

## Тема 10: Струм у газах (газовий розряд)

### Питання теми:

- 10.1. Види газового розряду.
- 10.2. Несамостійний газовий розряд.
- 10.3. Самостійний газовий розряд.
- 10.4. Газорозрядна плазма.
- 10.5. Застосування газового розряду в електро- і радіотехніці.

### 10.1. Види газового розряду.

Електричний струм обумовлений напрямленим рухом зарядів. В металах, електролітах, напівпровідниках носії заряду існують в достатній кількості. В металі – це вільні електрони, в електролітах – додатні і від'ємні іони. В газах також є носії заряду. Це електрони і додатньо (а також від'ємно) заряджені іони, які утворюються під дією космічних променів, радіоактивного випромінювання Землі. Процес утворення іонів в газі називається іонізацією. Іонізація – це відривання електронів від нейтральних молекул, а також приєднання нейтральними молекулами електронів.

Іонізований газ здатний проводити струм. Явище проходження електричного струму через газ називається газовим розрядом. Умови існування газового розряду різні. Вони залежать від тиску газу, опору електричного кола, від величини струму, напруги, від форми електродів. Розряд можна розділити на два види – несамостійний і самостійний. Крім того, самостійний газовий розряд може бути тліючим, дуговим, коронним, іскровим. Розглянемо умови проходження струму через газ більш детально.

## Проходження електричного струму через газ називається газовим розрядом

Розряд можна розділити на два види – несамоствійний і самоствійний

### 10.2. Несамоствійний газовий розряд

Число іонів, які утворюються в газі природним шляхом, невелике. В атмосфері виникає щосекундно в середньому декілька пар іонів в  $1 \text{ см}^3$ . Поряд з процесом іонізації відбувається зворотний процес – рекомбінація зарядів. У результаті цих двох процесів у газі встановлюється певне число носіїв, які визначають електропровідність газу. Густина струму

$$j = n \cdot q(u^+ + u^-),$$

де  $u^+$  і  $u^-$  – швидкості направленої руху додатних іонів і електронів.

Оскільки

$$u^+ = u^+ E,$$

$$u^- = u^- E,$$

де  $u^+$  і  $u^-$  – рухливості іонів і електронів, для густини струму можемо записати:

$$j = n \cdot q (u^+ + u^-) \cdot E.$$

Залежність густини струму від напруженості поля представлена графічно рис. 10.1.

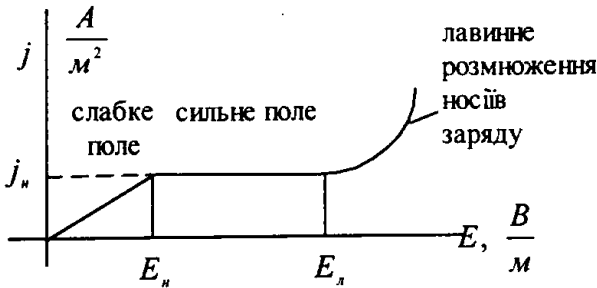


Рис. 10.1

У слабких полях густина струму лінійно залежить від напруженості поля і тут справедливий закон Ома. Чим більше поле, тим швидше рухаються додатні і від'ємні заряди до електродів і тим менша їх рекомбінація, а отже більший струм.

Але при деяких полях  $E_H$  густина струму перестає зростати і виходить на насичення ( $j_H$ ), тому що всі носії зарядів, що утворюються (іони, електрони), уже не встигають прорекомбінувати і досягають електродів. При подальшому збільшенні напруженості поля ( $E_L$ ) густина струму починає стрімко зростати. Це пояснюється тим, що відбу-

вається розмноження носіїв. Електрони в газі за час вільного пробігу встигають набути енергії, якої достатньо для іонізації молекул у результаті зіткнення. Електрони, які при цьому з'являються, в свою чергу, розігнавшись, теж виконують подальшу іонізацію газу. Таким чином відбувається лавинне розмноження зарядів і зростання розрядного струму. Слід, однак, відмітити, що такий розряд буде несамостійним, оскільки він обумовлюється дією зовнішнього іонізатора. При припиненні дії іонізатора розряд припиняється, навіть якщо він лавинний. Однак при деякій напруженості поля несамостійний розряд може перейти у самостійний.

## **Розряд, обумовлений дією зовнішнього іонізатора, називається несамостійним**

### **10.3. Самостійний газовий розряд**

При достатньо великій напруженості поля  $E_{\text{л}}$  відбувається лавинне розмноження електронів, але для підтримування такого розряду необхідна дія зовнішнього іонізатора, який би давав початкові електрони. Однак при сильних полях ( $E > E_{\text{л}}$ ) такі електрони з'являються уже незалежно від зовнішнього іонізатора. Справа в тому, що в електричному полі прискорюються додатні іони, які рухаються до катоду (рис. 10.2).

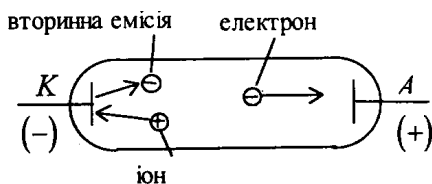


Рис. 10.2

Потрапляючи на катод, вони вибивають з нього електрони. Це явище має назву **вторинної електронної емісії**. У результаті розігріву катоду є також **термоелектронна емісія**. Електрони, що вилітають з катоду, рухаються до аноду і на своєму шляху викликають ударну іонізацію газу. В результаті виникають дві зустрічні лавини додатних і від'ємних зарядів.

Якщо кожен іон, що вдаряється об катод, вибиває один новий електрон, то розряд буде підтримуватися і після припинення дії зовнішнього іонізатора. Напруга, при якій розвивається самостійний розряд, називається напругою запалювання.

Самостійний газовий розряд може мати різні форми в залежності від тиску газу, форми електродів і параметрів зовнішньої частини електричного кола – це **тліючий розряд, дуговий, іскровий, коронний**. Розглянемо особливості цих розрядів.

#### а) Тліючий розряд

Тліючий розряд виникає при низьких тисках ( $P < 5$  мм. рт. ст.) і відносно високих напругах. Його можна спостерігати в скляній трубці довжиною біля 0,5 м з впаяними біля кінців електродами  $K$  і  $A$  при напрузі  $\sim 10^3$  В (рис. 10.3).

Натисніть  
на символ



40S\_rozr.flv

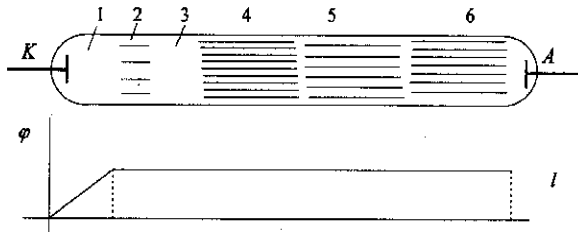


Рис. 10.3

Основні процеси, необхідні для підтримки тліючого розряду, відбуваються в його катодній частині. Цих процесів два. Це вторинна електронна емісія з катоду, обумовлена бомбардуванням його додатними іонами, і ударне збудження електронами молекул газу. Поблизу катоду спостерігається темний простір (астоновий темний простір), тому що електрони не встигають набути енергії, достатньої для збудження газу. На ділянці 2 вони таку енергію дістають і газ починає світитися, бо **збуджені молекули приходять у нормальний стан, випромінюючи світло** (неон – червоне, аргон – синьо-зелене). Електрони, які проходять цю ділянку без зіткнення, вже мають енергію, достатню для іонізації газу (ділянка 3 – кружковий темний простір). Тут утворюється багато електронів та іонів, однак інтенсивність свічення слабне, тому що переважає ударна іонізація, а не збудження. На ділянках 1, 2, 3 головним чином відбувається падіння напруги, прикладеної до електродів. Електрони дуже швидко виносяться полем з цієї області в область тліючого свічення. Тут висока концентрація електронів і позитивно заряджених іонів і йде інтенсивний процес рекомбінації, який супроводжується свіченням. Далі концентрація дещо зменшується і свічення слабне (5 – фарадеїв темний простір). Після цього електрони знову набувають енергії, достатньої, для

Натисніть  
на символ



46TI\_roz.flv

збудження молекул, і свічення знову збільшується (б – позитивний стовп).



## Тліючий розряд виникає при низьких тисках

### б) Дуговий розряд

Дуговий розряд відбувається при високих тисках газу, коли можлива велика концентрація іонів. Позитивні іони рухаються в напрямку катода. Від ударів катод розжарюється, йде електронна (вторинна) і термоелектронна емісія, електропровідність газу збільшується. Оскільки опір електричного кола малий, розряд відбувається при великих струмах (більше  $600\text{ мА}$ ) і при малих напругах. При електрозварюванні на повітрі дуговий розряд має дуже високу температуру ( $\approx 6000\text{ К}$ ). У радіотехніці дуговий розряд застосовується в газорозрядних лампах, газотронах і тиратронах.

### в) Іскровий розряд

Іскровий розряд виникає при високих тисках і при дуже високих напругах в результаті пробоя газорозрядного проміжку. В повітрі пробій настає, наприклад, при напруженості електричного поля  $E_{np} : 10^6\text{ В/м}$ .

Іскровий розряд відбувається у вигляді короткочасних імпульсів струму великої сили, які йдуть один за одним. Прикладом може бути блискавка, довжина якої може досягати  $10\text{ км}$  і сила струму близько  $100000\text{ А}$ . Сильний розігрів газу в каналі викликає різке підвищення тиску і виникнення

Натисніть на символ



28Rozr.flv



35Isk\_r.swf

ударних хвиль – грому. В радіотехніці іскровий розряд застосовується в іскрових розрядниках – приладах для захисту ліній від випадкових підвищень напруги.



## Дуговий та іскровий розряди відбуваються при високих тисках газу

### г) Коронний розряд

Коронний розряд можна спостерігати у випадку, коли електроди мають загострення. Поблизу таких електродів напруженість поля може бути дуже велика, так що  $E > E_{np}$  і газ починає світитися. Свічення має вигляд корони, яка оточує тонкий електрод. При збільшенні напруги коронний розряд переходить в іскровий чи дуговий. У радіотехніці коронний розряд застосовується для стабілізації напруги (високовольтні стабілітрони).

### 10.4. Газорозрядна плазма

У газовому розряді виникає велика кількість електронів і додатно заряджених іонів, причому концентрації іонів та електронів приблизно однакові. Такий стан газу називається плазмою. Плазма

Натисніть  
на символ



42Kor\_r.pdf



38Plazma.sv



електронейтральна і являє собою певний стан речовини. У такому стані перебуває речовина в надрах Сонця та інших зірок, де температура десятки мільйонів градусів. Така плазма називається **високотемпературною** або **ізотермічною**. Плазма, яка виникає у газовому розряді, називається **газорозрядною**. Газорозрядна плазма не є ізотермічною, високотемпературною. Високу температуру при газовому розряді мають тільки електрони. Ми знаємо, що для ідеального газу середня кінетична енергія молекули

$$\frac{m\bar{u}^2}{2} = \frac{3}{2}kT.$$

Так як середні кінетичні енергії для іонів і електронів однакові:

$$\frac{m_{el} \bar{u}_{el}^2}{2} = \frac{m_{ion} \bar{u}_{ion}^2}{2},$$

то середні швидкості електронів більші, ніж іонів, а отже електронна температура повинна бути вищою за іонну. При тліючому розряді в неоні при  $p = 3$  мм. рт. ст.  $T_{ion} \approx 400$  K, а  $T_{el} \approx 4 \cdot 10^4$  K. Температура плазми в дузі  $\sim 10^5$  K, а при термоядерному вибуху  $\sim 10^7$  K. В установці "Токамак" для дослідження термоядерних реакцій  $T \sim 10^7$  K.

### 10.5. Застосування газового розряду

Газовий розряд широко застосовується в техніці, зокрема в радіотехніці.

**Несамостійний газовий розряд** застосовується в іонізаційних камерах, в газорозрядних лічильниках для реєстрації радіоактивного випромінювання. Частинка високої енергії, попадаючи в такий лічильник, викликає іонізацію газу та

імпульс струму, який реєструється лічильником.

Несамостійний газовий розряд використовується також у техніці зв'язку в газорозрядних приладах дугового розряду – газотронах, тиратронах. Газотрон – це двоелектродна лампа, наповнена газом, яка призначена для випрямлення змінного струму в потужних випрямлячах (рис. 10.4).

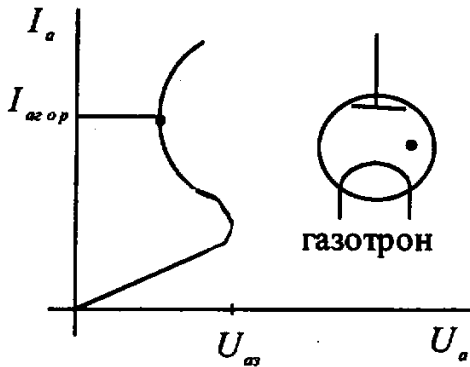


Рис. 10.4

Такий прилад має розжарений катод, що випромінює електрони. Однак ці електрони не можуть вільно досягнути анода через зіткнення з молекулами газу. Але при деяких анодних напругах, більших від напруги запалювання ( $U_a > U_{a3}$ ), настає лавинна іонізація газу і струм різко зростає. При цьому напруга на лампі спадає, оскільки зменшується її опір. Невисока напруга, при якій відбувається розряд – це характерна ознака дугового розряду.

Слід відмітити, що при холодному катоді емісії електронів нема і розряд не виникає. Тому в даному випадку розігрітий катод є джерелом електронів – тобто зовнішнім іонізатором, без якого несамостійний розряд існувати не може.

**Самостійний газовий розряд** також широко застосовується в техніці зв'язку, наприклад в стабілітронах.

**Стабілітрон** має циліндричний анод у вигляді тонкого стержня і коаксіальний з ним циліндричний катод (рис. 10.5).

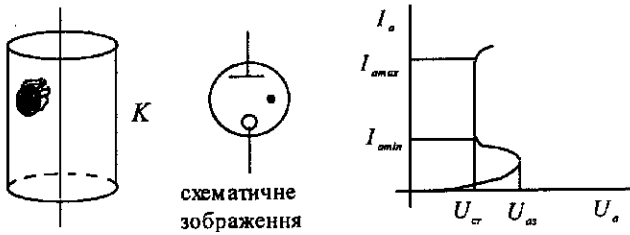
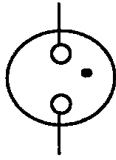


Рис. 10.5

При напрузі більшій за напругу запалювання ( $U_a > U_{аз}$ ) виникає тліючий розряд, який має ту особливість, що він захоплює тільки частину катода. При збільшенні напруги свічення (розряд) поширюється поступово на всю поверхню катоду. Струм зростає від  $I_{A\min}$  до  $I_{A\max}$ , однак густина струму при цьому залишається постійною, а отже і напруга на стабілітроні  $U_{ct}$  – також постійна. Це напруга стабілізації, яка в стабілітронах цього типу  $\approx 100 - 200 \text{ В}$ .

Самостійний газовий розряд використовується в **індикаторних лампах** для сигналізації про наявність напруги в електричному колі, про справність апаратури, для індикації напруги високої частоти (ВЧ) в антені і замкнутому контурі (рис. 10.6).



схематичне  
зображення  
індикаторної  
лампи

Рис. 10.6

Якщо напруга в схемі перевищує напругу запалювання індикаторної лампи, то виникає тліючий розряд і лампа світиться. Переважно індикаторні лампи наповнюються неоном і світяться червоним кольором. Шляхом спеціальної обробки поверхні електродів напруга запалювання розряду може бути знижена до 50 В.

Самостійний газовий розряд використовується також у **розрядниках**, які призначені для захисту ліній зв'язку від перенапруг (рис. 10.7).

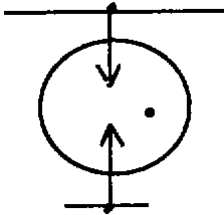


Рис. 10.7

Розрядник вмикається між проводом і землею. При появі підвищеної напруги виникає тліючий розряд, який може перейти в дуговий, і напруга на лінії спадає до  $8 \div 10$  В. Наприклад, у розряднику РБ-350 напруга запалювання

$$U_{\text{зап}} = 350 \text{ В.}$$

Для стабілізації високої напруги в техніці зв'язку застосовується **коронний розряд** (рис. 10.8).

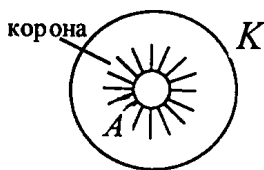


Рис. 10.8

В такому стабілітроні анод має малий діаметр, тому напруженість поля біля нього велика, що викликає іонізацію газу і його свічення у вигляді корони навколо анода. Коронний розряд виникає при високих тисках газу.

Для стабілізації високої напруги техніці зв'язку застосовується **коронний розряд** (рис. 10.8).

Напруга коронного розряду в межах від 200 до 30000 В.

У радіотехніці використовуються і складніші газорозрядні прилади – тиратрони, в яких запалювання регулюється управляючим електродом.

До багатоелектродних газорозрядних приладів відносяться декатрони, що застосовуються в лічильниках імпульсів.

### Питання для контролю

1. Пояснити механізм проходження струму в газах.
2. Які види газового розряду Ви знаєте ?
3. Пояснити проходження струму в газі при несамостійному розряді.
4. Який розряд називається самостійним ?
5. Які види самостійного розряду Ви знаєте ?  
Дати їх характеристику.
6. Що таке газорозрядна плазма?
7. Навести приклади застосування газового розряду в радіоелектронних приладах.

### Допоміжна література

1. Савельєв *И. В.* Курс общей физики. Т. 2. – Москва: Наука, 1978, § 39-42, 44.

Натисніть  
на символ



42Kor\_r.pdf