

Лекція 8

Генератори імпульсів. Мультивібратори

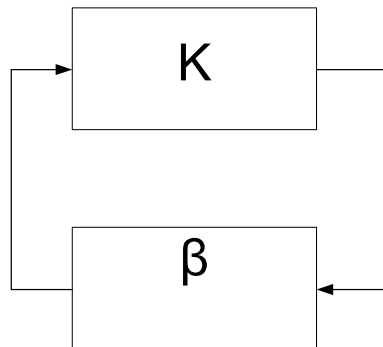
Мета лекції: вивчення принципів побудови генераторів імпульсних сигналів на транзисторах і підсилювачах та їх розрахунки.

План лекції:

- 8.1 Вступ.
- 8.2 Мультивібратор на двох транзисторах.
- 8.3 Мультивібратор на операційних підсилювачах.
- 8.4 Одновібратор (очікуючий мультивібратор).

8.1 Вступ

Для отримання імпульсів прямокутної, трикутної форми застосовуються релаксаційні генератори, зокрема, мультивібратори. Для таких генераторів необхідно виконати дві умови (умова амплітуд, умова фаз).



$$K\beta > 1$$
$$\sum \varphi = 2\pi, 4\pi, \dots, 2n\pi$$

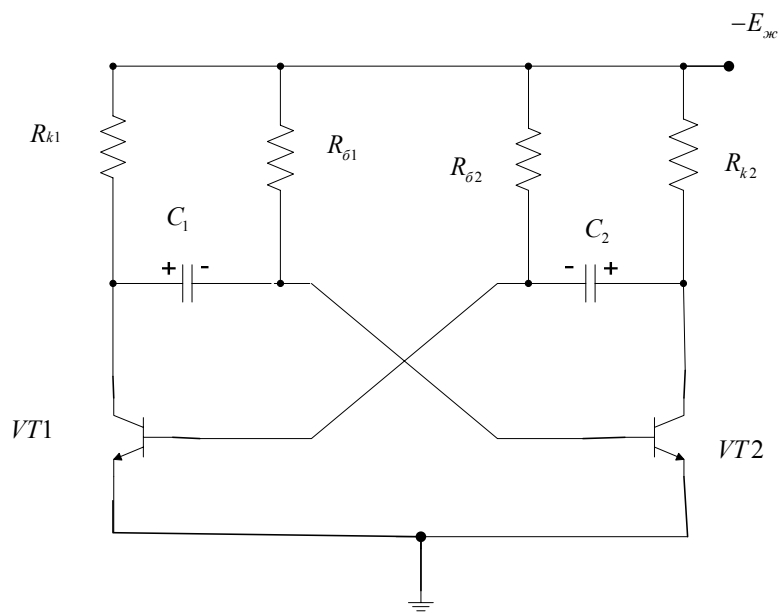
Мал. 8.1. Умова отримання імпульсів.

Мультивібратор – це багатоколивальний генератор, в якому умова фаз та амплітуд виконується не для одної гармоніки, а для цілої її сукупності.

Мультивібратори можуть працювати в таких режимах:

- 1) автоколивальний;
- 2) режим очікування;
- 3) режим синхронізації та поділу частоти.

8.2 Мультивібратор на двох транзисторах



Мал. 8.2. Транзисторний мультивібратор.

Нехай транзистор $VT2$ насичений, $VT1$ закритий, при цьому конденсатор C_2 заряджений до $E_{жс}$ (зліва “-”, справа “+”). Конденсатор C_1 також заряджений до $E_{жс}$ (зліва “+”, справа “-”). Такий стан триває недовго.

Конденсатор C_2 перезаряджається за колом:

$$E_{жс} - R_{б1} - C_2 - KE_{VT2} - \text{спільна шина}.$$

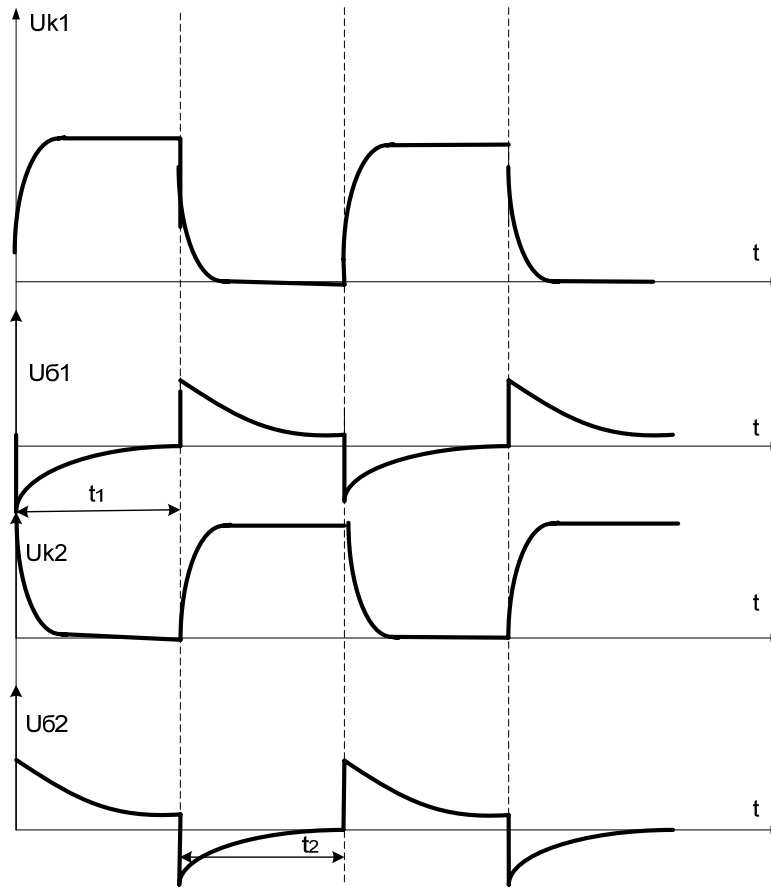
В той момент часу, коли потенціал лівої обкладинки C_2 стає більше нуля ($U_{б1} > 0$), $VT1$ починає відкриватися, а $VT2$ закриватися. Розвивається лавиноподібний процес, внаслідок чого $VT1$ насичується, $VT2$ закривається. При цьому у базовому колі $VT1$ є стрибок струму із-за заряду конденсатора C_2 за колом: $E_{жс} - R_{к2} - C_2 - BE_{VT1} - \text{спільна шина}$.

Після цього конденсатор C_1 заряджається за колом:

$$E_{жс} - R_{б2} - C_1 - KE_{VT1} - \text{спільна шина}.$$

Фронт імпульсу є пологим через те, що при закритті транзистора конденсатору необхідно зарядитися колом: $E_{\text{жс}} - R_{\text{к2}} - C_2 - BE_{VT1}$ - спільна шина.

Робота мультивібратора протягом одного повного періоду описується часовими діаграмами за мал. 8.3.



Мал. 8.3. Діаграма роботи транзисторного мультивібратора.

Основні співвідношення для розрахунку транзисторного мультивібратора:

Режим для постійного струму:

Струми насичення транзисторів VT1, VT2.

$$I_{KH1} \cong \frac{E_{\text{жс}}}{R_{k1}}, \quad I_{KH2} \cong \frac{E_{\text{жс}}}{R_{k2}}$$

Розрахункові співвідношення між опорами базового і колекторного резисторів.

$$R_{\sigma1} = \frac{\beta \cdot R_{k1}}{S}, \quad R_{\sigma2} = \frac{\beta \cdot R_{k2}}{S}$$

(S – коефіцієнт насичення).

Часові співвідношення.

Конденсатор C_2 , приєднаний до колектора насиченого транзистора, перезаряджається за експоненційним законом від напруги $-E_{\text{жс}}$ до $+E_{\text{жс}}$.

Використаємо загальну форму для перехідної характеристики ланки першого порядку

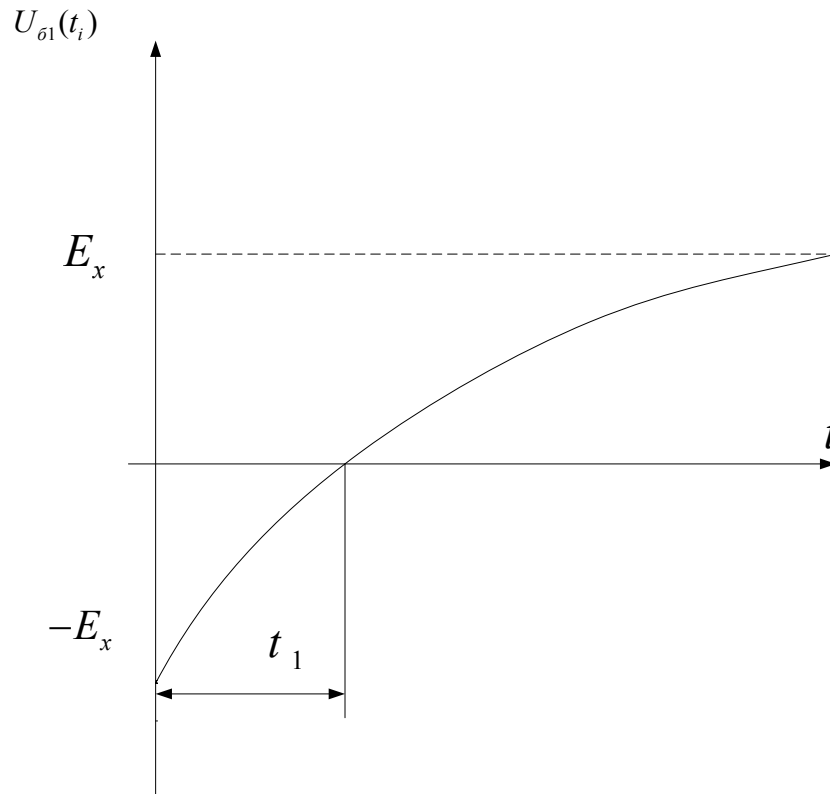
$$U(t) = U_{t=\infty} - (U_{t=\infty} - U_{t=0})e^{-\frac{t}{\tau}}$$

А саме:

$$U_{\delta 1}(t) = U_{C_2}(t) = E_{жс} - (E_{жс} + E_{жс}) \cdot e^{-t/\tau_1}, \text{ тоу що } U_{t=0} = -E_{ж}$$

де $\tau_1 = R_{\delta 1} \cdot C_2$ - стала часу перезаряду конденсатора C_2 .

Таким чином, тривалість імпульсу визначається часом розряду конденсатора (в даному випадку C_2), який забезпечує закритий стан транзистора VT1. Цей час можна визначити, маючи на увазі, що за $t=t_1$ потенціал бази транзистора VT1 стане рівним 0 $U_{\delta 1}(t_1) = 0$ (мал. 8.4).



Мал. 8.4. До розрахунку тривалості імпульсу.

$$\text{Тобто, } E_{ж} - 2 \cdot E_{жс} \cdot e^{-t_1/\tau_1} = 0$$

$$\text{Виходить } -\frac{t_1}{\tau} \ln e = \ln \frac{1}{2} = \ln 1 - \ln 2 \text{ і } t_1 = \tau \ln 2, \text{ значить}$$

$$t_1 = R_{\delta 1} \cdot C_2 \cdot \ln 2 \approx 0,7 \cdot R_{\delta 1} \cdot C_2 = 0,7 \cdot \tau_1$$

Аналогічно знаходимо, що

$$t_2 \approx 0,7 \cdot R_{\delta 2} \cdot C_1 = 0,7 \cdot \tau_2$$

Очевидно, що період коливань $T = t_1 + t_2$.

Тоді частота коливань мультивібратора

$$f_{MB} = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_{i1} + t_{i2}}$$

Для симметричного мультивібратора, в якого щільність імпульсів $Q=2$:
 $t_1 = t_2$, $R_{\delta 1} = R_{\delta 2} = R_{\delta}$, $C_2 = C_1 = C$.

Звідси $T = t_1 + t_2 = 0,7\tau_1 + 0,7\tau_2 = 1,4 \cdot C \cdot R_{\delta}$, а частота коливань

$$f_{MB} = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,4 \cdot R_{\delta} \cdot C}$$

Довжина переднього фронту імпульса визначається часом зарядки конденсатора через колекторний резистор того ж плеча. Оскільки він заряджається по експоненційному закону за час, рівний 3τ , то

$$t_{\phi p 1} \approx 3 \cdot R_{k1} \cdot C_1, \quad t_{\phi p 2} \approx 3 \cdot R_{k2} \cdot C_2.$$

Максимальна частота коливань мультивібратора f_{max} залежить від граничної частоти підсилення транзистора: $f_{\beta} \approx 0,7f_{max}$.

Зріз імпульсу залежить від частоти транзистора: $t_{зр} = \frac{1}{f_{\alpha}}$, а $f_{\alpha} = \beta \cdot f_{\beta}$.

Порядок розрахунку мультивібратора.

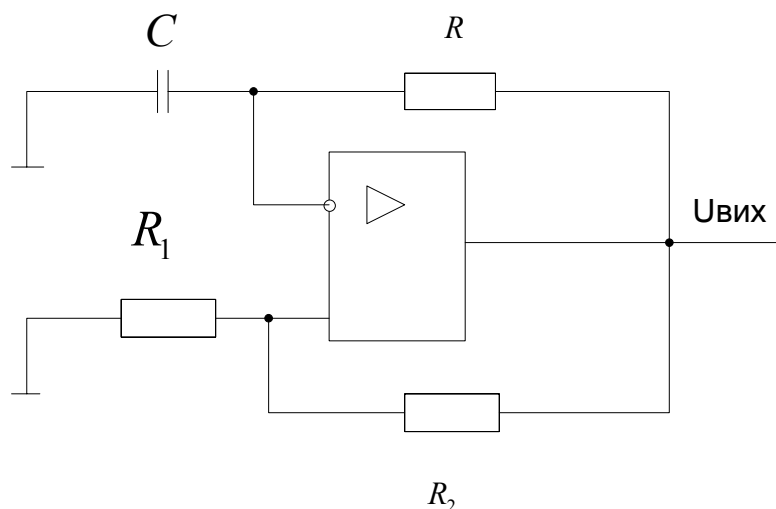
Задано частота мультивібратора f_{MB} , амплітуда вихідних імпульсів U_A , фронт імпульсу $t_{\phi p}$, зріз імпульсу $t_{зр}$.

Розрахунок:

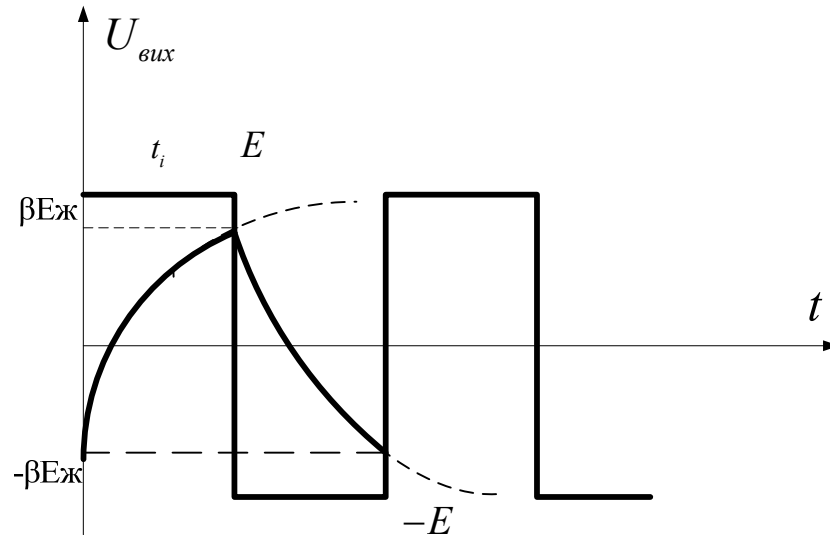
Вибираємо $E_{жс}$ із співвідношення $U_A = (0,8 \div 0,9)E_{жс}$. Вибираємо тип транзистора з умови $t_{зр} = \frac{1}{f_{\alpha}}$. Для надійності роботи транзистора необхідно виконувати умову $U_{кб} > 2E_{жс}$, $U_{ке} > 2E_{жс}$. Розраховуємо $R_{\delta 1}, R_{\delta 2}$, задаючись струмом насичення транзистора I_{KH} і R_{k1}, R_{k2} . Із формули частоти мультивібратора знаходимо C_1, C_2 . Вони однакові, якщо щільність імпульсів $Q=2$.

Робимо перевірку для $t_{\phi p 1}, t_{\phi p 2}$.

8.3 Мультивібратори на операційному підсилювачі (ОП)



Мал. 8.5. Мультивібратор на операційному підсилювачі.



Мал. 8.6. Діаграма роботи мультивібратора на ОП.

Мультивібратор в автоколивальному режимі складається із операційного підсилювача ОП, кола від'ємного зворотнього зв'язку ВЗЗ на резисторі R , кола додатнього зворотнього зв'язку ДЗЗ (R_1, R_2) та конденсатора C (мал. 8.5)

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \text{коефіцієнт передачі ДЗЗ};$$

$$\tau_{np} = RC - \text{стала часу перезарядки конденсатора } C.$$

Вихідна напруга змінюється стрибком від мінімальної U_{\min} до максимальної U_{\max} напруги насичення, яка визначається джерелом живлення. Нехай $|U_{\min}| = U_{\max} = E$.

Момент переходу ОП із одного стану насичення в інший відбувається в момент, коли напруга на прямому і інверсному вході ОП приблизно рівні, тобто $U_+ \approx U_-$. Це важливий момент при аналізі подібних схем. Конденсатор C не може бути зарядженим до напруги, більшої ніж $\pm\beta E$, тому що в момент рівності напруг на прямому і інверсному входах ОП знак напруги, від якої заряджався конденсатор змінюється на протилежний.

Для початку нехай конденсатор C заряджений до напруги $-\beta E$. Відбувається перезаряд конденсатора через резистор R з τ_{np} по експоненційному закону. Напруга на конденсаторі U_c прямує до $+E$. В момент, коли $U_c \geq U_{R1}$, а $U_{R1} = \beta E$, операційний підсилювач переходить в інше насичення і на виході з'являється напруга $-E$. Конденсатор C знов перезаряджається, прямуючи до $-E$ і т.д.

Процес перезаряду конденсатора можна описати рівнянням для перехідної характеристики кола 1-го порядку:

$$U(t) = U_{t=\infty} - (U_{t=\infty} - U_{t=0})e^{-t/\tau_{np}}$$

З урахуванням початкових ненульових умов для напруги на конденсаторі:

$U_c(t) = E - (E + \beta E)e^{-t/\tau_{np}}$. Для моменту часу $t = t_i$ це рівняння матиме вигляд:

$E - (E + \beta E)e^{-t_i/\tau_{np}} = \beta E$, звідки $\beta = 1 - (1 + \beta)e^{-t_i/\tau_{np}}$. Логарифмуючи отримаємо

$t_i = \tau_{np} \ln \frac{1 + \beta}{1 - \beta}$, враховуючи те, що $\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$, отримаємо

$$t_i = \tau_{np} \ln \frac{1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2}}{1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2}} = \tau_{np} \ln \frac{2R_1 + R_2}{R_2} = \tau_{np} \ln \left(1 + \frac{2R_1}{R_2} \right).$$

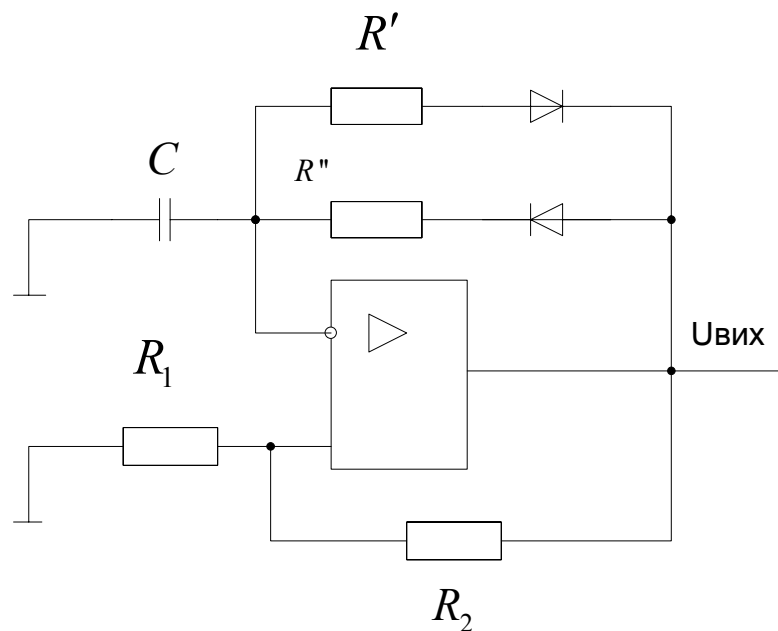
Таким чином, $t_i = \tau_{np} \ln \left(1 + \frac{2R_1}{R_2} \right)$.

Враховуючи те, що схема симетрична і $T = 2t_i$, частота коливань

мультивібратора: $f_{MB} = \frac{1}{2 \cdot t_i} = \frac{1}{2\tau_{np} \ln \left(1 + \frac{2R_1}{R_2} \right)}$. Це основне співвідношення для

мультивібраторів на ОП.

Несиметричний мультивібратор може бути побудований за такою схемою.



Мал. 8.7. Несиметричний мультивібратор.

Використання двох діодів в колі ВЗЗ дозволяє перезаряджати конденсатор C за двома колами з постійними часу $\tau' = R' \cdot C$, $\tau'' = R'' \cdot C$ (мал. 8.7).

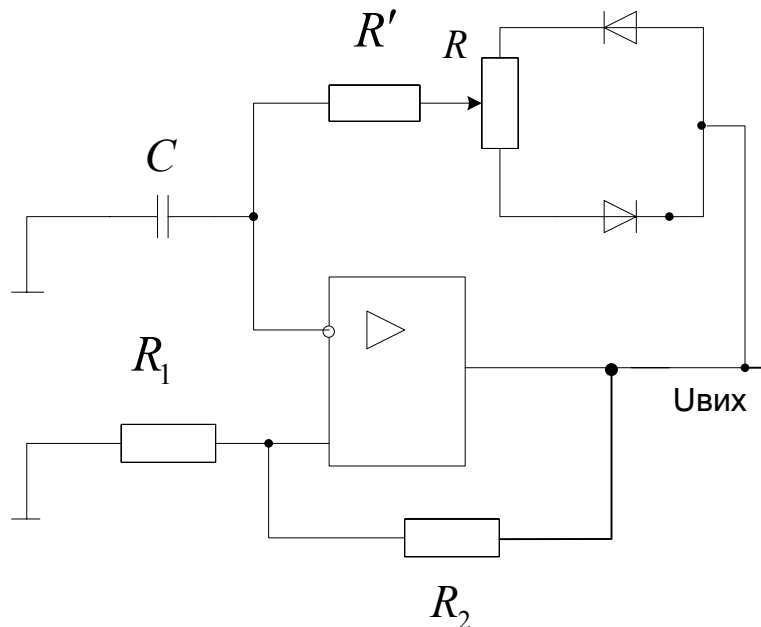
Тривалість вихідних імпульсів:

$$t_i' = R' C \ln \left(1 + \frac{2R_1}{R_2} \right);$$

$$t_i'' = R''C \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right).$$

Частота коливань такого мультивібратора $f_{MB} = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_i' + t_i''}$.

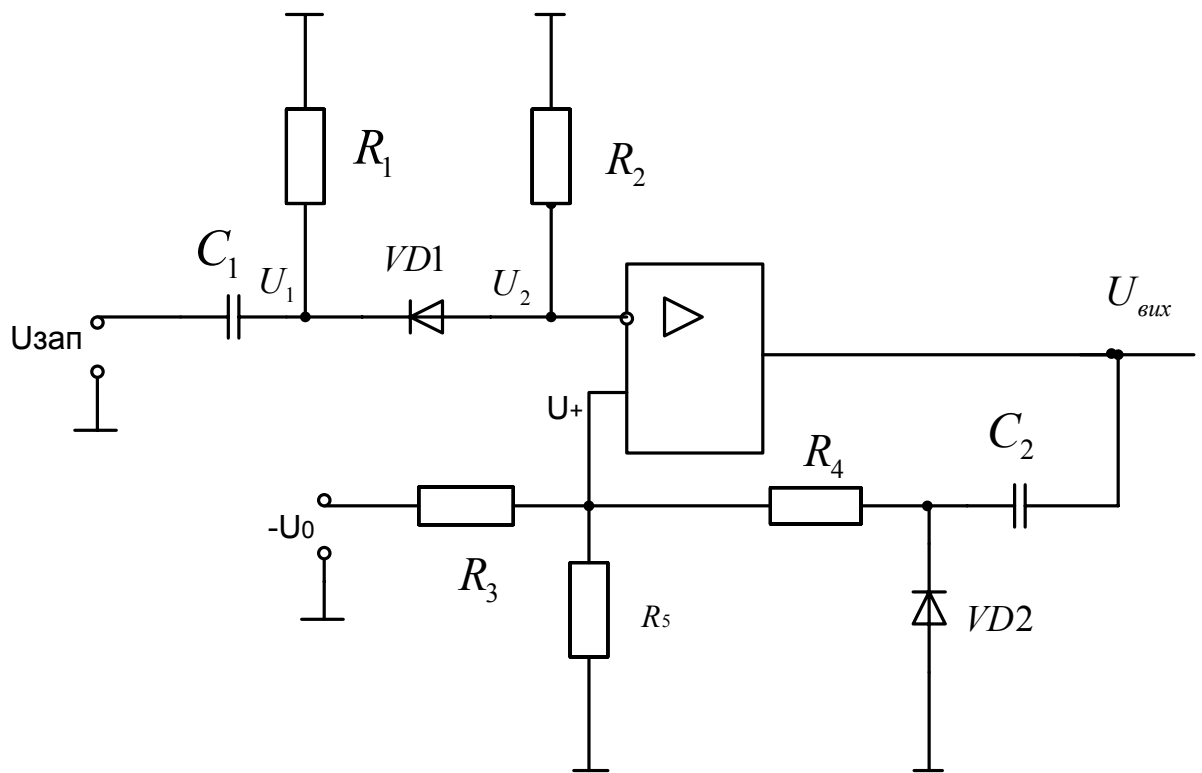
Схема з плавним регулюванням щільності.



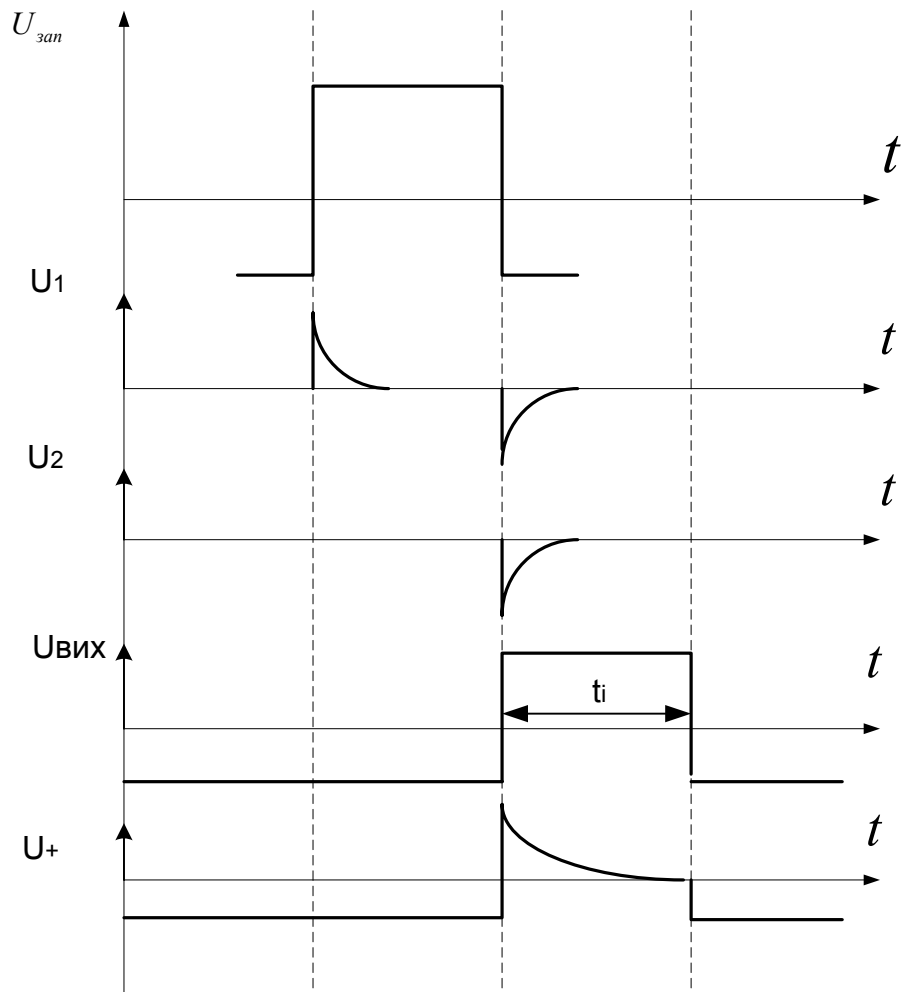
Мал. 8.8. Мультивібратор з плавним регулюванням щільності.

Схема з плавним регулюванням щільності мал. 8.8 відрізняється від попередньої можливістю зміни співвідношення R'/R'' за допомогою потенціометра R . Оскільки зміни оприв для півхвиль вихідних коливань взаємопов'язані, то при зміні щільності частота коливань мультивібратора не зміниться.

8.4. Мультивібратор в режимі очікування на операційному підсилювачі (одновібратор).



Мал. 8.9. Схема одновібратора на ОП.



Мал. 8.10. Діаграма роботи одновібратора.

Мультивібратор в режимі очікування - це загальмований мультивібратор, який генерує імпульс певної тривалості кожного разу, коли приходить імпульс запуску $U_{зан}$. Тривалість вихідного імпульсу визначається параметрами мультивібратора, а не параметрами $U_{зан}$.

Мультивібратор мал. 8.9 складається із кола запуску $C_1, R_1, VD1, R_2$, операційного підсилювача ОП, схеми зміщення U_0, R_3, R_5 , кола перезаряду $C_2, R_4, VD2$.

C_1, R_1 – диференційне коло, яке слугує для „загострення” вхідних імпульсів і відповідно зменшує вплив тривалості вхідних імпульсів на $U_{вих}$ мультивібратора.

$VD1, R_2$ – діодний обмежувач для пропуску імпульсів негативної полярності.

При відсутності $U_{зан}$ початковий стан схеми характеризується діаграмою мал. 8.10 для $t=0$, при цьому $U_{вих} \approx -E_{ж}$ (напруга насичення ОП, яка дорівнює приблизно напрузі живлення $-E_{ж}$). Такий стан обумовлюється дією від’ємної напруги U_0 на неінвертуючий вхід ОП.

При по'яві імпульсу запуску $U_{зан}$ ОП підсилить, проінвертує вхідний від'ємний імпульс і перейде в протилежний насичений стан, а саме +Еж. На конденсаторі з'явиться стрибок напруги. Конденсатор С разом з резисторами R4, R3, R5 створює диференційну ланку, тому на прямому вході ОП виникне позитивна напруга, яка буде тримати ОП в насиченому до +Еж стані, аж поки напруга U_+ на прямому вході ОП від дії U_0 та напруги на конденсаторі знову не стане від'ємною. Тоді ОП знову перейде в насичений до –Еж стан.

Тривалість імпульсу задається параметрами кола, по якому перезаряджається конденсатор.

$$\tau_{зар} \approx C_2 (R_4 + R_3 // R_5).$$

Тривалість вихідного імпульсу

$$t_i = -\tau_{зар} \ln \frac{U_0(R_3 + R_4 // R_5)}{E_{ж}R_3}.$$

Подібні схеми використовуються в колах затримки, реле часу, пускових пристроях.