

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
**КІЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ім. ТАРАСА
ШЕВЧЕНКА**

Бельський І.О.

ЗВІТ

Дослідження ВАХ транзисторів

Київ. КНУ ім. Т. Шевченка, 2021

РЕФЕРАТ

Звіт до ЛР №3: 21 с., 14 рис., 2 джерела.

Об'єкт дослідження — біполярні та уніполярні транзистори.

Мета роботи — дослідити вихідні характеристики транзисторів різних типів.

Методи дослідження:

- Одержання зображення ВАХ транзисторів на екрані двоканального осцилографа, що працює в режимі характеристографа;
- Побудова ВАХ шляхом вимірювання певної кількості значень сили струму на колекторі, що відповідають певним значенням напруги (для певної сили струму бази або напруги) для біполярного транзистора та певної кількості значень сили струму стоку, що відповідають певним значенням напруги (для певних значень напруги між затвором і витоком) для польового транзистора, подання результатів вимірювань у вигляді графіків.

ЗМІСТ

Теоретичні відомості.....	4
Виконання роботи.....	6
Висновок.....	15
Контрольні запитання.....	15
Джерела.....	21

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Біполярний транзистор – це напівпровідниковий прилад з двома р-п– переходами, що взаємодіють між собою, та трьома виводами, підсилюальні властивості якого зумовлені явищами інжекції (введення) та екстракції (вилучення) неосновних носіїв заряду.

Вихідна вольт-амперна характеристика (ВАХ) біполярного транзистора – це залежність сили струму колектора I_k від напруги між колектором та емітером U_{ke} при певному значенні струму бази I_b (або напруги між базою та емітером U_{be}) в схемі зі спільним емітером.

Польовий (уніполярний) транзистор – це напівпровідниковий прилад, підсилюальні властивості якого зумовлені струмом основних носіїв, що течуть по провідному каналу, провідність якого керується зовнішнім електричним полем.

Польовий транзистор з керувальним електродом – це польовий транзистор, керування струмом основних носіїв у якому здійснюється за допомогою р-п– переходу, зміщеного у зворотному напрямі.

Вихідна вольт-амперна характеристика (ВАХ) польового транзистора – це залежність сили струму стоку I_s від напруги між стоком та витоком U_{sv} при певному значенні напруги між затвором та витоком U_{zv} .

Основна функція, яку виконує транзистор (від англ. transfer – переносити і

resistor – опір), подібна до функції звичайного водогінного крана: невеликим зусиллям руки керувати сильним напором води у трубі. Існує два найпоширеніших різновиди транзисторів – біполярні та уніполярні (або польові) транзистори.

Роботу біполярного транзистора (наприклад, типу р-п-р) зручно розглядати при

включені його за так званою схемою зі спільною базою (Рис. 1а), коли вивід бази є спільним для вхідного струму (вхідної напруги) та вихідного струму (вихідної напруги). Вихідним струмом транзистора в такій схемі є струм

колектора I_k . Цей струм є нічим іншим як струмом неосновних носіїв, що протікає через р-п– переход, увімкнений у зворотному напрямку (для

транзистора типу р-п-р це струм дірок). При нульовій різниці потенціалів між емітером і базою (закороченому вході транзистора) вихідна ВАХ збігається з ВАХ напівпровідникового діода, до якого прикладено напругу у зворотному

напрямку. Характерною є слабка залежність струму колектора I_k від різниці потенціалів U_{kb} .

При цьому в базу підтягуються електрони зі спільного вивода бази, тобто з бази витікає струм бази I_b (нагадаємо, що напрямок струму протилежний напрямку

руху електронів). Таким чином, величина струму бази I_b є показником темпу рекомбінації в базовій області.

Конструкція польових транзисторів з р-п-переходом і схеми їх включення. Тонкий шар напівпровідника п-типу (або р-типу), обмежений з обох боків р-п- переходами, називають каналом (англ. channel). Канал включають в електричне коло за допомогою двох електродів, один з яких називають витоком (рос. исток, англ. source), а другий – стоком (англ. drain).

Електрод, який приєднується в поперечному напрямку до областей р-типу (або n-типу), відповідно, є керувальним і носить назву затвора (англ. gate). Величина струму в каналі (за відсутності керувальної дії затвора) залежить від напруги, прикладеної між стоком і витоком, та від опору напівпровідникової пластинки між цими виводами. Якщо для транзистора з р-каналом до затвора прикласти позитивну відносно витока напругу, то це призведе до збільшення товщини р-п-переходу і, відповідно, до зменшення площи перерізу каналу. Зі зменшенням перерізу каналу збільшується опір між стоком та витоком, що призводить до зменшення величини струму крізь канал.

Таким чином, керування струмом каналу здійснюється напругою на затворі, яка відповідає зворотній напрузі на керувальному р-п-переході. Оскільки

керувальний струм дуже малий, то потужність керування буде мізерною. В той же час струм каналу може бути досить великим, а керувальний вплив може знижувати його до нуля.

Напруга на затворі, при якій струм крізь канал

припиняється, називають напругою відсічки.

Польові транзистори з ізольованим затвором мають структуру метал-діелектрик-напівпровідник (МДН-транзистори, англ. MIS transistors). Як діелектрик може використовуватись плівка двоокису кремнію SiO_2 і тому такі

транзистори ще називають транзисторами зі структурою метал-оксид-напівпровідник (МОН-транзистори, англ. MOS transistors). Основою приладу є пластинка (підкладка) з монокристалічного кремнію р-типу. Області стоку та витоку являють собою ділянки кремнію, сильнолеговані домішками n-типу (такі

області позначають символом n+). Відстань між стоком та витоком – близько 1 мкм.

ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Біполярний транзистор.

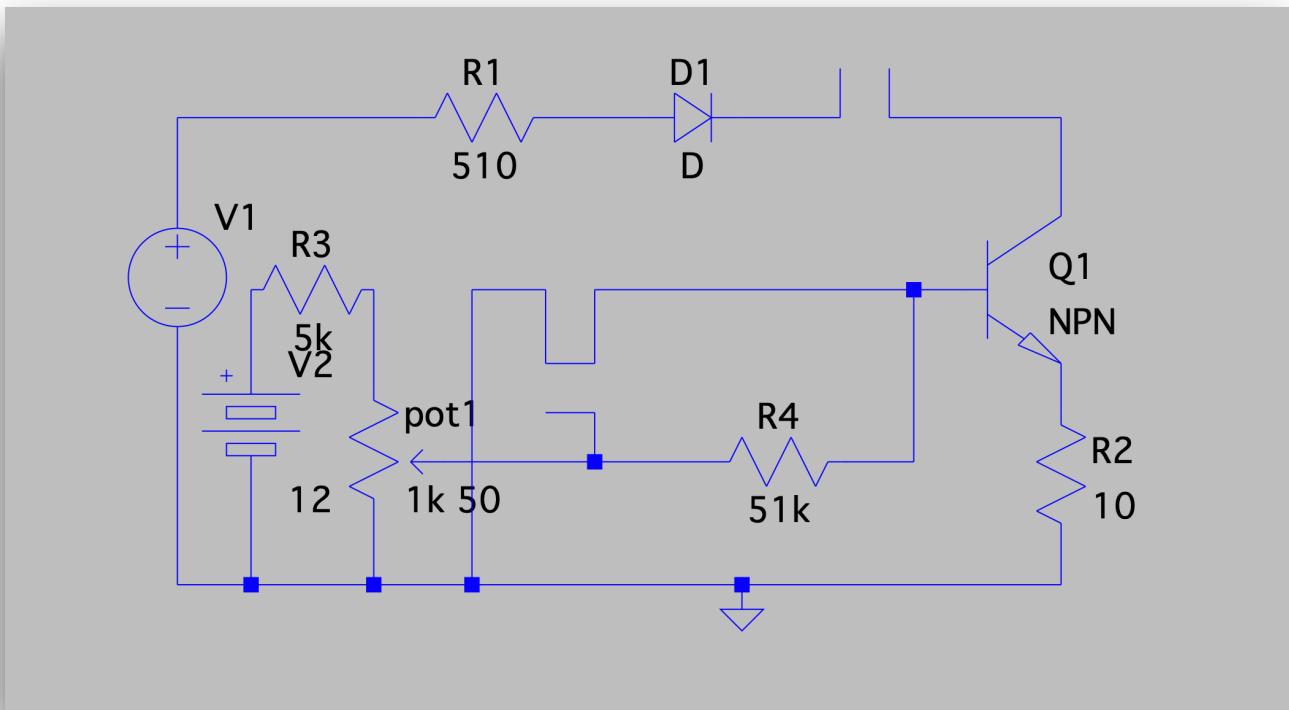


Рис. 1. Схема

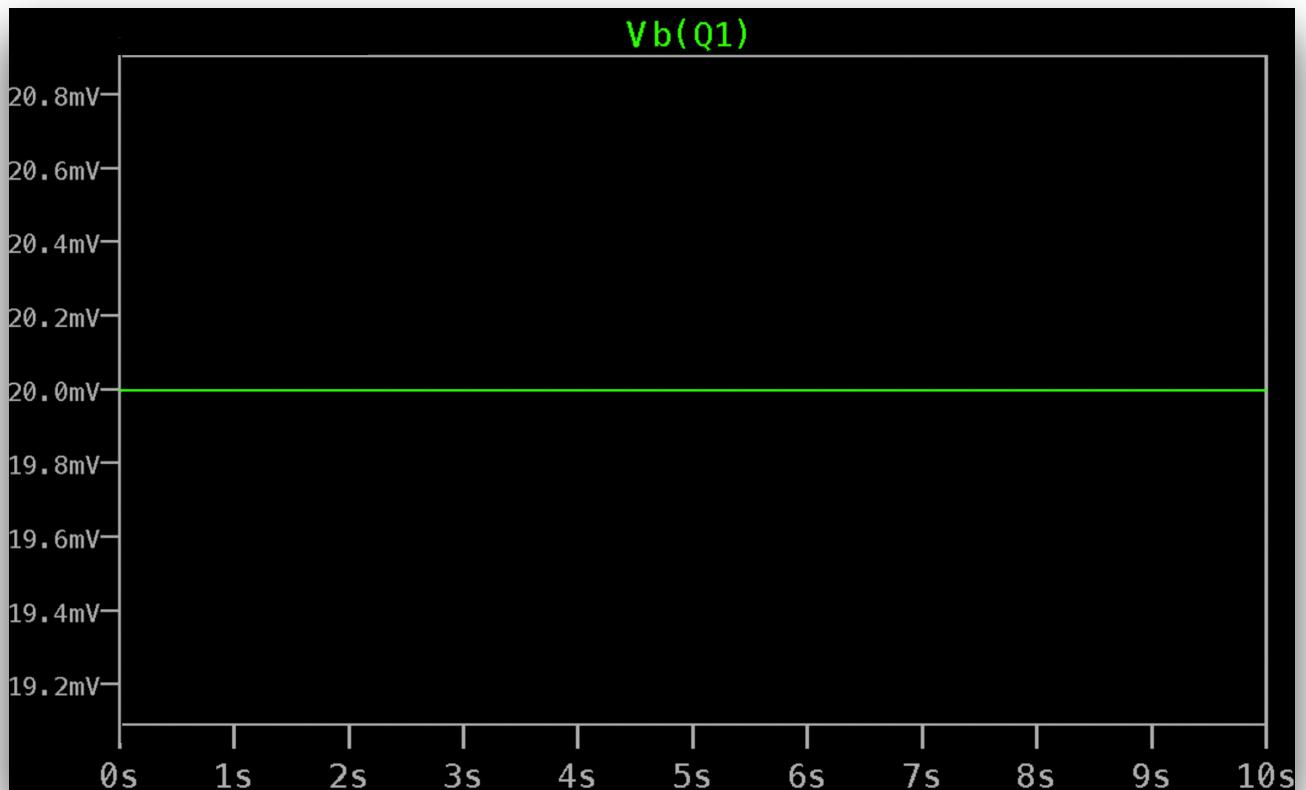


Рис. 2. Напруга на базі. Потенціометр – 99%

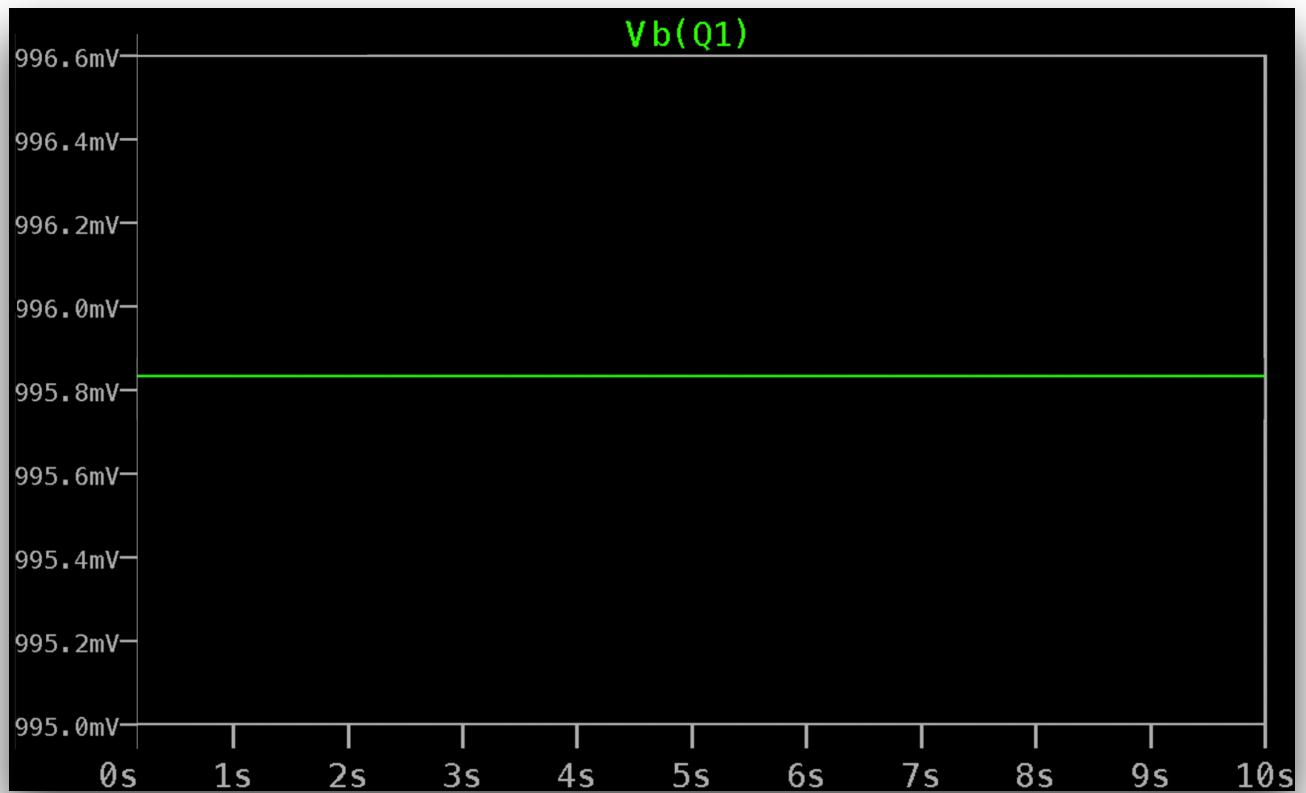


Рис. 3. Напруга на базі. Потенціометр – 50%

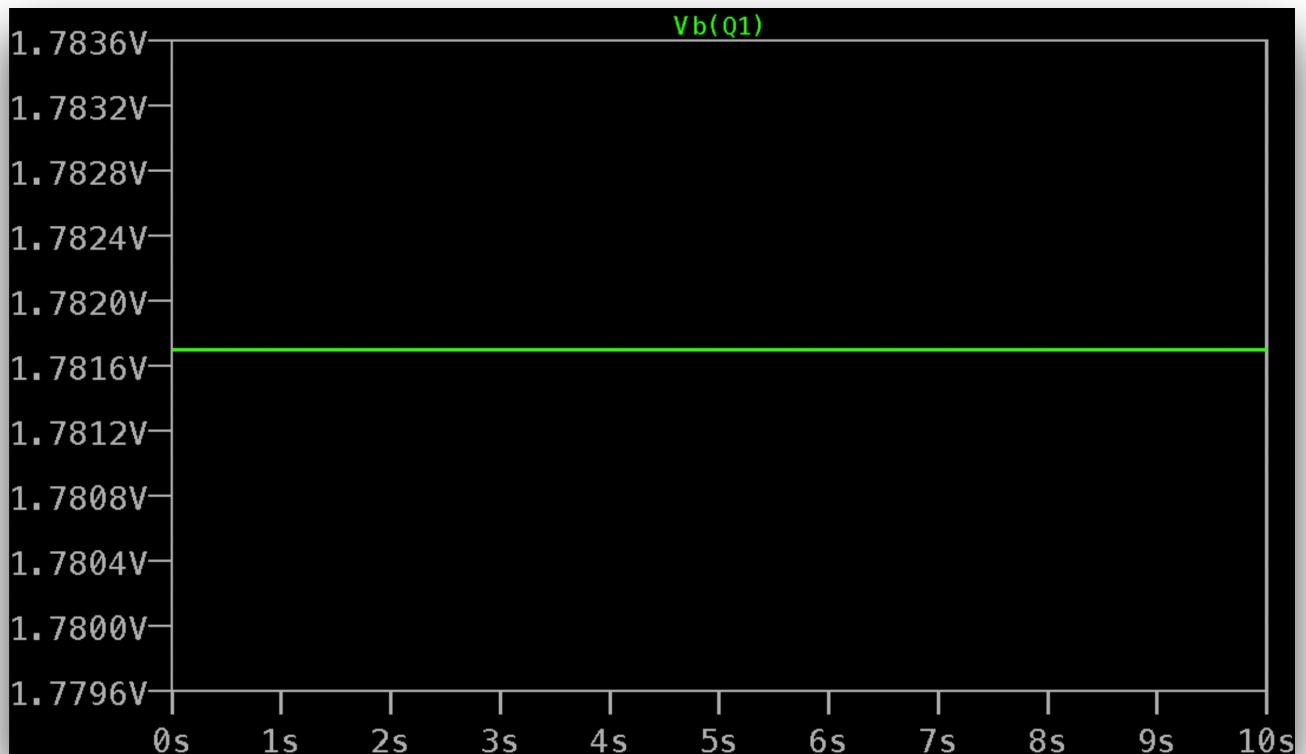


Рис. 4. Напруга на базі. Потенціометр – 10%

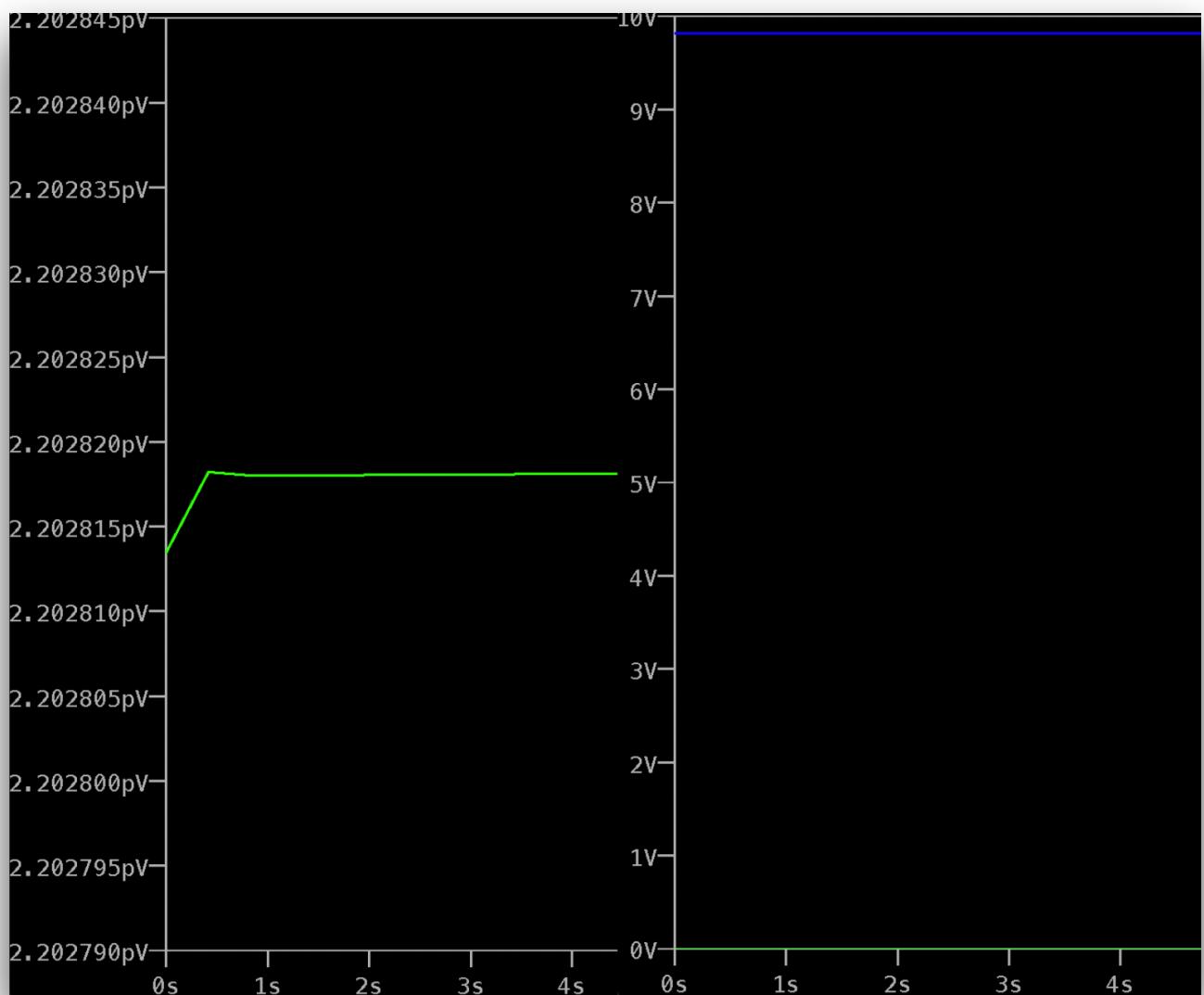


Рис. 5. U_E та U_K . Потенціометр – 99%

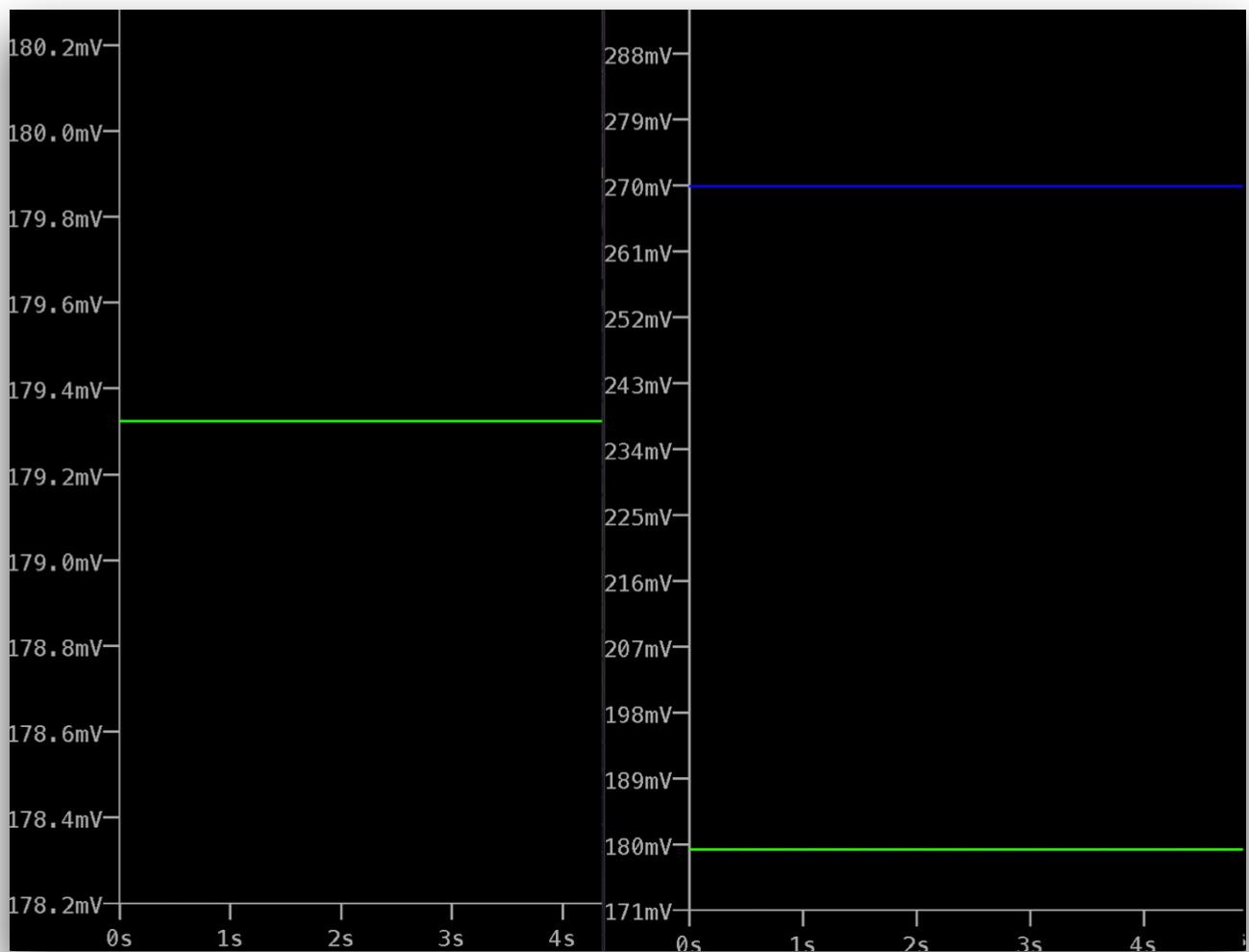


Рис. 6. U_E та U_K . Потенціометр – 50%

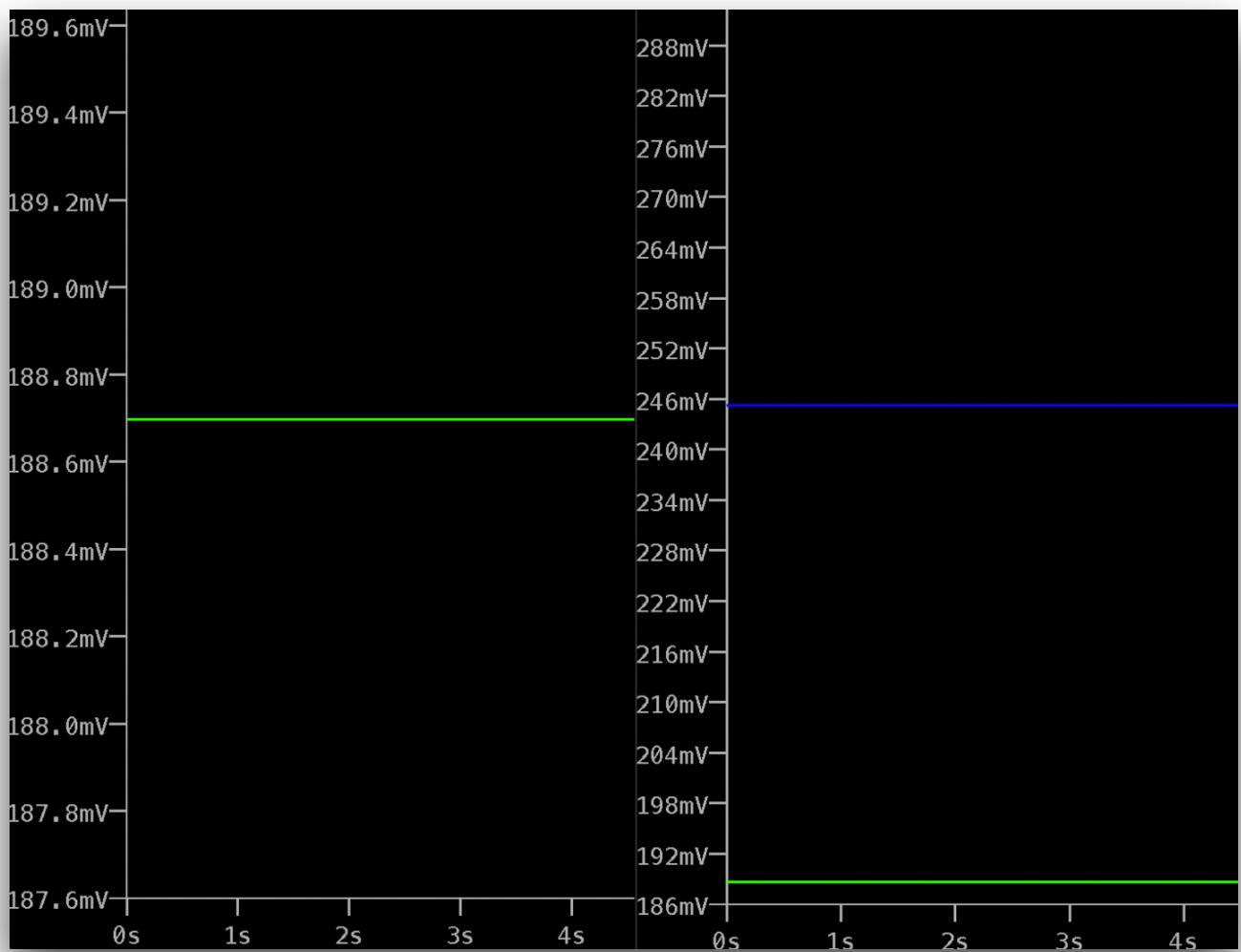


Рис. 7. U_E та U_K . Потенціометр – 10%

Польовий транзистор.

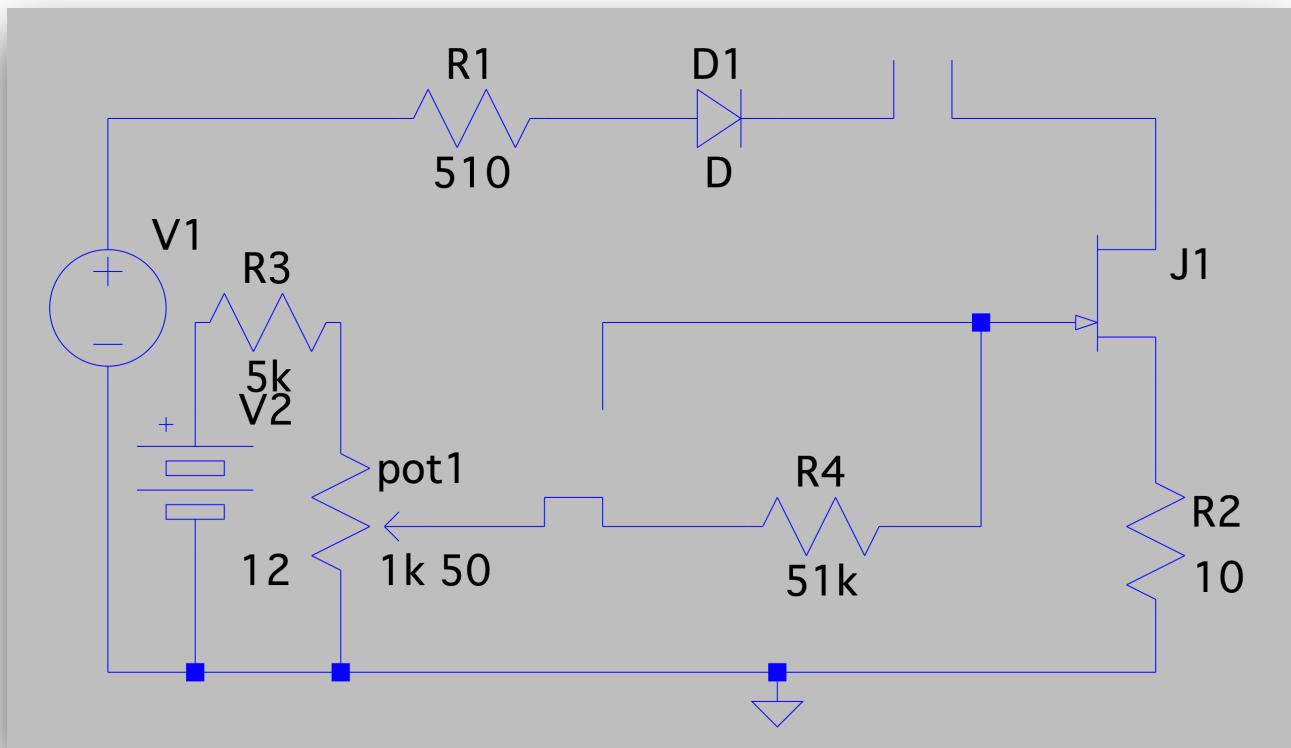


Рис. 8. Схема

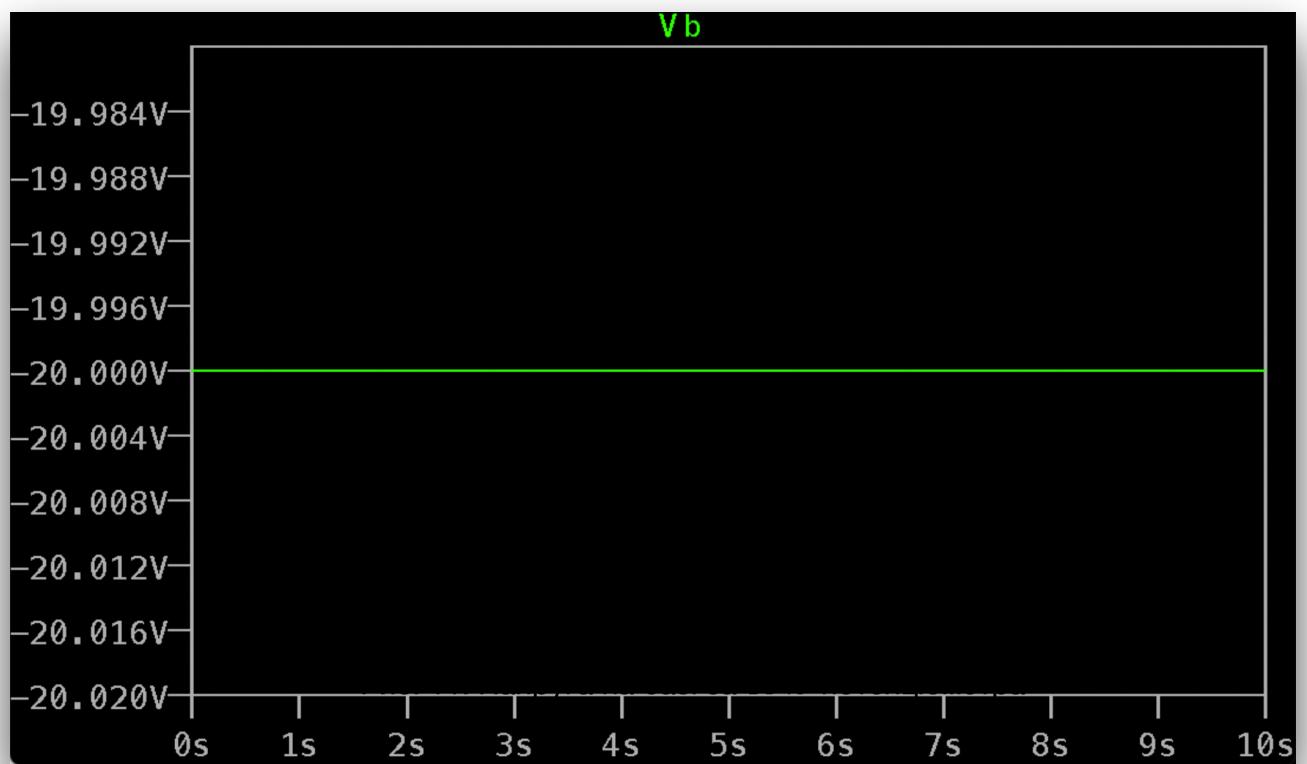


Рис. 9. Напруга на базі. Потенціометр – 99%

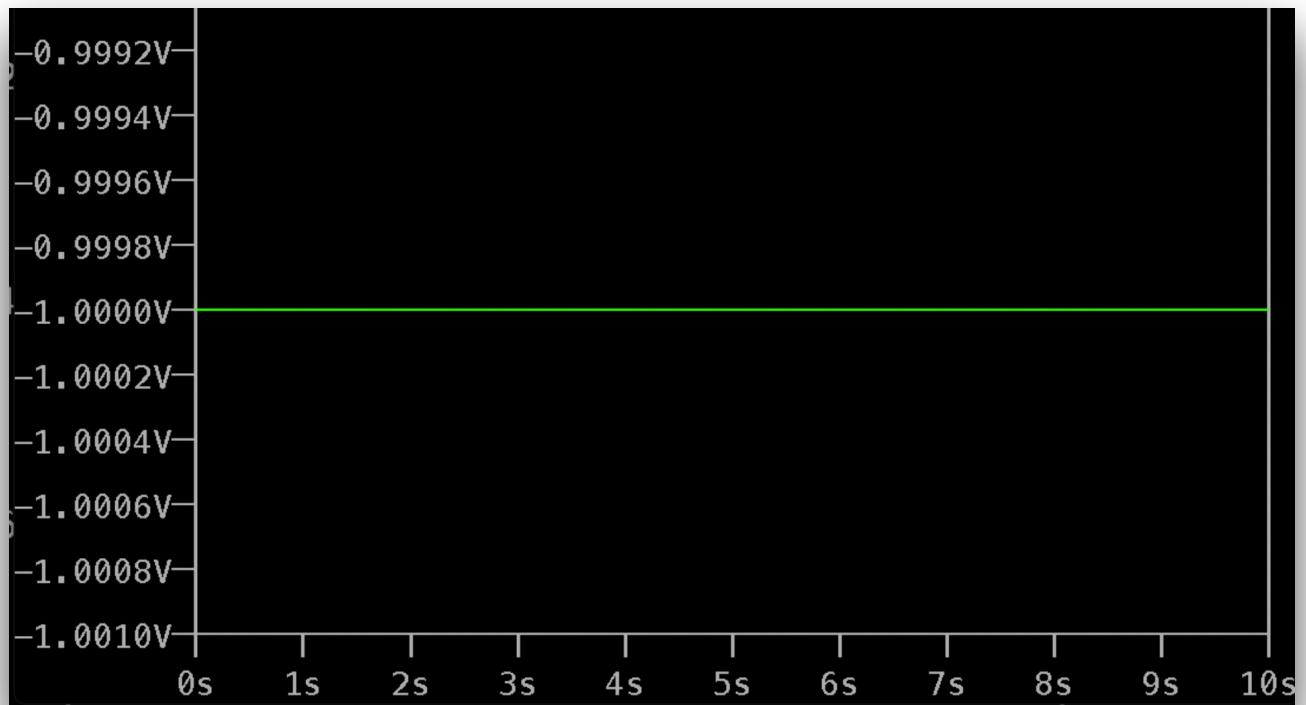


Рис. 10. Напруга на базі. Потенціометр – 50%

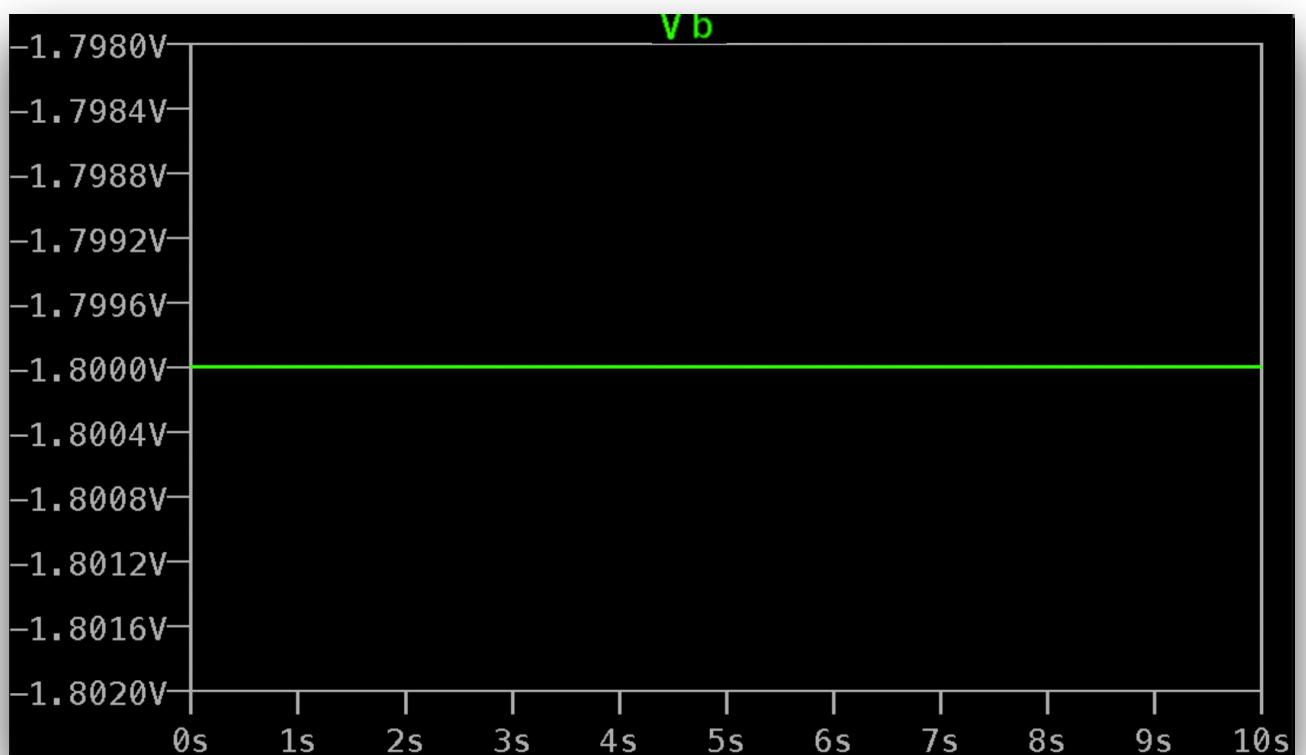


Рис. 10. Напруга на базі. Потенціометр – 10%

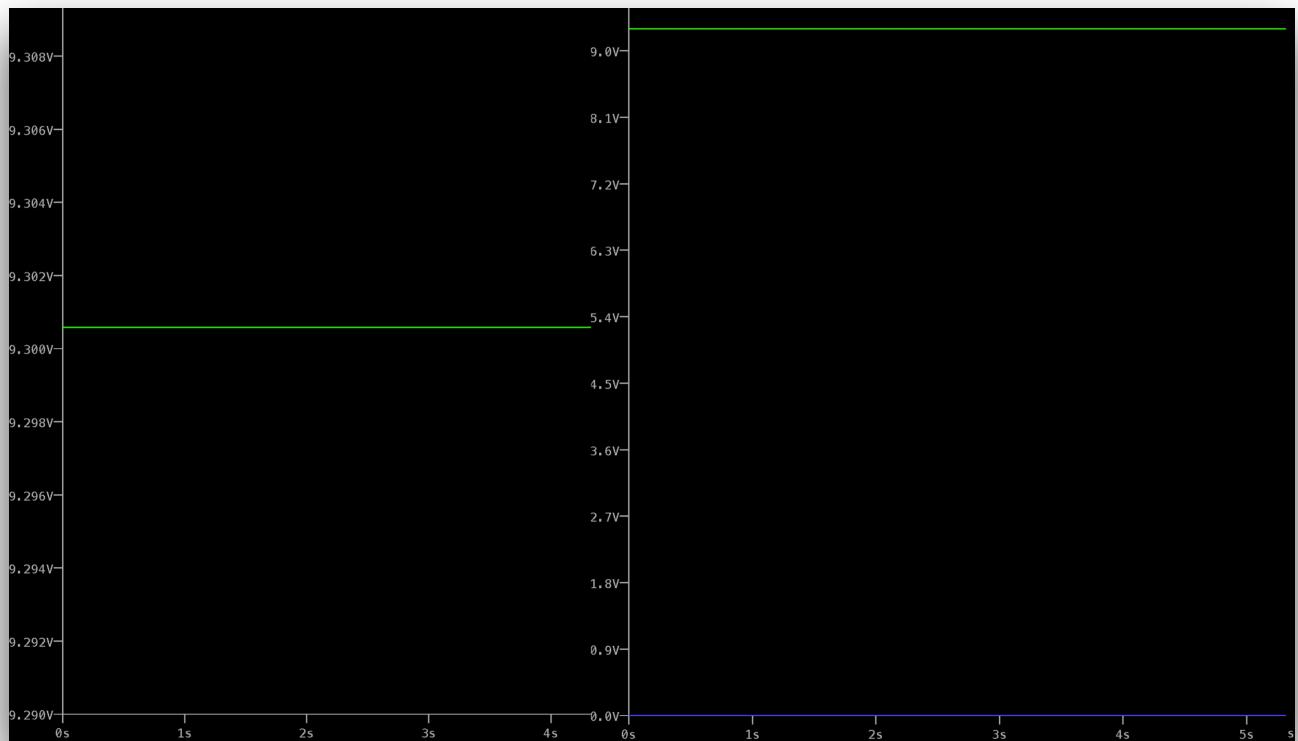


Рис. 11. U_E та U_K . Потенціометр – 99%

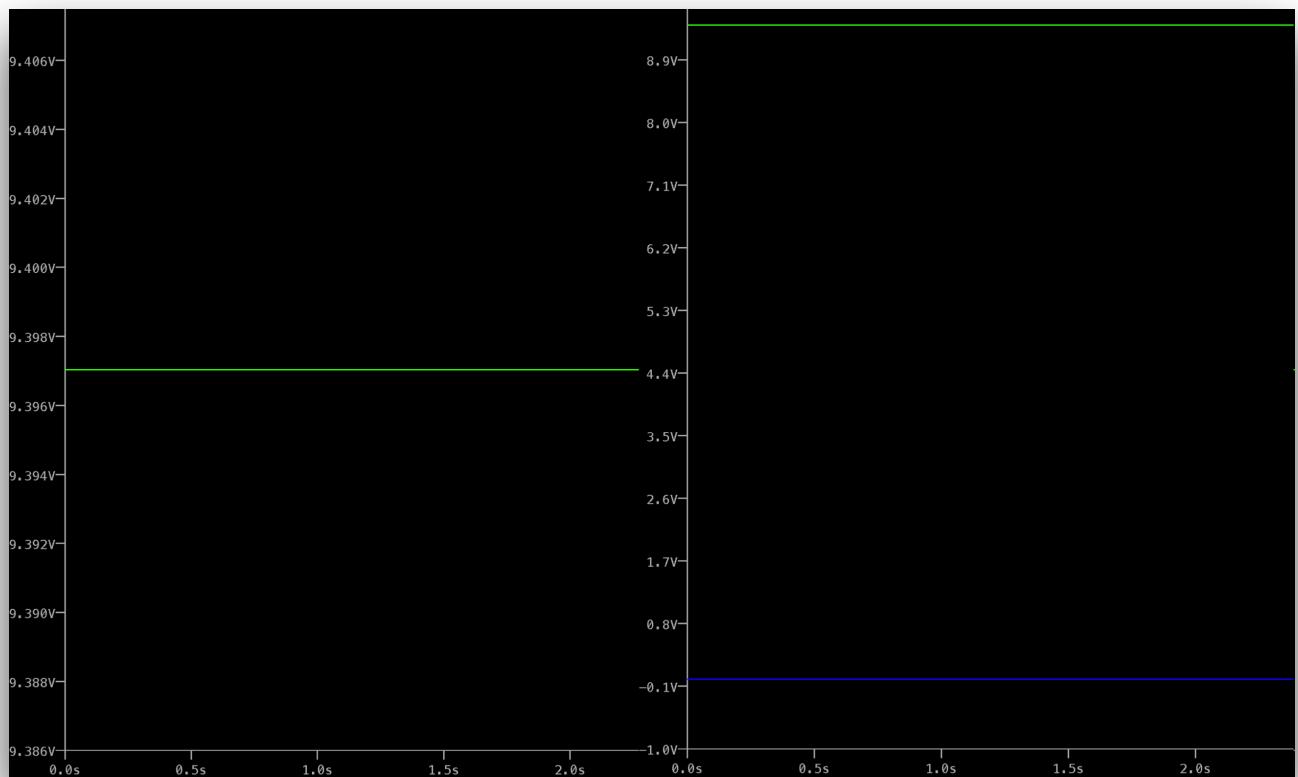


Рис. 12. U_E та U_K . Потенціометр – 50%

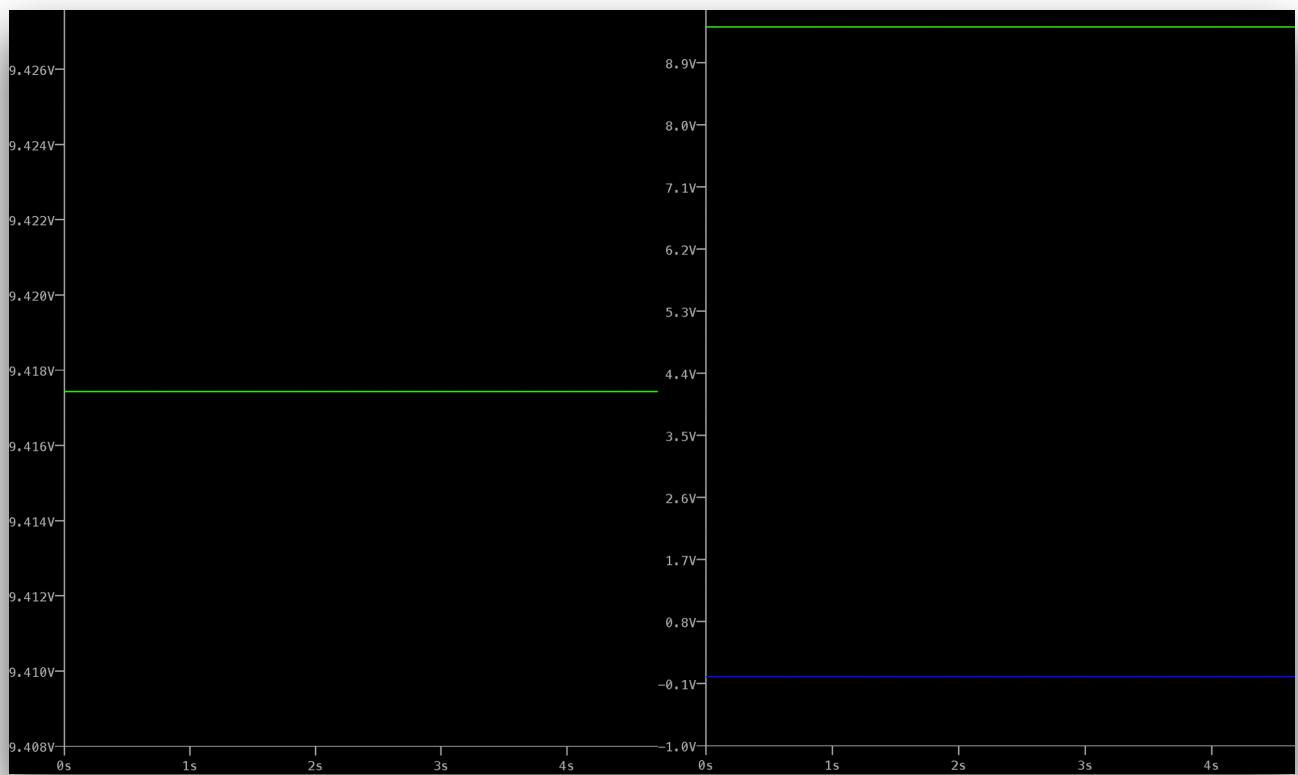


Рис. 13. U_E та U_K . Потенціометр – 10%

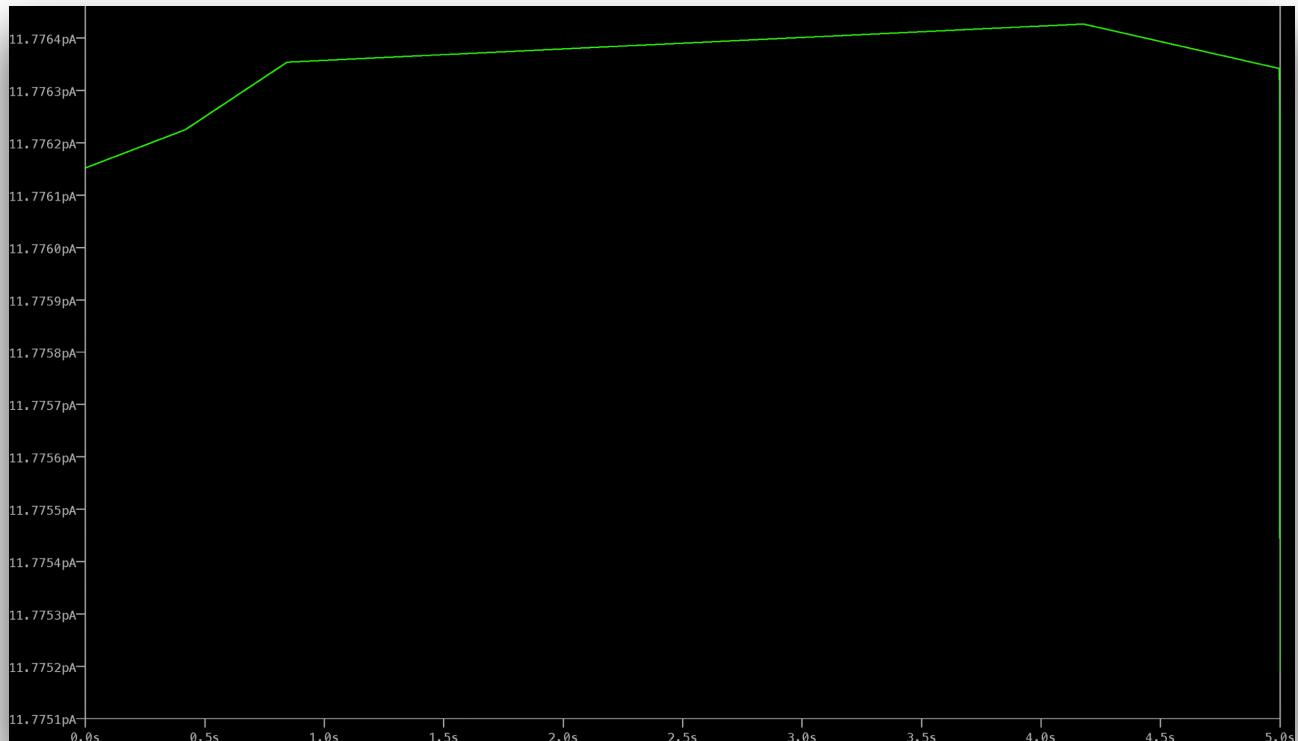


Рис. 14. I_K . Потенціометр – 10%

ВИСНОВОК

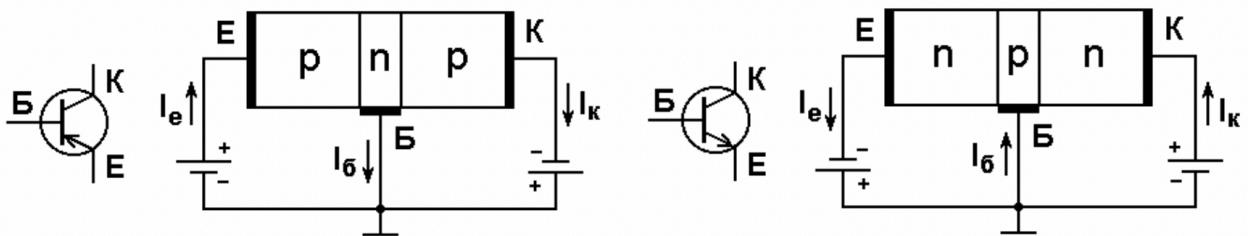
В ході даної лабораторної роботи ми отримали графіки залежності напруги від часу транзисторів на колекторі, еміторі та базі. При дослідження використовувались біполярні й польові транзистори. Вивчили залежність струму від часу для польового транзистора, що дає можливість представити його ВАХ.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Будова, типи та умовні позначення біполярних транзисторів.

Біполярний транзистор являє собою сукупність двох р-п-переходів, складених з двох р-областей і однієї n-області (структурна типу р-п-р) або з двох n-областей і однієї р-області (структурна типу н-р-н). Одна з крайніх областей носить назву емітера, а інша – колектора, середню область називають базою. (База-)емітерний р-п-перехід включають у прямому напрямку, а

(база-)колекторний р-п-перехід – у зворотному.



На рисунку також показані умовні позначення біполярних транзисторів на електричних схемах. Стрілка в позначеннях емітера вказує напрямок прямого струму через база-емітерний перехід.

2. Принцип роботи біполярного транзистора. Зв'язок між величинами струмів емітера, бази та колектора.

Роботу біполярного транзистора зручно розглядати при включені його за так званою схемою зі спільною базою, коли вивід бази є спільним для вхідного струму (напруги) та вихідного струму (напруги). Вихідним струмом транзистора в такій схемі є струм колектора . Цей струм є нічим іншим як струмом неосновних носіїв, що протікає через -перехід, увімкнений у зворотному напрямку (для це струм дірок, для – електронів). При нульовій різниці потенціалів між емітером і базою (закороченому вході транзистора) вихідна ВАХ збігається з ВАХ напівпровідникового діода, до якого прикладено напругу у зворотному напрямку.

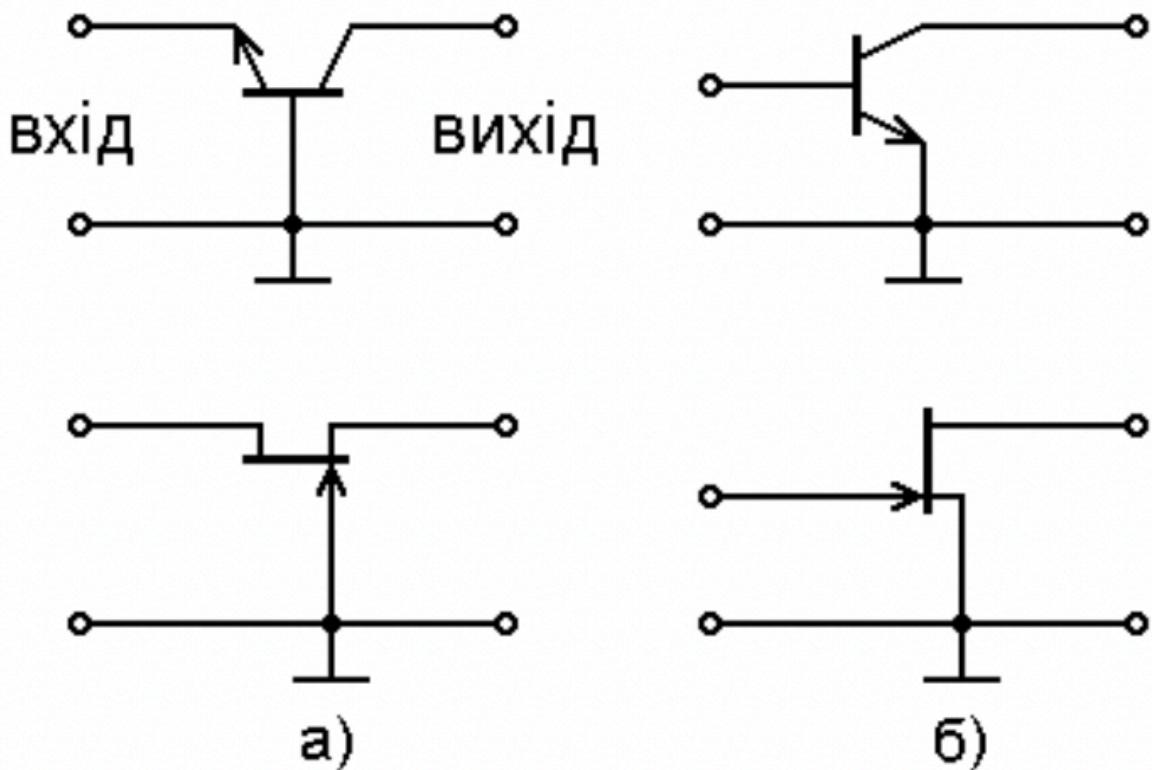
Характерною є слабка залежність струму колектора від різниці потенціалів . Струм залежить виключно від концентрації неосновних носіїв у базі поблизу колекторного переходу. Зміна концентрації неосновних носіїв у базі і, зокрема, біля колекторного переходу досягається їх введенням (емісією) в базу через емітерний перехід. Не всі введенні носії заряду досягають колекторного переходу, оскільки в базовій області вони можуть рекомбінувати з основними

носіями. При цьому в базу підтягаються електрони зі спільного вивода бази, тобто з бази витікає струм бази (нагадаємо, що напрямок струму протилежний напрямку руху електронів). Таким чином, струм через емітер:

$$I_E = I_K + I_B \approx I_K$$

Принцип дії транзисторів типу н-р-н не відрізняється від розглянутого вище, лише в область бази вводяться з емітера не дірки, а електрони. Полярність прикладеної до переходів напруги є також протилежною (другий рисунок).

3. Схема включення біполярних транзисторів зі спільною базою та зі спільним емітером. Яка з цих схем забезпечує підсилення струму? Статичний та диференціальний коефіцієнти підсилення транзистора за струмом.



На рисунку показано включення транзисторів зі спільною базою та емітером. Схема підключення зі спільним емітором забезпечує підсилення струму, базою — напруги.

Статистичним коефіцієнтом підсилення транзистора за струмом називають величину

$$B(I_K) = \frac{I_K}{I_B},$$

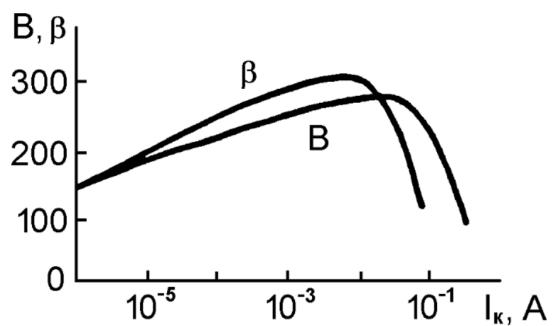
однак цей коефіцієнт має місце лише на обмеженому проміжку значень I_K .

Диференціальним коефіцієнтом

підсилення транзистора за струмом називають величину

$$\beta = \frac{dI_K}{dI_B}.$$

Цей коефіцієнт визначається за сталої напруги між колектором та емітером.

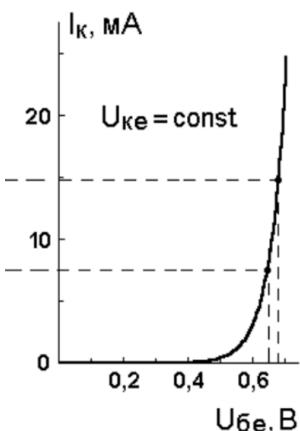
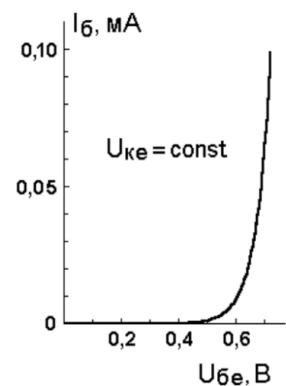


4. Вхідні та вихідні характеристики біполярного транзистора в схемі зі спільним емітером. Пояснити форму вихідних характеристик транзистора для такої схеми

Однією з найпоширеніших схем включення є схема зі спільним емітером.

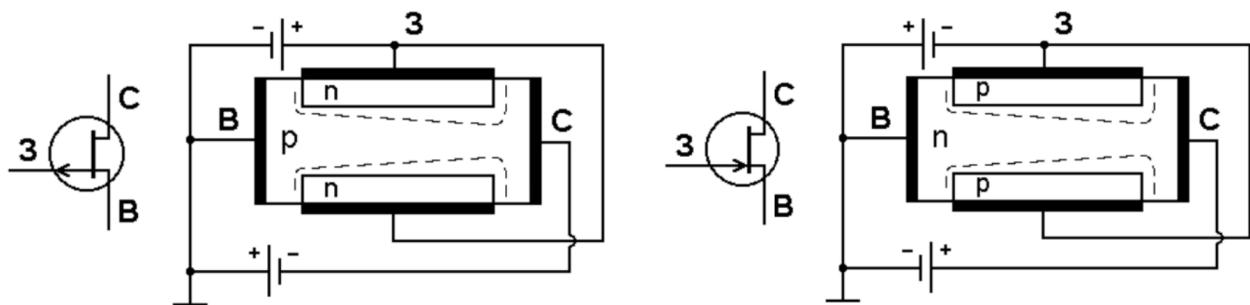
Вхідною характеристикою в цьому випадку є функція струму бази від напруги між базою та емітером при постійній напрузі колектор-емітер (1), а **вихідною** — зв'язок між струмом колектора і напругою між колектором та емітером при фіксованій напрузі база-емітер. Вхідна характеристика подібна до ВАХ р-п-переходу, включенного у прямому напрямку. Іноді замість вхідної характеристики користуються так званою передавальною — залежністю струму колектора від база-емітерної напруги при постійній напрузі колектор-емітер (2) — як більш інформативною.

На рисунках показано форми вхідних характеристик (1) і (2). відповідно. Їхня форма аналогічна ВАХ р-п-переходу в прямому напрямку, оскільки ці величини напряму від неї залежать (чим більший р-п-перехід, тим більший струм через базу і навпаки).



5. Будова, типи та умовні позначення польових транзисторів.

Принцип роботи польових транзисторів простіший за принцип дії біполярних транзисторів. Польовий транзистор являє собою триелектродний прилад, в якому струм створюють основні носії заряду під дією повзводжного електричного поля, а керування величиною цього струму здійснюється поперечним електричним полем, що створюється напругою, прикладеною до керувального електрода.



За конструктивними особливостями всі польові транзистори поділяються на дві групи:

- польові транзистори з р-п-переходом;
- польові транзистори з ізольованим затвором.

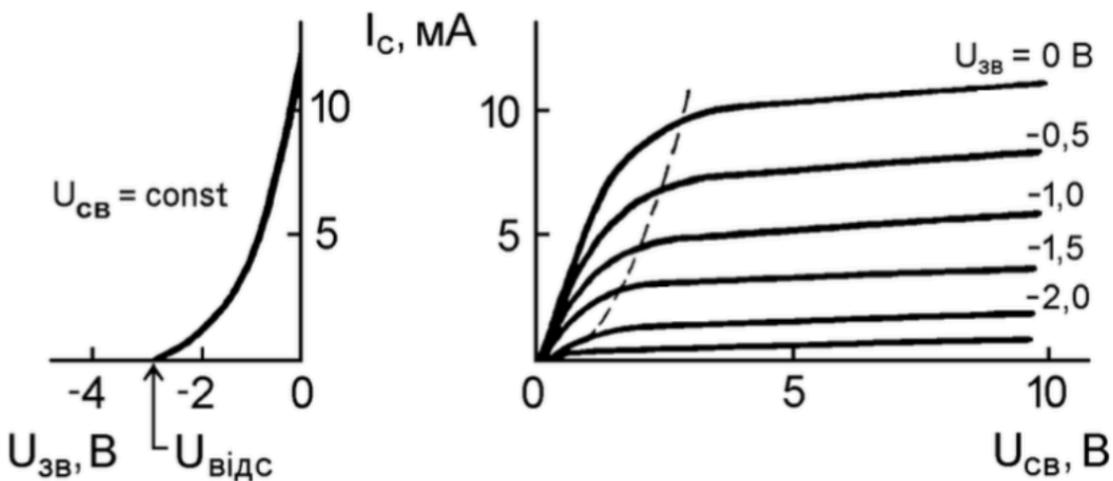
На рисунку також показані умовні позначення польових транзисторів на електричних схемах.

6. Схема включення та принцип дії польового транзистора з р-п-переходом.

На першому рисунку наведено схематичне зображення конструкції польових транзисторів з р-п-переходом і схеми їх включення. Тонкий шар напівпровідника п-типу (або р-типу), обмежений з двох боків р-п-переходами, називають **каналом**. Канал включають в електричне коло за допомогою двох електродів, один з яких називається **витоком**, а другий – **стоком**. Електрод, який приєднується в поперечному напрямку до областей р-типу (або п-типу), відповідно, є керувальним і носить назву **затвора**. Величина струму в каналі (за відсутності керувальної дії затвора) залежить від напруги, прикладеної між стоком і витоком, та від опору напівпровідникової пластинки між цими виводами. Якщо для транзистора з р-каналом до затвора прикласти позитивну відносно витока напругу, то це призведе до збільшення товщини р-п-переходу і, відповідно, до зменшення площи перерізу каналу. Зі зменшенням перерізу каналу збільшується опір між стоком та витоком, що призводить до зменшення величини струму крізь канал.

Таким чином, керування струмом каналу здійснюється напругою на затворі, яка відповідає зворотній напрузі на керувальному р-п-переході. Оскільки керувальний струм дуже малий, то потужність керування буде мізерною. В той же час струм каналу може бути досить великим, а керувальний вплив може знижувати його до нуля. Напруга на затворі, при якій струм крізь канал припиняється, називається **напругою відсічки**.

7. Вихідні (стокові) та стокозатворна характеристики польового транзистора з р-п переходом. Напруга насиження, напруга відсічки. Крутизна характеристики.



На рисунку зображене сімейство характеристик типового польового транзистора з керувальним р-п-переходом. Вигляд цих характеристик подібний до характеристик біполярних транзисторів. При цьому стік відповідає колектору, витік – емітеру, а затвор – базі біполярного транзистора. Відмінність полягає в діапазоні напруг між затвором і витоком U_3 . Напруга, при якій струм стоку I_C сягає мінімального значення, називають **напругою відсічки**. При напругах затвор-витік, більших за U_B , передавальна характеристика польового транзистора, представлена на першому рисунку, описується рівнянням:

$$I_C = I_{C_0} \left(1 - \frac{U_3}{U_B} \right)^2,$$

тут I_{C_0} — струм стоку при $U_3 = 0$. На практиці ця величина струму стоку для польового транзистора з керувальним р-п-переходом є граничною, тому що позитивних напруг затвор-витік намагаються уникати, щоб не втрачати переваг, зумовлених малим струмом затвора. За передавальною характеристикою польового транзистора можна визначити такий його параметр, як крутизна

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

Максимального значення крутизна досягає при $I_C = I_{C_0}$.

8. Принцип роботи з ізольованим затвором. Стокові та стокозатворні характеристики такого транзистора.

Польові транзистори з ізольованим затвором знаходять широке застосування в сучасній електроніці. Зокрема, на їх основі побудовані напівпровідникові запам'ятовувальні пристрой (флеш-пам'ять, англ. flash memory) та приймачі оптичного випромінювання (світлоочутливі прилади з зарядовим зв'язком, англ. photosensitive charge-coupled devices (CCD)).

ДЖЕРЕЛА

1. Методичні вказівки до практикуму «Основи радіоелектроніки» для студентів фізичного факультету / Упоряд. О.В.Слободянюк.
2. Ю.О. Мягченко, Ю.М. Дулич, А.В.Хачатрян “Вивчення радіоелектронних схем методом комп’ютерного моделювання” : Методичне видання. – К.: 2006.- с.