

УДК 621.375

Пасльон Володимир Володимирович, ктн, доцент
Електронновакуумні і напівпровідникові підсилювальні
прилади. Донецьк. ДонІТУ. Кафедра військової підготовки. -
2001. – 62 с.

Розглядаються електронновакуумні і напівпровідникові
підсилювальні прилади.

Призначено для студентів кафедри військової підготовки.

Міністерство освіти і науки України
Міністерство оборони України
Кафедра військової підготовки

Пасльон В.В.

Електронновакуумні і напівпровідникові
підсилювані прилади

Навчальний посібник

Навчальний посібник
оговорено і затвержено
на засіданні ПМГ №4
протокол № _____
від "___" _____ 2001р.

Донецьк – 2001

ВСТУП

Важко назвати галузь науки та техніки, що розвивалася б такими швидкими темпами, як радіоелектроніка. Зробивши свої перші кроки всього сто років тому, радіоелектроніка досягла тепер вершин, про які навіть не мріяв її засновник О.С.Попов. Кілька десятків років тому приймання радіопередач на детекторний приймач здавалося багатьом старим людям незбагненим дивом, а тепер існують кольорові телевізори, комп'ютери, інтернет, мобільний з'язок та ін.

Та це незначна ділянка діяльності радіоелектроніки. Побудовані з використанням електронних перетворювальних елементів, складні прилади дають можливість заглянути в глибини Всесвіту на відстані, недосяжні для найпотужніших оптичних телескопів. Інші ж — допомагають людям досліджувати дно океану в найглибших місцях. Автоматичні прилади вивчають поверхню Місяця, Венери, Марса й добути результати справно передають на Землю. При цьому передача ведеться за командою з Землі на відстанях, які досягають сотен мільйонів кілометрів.

Дуже складні електронні прилади керують роботою великих заводів і електростанцій, польотами сучасних літаків та ракет, курують сучасними системами озброєння. Можна з певністю сказати, що не знайдеться такої галузі науки й техніки, яка могла б тепер обійтися без радіоелектроніки. Ось чому з кожним роком нам треба дедалі більше фахівців з радіоелектроніки і особливо в ЗС України.

Ми знаємо, що від радіостанцій, розміщених від нас іноді за тисячі кілометрів, або від телецентрів, які знаходяться за 100-150 кілометрів, до наших приймальних апаратів — радіоприймачів і телевізорів надходять дуже й дуже слабкі електричні сигнали. Проте

гучність звучання ми можемо встановлювати за нашим бажанням, і якість зображення ми маємо також досить високу. Цим ми завдячуємо різним підсилювальним і претворювальним елементам, що є в наших приймальних апаратах. Найчастіше такими елементами є електронні лампи й напівпровідникові прилади.

Звичайно, зрозуміти роботу якого-небудь радіоелектронного апарата, не знаючи будови його основних підсилювально-перетворювальних елементів, не можна. Тому нам обов'язково треба вивчити принцип роботи й будову електронних ламп, напівпровідникових діодів і транзисторів, а також деяких інших приладів.

Почнемо з електронної лампи. Ось уже вона близько 100 років трудиться в радіоелектронних схемах і поки що не думає складати своїх позицій, хоч і з'явився в неї досить серйозний суперник — транзистор.

Електронновакуумні і підсилювані прилади

Найпростіша лампа має всього два електроди: анод і катод, що містяться в запаяному скляному або металевому балоні, з якого ретельно викачано повітря. Катод являє собою тонку нитку з тугоплавкого металу, а анод — це металева пластинка, розміщена недалеко від катода, як це видно на рис. 1.

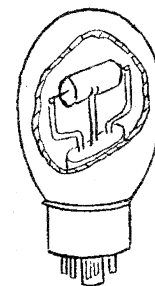


Рис. 1. Будова електроннолампового діода.

Якщо до кінців нитки підвести електричну напругу, то ниткою потече електричний струм, а сама нитка почне випромінювати електрони. Пояснюється це тим, що енергія електронів у тілі розжареної нитки дуже збільшується, і “найпрудкіші” з них полишають нитку. Біля катода (нитки розжарення) утворюється електронна хмарка.

Увімкнемо тепер нашу лампу в електричне коло, наведене на рис. 2.

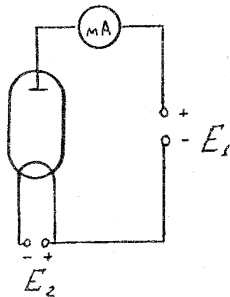


Рис. 2. Схема вмикання діодів.

Як бачимо, схема складається з послідовно з'єднаних лампи L , вимірювального приладу і батареї E_1 . Друга батарея E_2 призначена для розжарення катода.

Подамо струм на катод, і, коли він розжариться, ми побачимо, що вимірювальний прилад, увімкнений в коло анода, покаже наявність електричного струму, хоч коло між анодом і катодом розімкнене. Як пояснити це? Виявляється, що до анода, який розміщено недалеко від розжареного катода, підведено позитивний потенціал батареї E_1 (анодної батареї). Електрони ж, які випромінює розжарений катод, мають негативний заряд, і анод починає їх притягувати. Таким чином утворюється замкнене коло, і по ньому протікає електричний струм.

Ну а коли перемкнути анодну батарею і подати на анод негативний потенціал? Тоді струму в анодному колі не буде, хоч катод і буде розжарений. Адже негативно заряджений анод відштовхує від себе електрони, і вони не можуть потрапити в електричне коло, а лишаються у вигляді електронної хмарки біля катода.

Від чого ж залежить сила електричного струму, що протікає в анодному колі діода — лампи, що має два електроди: катод і анод? Певно, якщо збільшувати напругу анодної батареї, то анод більше притягуватиме електронів, і анодний струм зростатиме. Це можна показати графічно, як те ми бачимо на рис. 3.

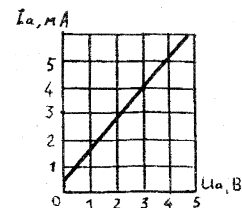


Рис. 3. Залежність струму діода від напруги на його аноді.

Тут показано залежність анодного струму від напруги анодної батареї. На горизонтальній осі графіка відкладено анодну напругу у вольтах (B), а на вертикальній — анодний струм у міліамперах (mA).

Як видно з графіка, за анодної напруги, рівної $1 B$, сила струму становить $1,7 mA$. За анодної напруги $2 B$ сила струму збільшується до $2,9 mA$, а коли напруга дорівнює $3 B$, анодний струм зростає до $4,1 mA$ і т. д. Залежність на поданому графікові між анодною напругою і силою струму — прямолінійна.

Чим пояснити, що в нижньому лівому куту графіка лінія, що показує залежність струму від напруги, не проходить через нульову точку? Річ у тім, що коли навіть і немає в колі анодної батареї (якщо коло, звичайно, замкнене), то незначний струм у ньому все одно протікає. І пояснюється це тим, що за нульової анодної напруги якась частина електронів усе-таки потрапляє на анод і збуджує в його колі струм. На поданому графікові цей нульовий струм складає $0,5 mA$.

Та ось ми збільшуватимемо й далі анодну напругу. Що ж буде тоді з анодним струмом діода? Коли згадати, що струм в анодному колі виникає за рахунок вільних електронів з електронної хмарки, то не важко додуматись, що настане така мить, коли всі електрони з хмарки буде вичерпано, тобто вони попадуть на анод. Зрозуміло, що хоч би як ми збільшували далі анодну напругу, від цього анодний струм у нас аж ніяк не зросте. Це добре видно з графіка на рис. 4.

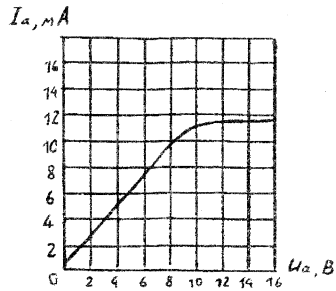


Рис. 4. Момент насичення діодів.

Графік цей побудовано для того самого діода, що для нього збудовано й попередній але значення напруг тут взято значно більші.

Як виходить з цього графіка, обмеження анодного струму починається за напруги на аноді 12 В. І подальше збільшення вже не спричиняє пропорціонального зростання струму. Настає насичення діода.

Тепер подивимося, як залежить анодний струм від температури катода або, що одне й те ж саме, від напруги батареї розжарення? Цілком ясно, що чим більша напруга на кінцях нитки розжарення, тим більший струм протікає в ній, а отже й вища її температура. Звичайно, дуже розжарена нитка випускає значно більше електронів, і анодний струм при цьому зростає. Насичення тоді настає при великій анодній напрузі. Можна побудувати графік залежності анодного струму від анодної напруги при різних напругах розжарення. Усі ці криві наносяться на одну масштабну сітку, внаслідок чого маємо сім'ю кривих. Приклад такої сім'ї ми бачимо на рис. 5, де подано криві для напруг розжарення 5, 6 і 7 В.

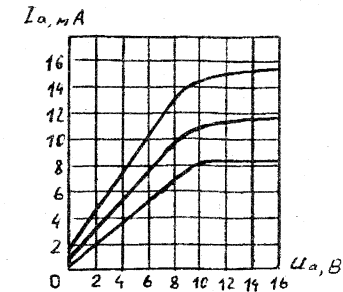


Рис. 5. Сім'я вольтамперних характеристик діода за різних напруг розжарення.

Діод, роботу якого ми щойно розглядали, є найстарішою електронною лампою, але його властивість пропускати через себе струм тільки в одному напрямкові використовують і донині. Застосовують діоди для детектування електричних сигналів і для перетворення змінного струму в постійний, яким живляться електронні схеми. Тільки такий потужний випрямний діод уже зветься *кенотроном*.

Звичайно, конструкції сучасних детекторних діодів і кенотронів мають значну відмінність у порівнянні з конструкціями давніх ламп. Найперше треба відзначити, що катод у вигляді звичайної нитки розжарення, яку ми бачимо в наших освітлювальних електролампах, не вигідний, і навіть дуже. Він споживає велику кількість енергії, а електронів випромінює не надто вже багато. Тому стали застосовувати катода, покриті спеціальними окислами металів, які в десятки разів виявилися економічнішими. У наш час такі оксидні катода дістали найбільшого поширення.

Другою вадою описаного катода є те, що нитка розжарення становить собою тонку дротинку, непридатну для застосування у більшості сучасних електронних ламп. Річ у тому, що сучасна апаратура живиться, як правило, від мережі змінного струму. А цей

струм змінює свій напрямок і величину сто разів на секунду. І ось у моменти, коли струм змінює свій напрямок і стає рівним нулю, тонка нитка розжарення встигає дещо охолонути, а отже й електронів, ясна річ, у цей час вона віддає менше. Отож і анодний струм такої лампи зменшуватиметься сто разів на секунду, а це аж ніяк неприпустимо, оскільки спричиняє спотворення детектованого сигналу.

З метою усунення спотворення катод у мережних лампах роблять у вигляді досить масивної нікелевої трубочки, усередині якої міститься сама нитка розжарення, а зовні на поверхню цієї трубки наносять оксидний шар. Такі катоди дістали назву **підігрівних**, або **катодів посереднього розжарення**. На схемах такий катод має вигляд товстої дужки, що розміщена поблизу нитки розжарення.

У зв'язку з тим, що у більшості випадків для детектування і випрямлення потрібний не один діод, а два, то переважно детекторні лампи мають два окремі діоди, так само, як і кенотрони.

Спробуємо ускладнити конструкцію діода і поставимо у проміжок між катодом і анодом сітку з тонкого дроту, зробивши від неї вивід назовні, як те зроблено від анода й катода. Така лампа вже має три електроди і називатиметься тріодом. Будову тріода і його позначення на схемах ви бачите на рис. 6.

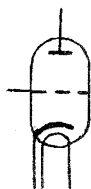
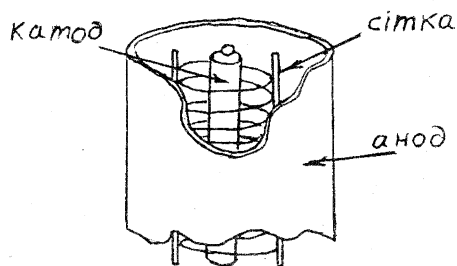


Рис. 6. Будова і зображення на схемі електроннолампового тріода.

Увімкнемо тріод в схему, наведену на рис. 7.

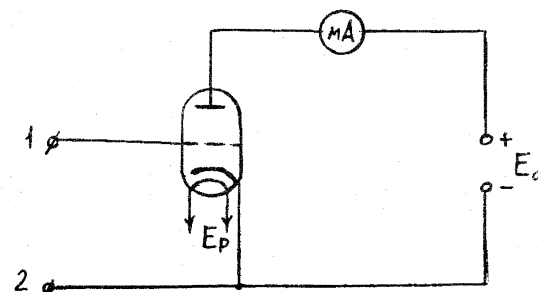


Рис. 7. Схема вмикання тріода.

Доти, поки сітка нікуди не приєднана, робота лампи не відрізнятиметься від роботи звичайного діода. Але спробуємо до затискачів 1–2 підімкнути невелику батарею так, щоб її негативний полюс опинився на сітці, а позитивний на катоді. Тоді можна буде побачити, що анодний струм тріода різко зменшиться. Чим же пояснити це зменшення — адже напруга анодної батареї лишилася такою, як і була?

А річ, виявляється, в тому, що тепер сітка починає впливати на потік електронів, які летять від катода до анода. Оскільки потенціал на сітці негативний, а заряд електронів також негативний, то сітка починає відштовхувати від себе електрони, не пропускаючи їх до анода. Чим вищий негативний потенціал на сітці, тим більша її гальмівна дія, тим менше електронів потрапляє на анод і, звичайно, менший від цього анодний струм.

Зрозуміло, що оскільки сітка знаходиться ближче, ніж катод, то її вплив на анодний струм лампи буде значно більший.

Спробуємо тепер змінити полярність підімкнутої до затискачів 1–2 батареї. І от, тому що на сітку в цьому випадку подається позитивний потенціал, вона починає вже притягувати електрони, начебто допомагає анодові розсмоктати електронну хмарку. Звичайно, анодний струм при цьому зростає. Але ж деякі електрони попадають

тепер не на анод, а на позитивно заряджену сітку. В колі сітки виникне так званий сітковий струм. Збільшуватимемо позитивний потенціал на сітці тріода. Анодний струм також зростає, але сітковий зростає ще швидше. Нарешті настає така мить, коли електронна хмарка цілком розсмоктується і подальше збільшення позитивного потенціалу на сітці призводить уже до зменшення анодного струму. Це й зрозуміло, адже тепер сітка починає поводитись, як анод, оскільки на ній уже досить високий позитивний потенціал.

Усе, про що ми тут говорили, можна добре продемонструвати на графіковій залежності анодного струму тріода від напруги на сітці. Графік цей будують так: на вертикалі відкладають значення анодного струму лампи в міліамперах, а на горизонталі, ліворуч від нуля, відкладають негативні потенціали на сітці у вольтах, а праворуч — позитивні. Крива залежності анодного струму від потенціалу на сітці будувється для однієї незмінної анодної напруги. Такий графік залежності анодного струму від потенціалу на сітці для одного типу тріода наведено на рис. 8.

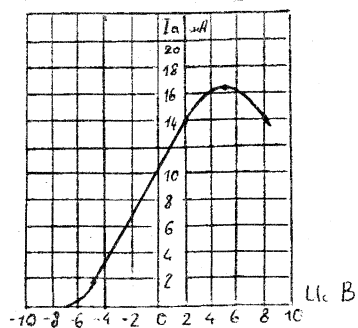


Рис. 8. Сіткова характеристика тріода.

Як бачимо з цього графіка, даного для анодної напруги, рівної 150 В , за нульового потенціалу на сітці анодний струм становить $10,5$

мА . Подача негативного потенціалу на сітку, рівного -2 В , спричиняє зниження анодного струму до $6,8\text{ мА}$, а негативний потенціал на сітці, рівний 5 В , зменшує анодний струм до $1,8\text{ мА}$ (точка "а" на графіку). За потенціалу на сітці, рівного -7 В анодний струм зникає зовсім. Лампа, як кажуть, запирається.

З іншого боку, подача на сітку позитивного потенціалу понад 1 В (точка "б" на графіку) спричиняє появу сіткового струму, а після подання позитивного потенціалу понад 5 В анодний струм лампи починає зменшуватись (точка "в" на графіку).

Графіки на зразок щойно розглянутого дістали назву сіткової характеристики тріода і мають дуже важливе значення для правильного вибору типу лампи і режиму її роботи.

Отож ми знаємо, що за позитивного потенціалу на сітці лампи в ній виникає сітковий струм. Цей струм, протікаючи в колі сітки, викликає значні спотворення в роботі лампи. З цієї причини не можна допускати, щоб за нормального робочого режиму на сітці виникали позитивні потенціали. З цієї ж причини нас може цікавити тільки робота лампи при негативних потенціалах на сітці, тобто ліва половина графіка (рис. 8). У довідниковій літературі по електронних лампах наводяться тільки такі графіки.

Цілком зрозуміло, що при зміні анодної напруги залежність анодного струму від цього на сітці вже буде іншою. Оскільки ж нас можуть цікавити сіткові характеристики тріода для найрізноманітніших напруг, то в довідниках наводяться сім'ї сіткових характеристик, де дано характеристики для цілого ряду анодних напруг. На рис. 9 наведено сім'ю сіткових характеристик для тріода типу 6С2П (про те, як позначаються типи ламп, буде сказано далі).

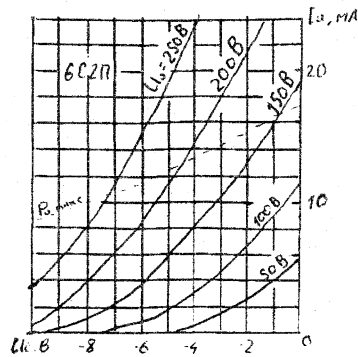


Рис. 9. Сім'я сіткових характеристик триода типу 6C2П

Попереду описано, яким чином знімається сіткова характеристика триода. Для цього анодна напруга береться сталою і простежується залежність між сітковою напругою і анодним струмом. Але в деяких випадках чинять по-іншому: встановлюють якесь певне значення напруги на сітці, а простежують залежність анодного струму від анодної напруги. Таку залежність називають анодною характеристикою лампи. Приклад такої анодної характеристики дано на рис. 10.

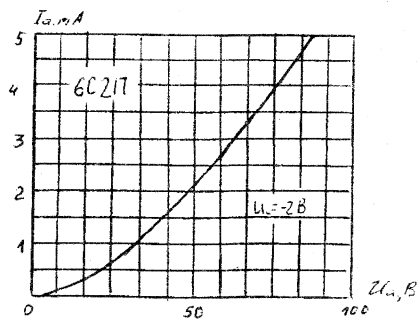


Рис. 10. Анодна характеристика триода 6C2П за напруги зміщення на сітці — 2В.

Сіткова напруга (потенціал сітки) у даному випадку рівна —2 В. Зрозуміло, що для правильного вибору електронної лампи треба мати не лише одну характеристику, а цілу сім'ю таких характеристик.

На рис. 11 наведено сім'ю анодних характеристик тієї самої лампи 6C2П.

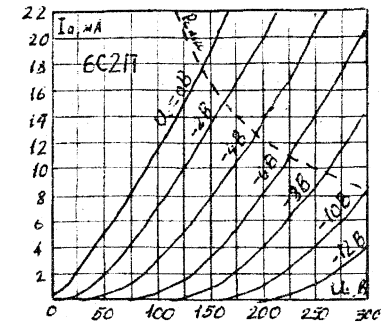


Рис. 11 Сім'я анодних характеристик триода 6C2П.

Як бачимо, сіткові й анодні характеристики дуже різняться одна від одної. Але найцікавіше полягає в тому, що зовсім не обов'язково мати ті й інші характеристики, щоб правильно вибрати лампу й режим її роботи. Цілком досить мати одну сім'ю характеристик.

Як приклад, визначимо, якої сили протікатиме анодний струм в колі лампи 6C2П, якщо напруга анодної батареї становить 200 В, а негативна напруга на сітці дорівнює 2 В. У сім'ї сіткових характеристик (рис. 9) знаходимо криву, позначену " $U_a=200\text{ В}$ ", далі на горизонтальній осі, де відкладено сіткові напруги, беремо точку "—2" і від неї піднімаємо вертикальну лінію до перетину з кривою, що відповідає напрузі 200 В. З точки перетину проводимо горизонтальну лінію до перетину з вертикальною віссю, де й знаходимо відповідь: 21,5 мА.

Тепер скористаємося для розв'язання тієї ж задачі анодними характеристиками (рис. 11). На горизонталі знаходимо анодну напругу 200 В і піднімаємо з цієї точки вертикальну лінію до перетину з кривою " $U_c = -2\text{ В}$ ", тобто з кривою заданої сіткової напруги. З точки перетину ведемо горизонтальну лінію до перетину з вертикальною віссю і знаходимо відповідь: $21,5\text{ мА}$, тобто вона така сама, як і в першому випадку. Таким чином і анодні й сіткові характеристики триода дозволяють розв'язати задану задачу. Більше того, маючи лише сім'ю анодних характеристик, можна побудувати сім'ю сіткових і навпаки.

На графіках, що їх ми маємо на рис. 9 і рис. 11, впадають у вічі пунктирні криві лінії " $P_{a\text{ макс}}$ ". Ці криві обмежують ділянку сім'ї, у якій лампа працює в режимі, допустимому з точки зору розсіюваної на аноді потужності. Згадаємо, що на анод потрапляють електрони, які набули великої швидкості. При ударі об анод кожен електрон виділяє тепло, внаслідок чого анод починає розігріватися. Що вища напруга на аноді і що більший анодний струм, то нагрівається він дужче. І тому може статися, що анод розжариться над допустиму температуру, і лампа зіпсується. А тому, щоб такого не сталося, обмежується зона допустимих значень розсіюваної анодної потужності. Режим лампи треба вибрати нижчий лінії, позначеної " $P_{a\text{ макс}}$ ".

Про те, що лампа не може нормально працювати за позитивного потенціалу на сітці, ми вже говорили. Але ж і нульовий потенціал також не забезпечить доброї роботи. У цьому випадку під час подачі на сітку підсилюваної змінної напруги обов'язково виникнуть у якісь проміжки часу позитивні сіткові потенціали. З цієї причини, коли вмикають лампу в схему, на її сітці звичайно подають невеликий негативний потенціал. Це можна, наприклад, зробити так, як показано на рис. 12, де між катодом і сіткою увімкнуто спеціальну батарею E_3 , що подає негативний потенціал.

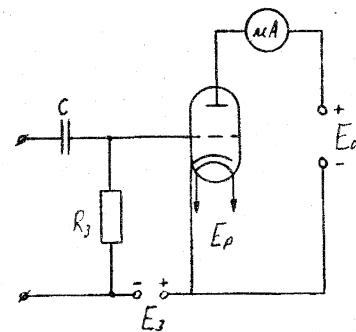


Рис. 12. Подача зміщення на сітку за допомогою батареї зміщення

Ця батарея E_3 зветься *батареєю зміщення*, оскільки вона зміщує робочу точку сім'ї сіткових характеристик уліво. У наведеному перед цим прикладі на лампу 6С2П було подане сіткове зміщення, рівне — 2 В .

Новим у схемі, наведеній на рис. 12, є й те, що в неї додатково введено дві деталі: конденсатор C і резистор R_b . Конденсатор ставлять для того, щоб на сітку, з затискачів 1-2 не могли потрапити сторонні постійні потенціали, оскільки це може призвести до зміни режиму роботи лампи. А резистор якраз забезпечує подачу постійного потенціалу батареї на сітку. Зветься цей резистор резистором витікання сітки.

Незначною зміною в схемі на рис. 12, у порівнянні з рис. 7, є також те, що з неї прибрано батарею розжарення U_p . Розжарювальні виводи лампи тут закінчуються стрілками, які вказують, що їх належить підмикати до джерела U_p . Таке позначення спрощує схему, бо не треба у даному випадку зображувати батарею розжарення або вести провідники через усю схему. А роботу схеми можна зрозуміти, оскільки кола розжарення є лише допоміжними.

Отже, ми розглянули роботу триода, а він є одним з основних типів підсилювальних елементів. Яким же чином використовуються його підсилювальні властивості в різних конструкціях?

Щоб з'ясувати, як можна підсилити електричний сигнал за допомогою тріода, увімкнемо його в схему так, як це показано на рис. 13.

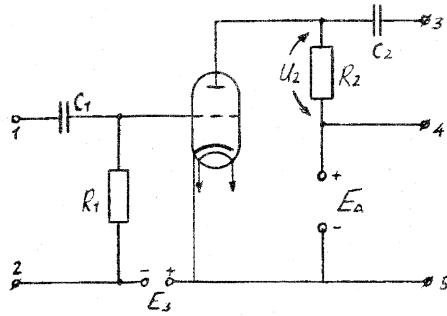


Рис. 13. Електронноламповий тріод в підсилювальному каскаді.

У цій схемі ми бачимо нову деталь: в анодне коло тріода тут увімкнено резистор R_2 , що зветься анодним навантаженням лампи. Окрім того, в схемі з'явився конденсатор C_2 , призначення якого стане зрозумілим дещо пізніше.

Резистор R_2 може мати опір від кількох Ом до десятків і сотень кОм залежно від застосованого типу тріода. Вибирають його з таким розрахунком, щоб на ньому під час протікання анодного струму виникало падіння напруги, рівне, приблизно, половині напруги анодної батареї. У цьому випадку напруга батареї начебто розподілиться порівно між лампою і резистором.

До резистора анодного навантаження підімкнено вольтметр, який показує величину падіння напруги. Запам'ятаємо це падіння, рівне U_2 , і дещо збільшимо напругу батареї змщення. Сітка у цей час дістане додатковий негативний потенціал і дужче гальмуватиме електрони, що летять до анода, і анодний струм зменшиться. Але ж за такого зменшення знизиться й падіння напруги на резисторі R_2 , бо згідно закону Ома це падіння пропорційне струмові, що протікає через резистор. І ось, якщо тепер порівняти, як змінюється падіння напруги на анодному навантаженні із зміною напруги на сітці, то ми одразу

прийдемо до висновку, що зміна напруги на навантаженні в багато разів більша від зміни сіткової напруги. Отже, коливання напруги на аноді лампи перевищують коливання напруги на сітці.

Пояснимо шойно сказане прикладом з тією ж самою лампою 6С2П. Хай напруга анодної батареї становить 320 В . На анод лампи буде подано половину цієї напруги, тобто 160 В . Напругу батареї змщення взято — 4 В . Тоді ж за графіком з рис. 9 неважко знайти, що анодний струм становить 9 мА . Оскільки цей струм проходить через резистор R_2 і створює на ньому падіння напруги, рівне половині напруги анодної батареї, тобто 160 В , легко знайти опір цього резистора:

$$R_2 = U_2 / I_a = 160 / 0.009 = 17\,800 \text{ Ом} = 17,8 \text{ кОм}.$$

Хай напруга батареї змщення збільшилась на 2 В і стала дорівнювати — 6 В . За тим самим графіком визначаємо, що анодний струм зменшився до 4 мА . Падіння напруги на анодному опорі в цьому випадку становитиме:

$$U_2 = I_a R_2 = 0,004 \cdot 17\,800 = 71 \text{ В},$$

а напруга на аноді:

$$U_a = U_a - U_2 = 320 - 71 = 249 \text{ В}.$$

Таким чином напруга на аноді лампи збільшилася з 160 В до 249 В , тобто на 89 В , в той час, коли напруга на сітці змінилася всього на 2 В .

У цьому прикладі ми допустилися помилки, яка полягає в тому, що ми не брали до уваги зміну напруги на аноді при зміні струму і користувалися в обох випадках кривою $U_a = 160 \text{ В}$ з рис. 9. Проте справа тут складніша, бо одночасно із зміною напруги на сітці змінюється і напруга на аноді. Це явище можна врахувати і дістати точні дані про підсилення лампи або, коли говорити точніше, про підсилення каскаду, оскільки в процесі підсилення бере участь не лише лампа, а й усі деталі, увімкнуті разом з нею.

Для визначення реального підсилення каскаду скористуємося з сім'ю анодних характеристик, поданих на рис. 14. Найперше з'ясуємо, як змінюється анодна напруга на лампі нашого каскаду при зміні анодного струму.

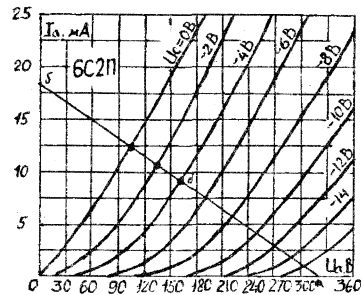


Рис. 14. Навантажна лінія каскаду.

Зрозуміло, що при відсутності анодного струму (наприклад, коли дуже велике зміщення на сітці) на резисторі анодного навантаження не створюється падіння напруги, і вся напруга анодної батареї потрапить на лампу. На графіку це відповідатиме точці "а", в якій $I_a = 0$ та $U_a = 320$ В. З іншого боку припустимо, що лампа замкнута і напруга на ній рівна нулю. У цьому випадку вся напруга анодної батареї виявляється прикладеною до резистора R_2 і струм, що проходить через нього, рівний:

$$I_a = U_a / R_2 = 320 / 17800 = 0,018 \text{ А} = 18 \text{ мА}.$$

Таким чином, на графіку ми дістаємо точку "б", в якій $I_a = 18$ мА і $U_a = 0$. З'єднаємо точки "а" і "б" прямою лінією, як це видно на рис. 14, і можна тепер закінчувати обчислення каскаду.

Як відзначалось раніше, при анодній напрузі 160 В і сітковому зміщенні, рівному — 4 В анодний струм лампи становить 9 мА (точка

"в" на графіку). Неважко помітити, що при напрузі зміщення — 6 В анодний струм зменшиться до 7 мА, а напруга на аноді збільшиться до 192 В. Отже, при збільшенні напруги зміщення на 2 В анодна напруга збільшиться на 32 В, або в 16 разів. Це і є підсилення каскаду.

З наведеного графіка можна визначити, що при зменшенні напруги зміщення до —2 В, тобто на 2 В, анодна напруга також зменшиться й дорівнюватиме 128 В, тобто впаде на ті самі 32 В. Отже, підсилення каскаду лишається постійним, якщо напруга на аноді лампи мало що відхиляється від половини напруги анодної батареї.

Із сказаного вище випливає, що чим більше змінюється анодний струм лампи при зміні напруги на сітці, тим вище підсилення дасть каскад на такій лампі. Ця залежність анодного струму лампи від напруги на сітці зветься крутизною сіткової характеристики і наводиться в довідниках. Крутизну характеристики легко визначити за сітковими характеристиками, обчислюючи за ними, на яку величину змінюється анодний струм, коли змінити сіткову напругу на 1 вольт.

З іншого боку коефіцієнт підсилення каскаду буде вищий, що більший буде опір резистора в анодному колі. Це й зрозуміло, якщо згадати, що падіння напруги на цьому резисторі значніше, коли більший його опір. Одначе просто підвищувати опір анодного навантаження не можна, бо тоді падає напруга на аноді. Тому необхідно брати лампи такого типу, які за даного опору анодного навантаження забезпечать приблизно половину напругу на аноді. З цією метою в довідниках наводяться значення внутрішнього опору ламп. Зрозуміло, чим вищий внутрішній опір лампи і чим вища її крутизна, тим більше підсилення можна мати з одного каскаду.

Повернемося тепер до схеми каскаду, яку подано на рис. 13. Призначення більшості елементів на схемі нам уже відоме, але от нашо потрібні конденсатори C_1 і C_2 . Виявляється, ці конденсатори необхідні для того, щоб підвести до каскаду підсилювану змінну напругу

(конденсатор C_1) і зняти вже підсилену змінну напругу з резистора анодного навантаження (конденсатор C_2). Коли б не було цих конденсаторів, то каскад підсилення виявився б зв'язаним по постійному струмі з іншими електричними колами, що зовсім не бажано, оскільки така ситуація призводить, як це вже говорилось, до порушення роботи всього каскаду. Конденсатори ж дозволяють підвести до входу каскаду і зняти з його виходу змінну напругу без будь-якого порушення режиму його роботи по постійному струмі. Вхідними затискачами підсилювального каскаду є затискачі 1—2, а вихідними 3—4 або 3—5, це цілком байдуже, оскільки на анодній батареї не створюється падіння змінної напруги.

У багатьох випадках підсилення одного каскаду, складеного на тріоді, буває не досить, навіть якщо застосувати тріод з найвищою крутизною і великим внутрішнім опором. Так, наприклад, часто буває, що необхідно поставити підсилювач з коефіцієнтом підсилення, рівним кільком сотням, а дістати підсилення з одного тріодного каскаду більш ніж у 50—60 разів дуже важко. У такому разі з'єднують два, а то й більше каскадів послідовно один за одним так, що після підсилення в одному каскаді сигнал надходить на підсилення до другого і т. д. Унаслідок такого з'єднання кількох каскадів виходить дво або багатокаскадний підсилювач, коефіцієнт підсилення якого може сягати до кількох десятків тисяч.

Багатокаскадний підсилювач, наприклад, можна скласти з каскадів, подібних до того, що схему його наведено на рис. 13. Для цього затискач 3 першого каскаду з'єднують із затискачем 1 другого, а затискач 5 відповідно із затискачем 2. Однак такий підсилювач матиме значну ваду: в кожний каскад конче треба ставити по дві батареї або якісь інші джерела постійного струму. Звичайно, виникає запитання: чи не можна зменшити цю кількість джерел?

Давайте подивимось, яка є можливість замінити батареї змищення у кожному підсилювальному каскаді. На рис. 15 зліва наведено частину підсилювального каскаду, де батареєю змищення увімкнено в катодне коло лампи.

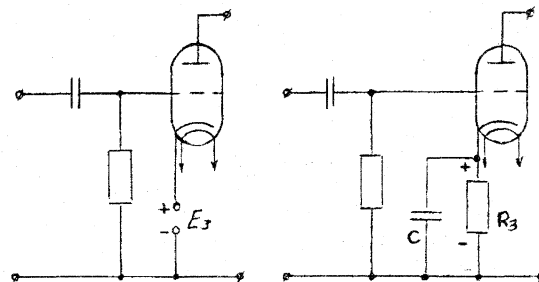


Рис. 15 Подача змищення на сітці за допомогою увімкненого в катод резистора, зашунтованого конденсатором.

Ця схема нічим не відрізняється в подачі напруги змищення від схеми, що на рис. 13. І в тому, і в тому випадках напруга змищення прикладена між катодом і сіткою так, що негативний потенціальний полюс батарей підімкнено до сітки, а позитивний до катода.

Але тепер давайте замінимо батареєю резистором R_3 , як це показано на правій частині рис. 15.

Анодний струм, протікаючи через резистор, R_3 , створить на ньому падіння напруги, причому полярність цього падіння буде та ж сама, що й у батареї змищення на рисунку. Таким чином, лишається тільки підібрати величину опору змищення так, щоб на ньому створювалось необхідне падіння напруги, і завдання розв'язане. Проте є і вада такої заміни, і полягає вона в тому, що при зміні анодного струму змінюватиметься і падіння напруги на резисторі R_3 , що приведе до коливання напруги змищення на сітці, а таке, як ми вже знаємо, не бажане. Проте цю ваду легко усунути: досить зашунтувати резистор R_3 конденсатором великої ємності, і коливання напруги на ньому

зглядяться, а весь підсилювальний каскад працюватиме добре і без батареї зміщення.

Така подача напруги зміщення на сітку за рахунок падіння напруги на катодному опорі зветься автоматичним зміщенням.

Застосування роздільних конденсаторів, що стоять між каскадами, дозволяє також скоротити кількість джерел анодного струму. Як з'єднуються в цьому випадку каскади, добре видно на прикладі двокаскадного підсилювача, наведеного на рис. 16.

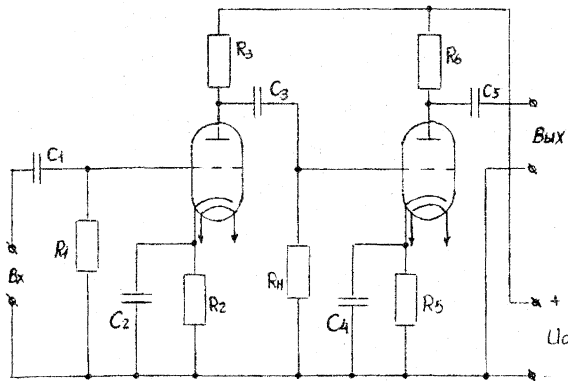


Рис. 16. Схема двокаскадного підсилювача на триодах.

Як бачимо, цей підсилювач має тільки одне джерело анодної напруги і два кола автоматичного зміщення. На схемі замість анодної батареї показано затискачі для підминання джерела анодного

живлення, бо тепер здебільшого користуються не батареями, а спеціальними пристроями — випрямлячами

Конденсатори C_2 і C_4 в схемі двокаскадного підсилювача звичайно беруть електrolітичні, оскільки вони мають значну ємність при невеликих габаритах. На схемі у цих конденсаторів одна обкладка темна. Вона відповідно являє собою негативний полюс.

Застосування багатокаскадних триодних підсилювачів не завжди зручне з тієї причини, що такі підсилювачі громіздкі, а в спробі добитись високих коефіцієнтів підсилення часто буває, що вони втрачають підсилювальні спроможності і переходять в режим генерації, що цілком недопустиме. Зменшення кількості каскадів у підсилювачі можливе тільки при використанні ламп з високими коефіцієнтами підсилення. У триодах досягають збільшення коефіцієнта підсилення шляхом застосування дуже густих сіток і розміщенням їх близько до катода. У деяких сучасних триодах сітку виготовляють з тугоплавких металів, а віддалена вона від катода всього на кілька сотих часток міліметра, що спричиняється, звичайно, до значних труднощів при виготовленні таких ламп. Окрім того, від такого близького сусідства з катодом сітка дуже розігрівається і сама починає випускати електрони, що порушує роботу лампи. Доводиться вкривати такі сітки золотом та вдаватися до інших заходів, щоб домогтись великої потужності і гарної роботи.

Цікаво, що чим далі знаходиться анод від сітки, тим вищий коефіцієнт підсилення триода. Але біда в тому, що далеко розміщений анод не спроможний притягнути до себе достатньо електронів, і анодний струм цього триода буде такий малий, що використати лампу буде неможливо.

Щоб усунути оце протиріччя, в лампу між сіткою і анодом ставлять другу сітку, що має значно рідші витки, ніж перша. На цю сітку, що зветься *екранию*, подається позитивний потенціал, рівний,

приблизно, половині анодного. Така чотирихелектродна лампа вже зветься *тетродом*, або *екранованою лампою*.

Оскільки в тетроді екранна сітка розміщена досить близько до катода і першої, або, як її ще називають, *керуючої*, сітки, то її вплив на електронний потік виявляється сильнішим у порівнянні з анодом. Екранна сітка начебто витягує електрони в проміжок між витками керуючої сітки, і їхня швидкість значно зростає. Але щойно електрони підлітають до екранної сітки, то одразу ж потрапляють у поле притягання анода, напруга на якому вища. Більша частина електронів пролітає в проміжках між витками екранної сітки і летить до анода. Анодний струм різко збільшується, і в той же час керуючу сітку стає можливим зробити дуже густою. Отже, вплив керуючої сітки на електронний потік у тетроді буде значно більший, ніж у тріоді, а значить, і підсилювальні спроможності тетрода значно кращі. Його крутизна, звичайно, вища, ніж у тріодів, а внутрішній опір у десятки і сотні разів більший.

На жаль, тетроди мають одну значну ваду, яка стоїть на шляху в них до широкого застосування. Річ у тому, що електрони, які потрапляють на анод, у тетроді мають таку високу енергію, що іноді вибивають з матеріалу анода вторинні електрони, а ці у свою чергу можуть потрапити на екранну сітку й порушити тим самим роботу лампи. Це явище називають *динатронним ефектом*. Виникнення його неприпустиме, тому що вносить велике спотворення у підсилювальний сигнал.

Щоб усунути шкідливий вплив динатронного ефекту, в лампу вводять ще одну, третю, *антидинатронну сітку*, розміщену між екранною сіткою і анодом, як це ми бачимо на рис. 17. Ця сітка має більші відстані між витками і з'єднується, як правило, з катодом.

На основний потік електронів, що рухається від катода до анода, антидинатронна сітка майже ніякого впливу не проявляє, і з цього боку трисіткова лампа, або *пентод*, працює так само, як і тетрод. Але на вторинні електрони, що вилетіли з анода внаслідок динатронного ефекту, вона діє — відштовхує їх і таким чином змушує повернутися на анод, не дає їм перескакувати на екранну сітку.

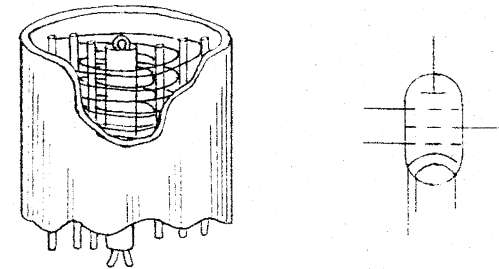


Рис. 17. Будова і зображення на схемі пентода.

Пентоди дістали в наш час найбільше поширення завдяки своїм позитивним якостям і передусім тому, що дають змогу добитися високих коефіцієнтів підсилення в одному каскаді. Схему вмикання пентода в підсилювальному каскаді наведено на рис. 18.

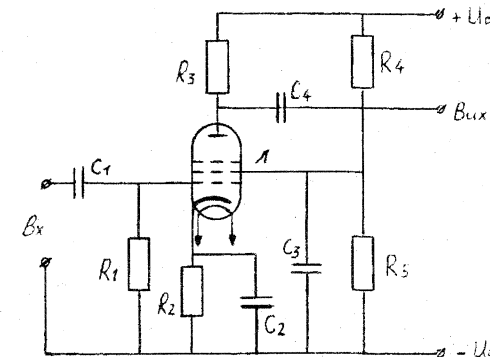


Рис. 18. Каскад підсилення на пентоді.

На цій схемі новими елементами є резистори R_4 і R_5 , а також конденсатор C_3 . Розглянемо призначення цих нових деталей.

Ми вже згадували, що на екранну сітку тетрода треба подавати позитивний потенціал, рівний, приблизно, половині напруги джерела анодного живлення. Зрозуміло, що зовсім не обов'язково мати окреме джерело екранної напруги. Можна скористатися джерелом анодної напруги, поділивши її за допомогою подільника, що складається з двох резисторів (на схемі це резистори R_4 і R_5). Розрахувавши відповідно опори цих резисторів можна дістати потрібну напругу на екранній сітці. Іноді замість подільника ставлять просто гасильний резистор R_4 , а резистор R_5 у такому разі не потрібний. Звичайно, розраховуючи опір цього резистора, треба знати струм екранної сітки. Значення його можна взяти з довідника по електронних лампах. Там наведено також і значення потрібних напруг на екранній сітці.

Конденсатор C_3 в схемі стоїть для того, щоб згладити напругу на екранній сітці. Річ у тому, що під час роботи лампи її анодний струм увесь час змінюється, що призводить до зміни струму екранної сітки, а отже і до коливань екранної напруги. Вмикання ж конденсатора дозволить усунути ці коливання і таким чином забезпечить сталість роботи лампи. Підсилений сигнал у цьому випадку зазнає найменших спотворень.

У вихідних каскадах підсилювачів застосовують спеціальні потужні пентоди, у яких екранні сітки з'єднуються прямо з позитивним полюсом джерела анодного струму. За такого вмикання резистори R_4 і R_5 , звичайно, не потрібні, а заодно й конденсатор C_3 .

Часто в літературі можда зустріти термін променевий тетрод. Одразу ж виникає запитання: що ж це за лампа? Виявляється, тетродом вона зветься тому, що не має антидинаatronної сітки. Але динаatronний ефект у такій лампі не виникає, бо замість третьої сітки вона має два спеціальні електроди, що знаходяться в проміжку між екранною сіткою

і анодом,—вони й виконують роль антидинаatronної сітки. Застосування антидинаatronних електродів знижує внутрішній опір лампи, а це дозволяє одержати достатню вихідну потужність.

Слово "променевий" в назві лампи означає, що в ній застосована спеціальна конструкція екранної сітки. За такої конструкції витки екранної сітки розміщені точно навпроти витків керуючої сітки, а електрони, що пролетіли через витки керуючої сітки, утворюють своєрідні "промені" і вільно прослизують між витками екранної. Тому струм екранної сітки в променевих тетродах зовсім малий. Схему променевого тетрода наведено на рис. 19, добре видно антидинаatronні електроди.

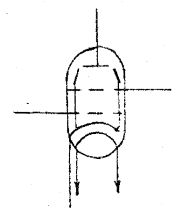


Рис.19. Схемне зображення променевого тетрода.

У деяких випадках застосовують складніші лампи, які мають чотири і п'ять сіток. Як правило, роль таких ламп зводиться до того, щоб змішати два різних сигнали, тому вони мають дві керуючі сітки. Їхня робота майже не відрізняється від роботи пентода, тому окремо говорити про них ми не станемо.

Описуючи будову діодів, ми зауважували, що часто в одному балоні міститься два і навіть три діоди. Таке розміщення зручне з огляду на економію місця в апаратурі. Окрім того, здвоєні і потрійні лампи дешевші, ніж коштують дві чи три окремі лампи разом. З цієї причини застосовують й інші комбіновані лампи. Особливо широкого

застосування набули подвійні тріоди, подвійні діодтріоди, тріодпентоди і тріодгептоди (гептод—лампа з чотирма сітками).

Зараз наша промисловість випускає багато типів ламп, і, щоб добре орієнтуватися, що являє собою кожен з них, треба знати, за яким принципом маркуються лампи.

Позначення електронних ламп, складається з чотирьох елементів.

Перший елемент вказує на напругу розжарення, причому напруга ця взята заокруглено. Так якщо на початку стоїть цифра 1, то напруга розжарення становить 1,2В. Якщо ж стоїть цифра 2, то це означає, що напруга розжарення дорівнює 2,4В, а якщо цифра 4, то 4В. Найпоширеніша в маркуванні цифра 6 вказує на те, що напруга розжарення становить 6,3В, а 12— 12,6В.

Другий елемент — це літера. Вона вказує на призначення лампи. При цьому треба твердо знати, що ці літери означають таке:

- Д — діод,
- Х — подвійний діод,
- С — тріод,
- Э — тетрод,
- К і Ж — пентод,
- П — вихідний пентод або променевий тетрод,
- А — чотири- або п'ятисіткова лампа,
- Г — тріод з одним або кількома діодами,
- Б — пентод з одним або кількома діодами,
- Н — подвійний тріод,
- Ф — тріодпентод,
- И — тріод з чотири- або п'ятисітковою лампою,
- Е — оптичний індикатор настройки,
- Ц — одноанодний або двоанодний випрямний діод (кенотрон).

Третій елемент в маркуванні — цифра, вказує вона на порядковий номер розробки лампи.

Четвертий елемент — знову літера. Вона вказує на конструктивне виконання лампи. При цьому прийнято такі позначення:

- С — лампа з скляним балоном,
- К — лампа в керамічній оболонці,
- Ж — лампа типу “жолудь”,
- Л — лампа із замком у ключі, який не дає їй випадати при струсах,
- П — лампа пальчикова,
- Б — надмініатюрна лампа, діаметром 10 мм,
- А — надмініатюрна лампа, діаметром 6 мм,
- Р — надмініатюрна лампа, діаметром 4 мм. Якщо четвертий елемент відсутній, то ця лампа з металевим балоном.

Знаючи наведене вище маркування електронних ламп, можна завжди одержати досить повну характеристику тієї чи іншої лампи. Так, наприклад, коли в описові чи на схемі ми вчитали чи побачили, що підсилювач складено на лампах 6Н2П і 6П14П, то нам уже зрозуміло, що перша лампа — пальчиковий подвійний тріод, а друга — вихідний пентод або променевий тетрод, причому також у пальчиковому оформленні. Обидві лампи розраховано на підмикання нитки розжарення до джерела з напругою 6,3 В.

Напівпровідникові пристрої

Тепер нам належить розглянути будову й роботу напівпровідникових приладів — діодів і транзисторів.

Почнемо передусім з того, що таке напівпровідник. З самої назви випливає, що він чимось відрізняється від звичайних провідників — металів. Справді, електричний струм у металах зумовлюється рухом вільних електронів під дією прикладеної до кінців провідника різниці потенціалів. Природа ж електричного струму в напівпровідниках зовсім інша.

Згадаємо, що являє собою атом хімічного елемента. Звичайно його уявляють у вигляді позитивно зарядженого ядра, довкіл якого на певних орбітах обертаються негативно заряджені електрони. Модель такого атома зображено на рис. 20.

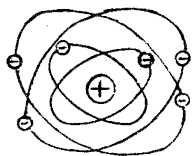


Рис. 20. Схематична будова атома.

Отже, електрони обертаються кожен на певній орбіті, причому орбіти ці проходять у вигляді кількох шарів. Тепер згадаємо, яким чином атоми в речовині сполучаються в молекули. Найпростішу модель молекули показано на рис. 21.

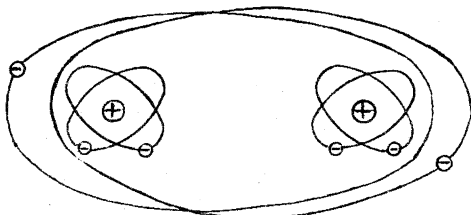


Рис. 21. Молекула речовини, що складається з двох атомів.

У цій молекулі сполучені два однакові атоми, причому довкола ядра кожного атома обертаються “свої” електрони, а два електрони обертаються довкола обох ядер водночас. Ці електрони начебто спільні для обох атомів і сполучають ці атоми в молекулу.

Якщо тепер розглянути побудову молекули в якійсь кристалічній речовині, то ми побачимо досить цікаву картину. На рис. 22 показано шматок кристалічної решітки одного з найпоширеніших напівпровідників — германію.

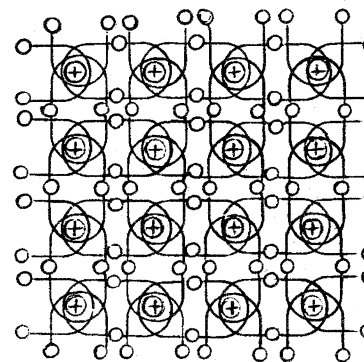


Рис. 22. Розміщення атомів у кристалічній решітці речовини.

Цей напівпровідник має на зовнішній орбіті кожного атома по чотири електрони, котрі можуть зв'язуватися з іншими атомами. Ці зв'язки показано на рис. 22 еліпсами, і на кожному з них знаходиться по два електрони.

Чи може електричний струм протікати в такому кристалічному напівпровідникові? Виявляється, все залежить від того, як стійко тримаються електрони на орбіті. Якщо орбіти електронів у речовині дуже стійкі і електрони не полишають їх при підвищенні температури,

прикладенні до куску матеріалу різниці потенціалів і т. ін., то ця речовина є типовим ізолятором. А ось напівпровідники відрізняються якраз тим, що, незважаючи на їхню жорстку металічну структуру, їхні електрони можуть залишати свої орбіти від дії світла, тепла, електричного поля тощо.

Уявимо кристал напівпровідника схематично, так, як це показано на рис. 23.

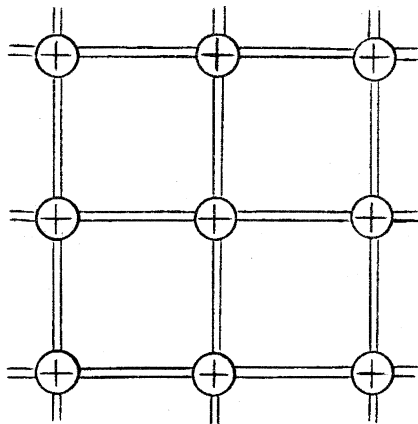


Рис. 23. Вивільнення одного електрона в кристалічній решітці речовини.

Як бачимо з цього рисунка, один електрон покинув свою орбіту і полетів у міжатомний простір напівпровідника. Якби до напівпровідника було прикладено різницю потенціалів, то електрон полетів би до позитивного електрода, і в напівпровідникові виник би електричний струм, причому природа цього струму була б така сама, що й у провідникові.

Але давайте подивимося на те місце, звідки вилетів електрон. Досі в цьому місці напівпровідника позитивні заряди атомних ядер були цілком скомпенсовані негативними зарядами електронів. Але ось одного електрона не стало, і, природно, в цьому місці виник некомпенсований позитивний заряд. Утворилась начебто "дірка" на

місці того електрона, що вилетів, і ця дірка заряджена позитивно. А це означає, що на місце цього електрона може перескочити один із сусідніх електронів, як це показано на рис. 24. Утвориться дірка в іншому місці, її, в свою чергу, може заповнити інший, сусідній електрон і т. д.

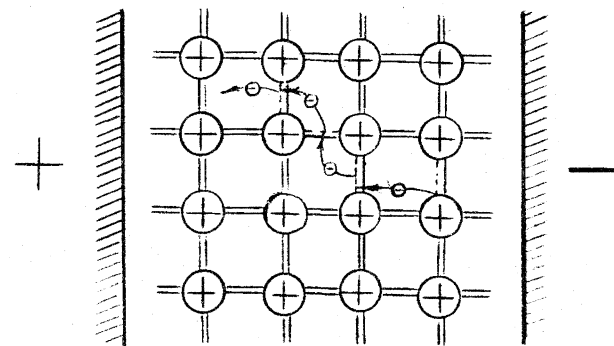


Рис. 24. Рух електронів у напівпровідниковій речовині від дії зовнішнього електричного поля.

Виходить, що позитивно заряджена дірка починає мандрувати по напівпровідникові, хоча всі його ядра надійно знаходяться на своїх місцях в кристалічній решітці. Але якщо тепер до напівпровідника прикласти різницю потенціалів, як це показано на рис. 24, то електрони, що заповнюють дірку, рухатимуться справа наліво. Отже, дірка почне рухатися зліва направо, тобто до негативного полюса джерела різниці потенціалів.

Таким чином, електричний струм у напівпровіднику створюється не тільки спрямованим рухом електронів, але й спрямованим рухом дірок. У цьому відмінність напівпровідника від провідника.

А що станеться, коли дірка заповниться не сусіднім, а просто блукаючим, стороннім електронем? Зрозуміло, що він просто посяде порожнє місце, дірка заповниться, а електрон перестане існувати у

вигляді вільного, блукаючого електрона. Настане рекомбінація електрона і дірки.

Описане явище провідності в напівпровідниках має місце тільки в чистих матеріалах. А що станеться, коли в чистий напівпровідник потрапить атом, який має на орбіті не чотири електрони, а п'ять? Ясна річ, чотири електрони одразу ж займуть місце на спільних з сусідніми атомами орбітах. А ось п'ятий електрон виявляється зайвий, і він вирушає в міжатомний простір речовини, оскільки йому нічого робити біля свого атома. Однак хоч атом домішки виявиться у цьому випадку позитивно заряджений, та дірки тут немає.

Таким чином, коли в чистий кристал кремнію чи германію ввести трохи домішки, атом якої має на зовнішній орбіті п'ять електронів, то такий напівпровідниковий матеріал буде спроможний проводити струм тільки за рахунок електронів, але не дірок. Виникає *електронна провідність*, а сам матеріал називатиметься *n-напівпровідником* від латинського "negative", тобто негативний (рис. 25).

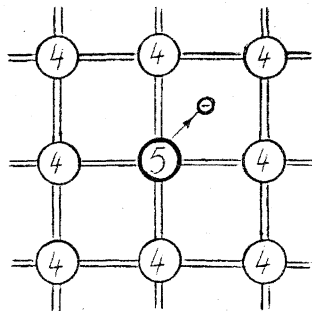


Рис. 25. Напівпровідник з електронною провідністю.

Домішкою в n-напівпровідникові може бути сурма, фосфор тощо. Ці домішки зветься донорами, бо вони віддають один електрон із зовнішньої орбіти своїх атомів.

Уявимо собі іншу картину: в чистий напівпровідник введено домішку з трьома електронами на зовнішній орбіті атома. Оскільки в даному випадку, щоб заповнити всі зв'язки в кристалі, не вистачає одного електрона, то порожнє місце може заповнити один із сусідніх електронів, а отже утвориться дірка. Такий провідник матиме діркову провідність, і зветься він *p-напівпровідником*, від латинського слова "positive", тобто позитивний (рис. 26).

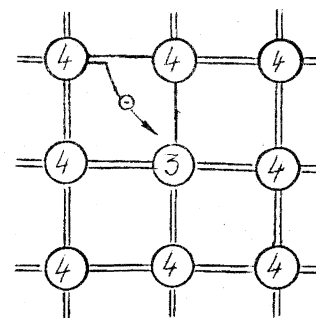


Рис. 26. Напівпровідник з дірковою провідністю.

Домішками в p-напівпровідникові може бути алюміній, індій, бор і т. ін. Усі ці домішки зветься акцепторами, оскільки їхні атоми забирають електрони від сусідніх атомів.

Розглянемо процеси, які протікають у напівпровіднику, який має обидва типи провідності *p* і *n*. Такий напівпровідник показано на рис. 27. Тут треба мати на увазі, що це не два куски різнотипних за провідністю напівпровідників, а один, у якому якимось способом одержано різну провідність з чіткою межею між *p* і *n* областями.

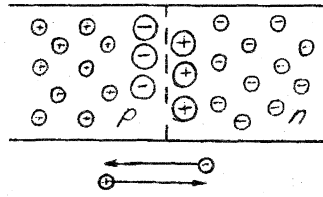


Рис. 27. Утворення просторових зарядів на межі напівпровідника p і n типу.

Електрони і дірка можуть вільно переходити через межу поділу провідностей. Оскільки в лівій частині напівпровідника є велика кількість дірок, то вони вирушають у праву, а електрони полетять навпаки. Потрапивши до лівої частини з p -провідністю, електрони почнуть рекомбінувати з дірками, і при цьому виявляється, що заряд ядер акцептора лишається некомпенсованим, і атом набуває негативного заряду. Точно так само дірки, що проходять у праву частину напівпровідника, рекомбінують з електронами, які є там, а ядра атомів-донорів, лишившись некомпенсованими, створюють позитивний заряд, і на межі p і n областей утворюються електричні заряди атомів домішок, які починають перешкоджати подальшому проникненню електронів і дірок з однієї частини напівпровідника в іншу. Ці заряди показано на рис. 27 великими кружками.

Таким чином між p і n областями утворюється непровідна ділянка певної товщини. Якщо такий електроннодірковий шматочок напівпровідника увімкнути в коло змінного струму, то він поводитиме себе як невеликий конденсатор. Треба тільки стежити за тим, щоб змінна напруга була значно менша за напругу, утворену атомами домішок.

Отже, на межі між p і n областями напівпровідника утворюється електричне поле, спрямоване таким чином, що воно не дає електричним зарядам переходити через примежну область. Прикладемо тепер до лівої і правої частини напівпровідника різницю потенціалів, як це показано на рис. 28, причому до лівої частини підведемо негативний полюс батареї, а до правої — позитивний.

Якщо порівняти рис. 27 і рис. 28, то можна побачити, що при такому вмиканні електричне поле атомів домішок на межі між p і n областями в напівпровідникові співпадає з полем, створеним зовнішнім джерелом, тобто батареєю. Зрозуміло, що при складанні полів у примежному шарі створюються умови, що цілком виключають перехід зарядів з однієї частини напівпровідника в іншу, і електричний струм не протікатиме.

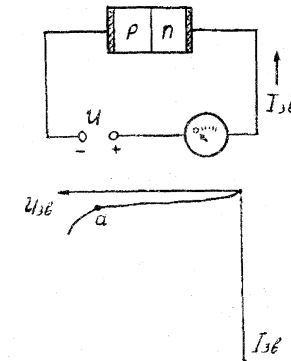


Рис. 28. Вмикання p - n переходу у зворотньому напрямку.

Цікаво відзначити, що за такого вмикання зовнішнього джерела товщина ізолюючого проміжку між p і n ділянками напівпровідника збільшується, а отже, зменшується і сміть p - n переходу. Це явище тепер використовують у спеціальних змінних конденсаторах —

тепер використовують у спеціальних змінних конденсаторах — *варикапах*, які не мають рухомих частин. Ємність таких конденсаторів змінюється шляхом зміни зовнішньої постійної керуючої напруги. Такі змінні конденсатори часто застосовують, наприклад, у схемах автоматичного підстроювання телевізорів і радіоприймачів.

Звичайно, описана картина цілковитого припинення протікання струму через напівпровідник правильна лише за умови ідеальної чистоти як самого напівпровідника, так і донора, і акцептора. Однак виконати цю умову не так просто, і тому в напівпровідникові завжди наявні шкідливі домішки, хоч і в невеликій кількості. Під впливом цих домішок через *p-n* перехід усе таки протікатиме незначний електричний струм. Цей зворотний струм умовно показаний внизу на графіку рис. 28. Як це ми бачимо з графіка, при збільшенні зворотної напруги до точки "а" сила зворотного струму збільшується дуже мало. За цією ж точкою струм починає різко зростати, і може настати електричний пробій напівпровідника, внаслідок чого *p-n* перехід вийде з ладу.

Тепер прикладемо напругу до напівпровідника з *p-n* переходом таким чином, щоб до *p*-області було підведено позитивний полюс батареї, а до *n*-області — негативний. Якщо напруга батареї невелика і складає 0,1 — 0,15 В, то помітного струму в напівпровідникові ми не виявимо. Річ у тому, що хоч електричне поле, створюване батареєю в *p-n* переході, і протилежне полю, існуючому там від атомів домішок, але воно менше за величиною. Таким чином на *p-n* переході у цьому випадку існує й далі поле, зазначене на рис. 27, яке перешкоджає зарядам рухатися через перехід. Якщо ж далі збільшувати напругу батареї, електричне поле, створюване батареєю, перевищить на *p-n* переході зворотну дію поля атомів донора і акцептора (що відповідатиме точці "б" на рис. 29). Зникнуть причини, які заважали зарядам переходити через перехід, і в колі з'явиться електричний струм.

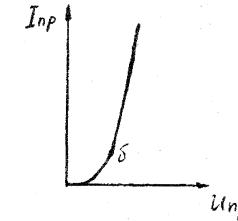
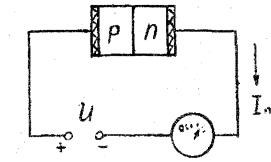


Рис. 29 Вмикання *p-n* переходу в прямому напрямку.

Таким чином виходить, що напівпровідник з *p-n* переходом проводить струм практично лише в одному напрямку, тобто працює так, як і електронний діод. Тому такі напівпровідники з одним *p-n* переходом дістали найширше застосування як випрямлячі змінного струму.

На рис. 30 наведено типічну залежність сили струму від напруги для напівпровідникового діода.

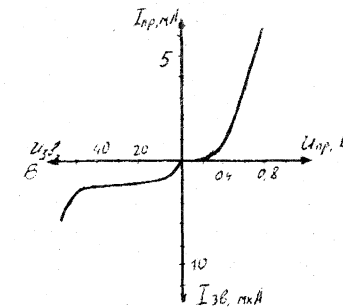


Рис. 30 Вольтамперна характеристика напівпровідникового діода.

Розглядаючи цю характеристику, зверніть увагу на те, що для прямого і зворотного струму взято різні масштаби. Коли б накреслити обидві частини кривої в одному масштабі, то зворотного струму не

можна було б поміряти зовсім. Справді, як це видно з рис. 30, прямий струм досягає 7 mA за напруги $0,8 \text{ В}$, у той час, як зворотний струм рівний 2 мкА (тобто в 3500 разів менше) за напруги 40 В . Звідси ясно видно головну властивість діода — пропускати струм тільки в одному напрямку.

Напівпровідникові діоди виготовляють для найрізноманітніших потреб, їх застосовують для детектування слабких сигналів, вимірюваних мікроамперами, і для випрямлення струму на потужних підстанціях, де сила струму становить десятки тисяч ампер. Припустимі зворотні напруги також коливаються від кількох до сотень і навіть тисяч вольтів. Звичайно, конструкції діодів також бувають найрізноманітніші, залежно від призначення.

Найбільше поширення дістали два типи діодів — точкові і площинні. На рис. 31 схематично наведено обидві конструкції.

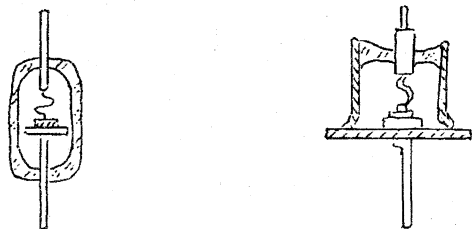


Рис. 31. Конструктивне виконання двох типів діодів — точкового і площинного.

У точковому діоді гострий кінець металевої пружинки торкається кристалика германію або кремнію і в місці дотику утворюється $p-n$ перехід з односторонньою провідністю. Площинний діод побудовано дещо інакше. В ньому на пластинку з напівпровідника напаюється невеличка крапелька речовини, яка може бути донором

або акцептором. У місці спаювання цієї крапельки й утворюється $p-n$ перехід. Так, наприклад, якщо на пластинку з електроннопровідного германію (германій n -типу) напаяти крапельку індію, то в місці спаювання відбувається насичення германію атомами донора, і він стає германієм p -типу, а на межі між германієм p -типу і n -типу виникає $p-n$ перехід.

А тепер звернемо увагу на нижню діву частину вольтамперної характеристики діода, наведеної на рис. 28. Вище згадувалося, що ця частина характеризує пошкодження діода, бо струм через нього починає різко зростати за незначного збільшення зворотної напруги. Однак і цю властивість діода використовують для певних потреб. Тільки в цьому разі діоди мають спеціальну конструкцію і вмикають їх послідовно з додатковим обмежуючим резистором.

За такого вмикання виявляється, що при зміні прикладеної до ланцюжка діод — резистор напруги зміна напруги на самому діоді в багато разів менша. Таким чином, діод наче стабілізує напругу, знижуючи її коливання. Тому такі діоди називають стабілітронами. Цікаво, що в стабілітронах використовується лише зворотна гілка вольтамперної характеристики, при цьому залежність між напругою і струмом у стабілітроні має вигляд, наведений на рис. 32.

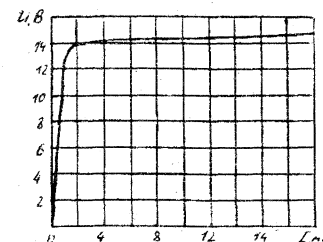


Рис. 32. Вольтамперная характеристика стабілітрона.

Є ціла низка інших спеціалізованих діодів, причому деякі з них можуть не тільки випрямляти чи детектувати сигнал, а навіть

підсилювати його. Але розглядати їх ми не будемо, бо в наведених у нашій книжці схемах вони не застосовуються.

Напівпровідникові діоди, які виготовляє промисловість, мають певне маркування, і його треба добре знати, бо воно інформує про деякі дані того чи іншого діода. При цьому слід пам'ятати, що в нас є дві системи маркування.

За першою системою в маркуванні є три елементи.

Перший елемент — літера Д. Це просто початкова літера слова “діод”.

Другий елемент — число. Воно означає:

від 0 до 100 — точкові германієві діоди,

від 101 до 200 — точкові кремнієві діоди,

від 201 до 300 — площинні кремнієві діоди,

від 301 до 400 — площинні германієві діоди,

від 801 до 900 — стабілітрони,

від 901 до 950 — варикапи.

Третій елемент — літера, що вказує на різновид діода, тобто визначає його місце в групі однотипних діодів.

Таким чином, маркування Д226Б означає, що це кремнієвий площинний діод, призначений випрямляти змінний струм (а що він площинний, то використовують його в джерелах живлення).

За другою системою у маркуванні діодів (її застосовують у нових приладах) є чотири елементи.

Перший елемент—літера або цифра, що означає матеріал напівпровідника:

Г або 1 — германій,

К або 2 — кремній,

А або 3 — арсенід галію.

Другий елемент—літера, що вказує клас або групу приладів:

Д — випрямні або універсальні діоди,

В — варикапи,

С — стабілітрони,

Ц — випрямні стовпи, що складаються з кількох діодів.

Третій елемент—число, яке вказує на призначення або властивості діода:

від 101 до 399 — випрямні діоди,

від 401 до 499 — універсальні діоди,

від 901 до 999 — варикапи,

від 101 до 199 — стабілітрони на напругу від 0,1В до 9,9В,

від 201 до 299—стабілітрони на напругу від 10В до 99В,

від 300 до 399—стабілітрони на напругу від 100 В і вищу.

Четвертий елемент — літера, що вказує на різновидність діода.

Таким чином, за новим маркуванням діод КД202А — кремнієвий випрямний діод різновидності А, тоді як 1В902Б—кремнієвий варикап різновидності Б.

Звичайно, як старе, так і нове маркування не дає повної характеристики приладу. Визначити ж припустимі зворотні напруги, силу випрямленого струму та інші дані можна за спеціальними довідниками.

Отже, ми розглянули роботу одного напівпровідникового приладу — діода.

А тепер розглянемо будову і принцип роботи напівпровідникового тріода, або, як його частіше називають, *транзистора*, того самого приладу, що дозволив здійснити цілу революцію в електронній техніці. Завдяки винайденню транзистора, чимало електронних приладів у багато разів стали меншими і збавили свою вагу, а на живлення їх витрачається значно менше енергії.

Що ж таке — транзистор?

Уявімо собі напівпровідник з електронною і дірковою провідністю, який має два p - n переходи, як те ми бачимо на рис. 33.

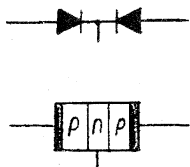


Рис. 33. Кристал напівпровідника з двома p - n переходами.

Якщо віддаль між першим і другим p - n переходами велика, тобто коли при доланні цієї віддалі електрони і дірки встигають рекомбінувати, то ми маємо справу з послідовним і зустрічним з'єднанням двох напівпровідникових діодів, і робота такої схеми нам цілком зрозуміла.

Тепер спробуємо наблизити p - n переходи таким чином, щоб більшість дірок під час руху від одного переходу до іншого не встигали б рекомбінувати. Увімкнемо напівпровідник у схему, що на рис. 34.

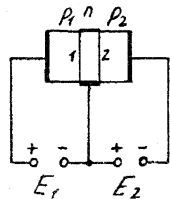


Рис. 34. Вмикання кристала з двома переходами в електричне коло

Як видно з цієї схеми, перший (лівий) p - n перехід увімкнено в прямому напрямку, а другий (правий) — у зворотному. Почнемо тепер поступово збільшувати напругу батареї E_1 , встановивши напругу батареї E_2 сталою. У початковий момент, коли напруга батареї E_1 дуже мала (менша $0,1$ В), струм через перший перехід не протікатиме, оскільки електричне поле батареї менше електричного поля атомів донорів і акцепторів у районі першого p - n переходу. Струм через другий p - n перехід також не протікатиме, бо цей перехід увімкнено в зворотному непровідному напрямку.

Почнемо збільшувати далі напругу батареї E_1 . Як і в діоді, при напрузі на переході $0,15$ — $0,2$ В через перший p - n перехід починає протікати електричний струм. Струм цей, в основному, дірковий, оскільки концентрація дірок у матеріалі P_1 напівпровідника набагато вища концентрації електронів у середній n -області (див. рис. 34). І ось з початком протікання струму через p - n перехід у напівпровідникові виникає дуже цікаве явище.

Ми вже говорили, що віддаль між двома p - n переходами вибрано такою, що більшість дірок не встигає рекомбінувати і може підійти до другого p - n переходу. І ось саме тут ці дірки притягує і захоплює поле правої частини напівпровідника P_2 (адже права частина P_2 дістала від батареї E_2 негативний заряд, який діє на дірки притягуюче).

Подальше збільшення напруги батареї E_2 призводить до зростання діркового струму через перший, а отже й через другий p - n переходи. У колі E_2 виникає таким чином струм, величина якого регулюється батареєю E_1 .

Назвемо область P_1 напівпровідника *емітером* (ця область емітує, тобто випускає дірки), область n -напівпровідника — *базою* і

область P_2 напівпровідника — *колектором* (ця область начебто збирає, колекціонує дірки).

Якби на базі не відбувалася рекомбінація дірок, то струм у другому, колекторному, переході був би рівний струмові в емітерному переході. Але ж оскільки частина дірок рекомбінує, то можна записати, що колекторний струм пропорціональний емітерному струмові:

$$I_k = \alpha \cdot I_e$$

У цій формулі α —коефіцієнт пропорціональності, і показує він, яка частка дірок, що пройшли через емітерний перехід, досягла колектора. Що більший коефіцієнт α , то кращий наш пристрій, який ми тепер уже можемо назвати транзистором.

Напрямок струмів через транзистор описаного типу (а його структуру, як це видно з рис. 34, можна записати як *p-n-p*) показано на рис. 35.

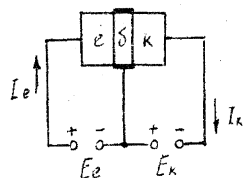


Рис.35. Схема напівпровідникового тріода — транзистора.

Оскільки емітерний струм у напівпровіднику розгалужується на два струми — базовий I_b та колекторний I_k , — то зрозуміло, що сума двох останніх струмів повинна дорівнювати емітерному струмові:

$$I_e = I_b + I_k$$

Підставивши тепер з першої формули значення I_k , матимемо:

$$I_e = I_b + \alpha \cdot I_e$$

Здійснивши незначні перетворення, цю формулу можна записати інакше:

$$I_b = (1-\alpha) \cdot I_e$$

Ми дістали досить цікаву залежність між силою базового струму і силою емітерного. Виявляється, емітерний струм, а отже і колекторний, дуже залежать від базового струму. При цьому треба врахувати, що величина коефіцієнта α завжди більша 0,9, а в деяких транзисторах доходить до 0,998 (це означає, що з тисячі дірок, що пройшли в базу через емітерний перехід, 998 попадає на колектор і тільки дві дірки рекомбінують),

З останньої формули випливає той висновок, що, змінюючи базовий струм, можна регулювати і струм емітера, а головне — струм колектора. При цьому — що більше значення коефіцієнта α , то ефективніше таке регулювання. Так, наприклад, при коефіцієнті α , рівному 0,95, щоб створити силу емітерного струму в 10 мА, через базу треба перепустити струм, рівний 0,5 мА, тобто в 20 разів менший. У цьому випадку колекторний струм рівний 9,5 мА. Якщо ж узяти транзистор з $\alpha=0,99$, то для створення того самого емітерного струму потрібний базовий струм усього 0,1 мА. При цьому струм колектора дорівнюватиме 9,9 мА. Отже, транзистор підсилює струм від 0,1 мА до 9,9 мА, тобто в 99 разів.

Підсилювальні властивості транзистора і полягають у тому, що при незначній зміні базового струму його колекторний струм змінюється в багато разів.

Із сказаного виходить, що для того, аби оцінити підсилювальні властивості транзистора, треба знати величину коефіцієнта α . Іноді для більшої зручності користуються іншим, нагляднішим коефіцієнтом. Це

коефіцієнт β , названий коефіцієнтом підсилення по струму. Він пов'язаний з α простою залежністю:

$$\beta = \alpha / (1 - \alpha).$$

Таким чином, транзистор з $\alpha = 0,95$ має коефіцієнт підсилення по струму:

$$\beta = 0,95 / (1 - 0,95) = 19.$$

а транзистор з $\alpha = 0,998$ має коефіцієнт підсилення по струму, рівний близько 500.

Розглянутий нами транзистор мав структуру *p-n-p*. Однак можна створити транзистор структури *n-p-n*. Працюватиме такий транзистор так само, як і *p-n-p*, лиш з тією різницею, що тут носієм струму будуть не дірки, а електрони. І полярність батарей у цьому випадку треба змінити на зворотну.

Позначаються транзистори на схемах так, як те ми бачимо на рис. 36. Позначення дуже схожі, тільки емітер у транзисторі *n-p-n* має стрілочку, скеровану у зворотний бік.

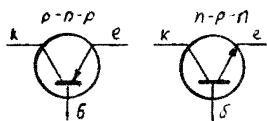


Рис. 36. Схемне зображення двох основних типів транзисторів.

Транзистор, як і лампа, складний фізичний прилад, і пояснити повністю його роботу досить складно, тому в поясненні своєму ми зважилися на спрощення, яке, однак, цілком припустиме, і зрозуміти з нього, як працюють ці прилади, можна порівняно легко, принаймні для того, щоб працювати над схемами електронних конструкцій, які ми подаватимемо в наступних розділах нашої книжки.

Для роботи транзистора треба мати два джерела струму: для живлення емітернобазового кола і базовоколекторного, як це видно з рис. 35. Цілком природним буде запитання про те, чи не можна обійтися одним джерелом? Безперечно, можна.

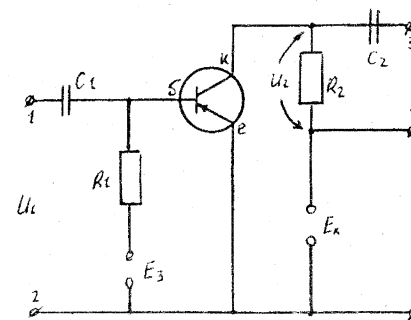


Рис. 37. Підсилювальний каскад на транзисторі типу *p-n-p*.

На рис. 37 наведено схему вмикання транзистора структури *pnp* у підсилювальному каскаді. Як бачимо, ця схема дуже нагадує схему каскада підсилення на триодах (порівняймо, наприклад, зі схемою, що на рис. 13), при цьому емітер виконує роль катода лампи, база — роль сітки, а колектор — анода. Є тут і батарея зміщення, роздільні конденсатори і колекторне навантаження (в каскаді з лампою — це анодне навантаження).

Для подачі напруги в коло бази, потрібної для нормальної роботи транзистора в підсилювальному режимі, скористуємося тим, що полярність цієї напруги відносно до емітера та сама, що й полярність колекторної напруги. Отже, в цьому випадку можна застосувати подільника напруги, подібного до того, що застосовується для живлення екранної сітки пентода. Такий подільник, призначений, щоб подавати зміщення на базу, ми бачимо на рис. 38. Він складається з двох резисторів: R_1 і R_2 , підібраних таким чином, що струм бази становить якраз потрібну величину. Призначення решти деталей каскаду зрозуміле.

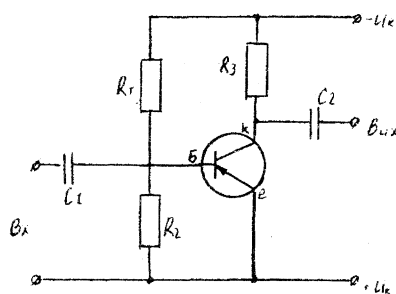


Рис. 38. Подача зміщення на базу транзистора за допомогою подільника $R_1 - R_2$.

Як бачимо, схема вмикання транзистора дуже нагадує схему вмикання лампового тріода. Для того, щоб з'ясувати, які ж електричні характеристики транзистора, складемо схему для його випробування, показану на рис. 39, яка, до речі, багато в чому схожа на схему рис. 12.

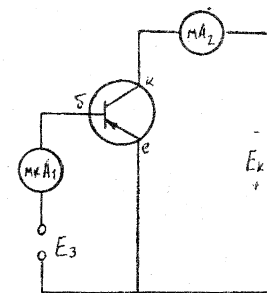


Рис. 39. Схема для визначення вольтамперних характеристик транзистор.

Здамося яким-небудь значенням струму бази, наприклад, хай він становить 100 мкА , і почнемо збільшувати напругу колекторної батареї, спостерігаючи за відхиленням стрілки міліамперметра mA_2 , увімкненого в колекторне коло. При цьому випробуванні ми одержимо залежність між колекторним струмом і напругою колектор — емітер таку, як показано на рис. 40. З графіка видно, що коли збільшити напругу до $1-2 \text{ В}$, то різко зросте колекторний струм. Це й зрозуміло, бо ж саме на цій ділянці напруга на другому pn переході починає притягувати з базової області дірки.

Але ось настає момент, коли всі вільні дірки з базової області попадають на колектор. Подальше збільшення колекторної напруги вже не може призвести до зростання колекторного струму, оскільки в базовій області вже не лишилося вільних зарядів. Крива залежності струму колектора тепер буде йти майже горизонтально. Це добре видно з рис. 40.

Описана вище крива залежності колекторного струму від напруги на колекторі правильна тільки для заданого базового струму.

Якщо ж на початку дослідів встановити інше значення базового струму, то й крива піде в іншому місці масштабної сітки. Отже, встановлюючи різні значення базового струму і змінюючи залежність між колекторним струмом і напругою, можна одержати сім'ю колекторних характеристик транзистора. Таку сім'ю наведено на рис. 41.

Якщо порівняти тепер графік рис. 41 з графіком рис. 11, то легко зробити висновок, що сім'я колекторних характеристик транзистора дуже нагадує сім'ю анодних характеристик лампового триода. Тільки тут криві дані для заданих значень базового струму, а в триоді задані значення сіткової напруги.

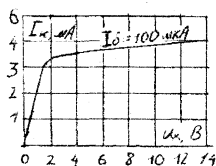


Рис. 40. Колекторна характеристика транзистора.

На сім'ї колекторних характеристик, наведеній на рис. 41, для прикладу взято характеристики транзистора МП41А, дано також криву пунктирну лінію, що обмежує припустиму по розсіюваній потужності ділянку графіка. Транзистор може нормально працювати тільки в режимі, коли розсіювана на ньому потужність не перевищує припустимої, тобто тільки в режимі, обмеженому зверху пунктирною лінією.

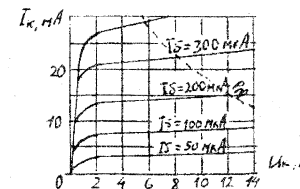


Рис. 41. Сім'я вольтамперних характеристик транзистора.

Описаний вище транзистор дістав назву біполярного, бо в нього є два *pn* переходи. Проте останнім часом набули поширення уніполярні, або *п о л ь о в і*, транзистори, які мають лише один *pn* перехід. Схематичну будову такого транзистора наведено на рис. 42.

Як видно з цього рисунка, кристал напівпровідника тришаровий. Усередині кристала міститься напівпровідник *p*-типу, а над цим шаром і під ним розташовані шари *n*-типу. На обидва шари напівпровідника *n*-типу накладені металеві електроди, з'єднані між собою. З торцевих боків ділянки *p*-типу накладені також два електроди, які називають *виток*ом і *сток*ом, а електроди, що з'єднані з ділянками *n*-типу, мають назву *затвора*.

Увімкнемо наш польовий транзистор у схему, як показано на рис. 43. Як бачимо з цієї схеми, вона має два кола: основне, що складається з батареї стоку E_c — ділянки напівпровідника *p*-типу — міліамперметра, і керуюче — з батареї зміщення (затвора) E_z і *p-n* переходу.

Припустімо, що напруга батареї E_z дорівнює нулю. В цьому разі струм у колі стоку визначається за законом Ома напругою батареї E_c і опором *p*-ділянки напівпровідника. Цей опір у свою чергу залежить від товщини ділянки, її довжини й ширини, а також від питомого опору напівпровідника.

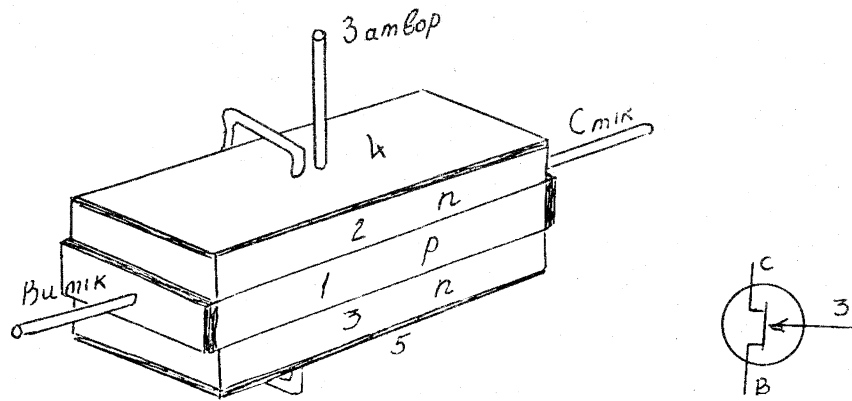


Рис. 42. Схематична будова уніполярного транзистора і його умовне позначення: 1- шар напівпровідника р-типу; 2 і 3 - шари напівпровідника n-типу; 4 — верхній і нижній керуючі електроди.

Отже, в колі стоку виник електричний струм певної сили. А тепер увімкнемо батарею зміщення так, як показано на рисунку, тобто позитивним полюсом до затвора, а негативним до витоку. В цьому разі виявиться, що до *p-n* переходу прикладено всю напругу батареї E_z в зворотному, тобто в замикаючому, напрямі. Ми вже відзначали раніше, що за такого вмикання збільшується ширина ізолюючої ділянки між шарами *p* і *n* типу. Та коли збільшилась ширина переходу, це означає, що зменшилась товщина шару напівпровідника р-типу, як це показано пунктиром на рис. 43.

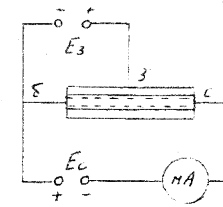


Рис. 43. Схема, що пояснює роботу польового транзистора.

А тепер неважко збагнути, що в цьому разі зменшиться струм у колі стоку транзистора, бо зменшився переріз напівпровідника, а напруга батареї стоку лишилася незмінна.

Збільшимо напругу батареї зміщення і одразу ж помітимо даліше зниження струму стоку. А якщо збільшуватимемо напругу зміщення й далі, то можемо зовсім перервати струм, що проходить через транзистор.

Таким чином, змінюючи напругу на затворі польового транзистора (іноді його називають іще каналним транзистором), можна в широких межах змінювати силу струму, який проходить між витоком і стоком. Щодо цього робота польового транзистора багато в чому нагадує роботу електронної лампи— тріода.

Оскільки напругу батареї зміщення прикладено в замикаючому напрямі *p-n* переходу, то очевидно, що струму в колі заівора практично не буде. Отже, вхідний опір польового транзистора дуже високий, на відміну від вхідного опору біполярного транзистора. З цієї причини польові транзистори застосовують там, де потрібний високий вхідний опір схеми.

Вище описано роботу польового транзистора з каналом р-типу, проте неважко збагнути, що цілком можна побудувати транзистор з каналом n-типу. Саме такі транзистори й набули тепер найбільшого

каналом n-типу. Саме такі транзистори й набули тепер найбільшого поширення. Принцип їх роботи нічим не відрізняється від описаного, тільки полярності батареї будуть зворотні.

Польові транзистори мають цікаву особливість: вмикаючи їх, можна без особливої шкоди для роботи поміняти місцями витік і стік. Це й зрозуміло, коли звернути увагу на рис. 42, з якого видно, що транзистор цілком симетричний.

Іноді в літературі можна натрапити на згадку про МДП-транзистори або МОП-транзистори. Що ж вони являють собою? Виявляється, це добре відомі нам польові транзистори, тільки зроблені вони так, що між електродами затвора і напівпровідником додатково введені ізолюючі діелектричні або окисні плівки. Відповідно МДП розшифровується як метал — діелектрик — напівпровідник, а МОП — метал — окисна плівка — напівпровідник.

Розробка і впровадження напівпровідникових приладів дали можливість різко зменшити розміри електронних приладів, підвищити їх надійність, знизити споживання потужності та ін. Це й зрозуміло, якщо взяти до уваги, що розміри сучасних транзисторів іноді не перевищують часток міліметра. Однак і такі деталі—завбільшки з макове зернятко щодо розмірів —уже не задовольняють сучасної техніки. Тому вживаються серйозні заходи, спрямовані на зниження габаритних розмірів і ваги цих деталей і далі підвищення надійності їх роботи. Адже в деяких електронних приладах налічуються сотні тисяч транзисторів.

Виявилось, що можна й далі зменшувати габаритні розміри приладів і, більш того, одночасно виготовляти на одному кристалі напівпровідника не тільки діоди й транзистори, а й резистори, конденсатори тощо. Отож на одному кристалі можна виготовити цілий підсилювач, генератор і т. ін. На такому кристалі завбільшки з

копійчану монету тепер розміщують кілька сотень і навіть тисяч елементів, зв'язаних у потрібну схему вже під час їх виготовлення. Такі схеми називають інтегральними. На їх основі розробляють не тільки складні електроннообчислювальні машини, а й сучасні радіоприймачі й телевізори.

Для різних потреб зараз виготовляють велику кількість усяких транзисторів. Тут і транзистори завбільшки з голівку англійської шпильки, і транзисторигіганти, що важать по кілька кілограмів. Одні транзистори призначені для роботи у високочастотних колах, інші працюють нормально тільки на низьких частотах і т. ін. А тому, щоб правильно визначити основне призначення і структуру транзистора, ознайомимося з прийнятим у нас маркуванням.

Існує два основних типи маркування транзисторів.

Перший тип маркування являє собою поєднання трьох елементів.

Перший елемент — літера П, що означає площинний транзистор.

Другий елемент—число. Воно означає:

від 0 до 100— малопотужний германієвий, від 101 до 200— малопотужний кремнієвий, від 201 до 300— середньої і великої потужності,

германієвий, від 301 до 400— середньої і великої потужності, кремнієвий, від 401 до 500— малопотужний високочастотний германієвий, від 501 до 600—малопотужний високочастотний, кремнієвий, від 601 до 700 — середньої і великої потужності високочастотний германієвий, від 701 до 800— середньої і великої потужності високочастотний кремнієвий.

Третій елемент — літера. Так само, як у діодах, вона вказує на різновид даного транзистора.

Тепер ми можемо вже сказати, що транзистор типу П423 — це високочастотний малопотужний германієвий транзистор, а П42Б — германієвий малопотужний, один із різновидів.

Часто в маркуванні транзисторів перед літерою П може Додатково стояти літера М. Це вказує тільки на технологію виготовлення приладу, але літера ця до характеристики ніяк не стосується. Так, наприклад, за своїми даними транзистори П14 і МП14 цілком рівноцінні, і в схемах обидва працюватимуть нормально.

Другий тип маркування має п'ять елементів.

Перший елемент — літера, що вказує на матеріал напівпровідника:

Г — германієвий, К — кремнієвий, А — арсенід галію.

Другий елемент — літера, що означає тип приладу:

Т — транзистор, П — польовий транзистор.

Третій елемент — цифра, що означає клас приладу:

1 — низькочастотний малопотужний прилад,

2 — малопотужний прилад для частот середнього діапазону (від 3 до 30 МГц),

3 — високочастотні малопотужні прилади,

4 — низькочастотні прилади середньої потужності,

5 — середньочастотні прилади середньої потужності,

6 — високочастотні прилади середньої потужності,

7 — низькочастотні прилади великої потужності,

8 — середньочастотні прилади великої потужності,

9 — високочастотні прилади великої потужності.

Четвертий елемент — число, що означає порядковий номер розробки.

П'ятий елемент — літера, що означає групу приладу.

Як бачимо, цей тип маркування охоплює всі типи напівпровідникових приладів, тобто і діоди, і транзистори.

Для прикладу розшифруємо марку ГТ319Б. Це германієвий (Г) транзистор (Т) малої потужності, високочастотний (3), номер розробки його — 19, група приладу — Б.

У чому ж головна відмінність германієвих і кремнієвих транзисторів? Виявляється, вона полягає головним чином в температурному діапазоні. Так, наприклад, германієві прилади працюють задовільно тільки до температури не вищої 70—80° С, а кремнієві мають верхню межу робочого діапазону 120°С.

На цьому можна й скінчити розгляд будови й роботи електроннолампових і напівпровідникових приладів, що мають найширше застосування в різноманітних пристроях зв'язку.

Література

1. Огородничук М.Д. Електронні підсилювачі. Нав. посібник. — К.: ІСДО, 1995. — 248 с.
2. Огородничук Н.Д. Усилители с обратной связью. — К.: Изд-во КВВАИУ, 1990. — 88 с.
3. Остапенко Г.С. Усилительные устройства. — М.: Радио и связь, 1989. — 440 с.
4. Батушев В.А. Электронные приборы. — М.: Высшая школа, 1980. — 386 с.

ЗМІСТ

Вступ	– 3
Електронновакуумні і підсилювані прилади	– 5
Напівпровідникові пристрої	– 32
Література	– 60