

## Лекція 7

### **Покращення характеристик транзисторних ключів. Ключі на польових транзисторах.**

**Мета лекції:** вивчення методів покращення характеристик транзисторних ключів та ключів на польових транзисторах.

#### **План лекції:**

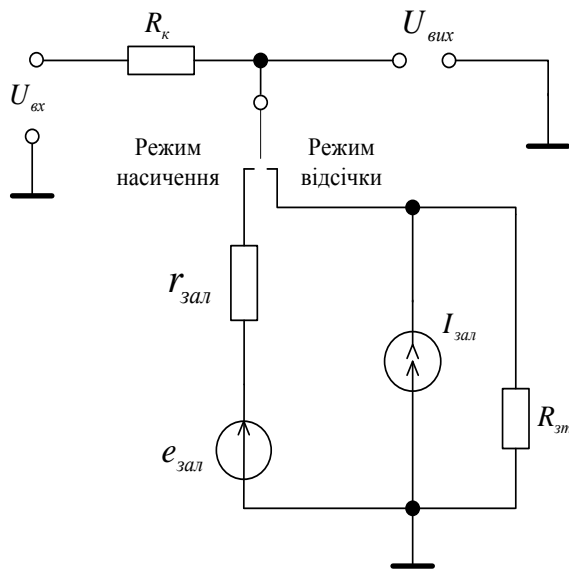
7.1 Еквівалентна схема ключа на біполярному транзисторі.

7.2 Схемотехнічні методи покращення характеристик транзисторних ключів.

7.3 Ключі на польових транзисторах.

7.4 Контрольно-навчальний тест до лекції 7.

## 7.1 Еквівалентна схема ключа на біполярному транзисторі.



Транзисторний ключ можна представити у вигляді ідеального ключа і його залишкових параметрів (рис 7.1). Коли транзистор насичений, в ньому є залишкова електрорушійна сила  $e_{зал}$  і залишковий опір  $r_{зал}$ . В режимі відсічки транзистор представляє собою генератор струму  $I_{зал}$  з опором  $R_{зм}$  закритого транзистора.

Приблизні значення в режимах відсічки та насичення:

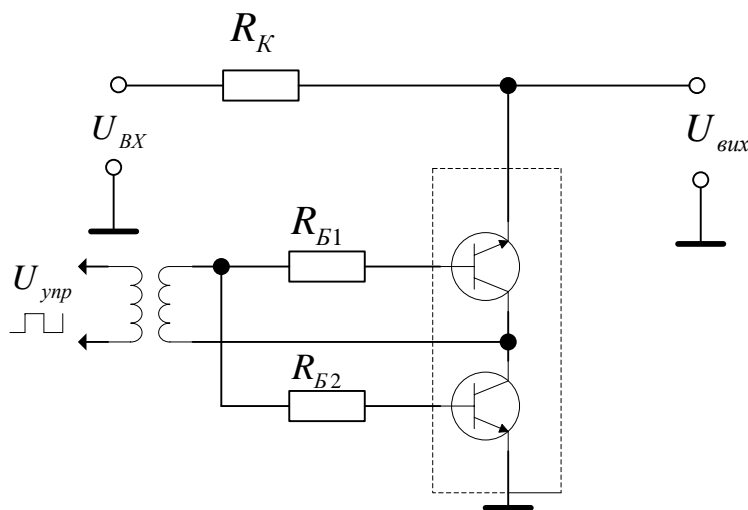
$$e_{зал} = (1 \div 5) мВ;$$

$$r_{зал} = (20 \div 50) Ом;$$

$$I_{зал} = (1 \div 100) мкА.$$

Рисунок 7.1 – Еквівалентна схема транзисторного ключа

## 7.2 Схемотехнічні методи покращення характеристик транзисторних ключів.



Для покращення характеристик ключів використовують компенсаційне інверсне включення транзисторів для компенсації залишкових напруг двох транзисторів і зменшення паразитного проходження струму із кола управління на вихід схеми (рис 7.2). Завдячуючи цьому, для спареного кремнієвого транзистора

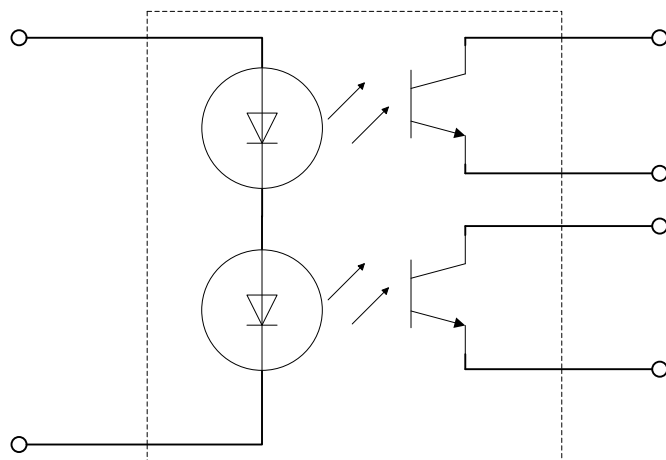
$$1КТ011А \text{ маємо: } e_{залі} = (20 \div 50) мкВ$$

$$r_{зал} = 100 Ом$$

$$R_{зм} = 10 МОм.$$

Рисунок 7.2 – Компенсаційно-інверсне включення двох ключів

У даній схемі є недолік — необхідно ізолювати джерело управління від спільної точки заземлення, тому застосовують трансформатор або оптронні пари (рис 7.3 та рис 7.4).



Набір ключів К249КН1 з оптронною розв'язкою та зустрічним включенням р-п-р транзисторів (рис. 7.3) має такі характеристики:

$$e_{\text{зал}} = 200\text{мкВ},$$

$$R_{\text{вих}} = 2000\text{Ом},$$

$$I_{\text{вх}} = 20\text{мА},$$

$$U_{\text{вх}} = 3,5\text{В},$$

$$\text{напряга ізоляції } U_{\text{ізол}} = 150\text{В},$$

$$\text{час включення } t_{\text{вкл}} = 10\text{мкс}.$$

Рисунок 7.3 – Набір ключів

Оптронна пара АОТ1011 на базі фототранзисторів (рис 7.4) має напругу ізоляції  $U_{\text{ізол}} = 1500\text{В}$ .

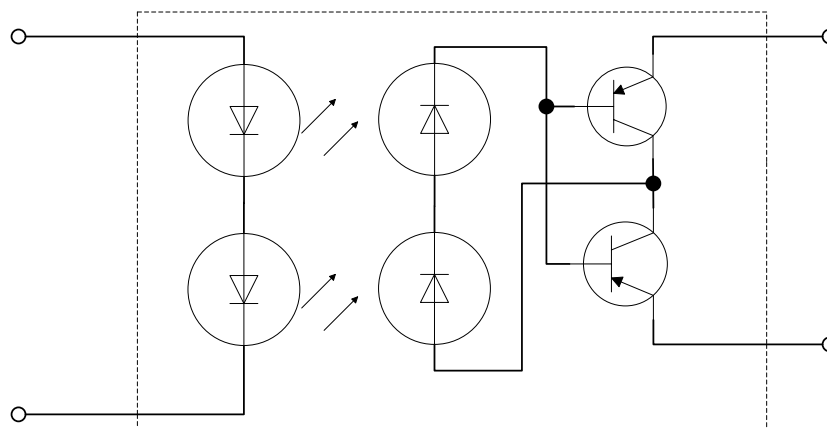
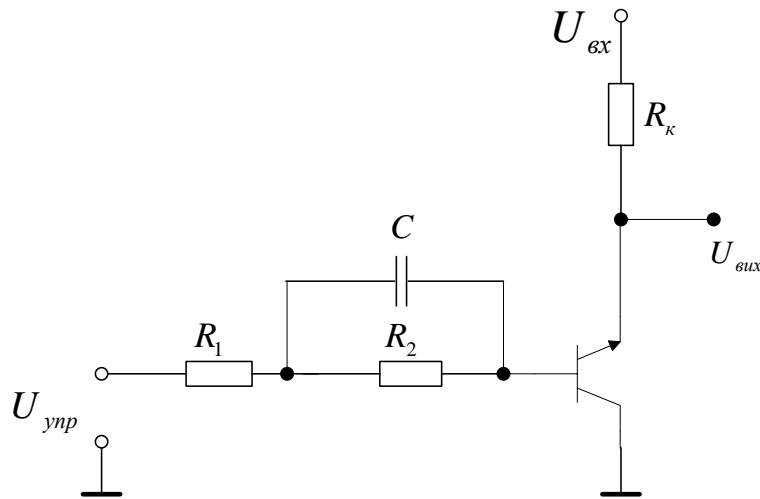


Рисунок 7.4 – Оптронна пара

## Підвищення швидкодії транзисторних ключів.



Підвищити швидкодію ключа можна за допомогою форсованого ланцюга в колі бази (рис 7.5).

При „стрибку”  $U_{упр}$  струм бази спочатку визначається  $U_{упр}$  і  $R_1$ , а після закінчення перехідного процесу струм бази визначається за формулою:  $I_b = \frac{U_{упр}}{R_1 + R_2}$ .

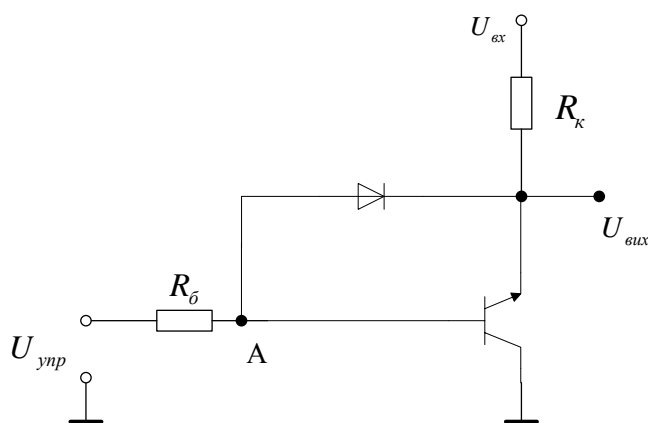
Рисунок 7.5 – Форсований ланцюг в колі бази транзистора

Таким чином зменшується тривалість фронту вихідного імпульсу і в той же час коефіцієнт насичення не збільшується (рис 7.5).

Недолік схеми: через температурний вплив неможливо задати транзистору мінімальний коефіцієнт насичення.

У більш досконалій схемі використовують діод у колі зворотного зв'язку (рис 7.6).

В початковий момент часу діод закритий. При надходженні імпульсу  $U_{упр}$  виникає струм в базовому колі і транзистор починає відкриватися. Потенціал емітера знижується.



Коли потенціал точки А більший за  $U_{вих}$ , діод відкривається, схема охоплюється від'ємним зворотнім зв'язком, коефіцієнт підсилення всієї схеми падає і основна частина всього струму ланцюга управління проходить через діод і лише мала його частина потрапляє на базу. Транзистор знаходиться на границі насичення, температурний вплив малий.

Рисунок 7.6 – Схема транзисторного ключа з нелінійним зворотнім зв'язком

### 7.3 Ключі на польових транзисторах (ПТ).

В польовому транзисторі провідністю каналу керує електричне поле, створене прикладеною до затвору напругою. В даному випадку немає зміщених *p-n* переходів, тому найбільш важливою характеристикою польових транзисторів є відсутність струму затвора, як наслідок маємо високий вхідний опір (до  $10^{14}$  Ом і більше). Це суттєво спрощує проектування схем. Дуже вдале використання ПТ в схемах аналогових перемикачів та підсилювачів з великим вхідним опором. Самі по собі або в комбінаціях з біполярним транзистором ПТ чудово реалізується в інтегральних схемах.

Переваги ключів на польових транзисторах:

- 1) відсутність залишкової напруги при відкритому транзисторі;
- 2) високе відношення:  $\frac{R_{закр.пт}}{r_{відкр.пт}} \approx \frac{1000\text{МОм}}{(10 \div 1000)\text{Ом}}$ ;
- 3) мала потужність у колі управління;
- 4) можна використовувати безтрансформаторну схему управління польовими транзисторами, „відірваними” від загальної шини.

Недолік таких ключів – це нижча швидкодія порівняно з ключами на біполярних транзисторах.

Найбільш просто схемотехнічно вирішується задача управління ключами для польових транзисторів з індуктивним затвором.

Схема паралельного ключа на МОН-транзисторах зображена на рис 7.7.

Коли  $U_{з-в} = 0$  (напруга затвор-виток) – транзистор закритий. Якщо  $U_{з-в} > U_{пор}$  (порогова напруга), то транзистор відкривається. Перехідні процеси зумовлені ємністю  $C = C_M + C_H + C_{C-B}$ , де  $C_M$  – ємність монтажу,  $C_H$  – ємність навантаження,  $C_{C-B}$  – ємність переходу стік-втік.

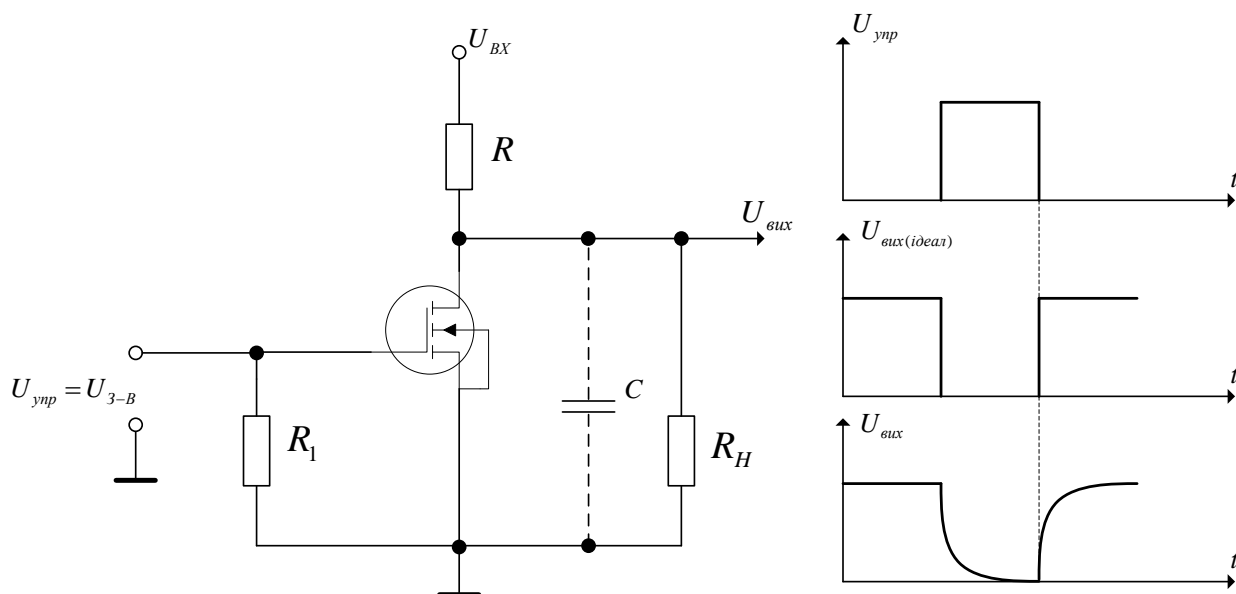
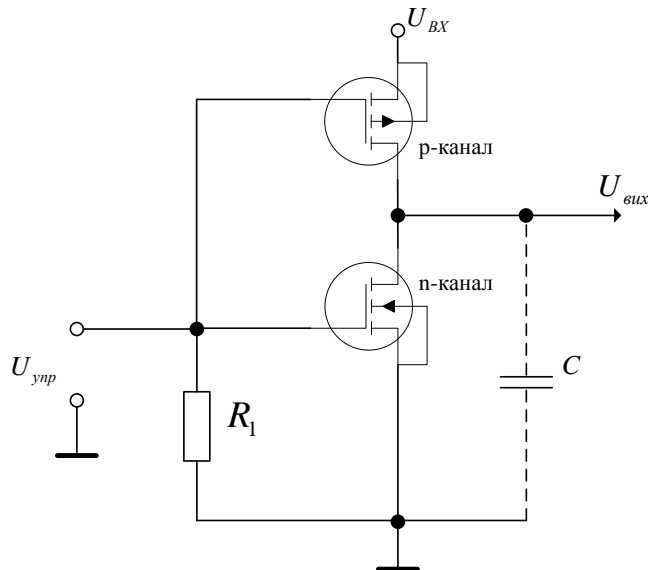


Рисунок 7.7 – Паралельний ключ на МОН-транзисторі

При цьому стала часу розряду приблизно визначається як  $\tau_{роз} = C \cdot r_{C-B}$ , де  $r_{C-B}$  - опір переходу стік-виток, стала часу заряду  $\tau_{зар} \approx \frac{C \cdot R \cdot R_H}{R + R_H}$ .

Перезаряд буде проходити приблизно за експонентою.

У схемі послідовно-паралельного ключа використовують польові транзистори різної провідності (комплементарна пара МОН-транзисторів).



При подачі  $U_{упр} > 0$  нижній транзистор відкривається, верхній замикається і навпаки,  $U_{упр} < 0$  нижній транзистор замикається, а верхній – відкривається (рис. 7.8).

В статичному режимі струм від  $U_{вх}$  майже не протікає, енергія використовується тільки на перезаряду ємності  $C$ , тому схема дуже економічна.

Схема має більш високу швидкодію відносно попередньої схеми (рис 7.7), бо перезаряд ємності  $C$  відбувається через опір відкритого транзистора верхнього або нижнього.

Рисунок 7.8 – Послідовно-паралельна схема ключа на МОН-транзисторі

## 7.4 Контрольно-навчальний тест до лекції 7.

### Питання 7.1

Назвіть основні характеристики ключа на біполярному транзисторі в статичному режимі.

### Питання 7.2

Як зменшують залишкову напругу транзисторного ключа?

### Питання 7.3

Як підвищити швидкодію транзисторного ключа?

### Питання 7.4

Поясніть підвищення швидкодії в схемі рис. 7.6.

### Питання 7.5

Чому дорівнює залишкова напруга ключа на польовому транзисторі?

### Питання 7.6

Чим визначається швидкодія ключа за схемою рис. 7.7?

### Питання 7.7

Чому динамічні властивості схеми рис. 7.8 кращі властивостей схеми рис. 7.7?

### Питання

Вибір правильної відповіді:

- 1 – частота  $f_{\alpha}$ , коефіцієнт підсилення  $h_{21TE}(\beta)$ ;
- 2 –  $r_{зал}$ ,  $e_{зал}$ ,  $I_{зал}$ ,  $R_{зт}$ .

Вибір правильної відповіді:

- 1 – зменшують струм бази;
- 2 – зустрічно вмикають два ідентичні транзистори;
- 3 – ізолюють транзистор від спільної шини.

Вибір правильної відповіді:

- 1 – вибрати транзистор з більшим  $h_{21TE}$  і збільшити струм управління;
- 2 – вибрати більш високочастотний транзистор, застосувати форсуюче  $RC$ -коло в базі транзистора або задіяти зворотній зв'язок.

Вибір правильної відповіді:

- 1 – охоплення від'ємним зворотнім зв'язком транзистора не допускає насичення транзистора і відповідно підвищує швидкодію схеми;
- 2 – зменшується вхідний струм управління.

Вибір правильної відповіді:

- 1 – нормується в паспорті на транзистор;
- 2 –  $e_{зал} = 0$ .

Питання 7.8  
Чому мале споживання енергії в схемі рис. 7.8?

Вибір правильної відповіді:  
1 – бо в статистиці завжди один із двох транзисторів закритий;  
2 – бо дуже великий вхідний опір транзисторів

Вибір правильної відповіді:

1 – ємністю  $C$ , схемою управління ;  
2 – сталими часу розряду ( $c \cdot r_{CB}$ ) і заряду ( $c \cdot (R \parallel R_H)$ )

Вибір правильної відповіді:  
1 – бо стала часу зменшилась і дорівнює  $c \cdot r_{CB}$  ;  
2 – бо паразитні ємності двох транзисторів компенсують одна одну.