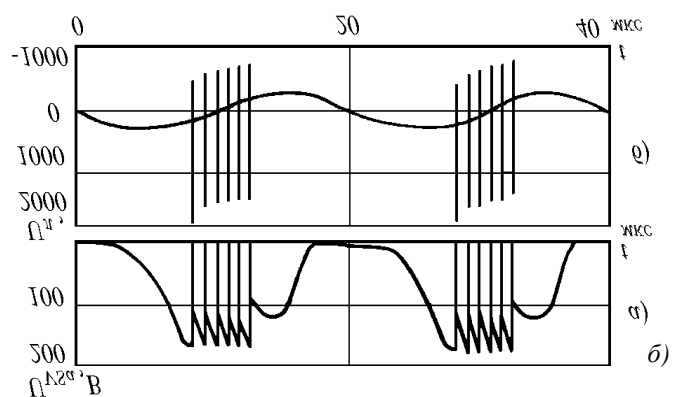
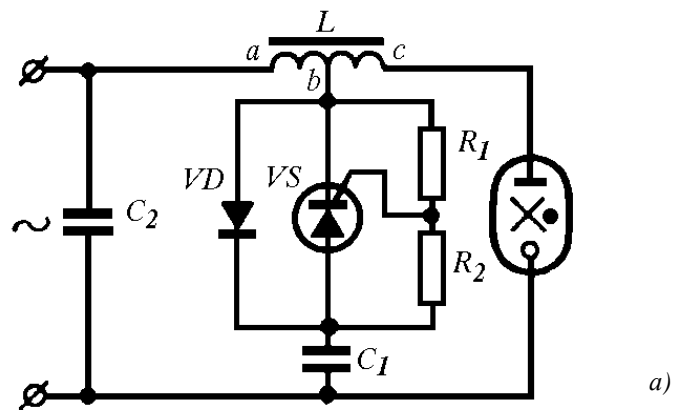


Рис. 11.16

Пальником 1 (рис. 11.15) є подовжена циліндрична трубка, діаметром від 6 до 12 мм, виготовлена з монокристалів оксиду алюмінію – лейкосапфіру, що є хімічно стійким до дії натрію та має високу прозорість (до 97 %) і яка з кінців закрита вакуумно-щільно металевими ковпачками з ніобію або керамічними заглушками 3 з ніобієвими відводами, на яких закріплені активовані вольфрамові катоди. Пальник вмонтовано у вакуумну скляну колбу 2. Високий вакуум необхідний для захисту ніобія від окислення та підтримання високої робочої температури пальника ( $1150^{\circ}\text{C}$ ), а також зменшує теплові втрати й робить лампу малочутливою до температури довкілля й робочого положення лампи. Тому ДнаТ працюють за температур довкілля від  $-60$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ . Розподіл температури на лампі наведено на рис. 11.15.

Напруга засвічення розряду в пальнику залежить поряд з іншими рівними умовами від інертного газу і дорівнює 2 – 4 кВ. ДнаТ засвічують скадніше, але подібно до засвічення двоелектродної ДРЛ. Для їх засвічення розроблені імпульсні засвічуючі пристрої (ІЗП), які генерують групу



малопотужних короткочасних імпульсів напруги, яку подають на електроди. Після ініціювання розряду ІЗП автоматично відключається.

Широкого застосування набули більш надійні спеціальні напівпровідникові схеми генератора імпульсів напруги засвічення, виготовленого як окремих пристрій – ІЗП (рис. 11.16, *а*), який формує високовольтні імпульси напруги тільки перед засвіченням газу в пальнику 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 закритому стані. В наступний напівперіод тиристор відкривається й в контурі, до якого входить частина  $ab$  обвитки дроселя і конденсатор, виникають коливання високої напруги з частотою, яка значно більша від частоти напруги мережі. Додаткова частина  $bc$  обвитки дроселя ще більше підвищує величину генерованих імпульсів напруги, які прикладені до лампи. Тиристор буде відкриватися кожного разу, коли напруга на його аноді має досягти напруги, яку через дільник  $R_2, R_1$  подають на керуючий електрод. Конденсатор  $C_2$  підвищує коефіцієнт потужності схеми і одночасно є ланкою, що забезпечує зворотне коло для коливань, які відбуваються в дроселі та конденсаторі  $C_1$ . Високочастотні коливання напруги на аноді тиристора й лампи на фоні синусоїдальної напруги мережі наведені на рис. 11.16, *б*.

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

На процеси засвічення РЛ високого тиску, зокрема на напругу засвічення, істотний вплив здійснює температура оточуючого середовища, наявність або відсутність засвічуючого електроду, проникнення атмосферного водню до пальника, тип баластного опору, матеріал оксидного покриття електродів й таке інше. На робочий же режим лампи в основному впливає коливання напруги мережі.

На першому етапі процес засвічення газу в РЛ високого тиску протікає подібно до процесів засвічення люмінесцентної лампи з холодними електродами, для яких напруга засвічення й процес іонізації залежать від ефекту Пеннінга між аргоном і ртуттю, а також від роботи виходу електронів з електродів. Чим нижча температура доквілля, тим менший тиск насиченої пари ртуті, а отже, вища напруга засвічення  $U_z$  газу в лампі (відповідно до закону Пашена). Тому найбільш висока напруга засвічення відповідає мінусовим температурам доквілля. Пальник чотириелектродної лампи конструюють так, щоб найменша напруга  $U_z$  була за температури  $+25^\circ \text{C}$  (вона трохи менша за амплітуду напруги мережі), тому за вищої температури доквілля  $U_z$  також зростає, оскільки зростає тиск насиченої пари ртуті в пальнику.

Пониження роботи виходу електронів зменшує величину напруги засвічення газу, тому бар'єві плівкові електроди кращі за торієві. До того ж можна створити такі умови роботи катодів, за яких бар'євий активатор швидше відновлюватиме емісійну здатність електродів РЛ, чим торієвий активатор. Це обумовлено тим, що окисел барію й продукти реакції між ним і кварцем прозорі

на відмінність від торія, який призводить почорніння стінки пальника.

Тому електроди з барієвим активатором можуть надійно працювати за умов, що забезпечують високу швидкість надходження активатора до робочої поверхні електрода без почорніння стінок пальника а, отже, відсутності втрат випромінювання. РЛ високого тиску з барієвим плівковим катодом мають термін роботи до 20-30 тис.годин, при чому через 20 тис.годин роботи світловий потік складає 75% первинного значення.

Про вплив засвічуючого електрода на напругу засвічення газу було зазначено вище, зауважимо лише, що велика різниця в швидкостях руху електронів та іонів робить струм у колі засвічуючого електрода несиметричним, струм буде значно меншим у від'ємному півперіоді, ніж у додатньому. А це значить, що біля засвічуючого електрода концентрація іонів буде підвищеною. Отже, між основним і засвічуючим електродами буде діяти падіння напруги постійного знаку, яке може привести до електролізу домішок лугів, що знаходяться в кварці. Електроліз приведе до руйнування місць впаювання електродів, тобто зниження терміну роботи пальника. Для уникнення цього, засвічуючий електрод необхідно робити такої довжини, щоб він досягав зони з достатньо щільною плазмою.

Як показують експериментальні дослідження, наявність водню в ртутному пальнику приводить до підвищення напруги засвічення газу. Вважають, 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. Окрім того, якщо електроди активовані торієм, то водень, реагуючи з ним, руйнує торієвий моношар і тим самим підвищує напругу засвічення. Цього недоліку позбавлені барієві плівкові електроди. Барієвий моношар взаємодіє й зв'язує водень і при цьому не руйнується, а тому напруга засвічення не зростає.

На робочий режим РЛ високого тиску істотний вплив створює відхилення напруги мережі від номінальної величини, особливо різке її пониження. За різкого миттєвого пониження напруги мережі РЛ може погаснути. Напруга мережі, за якої 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 більша потужність лампи й чим менша робоча напруга на ній. Отже, лампи великої потужності з низькою робочою напругою працюють стабільніше.

Експериментальні дослідження показали, що за роботи РЛ високого тиску типу ДРЛ з індуктивним баластом в мережі з номінальною напругою 220 В допускається зниження напруги до 0,9 номінальної напруги, а за роботи з індуктивно-ємнісним баластом – до 0,7 номінальної величини. Звідси витікає, що в мережі зі значними відхиленнями напруги від номінального значення, доцільно застосовувати індуктивно-ємнісні баласты. Окрім того, слід мати на увазі, що за нелінійної залежності напруги на баласті від струму (наприклад, дросель) зі зменшенням напруги мережі відбувається різкіше зниження струму, ніж за лінійної залежності, й лампа гасне швидше.

Натрієві лампи (ДнаТ) засвічуються значно швидше ніж ДРЛ, а процес розгорання проходить протягом 2-4 хв, в залежності від потужності лампи. В період розгорання в лампі встановлюється тепловий режим, за якого тиск пари натрію досягає оптимальної величини. Напруга на лампі дорівнює 22-25 В у момент засвічення газу, а через 2-4 хв досягає номінальної робочої величини і за цей же час стабілізується струм і потужність лампи.

Характерною особливістю ДнаТ є змінювання напруги повторного засвічення 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. За подальшого охолодження  $U_z$  починає зростати і приблизно через 5-7 хв досягає звичайного значення.

### **Загальний поділ пускорегулюючих апаратів для ламп типу ДРЛ, ДРТ, ДРІ та ДнаТ**

Пускорегулюючі апарати для ламп типу ДРЛ поділяють на три групи:

1) баластові дроселі для чотириелектродних ламп ДРЛ, які працюють від мережі промислової частоти фазної або лінійної напруги;

2) ПРА з пристроями імпульсного засвічення (складаються з баластового дроселя й спеціального засвічуючого пристрою) і призначені для роботи з двоелектродними ДРЛ, а також з лампами типу ДРТ, ДРІ та ДнаТ;

3) ПРА миттєвого засвічення газу, які виконані за схемами автотрансформатора з розсіянням, тобто в яких засвічення газу створює підвищена синусоїдальна напруга промислової частоти. Такі апарати застосовують для засвічення газу в пальнику лампи за умови від'ємної температури довкілля.

Головним елементом ПРА перших двох груп є баластовий дросель, який подібний до дроселів стартерних ПРА і має задовольняти за параметрами таким же вимогам, як дроселі стартерних ПРА за виключенням вимоги до струму попереднього розжарення катодів, оскільки в лампах високого тиску засвічення створюють за холодних (попередньо нерозжарених) катодів. Головні параметри дроселів для ламп типу ДРЛ наведені в Додатку (табл. 20.1), для ламп типу ДнаТ та ДРІ — в табл. 20.2. Розшифровка умовного позначення типу ПРА для ламп високого тиску та стартерних ПРА аналогічна, але після цифри, що показує потужність лампи, наводять позначення типу лампи ДРЛ, ДнаТ або ДРІ. Дроселі, що призначені для ламп типу ДРЛ, недозволено використовувати для ламп типу ДнаТ, оскільки вони розраховані на робочу напругу на 30—40 В, вищу за напругу для ламп ДнаТ.

Автотрансформаторні ПРА застосовують для ламп, в яких робоча напруга більша на 0,7 від номінального значення напруги мережі, тобто, автотрансформаторні схеми ПРА доцільно використовувати в мережах з номінальною напругою 100 – 110 В.

Для ламп типу ДРІ з потужністю 400 Вт використовують дросель ПРА ламп типу ДРЛ, такої ж потужності, з універсальним пристроєм засвічення УПЗ. У загальному засвічення розрядних ламп високого тиску

може бути здійснено також резонансними схемами ПРА, подібними до таких ПРА ЛЛ з холодними катодами, тобто до схем миттєвого засвічення з можливістю значного підвищення напруги холостого ходу (в 2,5-3 рази) в порівнянні з напругою мережі живлення.

### Контрольні запитання

1. Наведіть й поясніть переваги й недоліки багатолампових схем увімкнення ЛЛ.
2. Поясніть роботу трифазного безстартерного ПРА для ЛЛ.
3. Поясніть будову й принцип роботи двоелектродних і чотириелектродних ДРЛ, процеси, що протікають в ДРЛ у момент засвічення та її розгорання.
4. Поясніть роботу схем увімкнення двоелектродних і чотириелектродних РЛ високого тиску, їх переваги і недоліки.
5. Поясніть роботу схеми ІЗП для засвічення чотириелектродної ДРЛ.
6. Поясніть будову й принцип роботи ДнаТ, процеси, що протікають в ДнаТ у момент засвічення та її розгорання.
7. Поясніть роботу схеми ІЗП для засвічення ДнаТ.
8. Які особливості засвічення мають ДРТ та ДРІ?
9. Чинники, що впливають на процес засвічення газу в РЛ високого тиску?
10. Який вплив створюють відхилення напруги мережі й типи баластового опору в ПРА на роботу РЛ високого тиску?
11. Від чого залежить тривалість розгорання й повторного засвічення РЛ високого тиску та якими чинниками можна впливати на неї?
12. Який пристрій називають автотрансформатором, а також автотрансформатором з розсіянням?
13. Чим відрізняються з енергетичного боку ІЗП, що призначені для засвічення ДРЛ, від тих, що призначені для засвічення ДнаТ?

## Тема 12. РОБОТА ЛЛ НА ПОСТІЙНОМУ СТРУМІ

### Робота люмінесцентних ламп на постійному струмі

У певних умовах для світильників з люмінесцентними лампами використовують мережу живлення з постійною напругою (вагони метро, на залізниці та інш.).

Робота ЛЛ у мережі постійного струму має суттєві особливості в порівнянні з роботою в мережі змінного струму і потребує окремого розгляду.

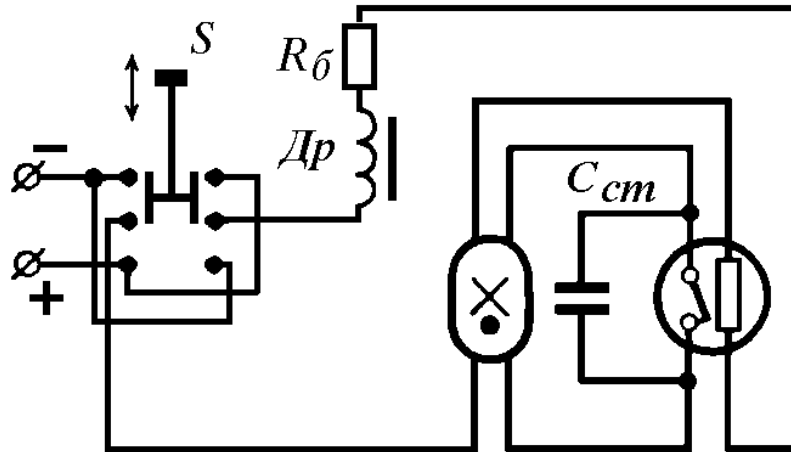


Рис. 12.1

Оскільки в умовах живлення ЛЛ постійною напругою дросель, або конденсатор не створюють, як баласт, необхідного опору, то в якості баласту використовують резистор (активний опір) необхідної величини. Дросель може бути введений до схеми ПРА, але тільки за мети збільшення індуктивності кола засвічення газу в ЛЛ. Окрім цього, полярність напруги не змінюється в процесі роботи ЛЛ, тому їх електроди працюють за різними тепловими режимами: анод нагрівається більше ніж катод і це веде до скорочення терміну корисної роботи ЛЛ. Найбільш “неприємним” явищем, що суттєво впливає на світлові показники ЛЛ за роботи в мережі живлення з постійною напругою, є катафорез. Грецьке слово “катафорез” перекладають як скидання, повалення. За проходження постійного електричного струму в ЛЛ, електричне поле переміщує додатні іони ртуті, що виникають у газі, від анода до катода, де вони нейтралізуються, тобто перетворюються в атоми ртуті, надлишок якої може конденсуватися (осідати) на стінці трубки. Таке переміщення створює різницю концентрації атомів ртуті по довжині трубки (біля анода створюється зона зі зменшеною концентрацією ртуті, а отже, зі зменшеною густиною її пари). За різниці концентрації атомів ртуті виникає зустрічний дифузійний потік атомів ртуті в напрямі до аноду, який буде урівнювати потік іонів. У результаті, яскравість свічення ЛЛ зменшиться і через декілька десятків годин роботи світловий потік зменшиться майже вдвічі.

Зважаючи на вищенаведене, схема ПРА для забезпечення роботи ЛЛ за умови живлення постійною напругою може бути такою, як зображено на рис. 12.1.

Попереднє розжарення катода ЛЛ у схемі здійснюють за допомогою теплового стартера. Баластом, що забезпечує роботу ЛЛ, є активний опір  $R_0$ , а дросель введено лише для збільшення величини імпульсу, що виникає за розмикання контактів стартера. Інколи, щоб зменшити економічні втрати, активний опір замінюють лампою розжарення необхідної потужності.

Зауважимо, що за роботи ЛЛ у мережі з постійною напругою величина робочого струму має бути зменшена на 10-20% відносно діючого значення за роботи на змінній напрузі, щоб зберегти такий же рівень світлового потоку. Величина напруги мережі має бути вдвічі більшою за робочу напругу ЛЛ. З метою зниження впливу негативних явищ, що наведені вище, до схеми введено перемикач  $S$  полярності напруги мережі, яким змінюють полярність напруги живлення на протилежну через деякий час роботи ЛЛ. Постійну напругу живлення можна створити зі змінної випрямлячем, що вводять до ПРА.

До переваг роботи ЛЛ за живлення мережею з постійною напругою відносять сталість світлового потоку (відсутність можливості виникнення стробоскопічного ефекту).

### Схеми регулювання яскравості ЛЛ

За особливостей, що мають розрядні лампи (необхідність засвічення газу, особлива реакція в роботі розрядних ламп на відхилення напруги мережі від номінального значення, наявність немалої напруги погасання), використання їх за умови необхідності поступового зниження яскравості (освітлення в театрах, кінотеатрах та інш.) потребує спеціальних схем живлення та підтримки розряду. Ці схеми й називають схемами регулювання яскравості.

Регулювати яскравість ЛЛ простим зменшенням напруги живлення, як регулюють яскравість ламп розжарення, не є можливим оскільки таке зменшення веде до зростання напруги повторного засвічення, яке виникає за зменшення робочого струму лампи. Щоб понизилась яскравість, дійсно треба зменшувати струм, але за умови збереження робочої напруги та навіть її збільшення.

Застосовують у загальному чотири методи регулювання яскравості ЛЛ, але завжди використовують постійне попереднє розжарення катодів (трансформаторні безстартерні схеми без компенсації струму попереднього розжарення) та струмопровідну смугу для пониження напруги засвічення. Всі методи регулювання яскравості ЛЛ основані на регулюванні струму, що протікає через лампу. Чим більше широкі межі регулювання струму, тим плавніше можна регулювати яскравість ЛЛ.

Простою схемою регулювання яскравості ЛЛ є схема з додатковим послідовним до баласту опором, який можна плавно змінювати (рис. 12.2). Величину опору  $R$  для ЛЛ потужністю 40 Вт вибирають порядку 1-1,5 МОм.

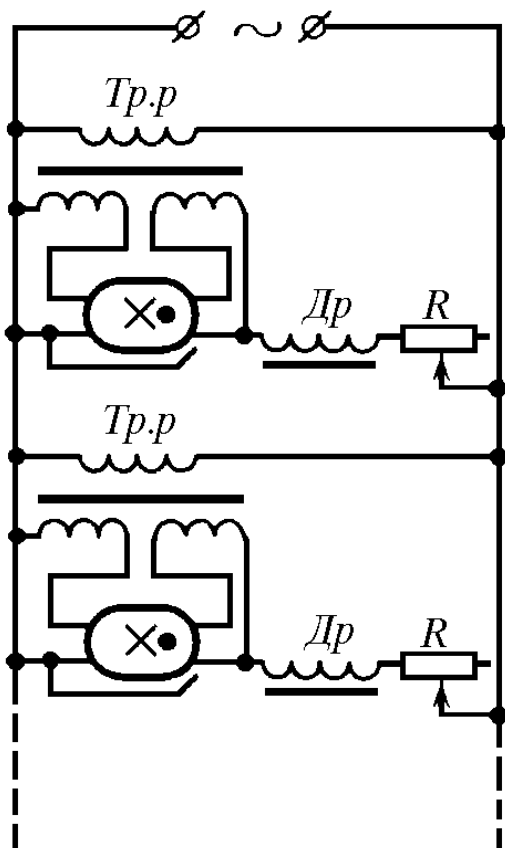


Рис. 12.2

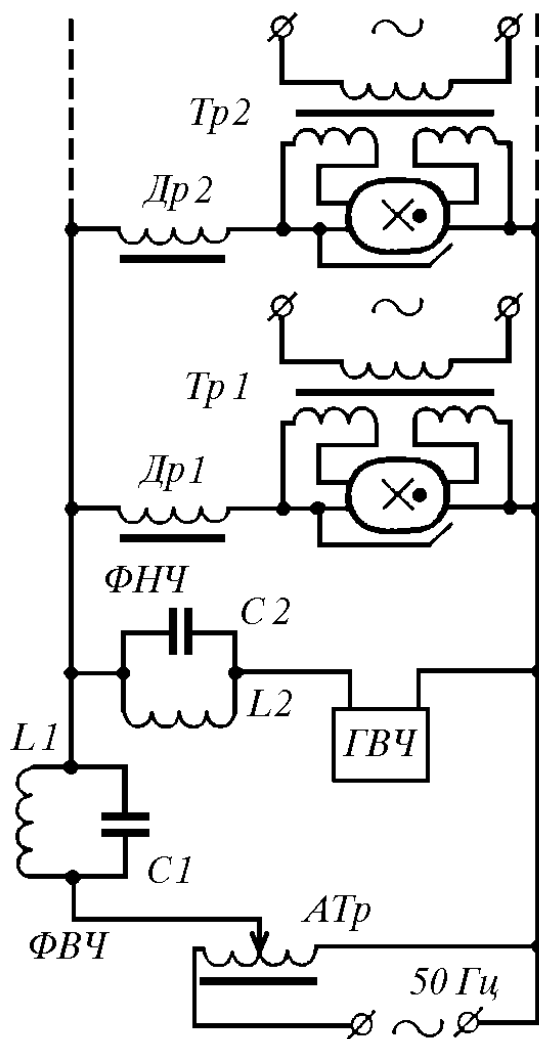


Рис. 12.3

У схемі застосовано безстартерний трансформаторний ПРА без компенсації струму попереднього розжарення катодів ЛЛ та зі струмопровідною смугою на ЛЛ для пониження напруги засвічення. Регулювання яскравості відбувається зміною величини опору  $R$ , причому найменше його значення, тобто нуль, відповідає номінальній яскравості, а збільшене – пониженню рівня яскравості в межах 1: 300. Регулювання опорів  $R$  кожної лампи здійснюють одночасно одним загальним приводом, що їх об'єднує. З економічних міркувань у таких схемах використовують не більше 9 ламп.

Більш економічною відносно втрат є схема регулювання яскравості ЛЛ з двома джерелами живлення (рис. 12.3) – основним з регульованою напругою промислової частоти (автотрансформатор  $АТр$ ) та допоміжний з напругою високої частоти (генератор  $ГВЧ$  з частотою 5-15 кГц). У схемі також застосовано безстартерні трансформаторні ПРА для кожної ЛЛ без компенсації струму попереднього розжарення катодів ЛЛ та зі струмопровідною смугою на лампі. Щоб джерела живлення не коротили одне одного, введені розмежувальні фільтри-пробки високої частоти  $ФВЧ$  та низької частоти  $ФНЧ$  (контур  $L1, C1$  не пропускає до промислового джерела струм високої частоти, а контур  $L2, C2$  не пропускає до  $ГВЧ$  струм промислової частоти). Генератор високочастотної

напруги підтримує іонізаційні процеси й розрядний струм в ЛЛ навіть за зниження напруги промислової частоти до нуля, тобто за найменшої яскравості. Його потужність має складати приблизно 1% потужності лампи, а конструктивно це окремий напівпровідниковий перетворювач частоти, що живиться напругою промислової мережі живлення. Яскравість ЛЛ регулюють поступовою зміною напруги автотрансформатора  $ATp$  у межах 1:200.

Інколи регулювання яскравості ЛЛ здійснюють за допомогою магнітних підсилювачів (рис. 12.4).

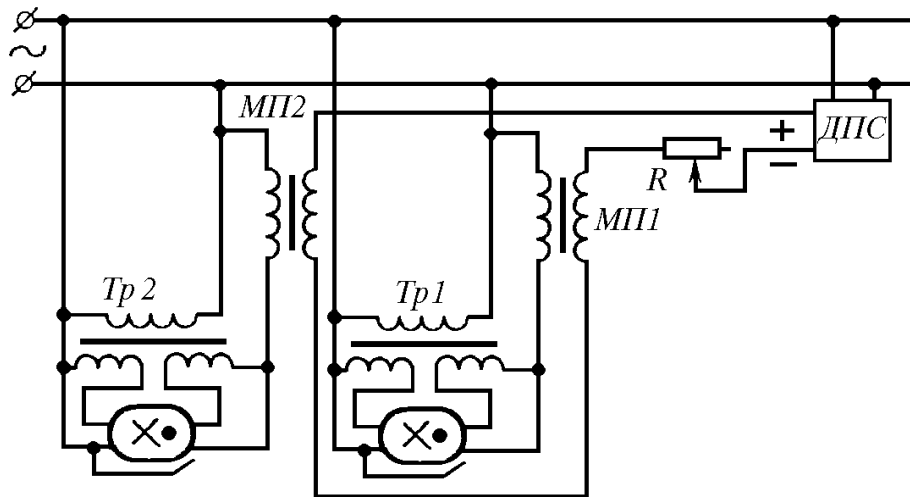


Рис. 12.4

У схемі використано дросель, який підмагнічують постійним струмом від додаткового джерела постійного струму ДПС. Дросель з підмагніченням, який ще називають магнітним підсилювачем МП, має додаткову обвитку (керуючу), через яку пропускають постійний струм, величину якого регулюють реостатом  $R$ . Збільшення постійного струму підмагнічення зменшує опір основної обвитки дроселя змінному струму, що протікає через ЛЛ, а отже приводить до зростання робочого струму ЛЛ, тобто її яскравості. Такі схеми є громіздкими й мають підвищені втрати потужності, тому застосовують їх рідко й для малої кількості ламп.

Широкого застосування для регулювання яскравості ЛЛ отримав фазовий метод. Фазовий метод базується на тому, що середнє значення струму, що протікає через лампу, а отже і яскравість, зменшується, якщо тривалість проходження струму за половину періоду буде зменшена. Зменшення тривалості проходження струму через лампу за половину періоду можна досягти підключенням керованого схемою керування ключа, послідовно з лампою (навантаженням), який буде пропускати струм тільки у відповідні моменти, коли він буде відкритим. Таким ключем можуть бути два тиристори, що підключені паралельно зустрічно, або один симістор, як на схемах, що наведені на рис. 12.5,а і 12.5,б, відповідно.



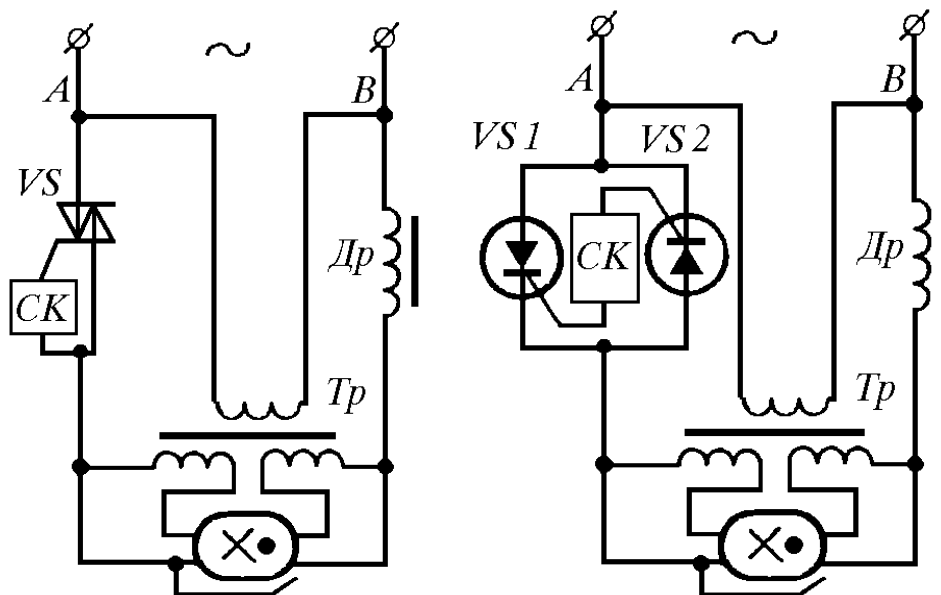


Рис. 12.5

Схема керування *СК* (рис.12.6,а) генерує імпульси, що подають на керуючі електроди тиристорів *VS1*, *VS2* (або симістора *VS*), який за відповідної полярності прикладеної напруги мережі, відкривається за період змінної напруги протягом відповідних проміжків часу (рис. 12.6,б), в залежності від необхідної яскравості.

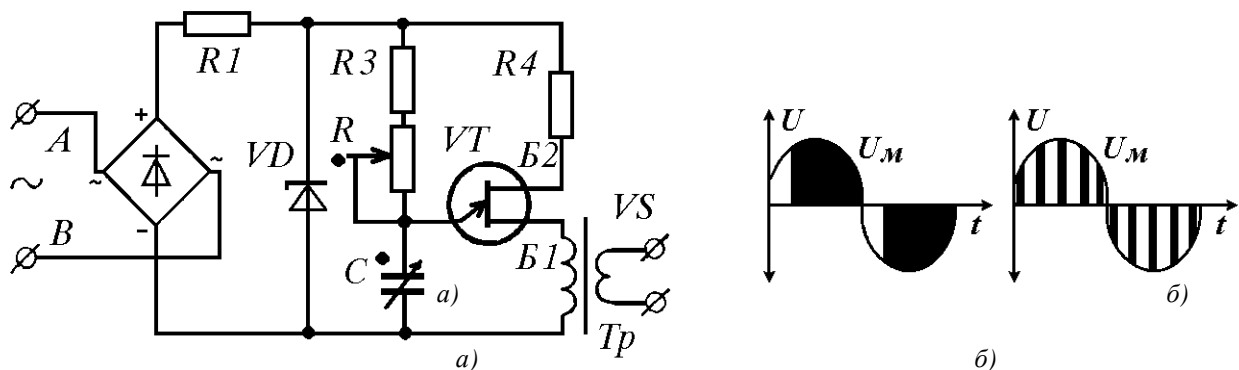


Рис. 12.6

У схемі керування формують синхронізовані з мережею імпульси, що відкривають симістор, за допомогою тригера, побудованого на основі двобазового одноперехідного транзистора *VT*, зарядно-розрядних елементів: *R3*, *R*, *C*, опору ділянки емітер-база *Б1* транзистора, первинної обвитки імпульсного трансформатора *Tr*. Від цих елементів залежить тривалість і частота імпульсів, які створює заряд конденсатора *C* від напруги стабілізації стабілітрона *VD* до величини відкриття транзистора, а потім розряд конденсатора *C* через низький опір ділянки емітер-база *Б1* відкритого транзистора та первинну обвитку імпульсного трансформатора *Tr*. Імпульси, що подають на керуючий електрод симістора, формуються вторинною обвиткою імпульсного трансформатора *Tr*. Регулюванням величин опору *R* та конденсатора *C* можна регулювати як тривалість імпульсів, так і частоту.

Фазовий метод дозволяє здійснювати регулювання яскравості в широких межах, але потребує додаткових заходів для полегшення засвічення газу в лампі. Щоб уникнути проблем із засвіченням, попереднє розжарення катодів здійснюють за трансформаторною безстартерною схемою без компенсації струму попереднього розжарення та використовують для зниження напруги засвічення люмінесцентні лампи зі струмопровідною смугою.

Зменшення тривалості проходження струму через лампу за половину періода можна більш ефективно досягти широтно-імпульсною модуляцією.

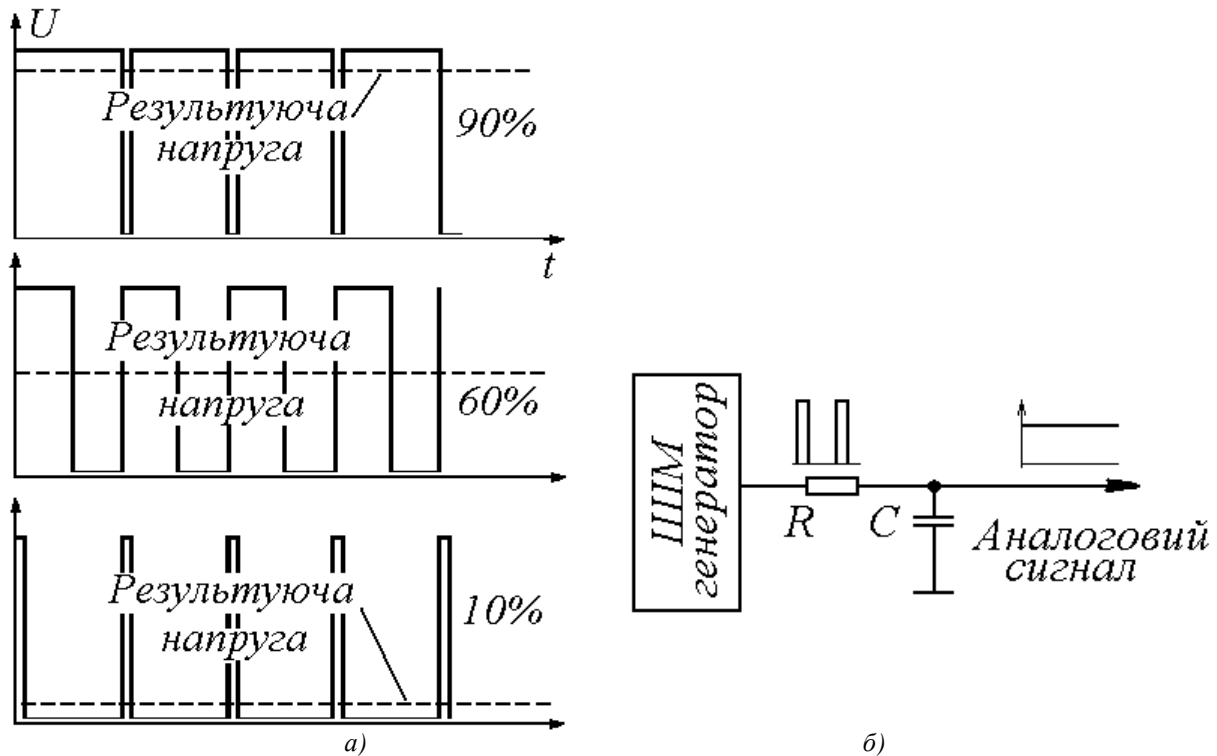


Рис. 12.8

Широтно-імпульсна модуляція (ШИМ), в англійській транскрипції (PWM - Pulse Width Modulation) – це перетворення аналогового сигналу (напруги або струму) в цифровий (відносні одиниці та нулі), який після інтегрування перетворюють в аналоговий сигнал, величина якого дорівнює площі, що займають імпульси. Площу, що займають імпульси, можна повільно змінювати змінюючи шпарність (відношення тривалості періода до тривалості імпульса) імпульсів (рис. 12.8,а). Після інтегрування однополярні імпульси перетворюють на постійну напругу з регульованою зміненою величиною. Чим більшою буде шпарність імпульсів, тим меншою буде результуюча напруга. Дійсно, велика шпарність відповідає тільки короточасному порівняно до періода прикладенні напруги до навантаження, що рівнозначно зменшенню напруги живлення. Таке зменшення не пов'язане з додатковими втратами на баласті, оскільки зменшення напруги досягнуто просто її відсутністю. Інтегрування з одночасним згладженням ШИМ імпульсів можна здійснювати  $RC$  ланцюжком (рис. 12.8, б).

Для створення змінної напруги з можливістю поступового регулювання її величини за допомогою застосування ШИМ необхідно спочатку перетворити

змінну напругу живлення в двополярну постійну, а потім оцифрувати її з відповідною широтно-імпульсною модуляцією.

Двополярні імпульси подібно перетворюють у змінну напругу (рис. 12.9), якщо шпарність змінювати від максимуму до мінімуму за синусоїдальним законом.

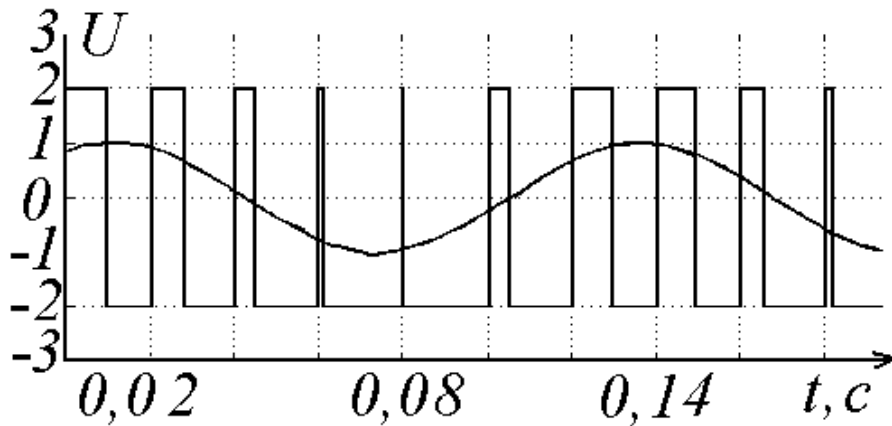


Рис. 12.9

До речі, якщо застосувати три ШІМ генератори, що створюють три синусоїди, які мають зрушення фази на 120 градусів, то отримаємо трифазну регульовану напругу, тобто отримаємо сучасну цифрову повідню формування змінної напруги.

Такий спосіб регулювання яскравості складніший, але є високо економічним та дозволяє змінювати яскравість лампи в широких межах. Висока економічність обумовлена відсутністю додаткових втрат на опорах для фактичного зменшення напруги мережі живлення. У схемах з ШІМ генераторами фактично здійснюють вмикання та вимикання напруги у відповідні проміжки часу, тому й втрати відсутні, але для полегшення засвічення газу в лампі також необхідно вживати додаткових заходів.

### **Робота розрядних ламп за підвищеної частоти напруги живлення**

Залежність від частоти струму характеристик ПРА (реактивних опорів – дроселя, ємності), що використовують в якості баласту для забезпечення роботи дугової розрядної лампи, дозволяє значно зменшити їх конструктивні розміри, якщо підвищити частоту струму, який протікає через них. Оскільки величина реактивного опору дроселя дорівнює  $X_L = \omega L$ , а ємності –  $X_C = 1/(\omega C)$ , то збільшення частоти в 1000 разів дозволяє не змінюючи  $X_L$  та  $X_C$  зменшити  $L$  та  $C$  також у 1000 разів.

Отже, якщо живлення розрядної лампи здійснювати напругою підвищеної частоти, конструктивні розміри ПРА будуть мініатюрними. Окрім зазначеного, з підвищенням частоти змінюються світлові та електричні характеристики розрядних ламп, процеси іонізації та деіонізації в стовпі розряду наближаються до динамічної рівноваги, динамічна ВАХ практично має лінійну залежність. Зі збільшенням частоти напруги живлення перезасвічення

розряду відбувається полегшено і практично миттєво, катоди не встигають охолонути, а розрядний проміжок – деіонізуватися. Пік напруги в момент перезасвічення газу зменшується до практичного зникнення, а форма кривої струму наближається до синусоїдальної незалежно від типу баласту, як і коефіцієнт потужності наближається до однакового збільшеного, наближеного до одиниці, значення. Пульсація світлового потоку настільки зменшується, що її можна не враховувати, тобто стробоскопічний ефект відсутній. Підвищення частоти суттєво зменшує спадання світлового потоку за час експлуатації лампи і оскільки режим роботи катодів стає менш напруженим, збільшується термін корисної роботи лампи в середньому на 20 %.

### Електронні пускорегулюючі апарати для люмінесцентних ламп

Живлення розрядної лампи напругою підвищеної частоти здійснюють у схемах з електронними пускорегулюючими апаратами (ЕПРА). Напругу підвищеної частоти створюють за допомогою напівпровідникових перетворювачів частоти – інверторів за мостовою або напівмостовою схемою. Для живлення напівпровідникової схеми змінну напругу випрямляють напівпровідниковими елементами або живлять автономним джерелом постійної напруги відповідної величини. Тоді випрямляч стає непотрібним і світильник може бути переносним, незалежним від промислової мережі живлення.

Навантаженням інвертора є розрядна лампа з необхідними баластом і елементами запуску. Блок-схема електронного ПРА наведена на рис. 12.10.

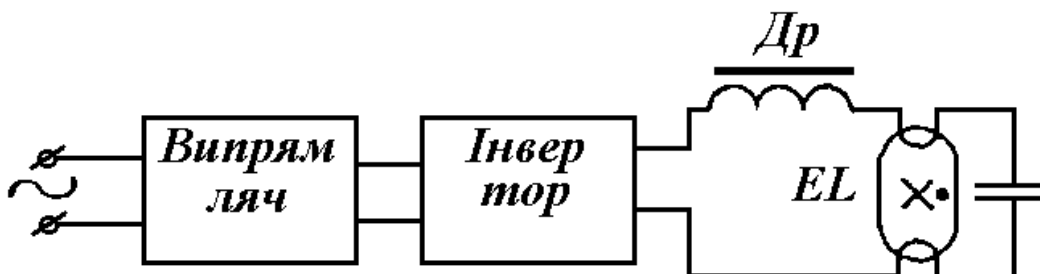


Рис. 12.10

Перетворювачі-інвертори частоти поділяють на групові та індивідуальні. Групові ЕПРА забезпечують роботу групи ламп, що використовують в освітлювальній системі, а індивідуальні – роботу однієї лампи. Індивідуальні ЕПРА монтують у світильнику або безпосередньо з лампою. Незалежно від того групові ЕПРА, чи індивідуальні, вони мають однакові функціональні елементи і в загальному відрізняються тільки потужністю навантаження, на яке розраховані. Недоліком групових ЕПРА є необхідність прокладання від них спеціальної високочастотної мережі до групи ламп, в якій виникають додаткові втрати енергії, що пов'язані з радіозавадним випроміненням, тому найбільшого розповсюдження набули індивідуальні ЕПРА, що монтують у світильнику або безпосередньо з лампою, оскільки всі його елементи мають малі конструктивні розміри і можуть бути розміщені як біля лампи, так і з лампою безпосередньо, що

забезпечило широке використання розрядних ламп для аварійного освітлення та в транспортних засобах.

Принцип роботи індивідуального ЕПРА можна пояснити за типовою, реальною схемою зі самозбудженням генерації, що наведена на рис. 12.11.

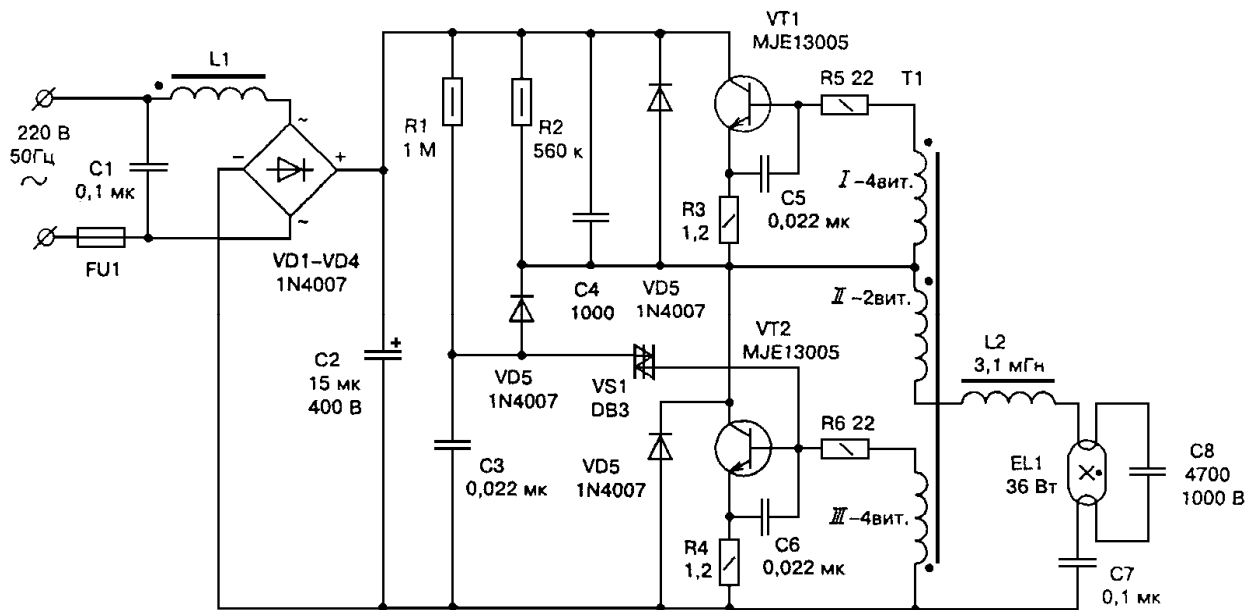


Рис. 12.11

Випрямляч побудований на діодах VD1-VD4. До блоку випрямляча входить фільтр радіовад L1, C1 та згладжуючий конденсатор C2 (або фільтр). Інвертор – напівмостова схема на біполярних транзисторах (VT1, VT2) зі зворотнім зв'язком за струмом, в якій симетричний диністор VS1 служить для автозапуску генерації. Діагоналлю напівмосту є обмотка II трансформатора T1, що з'єднана послідовно з дроселем (баластом) L2, який обмежує струм лампи і конденсаторами C7, C8. Ці елементи створюють резонансний контур, в якому після запуску генератора з'являються високочастотні (ВЧ) коливання, й визначають частоту. Напряга від випрямляча заряджає конденсатор C3 через опір R1, й одночасно струм протікає через ланцюг: R2, C4, обмотка II трансформатора T1, дросель L2, катоди лампи й конденсатори C7, C8, тому відбувається ще й зарядження конденсатора C7. Сам по собі генератор не запуститься, тому в ланцюг бази транзистора VT2 включений симетричний диністор VS1. Як тільки напруга на конденсаторі C3 за його заряду досягне напруги пробою диністора VS1, останній відкриється і напруга конденсатора C3 відкриє транзистор VT2 й відбудеться запуск генератора ВЧ – коливань, оскільки конденсатор C7 почне розряджатися через відкритий транзистор VT2 і через лампу по зазначеному ланцюгу (C8, катоди лампи, L2, обвитка II трансформатора T1) потече струм, але в зворотньому напрямі. Тобто, в обвитках імпульсного трансформатора T1 буде наводитися електрорушійна сила (ЕРС), полярність якої залежить від напрямку її намотки. ЕРС обвиток I, III що приєднані до баз транзисторів VT1, VT2 протилежні за полярностями, тому транзистори будуть закриватися та відкриватися по чергово в момент насичення осердя трансформатора T1. Після прогріву катодів і засвічення газу

в лампі, робочий струм розряду буде шунтувати конденсатор С8 і частота коливань запуску зміниться на робочу. Частоту запуску підбирають, щоб пусковий струм був трохи більшим за робочий струм лампи (див. аналіз резонансних безстартерних схем засвічення ЛЛ). Діод VD5 підтримує конденсатор С3 в розрядженому стані протягом роботи генератора.

Особливістю такої транзисторної схеми є наявність струмообмежуючих опорів R3, R4 в емітерних ланцюгах та необхідність використання спеціальних транзисторів з відносно високим опором у стані насичення, оскільки тільки за цих умов будуть значно зменшені прохідні струми (струм, що виникає в момент (~ 1 мкс), коли обидва транзистори залишаються відкритими, оскільки відкривання транзистора відбувається завжди швидше ніж закривання), які виведуть з ладу транзистори з відносно малим опором в стані насичення. За частоти 50 кГц осердя дроселя L2 – це феритове кільце, 15 мм діаметром. Сучасний розвиток виробництва електронних елементів дозволив розробити ЕПРА на базі мікросхем – контролерів як для мереж промислової частоти, так для автономних низьковольтних джерел (5 –12В) постійної напруги.

### Будова та принцип роботи світлодіодів

До світловипромінюючих діодів (СВД) відносять напівпровідникові діоди, що випромінюють некогерентне світло за дії прямого струму, що через них проходить (рис. 12.12).

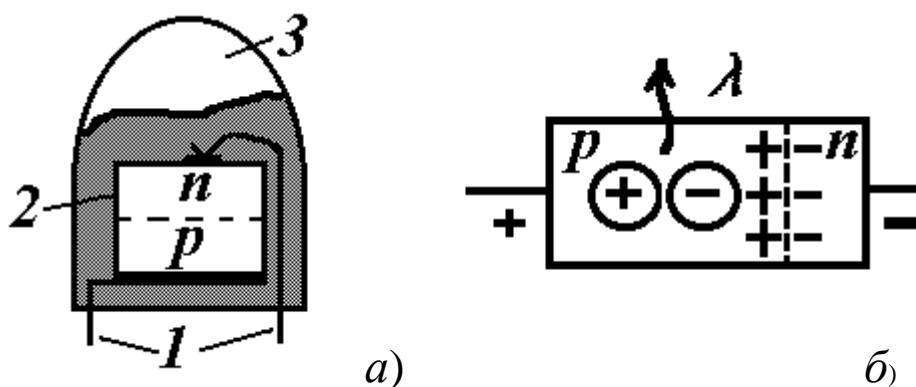


Рис. 12. 12

Напівпровідниковим діодом (рис. 12.12, а) називають [13] кристалічну структуру 2, яка має зону з  $p$  – провідністю, що контактує з зоною з  $n$  – провідністю, і до яких приєднані електричні відводи 1, та полімерну лінзу 3. Тип провідності показує, що є основним носієм рухомих зарядів – дірка ( $p$ ), чи електрон ( $n$ ). Зону із  $p$  – провідністю іноді називають анодом, або емітером (це – низькоомна зона), а зона з  $n$  – провідністю (високоомна область) – катодом, або базою. Об’єднання таких зон створює на межі потенціальний бар’єр, тобто електронно-дірковий перехід ( $p - n$  – перехід). Якщо до  $p$  – зони прикласти плюс зовнішньої напруги, а до  $n$  – зони – мінус (таке підключення називають прямим) (рис. 12.12, б), то рівновага в зоні переходу порушується, величина

потенціального бар'єра зменшується і в колі потече прямий струм. Чим більшою є прикладена напруга, тим більшим буде величина прямого струму.

У світловипромінюючих діодів за протікання прямого струму відбувається інжекція (з латинської *injectare* – вкидання) неосновних носіїв заряду (електронів або дірок) до зони бази діода, яка супроводжується рекомбінацією цих носіїв – переходом з високого енергетичного рівня на низький, а залишок енергії виділяється, як випромінення в площині *p-n* – переходу кванта світла. Випромінення фотонів відбувається в площині переходу й можливе лише у вузькому діапазоні, що відповідає енергії забороненої зони  $E_g$ , довжина хвилі випромінення дорівнює  $\lambda = h \cdot c / \delta E$ , де  $h$  – стала Планка,  $c$  – швидкість світла,  $\delta E$  – величина залишкової енергії, яка майже дорівнює енергетичній ширині забороненої зони  $E_g$  напівпровідника світловипромінюючого діода.

Для видимого випромінення має бути  $E_g > 1,8$  еВ, тому СВД виготовляють з таких напівпровідників як фосфід-галію (GaP), карбід кремнію (SiC), тверді розчини: галій-арсен-фосфор (GaAsP), галій-арсен-алюміній (GaAsAl) – дають червоне світло, та нітрид галію (GaN). Останній має найбільшу ширину забороненої зони ( $E_g > 1,8$  еВ), а тому є можливість отримати випромінення в короткохвильовій частині світла аж до фіолетової.

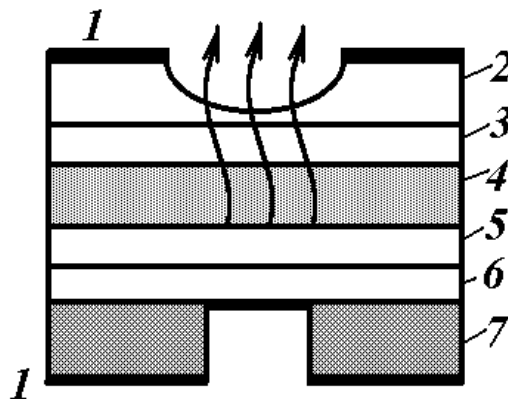


Рис. 12.13

Якщо в речовину напівпровідника ввести атоми домішка – активатора, ще кажуть легірувати (лат. *legare* – зв'язувати, з'єднувати), то можна змінити у відповідних межах колір світла випромінення (рис.12.13, де 1 – електричні відводи, 2 – GaAs ( $n^+$ ) – зі збільшеною концентрацією електронів, ніж в 3 – AlGaAs ( $n$ ), 4 – GaAs ( $p$ ) активний шар, 5 – AlGaAs ( $p$ ), 6 – AlGaAs( $p^+$ ) зі збільшеною концентрацією дірок, ніж в 5, 7 – SiO<sub>2</sub> шар). Так легірування цинком, киснем або азотом фосфіда галію дає можливість отримати зелене, жовте, помаранчове та червоне світло. У деяких СВД, що виготовляють на основі арсеніду галія використовують подвійне перетворення енергії за допомогою антистоксового люмінофору. Такі СВД мають максимум випромінення в інфрачервоній частині спектру ( $\lambda = 0,9$  мкм), а видиме світло дає люмінофор, яким покривають частину діода, з якої виникає випромінення.

## Головні параметри та характеристики світлодіодів

Позначення СВД, що використовують у схемах, наведено на рис. 12.14 *a*, еквівалентна схема, як на рис.12.14, *б*, де  $R$  – опір напівпровідника й відводів,  $R_{\partial}$ ,  $C_{\partial}$  – опір та ємність  $p-n$  – переходу, відповідно.

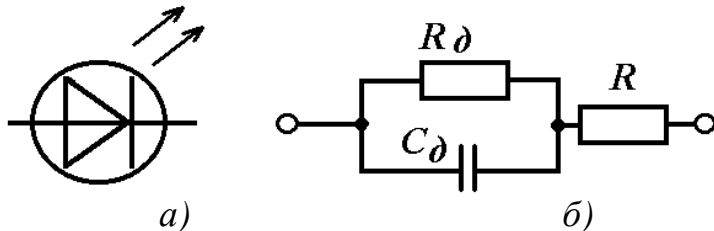


Рис. 12.14

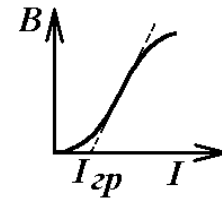


Рис. 12.15

Зазначимо, що  $R_{\partial} = 10-100$  Ом у більшості СВД, причому СВД є струмовими приладами, тобто для живлення й керування їх роботою необхідне джерело струму, а не напруги. Яскравість свічення ( $B$ ) світлодіодів різко змінюється від долей до сотень  $\text{кд.м}^2$  за зміни прямого струму від одиниць до десятків міліампер і приблизно пропорційна числу зарядів, інжекттованих  $p-n$  – переходом, в якому для цього необхідно забезпечити значну густину струму (не менше  $30 \text{ А/см}^2$ ), щоб отримати задовільну яскравість. Тобто необхідно пропускати через перехід (звичайних розмірів) струм порядку  $5-100$  мА, а отже витратити значну електричну потужність на живлення інжекційного діода.

Оскільки об'єм напівпровідника залишає тільки частина фотонів, а інші, після віддзеркалення від поверхні, поглинаються в об'ємі, то для оцінки вводять поняття квантової ефективності випромінення або зовнішнього квантового виходу. Зовнішнім квантовим виходом називають відношення числа фотонів, що випромінені назовні до числа неосновних носіїв зарядів, що інжекттовані  $p-n$  – переходом. Зазвичай квантовий вихід складає  $0,1-30\%$ . На відміну від розрядних ламп у СВД основною є не вольт – амперна, а люкс – амперна характеристика, тобто залежність яскравості свічення ( $B$ ) від величини прямого струму ( $I_{пр}$ ). Вона має початковий нелінійний відрізок, що відповідає низькій яскравості, та практично лінійний, у межах якого яскравість змінюється від  $10$  до  $100$  разів (рис. 12.15), де залежність яскравості від струму виражають як  $B = B_0(I_{\partial} - I_{zp})$ , де  $B_0$  – чутливість за струмом (показує, як змінюється яскравість за зміни струму на одиницю),  $I_{zp}$  – граничний струм, за якого можлива лінеаризація (зазвичай у межах  $0,1 - 2,5$  мА).

До головних характеристик СВД, окрім яскравості свічення  $B$ , відносять: силу світла  $I_{\nu}$  – світловий потік на одиниці просторового кута у відповідному напрямі, в  $\text{кд}$  (канделах) (зазвичай  $0,1 - 10$  мкд); колір свічення або довжина хвилі випромінення; постійну пряму напругу (зазвичай  $2 - 4$  В) за заданим струмом  $I_{пр}$ ; кут випромінення – плоский кут, у межах якого сила світла становить не менше половини від максимальної та залежностей: сили світла за струмом, спектральної густини  $I_{\nu}(\lambda)/I_{\nu}(\lambda)_{\max}$  за довжиною хвилі та прямого струму за прямої напруги  $U_{пр}$ .



## Схеми підключення (ПРА) світлодіодів, розрахунок кола

Можна вважати, що в електричних схемах СВД мають один головний параметр, що забезпечує його нормальну роботу, це – прямий струм, що протікає через нього. Світлодіоди не називають дво-або тривольтовим, оскільки вони мають різний внутрішній опір, пов'язаний з технологією виготовлення їх кристалів, а тому робочий струм буде створювати різне падіння напруги, яке забезпечить його роботу. За цієї причини виробники наводять середнє значення напруги за оптимального робочого струму для групи СВД.

Отже, ідеально буде жити СВД стабілізатором струму. Але стабілізатори струму коштують значно більше за виготовлення навіть дешевого світлодіода, тому для забезпечення живлення СВД від будь-якої мережі постійної напруги використовують ПРА – баласт, який і забезпечує оптимальний струм. Таким баластом є активний опір  $R_{\phi}$ , підключений послідовно до СВД (рис. 12.16). На рис. 12.16,б зображена схема підключення до джерела живлення як послідовної, так і паралельної групи СВД.

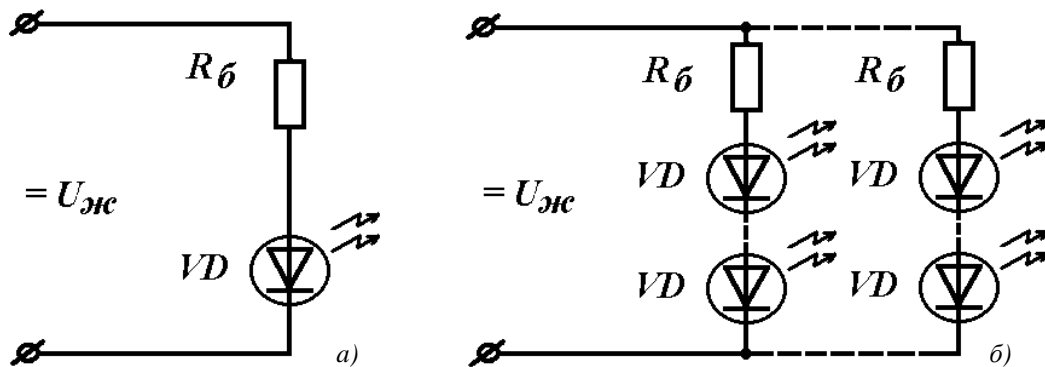


Рис. 12. 16

Розглянемо розрахунок баластових опорів на прикладі наведених схем. Будемо вважати, що величина напруги живлення, наприклад, – 12 В (може бути будь-яка), а струм вибраних діодів 20 мА. Зазвичай за вказаного струму напруга  $U_{np}$  для червоних та жовтих СВД лежить у межах 1,8 – 2,4 В (середня 2,0 В), а для білих, синіх та зелених СВД – 3,0 – 3,5 В (розрахункова 3,0 В). Якщо необхідно підключити СВД з напругою 2,0 В до джерела 12 В, необхідно “погасити” 10,0 В, ( $12,0 - 2,0 = 10,0$  В). Залишок постійної напруги можна “погасити” лише активним опором, величину якого можна розрахувати за законом Ома.

$$R_{\phi} = U / I_{\phi} = 10,0 / 0,02 = 500 \text{ Ом.}$$

Оскільки погашення відбувається завдяки перетворенню електричної енергії в тепло, що буде нагрівати цей опір, то необхідно ще розрахувати необхідну потужність розсіювання тепла:

$$P_{\phi} = U \cdot I_{\phi} = 10,0 \cdot 0,02 = 0,2 \text{ Вт}$$

і вибрати ( на практиці) з подвійним номіналом, тобто – 0,5 Вт.

У наведеному прикладі ми провели попередній розрахунок; для остаточного – необхідно виміряти струм СВД і якщо він буде меншим за

робочий (0,02 А), то слід зменшити величину опору  $R_{\delta}$  і напаяти – збільшити. Після такого налаштування ми отримаємо оптимальний режим СВД, який буде гарантувати 10 років безперервної роботи СВД, як стверджує виробник, але додамо, що всі ці 10 років будемо “гріти” довкілля теплом, що розсіює  $R_{\delta}$ .

Якщо будемо підключати декілька світлодіодів послідовно (наприклад, два червоних) та декілька паралельно (наприклад, три синіх,  $U_{np}=3,0$  В) (рис.12.16 б), то тепер необхідно “погасити” для червоних  $12,0 - (2,0+2,0)=8,0$  В. Для цього баластовий опір для червоних має бути:

$$R_{\delta} = U / I_{\partial} = 8,0 / 0,02 = 400 \text{ Ом.}$$

Очевидно, якщо візьмемо шість послідовно з’єднаних червоних СВД, тоді необхідності в баластовому опорі не буде.

Для паралельної гілки трьох послідовно з’єднаних синіх СВД необхідно “погасити”  $12,0 - (3,0+3,0+3,0)=3,0$  В, тобто  $R_{\delta} = U / I_{\partial} = 3,0 / 0,02 = 150$  Ом, потужністю  $P_{\delta} = U \cdot I_{\partial} = 3,0 \cdot 0,02 = 0,06$  Вт (вибираємо  $P_{\delta} = 0,12$  Вт).

Для захисту схем СВД від імпульсних вад, що розповсюджуються лініями мережі живлення, необхідно застосувати схему рис. 12.17 а, де вхідна ланка  $VD$ ,  $C$  обмежить їх вплив, а якщо джерело живлення є нестабільним, слід застосовувати стабілізатори.

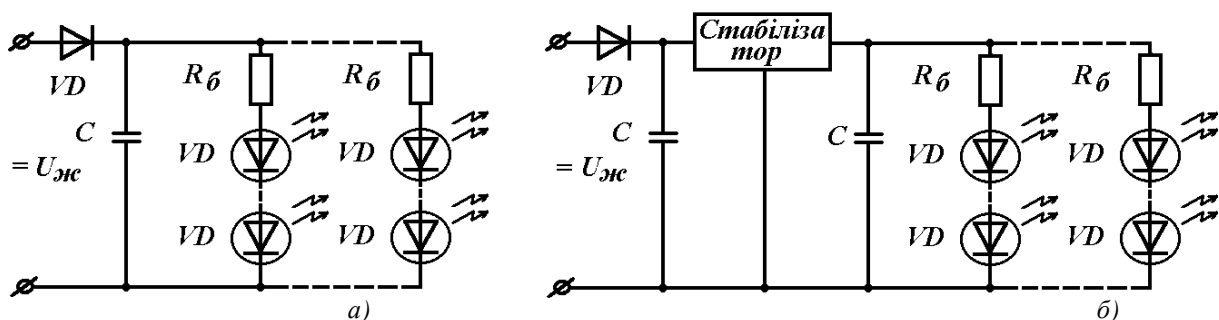


Рис. 12. 17

Вище ми зазначили, що найкращим варіантом живлення СВД є стабілізатор струму, але можна використовувати й стабілізатор напруги (рис. 12. 17 б). Тепер такі прилади виготовляють у вигляді інтегральних мікросхем (наприклад, КР142ЕН12 – закордонний аналог LM317; або К142ЕН8Б, відповідно).

Зауважимо, що за розрахунків ПРА для СВД з мікросхемами необхідно враховувати відповідне падіння напруги на самій мікросхемі. Також необхідно мати на увазі деякі особливості роботи світильників з великою кількістю СВД. Так, за великої кількості СВД в світильнику протікає значний струм, тому за вмикання виникне в колі значний імпульс напруги, який призведе до значного імпульсу струму, що пошкодить СВД. Окрім цього, слід вибирати СВД для гілки послідовних з’єднань з однаковими характеристиками й від одного виробника, а також зважати на значну залежність робочого струму СВД від температури довкілля й розраховувати баласт не на номінальний робочий струм, а на 15% менший (зменшення яскравості буде незначним, але термін роботи – збільшеним),

та, за необхідності, застосовувати радіатори, щоб відводити й понижувати робочу температуру. Необхідно також пам'ятати, що світлодіоди це – прилад, який має полярність, а також є кристалом, тобто достатньо тендітним і чутливим до дії різних механічних напружень (згинань відводів, температури пайки та інш.)

### Методи розрахунку схем ПРА з розрядними лампами

Методи розрахунку схем ПРА з розрядними лампами в загальному є наближеними і можуть бути оціночними в залежності від наближеності до реальних процесів, що протікають в колах з розрядними лампами. Існують на основі апроксимації кривої напруги на лампі методи розрахунку такі: метод еквівалентних синусоїд, метод припасування, метод гармонічного аналізу та операторний метод, а також на основі диференціальної апроксимації динамічних ВАХ лампи. Перші методи основані на принципі Г. Штрауха – форма напруги на лампі не залежить від форми розрядного струму, тобто лампу в електричній схемі замінюють еквівалентним генератором з нульовим внутрішнім опором, а останній метод базується на основі апроксимації електричних характеристик ламп диференціальними рівняннями, тобто побудовою диференціальної математичної моделі електричних параметрів ламп, яка враховує початкові умови та інерційність процесів розряду.

У методі еквівалентних синусоїд форму напруги на лампі замінюють на синусоїдальну з умовою, що між фазою напруги і фазою струму існує зрушення на кут  $\varphi_L = (6-14)^\circ$ . Тоді для схеми з індуктивним баластом напругу на дроселі розраховують як

$$U_{\partial p} = \sqrt{U_M^2 - U_L^2 \cos(\varphi_L + \varphi_{\partial p})} - U_L \sin(\varphi_L + \varphi_{\partial p}); I_L = I_{\partial p} = U_{\partial p} / (\alpha \omega L),$$

де  $\varphi_{\partial p}$  – кут втрат в дроселі [ $\varphi_{\partial p} = P_{\partial p} / (U_{\partial p} I_{\partial p})$ ], а  $\alpha$  – коефіцієнт, яким враховано вплив на баласт вищих гармонік струму. Похибка цього методу 10-15<sup>o</sup>.

У методі гармонічного аналізу напруга на лампі задана аналітично рядом Фур'є:

$$U_L = \sum_{s=1}^{\infty} A_s \cos(s\omega t) + B_s \sin(s\omega t),$$

і після використання принципу накладання визначають струми усіх гармонік у вигляді тригонометричних рядів.

В операторному методі використовують зображення за Лапласом для напруги живлення, а лампу замінюють нелінійним опором і знаходять корені характеристичного рівняння контура й зображення основних його електричних параметрів, за якими знаходять оригінали.

Розробкою й застосуванням розглянутих методів розрахунку займалися такі вчені, як Р. Г. Ізвеков, Р. І. Караєв, Б. Є. Патон, В. Х. Лебедев, П. Г. Туровська, В. М. Скобелев, В. Р. Сперне, А. Г. Алиханіді, В. Є. Еленбас, П. С. Шульц, Ф. Леман, А. Є. Краснопольський, А. М. Троїцький,

С. Б. Лазаревич, В. І. Літвінов, М. І. Фугенфіров, А. А. Спіріна, А. Л. Васерман, А. С. Симонян, Д. Дмитров та інші.

Для оціночних розрахунків параметрів баластного дроселя, які не потребують великої точності, можна використати такі наближені вирази діючих значень напруги на дроселі, розрядного струму та косинуса зрушення фази:

$$U_{dp} = U_m \sqrt{1 - m^2 - 1,14m\delta \sqrt{1 - 1,23m^2}}$$

$$I_L = (U_L / \omega L) (m \sqrt{1 - 1,18m\delta - 1,14m\delta \sqrt{1 - 1,23m^2}}$$

$$\cos \varphi = 0,9m \sqrt{1 - 1,23m^2} / \sqrt{1 - 1,18m^2},$$

де  $m = (U_L / U_m)(1 + 0,8P_{dp} / P_L)$ ,  $P_{dp}$  – потужність втрат у дроселі,  $\delta$  – коефіцієнт, величина якого лежить у межах 0,20 – 0,05 у залежності від типу, потужності й напруги на лампі [9],  $\omega L$  – індуктивний опір дроселя,  $\omega = 2\pi f$  – циклічна частота напруги мережі,  $f$  – частота напруги живлення,  $\cos \varphi$  – коефіцієнт потужності комплекта ПРА – лампа.

Оскільки розрахунки ПРА є достатньо складними, то для виробництва елементів ПРА розроблені керуючі технічні матеріали (наприклад, КТМ 16.800. 72-79), в яких наведені методи розрахунків параметрів ПРА для різних типів розрядних ламп, з введенням різних корегуючих коефіцієнтів.

Задача розробки ЕПРА є значно складнішою, оскільки необхідно розрахувати не тільки окремий елемент – баласт, а й всю схему ЕПРА з урахуванням як вибраної лампи, так і її розміщення в світильнику. Тому була розроблена комп'ютерна програма автоматизованого проектування Ballast Designer [14]. Зауважимо, що **тільки за урахування** характеристик вибраної лампи, її розміщення в світильнику й розміщення ЕПРА можна досягти усіх переваг, що мають ЕПРА та подовження терміну використання ЛЛ, оскільки лампи мають відповідний розкид параметрів виробництва.

Отже, ЕПРА завжди необхідно розраховувати в комплексі з світильником, а при заміні ЛЛ, що стала непридатною до експлуатації, на нову, завжди додатково налаштовувати ЕПРА на встановлені ЛЛ [15].

### Контрольні запитання

1. Наведіть схему й поясніть роботу ЛЛ за живлення постійною напругою. Переваги й недоліки роботи ЛЛ за такими схемами.
2. Особливості регулювання яскравості ЛЛ. Методи та схеми регулювання яскравості ЛЛ, порівняльні характеристики.
3. Особливості роботи ЛЛ за підвищеної частоти напруги живлення.
4. Поясніть роботу електронного ПРА.
5. Поясніть будову та принцип роботи світлодіода.
6. Поясніть необхідність ПРА для світлодіодів.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Ляпунов А. М. Собрание сочинений т.2. – М.: Наука, 1956, - 473 с.
2. Фридрихов С. А., Мовин С. М. Физические основы электронной техники. – М.: Высшая школа, 1972
3. Шиманович И. Е., Павлович М. Л., Тикавый В. Ф., Малашко П. М. Общая химия в формулах, определениях, схемах: Справ. руководство. – Мн.: изд-во “Университетское”, 1987, - 501 с.
4. Бушок Г. Ф., Пивень Г. Ф. Курс фізики. – К.: Вища школа, 1981, - 273 с.
5. Кухлинг Х. Справочник по физике. – М.: Мир, 1983, 520 с.
6. Рохлин Р. Н. Разрядные источники света. 2-е изд.– М. : Энергоатомиздат, 1991, 720 с.
7. Фугенфиров М. И. Электрические схемы с газоразрядными лампами. - М.: Энергия, 1974, 368 с.
8. Афанасьева Е. И., Скобелев В.М. Источники света и пускорегулирующая аппаратура. – М.: Энергия, 1973, 272 с.
9. Краснопольский А. Е., Соколов В. Б., Троицкий А. М. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп. – М.: Энергоатомиздат, 1988, 208 с.
10. Уэймаус Д. Газоразрядные лампы, – М.: Энергия, 1977, 344 с.
11. турм Г. К. Пускорегулирующая аппаратура и схемы включения люминесцентных ламп. – М.: Иностранная литература, 1961, 330 с.
12. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга – М.: Знак, 2006, 972 с.
13. Гусев В. Г., Гусев Ю. М. Электроника. – М.: Высшая школа, 1991, 622 с.
14. <http://www.irf.com./product-info/lighting>
15. Шепілко Є. В. Підвищення ефективності використання електронних пускорегулюючих апаратів/ Матеріали 4-ї Міжнародної науково-технічної конференції “Сучасні проблеми світлотехніки та електроенергетики”. Харків, 13-14 квітня 2010 р.

## СПІВІДНОШЕННЯ МІЖ ОДИНИЦЯМИ МІРИ В РІЗНИХ СИСТЕМАХ ТА ДЕЯКІ ФІЗИЧНІ СТАЛІ ВЕЛИЧИНИ

1 ангстрем ( $\text{Å}$ ) = $10^{-10}$ м	1 нанометр (нм) = $10^{-9}$ м
1 електронвольт (еВ) = $1,60 \cdot 10^{-19}$ Дж	1 ватт-година (Вт-г) = $3,6 \cdot 10^3$ Дж
1 мм. рт. ст. = 1 Торр = 133 Па	1 фарада (Ф) = $10^{-6}$ мкФ
Атмосферний тиск	1 генрі (Гн) = $10^3$ мГн
на рівні моря = 760 Торр = 1 атм	1 секунда (с) = $10^3$ мс = $10^6$ мкс
Швидкість світла (електромагнітних хвиль) у вакуумі (с),	Технічна атмосфера
$c = 2,997925 \cdot 10^8$ м/с	1 ат = $9,81 \cdot 10^6$ Па
Температура за Цельсієм ( $t^\circ$ С); – за Кельвіном (Т К);	Заряд електрона = $1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл
– за Фаренгейтом ( $^\circ$ F); $t^\circ = T - 273 = (^\circ\text{F} - 32) \cdot 5/9$	
Маса спокою електрона ( $m_e$ ) = $9,1095 \cdot 10^{-31}$ кг	
Маса спокою протона ( $m_p$ ) = $1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг	
Стала Больцмана ( $k$ ) = $1,38066 \cdot 10^{-23}$ Дж / К	

## ДОДАТОК 2

## Таблиця 1

### Основні технічні вимоги до стартерних пристроїв

Номіналь на потуж- ність ЛЛ, Вт	Діюча напруга холостого ходу на стартері, В, не менше	Ампліту- да напру- ги холо- стого хо- ду на лампи, 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 поперед. 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
80	7,5	10,5	1,60	220	475	0,77

## Загальний вигляд елементів ПРА



Рис. 1.Д – Стартер тліючого розряду

Рис. 2.Д – Імпульсний ЗП



Рис. 3.Д – Дросель для ЛЛ



Рис. 4.Д – Дросель для ДНаТ



Рис. 5.Д – Электронный ПРА для ЛЛ



Рис.6.Д – Дросель для ДРЛ



Рис. 7.Д – Электронный ПРА для ДНаТ



Рис. 8.Д – Светодиод білого світла (40лм/Вт)



Таблиця 3

## Основні характеристики стартерних ПРА

Тип пристрою	Кількість та потужн. ламп, Вт	Роб. струм, А	Напруга живл., В	Коеф. потужності	Обвитка дроселя	
					Діаметр, мм	Число витків
1УБІ-6/127-НП-03	1 х 6	0,15	127	0,35	0,23	2000
1УБІ-8/127-НП-03	1 х 8	0,17	127	0,5	0,25	1750
1УБІ-30/220-НП-09	1 х 30	0,34	220	0,5	0,38	1600
1УБІ-40/220-НП-09	1 х 40	0,41	220	0,5	0,38	1560
2УБІ-40/220-Н	1 х 40	0,41	220	0,5	0,47	3400
1УБІ-80/220-Н	1 х 80	0,82	220	0,5	0,69	1240

Таблиця 4

## Основні характеристики безстартерних трансформаторних ПРА

Тип пристрою	Кількість та потужн. ламп, Вт	Роб. струм, А	Напруга живл., В	Коеф. потужності	Дросель		Трансф-тор	
					Діаметр, мм	Числ. витків	Перв. обв.	Втор. обв.
1АБІ-20/220-ВП-03	1 х 20	0,41	220	0,35	0,35	2072	0,1; 2700	0,23; 195
2АБІ-20/220-ВП-03	2 х 20	0,41	220	0,35	0,35	2072	0,1; 2700	0,23; 195
1АБІ-30/220-ВП-03	1 х 30	0,43	220	0,4	0,38	1690	0,1; 2400	0,25; 170
1АБІ-40/220-ВП-	1 х 40	0,45	220	0,5	0,38	1704	0,12; 3000	0,25; 285
1АБІ-80/220-ВП-03	1 х 80	0,86	220	0,5	0,74	1000	0,2; 2400	0,35; 60

## ЗМІСТ

<b>Передмова</b> .....	3
<b>Тема 1.</b> Зміст курсу.....	4
<b>Тема 2.</b> Визначення вольт-амперних характеристик.....	8
<b>Тема 3.</b> Блок-схема комплексу РЛ-ПРА.....	16
<b>Тема 4.</b> Побудова векторних діаграм роботи РЛ.....	23
<b>Тема 5.</b> Навантажувальні вольт-амперні характеристики, порівняння роботи РЛ з індуктивним і ємнісно- індуктивним баластом на стійкість роботи в колі змін-ного струму.....	30
<b>Тема 6.</b> Засвічення розрядних ламп.....	36
<b>Тема 7.</b> Імпульсне (стартерне) засвічення люмінесцентних ламп.....	42
<b>Тема 8.</b> Вимоги до стартерних пускорегулюючих апаратів ЛЛ.....	55
<b>Тема 9.</b> Гаряче (швидке) засвічення люмінесцентних ламп.....	63
<b>Тема 10.</b> Трансформаторні схеми безстартерного засвічення люмінесцентних ламп, їх недоліки та переваги.....	70
<b>Тема 11.</b> Багатолампові світильники з люмінесцентними лампами.....	77
<b>Тема 12.</b> Робота ЛЛ на постійному струмі.....	93
Список джерел.....	109
Додатки.....	110

*Навчальне видання*

**ШЕПІЛКО Євген Володимирович**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

з курсу

**“ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ ПРИСТРОЇ  
СВІЛОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ”**

*(для студентів 4-5 курсу денної і заочної форм навчання  
напряму підготовки 6.050701 “Електротехніка та електротехнології”  
спеціальності “Світлотехніка і джерела світла”)*

Відповідальний за випуск *О. М. Ляшенко*

Редактор *Д. Ф. Курильченко*

Комп’ютерне верстання *О. А. Балашова*

План 2010, поз. 97 Л

---

Підп. до друку 29.12.2010  
Друк на ризографі.  
Зам. №

Формат 60x84/16  
Ум. друк. арк. 6,76  
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:  
Харківська національна академія міського господарства,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: [rectorat@ksame.kharkov.ua](mailto:rectorat@ksame.kharkov.ua)  
Свідоцтво суб’єкта видавничої справи:  
ДК № 4064 від 12.05.2011 р.