

## Лекція 7. ІМПУЛЬСНІ ПРИСТРОЇ

### 7.1. Загальні відомості про імпульсні пристрої. Параметри імпульсів

### 7.2. Електронні ключі та найпростіші схеми формування імпульсів

### 7.3. Мультивібратори

#### 7.3.1. Загальні відомості

#### 7.3.2. Мультивібратор з колекторно-базовими зв'язками в автоколебальному режимі

#### 7.3.3. Мультивібратор на ОП

#### 7.3.4. Одновібратор з колекторно-базовими зв'язками

#### 7.3.5. Одновібратор на ОП

### 7.4. Блокінг-генератори

#### 7.1. Загальні відомості про імпульсні пристрої. Параметри імпульсів

Імпульсними називають пристрої, що працюють не безперервно, а в переривчастому режимі, коли короткочасна дія сигналу чередується з паузою, тривалість якої сумірна з тривалістю перехідних процесів (якщо тривалість несумірно більша, то процес вважається таким, що встановився).

Використання імпульсних режимів роботи має ряд переваг порівняно з неперервними режимами, а саме:

1) у імпульсному режимі можна отримати досить значну потужність в імпульсі за незначної середньої потужності, а оскільки габарити електронних пристроїв визначаються, головним чином, середньою потужністю, то імпульсні пристрої мають менші габарити, ніж пристрої, що працюють у безперервному режимі;

2) імпульсні пристрої майже не зазнають впливу такого дестабілізуючого фактору як зміни температури навколишнього середовища, бо працюють у ключовому режимі: увімкнено-вимкнено;

3) імпульсні пристрої мають значну швидкодію та високу завадостійкість;

4) імпульсні пристрої, навіть найскладніші (наприклад, обчислювальні машини) будуються з простих однотипних елементів, що дозволяє широко використовувати інтегральну технологію, забезпечуючи підвищену надійність і невеликі габарити;

5) застосування імпульсних (цифрових) методів у вимірювальній техніці дозволило суттєво підвищити точність вимірів та зручність роботи з вимірювальними приладами.

Імпульсні пристрої широко використовують при побудові систем керування та регулювання для:

1) формування імпульсів необхідної форми, тривалості і полярності із синусоїдних коливань та імпульсів іншої форми;

2) генерування імпульсів із заданими параметрами;

3) керування імпульсами, пов'язаного з визначенням їх часового положення (затримка, синхронізація, рахунок, розподіл та ін.).

Отже, імпульс – це короткочасна зміна напруги (струму) в електричному колі від нуля до деякого значення, тривалість якої сумірна або менша за тривалість перехідних процесів у цьому колі.

За геометричною формою (рис. 7.1.) імпульси бувають прямокутні, трапецевидні, дзвоноподібні (як у підсилювача синусоїдних коливань у режимі класу  $B$ ), експоненційні

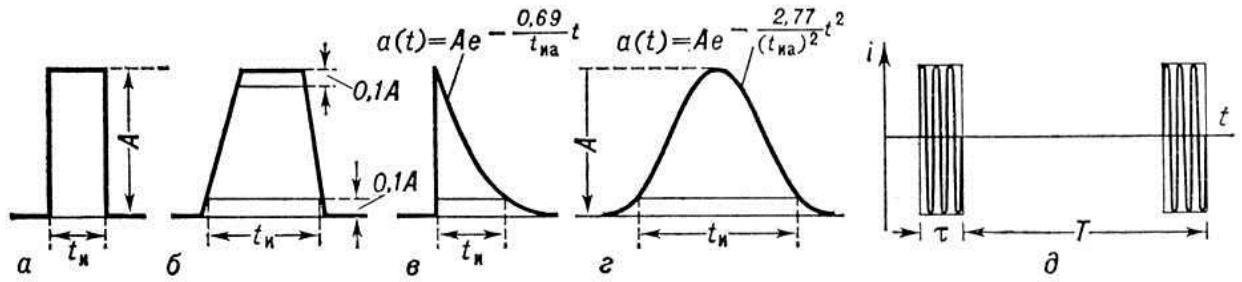


Рис. 7.1 – Імпульси різної форми: а) прямокутної; б) трапецевидної; в) експоненціальної; г) дзвоноподібної; д) радіоімпульси.

Розрізняють відеоімпульси та радіоімпульси.

Відеоімпульс – це імпульс у колі постійного струму. Відео-імпульси можуть бути позитивні, негативні або різнополярні.

Радіоімпульс являє собою короткочасний пакет високочастотних коливань, обвідна якого має форму відео імпульсу (рис.7.1, д).

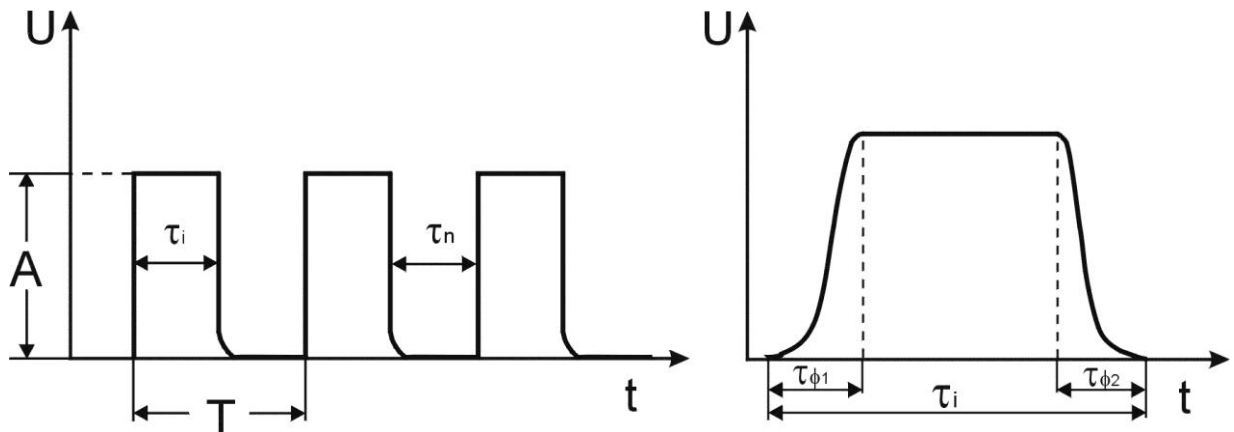


Рис. 7.2 – Основні параметри імпульсів

Параметри послідовності імпульсів розглянемо на прикладі прямокутних імпульсів з рис. 7.2. Це:

$T$  – період надходження імпульсів;

$f = T^{-1}$  – частота повторення;

$t_i$  – тривалість імпульсу;

$U_i$  – амплітуда імпульсу;

$t$  – тривалість паузи;

$$Q = \frac{T}{t_i} \text{ - щільність імпульсів} \quad (7.1)$$

(величина, зворотна до  $Q$ , називається коефіцієнтом заповнення);

$$U_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^{t_i} U_i dt = \frac{U_i}{Q} \text{ - середнє значення напруги;} \quad (7.2)$$

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{t_i} U_i^2 dt} = \frac{U_i}{\sqrt{Q}} \text{ - ефективне (діюче) значення напруги;} \quad (7.3)$$

$$P_{cp} = \frac{P_i}{tQ} \quad - \quad \text{середня потужність} \quad (7.4)$$

(при цьому потужність джерела живлення імпульсного пристрою повинна бути не меншою за  $P_{cp}$ ; тоді, накопичуючи енергію під час паузи, можна в імпульсі видавати потужність  $P_i$  у  $Q$  разів більшу за  $P_{cp}$ . За таким принципом працюють фотоспалах, крапкова зварка і подібні пристрої).

На рис. 7.3 зображено класичну форму реального прямокутного імпульсу.

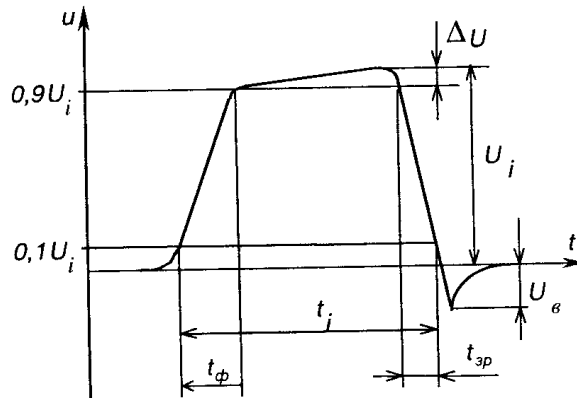


Рис. 7.3 – Параметри несиметричного імпульсу

Прямокутний імпульс має такі параметри:

$U_i$  – амплітуда імпульсу;

$\Delta U$  – нерівномірність вершини;

$t_i$  – тривалість імпульсу на рівні  $0,1U_i$  (іноді, наприклад, для оцінки енергетичної дії імпульсу її беруть на рівні  $0,5U_i$ );

$t_\phi$  – тривалість переднього фронту;

$t_{зр}$  – тривалість заднього фронту (зрізу);

$U_в$  – амплітуда викиду.

Деякі імпульси не мають вершини (наприклад, див. рис. 7.1, д).

Пропускна спроможність імпульсного пристрою за частотою визначається спектром імпульсу, який є наслідком розкладання імпульсу у ряд Фур'є, тобто на нескінченну кількість гармонічних складових різної частоти.

Зокрема, частотні властивості імпульсного сигналу визначаються активною шириною частотного спектру  $F_a$ : беруться частоти від  $f = 0$  до  $f_{гp} = F_a$ , що відповідає 95% енергії імпульсного сигналу.

Наприклад, активна ширина спектру:

- у прямокутного імпульсу  $F_a = \frac{2}{t_i}$ ;

- у дзвоноподібного імпульсу  $F_a = \frac{0,25}{t_i}$ .

## 7.2. Електронні ключі та найпростіші схеми формування імпульсів

Ключ – це елемент схеми, що має два тривалих стани: увімкнений та вимкнений.

Найближчим за параметрами до ідеального ключа є електромеханічний контакт (ключ), що має нескінченний опір у розімкнутому стані і нульовий у замкнутому. У наш час в електронних пристроях в якості ключів найчастіше використовують напівпровідникові діоди, транзистори, тиристори.

Схему найпростішого ключа на електромеханічному контакті (реле) та часові діаграми його роботи зображено на рис. 7.4.

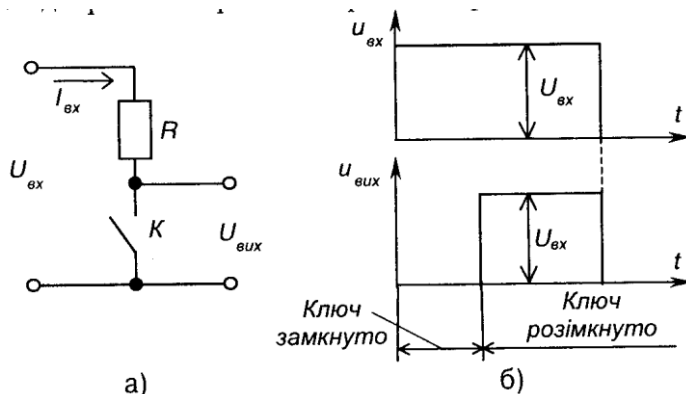


Рис. 7.4 – Ключ на електромеханічному контакті (а) і часові діаграми його роботи (б)

Схема одного з найпростіших діодних ключів та його передатна характеристика зображені на рис. 7.5 – це паралельний діодний ключ–обмежувач низу.

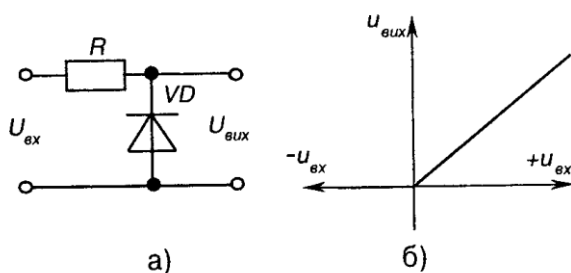


Рис. 7.5 – Діодний ключ (а) та його передатна характеристика (б)

Зрозуміло, що точність його роботи визначається параметрами реального діода (див. ВАХ) – прямим спадом напруги до  $1В$  і зворотним струмом (пряма гілка ВАХ ідеального ключового елемента збігається з відрізком вісі струму  $0 \div I_{np}$ , а зворотна – з відрізком вісі напруг  $0 \div U_{зв}$ ).

Для того, щоб виключити зв'язок між вхідним та вихідним колами і забезпечити підсилення, у якості ключа використовують транзистори. Схему транзисторного ключа зображено на рис. 7.6.

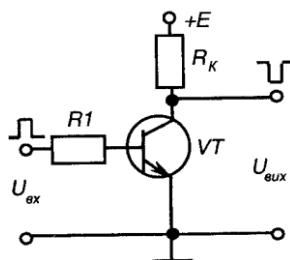


Рис. 7.6 – Транзисторний ключ

Найпростішими колами формування імпульсів (формуєчими колами) є диференціюючі та інтегруючі  $RC$  - кола.

У диференціюючого кола, схему якого зображено на рис. 7.7, а, напруга на виході пропорційна похідній за часом вхідної напруги, як це видно з наступних математичних викладів.

У інтегруючого кола, схему якого зображено на рис. 7.8, а, вихідна напруга пропорційна інтегралу за часом від вхідної.

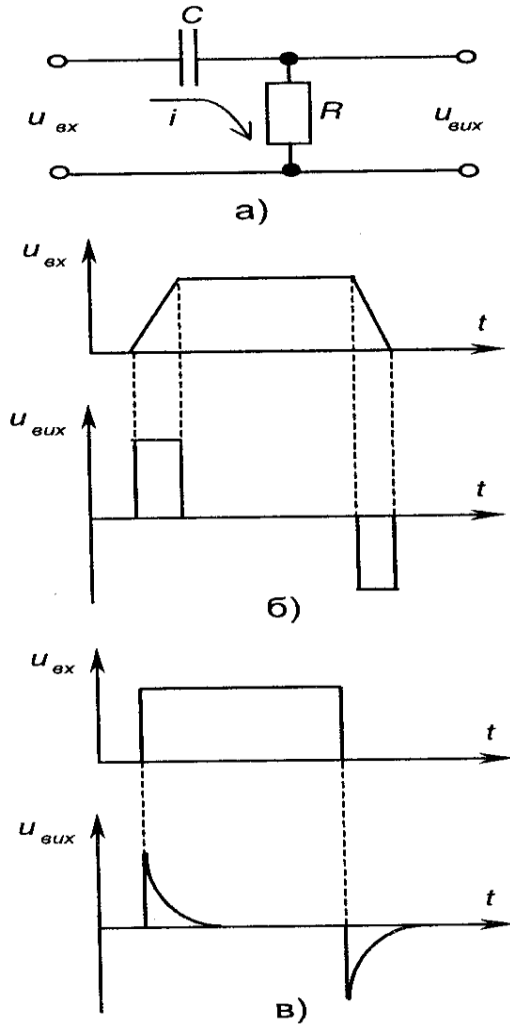


Рис. 7.7 – Диференціююче

$RC$  - коло (а) і часові діаграми його роботи (б), (в)

Для ідеального випадку:

$$u_{vux} = K \frac{du_{ex}}{dt}, \quad (7.5)$$

тому що

$$i = C \frac{du_c}{dt}, \quad (7.6)$$

$$u_{vux} = RC \frac{du_c}{dt}, \quad (7.7)$$

$$u_c = u_{ex} - u_{vux}. \quad (7.8)$$

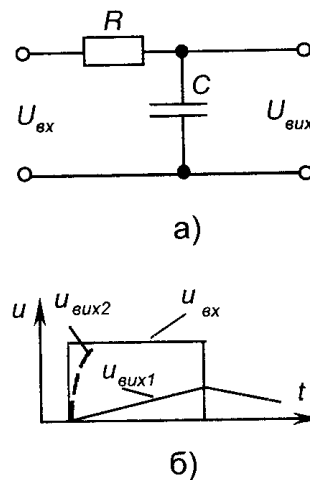


Рис. 7.8 – Інтегруюче коло для формування імпульсів

Якщо

$$u_c = u_{ex}, \quad u_{vux} = u_R \square u_{ex} \quad (7.9)$$

і забезпечуються умови виконання  $RC$  – колами операції диференціювання (а саме:

- для гармонійного сигналу це:  $R \square \frac{1}{\omega C}$ , де  $\omega = 2\pi f$ ;  $f$  – частота;

- для імпульсного сигналу  $RC \square t_i$ , де  $t_i$  – тривалість імпульсу), матимемо:

$$u_{vux} = RC \frac{du_{ex}}{dt}, \quad (7.10)$$

де  $RC = \tau$  – стала часу.

Часові діаграми роботи диференціюючого кола наведені на рис. 7.7, б (для трапецевидної форми імпульсів) і рис. 7.7, в (для прямокутного імпульсу для випадку, коли не виконується умова диференціювання).

Роботу схеми рис. 7.8 пояснюють такі математичні виклади:

$$u_{\text{вих}} = u_c = \frac{1}{C} \int_0^t i_c dt, \quad (7.11)$$

$$i_c = \frac{u_{\text{вх}} - u_c}{R}. \quad (7.12)$$

Якщо  $U_c \ll U_{\text{вх}}$ , отримаємо

$$i_c = \frac{u_{\text{вх}}}{R}, \quad (7.13)$$

$$U_{\text{вих}} = \frac{1}{RC} \int_0^t u_{\text{вх}} dt = \frac{1}{\tau} \int u_{\text{вх}} dt, \quad (7.14)$$

(за умови виконання інтегруючим колом операції інтегрування:

- для гармонійного сигналу  $R \ll \frac{1}{\omega C}$ ;

- для імпульсного сигналу  $RC \ll t_i$ ).

Часові діаграми роботи інтегруючого кола для вхідного імпульсу прямокутної форми наведені на рис. 7.8, б (під час виконання умови інтегрування –  $u_{\text{вих1}}$  і під час її невиконання –  $u_{\text{вих2}}$ ).

## 7.3. Мультивібратори

### 7.3.1. Загальні відомості

Мультивібратори (від латинського *multum* – багато; *vibro* – коливаю) – це релаксаційні автогенератори напруги прямокутної форми (релаксаційний – такий, що різко відрізняється від гармонійного – синусоїдного; автогенератор – пристрій, що генерує незатухаючі коливання без запуску ззовні і не має стійких станів).

Виконуються мультивібратори на основі електронних приладів, що мають на вольт-амперній характеристиці ділянку з негативним опором (наприклад, тунельні діоди, тиристори), а також на підсилювачах постійного струму з позитивними зворотними зв'язками (на транзисторах, ОП, цифрових і спеціальних ІМС). Електронні прилади, що використовуються в мультивібраторах працюють у ключових режимах.

Мультивібратори можуть працювати у трьох режимах: чекаю-чому, автоколивальному та режимі синхронізації.

Найчастіше вони працюють у автоколивальному режимі, коли мультивібратор має два квазістабільних (нестійких) стани рівноваги і переходить із одного стану в інший самочинно під впливом

внутрішніх перехідних процесів. У такому режимі мультивібратор використовується як генератор прямокутної напруги.

У чекаючому режимі мультивібратор має один сталий і один квазісталий стани рівноваги. Зазвичай він знаходиться у сталому стані і переходить до квазісталого під дією зовнішнього електричного сигналу. Час перебування у квазісталому стані визначається внутрішніми процесами в схемі мультивібратора. Такі мультивібратори використовуються для формування імпульсів напруги необхідної тривалості, а також для затримки імпульсів на визначений час. Мультивібратор, що працює у такому режимі, має назву одновібратора.

У режимі синхронізації використовується мультивібратор, що працює в автоколивальному режимі, але його перехід із одного стану в інший забезпечується зовнішньою синхронізуючою напругою. Для його нормальної роботи в цьому режимі необхідно, щоб частота синхронізуючого сигналу перевищувала частоту власних коливань. У результаті частота коливань мультивібратора практично не залежить від дестабілізуючих факторів, що впливають на його елементи. Використовуються такі мультивібратори для створення генераторів стабільної частоти і при керуванні складними електронними пристроями, робота яких синхронізована якоюсь зовнішньою дією (наприклад, синхронізація розгортки електронного осцилографа).

Загалом, мультивібратори повинні забезпечувати стабільність частоти і довжини імпульсів, а також необхідну (зазвичай мінімальну) тривалість їх фронтів.

### 7.3.2. Мультивібратор з колекторно-базовими зв'язками в автоколивальному режимі

Автоколивальний мультивібратор на транзисторах найчастіше виконують за симетричною схемою з колекторно-базовими зв'язками.

Він складається з двох однакових каскадів підсилення з СЕ. Для забезпечення позитивного зворотного зв'язку, за рахунок якого мультивібратор самозбуджується, вихідна напруга кожного з каскадів подається на вхід іншого. Схему такого мультивібратора зображено на рис. 7.9. І хоча зараз її практично не застосовують (бо використовують, в основному, мультивібратори на ІМС), вона найкраще підходить для здобуття навиків аналізу роботи імпульсних пристроїв.

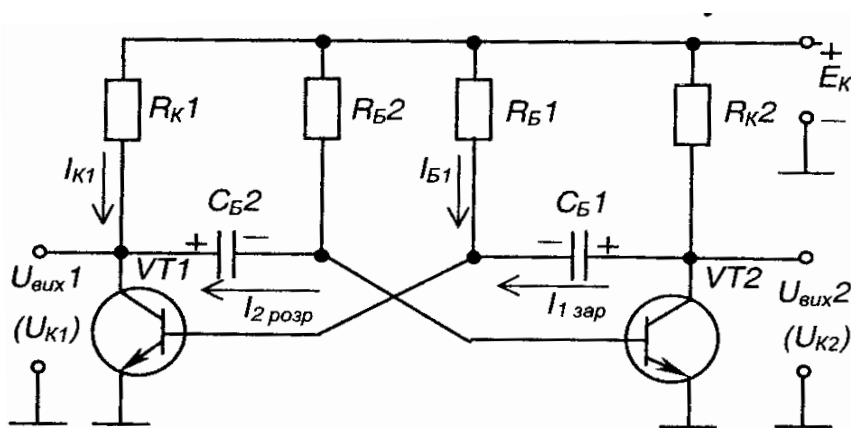


Рис. 7.9 – Мультивібратор з колекторно-базовими зв'язками

Симетрія схеми забезпечується тим, що задають:  $R_{B1}=R_{B2}$ ,  $R_{K1}=R_{K2}$  (вони призначені для забезпечення насиченого стану транзисторів),  $C_{B1}=C_{B2}$  (забезпечують зв'язок між каскадами). Відповідно, параметри транзисторів повинні бути повністю ідентичні. І така ідеальна схема буде непрацездатною: обидва транзистори будуть відкриті. Неможливість реально забезпечити абсолютну симетрію і наявність позитивного зворотного зв'язку призводять до того, що після подачі напруги живлення один із транзисторів повністю відкривається, а другий – закривається.

Роботу мультивібратора ілюструють часові діаграми, наведені на рис. 7.10.

Отже, мультивібратор має два квазісталих стани:

- 1 – транзистор  $VT1$  відкритий, а  $VT2$  закритий;
- 2 – транзистор  $VT2$  відкритий, а  $VT1$  закритий.

Нехай початковий стан мультивібратора такий:  $VT1$  відкритий (знаходиться у режимі насичення), а  $VT2$  закритий (знаходиться у режимі відтинання). При цьому і надалі:

- 1) через  $VT1$  і  $R_{K1}$  від  $E_K$  протікає колекторний струм насичення  $I_{K1}$ ;
- 2) через  $R_{B1}$  і базо-емітерний перехід  $VT1$  протікає струм бази  $I_{B1}$  який утримує  $VT1$  у режимі насичення (маємо схему зміщення фіксованим струмом бази);
- 3) конденсатор  $C_{B1}$  заряджається струмом  $I_{зар}$  від  $E_K$  через  $R_{K2}$  і базо-емітерний перехід  $VT1$ ;
- 4) конденсатор  $C_{B2}$  заряджений із вказаною на схемі полярністю до напруги, рівної  $E_K$  (у попередньому такті роботи схеми), і через  $VT1$  (замкнений ключ) підімкнений до нульової точки, за рахунок чого через нього протікає струм  $I_{розр}$  від  $E_K$  через  $R_{B2}$ ; цей струм намагається перезарядити  $C_{B2}$  від напруги  $-E_K$  до напруги  $+E_K$ , при цьому негативна напруга з  $C_{B2}$  подається на базу  $VT2$  відносно його емітера і утримує транзистор у закритому стані (розімкнений ключ);

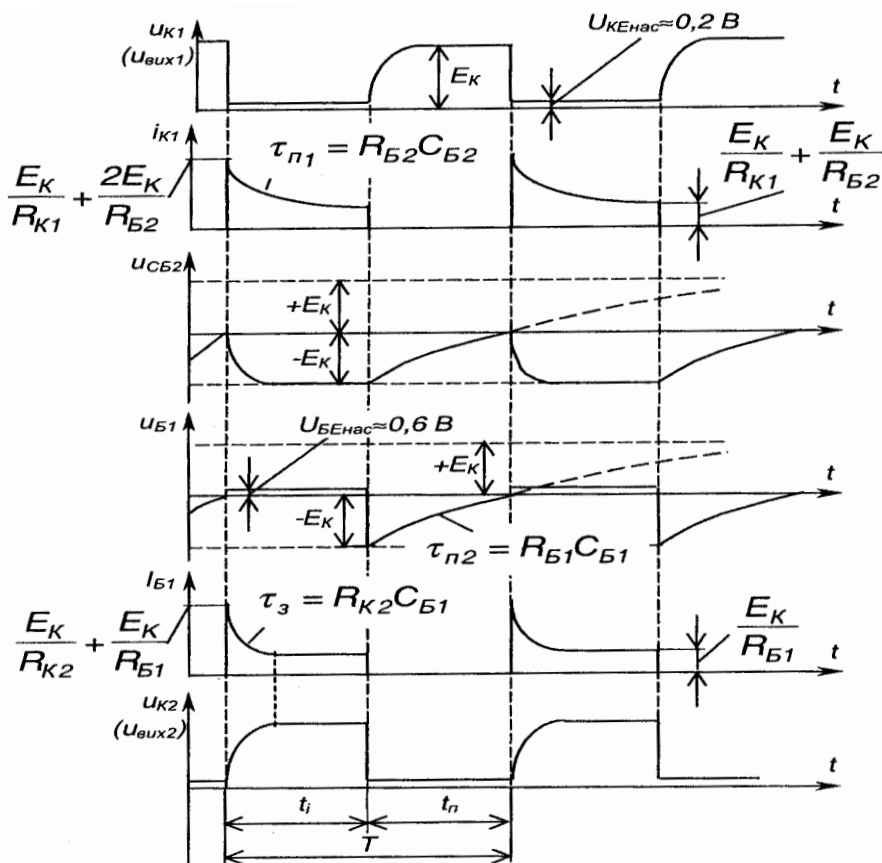


Рис. 7.10 – Часові діаграми роботи мультивібратора з колекторно-базовими зв'язками.



5) процес перезаряду конденсатора  $C_B$ , триває доти, доки напруга на ньому не перетне нульового рівня і не стане вищою за порогову напругу базо-емітерного переходу транзистора  $VT2$   $U_{BE\text{ нас}} \approx 0,6\text{В}$ , після чого пройде базовий струм  $VT2$  і він почне відкриватися;

6) через  $VT2$ , що перейшов у активний режим, конденсатор  $C_{B1}$  обкладкою «+» підмикається до нульової точки, і негативна напруга з  $C_{B2}$  подається на базу  $VT1$  відносно його емітера, закриваючи транзистор;

7) як тільки  $VT1$  починає закриватися, збільшується позитивна напруга на його колекторі і починає заряджатися  $C_{B2}$  від  $E_K$  через  $R_{K1}$  і базо-емітерний перехід  $VT2$ , за рахунок чого останній відкривається ще більше – діє позитивний зворотний зв'язок: розвивається лавиноподібний регенеративний процес, після закінчення якого  $VT1$  повністю закривається, а  $VT2$  відкривається і мультівібратор переходить до свого другого квазісталого стану.

Далі процеси у схемі протікають аналогічно, тільки тепер заряджається  $C_{B2}$ , а перезаряджається  $C_{B1}$ .

Таким чином, пристрій фактично працює за рахунок автоматичної комутації конденсаторів ключами-транзисторами.

Умовами працездатності мультівібратора є:

$$\begin{aligned} R_{K2}C_{B1} < R_{B2}C_{B2}; & \quad R_{K1}C_{B2} < R_{B1}C_{B1}; \\ R_{K1}\beta_1 \geq R_{B1}; & \quad R_{K2}\beta_2 \geq R_{B2}. \end{aligned} \quad (7.15)$$

Тривалість імпульсів, що знімаються з колекторів транзисторів  $VT1$  або  $VT2$ , становить відповідно

$$t_1 \approx 0,7R_{B1}C_{B1}; \quad t_2 \approx 0,7R_{B2}C_{B2}. \quad (7.16)$$

Період надходження імпульсів:  $T = t_1 + t_2$ .

Для симетричної схеми:

$$T \approx 1,4RC, \quad (7.17)$$

де  $R = R_{B1} = R_{B2}$ ;  $C = C_{B1} = C_{B2}$ .

Співвідношення величин  $t_1$  і  $t_2$  (шпаруватість) можна змінювати, порушуючи симетрію схеми: наприклад, збільшуючи величину  $R_{B1}$  і пропорційно зменшуючи величину  $R_{B2}$ . При цьому тривалість періоду залишається незмінною. Якщо змінювати величину тільки одного з резисторів або конденсаторів, то за постійної тривалості імпульсу (або паузи) будуть змінюватись період і шпаруватість.

Недоліком розглянутої схеми є значно спотворений передній фронт генерованих імпульсів (він являє собою експоненту). Це відбувається через те, що вихідним сигналом пристрою є напруга, що знімається з транзисторного ключа і під'єданого паралельно до нього конденсатора – фактично це є напруга на конденсаторі, що заряджається. Скоротити тривалість фронтів (час заряду конденсаторів) можна, наприклад, зменшивши величину колекторних резисторів  $R_{K1}$  і  $R_{K2}$ . Але це призведе до значних енергетичних втрат: через транзистори у режимі насичення буде протікати великий струм.

Оскільки причиною спотворення є процес заряду конденсаторів, то забезпечити якість генерованих імпульсів можна, відключаючи колектори транзисторів від кіл заряду конденсаторів. Для цього в схему мультівібратора необхідно ввести допоміжні ключі – наприклад, діоди  $VD1$  і  $VD2$ , як це показано на рис. 7.11.

Для створення кіл заряду конденсаторів тут введено резистори  $R_1$  і  $R_2$ . У результаті, діодні ключі відтинають кола заряду від колекторів на час заряду. Тому такий мультивібратор називають мультивібратором з відтинаючими діодами.

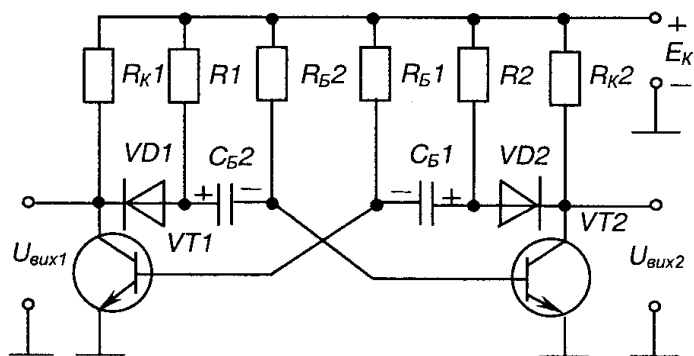


Рис. 7.11 – Мультивібратор з відтинаючими діодами

Перезаряджати конденсаторам діодні ключі не заважають. Тепер довжина фронтів імпульсів майже однакова і визначається частотними властивостями транзисторів і діодів, а також паразитними ємностями схеми.

### 7.3.3. Мультивібратор на ОП

Схему мультивібратора на ОП наведено на рис. 7.12, а, часові діаграми роботи – на рис. 7.13. Автоколивальний режим (збудження генератора) забезпечується позитивним зворотним зв'язком, що охоплює ОП з виходу на неінвертуючий вхід дільником  $R_1$ ,  $R_2$ . Часові характеристики вихідного сигналу визначаються інтегруючим  $RC$  – колом, увімкненим у коло негативного зворотного зв'язку: з виходу ОП на його інвертуючий вхід.

ОП тут фактично працює як компаратор, порівнюючи величини напруг, що подаються на його інвертуючий та неінвертуючий входи.

Величина напруги на неінвертуючому вході є частиною вихідної напруги ОП. Для абсолютних величин це:

$$|U_0| = \frac{|U_{вих}| R_2}{R_1 + R_2} \quad (7.18)$$

Тому маємо два пороги спрацьовування  $U_0^+$  і  $U_0^-$ . При цьому, якщо напруга на інвертуючому вході буде змінюватися від найбільш можливої негативної  $U_{вих}^-$  до найбільш позитивної  $U_{вих}^+$  спрацьовування відбудеться за її значення  $U_0^+$ , а якщо вона почне змінюватись у зворотному напрямку – при  $U_0^-$ . Такий пристрій (з гістерезисом за входним сигналом) називають тригером Шмітта.

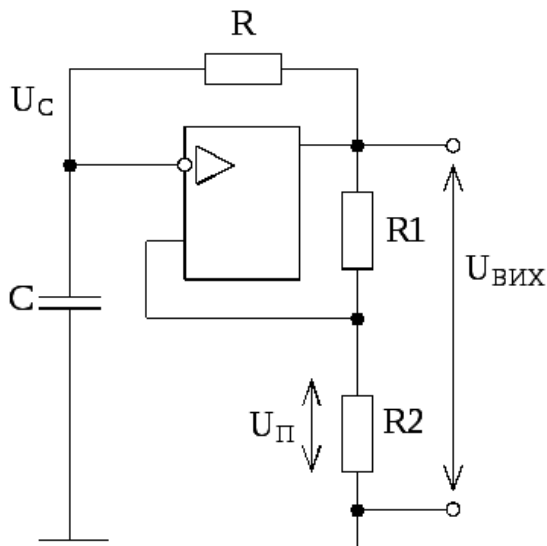


Рис. 7.12 – Мультивібратор на ОП

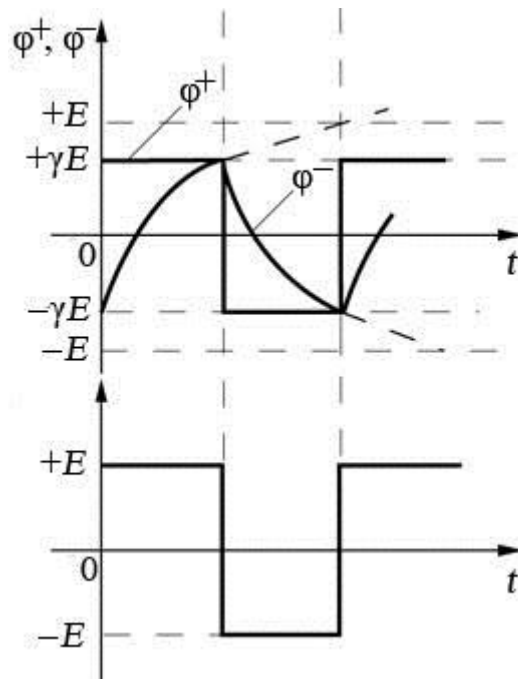


Рис. 7.13 – Часові діаграми роботи мультивібратора на ОП

Таким чином, при роботі мультивібратора порівнюються фіксована величина напруги, що знімається з діляника, зі змінною напругою на конденсаторі, який намагається зарядитися до вихідної напруги ОП  $U_{вих}$ . Як тільки величини напруг зрівнюються,  $U_{вих}$  змінює знак, а відповідно, і  $U_0$  також, а конденсатор починає заряджатися до нового значення  $U_{вих}$  і так далі. На виході ОП формується прямокутна напруга типу «меандр» – коли тривалості її негативного  $t_i^-$  і позитивного  $t_i^+$  значень однакові. Період генерованих імпульсів становить:

$$T = 2RC \ln\left(1 + 2\frac{R_2}{R_1}\right). \quad (7.19)$$

Змінити співвідношення  $t_i^-$  і  $t_i^+$  можна, якщо замість резистора  $R$  ввести два паралельних кола, що складаються з двох різних за опорамі резисторів  $R'$  і  $R''$  і послідовно ввімкнених з ними діодів  $VD1$  і  $VD2$ , які підключені зустрічно, як це показано на рис. 7.12, б.

#### 7.3.4. Одновібратор з колекторно-базовими зв'язками (чекаючий мультивібратор)

Одновібратор (чекаючий мультивібратор), схему якого зображено на рис. 7.14, являє собою двокаскадний підсилювач із позитивним зворотним зв'язком, виконаний на транзисторах  $VT1$  та  $VT2$ , увімкнених за схемою з СЕ.

Позитивний зворотний зв'язок забезпечується подачею колекторної напруги першого транзистора через конденсатор  $C_{B2}$  на базу другого транзистора та колекторної напруги другого транзистора через резистор  $R_{B1}$  та пришвидчуючий конденсатор  $C_{B1}$  – на базу першого.

Джерело негативного зміщення  $E_{зм}$  призначене для надійного утримання транзистора  $VT1$  закритим, коли схема знаходиться у сталому стані.

$VD, C, R$  є елементами кола запуску, яке призначено для переводу пристрою у квазістабільний стан під дією зовнішнього сигналу і забезпечує формування на виході одиночного прямокутного імпульсу напруги.

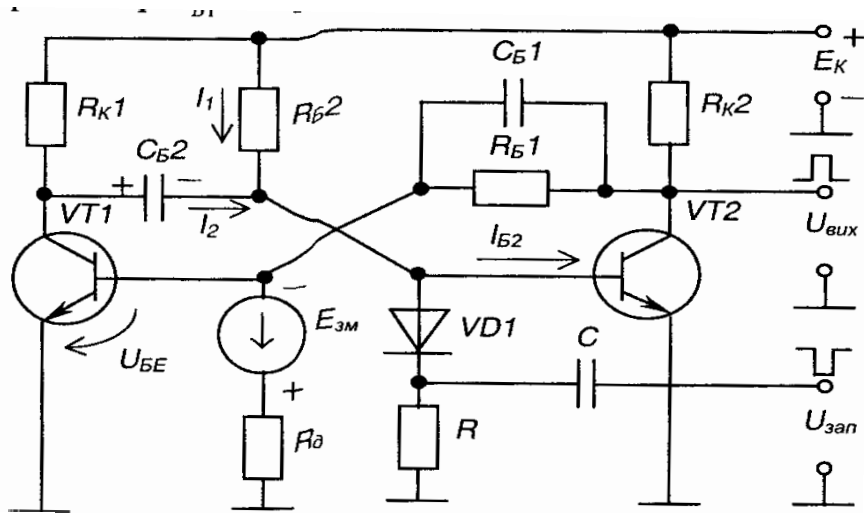


Рис. 7.14 – Одновібратор (чекаючий мультивібратор)

За відсутності сигналу запуску  $U_{зап}$  схема знаходиться у сталому стані рівноваги  $VT1$  закритий напругою  $E_{3m}$ , а  $VT2$  знаходиться у режимі насичення під дією струму  $I_{B2}$ . При цьому конденсатор  $C_{B2}$  заряджений до напруги з полярністю вказаною на рис. 7.14, а струм  $I_{B2}$  становить:

$$I_{B2} = I_1 + I_2.$$

Оскільки у сталому стані  $I_2 = 0$ , то  $I_{B2} = I_1 = E_K / R_{B2}$ .

Щоб транзистор  $VT2$  знаходився у режимі насичення, необхідно виконати умову  $I_{B2} \geq I_{BH2}$  (струму насичення). Тоді

$$I_{BH2} = \frac{I_{KH2}}{\beta_2} = \frac{E_K}{R_{K2}\beta_2}, \quad (7.20)$$

$$\frac{E_{K1}}{R_{B2}} \geq \frac{E_K}{R_{K2}\beta_2}, \quad \text{або} \quad R_{B2} \leq \beta_2 R_{K2}. \quad (7.21)$$

Роботу одновібратора ілюструють часові діаграми, зображені на рис. 7.15.

Подача на базу транзистора  $VT2$  короткого запусконого імпульсу негативної полярності через коло  $C - R - VD1$  перекидає одновібратор:  $VT2$  закривається і його колекторна напруга через прискорюючий конденсатор  $C_{B1}$  подається на базу  $VT1$ , викликаючи насичення останнього. При цьому конденсатор  $C_{B2}$  через відкритий транзистор  $VT1$  підключається у заперному напрямку до бази транзистора  $VT2$ . Тобто, завдяки позитивному зворотному зв'язку, після закінчення запусконого імпульсу транзистор  $VT2$  залишається закритим, а  $VT1$  - відкритим.

При цьому конденсатор  $C_{B2}$  починає перезаряджатися по колу  $+E_K - R_{B2} - C - VT1 -$  нульова точка схеми ( $-E_K$ ), намагаючись досягти протилежної полярності. Але, коли напруга на ньому досягне нуля, заперна напруга на базі  $VT2$  зникає і схема повертається до початкового стану:  $VT1$  - закритий,  $VT2$  - відкритий.

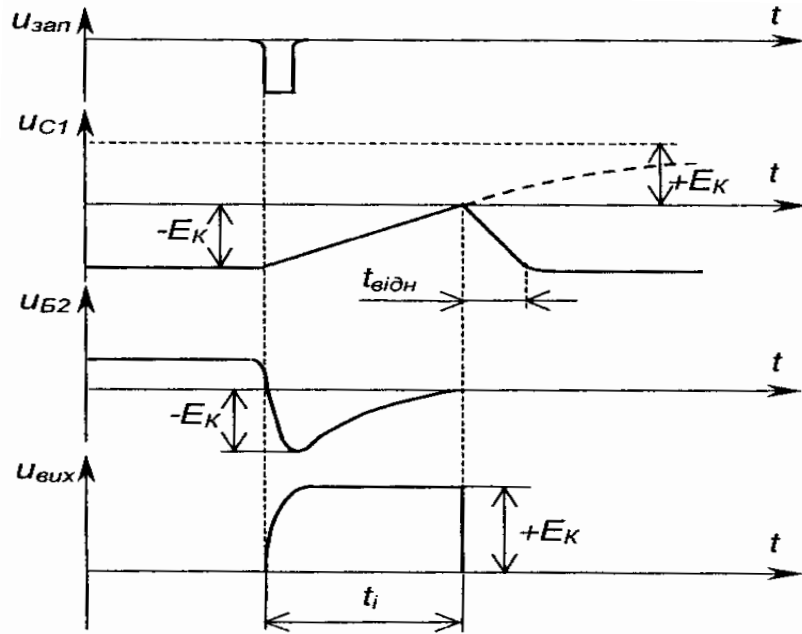


Рис. 7.15 – Часові діаграми роботи одно вібратора

Час перебування одновібратора у стані квазісталої рівноваги визначається часом розряду конденсатора  $C_{B2}$  від напруги, що дорівнює  $E_K$  до 0, при цьому на виході схеми формується прямокутний імпульс напруги тривалістю  $t_i = 0,7R_{B2}C_{B2}$ .

Час відновлення, із закінченням якого на схему знову можна подавати запускаючий імпульс, становить  $t_{відн} \approx 3R_{K1}C_{B2}$ .

Коло  $R_{B2}C_{B2}$  має назву часозадаючого.

Стала часу заряду конденсатора  $C_{B2}$  становить  $R_{K1}C_{B2}$ .

### 7.3.5. Одновібратор на ОП

Одновібратор на ОП можна отримати з мультивібратора (див. рис. 7.12), якщо зашунтувати конденсатор діодом, як це показано на рис. 7.16, а. Це виключає можливість заряду конденсатора до напруги  $U_0$  і забезпечує один стійкий стан пристрою, як показано на часових діаграмах, наведених на рис. 7.16, б. У вихідному стані конденсатор  $C_1$  розряджений, на виході маємо напругу  $U_{вих}^-$ , струм протікає через діод  $VD1$  і резистор  $R$ . Щоб перевести пристрій у квазісталий стан, необхідно в точку  $a$  подати імпульс напруги позитивної полярності більший за  $U_0^+$ . Тоді на виході будемо мати напругу  $U_{вих}^+$  і конденсатор  $C_1$ , почне заряджатися через резистор  $R$ : на виході формується імпульс позитивної полярності. Коли напруга на конденсаторі досягне значення  $U_0^+$  отримаємо на виході  $U_{вих}^-$  – закінчиться формування імпульсу, конденсатор  $C_1$  розрядиться і пристрій буде готовий до повторного запуску. Якщо тривалість запускаючого імпульсу більша за тривалість генерованого, то запускаючий подають через диференціююче коло  $R_3C_2$  і діод  $VD2$  (інакше на виході отримаємо імпульс з тривалістю запускаючого).

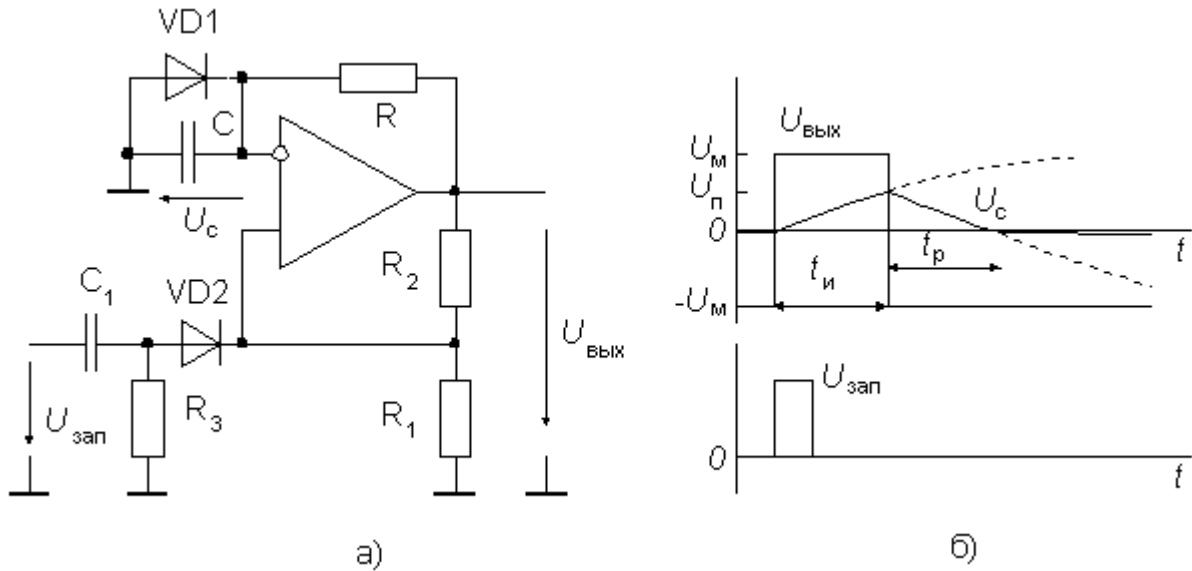


Рис. 7.16 – Одновібратор на ОП а), часові діаграми роботи одновібратора на ОП б).

Тривалість генерованого імпульсу становитиме:

$$t_i = RC_1 \ln \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right). \quad (7.22)$$

#### 7.4. Блокінг-генератори

Блокінг-генератор (однотактний) – це, як правило, однокаскадний підсилювач із трансформаторним позитивним зворотним зв'язком, який призначений для генерування потужних прямокутних імпульсів з дуже великою щільністю (від одиниць до десятків тисяч) і тривалістю від часток мікросекунди до часток мілісекунди.

Використання трансформатора дозволяє вводити допоміжні вихідні обмотки і отримати напругу вихідного імпульсу, що значно перевищує напругу живлення схеми.

Блокінг-генератор, як і мультивібратор, може працювати в автоколивальному режимі, чекаючому режимі та режимі синхронізації.

Схема блокінг-генератора, що працює в автоколивальному режимі побудована на транзисторі з СЕ, зображена на рис. 7.17.

У коло колектора транзистора увімкнена обмотка  $w_1$  імпульсного трансформатора  $TV$ , а в базове коло – обмотка  $w_2$ , що реалізує у підсилювачі зворотний зв'язок. Для забезпечення позитивного зворотного зв'язку, обмотки вмикаються зустрічно. У базове коло транзистора ввімкнено також часозадаюче  $RC$ -коло, що визначає частоту генерованих імпульсів.

Умови виникнення автоколивального режиму:

$$\varphi_k + \varphi_n = 2\pi n; \quad n = 0; 1; 2; 3; \dots; kn_1 \geq 1, \quad (7.23)$$

де  $\varphi_k$  – фазовий зсув, що вноситься підсилювачем на транзисторі  $VT$ ;

$\varphi_n$  – фазовий зсув, що вноситься трансформатором;

$k$  – коефіцієнт підсилення транзистора;

$n_1 = w_1/w_2$  – коефіцієнт трансформації трансформатора.

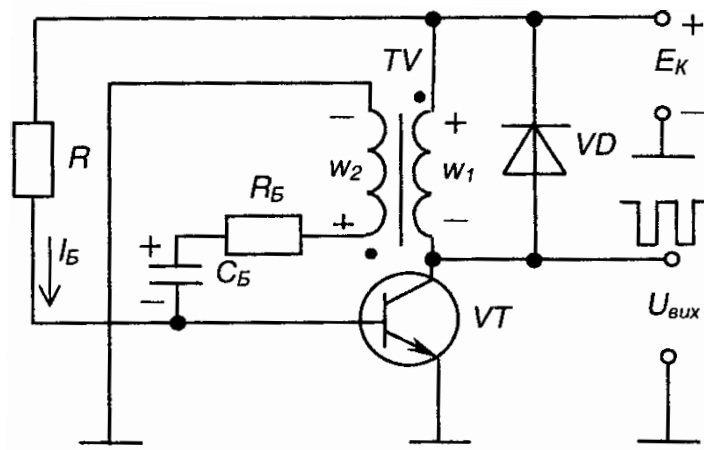


Рис. 7.17 – Блокінг-генератор

Розглянемо роботу блокінг-генератора від моменту перезаряду конденсатора  $C_B$ , що у попередньому циклі роботи був заряджений до напруги  $U_C = U_{C \max}$  (транзистор закритий), з полярністю, вказаною на рис. 7.17. Часові діаграми роботи пристрою наведено на рис. 7.18.

Коло розряду конденсатора  $C_B$ :  $+E_K - R - C - R_B - w_2$  – нульова точка схеми. У процесі розряду напруга на ньому буде змінюватися за експоненціальним законом. Коли  $U_C$  досягне нульового рівня, транзистор відкриється, з'явиться його колекторний струм, що призведе до зниження напруги на колекторі та підвищення до  $E_K$  напруги на обмотці  $w_1$ .

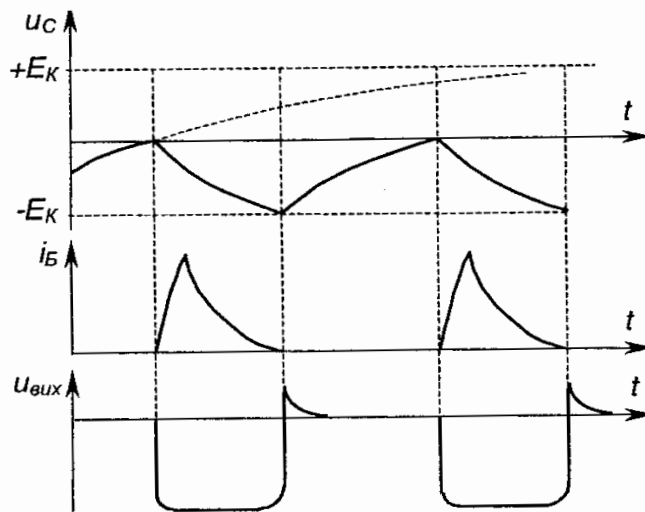


Рис. 7.18 – Часові діаграми роботи блокінг-генератора

В осерді трансформатора починає змінюватися магнітний потік і в обмотці  $w_2$  за законом електромагнітної індукції наводиться електрорушійна сила з полярністю, вказаною на рис. 7.17. Поява напруги на  $w_2$  призводить до подальшого відкривання транзистора – зростають струми бази і колектора. Це і є прямий лавиноподібний блокінг-процес, що триває частки мікросекунди. Наступний етап – формування вершини імпульсу. Струм бази транзистора, що є струмом  $RC$ -кола, змінюється експоненціально: знижується від максимального значення до нуля.

Через деякий час, що приблизно дорівнює  $3\div 4$  сталим часу  $R_B C_B$  струм бази досягне нуля, а напруга на конденсаторі максимуму (полярність вказана на рис. 7.17), і транзистор почне регенеративно закриватись: виникає зворотний блокінг-процес.

Тривалість вихідного імпульсу визначається сталою часу  $R_B C_B$ , тривалість паузи – сталою часу перезаряду конденсатора  $\tau_{пер} \approx (R + R_B) \cdot C_B$ , оскільки  $R \gg R_B$ , то щільність буде значно більша за одиницю.

Коли транзистор закривається, набута індуктивністю колекторної обмотки  $w_1$  енергія викликає на колекторі транзистора появу негатиного викиду напруги, що може призвести до пробоя транзистора. Щоб запобігти цьому, паралельно колекторній обмотці вмикають діод  $VD$ , який забезпечує протікання струму в обмотці після закривання транзистора.

Схему чекаючого блокінг-генератора зображено на рис. 7.19.

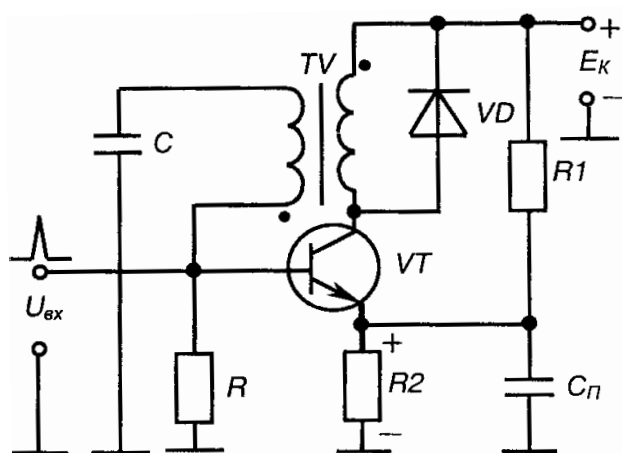


Рис. 7.19 – Чекаючий блокінг-генератор

Перехід блокінг-генератора із автоколивального режиму до чекаючого забезпечується напругою, що знімається з резистора  $R_2$ , який увімкнено до емітерного кола транзистора (ділник  $R_1 \div R_2$ ). Запуск блокінг-генератора здійснюється зовнішнім імпульсом  $U_{ex}$ .

Розглянуті блокінг-генератори широко застосовувались, наприклад, у схемах керування тиристорами, де вони забезпечували генерування коротких імпульсів необхідної потужності й електричне розділення кіл керування та силового за рахунок трансформатора.

Двотактний блокінг-генератор (генератор Роєра), схему якого зображено на рис. 7.21, генерує прямокутні імпульси фіксованої частоти із щільністю  $Q = 2$  ( $t_i = t_n$ ).

Виведення транзистора із режиму насичення тут здійснюється різким підвищенням струму колектора у момент насичення осердя трансформатора, що виконується із матеріалу, який має прямокутну петлю гістерезису (холоднокатана сталь, ферити). Часові діаграми роботи блокінг-генератора зображено на рис. 7.22.

Нехай

$$\begin{aligned} w_K &= w_{K1} = w_{K2}; \\ w_B &= w_{B1} = w_{B2}; \\ R_B &= R_{B1} = R_{B2} \end{aligned} \quad (7.24)$$



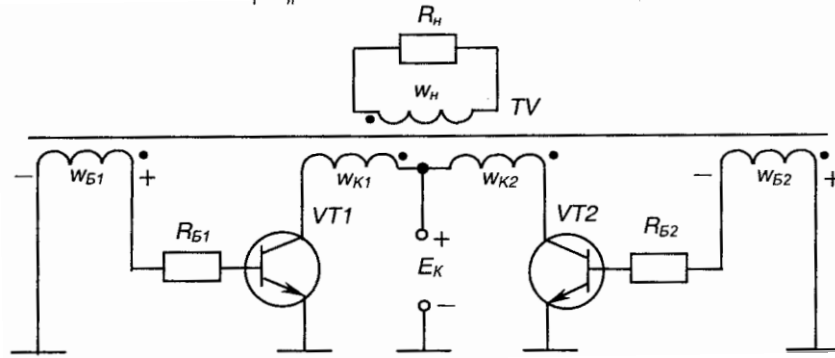


Рис. 7.20 – Двотактний блокінг-генератор

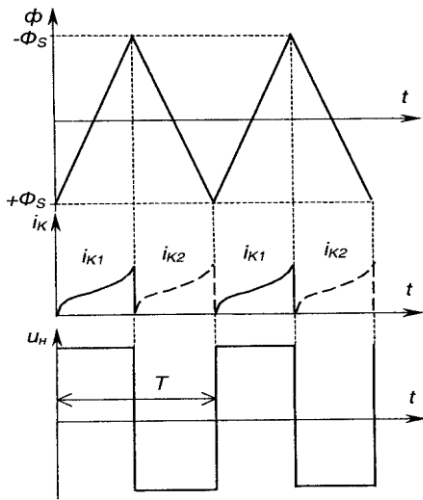


Рис. 7.21 - Часові діаграми роботи двотактного блокінг-генератора

Припустимо, що транзистор  $VT1$  має більший коефіцієнт підсилення за струмом, ніж  $VT2$ . При вмиканні джерела живлення  $I_{KVT1} > I_{KVT2}$ ; а  $U_{KVT1} < U_{KVT2}$ .

Тому на обмотку  $w_{K1}$  у колекторному колі  $VT1$  подається більша напруга, ніж на  $w_{K1}$  а отже,  $U_{wB1} > U_{wB2}$  і мають полярності, які вказані на рис. 7.20. Це призводить до того, що виникає намагнічуюча сила обмотки  $w_{K2}$  і осердя трансформатора починає перемагнічуватися, наприклад, у бік підвищення індукції  $B$ . При цьому на базових обмотках виникає напруга, що прагне відкрити  $VT1$  і закрити  $VT2$ : у процесі регенерації  $VT2$  повністю закривається, а  $VT1$  відкривається. Осердя трансформатора перемагнічується під дією  $E_K$ , що подається на  $w_{K1}$ , при цьому магнітний потік в осерді змінюється за лінійним законом.

Після насичення осердя (коли індукція стане рівною індукції насичення матеріалу осердя  $+B_S$ ) різко зростає намагнічуюча сила та колекторний струм  $I_{K1}$  першого транзистора  $VT1$ , а  $I_{B1}$  має величину, меншу за граничний струм. Транзистор  $VT1$  входить у активний режим, напруга на обмотках зменшується і змінює свій знак. У процесі регенерації, коли формуються фронти імпульсу,  $VT1$  закривається,  $VT2$  відкривається, осердя перемагнічується від  $+B_S$  до  $-B_S$ . Магнітний потік змінюється за лінійним законом від  $+\Phi_S$  до  $-\Phi_S$  завдяки напрузі  $E_K$ , що подається на  $w_{K2}$ . Напруга на виході має прямокутну форму та частоту, пропорційну  $E_K$ .

Такий блокінг-генератор, зазвичай, не використовують як генератор прямокутних імпульсів. Його застосовують для перетворення постійної напруги у змінну з частотою від декількох десятків герц до десятків кілогерц. Потужність навантаження може сягати від десятків міліват (наприклад, у лампі-спалаху фотоапарату) до декількох сот ват. Розрахувати частоту імпульсів блокінг-генератора  $f$  можна за формулою:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{E_K}{4w_K B_S S}, \quad (7.25)$$

де  $S$  – переріз осердя трансформатора.