

## 1. Ключова схема на біполярному транзисторі

В інтегральних мікросхемах, виконаних на біполярних транзисторах, роль ключа виконує транзистор, включений за схемою з загальним емітером (рис. 5.1).

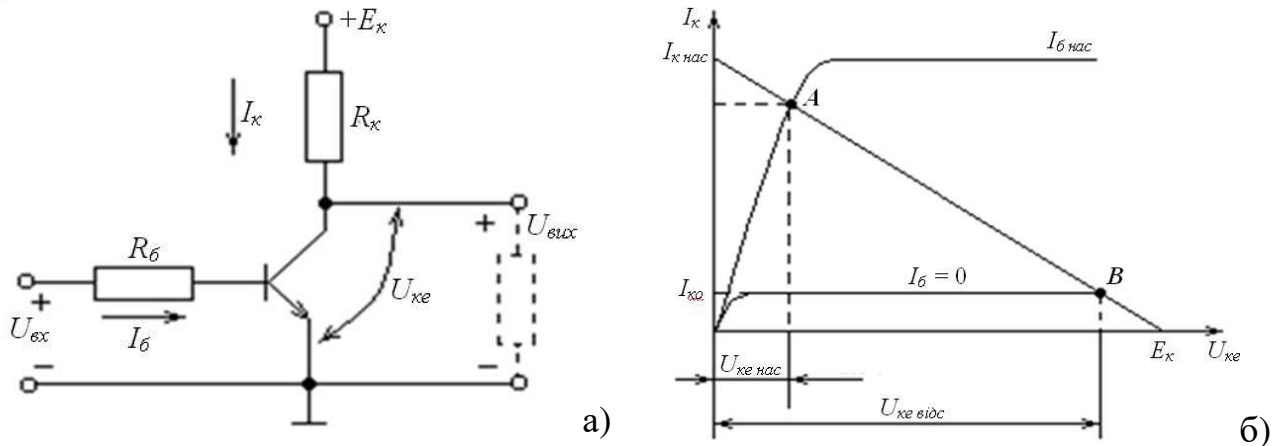


Рис. 5.1. Ключова схема на біполярному транзисторі:  
а – принципова схема; б – ВАХ ключа.

Керування станом ключа здійснюється сигналом  $U_{вх}$ . При  $U_{вх} = 0$ , відповідно  $I_б = 0$  і стан схеми визначається точкою **B** на ВАХ ключа. Транзистор знаходиться в стані у відсічки, що еквівалентно розімкненому ключу, а вихідна напруга  $U_{вих}$  рівна  $U_{ке\text{ відс}}$ , тобто є дещо меншою за  $E_к$ . Струм через транзистор  $I_{к0}$  в цьому випадку нехтуюче малий.

При напрузі  $U_{вх}$ , достатній для створення базового струму  $I_{б\text{ нас}}$ , який переводить транзистор в режим насичення, стан схеми визначається точкою **A** на ВАХ, що рівносильно замкнутому ключу. Вихідна напруга рівна  $U_{ке\text{ нас}}$ , тобто є трохи вищою нульового рівня, а струм через транзистор  $I_{к\text{ нас}}$  максимальний і дорівнює  $E_к/R_к$ .

Оцінимо енергетичні затрати в ключовій схемі:

1. У режимі відсічки потужність, що виділяється на транзисторі і викликає його нагрівання, визначається виразом  $P_{відс} = U_{ке\text{ відс}} \cdot I_{к0}$ . Унаслідок крайньої малості  $I_{к0}$ , потужність  $P_{відс}$  значно менша допустимої величини.

2. В режимі насичення потужність  $P_{нас} = U_{ке\text{ нас}} \cdot I_{к\text{ нас}}$ . Оскільки напруга  $U_{ке\text{ нас}}$  мала, то  $P_{нас}$  також знаходиться в допустимих межах.

3. Більш детально розглянемо процес перемикання – перехід ключа з одного стійкого стану в інший.

Впродовж часу перемикання  $\tau_{\phi}$ , струм  $i_к(t)$  і напруга  $U_{ке}(t)$  досягають відносно високих величин. На перемикання транзистора витрачається енергія

$$A_{\text{перем}} = \int_0^{\tau_{\phi}} i_к(t) U_{ке}(t) dt.$$

Припустимо, що струм  $i_к(t)$  за час перемикання змінюється за лінійним законом, тобто

$$i_{\kappa}(t) = I_{\kappa \text{ нас}} \frac{t}{\tau_{\phi}}.$$

Використовуючи рівняння динамічного режиму роботи транзистора (рівняння навантажувальної прямої):

$$U_{\kappa e}(t) = E_{\kappa} - i_{\kappa}(t) R_{\kappa},$$

та враховуючи рівність  $I_{\kappa \text{ нас}} \approx E_{\kappa} / R_{\kappa}$ , отримаємо:

$$\begin{aligned} A_{\text{перем}} &= \int_0^{\tau_{\phi}} \frac{E_{\kappa}}{R_{\kappa} \tau_{\phi}} t \left( E_{\kappa} - \frac{E_{\kappa}}{R_{\kappa} \tau_{\phi}} R_{\kappa} t \right) dt = \frac{E_{\kappa}^2}{R_{\kappa} \tau_{\phi}} \int_0^{\tau_{\phi}} \left( 1 - \frac{t}{\tau_{\phi}} \right) t dt = \\ &= \frac{E_{\kappa}^2}{R_{\kappa} \tau_{\phi}} \left( \frac{t^2}{2} - \frac{t^3}{3\tau_{\phi}} \right) \Big|_0^{\tau_{\phi}} = \frac{E_{\kappa}^2}{R_{\kappa} \tau_{\phi}} \left( \frac{\tau_{\phi}^2}{2} - \frac{\tau_{\phi}^3}{3\tau_{\phi}} \right) = \frac{E_{\kappa}^2 \tau_{\phi}}{6R_{\kappa}}. \end{aligned}$$

Режим перемикавання є найбільш енергоємним режимом роботи транзисторного ключа. У цьому випадку, по мірі збільшення частоти перемикавання,  $P_{\text{перем}}$  може досягати значних величин. Це призводить до необхідності прийняття додаткових заходів щодо забезпечення нормального теплового режиму в цифрових схемах.

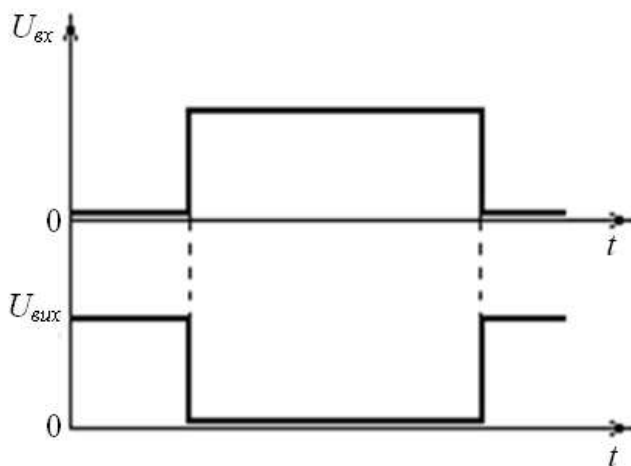


Рис. 5.2. Ідеалізована часова діаграма роботи ключа.

Ідеалізована часова діаграма (без урахування перехідних процесів) роботи ключа наведена на рис. 5.2.

Її аналіз показує, що для статичного режиму, якщо  $U_{\text{вх}}$  – низький потенціал, то  $U_{\text{вих}}$  – високий, і навпаки. Отже, найпростіша ключова схема на транзисторі з навантаженням в колі колектора, з якого знімається вихідна напруга, є інвертором, який реалізує функцію НЕ як в додатній, так і в від’ємній логіці.