

МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ

Харківський національний університет внутрішніх справ

Факультет № 4

Кафедра інформаційних технологій

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

**з дисципліни «Електроніка та схемотехніка»
за темою «Електровакуумні прилади»**

Галузь знань: 12 «Інформаційні технології»

Спеціальність: 125 «Кібербезпека»

Ступень вищої освіти: бакалавр

**Харків
2017 рік**

Текст лекції призначений для використання при вивченні курсу „Електроніка” в рамках підготовки бакалаврів за спеціальністю 125 «Кібербезпека» в Харківському національному університеті внутрішніх справ.

СХВАЛЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ

_____ Протокол № _____
(дата, місяць, рік)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Вченою радою факультету №
Харківського національного університету
внутрішніх справ

_____ Протокол № _____
(дата, місяць, рік)

_____ (підпис) _____ (П.І.Б.)

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін

_____ Протокол № _____
(дата, місяць, рік)

_____ (підпис) _____ (П.І.Б.)

ЗАТВЕРДЖЕНО

На засіданні кафедри інформаційних
технологій № 4 ХНУВС

_____ Протокол № _____
(дата, місяць, рік)

_____ (підпис) _____ (П.І.Б.)

Рецензент:

Носов В.В., професор кафедри кібербезпеки факультету № 4 Харківського національного університету внутрішніх справ к.т.н., доцент.

Розробник: Тулупов Володимир Володимирович – м. Харків: Харківський національний університет внутрішніх справ, 2017 р.

План лекції

1. Електровакуумні прилади.
2. Електровакуумний діод.
3. Електровакуумний тріод.
4. Електровакуумні пристрої з додатковими сітками.
5. Маркування електровакуумних ламп.
6. Електронно променеві трубки.
7. Газорозрядні радіокомпоненти.

Література:

Основна:

1. Бريدли К., Карр Дж. Карманный справочник инженера электронной техники/ Пер.с англ. - М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2002.- 480 с.
2. Булычев А.Л., Лямин П.М., Тулинов Е.С. Электронные приборы.- Мн.: Выс.шк., 1999.-415с.

Додаткова:

1. Жеребцов И.П. Основы электроники. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. - 352 с.
2. Кучумов А.И. Электроника и схемотехника. – М.: Гелиос АРВ, 2002. - 304 с.
3. Лачин В.И., Савёлов Н.С. Электроника. – Ростов н/Д: изд-во «Феникс», 2002. - 576 с.

Текст лекції

1. Електровакуумні прилади.

До **електронних приладів** відносяться електронні лампи, електронно-променеві трубки, електровакуумні фотоелектронні прилади, вакуумні люмінесцентні індикатори та інше. Принцип дії електровакуумних приладів полягає у створенні електронного потоку та управління цим потоком вільних електронів за допомогою електричних або електромагнітних полів.

Для створення додаткової енергії у електронних лампах використовують явище термоелектронної емісії, при якій додаткова енергія для випромінювання надається електронам при нагріванні поверхні електрода, який називається катодом.

Використовують також:

вторинну електронну емісію, яка виникає при бомбардуванні катоду потоком електронів або іонів які рухаються з великою швидкістю;

фотоелектронну, при якій на поверхню катоду впливає електромагнітне випромінювання;

електростатичну, при якій вихід електронів з катоду забезпечується сильним електричним полем у його поверхні.

В сучасних електронних приладах знайшли катоди термоелектронної емісії прямого та непрямого накалу.

В залежності від кількості електродів лампи діляться на двохелектродні - діоди, трьохелектродні – тріоди, чотирьохелектродні - тетроди, п'ятиелектродні – пентоди.

2. Електровакуумний діод.

Конструктивно **електровакуумний діод** являє собою скляний або металевий балон, у якому створений вакуум. У середині балоні розташовані два електроди: анод та катод. При нагріванні катода енергія електронів збільшується і частина з них вилітає з його поверхні. Якщо до аноду прикласти позитивний потенціал, то між анодом і катодом виникає прискорююче поле і тече електричний струм. Якщо змінити полярність прикладеної напруги, то виникає гальмуюче електричне поле, теча струму через діод припиняється. Таким чином електровакуумний діод має односторонню провідність. Схематичне представлення діоду зображене на рис. 9.1.

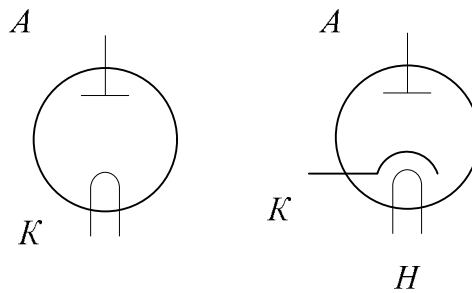


Рис. 9.1. Схематичне зображення діоду прямого та непрямого накалу.

Для практичних використань важливо знати, яким чином залежить струм аноду від напруги на ньому (залежність $I_a = f(U_a)$). Дослідження показали, що для більшості конструкцій діодів виконується правило «три других» $I_a = GU_a^{3/2}$, де G – коефіцієнт який залежить від розміру аноду та конструкції лампи.

Основними статичними параметрами діода є:

крутизна анодної характеристики $S_i = \frac{dI_a}{dU_a} \approx \frac{\Delta I_a}{\Delta U_a}$;

диференційний опір $R_s = \frac{dU_a}{dI_a} \approx \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$;

опір при постійному струмі $R_{s0} = \frac{U_{a0}}{I_{a0}}$.

Вказані параметри визначають по вольт - амперній характеристиці діоду (рис. 9.2.).

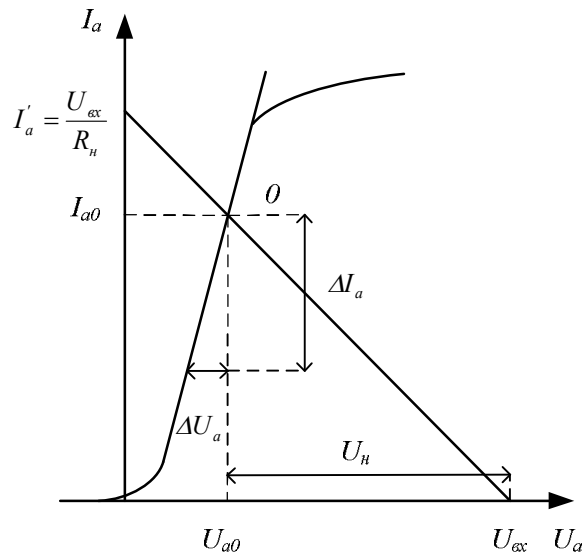


Рис. 9.2. Вольт амперна характеристика діоду.

Якщо до зовнішньо ланцюга діоду включити опір R_n , то електричні властивості схеми описуються другим законом Кірхгофа $U_{\text{вх}} = U_a + I_a R$. Це рівняння є рівнянням прямої лінії і називається лінією навантаження. По графіку можливо визначити струм у колі I_{a0} для любого навантаження R_n , а також напруги U_a, U_n .

3. Електровакуумний тріод.

Електровакуумні тріоди мають у своєму складі додатковий елемент - управляючу сітку, яка розташовується поблизу катода. Змінюючи напругу на сітці змінюють поле між анодом і катодом і керують анодним струмом. Якщо напруга на сітці буде від'ємною по відношенню до катода, то вона оказує гальмуючу дію на електрони, що емітують з катода, таким чином анодний струм зменшується. При позитивній напрузі на сітці вона оказує прискорювальну дію, анодний струм збільшується. Тому тріод можливо використовувати у якості підсилюючого елементу. Схема включення тріода показана на рис. 9.3.

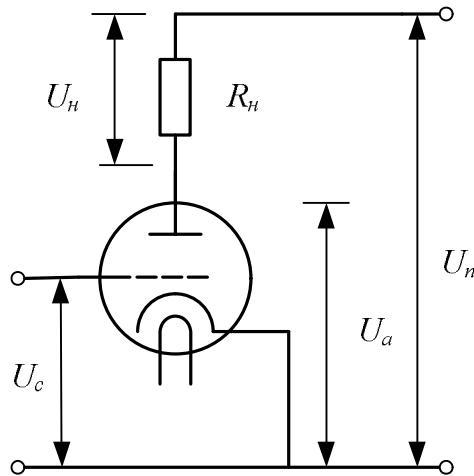


Рис. 9.3. Схема включення триода.

Робота триоду у статичному режимі характеризується анодними $I_a = f(U_a)$ при $U_c = const$ та анодне – сітчаними характеристиками $I_a = f(U_a)$ при $U_a = const$.

Основними параметрами триоду є:

крутизна характеристики $S_i = \frac{dI_a}{dU_c} \approx \frac{\Delta I_a}{\Delta U_c}, U_a = const$;

внутрішній динамічний опір $R_s = \frac{dU_a}{dI_a} \approx \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}, U_c = const$;

статичний коефіцієнт підсилення $\mu = \frac{dU_a}{dU_c} \approx \frac{\Delta U_a}{\Delta U_c}, I_a = const$.

ΔI_a , ΔU_a , ΔU_c - кінцеві прирощення струму та напруги поблизу робочої точки.

На рис. 9.4 зображені анодна та анодне - сітчані характеристики триоду.

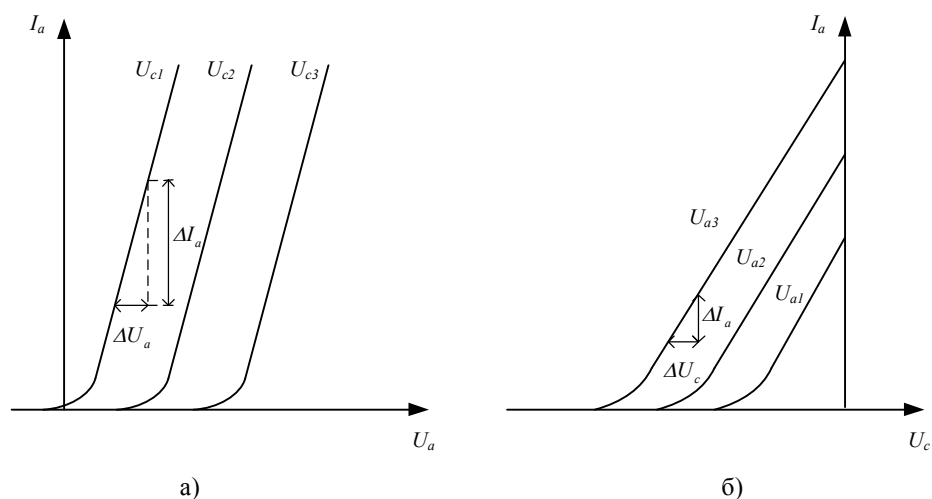


Рис. 9.4. Анодна (а) та анодне - сітчані (б) характеристики триоду.

4. Електровакуумні пристрої з додатковими сітками.

Для підвищення коефіцієнту підсилення, зменшення прохідної ємності, розширення функціональних можливостей до складу ламп вводять додаткову сітку. Лампи які мають управляючу та екрануючу сітку отримали назву тетрод. Екрануюча сітка розташовується між анодом та управляючою сіткою у виді густої спіралі. На екрануючу сітку подається незначна напруга. Вона ефективно послаблює дію анодної напруги на електрони що вилітають з катоду та значно підвищує коефіцієнт підсилення. Недоліком тетродів, який обмежує їх використання є дінатронний ефект при $U_{c2} > U_a$. У такому режимі вторинні електрони вибиваються з поверхні анода електронами анодного струму, прискорюються в напрямку другої сітки і збільшують її струм. На анодній характеристиці тетрода виявляється провал, при цьому внутрішній опір тетроду на ньому від'ємний.

Для усунення дінатронного ефекту між анодом і другою сіткою вводять ще одну сітку (антидінатронну, захисну). Така лампа називається пентодом. Потенціал третьої сітки зазвичай дорівнює потенціалу катода. Тому у проміжку між нею і анодом при малій анодній напрузі існує електричне поле яке гальмує вторинні електрони і повертає їх до аноду. На рис. 9.5 зображена типова схема включення тетрода.

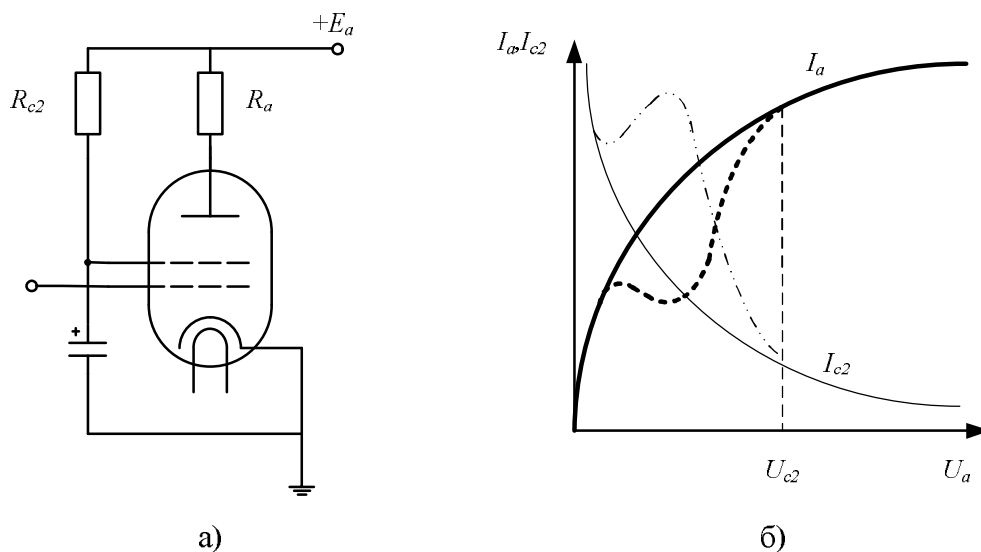


Рис .9.5. Схема включення тетрода (а), дінатронний ефект на тетроді (б).

5. Маркування електровакуумних ламп.

1-й елемент маркування - цифра, що вказує на напругу розжарювання катода округлено у вольтах (2; 3; 4; 5; 6; 12).

2-й елемент маркування - буква, що вказує на тип лампи:

Д - діод; Х - подвійний діод; Ц - кенотрон (випрямляючий діод); С -тріод; Н - подвійний тріод; Т - тетрод; Ж - високочастотний пентод; П -пентод; Ф - тріод з пентодом в одному балоні.

3-й елемент маркування - цифра, що вказує на номер розробки лампи.

4-й елемент маркування - буква, що характеризує конструктивні особливості (балон та цоколь): П - скляний пальчиковий (мініатюрний) балон; С - скляний балон; К - керамічна оболонка.

Наприклад:

6Н1П - електровакуумний подвійний тріод, напруга розжарювання 6,3 В, розробка №1, балон пальчикової скляної конструкції.

6. Електронно променеві трубки.

Електронно-променеві трубки відносяться до класу електровакуумних приладів. Електровакуумними називаються прилади, дія яких ґрунтується на русі заряджених часток у вакуумі чи розрідженому газі. Характерною ознакою електровакуумних приладів є балон, який ізолює робоче середовище від зовнішнього простору. Залежно від типу носіїв зарядів, що створюють струм, електровакуумні прилади поділяють на електронні та іонні. До електронних вакуумних приладів належать електронно-променеві трубки та електронні лампи. До іонних приладів належать газорозрядні індикатори, стабілітрони, тиратрони та газові лазери.

Електронно променева трубка (ЕПТ) - електровакуумний прилад, що призначений для перетворення електричних сигналів у видиме зображення. В основі роботи електронно-променевих трубок лежить використання високовольтної катодної люмінісценції. Для цього в ЕПТ створюється вузький сфокусований промінь електронів, що прискорюються, швидко рухаються й бомбардують люмінофор. Під дією цих електронів люмінофор випромінює світло певного кольору. Люмінофором покрито екран ЕПТ. За допомогою системи відхилення електронного променя він може переміститись у будь-яку точку екрана, де й буде створене світлове зображення.

За областю використання електронно-променеві трубки поділяються на осцилографічні, телевізійні та спеціальні. Розрізняють також телевізійні ЕПТ монохромного (однокольорового) та кольорового (багатокольорового) зображення. За кількістю електронних променів ЕПТ бувають одно-, дво- та три-променеві.

Будь-яка ЕПТ складається зі скляного балона, одна з торцевих сторін якого розширена та покрита зсередини люмінофором. Це екран ЕПТ, на якому формується світлове зображення. Крім цього, в середині балона знаходиться електронний прожектор (електронна гармата) та система відхилення електронного променя.

Електронний прожектор призначений для створення електронного променя. У складі електронного прожектора є:

1. Катод непрямого розжарювання, який нагрівається ізольованою від нього ниткою розжарювання. Катод призначений для виробництва електронів методом термоелектронної емісії. Оскільки на розігрівання катода після включення живлення необхідний певний час (одиниці-десятки секунд), то через

це електровакуумні прилади входять в робочий режим після включення живлення із затримкою. Крім того, на розігрів катода споживається електрична енергія. Це означає, що коефіцієнт корисної дії електровакуумних приладів нижчий, ніж напівпровідникових.

2. Модулятор - електрод, що призначений для регулювання інтенсивності електронного потоку, а значить і яскравості свічення. Для цього на модулятор подається негативна, відносно катода, напруга.

3. Прискорювальні аноди - електроди, які створюють електричне поле для розгону електронів, що емітуються катодом, і фокусування електронного променя. На аноди подається напруга близька до 0 В, а на катоди - значна негативна напруга. При такому живленні між електродами системи відхилення й анодами не утворюється суттєвої різниці потенціалів.

У деяких електроіно-променевих трубках фокусування електронного променя проводиться за допомогою магнітного поля, яке створюється циліндричною котушкою, що накладається на горловину ЕПТ.

В ЕПТ додаткове прискорення електронів створюється ще й електричним полем аквадагу. Аквадаг - це провідний шар розчину вугільного порошку в рідкому склі, що нанесений з середини розширеної колби ЕПТ. Аквадаг призначений для збирання вторинних електронів, які вибиваються з люмінофора. Для цього на аквадаг подається позитивна відносно катода напруга до десятків тисяч вольтів.

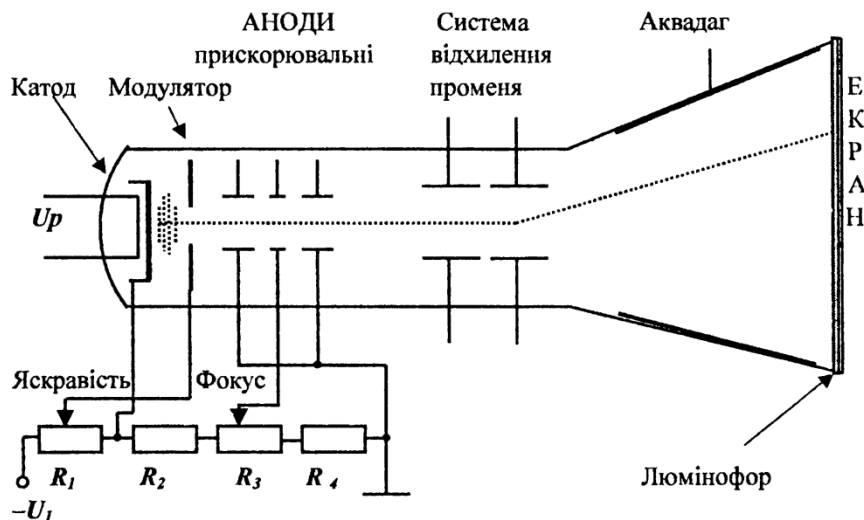


Рис. 9.6. Спрощена схема будови електронно-променевої трубки.

Система відхилення електронного променя може бути електростатична або магнітна. Електростатична система - відхилення електронного променя за допомогою електричного поля, що створюється між двома парами перпендикулярно розташованих пластин. Магнітна система - відхилення електронного променя за допомогою магнітного поля, що створюється котушками складної конфігурації. Електростатична система відхилення проста конструктивно, споживає мало електричної енергії, потребує нескладних сигналів відхилення, але спроможна відхилювати електронний промінь від вісі

трубки на невеликий кут - у межах $\pm 20^0$. Це означає, що довжина трубки з електростатичним відхиленням променя буде в декілька разів більша за діагональ екрана. Магнітна система відхилення значно складніша конструктивно, потребує складного сигналу відхилення променя й споживає багато електричної енергії. Проте магнітна система відхилення забезпечує відхилення променя від подовжньої вісі ЕПТ до $\pm 60^0$.

У телевизорах використовується ЕПТ з магнітним відхиленням променя. Вони називаються кінескопами. У кінескопах кут відхилення електронного променя від вісі трубки може досягати $\pm 60^0$, напруга, що подається на аквадаг - до 25 кВ, а розміри екрана до 1 м в діагоналі. У кінескопах створюється растрова розгортка, для чого електронний промінь швидко переміщується по строчках (по горизонталі) й повільно по кадру (по вертикалі).

У кольорових телевизорах для створення кольорового зображення використовуються три електронні прожектори, кожен з яких бомбардує окремий люмінофор, які світяться відповідно червоним (R), зеленим (G) та синім (B) кольором. Для цього всередині перед екраном встановлюється металева маска з вертикальними щілинами, а люмінофор наноситься на екран вертикальними вузькими смугами.

Інтенсивність кожного електронного променя регулюється окремо. Чим більша інтенсивність променя, тим яскравіше світиться відповідний колір. Результуючий колір свічення екрана буде визначатись суперпозицією (накладенням) окремих кольорів. Змінюючи співвідношення інтенсивності червоного, зеленого та синього кольорів, можна одержати будь-який результуючий колір свічення та його відтінок. Для захисту колби ЕПТ від великого тиску зовнішньої атмосфери екран виготовляють з міцного товстого скла та охоплюють його металевим бандажем.

7. Газорозрядні радіокомпоненти.

Іонні (або газорозрядні) радіокомпоненти - це електровакуумні прилади, робоче середовище яких (балон) заповнене газом (частіше інертним) з метою використання його для утворення провідності електричного струму. На умовному графічному позначенні газонаповненого приладу наноситься жирна крапка в середині балона. Газ, що знаходиться в середині такого приладу (а значить і сам прилад), може бути в одному з двох станів: не іонізований (не провідний, погашений) або іонізований (провідний, що горить). З курсу фізики відомо декілька видів газового розряду. В електроніці використовують такі якості електричного розряду в газі:

- свічення у режимі тліючого розряду - для побудови індикаторних приладів;

- сильну залежність струму від напруги в режимі тліючого розряду - для побудови газорозрядних стабілітронів;

- сталу величину напруги загорання та значну густоту струму в режимах коронного та дугового розрядів - для побудови високовольтних розрядників;

- іонізацію газу під дією високочастотного поля - для побудови високочастотних розрядників;
- явище вимушеного когерентного випромінювання - для побудови квантових генераторів оптичних сигналів (лазерів).