

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА ТЕ21

## Дослідження статичних і динамічних характеристик польових транзисторів.

### 21.1. Мета роботи

Вивчення статичних і динамічних характеристик польових транзисторів.

### 21.2. Основні теоретичні положення

Польові транзистори – це напівпровідникові прилади, в яких регулювання вихідного струму забезпечується зміною провідності напівпровідникового

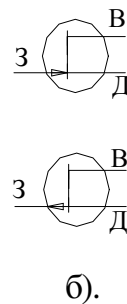
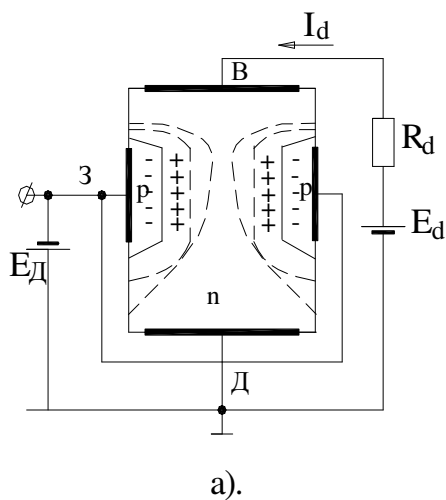


Рис. 21.1.

матеріалу, шляхом дії електричного поля. На рис. 21.1а приведена структура транзистора, який називається транзистором з р-п переходом. Основу його представляє п-канал з невисокою концентрацією основних носіїв, зверху і знизу якого приєднані електроди. З обох боків п-каналу створюється напівпровідник р-типу з високою концентрацією основних носіїв. В результаті по межі розділу р і п структур створюється р-п перехід, який зв'язує вільні носії п-каналу. Електроди р-структури з'єднуються і приєднуються до третього електроду транзистора. Відповідно до англійської термінології, назви електродів знизу вгору мають назви: source (джерело), gate (вентиль, клапан, затвор), drain (витік, дренаж).

Якщо струм каналу відсутній ( $E_d = 0$ ), то при зміні напруги  $E_3$ , яка є зворотною напругою для р-п переходу, буде змінюватися ширина р-п переходу за рахунок п-структури. В результаті ширина каналу з вільними п-носіями буде звужуватись, а його опір відповідно зростати. При протіканні струму через канал від джерела  $E_d$  внаслідок високого опору напівпровідника на довжині каналу буде мати місце падіння напруги. Це приводить до того, що величина зворотної напруги, яка прикладена до верхньої частини р-п переходу буде більшою, ніж до нижньої. Відповідно в верхній частині ширина р-п переходу зростає, а каналу – зменшиться. Зростання струму каналу буде приводити до перекривання каналу в верхній частині р-п переходу, внаслідок чого величина струму буде знижуватись. Описана робота ілюструється вольт-амперними характеристиками транзистора, приведеними на рис. 21.2.

В цілому всі характеристики розділяються на три характерні області. В першій області має місце висока залежність струму витоку  $I_d$  від напруги.

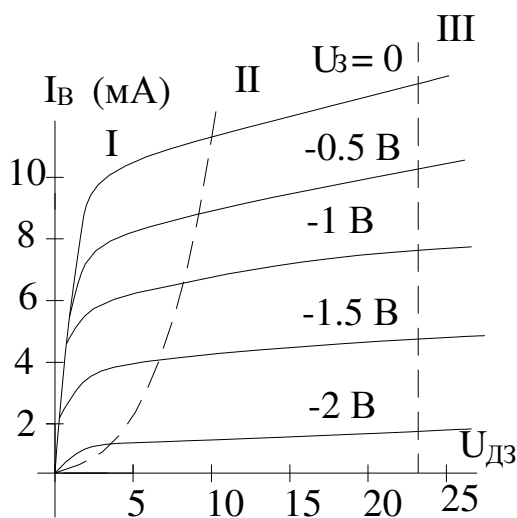


Рис. 21.2.

Характеристики області I характерні для відкритого каналу. В області II транзистор працює тоді, коли він використовується як регулюємий опір. В другій області (II) має місце перекриття каналу, в результаті чого має місце внутрішня стабілізація струму каналу в широкому діапазоні робочих напруг. Область II використовується при роботі транзисторів в режимі підсилення. Характерною для цього режиму є струмозатворна характеристика (Рис.21.3а) для визначеної напруги  $U_{зд}$ , яка використовується при визначенні

параметрів схеми заміщення транзистора (Рис.21.3б). Крутизна характеристики  $S$  визначається за формулою:

$$S = \frac{dI_B}{dU_3}$$

величина  $r_i$  визначається за вихідними характеристиками транзистора для конкретної робочої точки.

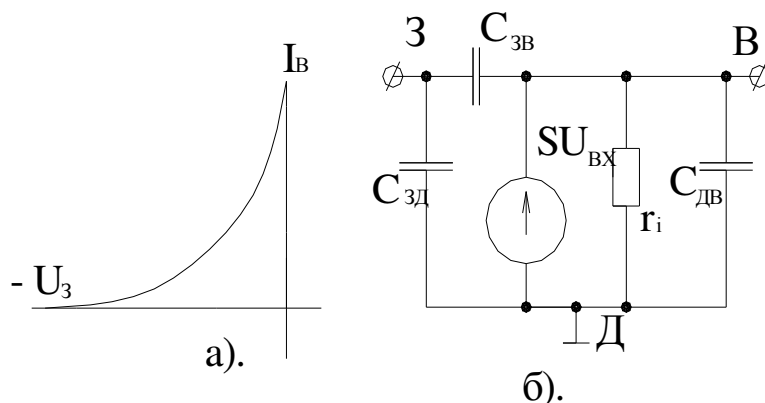


Рис. 21.3.

Ємності конденсаторів  $C_{зд}$ ,  $C_{зв}$ ,  $C_{дв}$  вибираються з довідників, а якщо розглядається діапазон низьких частот, то ці ємності ігноруються. Третя область (III) визначається режимом пробою р-п переходу. Стокові характеристики

польових транзисторів з р-п переходом досить точно описуються рівняннями: для крутої області:

$$I_B = \frac{2I_{ВП}}{U_{зд}^2} U_{ВД} \left( U_{зд} - U_{П} - \frac{U_{ВД}}{2} \right),$$

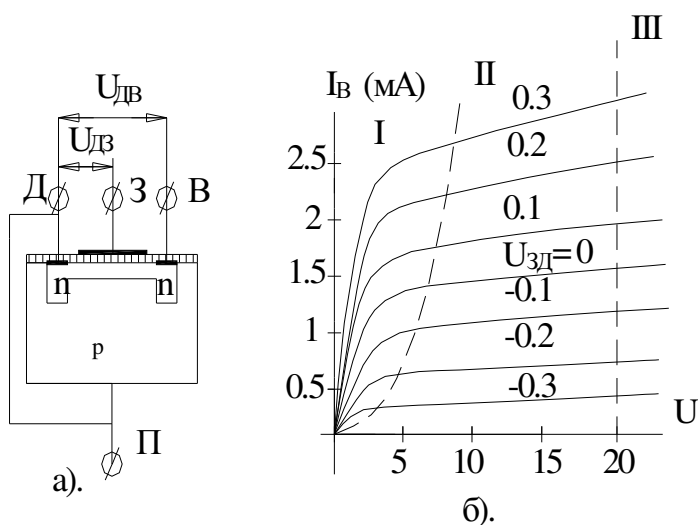
для пологої області:

$$I_B = I_{ВП} \left( 1 - \frac{U_{зд}}{U_{П}} \right)^2.$$

Другою групою польових транзисторів є структури МДН-типу (МДН – метал-діелектрик-напівпровідник). Відповідно до англійської термінології – MOS (metal-oxide-semiconductor). Структура такого транзистора приведена на рис.21.4а). Базовим є напівпровідник р-типу, в верхній частині якого створено області n-типу, з'єднані між собою каналом. Напівпровідникові

області закривають тонкою плівкою ізолюючого матеріалу і зверху над каналом напиляють металеву плівку, яка приєднується до затвору 3. Електрод Д n-структури, з'єднаний з нижнім електродом – підложкою П, виконує функцію джерела.

Вигляд сімейства вихідних статичних характеристик близький до характеристик каналного транзистора з р-n переходом. Як і в попередньому випадку, в ньому виділяються три області, які відрізняються крутизною характеристик і областями їх використання. При постійній напрузі на затворі фізичні явища в каналі транзистора подібні до описаних вище. Потенціалом затвора можна звужувати або розширювати канал. Якщо на затвор, по відношенню до підложки, подається позитивний потенціал, то електрони р-структури переміщуються до затвору і тим самим розширюють канал. Такий режим називається режимом збагачення каналу (Рис.21.4б), і він забезпечує



збільшення струму витoku транзистора; при подачі на затвор від'ємного потенціалу, навпаки, концентрація електронів в каналі зменшиться, що називається режимом збіднення каналу. На рис.21.4в приводяться струмозатворні характеристики для різних типів каналів. Криві 1 і 2 являються характеристиками транзисторів з вмонтованим каналом, відповідно n і p типів. Криві 3 і 4 характеризують залежність  $I_{дв}(U_{дз})$  для транзисторів, в яких при відсутності напруги на затворі канал відсутній і струм через транзистор не протікає (індуційований канал).

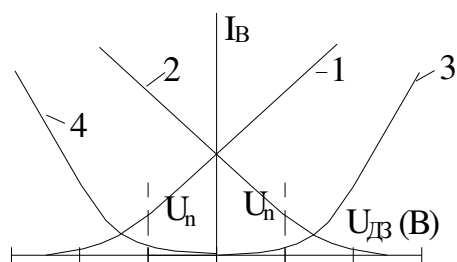


Рис. 21.4.

На рис.21.5 приводяться умовні зображення різних типів польових транзисторів.

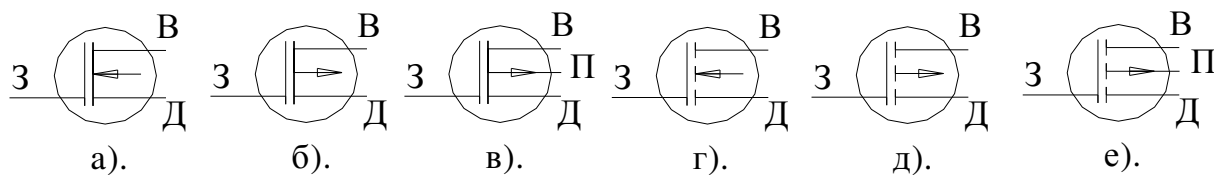


Рис. 21.5

Зображення а), б), в) – характерні для транзисторів з вмонтованим каналом, а г), д), е) – з індуційованим. Транзистори а), г) – мають канал n-типу; решта – p-типу.

### **21.3. Використання віртуальної лабораторії EWB для виконання роботи**

Для виконання роботи по визначенню характеристик польового



**Рис. 21.6.**

транзистора необхідно спочатку побудувати схему досліджень. Вибір польових транзисторів забезпечується за допомогою опції *Transistors* (Рис.21.6). Польові транзистори, як і біполярні, мають три схеми вмикання: зі

спільним витоком, зі спільним стоком, зі спільним затвором. В роботі будемо розглядати найбільш поширену схему – зі спільним витоком. Вихідні характеристики схеми зі спільним витоком називаються стоковими характеристиками. Для їх дослідження використовується вхідне джерело напруги з внутрішнім опором близьким до нуля.

При використанні приладів – вольтметра і амперметра – для зменшення впливу їх внутрішніх опорів на характеристики транзистора необхідно в установках приладу задати внутрішній опір вольтметра максимально великим, амперметра, навпаки, близьким до нуля.

### **21.4. Порядок виконання роботи**

21.4.1. Самостійно зібрати схему для дослідження характеристик польових транзисторів. Схема аналогічна до схеми дослідження біполярних транзисторів, але вхідне джерело струму замінюється джерелом напруги з внутрішнім опором, близьким до нуля.

21.4.2. Тип транзистора, що досліджується, задається викладачем з того пакету, який міститься в бібліотеці EWB (Див. Додаток).

21.4.3. Дослідження характеристик польових або каналних транзисторів проводяться аналогічно дослідженням, біполярних транзисторів.

21.4.4. Проводяться дослідження вихідних (стокових) характеристик транзистора з р-п переходом при включенні по схемі з загальним витоком, використовуючи досвід попередньої роботи.

21.4.5. Проводиться дослідження струмозатворних характеристик транзистора з р-п переходом при включенні по схемі з загальним витоком.

21.4.6. Результати вимірів заносяться в електронну таблицю, за допомогою якої будуються відповідні графіки.

### **21.5. Вимоги до звіту**

21.5.1. Привести результати проведених дослідів – вихідні і передатні (струмозатворні) характеристики польових транзисторів.

21.5.2. Привести результати обчислення h-параметрів польового транзистора

21.5.3. За обчисленими h-параметрами обчислити фізичні параметри польового транзистора. Результати занести в звіт.

21.5.4. Побудувати схеми заміщення польового транзистора в фізичних та h-параметрах.

### 21.6. Питання до атестації

21.6.1 Дати пояснення терміну „польовий транзистор”.

21.6.2. Пояснити фізичні явища, що протікають в польових транзисторах.

21.6.3. Пояснить принцип управління струмом в польових транзисторах.

21.6.4. Які існують схеми включення польових транзисторів. Приведіть схеми.

21.6.5. Пояснити вигляд вхідної і вихідної характеристик польового транзистора.

21.6.6. Дати фізичне розуміння h-параметрів польових транзисторів.

21.6.7. Пояснити, як за допомогою вхідних і вихідних характеристик польового транзистора можуть бути визначені h-параметри.

21.6.8. Пояснити взаємозв'язок між фізичними параметрами польового транзистора і його h-параметрами.

21.6.9. Обґрунтувати схему заміщення транзистора в фізичних параметрах.

21.6.10. Назвіть області використання польових транзисторів.

### 21.7. Задачі

21.7.1. По стоковій характеристиці польового транзистора КП103И визначити його робочу область, якщо найбільша потужність, що розсіюється стоком  $P_{C\max}=120\text{мВт}$ .

21.7.2. По стоковій характеристиці польового транзистора КП103И побудувати стокозатворну характеристику  $I_C=f(U_{ЗВ})$  для напруги  $U_{СВ}=10\text{В}$ .

21.7.3. Для польового транзистора КП103И, використовуючи характеристики на рис.21.7 і 21.8, визначити опір постійному струму  $R_o$  при напругах –  $U_{СВ}=10\text{В}$  і  $U_{ЗВ}=0,5\text{В}$ .

21.7.4. Для польового транзистора КП103И, використовуючи характеристики на рис.21.7 і 21.8, визначити опір постійному струму  $R_o$  при напругах –  $U_{СВ}=10\text{В}$  і  $U_{ЗВ}=1,0\text{В}$ .

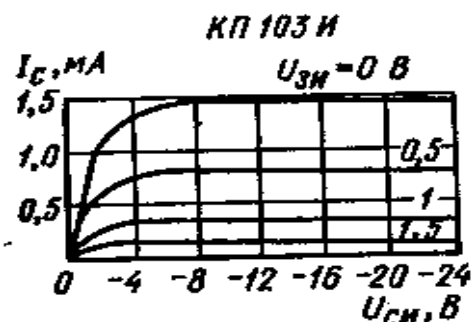


Рис. 21.7.

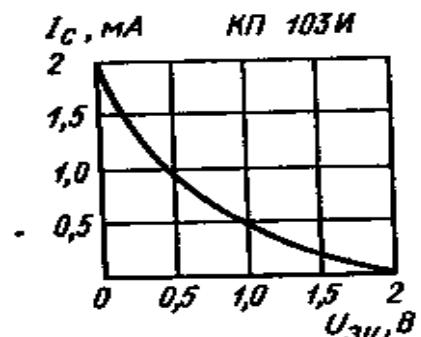


Рис. 21.8.

21.7.5. Для польового транзистора КП103И, використовуючи характеристики на рис.21.7 і 21.8, визначити опір постійному струму  $R_o$  при напругах –  $U_{СВ}=10\text{В}$  і  $U_{ЗВ}=1,5\text{В}$ .

21.7.6. По стокзатворній характеристиці польового транзистора КП103И визначити крутизну характеристики  $S$  при  $U_{зв}=1,5В$ .

21.7.7. По стокзатворній характеристиці польового транзистора КП103И визначити крутизну характеристики  $S$  при  $U_{зв}=1,0В$ .

21.7.8. По стокзатворній характеристиці польового транзистора КП103И визначити крутизну характеристики  $S$  при  $U_{зв}=0,5В$ . Побудувати залежність  $S=f(U_{зв})$ .

21.7.9. По стокзатворній характеристиці польового транзистора КП103И визначити крутизну характеристики  $S$  при  $U_{зв}=1,5; 1,0; 0,5В$ . Побудувати залежність  $S=f(U_{зв})$ .

21.7.10. Порівняйте значення вихідних опорів біполярних та польових транзисторів.

### 21.8. Додаток

Таблиця варіантів до лабораторної роботи.

Номер варіанту	Модель транзистора
1	J2N3370
2	J2N3458
3	J2N3459
4	J2N3684
5	J2N3685
6	J2N3686
7	J2N3687
8	J2N3821
9	J2N3822
10	J2N3823
11	J2N3824
12	J2N3921
13	J2N3922
14	J2N3954
15	J2N3955