# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1 ЕЛЕКТРОННІ КЛЮЧІ

Теоретичні відомості

Електронний ключ - це пристрій, який може знаходитися в одному з двох стійких станів: замкнутому (відкритому) або розімкнутому (закритому). Перехід з одного стану в інший в ідеальному електронному ключі відбувається стрибком під впливом керуючого струму або напруги.

Електронний ключ – це основна функціональна ланка дискретної схемотехніки. Комбінації електронних ключів дозволяють реалізувати будь-які перемикальні функції в пристроях цифрової техніки.

В якості перемикаючих елементів електронних ключів широко використовують пристрої, які мають ярко виражені нелінійні властивості: напівпровідникові діоди, біполярні і польові транзистори, що працюють в режимі великого сигналу.

На відміну від ідеальних ключів, в реальних електронних ключах перехід із відкритого в закритий стан відбувається не миттєво, а протягом деякого часу.

Якість електронного ключа визначається наступними показниками (параметрами):

1. *Опір (або провідність) ключа* у в закритому та відкритому станах.
2. *Залишкові параметри*: залишковий струм (струм витоку) в вимкненому стані та залишкова напруга ключа у включеному стані.
3. *Порогова напруга* (), в околі якої опір ключа різко змінюється, або її ще називають порогова напруга відкриття транзистора.
4. *Чутливість ключа до керуючих сигналів* () - мінімальне значення вхідного сигналу, при якому ключ безперебійно переключається (із заданим значенням надійності).
5. *Завадостійкість* - це максимальне значення напруги завади на вході, при якій ключ зберігає вимкнений стан без перемикання з заданим ступенем надійності.
6. *Температурна стабільність*.
7. *Потужність*, що віддається в навантаження, швидкодія, а також ,  ‑ потужності, яка споживається від джерела напруги живлення при рівнях логічного нуля та логічної одиниці вхідного сигналу.
8. *Напруги логічних нулів та одиниці на вході та виході:*
   1. ,  ‑ граничні рівні логічного нуля та логічної одиниці вхідного сигналу;
   2. ,  ‑ рівні логічного нуля та логічної одиниці вихідного сигналу;
9. *Швидкодія* – це група параметрів, які характеризують час перемикання ключа із одного в інший стан. До групи цих параметрів належать:
   1. ,  - тривалість затримки поширення сигналу через електронний ключ при перемиканні вихідного потенціалу відповідно з нульового стану в одиничне та навпаки;
   2. ,  - тривалість фронту наростання та спадання вихідного імпульсу.

Графічне відображення параметрів швидкодії ключа наведені на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Зображення основних параметрів електронних ключів , , ,  на часових діаграмах вхідного та вихідного сигналів ключа.

На рис. 1.2 наведена електрична принципова схема модуля лабораторної роботи «Ключі на транзисторах», до складу якої входять:

1. Перемикач напруги на біполярному транзисторі.
2. Перемикач напруги на МДН-транзисторі з індукованим каналом.

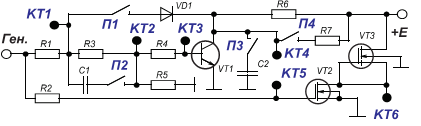


Рис. 1.2. Перемикачі напруги на біполярному транзисторі та на МДН-транзисторі з індукованим каналом.

ПЕРЕМИКАЧ НАПРУГИ НА БІПОЛЯРНОМУ ТРАНЗИСТОРІ

***Мета роботи*** - дослідити статичні та динамічні характеристики електронного ключа на біполярному транзисторі (БТ) та схемні прийоми покращення параметрів цього типу електронного ключа.

Опис схеми що досліджується

В склад лабораторного модулю «Ключі на транзисторах» входять:

* універсальний лабораторний стенд «**ІМПУЛЬС ‑ М**»,
* осцилограф *С1-55*
* генератор імпульсів *Г5-54*.

Електронний перемикач напруги (ключ), який досліджується в ці лабораторній роботі, зібраний на транзисторі  *ВС 846В n-р-n* типу, який ввімкнений за схемою зі загальним емітером, як це показано на рис. 1.3.

За відсутності вхідної напруги від генератора ***Ген.*** (), транзистор знаходиться в закритому стані, оскільки вхідна напруга транзистору  менше порогової напруги . За цих умов на колекторі транзистора  встановлюється високий потенціал, який відповідає рівню логічної одиниці .

Після появи на виході генератора ***Ген.*** позитивного імпульсу, амплітуда якого перевищує порогову напругу ключа, та подачі його на вхід електронного ключа, транзистор  переходить спочатку в активний режим, а потім - в режим насичення. При цьому на колекторі транзистора  (тобто на виході ключа) встановлюється низький потенціал , який відповідає рівню логічного нуля. Зауважимо, що напруга логічного нуля на виході ключа досить мала, але не дорівнює 0.

Перехідні процеси відмикання та замикання транзистора залежать від декількох факторів:

* параметрів вхідного сигналу,
* параметрів електронного ключа,
* схемної реалізації електронного ключа

Схема, яка використовується в лабораторному модулі «Ключі на транзисторах», дозволяє визначити вплив на статичні та динамічні параметри та на характер перехідних процесів в транзисторному ключі електронного ключа наступних компонентів схеми:

* колекторного опору ,
* ємності навантаження ,
* ємності прискорюючого конденсатора ,
* нелінійного зворотного зв'язку через діод 

Аналіз впливу колекторного навантаження виконується шляхом зменшення початкового колекторного опору  за допомогою паралельного підключення опору , при цьому колекторний опір стає рівним .

Аналіз впливу компонентів ,  та  виконується шляхом їх безпосереднього підключення за допомогою перемикачів **П1**.

При дослідженні впливу нелінійного зворотного зв'язку через діод на перехідні процеси, може виникнути необхідність визначення діаграми зміни в часі струму бази транзистора. Для цього в базу транзистора  включений низькоомний резистор , напруга на якому може бути проконтрольована в контрольних точках **КТ2** та **КТЗ** лабораторного стенду.

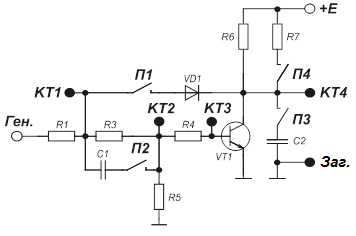


Рис. 1.3. Перемикачі напруги на біполярному транзисторі.

Завдання для самопідготовки

Вивчити роботу електронного ключа та проаналізувати вплив усіх його схемних варіантів (колекторного опору , ємності навантаження , ємності прискорюючого конденсатора  та нелінійного зворотного зв'язку через діод ) на статичний та динамічний режими роботи електронного ключа

Вивчити призначення компонентів електронного ключа та їх вплив на статичні та динамічні параметри схеми.

Для схеми, зображеної на рис. 1.3, знайти перехідну характеристику  в аналітичному вигляді. Оцінити вплив зміни номіналу (зменшення чи збільшення) колекторного опору , ємності навантаження  та ємності прискорюючого конденсатора  на .

Література для самопідготовки

1. В.М. Рябенький, В.Я. Жуйков, Ю.С. Ямненко, О.В. Борисов. «Схемотехніка: пристрої цифрової електроніки», Том 1, 2015 р, стор.106-116;
2. Ю.Н. Ерофеев. «Основы импульсной техники» 1979 р, стор. 82‑101, стор. 125-142;
3. В.И. Зубчук, В.П. Сигорский, А.Н. Шкуро. «Справочник по цифровой схемотехнике», 1990 р.

Робоче завдання

Встановити лабораторний стенд «**ИМПУЛЬС ‑ М**» в режим «**ЛАБ 1**» за допомогою перемикача лабораторних робіт, який знаходиться на задній панелі стенда.

Ввімкнути кнопку «**СЕТЬ**» .

**I**. За допомогою генератора ***Ген.*** подати на вхід ключа позитивний прямокутний імпульс тривалістю  = 200 мкс з частотою  = 1 кГц.

Зняти й побудувати передавальну характеристику . За допомогою цієї характеристики визначити статичні параметри ключа:  та . Для цього потрібно змінювати амплітуду вхідного імпульсу  та визначати відповідну амплітуду сигналу на виході .

Виконати вимірювання для наступних режимів роботи:

* 1. Схемі із відключеними компонентами: діодом , конденсаторами  і  та опором  (**П1**-**П4** ).
  2. Схема із підключеним діодом  (натиснути **П1**).
  3. Схема із підключеним конденсатором  (натиснути **П2**).
  4. Схема із підключеним резистором  (натиснути **П4**).

Результати зазначений вимірювань занести в табл. 1.1 та відобразити на рис. 1.4.

Таблиця 1.1. Результати вимірювання передавальної характеристики  перемикача напруги на біполярному транзисторі для різних модифікацій схеми.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , В |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *,* В  (**П1**-**П4** ) |  |  |  |  |  |  |  |  |
| *,* В  для  (**П1** ) |  |  |  |  |  |  |  |  |
| , В  для (**П2** ) |  |  |  |  |  |  |  |  |
| , В  для(**П4** ) |  |  |  |  |  |  |  |  |



Рис. 1.4. Результати вимірювання передавальної характеристики  перемикача напруги на біполярному транзисторі для різних модифікацій схеми.

**II**. За допомогою генератора ***Ген.*** подати на вхід ключа позитивний прямокутний імпульс із амплітудою  = 5 В, тривалістю  = 40 мкс та частотою  = 10 кГц.

При вимірюваннях потрібно використати зовнішню синхронізацію осцилографа від генератора прямокутних імпульсів.

Визначити перехідну характеристику  транзисторного ключа при його вмиканні та розмиканні. З урахуванням масштабів замалювати діаграми вхідного  та вихідного  імпульсів за шаблоном, наведеним на рис. 1.5. За допомогою осцилографа визначити динамічні параметри ключа: тривалість фронтів вихідного сигналу ,  та тривалість затримок поширення вихідного сигналу відносно вхідного ,  відповідно до рис. 1.1. При виконанні вимірювань осцилограф потрібно налаштувати таким чином, щоб масштаб часу дозволяв визначити ці параметри максимально точно.

Виконати вимірювання для наступних режимів роботи:

1. Схемі із відключеними компонентами: діодом , конденсаторами  і  та опором  (**П1**-**П4** ).
2. Схема із підключеним діодом  (натиснути **П1**).
3. Схема із підключеним конденсатором  (натиснути **П2**).
4. Схема із підключеним конденсатором  (натиснути **П3**).
5. Схема із підключеним резистором  (натиснути **П4**).

Результати зазначений вимірювань занести в табл. 1.2 та відобразити на рис. 1.5.

*Примітка:* *Діаграми вихідної напруги по п.* **II** *побудувати на загальному графіку в масштабі, що дозволить побачити відмінності динамічних параметрів (можливо із розривом всередині імпульсу).*

Таблиця 1.2. Результати вимірювання фронтів вихідного сигналу ,  та затримок поширення вихідного сигналу відносно вхідного ,  перемикача напруги на біполярному транзисторі для різних модифікацій схеми.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | *,* мкс | , мкс | ,мкс | , мкс |
| R6  (**П1**-**П4** ) |  |  |  |  |
| (**П1** ) |  |  |  |  |
| (**П2** ) |  |  |  |  |
| (**П4** ) |  |  |  |  |
| (**П3** ) |  |  |  |  |



Рис. 1.5. Залежності вхідного та вихідних сигналі від часу перемикача напруги на біполярному транзисторі для різних модифікацій схеми.

Контрольні питання

1. Поясніть вплив нелінійного зворотного зв'язку на перехідні процеси в ключі.
2. Поясніть вплив прискорюючого конденсатора на перехідні процеси в ключі.
3. З яких міркувань вибирається оптимальне значення ємності прискорюючого конденсатора?
4. Поясніть вплив ємності навантаження  на перехідні процеси в ключі.
5. Поясніть вплив величини колекторного опору на перехідні процеси в ключі.
6. Поясніть вплив температури навколишнього середовища на порогову напругу ключа.

ПЕРЕМИКАЧ НАПРУГИ НА МДН – ТРАНЗИСТОРІ   
С ІНДУКОВАНИМ КАНАЛОМ

***Мета роботи*** - дослідити статичні і динамічні параметри перемикача напруги на МДН - транзисторі з індукованим каналом.

Опис схеми що досліджується

Перемикач напруги що досліджується, побудований на n‑канальному МДН-транзисторі  (рис. 1.6) типу *2N700*. У якості його стокового навантаження використовується нелінійний опір транзистора . Резистор  обмежує напругу на затворі транзистора .

У початковому стані при  = 0 В канал транзистора  не індукований, що відповідає режиму відсічки. На виході ключа (контрольна точка **КТ6**) формується рівень логічної одиниці . Для перемикання транзистора  в активний (тріодний) режим на вхід ключа необхідно подати від генератора ***Ген.*** позитивний імпульс, амплітуда якого перевищує значення порогової напруги  транзистора .

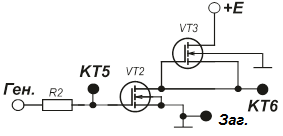


Рис. 1.6. Перемикачі напруги на МДН-транзисторі з індукованим каналом.

Завдання для самопідготовки

Вивчити роботу перемикача напруги на МДН-транзисторі з індукованим каналом.

Вивчити призначення компонентів електронного ключа та їх вплив на статичні та динамічні параметри схеми.

Розрахувати статичні параметри ключа на МДН-транзисторі: ,  та  для заданого типу тразисторів.

Для схеми, зображеної на рис. 1.6, знайти перехідну характеристику  в аналітичному вигляді.

Література для самопідготовки

1. В.М. Рябенький, В.Я. Жуйков, Ю.С. Ямненко, О.В. Борисов «Схемотехніка: пристрої цифрової електроніки», Том 1, 2015 р, стор. 116-122.
2. В.И. Зубчук, В.П. Сигорский, А.Н. Шкуро «Справочник по цифровой схемотехнике», 1990 р, стор. 68 – 72.

Робоче завдання

**I**. За допомогою генератора ***Ген.*** подати на вхід ключа позитивний прямокутний імпульс тривалістю  = 200 мкс з частотою  = 1 кГц.

Зняти й побудувати передавальну характеристику . За допомогою цієї характеристики визначити статичні параметри ключа:  та . Для цього потрібно змінювати амплітуду вхідного імпульсу  та визначати відповідну амплітуду сигналу на виході .

Результати вимірювань звести до табл. 1.3 та відобразити за шаблоном, наведеним на рис. 1.7.

Таблиця 1.3. Результати вимірювання передавальної характеристики  перемикача напруги на МДН-транзисторі з індукованим каналом.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , В |  |  |  |  |  |  |  |
| , В |  |  |  |  |  |  |  |



Рис. 1.7. Передавальна характеристика  перемикача напруги на МДН-транзисторі з індукованим каналом.

**II**. За допомогою генератора ***Ген.*** подати на вхід ключа позитивний прямокутний імпульс із амплітудою  = 5 В, тривалістю  = 40 мкс та частотою  = 10 кГц.

При вимірюваннях потрібно використати зовнішню синхронізацію осцилографа від генератора прямокутних імпульсів.

Визначити перехідну характеристику  транзисторного ключа при його вмиканні та розмиканні. З урахуванням масштабів замалювати діаграми вхідного  та вихідного  імпульсів за шаблоном, наведеним на рис. 1.8. За допомогою осцилографа визначити динамічні параметри ключа: тривалість фронтів вихідного сигналу ,  та тривалість затримок поширення вихідного сигналу відносно вхідного ,  відповідно до рис. 1.1. При виконанні вимірювань осцилограф потрібно налаштувати таким чином, щоб масштаб часу дозволяв визначити ці параметри максимально точно.

Результати зазначений вимірювань занести в табл. 1.4 та відобразити на рис. 1.8.

Таблиця 1.4. Результати вимірювання фронтів вихідного сигналу ,  та затримок поширення вихідного сигналу відносно вхідного ,  перемикача напруги на МДН-транзисторі з індукованим каналом.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *,* мкс | , мкс | ,мкс | , мкс |
|  |  |  |  |



Рис. 1.8. Залежності вхідного та вихідних сигналі від часу перемикача напруги на МДН-транзисторі з індукованим каналом.

Контрольні питання

1. Поясніть принцип роботи перемикача напруги на МДН-транзисторі.
2. Поясніть залежність статичних параметрів ключа від температури.
3. Поясніть принцип роботи нелінійного опору VT3 (генератора струму)