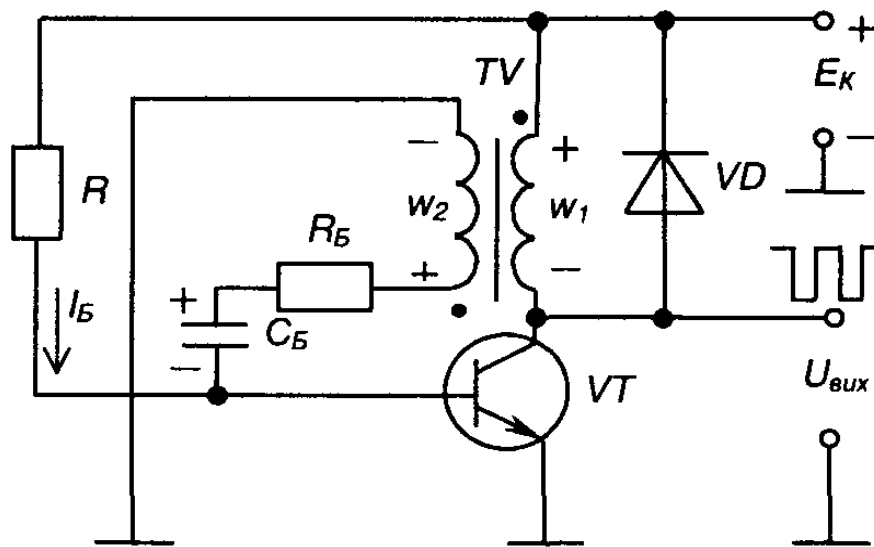


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА КВАНТОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

ШУАІБОВ О. К.

ОСНОВИ ІМПУЛЬСНОЇ ТЕХНІКИ

Навчальний посібник для самостійної роботи студентів
з курсу за вибором



Ужгород-2009

УДК 621.382.27.
ББК 32.844.1.я 73.

Основи імпульсної техніки. Навчальний посібник для самостійної роботи студента з курсу за вибором //Шуаїбов О. К. - Ужгород, ДВНЗ «УжНУ», «Говерла». 2009. – 85 с.-Іл.: 118. - Бібл.: 20 назв. – Укр. мовою. - 2009 р.

Навчальний посібник написано у відповідності до вимог тимчасового Положення ДВНЗ «УжНУ» стосовно Болонського процесу до навчальних дисциплін і призначений для курсу за вибором «Основи імпульсної техніки», який вивчається студентами, що спеціалізуються на кафедрі квантової електроніки. Навчальний посібник містить роздатковий матеріал до лекційної частини та кредитно-модульну програму цієї навчальної дисципліни. Посібник дає можливість інтенсифікувати навчальний процес, оскільки містить всі формули, схеми і таблиці до кожної з лекцій, що сприяє переходу на лекціях від монологу до діалогу з студентами. В кредитно-модульній програмі наведено повний опис тематики лекційного курсу, самостійної та індивідуальної роботи, а також приводяться питання до модульних контрольних робіт, короткі відомості про лабораторні роботи, питання до заліку і список літератури.

Навчальний посібник може бути використаний студентами старших курсів та аспірантами фізичного і інженерно-фізичного факультетів вищих навчальних закладів України.

Рецензент:

доктор фіз.-мат. наук, професор **Малінін Олександр Миколайович**, ДВНЗ «Ужгородський національний університет».

Рекомендовано до друку методичною комісією фізичного факультету ДВНЗ «УжНУ», протокол № 8 від 16 квітня 2009р.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
1. ПАСИВНІ ФОРМУЮЧІ ЛАНЦЮГИ.	5
2. ФОРМУВАЧІ І ГЕНЕРАТОРИ ПРЯМОКУТНИХ ІМПУЛЬСІВ НА ДИСКРЕТНИХ ЕЛЕМЕНТАХ	13
3. СПУСКОВІ ІМПУЛЬСНІ ПРИСТРОЇ (ТРИГЕРИ).....	27
4. СИСТЕМИ ІМПУЛЬСНО-ФАЗОВОГО КЕРУВАННЯ	35
5. РОБОЧІ ЕЛЕМЕНТИ ВИСОКОВОЛЬТНОЇ НАНОСЕКУНДНОЇ ТЕХНІКИ.....	41
6. ФІЗИКА ПРОЦЕСІВ, КОНСТРУКЦІЇ ТА РЕЖИМИ РОБОТИ ГАЗОВИХ РОЗРЯДНИКІВ І ВОДНЕВИХ ТИРАТРОНІВ.....	44
7. ІМПУЛЬСНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ	49
8. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ГАЗОВИХ ЛАЗЕРІВ З НАКАЧУВАННЯМ ПОПЕРЕЧНИМ РОЗРЯДОМ	53
ДОДАТОК	59

ПЕРЕДМОВА

Всі розділи електроніки в тій чи іншій мірі пов'язані з перетворенням, генеруванням і вимірюванням електричних імпульсів, що і є предметом вивчення імпульсної техніки і електроніки.

Імпульсна техніка і електроніка являє собою галузь науки, що займається вивченням сукупності методів та засобів перетворення, генерування і вимірювання електричних імпульсів. На даний час ця галузь науки і техніки інтенсивно розвивається в **інформаційному** напрямку, який включає електронні системи вимірювання, контролю і керування різними технологічними процесами на виробництві і в наукових дослідженнях: підсилювачі сигналів, генератори імпульсів струму і напруги різної форми та частоти, логічні схеми, лічильники й індикатори, та **силовому** напрямку, що пов'язаний з перетворенням змінного і постійного струмів для потреб електроенергетики, металургії, хімії тощо.

Курс за вибором «Основи імпульсної техніки» є одним із найбільш важливих курсів спеціалізації студентів з квантової електроніки. За структурно - логічною схемою спеціалізації він пов'язаний з попередніми курсами «Основи радіоелектроніки» та «Мікросхемотехніка» і передую наступним курсам за вибором «Фізика лазерів», «Техніка лазерів» та «Актуальні проблеми квантової фізики».

Навчальна дисципліна «Основи імпульсної техніки» також широко використовується при підготовці спеціалістів для приладобудування, комп'ютерної техніки, медичної електроніки, світлотехніки, імпульсних технологіях обробки металів та кераміки тощо.

Для успішного засвоєння курсу «Основи імпульсної техніки» студент **повинен знати:** матеріал курсу загальної фізики, особливо розділу «Електрика і магнетизм», курс електродинаміки, а з курсу вищої математики – математичний аналіз, булеву алгебру, методи розв'язку диференціальних рівнянь.

Після вивчення цієї навчальної дисципліни студент **повинен вміти:** осмислювати і інтерпретувати явища в імпульсних електричних колах низької і високої напруги, застосовувати набуті теоретичні знання під час виконання лабораторних робіт з цієї дисципліни.

ТЕМА - 1. ПАСИВНІ ФОРМУЮЧІ ЛАНЦЮГИ.

Роль імпульсної техніки в сучасній науці і технологіях. Загальні відомості про імпульси. Проходження імпульсів через RC-ланки. Диференціальні й розділові ланки. Фіксатори рівня в диференціальних RC-ланках. Інтегровальні RC-ланки. .

1.1. Імпульси: класифікація, параметри і характеристики

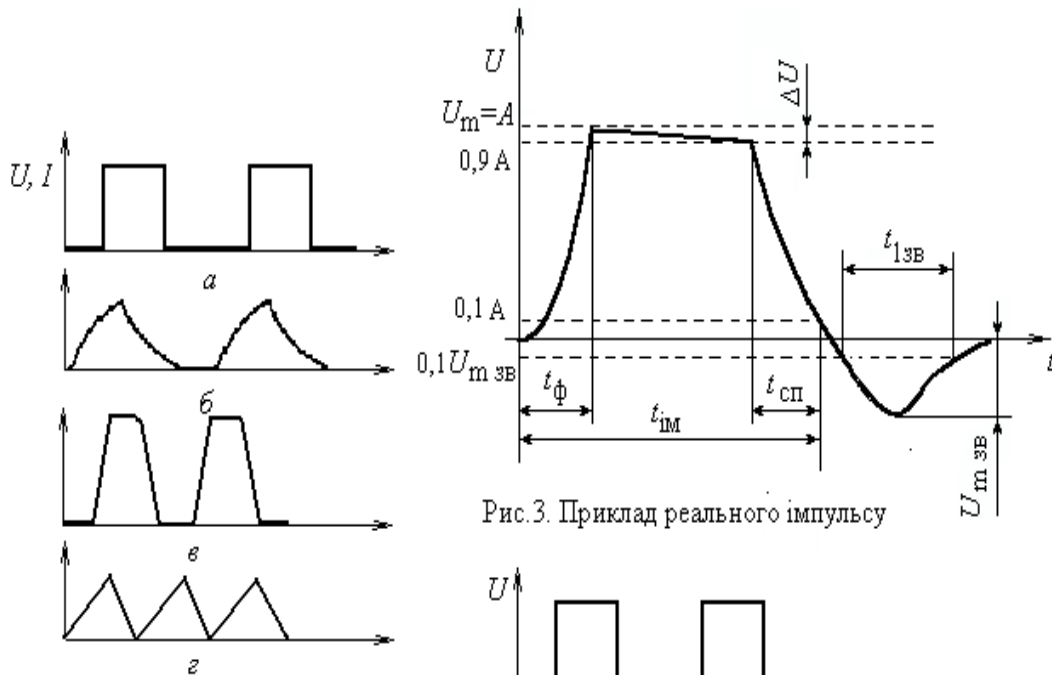


Рис. 3. Приклад реального імпульсу

Рис. 1. Різні форми імпульсів.

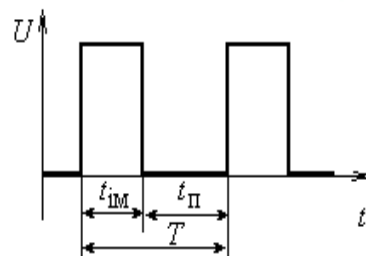


Рис. 4. Імпульсна послідовність.

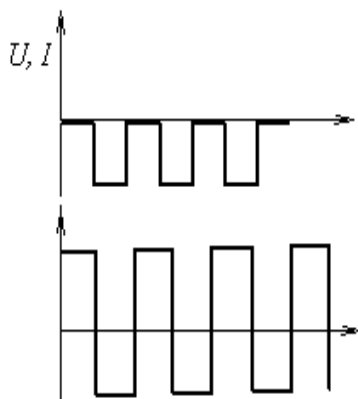


Рис. 2. Імпульси різних полярностей.

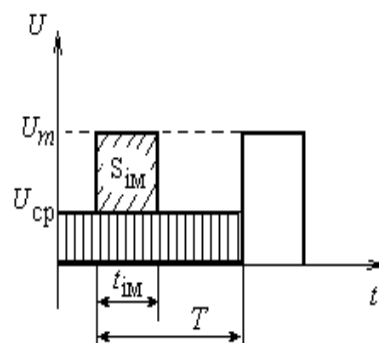


Рис. 5. Визначення середнього значення.

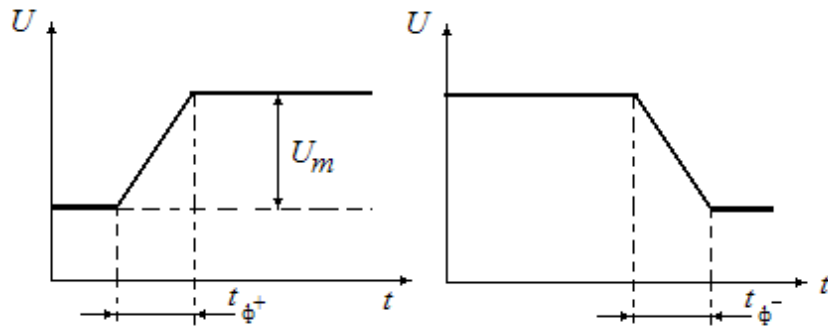


Рис.6. Перепади напруг.

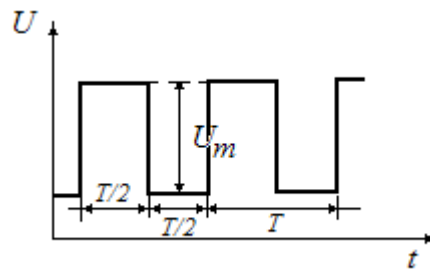


Рис.7. Меандр напруги.

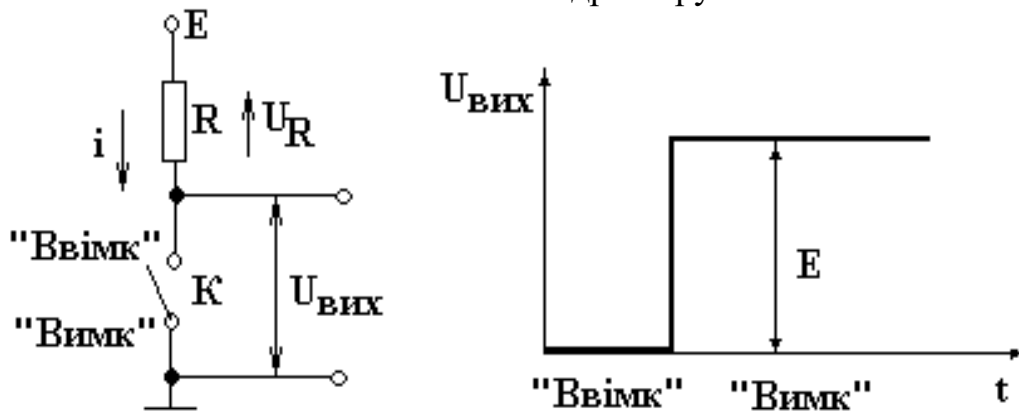


Рис.8. Схема ідеального ключа та його епюра напруги.

1.2. Проходження імпульсів через RC - ланки. Напруга та струм у RC - ланках під впливом одиночного стрибка.

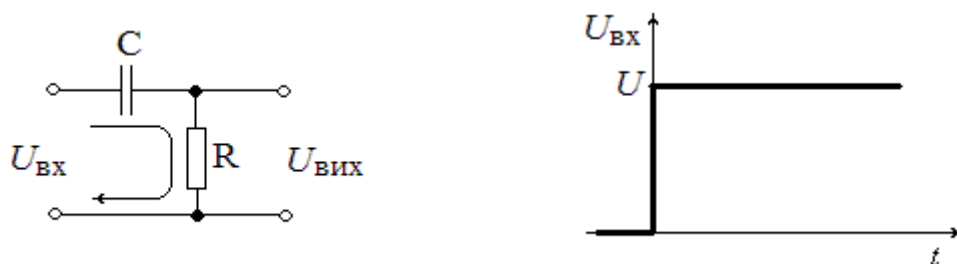


Рис.9. Принципова схема RC - ланки та одиничний стрибок напруги.

$$U_{\text{вх.}} = 0 \text{ при } t < 0; \text{ або } U \text{ при } t \geq 0. \quad (1)$$

$$\text{Початкові умови: } U_C(0) = 0, i(0) = 0, U_R(0) = 0. \quad (2)$$

$$U = U_C + U_R = U_C + iR. \quad (3)$$

$$U = U_C + RC \, dU_C/dt. \quad (4)$$

$$U_C = U(1 - \exp(-t/\tau)); \quad U_R = U \exp(-t/\tau). \quad (5)$$

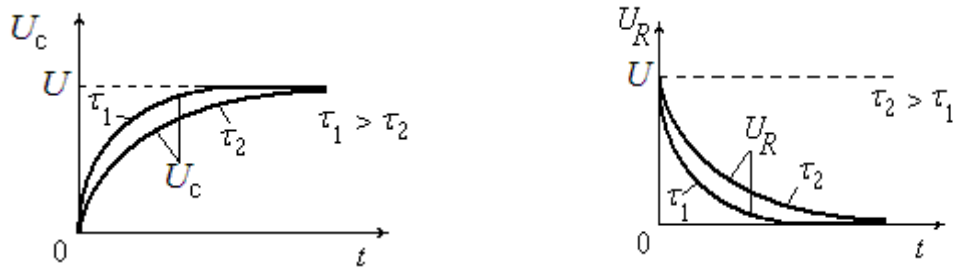


Рис.10. Залежність величин U_C і U_R від часу при різних сталих часу RC –ланки.

$$i = U_R/R = U/R \exp(-t/\tau). \quad (6)$$

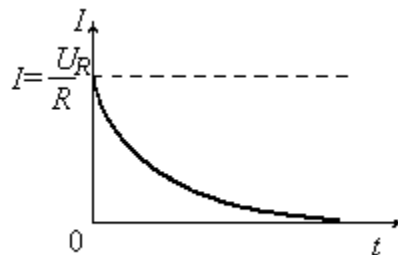


Рис.11. Залежність струму від часу в RC – ланці.

1.3. Диференціювальна і розділова RC – ланки.

$$U_{\text{вих.}}(t) = K \, dU_{\text{вх.}}/dt. \quad (7)$$

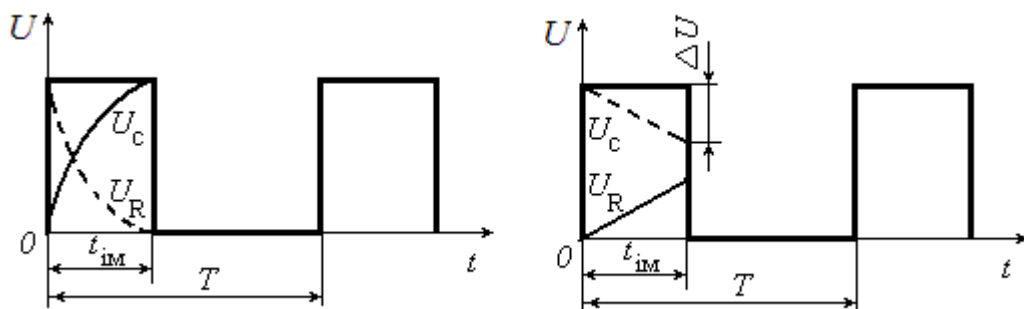


Рис.12. Режим напруг: а – режим I ($\tau \ll t_{\text{imp}}$); б – режим II ($\tau \gg t_{\text{imp}}$).

- I. Ланка диференціальна, при $\tau \ll t_{\text{imp}}$, при цьому можливі два варіанти
 а). $\tau \ll t_n$ та б). $\tau \gg t_n$.
- II. Ланка розділова, при $\tau \gg t_{\text{imp}}$, при цьому також можливі два варіанти
 а). $\tau \gg t_n$; б). $\tau \ll t_n$.

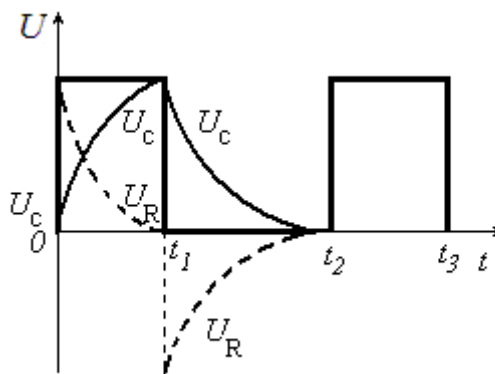
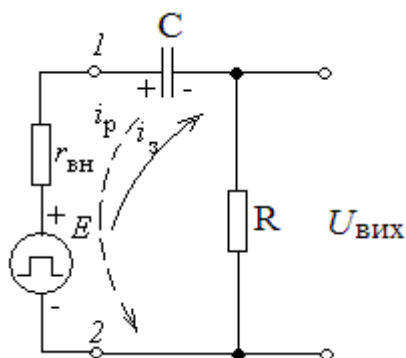


Рис.13. Принципова схема RC – ланки. **Рис.14.** Залежності $U_C(t)$ і $U_R(t)$ (I – вар.а).

$$U_{\text{ВИХ}} = i_p R = RC \frac{dU_C}{dt}, \quad U_C = U_{12} - U_{\text{ВИХ}}. \quad (8)$$

$$U_{\text{ВИХ}} = RC \frac{d(U_{12} - U_{\text{ВИХ}})}{dt}, \quad \text{і при } U_{\text{ВИХ}} \ll U_{12}. \quad (9)$$

$$U_{\text{ВИХ}} = RC \frac{dU_{\text{ВИХ}}}{dt}. \quad (10)$$

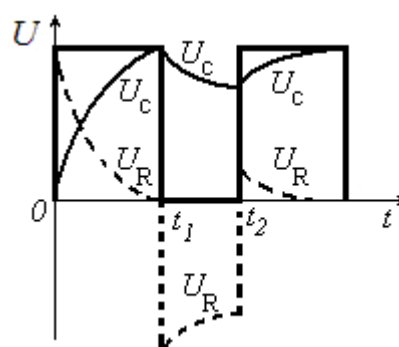
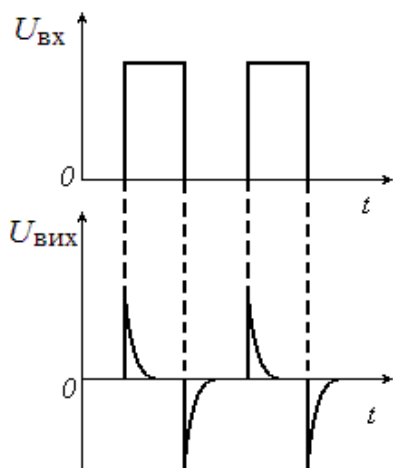


Рис.15. Графік $U_{\text{ВИХ}}$ для ланки, що диференціює.
Рис.16. Залежності $U_C(t)$ і $U_R(t)$ (режим I, варіант б).

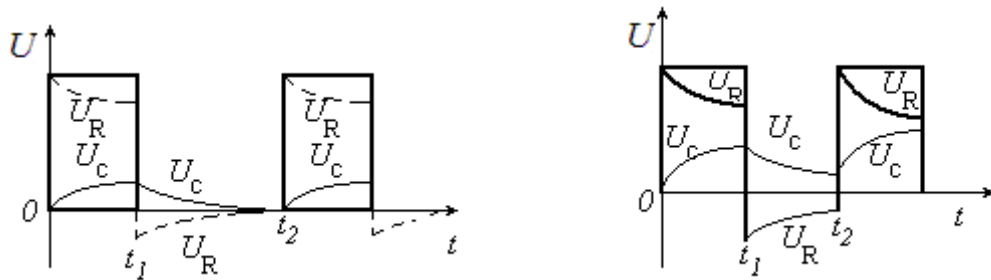


Рис.17. Залежності $U_C(t)$ і $U_R(t)$ в режимі II.

Рис.18. Режим II за : $\tau \gg t_{\text{имп}}$; $\tau \ll t_n$.

1.3. Реальні RC – ланки за імпульсного впливу.

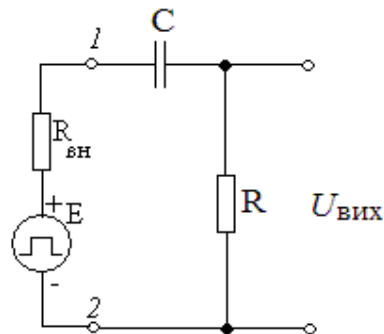


Рис.19. Схема RC – ланки з урахуванням внутрішнього опору генератора імпульсів.

$$U_R(t=0) = E R_{\text{вн}} / (R + R_{\text{вн}}); \quad U_R(t = t_1) = - U_C R / (R + R_{\text{вн}}). \quad (11)$$

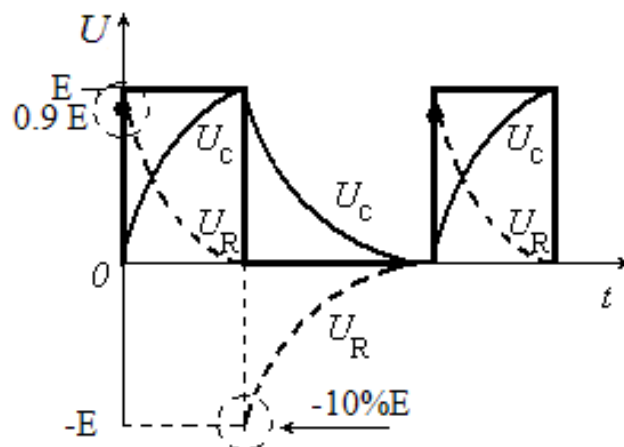


Рис.20. $U_R(t)$ у реальній ланці.

1.4. Фіксатори рівня в диференційних RC – ланках

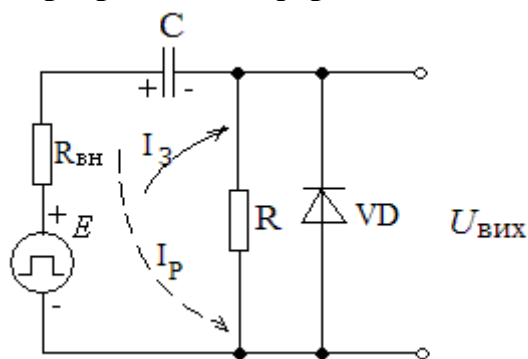


Рис.21. Принципова схема фіксатора нульового рівня позитивних імпульсів.

$$\tau_{\text{зар}} = C (R_{\text{вн}} + R R_{\text{VDзв}} / (R + R_{\text{VDзв}})). \quad (12)$$

$$\tau_{\text{розр}} = C (R_{\text{вн}} + R_{\text{VDпр}} \parallel R). \quad (13)$$

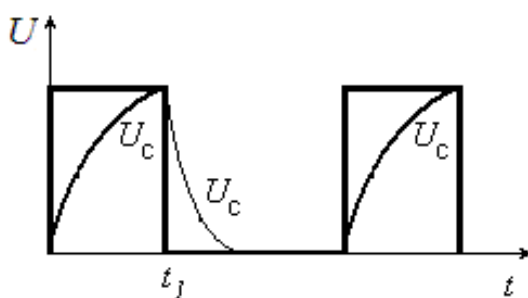


Рис.22. Напруга на конденсаторі фіксатора нульового рівня позитивних імпульсів.

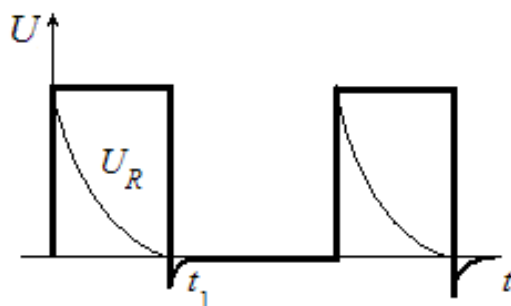


Рис.23. Вихідна напруга фіксатора нульового рівня позитивних імпульсів.

$$U_R(t_1) = - U_C R_{\text{VDпр}} / (R + R_{\text{VDпр}}). \quad (14)$$

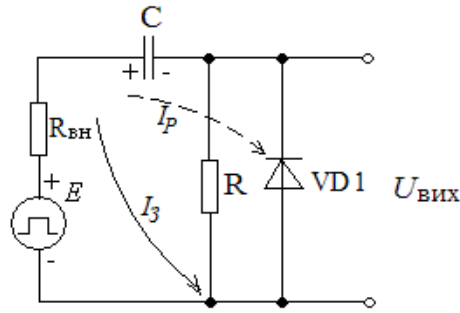


Рис.24. Принципова схема фіксатора нульового рівня негативних імпульсів.

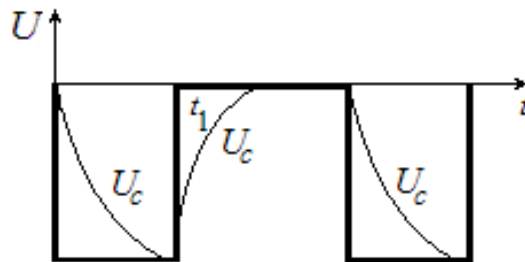


Рис.25. Напруга на конденсаторі фіксатора нульового рівня.

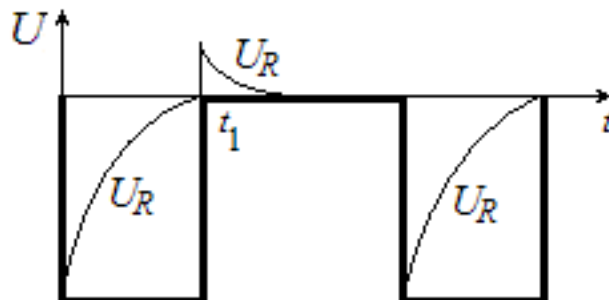


Рис.26. Вихідна напруга фіксатора нульового рівня негативних імпульсів.

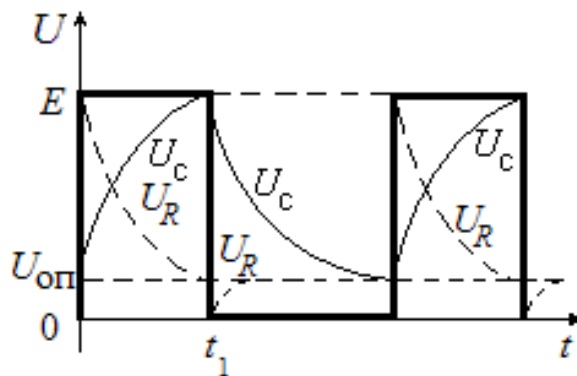


Рис.27. $U_c(t)$, $U_R(t)$ фіксатора позитивних імпульсів довільного рівня.

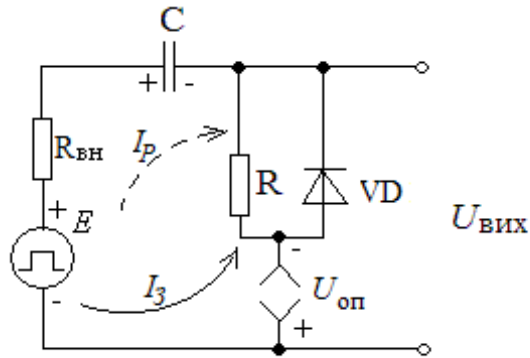


Рис.28. Принципова схема фіксатора негативних імпульсів.

1.5. Інтегрувальні RC – ланки

$$U_C = 1/C \int i(t) dt, \quad (15)$$

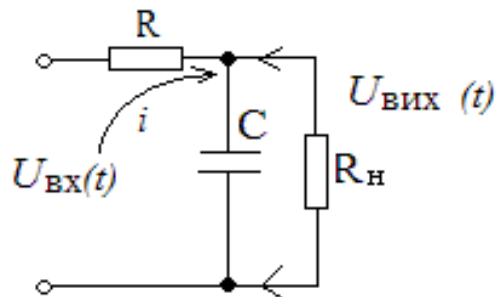


Рис.29. Принципова схема інтегрувальної RC-ланки.

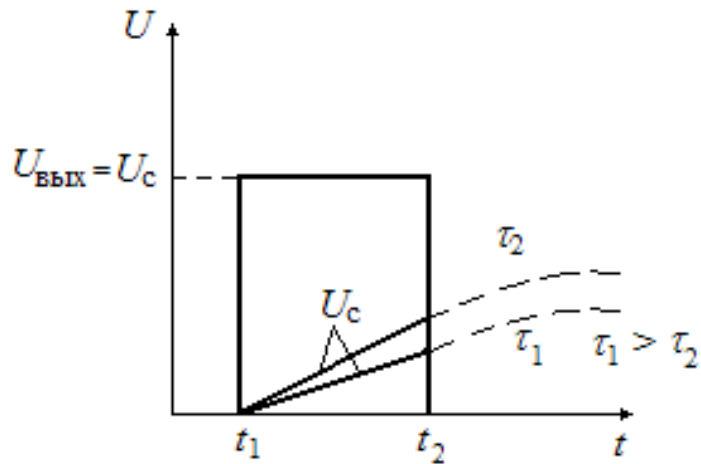


Рис.30. Напруга на виході RC-ланки при різних сталих інтегрування.

$$i(t) = (U_{ВХ} - U_{ВИХ})/R. \quad (16)$$

$$U_C = 1/C \int (U_{ВХ}(t) - U_{ВИХ}(t))dt / R = 1/RC \int (U_{ВХ}(t) - U_{ВИХ}(t))dt. \quad (17)$$

$$U_C = 1/CR \int (U_{ВХ}(t))dt \quad (18)$$

ТЕМА - 2. ФОРМУВАЧІ І ГЕНЕРАТОРИ ПРЯМОКУТНИХ ІМПУЛЬСІВ НА ДИСКРЕТНИХ ЕЛЕМЕНТАХ

Обмежувачі на діодах послідовного і паралельного типів. Біполярні транзистори. Схеми вмикання і статичні характеристики біполярних транзисторів. Біполярний транзистор як активний чотирьохполюсник (h – параметри). Основні режими роботи БП-транзистора. Транзисторний підсилювач-обмежувач. Динамічні характеристики транзисторних ключів. Мульти- і одновібратори. Блокінг-генератори. Генератори лінійнозмінюваної напруги.

2.1. Обмежувачі амплітуди імпульсів на діодах.

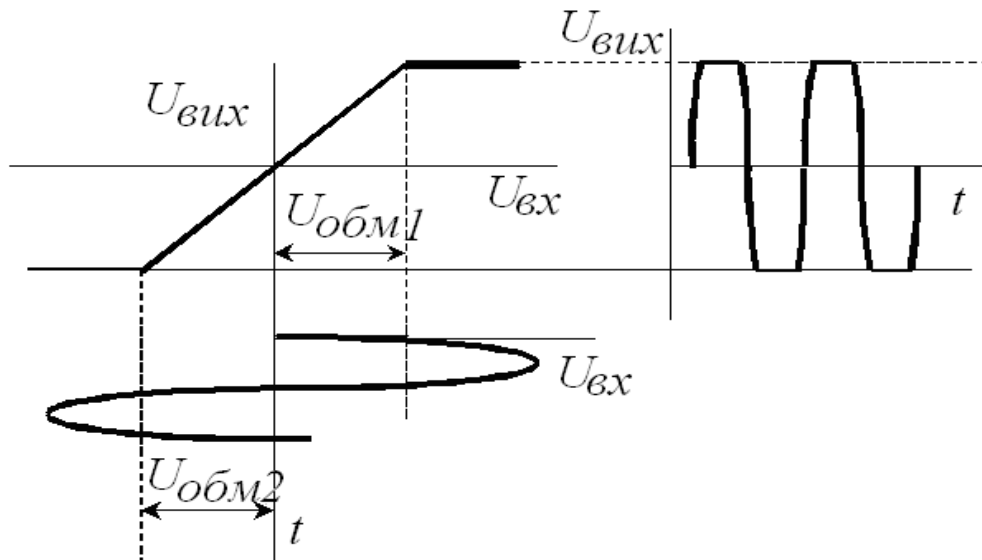


Рис.1. Ілюстрація принципу двостороннього діодного обмежувача.

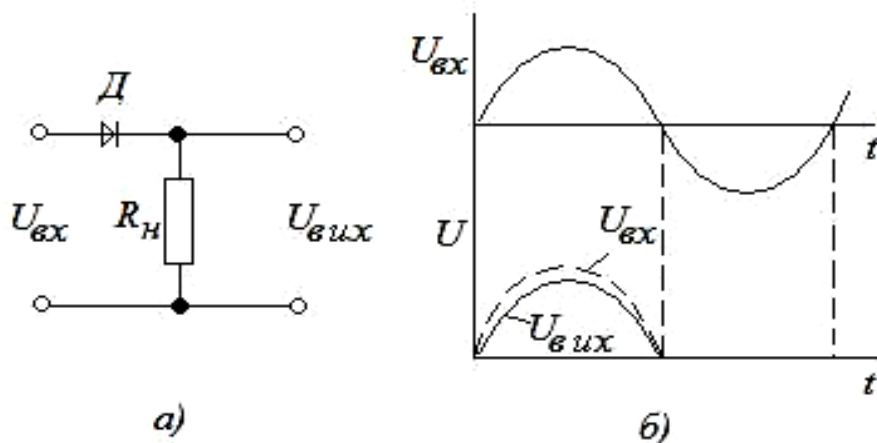


Рис.2. Схема (а) та епюри напруг (б) для послідовного обмежувача на діоді.

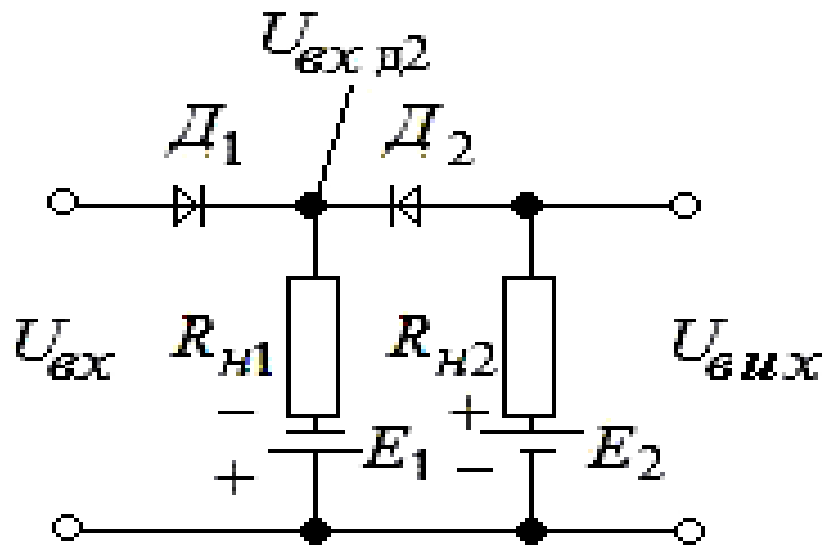


Рис.3. Схема обмежувача на діоді з фіксованою напругою обмеження.

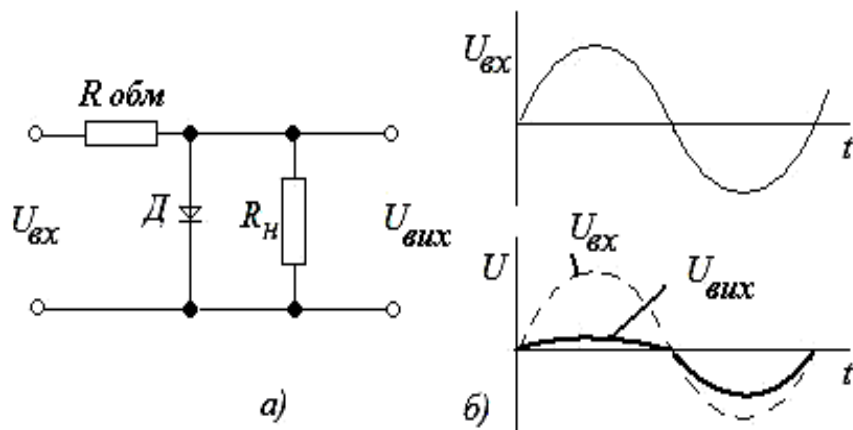


Рис.4. Схема (а) і епюри напруг (б) для паралельного діодного обмежувача.

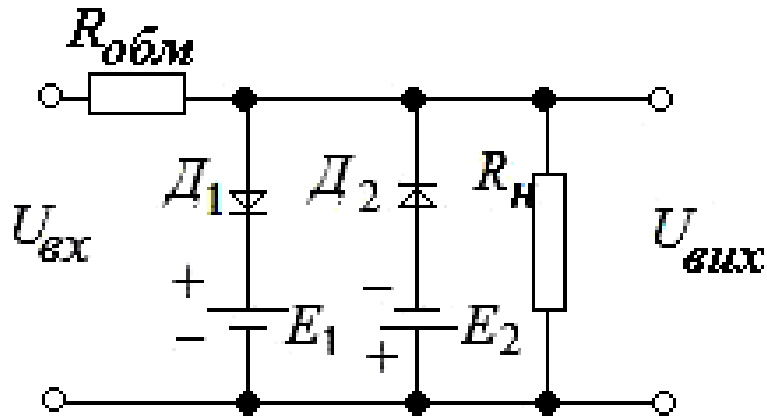


Рис.5. Схема паралельного діодного обмежувача з фіксованою напругою обмеження.

2.2. Біполярні транзистори: схеми вмикання, характеристики і режими роботи.

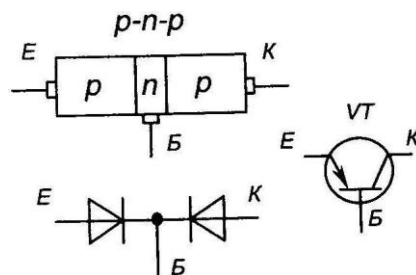


Рис.6. Схематична побудова та позначення транзисторів р-п-р типу.

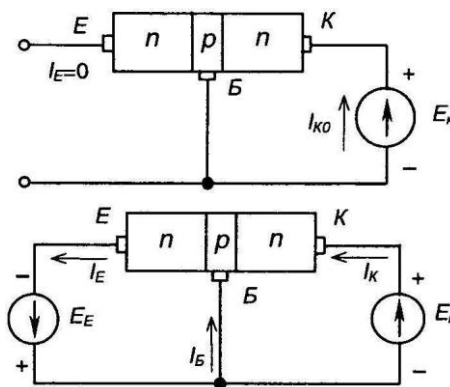


Рис.7. Схеми вмикання БП- транзистора (спрощена та звичайна).

$$\alpha = I_K / I_E, \quad (1)$$

$$\alpha = 0,900-0,995.$$

$$\beta = I_K / I_B = \alpha / (1 - \alpha) \text{ (статична) та}$$

$$\beta_{\text{дин.}} = dI_K / dI_B \text{ (при } U_{KB} = \text{const) (динамічна).} \quad (2)$$

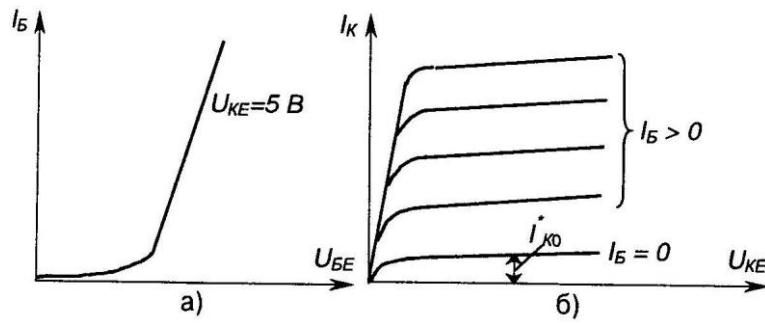


Рис.8. ВАХ транзистора, ввімкненого за схемою з СЕ: а). вхідні, б). вихідні.

$$I_K = \alpha(1-\alpha)^{-1} I_B + I_{K0}(1-\alpha)^{-1} + U_K (1-\alpha)^{-1} r_K . \quad (3)$$

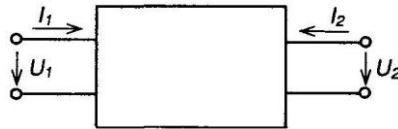


Рис.9. Активний лінійний чотирьохполюсник.

$$U_1 = f(i_1, U_2), \quad i_2 = f(i_1, U_2). \quad (4)$$

$$\begin{aligned} dU_1 &= (\partial U_1 / \partial i_1) di_1 + (\partial U_1 / \partial U_2) dU_2. \\ di_2 &= (\partial i_2 / \partial i_1) di_1 + (\partial i_2 / \partial U_2) dU_2. \end{aligned} \quad (5)$$

$$\Delta U_1 = h_{11} \Delta I_1 + h_{12} \Delta U_2; \Delta I_2 = h_{21} \Delta I_1 + h_{22} \Delta U_2. \quad (6)$$

$h_{12} = \Delta U_1 / \Delta U_2$ (при $I_1 = 0$) – к-нт зворотнього зв’язку за напругою;

$h_{22} = \Delta I_2 / \Delta U_2$ (при $I_1 = 0$) – вихідна провідність транзистора.

$h_{11} = \Delta U_1 / \Delta I_1$ – вхідний опір транзистора,

$h_{21} = \Delta I_2 / \Delta I_1$ – коефіцієнт передачі за струмом.

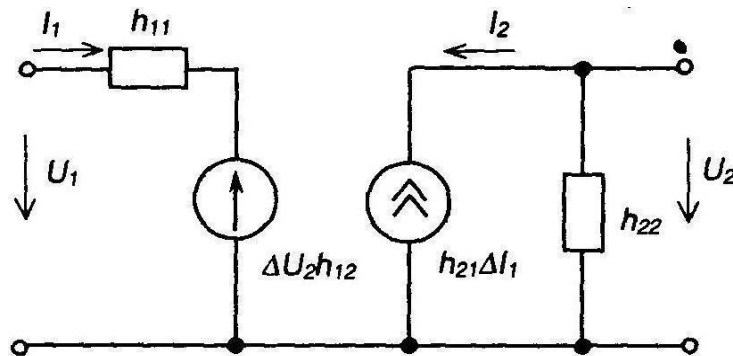


Рис.10. Схема заміщення транзистора з h – параметрами.

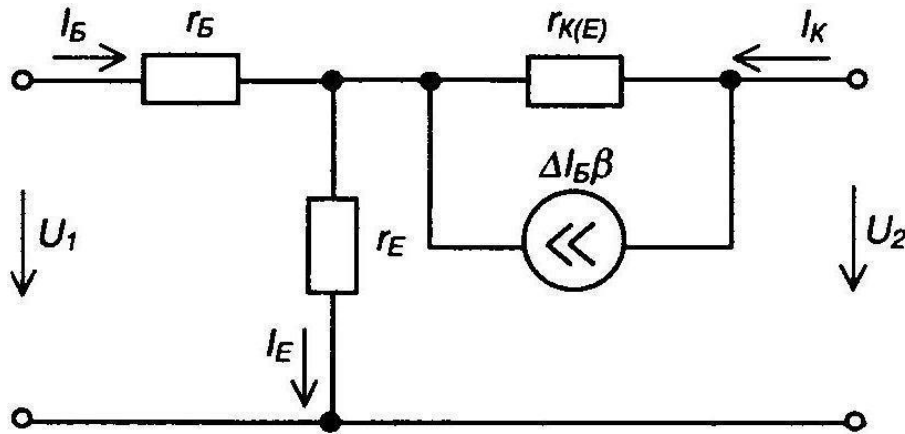


Рис.11. Т – подібна схема заміщення транзистора для схем з СЕ

$$\begin{aligned} h_{12E} &= r_E r_{K(E)}^{-1} (\beta + 1); h_{22E} = r_{K(E)}^{-1} (\beta + 1); h_{11E} = r_B + r_E (\beta + 1); \\ h_{21E} &= \beta. \end{aligned} \quad (7)$$

- - режим відтинання ($U_E < 0, U_K < 0$);
- - активний режим ($U_E > 0, U_K < 0$);
- - режим насичення ($U_E > 0, U_K > 0$).

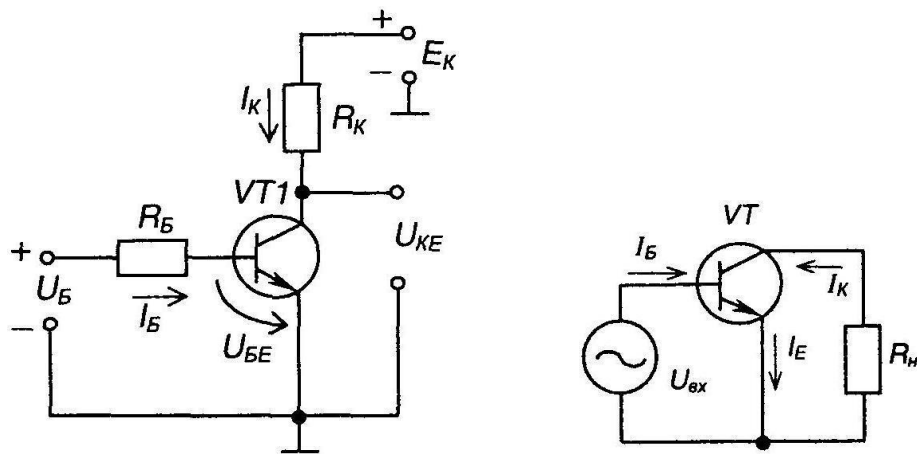


Рис.12. Схеми вмикання транзистора з спільни емітером (СЕ).

$$I_B = (U_B - U_{BE}) / R_B. \quad (8); \quad I_K = \beta I_B. \quad (9);$$

$$U_{вх} = U_{KE} - I_K R_K. \quad (10).$$

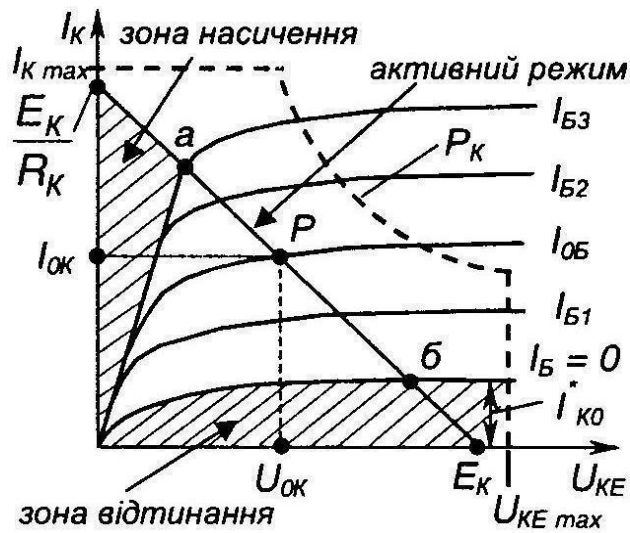


Рис.13. Вихідна динамічна характеристика транзистора.

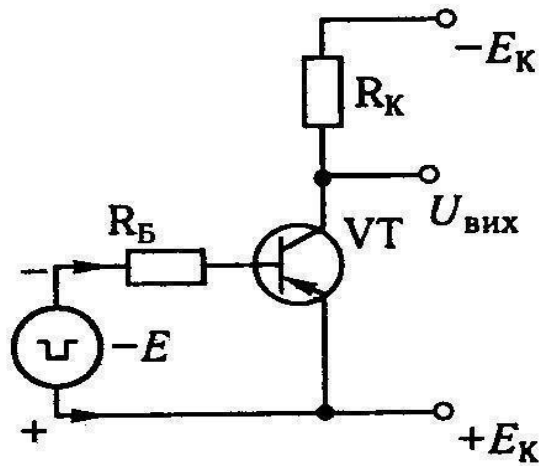


Рис.14.Транзисторний ключ.

2.3. Транзисторний підсилювач-обмежувач

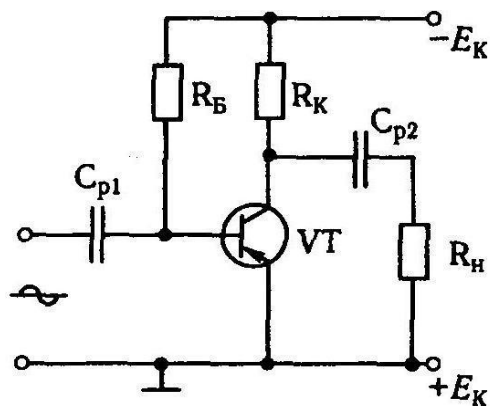


Рис.15. Транзисторний підсилювач – обмежувач.

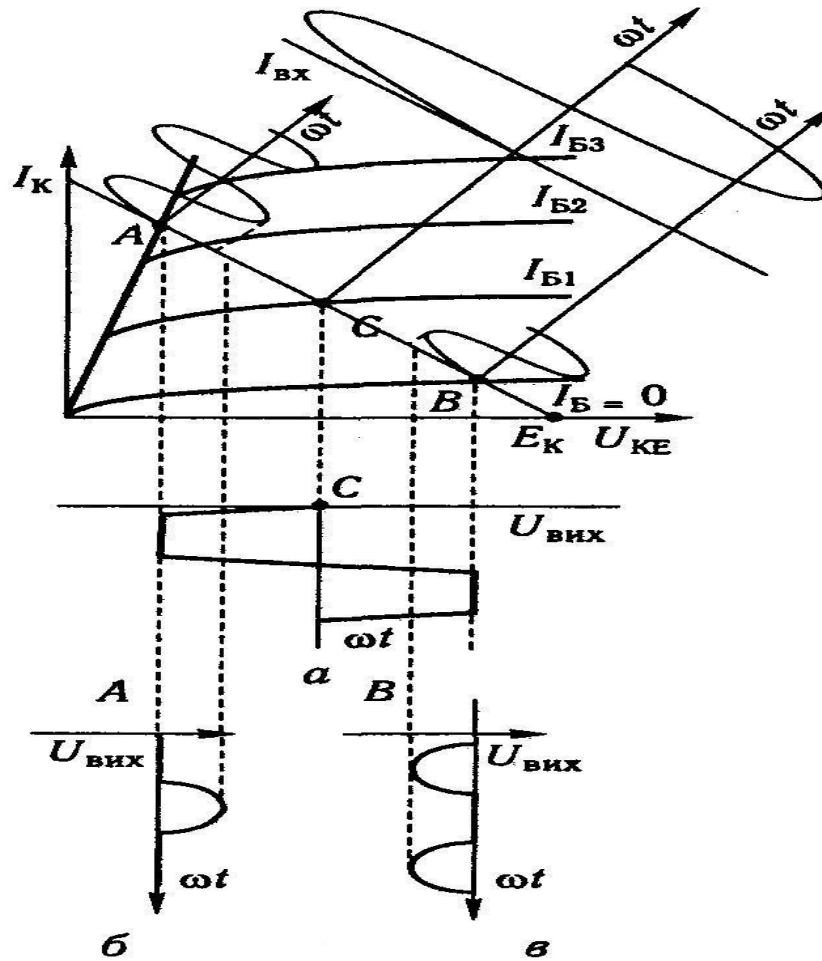


Рис.16. Обмеження амплітуди: а – двостороннє, б – зверху, в – знизу.

$$t_{\text{вм}} = \tau_{\beta} \ln S / S - 1 \text{ наближено рівне } \tau_{\beta} / S \text{ (при великих } S), \quad (11)$$

τ_{β} – стала часу вмикання транзистора з спільним емітером.

$$t_{\text{роз}} = \tau_{\text{нас}} \ln(I_{\text{Б}} + I'_{\text{Б}}) / (I_{\text{Бнас}} + I'_{\text{Б}}). \quad (12)$$

$$t_{\text{вим}}(I_{\text{К}}) = \tau_{\beta} \ln(I_{\text{Бнас}} + I'_{\text{Б}}) / I'_{\text{Б}}, \quad (13)$$

$$t_{\text{вим}}(\Sigma I_{\text{К}}) = t_{\text{роз}} + t_{\text{вим}}(I_{\text{К}}) \quad (14)$$

$$C_{\text{н}}(\Sigma) = C_{\text{н}} + C_{\text{вих}} + C_{\text{м}} \quad (15)$$

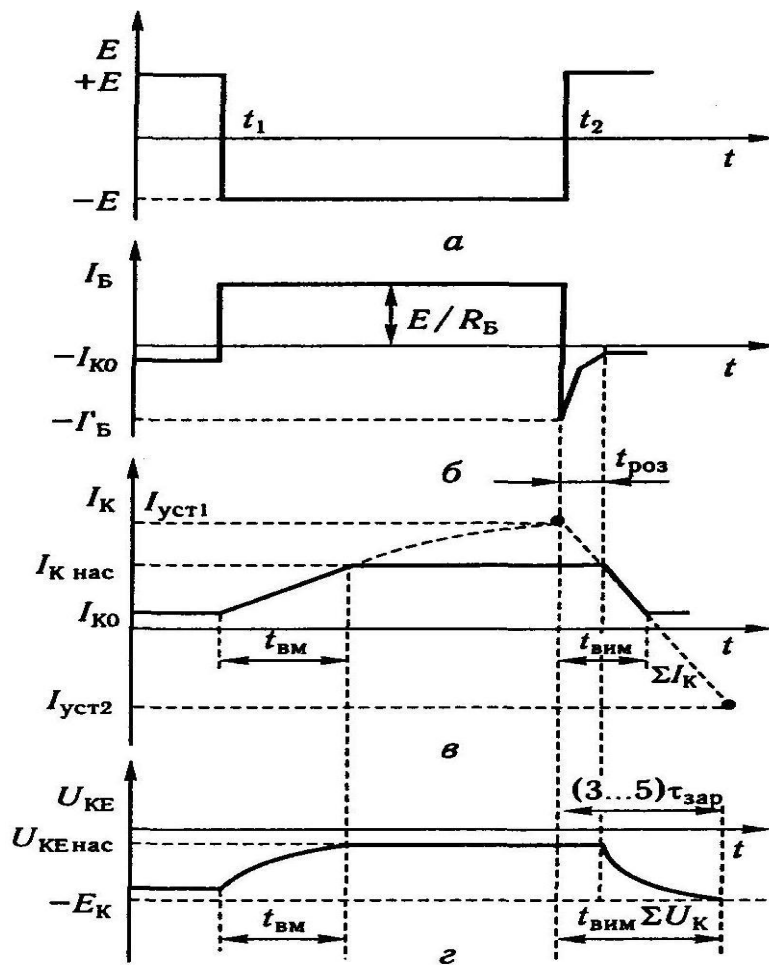


Рис.17. Осцилограми роботи транзисторного ключа.

2.4. Мультивібратор з колекторно-базовими зв'язками у автоколивальному режимі.

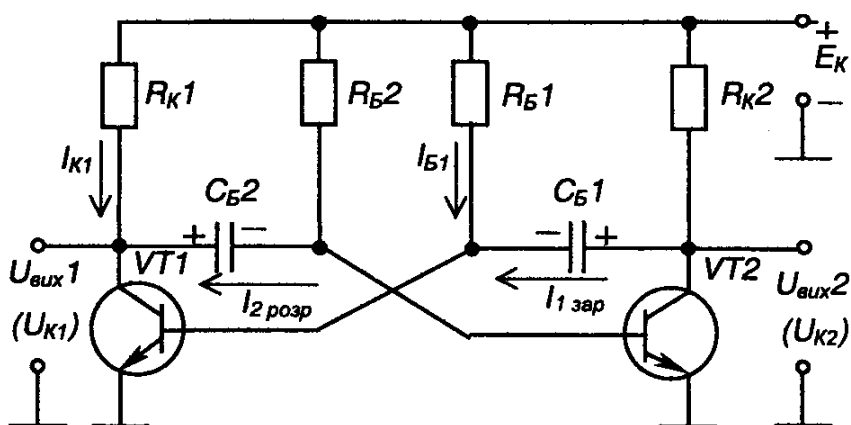


Рис.18. Принципова схема мультивібратора з колекторно-базовими зв'язками.

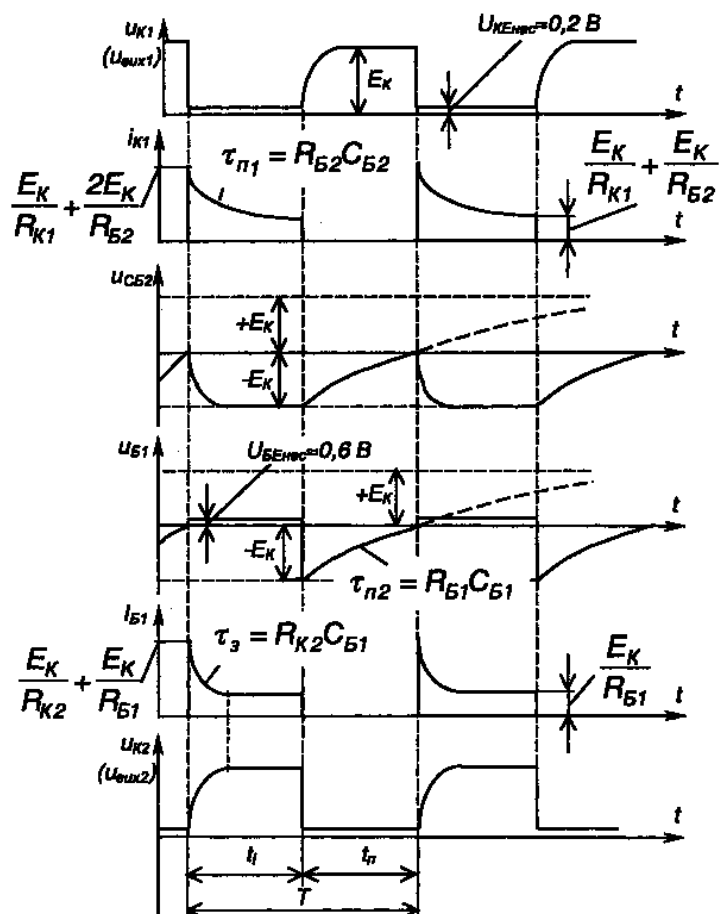


Рис.19. Часові діаграми роботи мультивібратора з колекторно-базовими зв'язками.

$$t_1 = 0,7 R_{Б1} C_{Б1} \text{ та } t_2 = 0,7 R_{Б2} C_{Б2}. \quad (16)$$

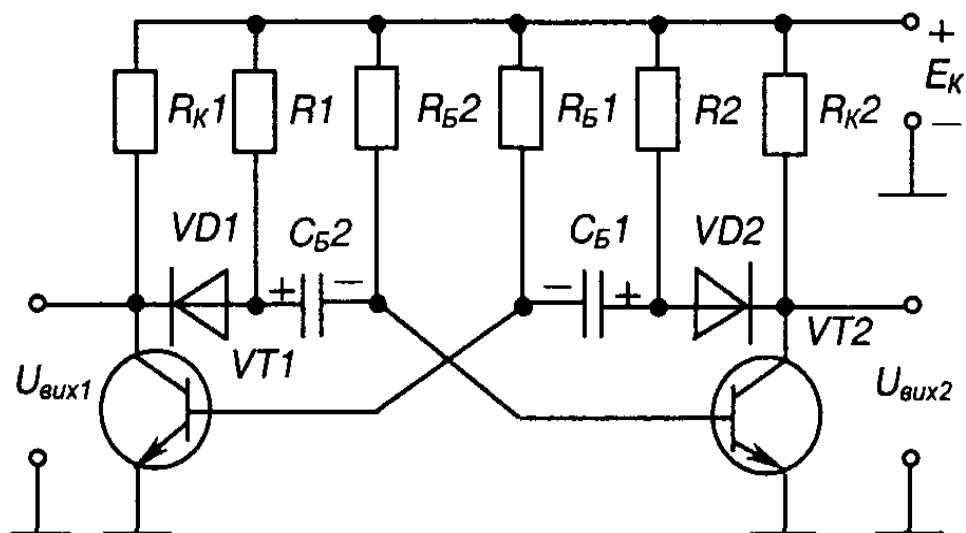


Рис.20. Принципова схема мультивібратора з відтинаючими діодами.

2.5. Одновібратор з колекторно-базовими зв'язками (чекаючий мультивібратор або одновідратор)

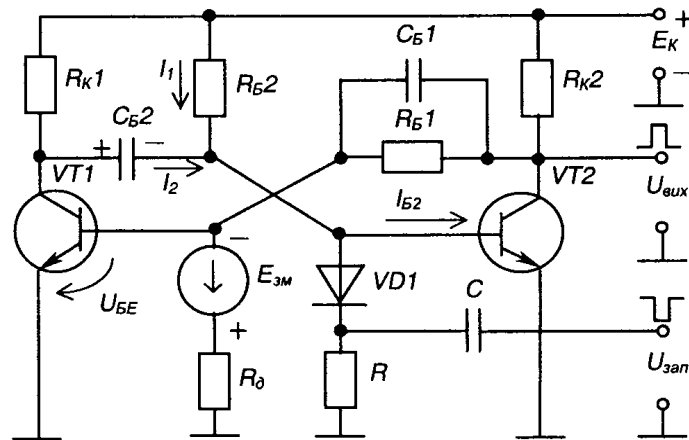


Рис.21. Принципова схеми одновібратора.

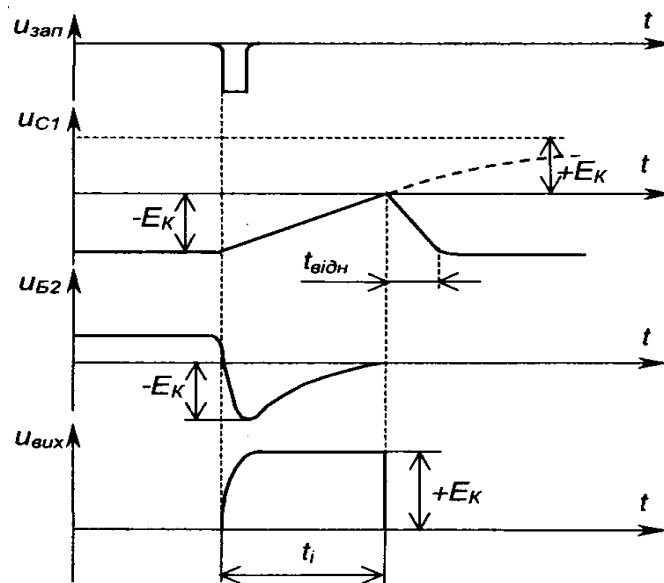


Рис.22. Часові діаграми роботи одновібратора.

2.6. Блокінг – генератори.

$$\varphi_K + \varphi_N = 2\pi n; n = 0,1,2,3; k n_1 > 1, \quad (17)$$

де: φ_K – фазовий зсув, що вноситься підсилювачем на транзисторі VT;
 φ_N – фазовий зсув, що вноситься трансформатором; k – коефіцієнт трансформації трансформатора.

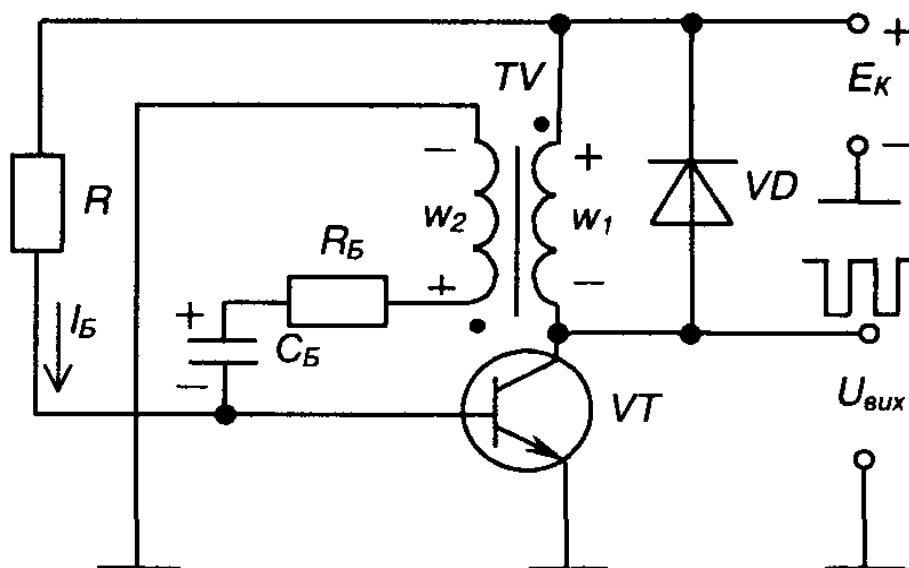


Рис.23. Принципова схема блокінг-генератора.

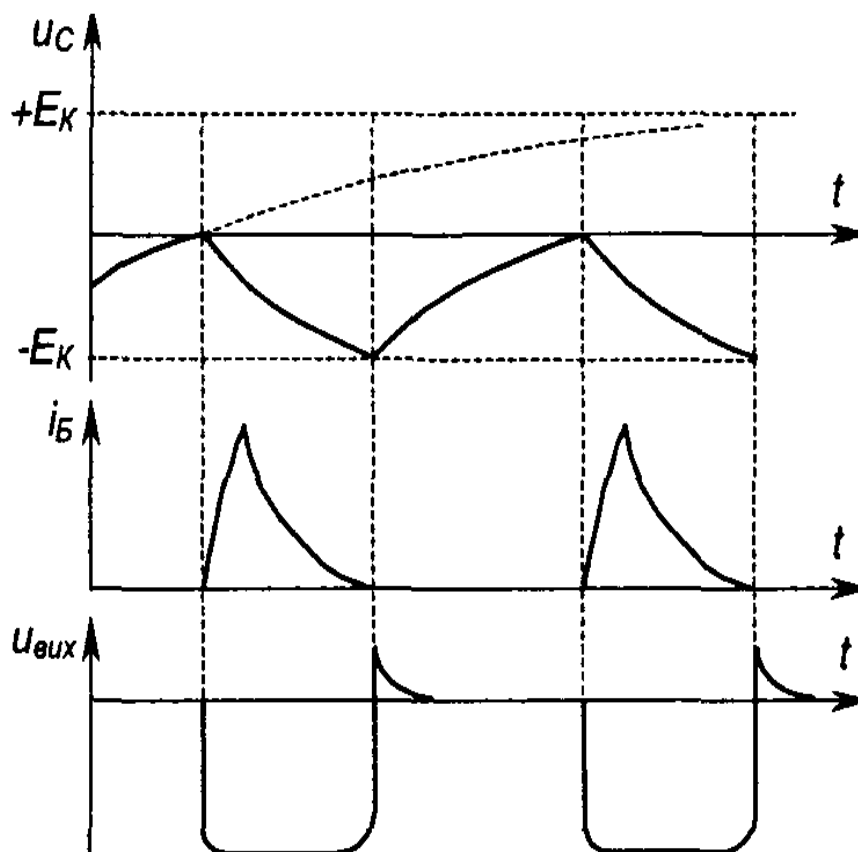


Рис.24. Часові діаграми роботи блокінг-генератора.

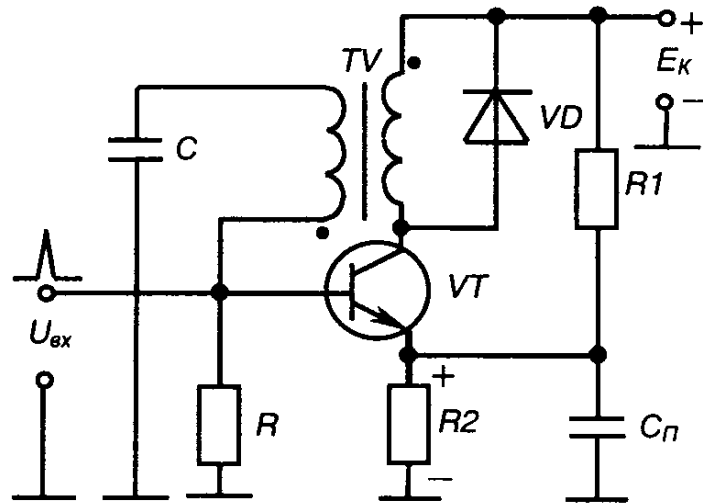


Рис.25. Принципова схема чекаючого блокінг-генератора.

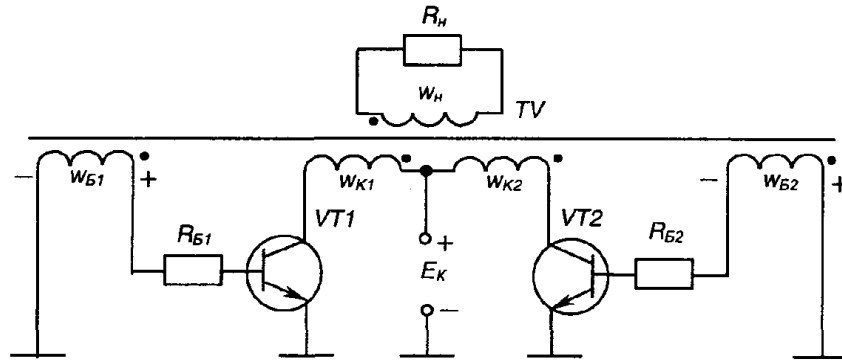


Рис.26. Принципова схема генератора Роєра.

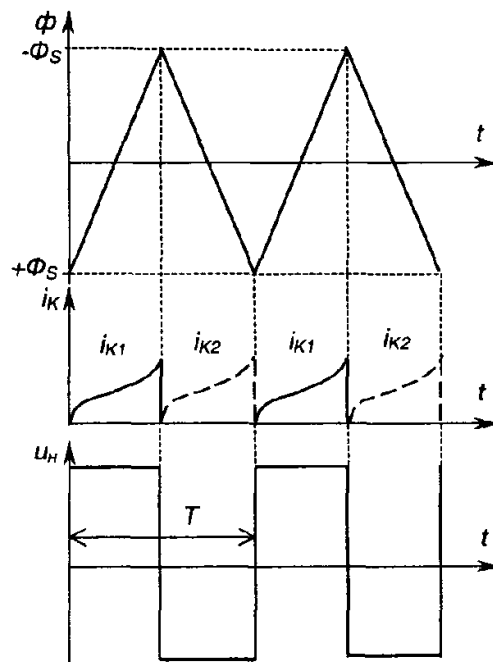


Рис.27. Часові діаграми роботи генератора Роєра.

$$f = 1/T = E_K / (4w_K B_S S), \quad (18)$$

2.7. Генератор лінійно - змінюваної напруги.

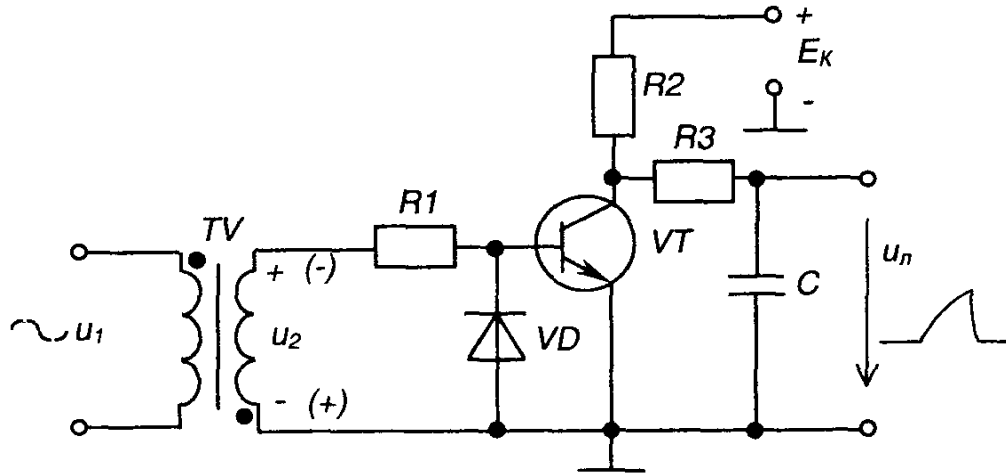


Рис.28. Принципова схема транзисторного генератора пилоподібної напруги.

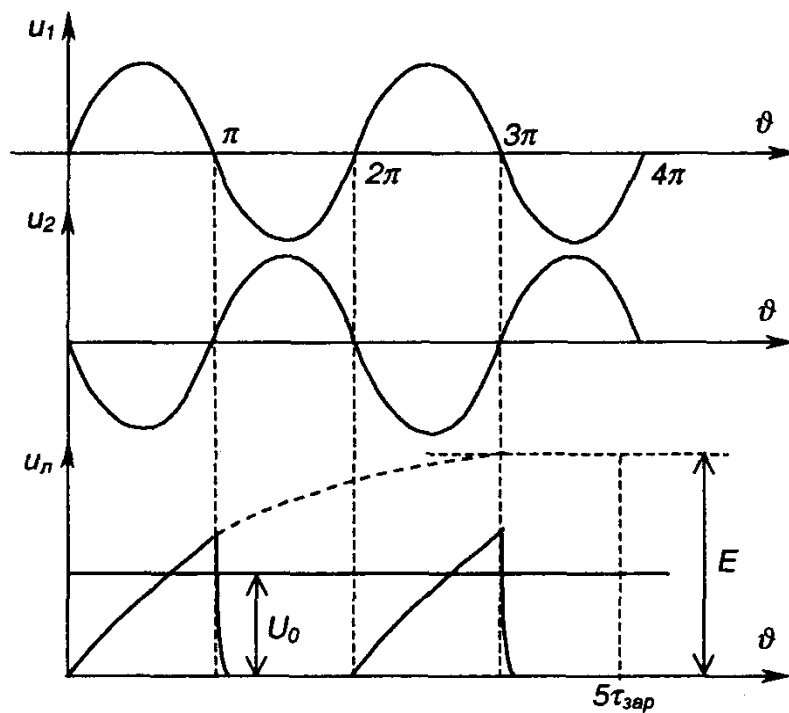


Рис.29. Часові діаграми роботи генератора пилоподібної напруги

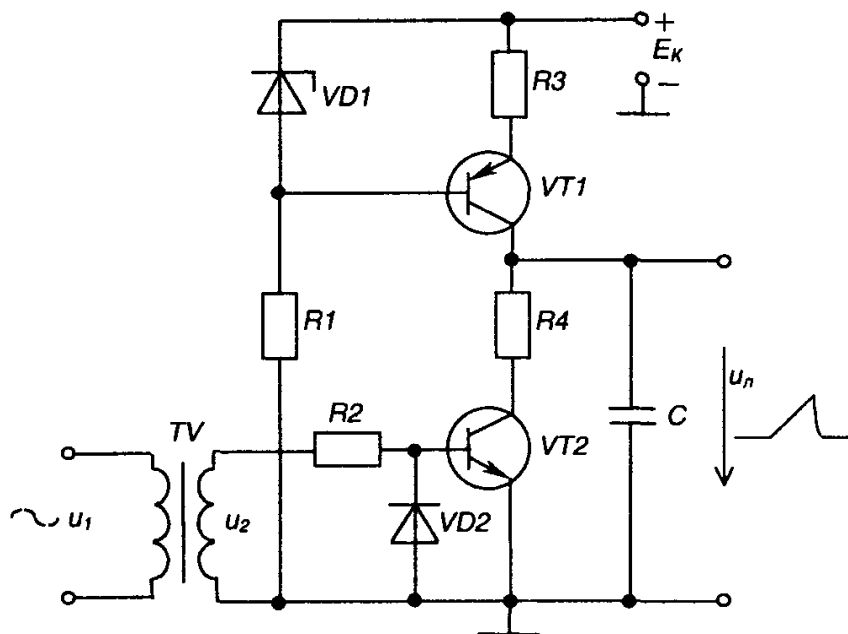


Рис.30. Принципова схема генератора пилкоподібної напруги з джерелом струму

ТЕМА – 3. СПУСКОВІ ІМПУЛЬСНІ ПРИСТОЇ (ТРИГЕРИ)

Загальні відомості про тригери та їх основні застосування. Механізм роботи симетричного тригера на біполярних транзисторах. Характеристики тунельних діодів і тиристорів. Тригери на тунельних діодах і тиристорах.

3.1. Загальні відомості про тригери та їх застосування.

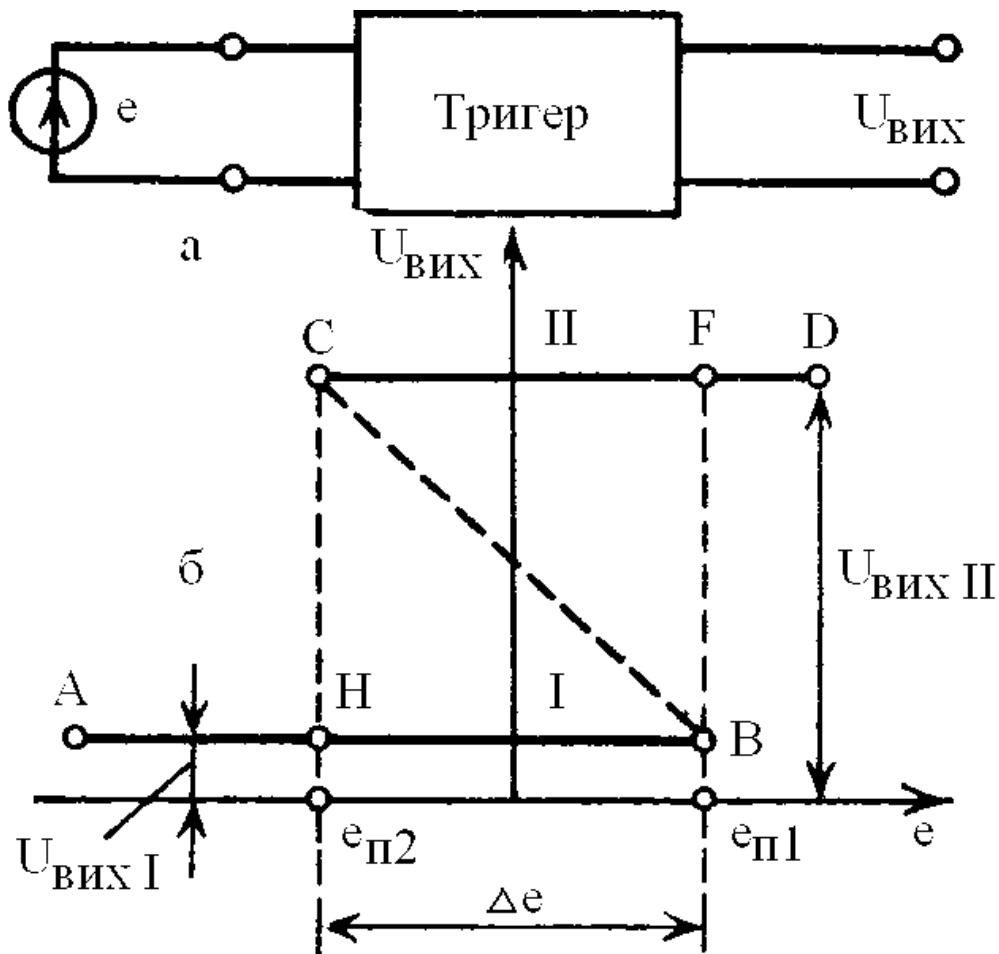


Рис.1. Блок-схема (а) та характеристика потенціального тригера.

3.2. Симетричний тригер на транзисторах.

$$U_{61} = E(R_2/R_1 + R_2) - I_{KO} R_1 R_2/(R_1 + R_2). \quad (1)$$

$$R_1 < E/I_{KOmax}. \quad (2)$$

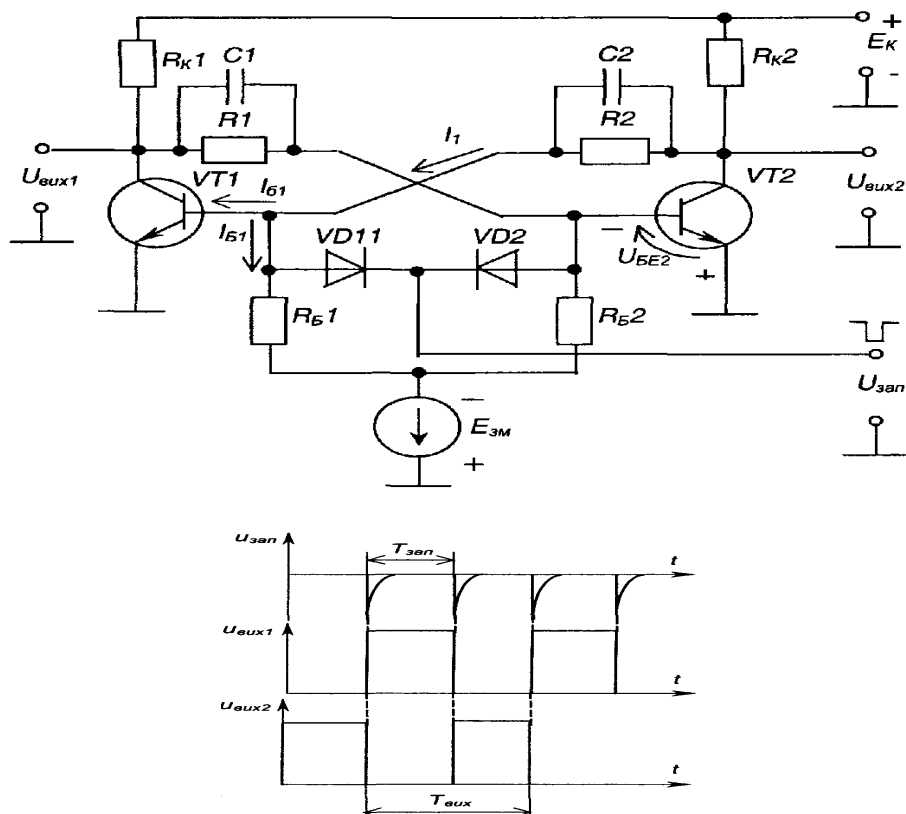


Рис.2. Принципова схема симетричного тригера з колекторно – базовими зв'язками і зовнішнім зміщенням (а) та часові діаграми його роботи (б).

$$R_2 < R_K [\beta(1 + \beta E R_K / (E_K R_1)) - 1], \quad (3)$$

$$U_m = (E_K - I_{KO} R_K) (R_2 + r_{BX.H.}) / (R_K + R_2 + r_{BX.H.}). \quad (4)$$

$$U_m = E_K R_2 / (R_K + R_2). \quad (5)$$

$$U_m = E_K R_{H2} / (R_K + R_{H2}). \quad (6)$$

3.3. Характеристики тунельних діодів та тиристорів.

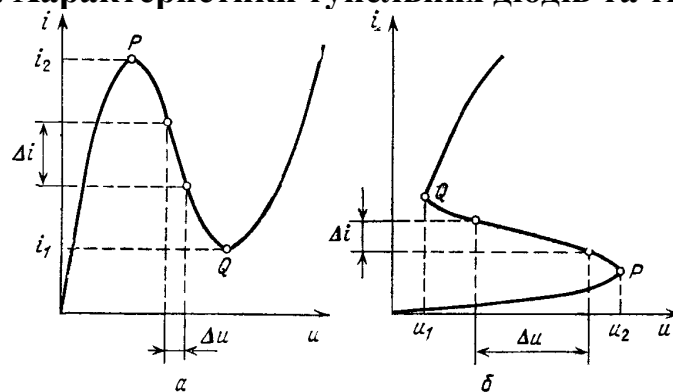


Рис.3. Загальний вигляд ВАХ тунельного діода (а) та лавинного транзистора або тиристора (б).

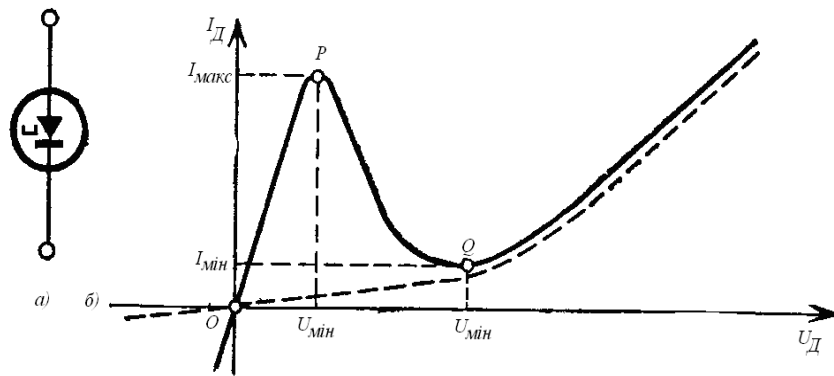


Рис.4. Умовне позначення тунельного діода (а) та його ВАХ (б).

3.4. Диністори і тиристори

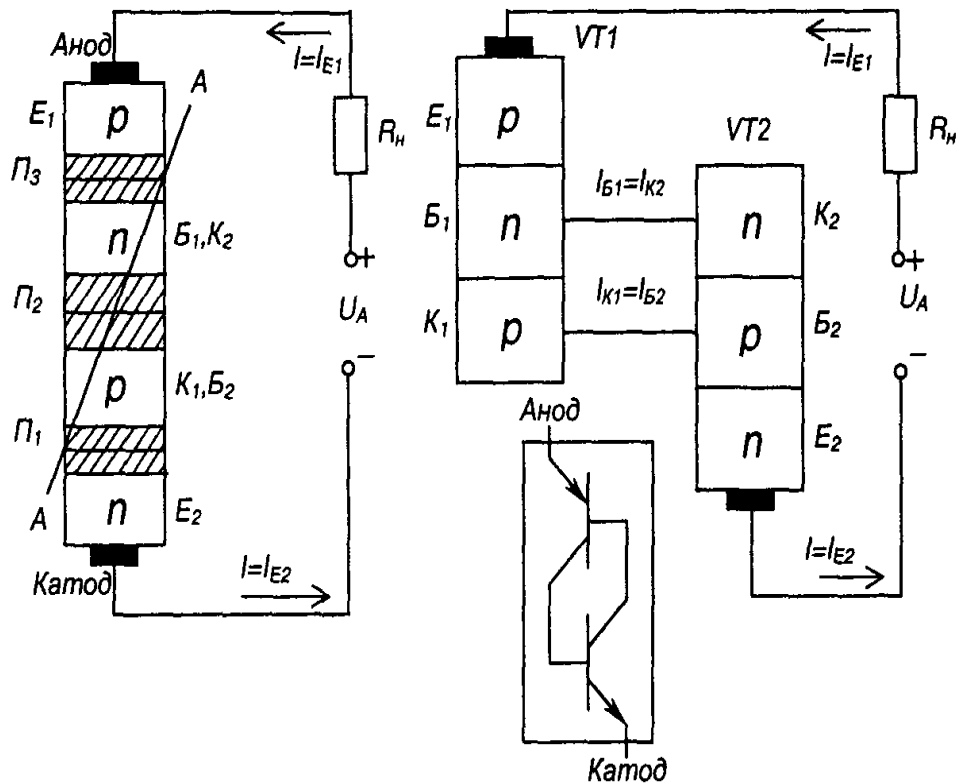


Рис.5. Структура диністора (а) та його модель в вигляді двох транзисторів (б)

$$I = \alpha_1 I_{E1} + \alpha_2 I_{E1} + I_{KO}. \quad (7).$$

$$I_{E1} = I_{E2} = I,$$

$$I = I (\alpha_1 + \alpha_2) + I_{KO}. \quad (8).$$

$$I = I_{KO} / [1 - (\alpha_1 + \alpha_2)]. \quad (9)$$

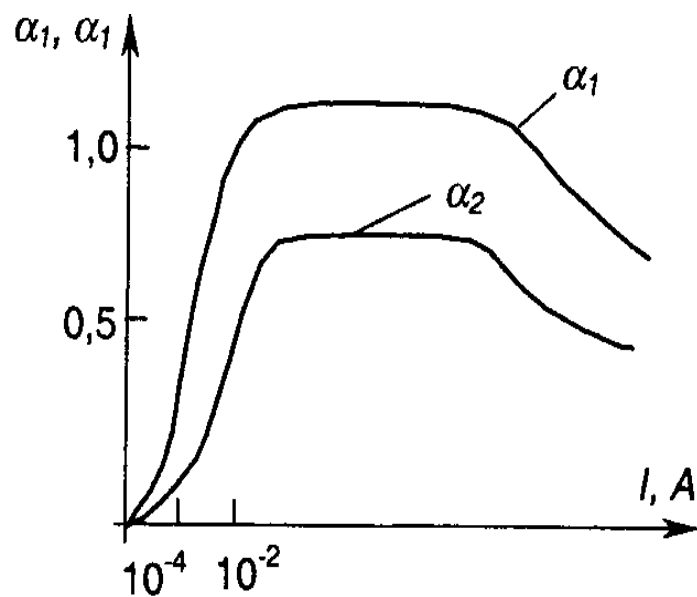


Рис.6. Залежність α_1 та α_2 від струму диністора.

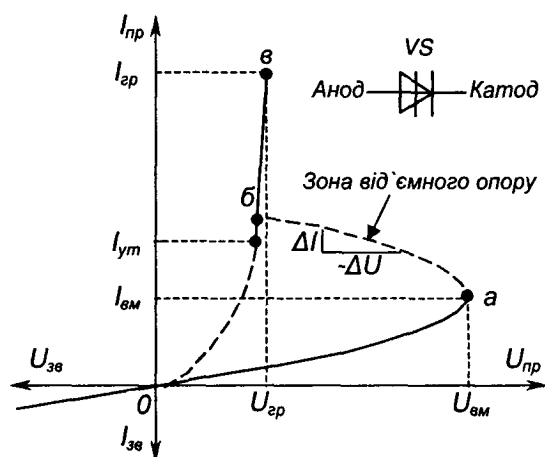


Рис.7. ВАХ диністора та його умовне позначення.

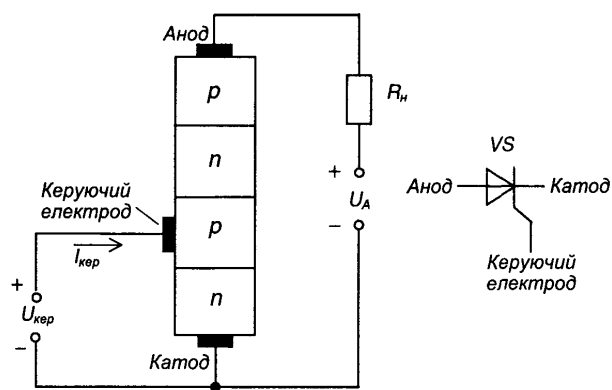


Рис.8. Структура та умовне позначення тиристора.

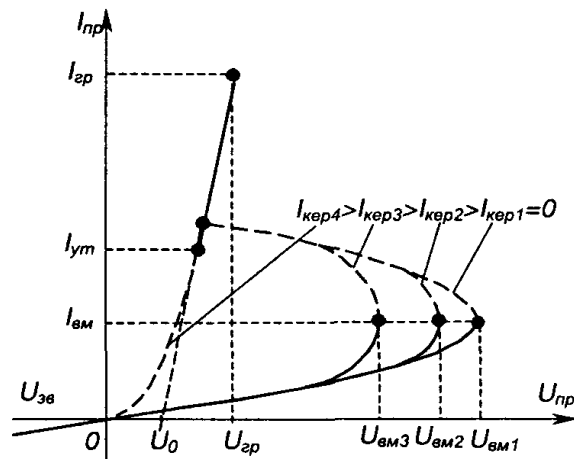


Рис.9. ВАХ тиристора.

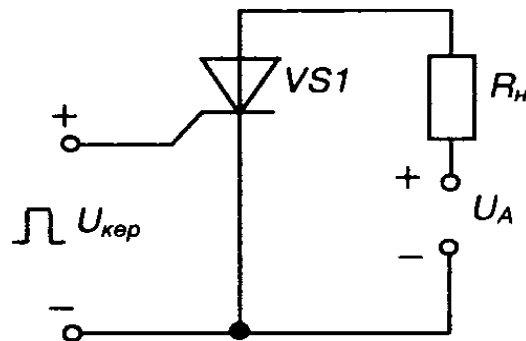


Рис.10. Найпростіша схема вмикання тиристора

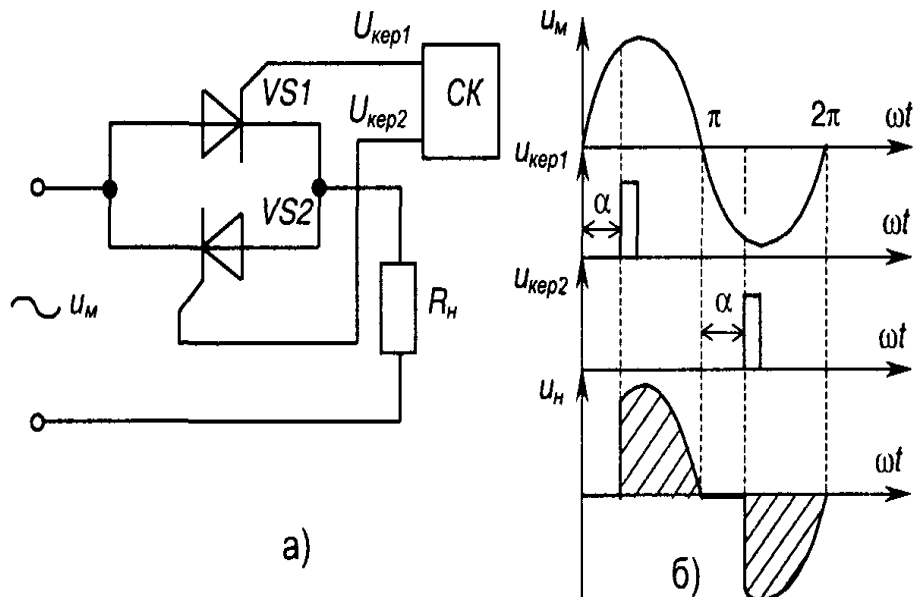


Рис.11. Електрична схема (а) та часові діаграми роботи (б) однофазного регулятора.

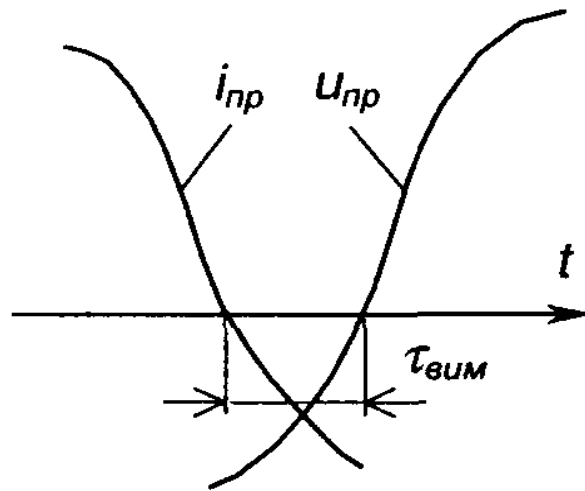


Рис.12. Часова діаграма вимикання тиристора

3.5. Спеціальні типи тиристорів

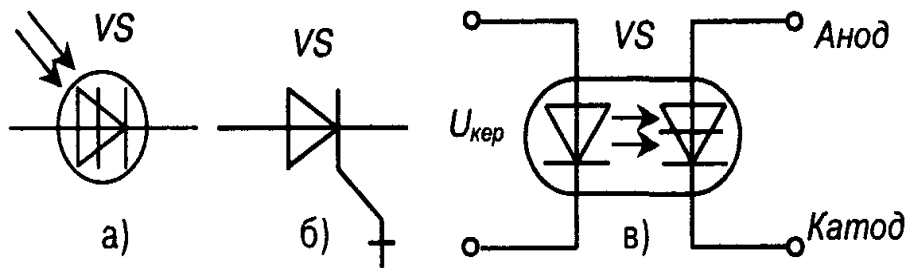


Рис.13. Умовні позначення фототиристора (а), двоопераційного (б) та оптронного тиристорів (в)

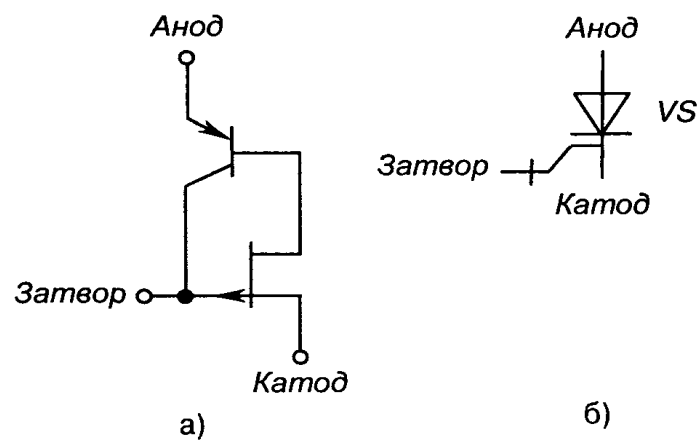


Рис.14. Еквівалентна схема (а) та умовне позначення (б) електростатичного тиристора

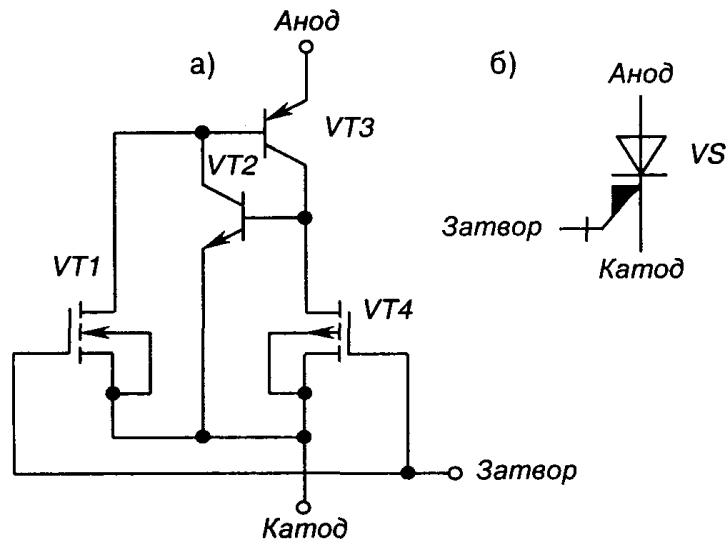


Рис.14. Еквівалентна схема (а) і позначення (б) запірного тиристора з МОН-керуванням.

3.6. Тригер на тунельному діоді

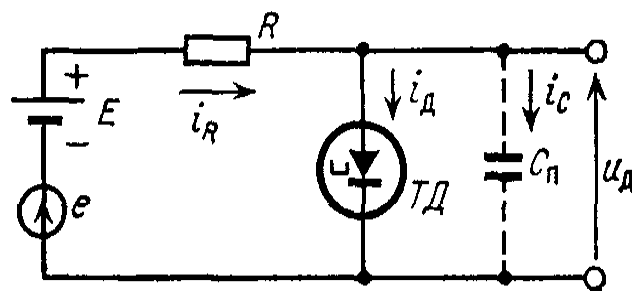


Рис.15. Принципова схема тригера на тунельному діоді.

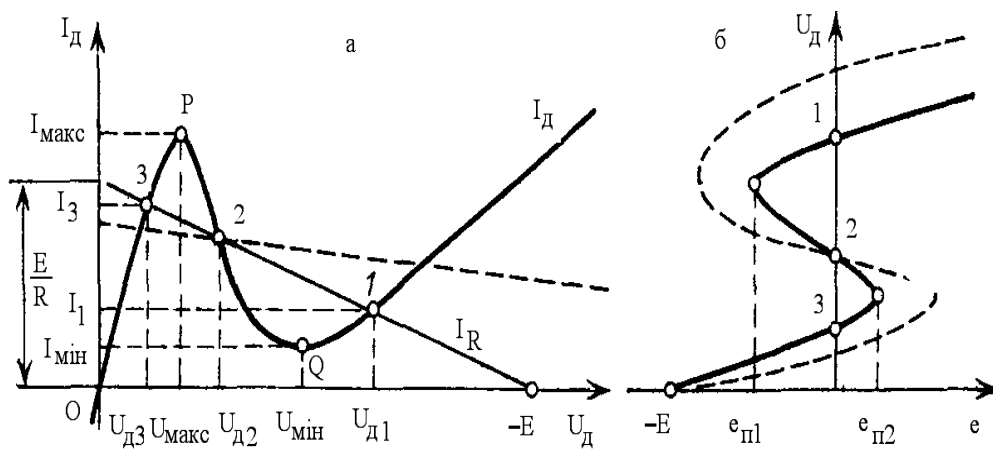


Рис.16. ВАХ тунельного діода з навантажувальною лінією

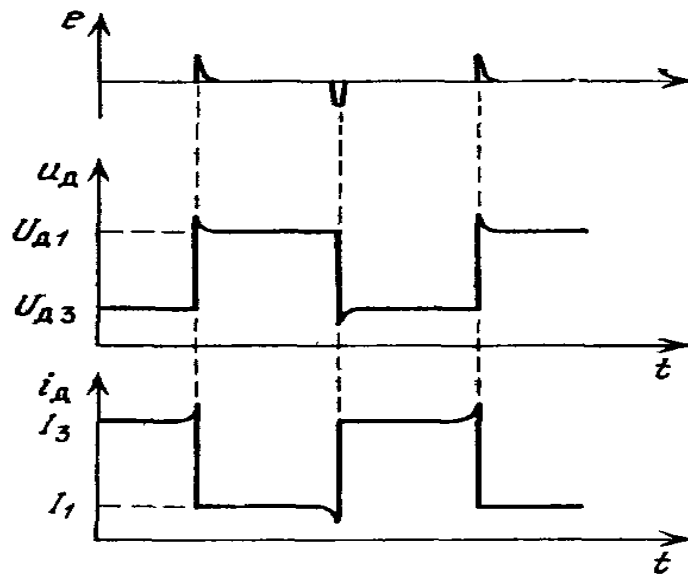


Рис.17. Часові діаграми роботи тригера на тунельному діоді

3.8. Тригер на тиристорах

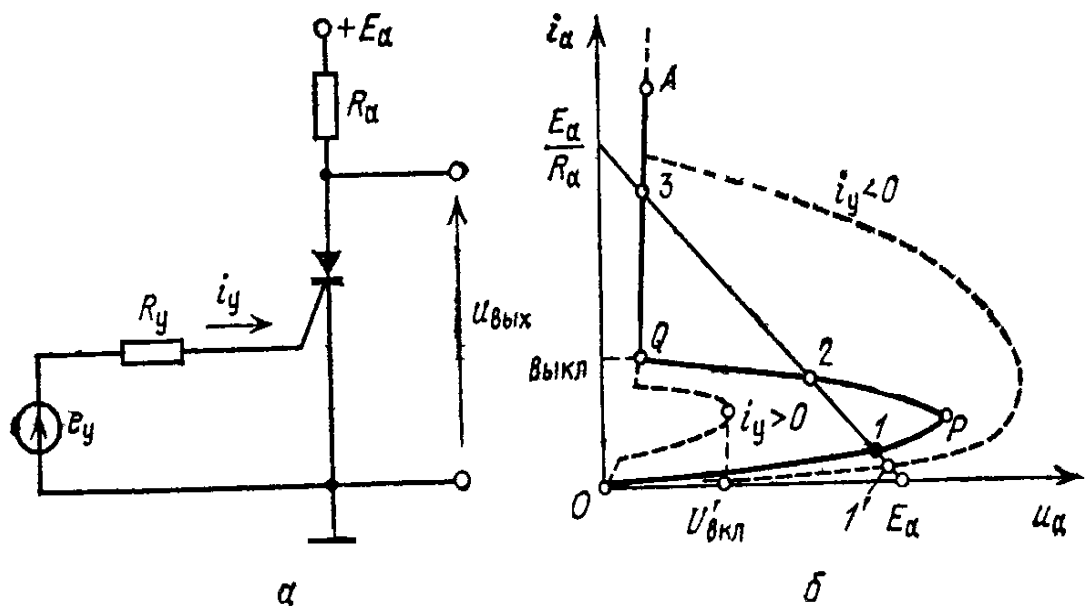


Рис.18. Принципова схема тригера на тиристорі (а) та ВАХ тиристора з навантажувальною лінією (б).

ТЕМА - 4. СИСТЕМИ ІМПУЛЬСНО-ФАЗОВОГО КЕРУВАННЯ

Загальні положення про системи імпульсно-фазового керування (СІФК). СІФК з горизонтальним і вертикальним керуванням. Резистивно-ємнісна СІФК. СІФК з цифровим керуванням. Загальні відомості про аналогові і цифрові інтегральні схеми та мікропроцесорні системи.

4.1. Загальні положення про системи імпульсно-фазового керування (СІФК)

$$\omega t_i = \varphi + (2\pi/m)(i - 1) + Q(U_M), \quad (1)$$

де m – число фаз випрямляча, i – порядковий номер імпульсу, Q – регульована затримка i -го імпульсу, φ – початкова фаза напруги мережі (нерегульована затримка).

$$\omega t_i = \omega t_{i-1} + 2\pi/m + Q(U_M), \quad (2)$$

де ωt_{i-1} – часова затримка попереднього імпульсу.

4.2. СІФК з горизонтальним керуванням

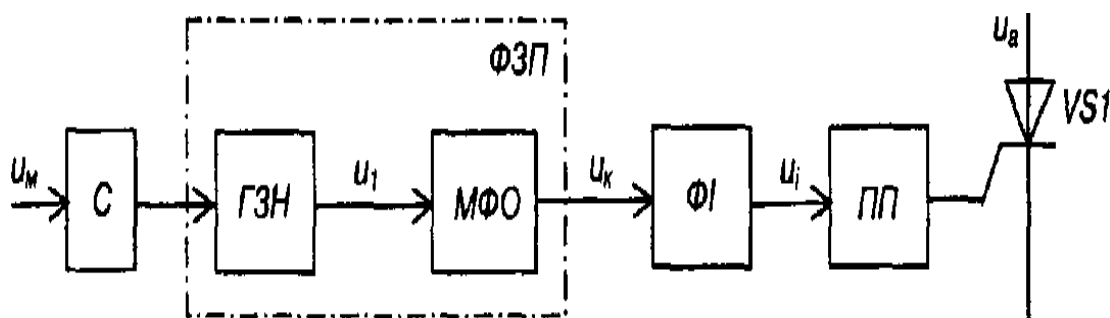


Рис.1. Схема каналу СІФК з горизонтальним керуванням

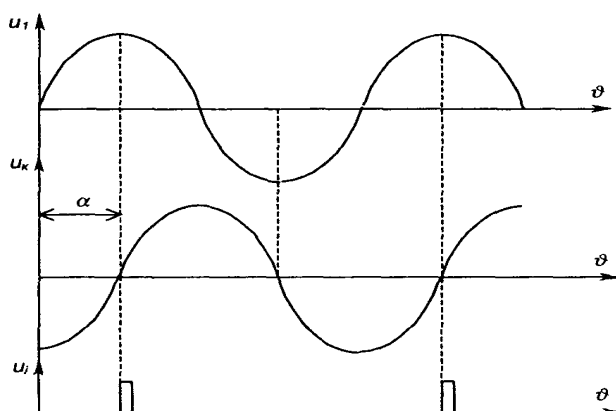


Рис.2. Часові діаграми роботи СІФК з горизонтальним керування.

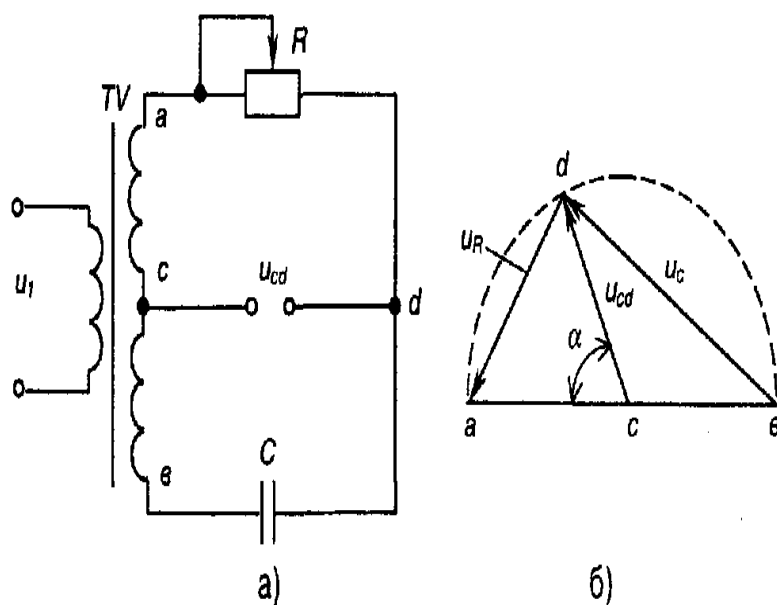


Рис.3. Принципова схема мостового фазообертача та діаграма його напруг.

4.3. СІФК з вертикальним керуванням

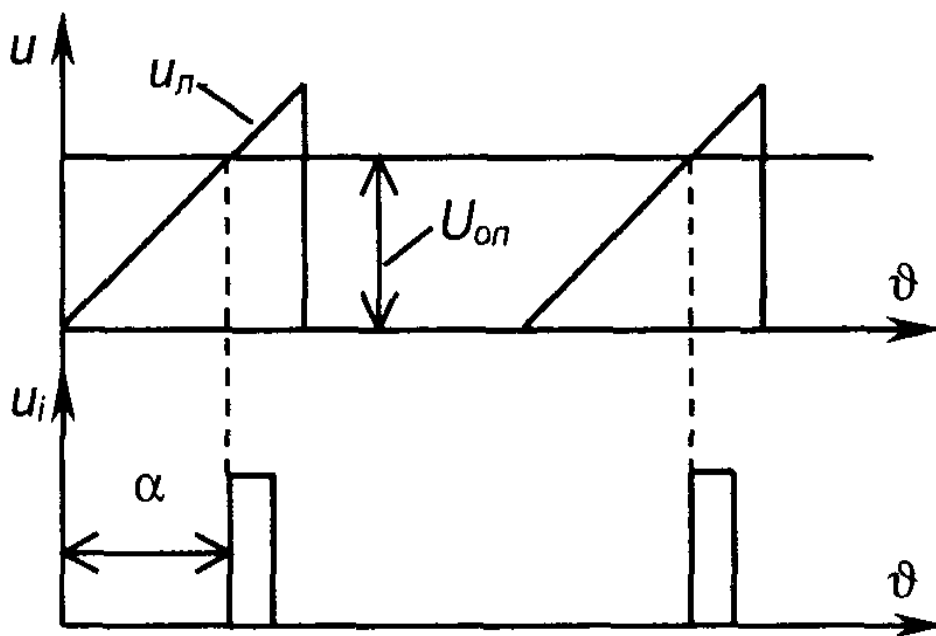
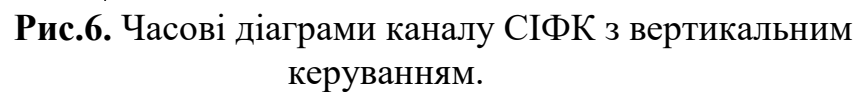
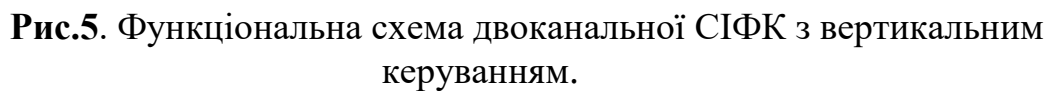


Рис.4. Часові діаграми методу вертикального керування



4.4. Типові вузли СІФК з вертикальним керуванням

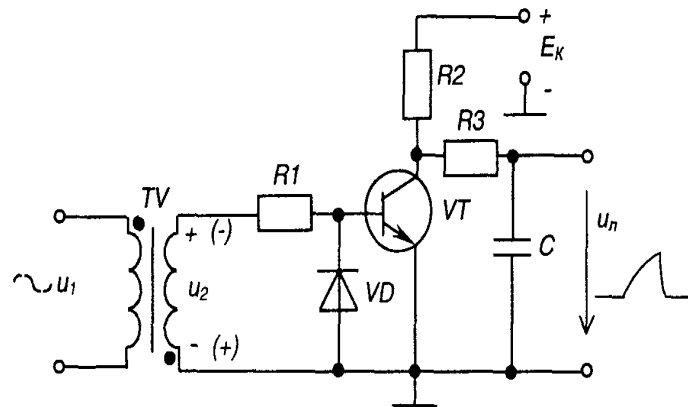


Рис.7. Схема транзисторного генератора пилоподібної напруги.

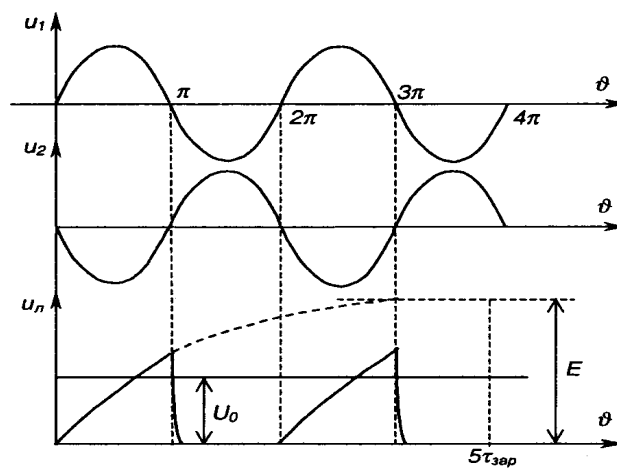


Рис.8. Часові діаграми роботи генератора пилоподібної напруги.

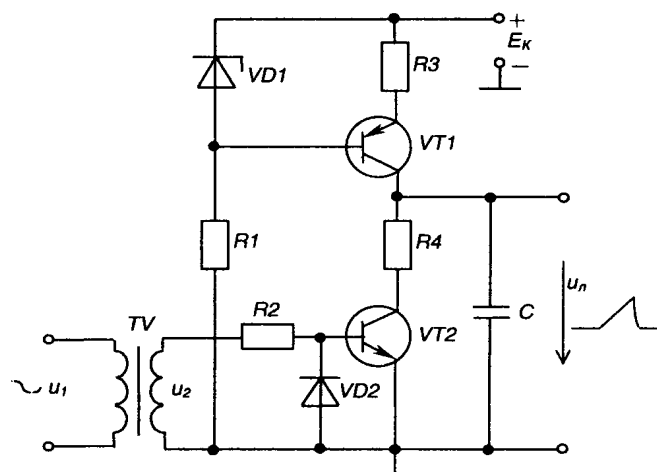


Рис.9. Схема генератора пилоподібної напруги з генератором струму.

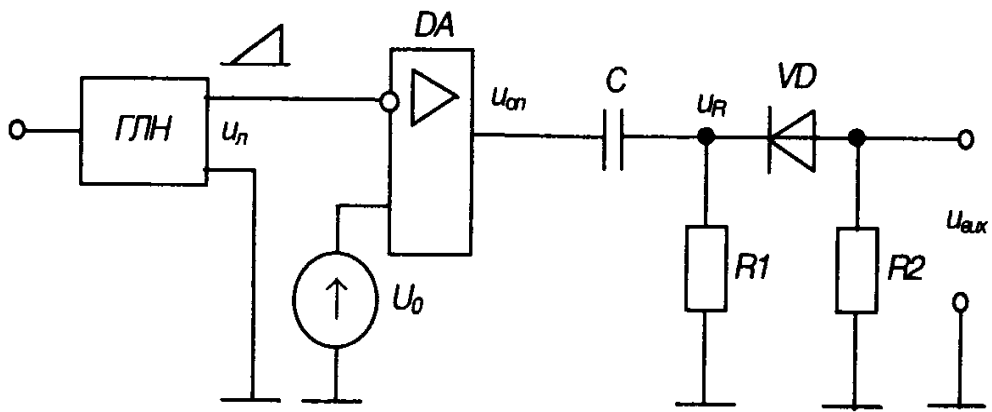


Рис.10. Схема вузла порівняння.

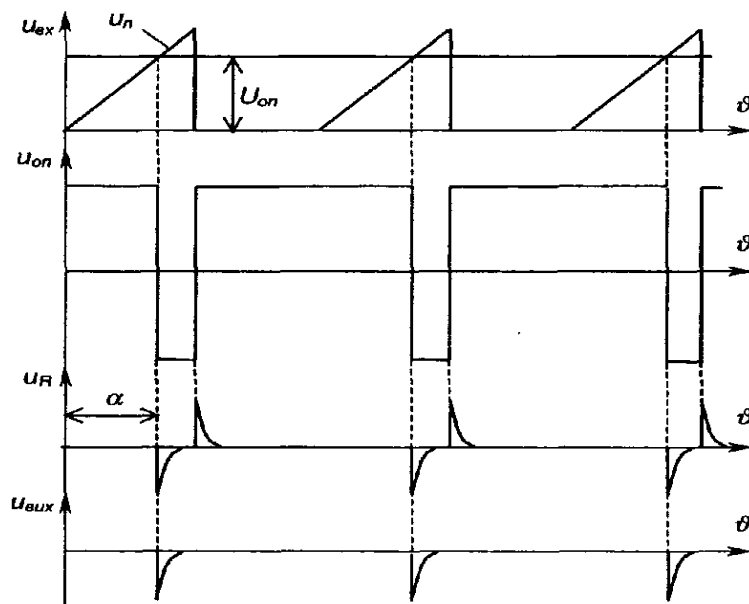


Рис.11. Часові діаграми роботи вузла порівняння.

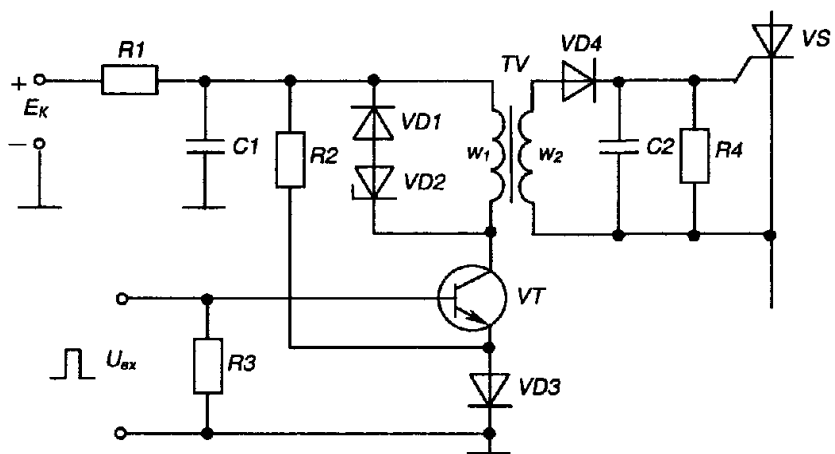


Рис.12. Схема імпульсного підсилювача потужності.

4.5. Застосування СІФК у резистивно-ємнісних схемах

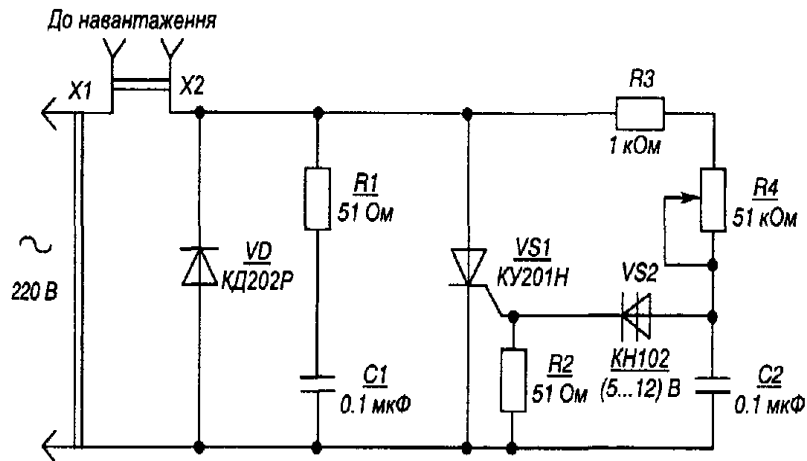


Рис.13. Схема резистивно – ємнісної СІФК.

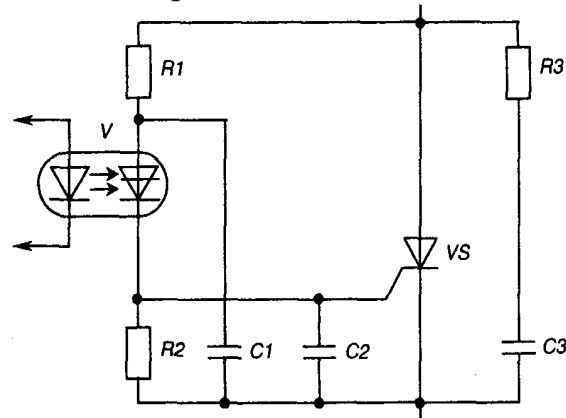


Рис.14 Схема вмикання силового тиристора за допомогою малопотужного опрорного тиристора.

4.6. СІФК з цифровим керуванням

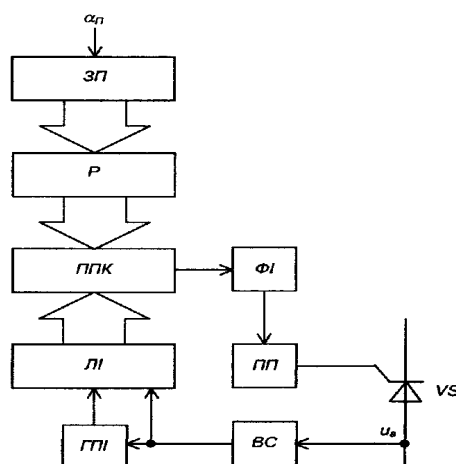


Рис.15. Структурна схема СІФК з цифровим керуванням

ТЕМА – 5. РОБОЧІ ЕЛЕМЕНТИ ВИСОКОВОЛЬТНОЇ НАНОСЕКУНДНОЇ ТЕХНІКИ

Резистори високовольтних наносекундних пристроїв. Високовольтні імпульсні конденсатори. Імпульсні трансформатори для високовольтних потужних пристроїв. Газові розрядники високого тиску та водневі тиратрони – як комутуючі елементи високовольтних сильноточових пристроїв.

5.1. Резистори високовольтних наносекундних пристроїв

$$\delta = (\pi \mu f \sigma)^{-1/2}, \quad (1)$$

де: f – частота [Гц], $\mu = \mu_0 = \mu_r$ – абсолютна магнітна проникність провідника, σ – питома провідність [Ом/м].

$$K_\Phi = l/(\pi D), \quad (2)$$

де l – довжина, а D – діаметр резистора.

$$C_0 = (10^{0,8/K_\Phi})^{-2} \text{ пФ/см}; \quad L_0 = 2[\ln 4\pi K_\Phi - 1] \text{ нГн/см}, \quad (3)$$

$$U_{\text{ПР}} = 300 (7600 p l)^{1/2}, \quad (4)$$

де: $[p]$ – МПа, $[l]$ – см. $p l > 2 \cdot 10^{-4}$ МПа см і $T = 300$ К при тривалості імпульсів порядку 1-2 мкс.

5.2. Високовольтні імпульсні конденсатори

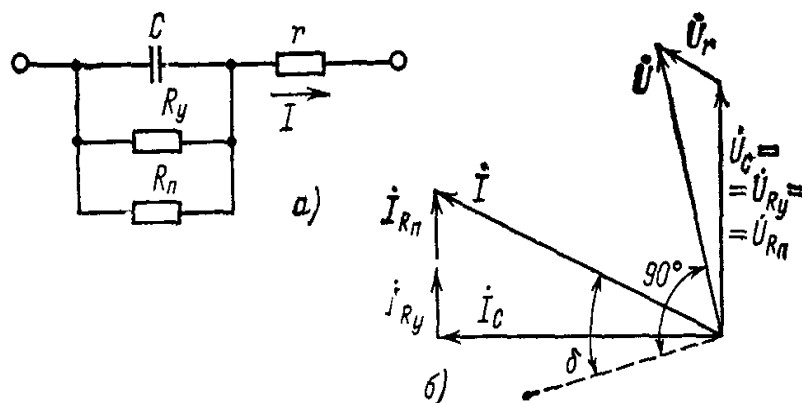


Рис.1. Схема заміщення (а) і векторна діаграма напруг конденсатора (б) де: r – опір обкладок і виводів, R_y – опір втрат (витоку), R_p – опір, що зумовлений релаксаційною поляризацією (загальний опір $R = R_y R_p / (R_y + R_p)$).

$$P_C = (\text{сума по } k) 2\pi U_{CK} f_k \operatorname{tg} \delta_k. \quad (4)$$

$$L_1 = 1/3 \mu_0 l_{EKB} (2d_\Phi + 3 d_C)/b_B, [\text{Гн}], \quad (5)$$

де: b_B – ширина обкладинок фольги, d_C – товщина діелектрика (віддаль між обкладинками конденсатора), $b_B \gg d_C$, d_C – товщина обкладинок (фольги), l_{EKB} – еквівалентна довжина обкладинок [м], $b_\Phi \gg d_\Phi$.

$$L_2 = \mu_0 l_B \pi^{-1} (\ln D/b_B + 3/2). \quad (6)$$

$$L_2 = \mu_0 l_B \pi^{-1} (2 d_B + 3 a)/b_B. \quad (7)$$

де: b_B – ширина виводу конденсатора, l_B – довжина виводу [м], D – віддаль між осями виводів при їх горизонтальному розміщенні, a – віддаль між виводами при їх розміщенні один над другим d_B – товщина виводів.

5.3. Імпульсні трансформатори для високовольтних наносекундних пристроїв

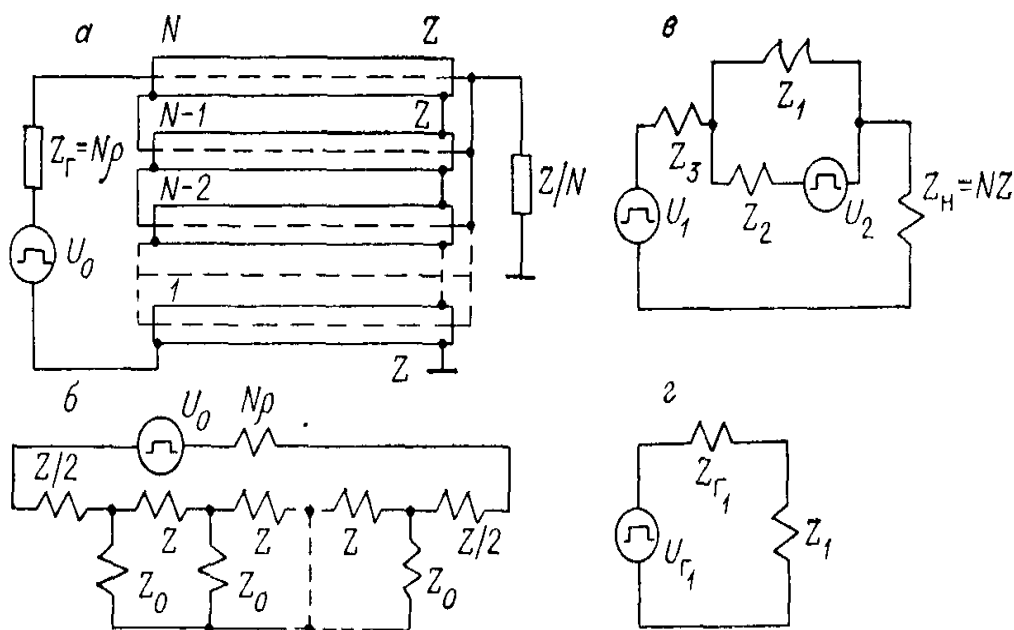


Рис.2. Принципова схема імпульсного трансформатора на відрізках довгих ліній.

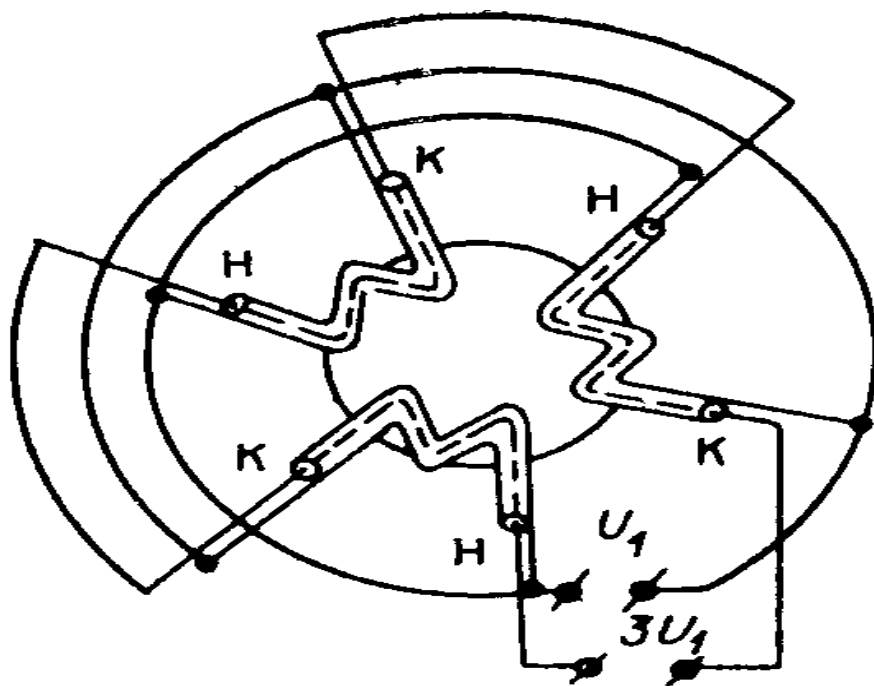


Рис.3. Принципова електрична схема кабельного імпульсного трансформатора.

ТЕМА-6. ФІЗИКА ПРОЦЕСІВ, КОНСТРУКЦІЙ ТА РЕЖИМИ РОБОТИ ГАЗОВИХ РОЗРЯДНИКІВ І ВОДНЕВИХ ТИРАТРОНІВ

6.1. Загальні відомості про газові розрядники

$$J = J_0 \exp \alpha d (1 - \gamma(\exp \alpha d - 1)^{-1}), \quad (1)$$

де: J_0 – густина початкового струму іонізації.

$$U_{\text{дин}} = U_{\text{ст}} + \tau_{\text{зап}} (dU/dt), \quad (2)$$

де: $\tau_{\text{зап}}$ – час запізнення запалювання розря дника, dU/dt – швидкість збільшення напруги на розряднику.

$$F(t) = 1 - \exp(-t/\tau_{\text{зап}}), \quad (3)$$

де: $\tau_{\text{зап}} = (p_0 v)$, v – швидкість утворення вільних електронів в проміжку під дією зовнішнього іонізатора, p_0 – імовірність того, що кожен з цих електронів може привести до пробою за одиницю часу.

$$\tau_{\text{зап}} = \text{const} \exp(-\alpha d), \quad (4)$$

$$P = (T)^{-1} \int [i(t) U(t) dt, \quad (5)$$

$$U_{\text{зГС}} = \text{const} C^{1/2} P^{1/2} M^{1/2} T^{1/2 - 1/2}, \quad (6)$$

де: C – атомна теплоємність, T – температура, M – молекулярна вага газу, p – тиск, U – напруга на конденсаторі.

$$D = P_2^{-1} (M + m)^{-1/2}, \quad (7)$$

де: P_2 – тиск газу в розряднику, M, m – маса атомів металу і газу.

6.2. Водневі імпульсні тиратрони.

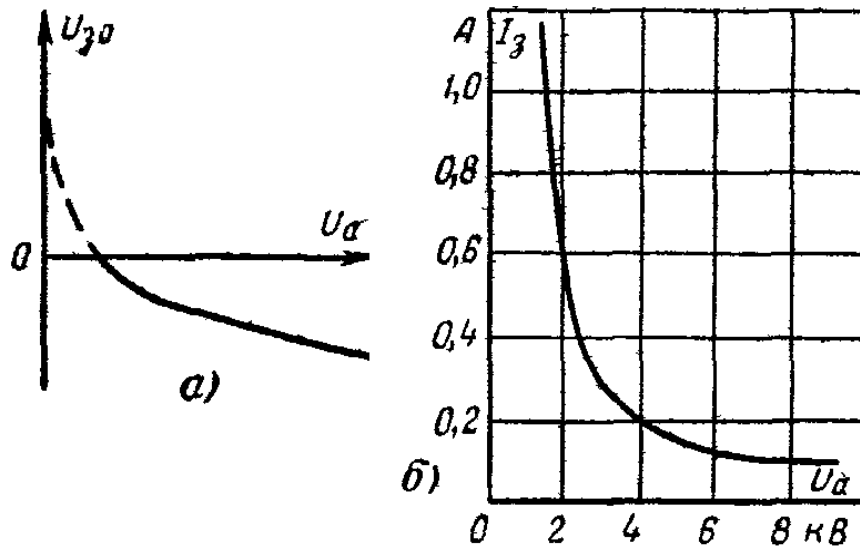


Рис.1. Негативна (а) та додатна (б) анодно-сіткові характеристики тиратронів.

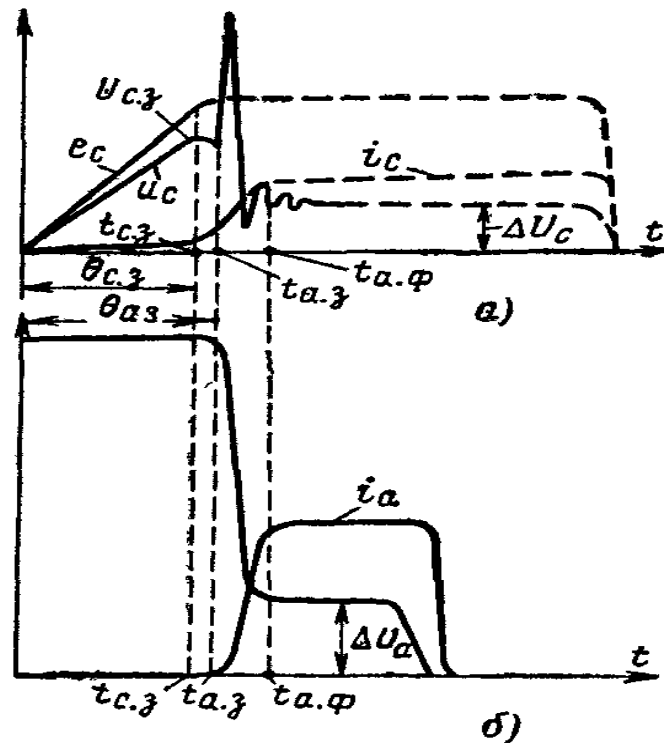


Рис.2. Криві напруги і струму в сітковій (а) та анодній (б) ланках водневого тиратрона.

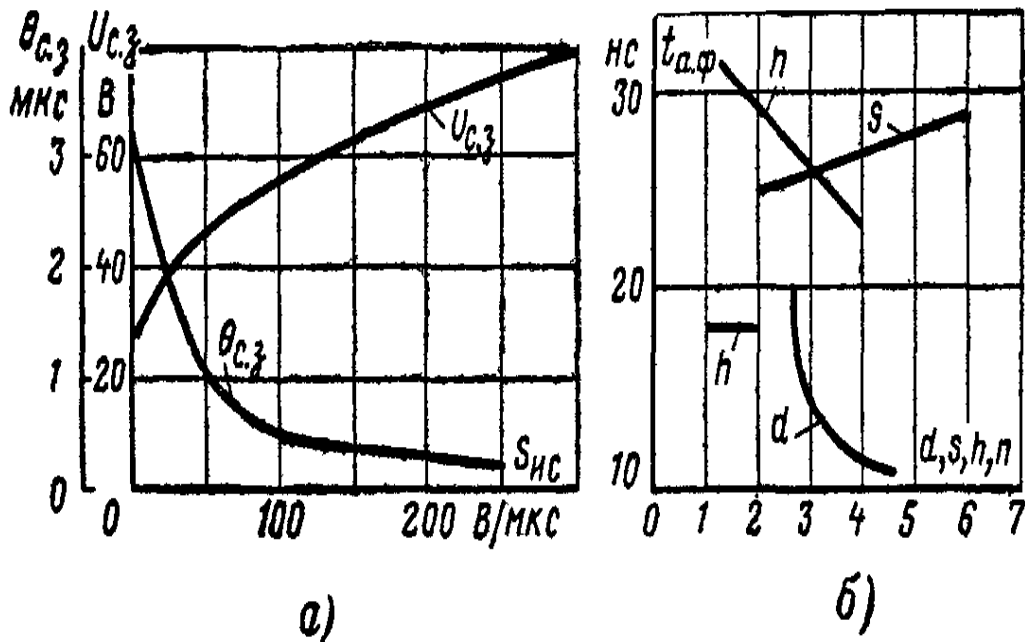


Рис.3. Залежності напруги запалювання і часу затримки розряду на сітку від крктості сткового імпульсу (а); залежність часу формування основного розряду від різних геометричних чинників: числа отворів (n), діаметра отвору (d), висоти сітки (h) і ступеня перекриття екраном сіткових отворів (s) (б).

$$P_{\text{Дод}} = I_A^2 R + I_i (\Delta U_K + U_i - \phi) - I_E \phi, \quad (8)$$

де ΔU_K – джоулеві втрати потужності в оксидному шарі, другий член цієї формули – це потужність, що передається катоду іонами в вигляді кінетичної енергії та енергії нейтралізації $I_i (U_i - \phi)$. Член $I_E \phi$ – це потужність, яка втрачається катодом в процесі емісії електронів.

$$P_{a.н.} = \frac{1}{2} A \tau^2 (\tau + L_P/R_0), \quad (9)$$

де $A = F E_{am} I_{am}$ – фактор потужності, L_P – індуктивність розрядного кола, отримана з врахуванням індуктивності анодного і сіткового введів тиратрона, $R_0 = R_H + Z$ – сумарний опір в анодному колі, F – частота, E_{am} – максимальна анодна напруга.

$$P(C)_{CT} = 1,3 C_{II} E_{am}^2 I_a f \quad (10)$$

де f – частота коливального контура, I_a – середній анодний струм, а відношення $f/F = I_{am} (2,65 I_a)^{-1}$.

$$P_A = F \Delta U_A I_{am} t_i \quad (11)$$

6.3. Відновлення сіткового запирання і електричної міцності імпульсного водневого тиратрона

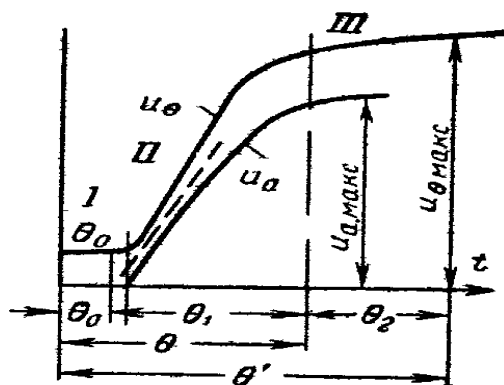


Рис.4. Співставлення кривої відновлення запірної напруги з фактичною напругою на аноді тиратрона.

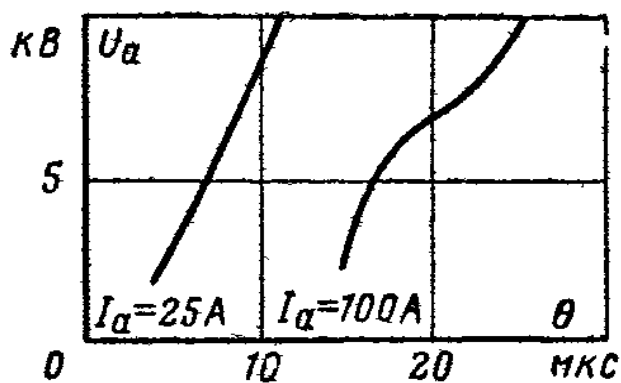


Рис.5. Криві відновлення електричної міцності водневого тиратрона ТГІ І – 1000/25.

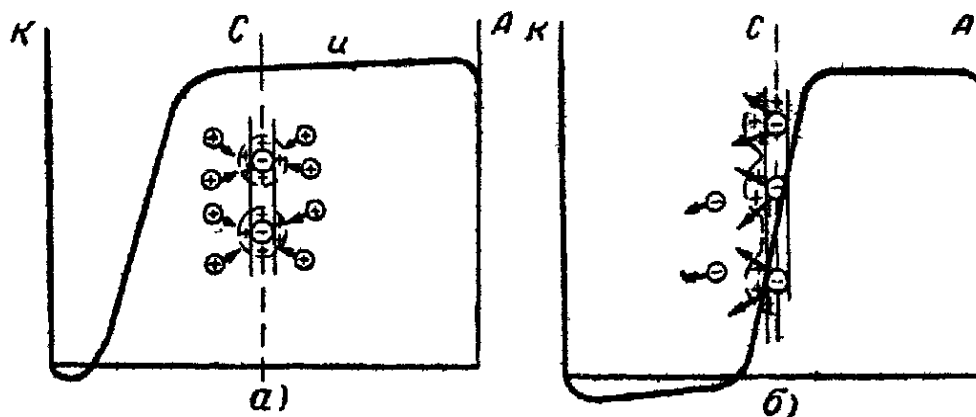


Рис.6 Криві розподілу потенціалу і плазмовий шар в тиратроні (а) і таситроні (б).

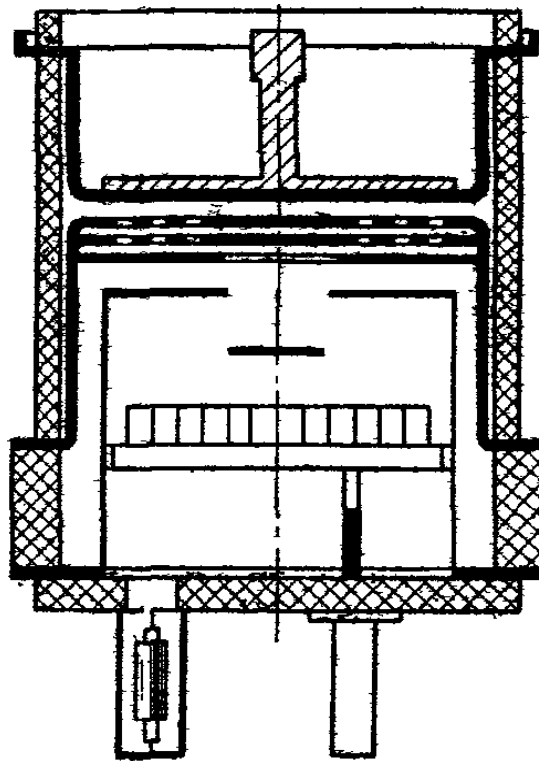


Рис.7. Конструкція металокерамічного водневого тиратрона ТГИ І 1000/25.

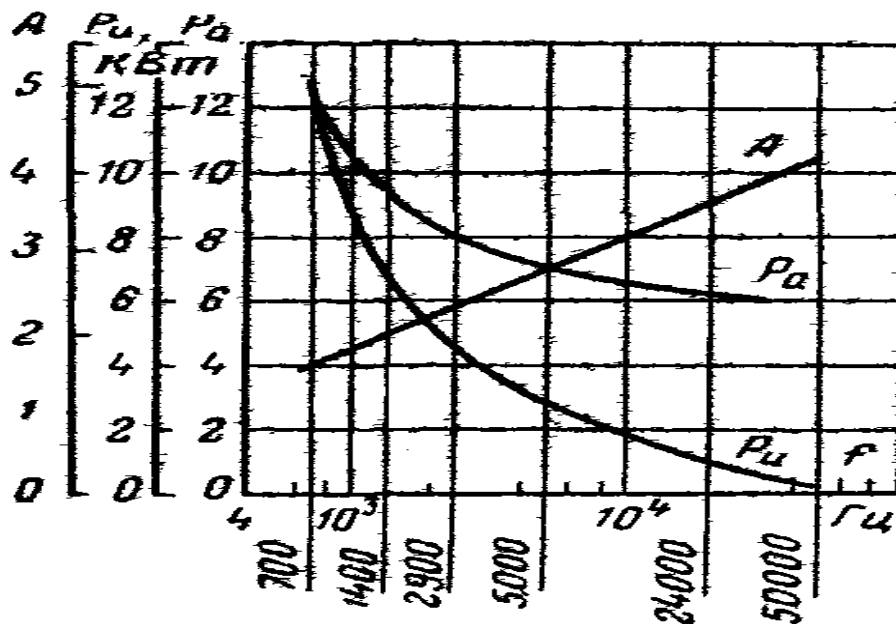


Рис.8. Залежність середньої (P_a), імпульсної (P_i) та чинника потужності від частоти повторення імпульсів для тиратрона ТГИ І 1000/25.

ТЕМА – 7. ІМПУЛЬСНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Проблеми імпульсних джерел живлення. Схемотехніка основних блоків імпульсних джерел електроживлення. Імпульсні стабілізатори напруги. Перетворювачі напруг. Розряд в довгих лінях.

7.1. Структурні схеми і основні проблеми імпульсних джерел електроживлення

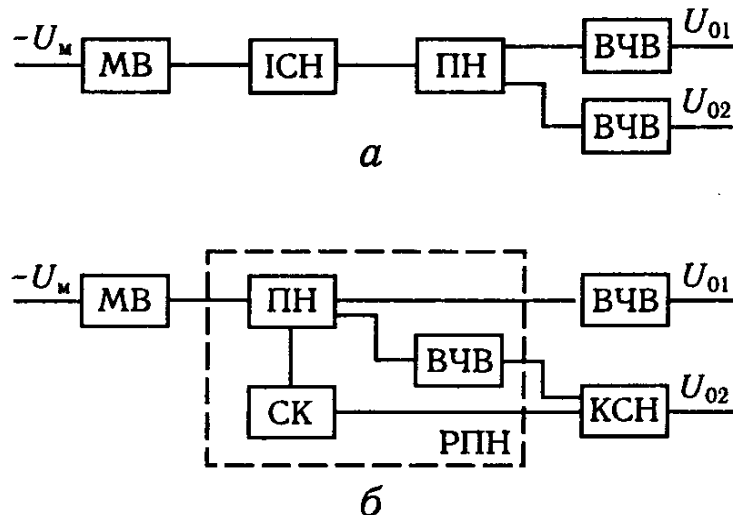


Рис.1. Структурні схеми імпульсних джерел живлення.

7.2. Схемотехніка основних блоків імпульсних джерел електроживлення.

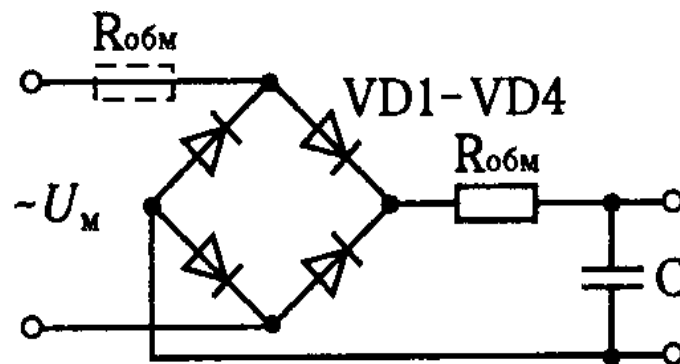


Рис.2 Принципова схема мережевого випрямляча із самообмежувальним резистором.

$$R_{обм} > (U_{с. max} - 2 U_{д.пр.}) / I_{д.імп.} \quad (1)$$

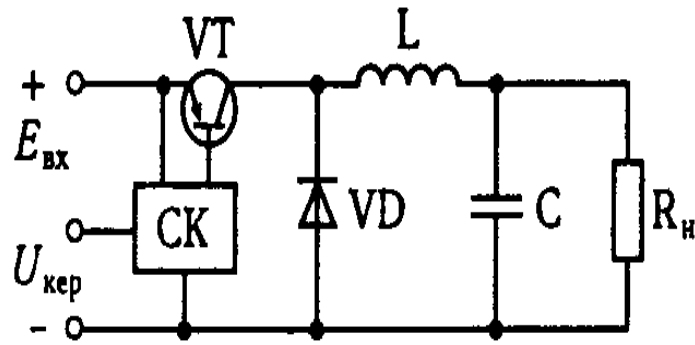


Рис.3. Принципова схема імпульсного регулятора напруги (ІРН) знижувального типу.

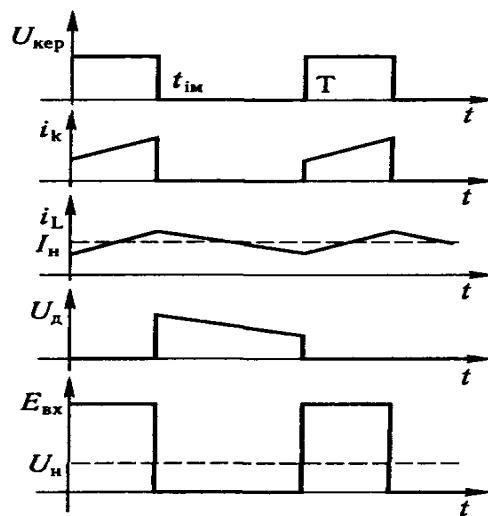


Рис.4. Часові діаграми роботи ІРН знижувального типу.

$$i(k) = i_L = I_{\min} + (I_{\text{вим}} - I_{\min}) t / \tau_H. \quad (2)$$

$$i_L(t) = I_{\max}(1 - t / \tau_H), \text{ де } I_{\max} = I_{\min} + (I_{\text{вим}} - I_{\min}) t / \tau_H. \quad (3)$$

$$U^{(+)}_L = E_{\text{вх}} - U_{\text{кенас}} - U_H = L \Delta I_L / \Delta t = L (I_{\max} - I_{\min}) / t_{\text{им}}. \quad (4)$$

$$U^{(-)}_L = U_H + U_{\text{д.пр.}} = L (I_{\min} - I_{\max}) / (T - t_{\text{им}}). \quad (5)$$

$$C > (I_{\max} - I_{\min}) T (4\pi K_{\Pi} U_H)^{-1}. \quad (6)$$

$$L = U^{(+)}_L t_{\text{им}} (\Delta I_L)^{-1}. \quad (7)$$

7.3 Перетворювачі напруги.

$$t_{\text{пер}} = 2 D_m S_{\text{ос}} w_1 K_{\text{ос}} (E 10^4)^{-1}, \quad (8)$$

де: S_{oc} – площа перетину осердя в $см^2$, w_1 –число витків первинної обмотки трансформатора, K_{oc} –коефіцієнт заповнення осердя сталлю.

$$f_{np} = E \cdot 10^4 (4 B_m S_{oc} w_1 K_{oc})^{-1}. \quad (9)$$

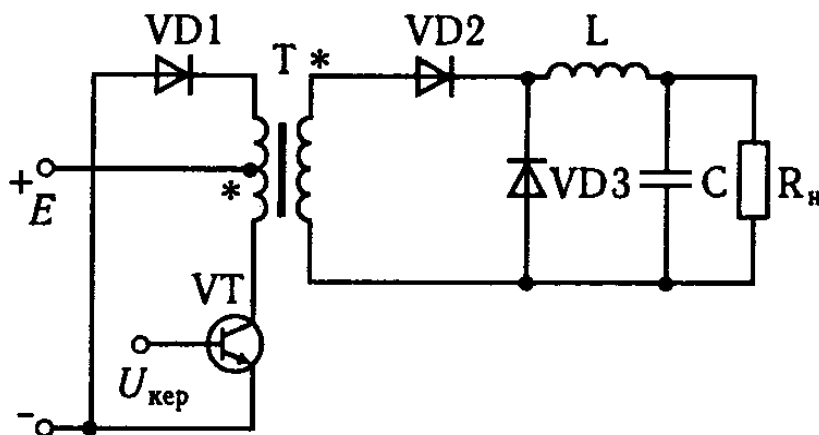


Рис.5. Схема однотактного перетворювача напруги (ОПН) зі зворотним підключенням діода.

$$I_{2CP} = I_H = 1/2 (I_{2MIN} + I_{2MAX}) (1 - t_{IM}/T). \quad (10)$$

$$\Delta U_H = U_H t_{IM} (R_H C)^{-1} = I_H t_{IM} C^{-1}. \quad (11)$$

$$E = L_1 (I_{1MAX} - I_{1MIN})/t_{IM}. \quad (12)$$

$$U_2 = U_H = L_2 (I_{2MAX} - I_{2MIN})/(T - t_{IM}) = \\ = L_1/n^2 (I_{1MAX} - I_{1MIN}) n/(T - t_{IM}). \quad (13)$$

$$U_H = E/n t_{IM} (T - t_{IM})^{-1}. \quad (14)$$

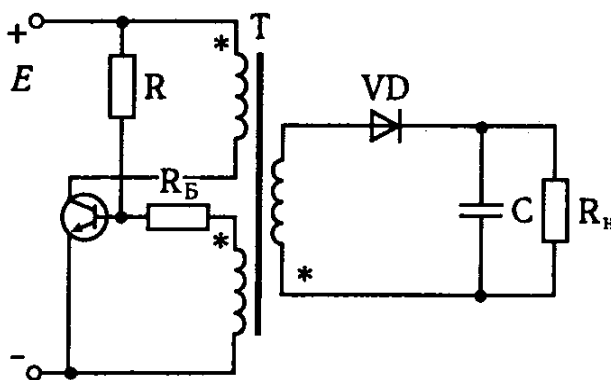


Рис.6. Схема ОПН із самозбудженням.

7.4. Генератори імпульсів на основі одинарної та подвійної довгих ліній

$$U_H = U_0 R_H (R_H + \rho)^{-1} = \frac{1}{2} U_0. \quad (15)$$

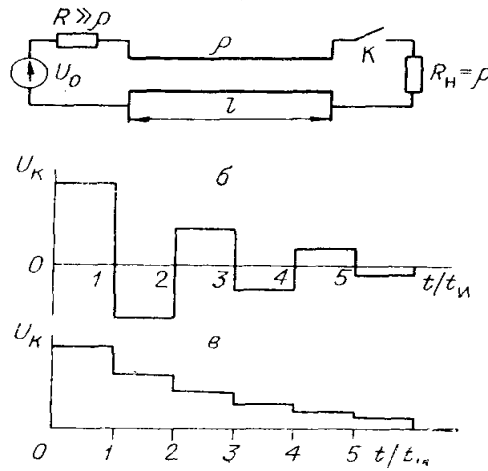


Рис.7. Принципова схема генератора імпульсів з довгою одинарною лінією (а) і форма імпульсу на навантаженні при $R_H/\rho < 1$ (б) та $R_H/\rho > 1$ (в).

$$t_i = 2l (c/(\epsilon_r \mu_r)^{-1/2})^{-1}. \quad (16)$$

$$U_k = U_0 R_H / (R_H + \rho) [(R_H - \rho) / (R_H + \rho)]^{k-1}, k = 1, 2, 3, \dots \quad (17)$$

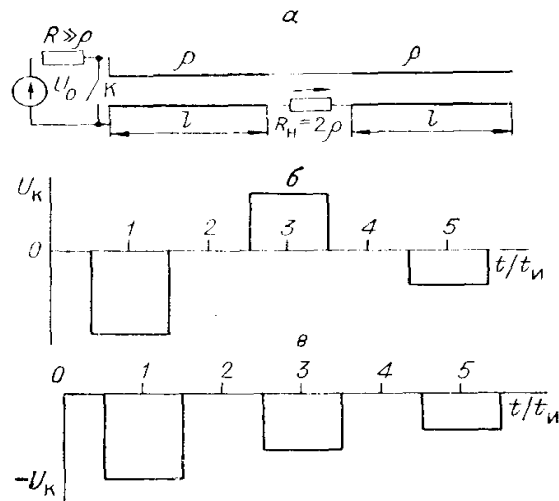


Рис.8. Схема генератора імпульсів з подвійною формуючою лінією (а), і форма імпульсу на навантаженні при $R_H/2\rho < 1$ (б) та $R_H/2\rho > 1$ (в).

$$U_k = - U_0 2 R_H / (R_H + 2 \rho) [(R_H - 2\rho) / (R_H + 2\rho)]^{k-1}, k = 1, 2, 3, \dots \quad (18)$$

$$U_k = U_0 N R_H / (R_H + N \rho) [(R_H - N \rho) / (R_H + N \rho)]^{k-1}, k = 1, 2, 3 \dots (19)$$

$$U_H = N E R_H (R_H + N \rho)^{-1}. (20)$$

$$Z_{\text{вих}} = N \rho = N 120 \pi a \varepsilon^{-1/2} (b + a)^{-1}, [\text{Ом}]. (21)$$

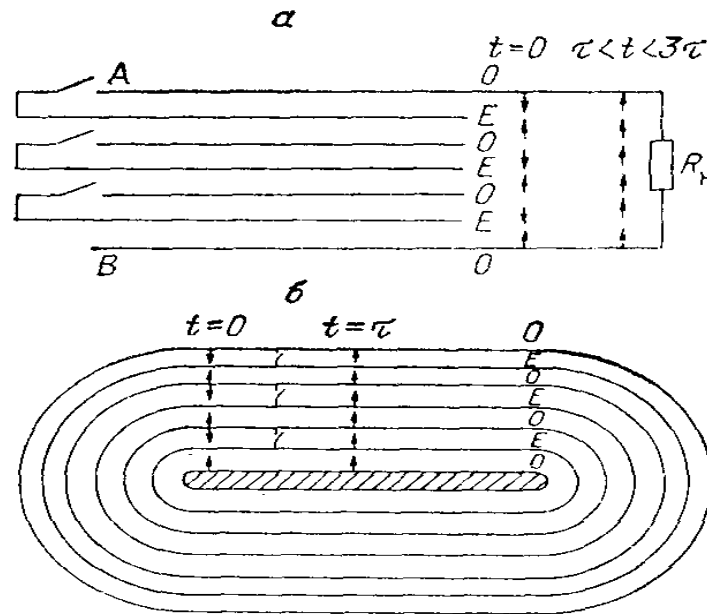


Рис.9. Схема ГН – а з послідовним вмиканням довгих ліній.

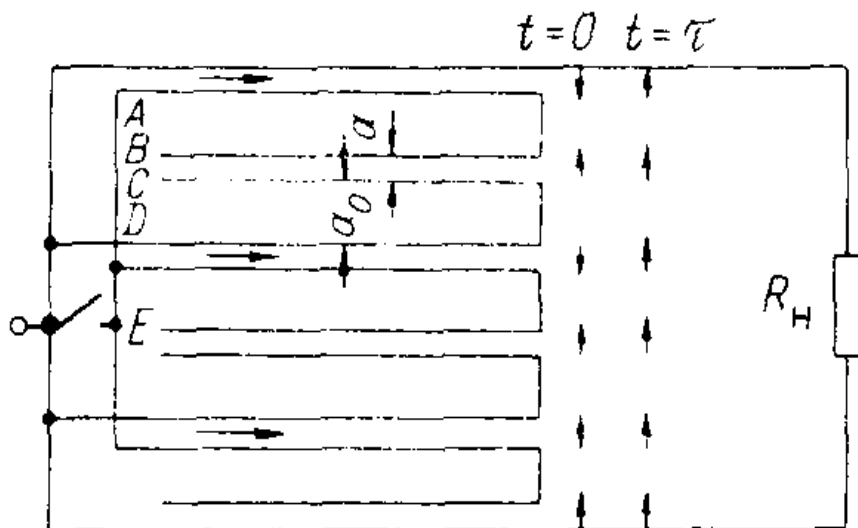


Рис.10. Схема з смуговими лініями, спільним комутатором та розв'язуючим імпедансом для кожної з ліній.

$$U_a = E a/a_0 \quad (22)$$

$$U_{вих} = N E R_H (\beta - a/a_0) (R_H + N \rho)^{-1}, \quad (23)$$

де: β – коефіцієнт, який враховує зміну плоскої вершини імпульсу за рахунок втрат у лініях.

ТЕМА - 8. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ГАЗОВИХ ЛАЗЕРІВ З НАКАЧУВАННЯМ ПОПЕРЕЧНИМ РОЗРЯДОМ

Генератори накачування з ємнісним та індуктивним накопичувачем для газорозрядних лазерів

8.1. Генератори накачування з ємнісним накопичувачем для газових лазерів.

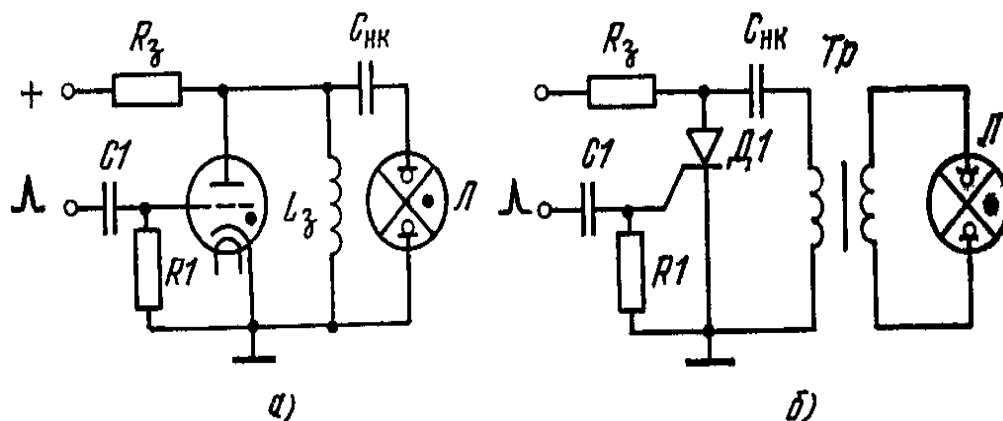


Рис.1. Схеми генераторів імпульсів для живлення газових лазерів: а — з використанням тиратрона; б — з використанням тиристора в якості сильнотрмового комутатора.

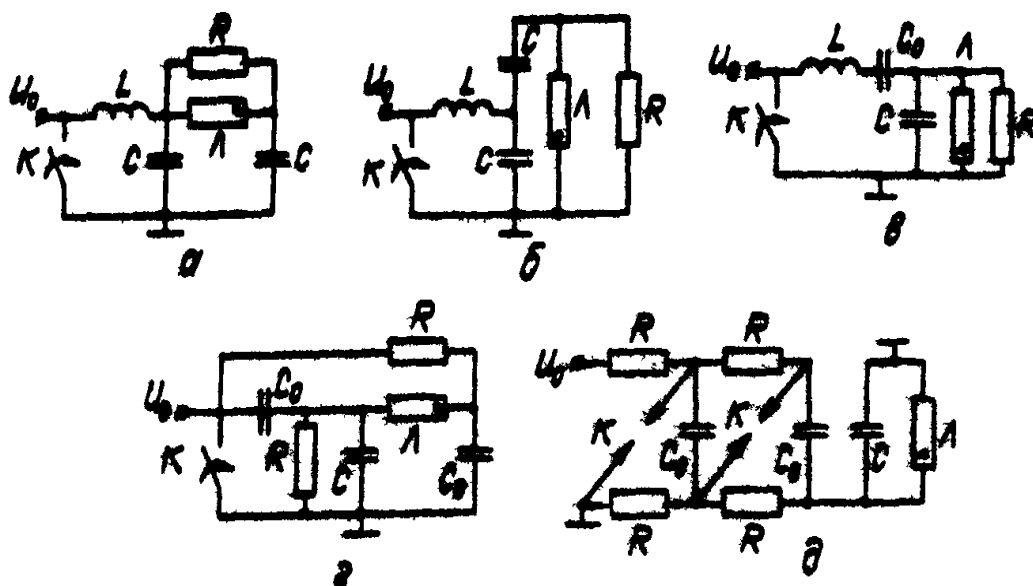


Рис.2. Схеми генераторів імпульсних напруг для накачування газових лазерів.

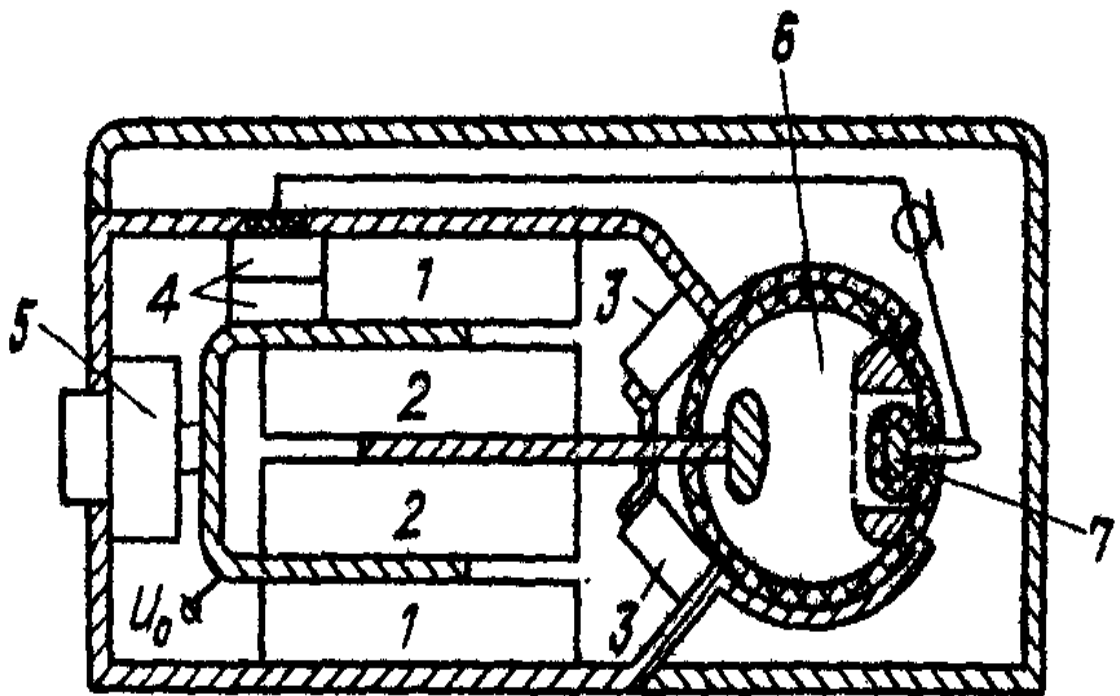


Рис.3. Будова експлексного лазерного випромінювача з накачуванням ПОР: 1, 2, 4 – конденсатори К15-10, конденсатори К15-4, 5 – керований газовий розрядник типу РУ-65, активний елемент, 7 – електрод, який покрито тонкою діелектричною плівкою і який служить для попередньої іонізації розрядного проміжку.

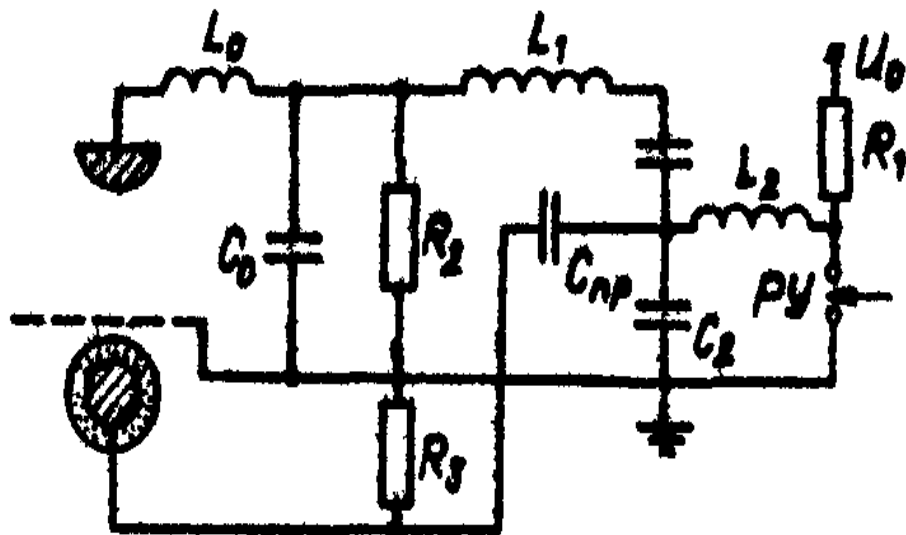


Рис.4. Електрична схема блока накачування газового лазера на галогенідах інертних газів.

8.2. Генератори накачування лазерів з індуктивним накопичувачем енергії

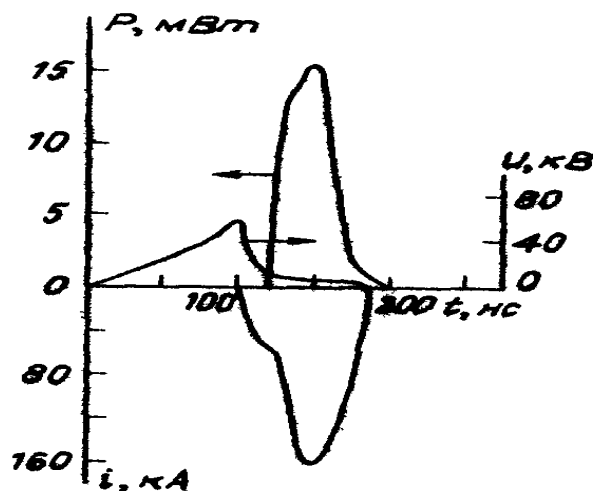


Рис.5. Осцилограми напружності на розрядному проміжку (U), струму розряду (i) та імпульсу генерації KrCl^* - лазера на суміші $\text{P}(\text{Ne}) - \text{P}(\text{Kr}) - \text{P}(\text{HCl}) = 2660-70-3$ мм рт. ст. при зарядній напрузі $U_0 = 40$ кВ.

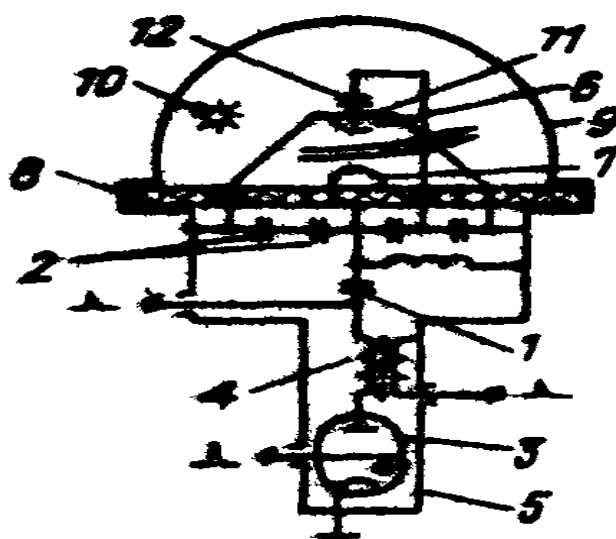


Рис.6. Конструкція імпульсно-періодичного газорозрядного експлексного лазера: 1 — емнісний накопичувач енергії, 2 — загострюючі конденсатори, 3 — водневий тиратрон, 4 — нелінійний дросель, що насичується, 5 — екран, 6 — анод, виготовлений з металеві сітки, 7 — катод, 8 — ізолятор, 9 — розрядна камера, 10 — турбовентилятор, 11 — електроди системи попередньої іонізації, 12 — імпульсні конденсатори.

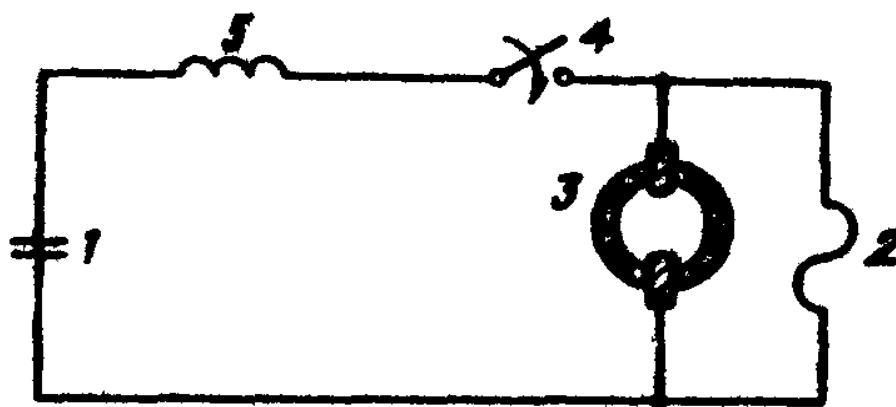


Рис.7. Електрична схема системи накачування з індуктивним накопичуванням енергії: 1 – ємнісний накопичувач, 2 – мідні провідники, 3 – активний елемент, 4 – комутатор, 5 – накопичувальна індуктивність.

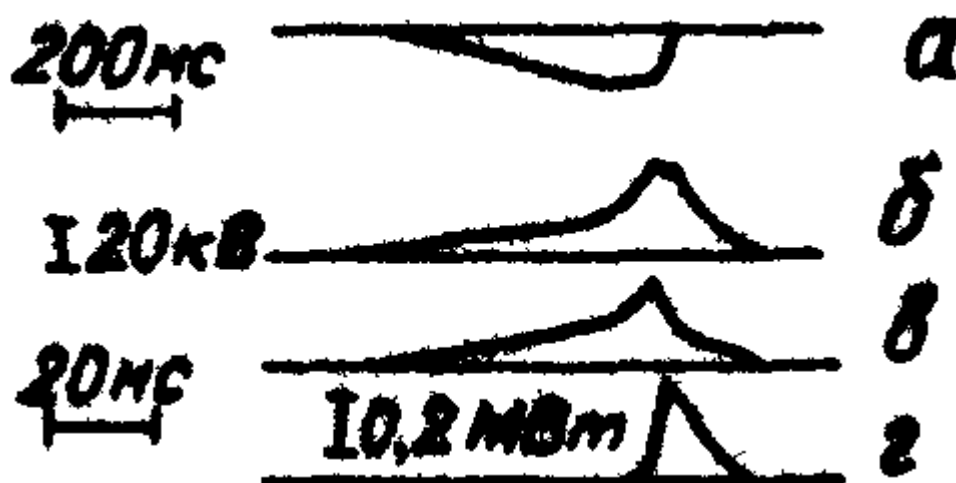


Рис.8. Осцилограми процесів в азотному лазері з індуктивним накопичувачем енергії:
а – струм розрядження ємнісного накопичувача через мідні провідники, б – напруга на електродах активного елемента без пробоя робочого газу, в – напруга на електродах з пробоем, г – імпульс лазерного випромінювання.

ДОДАТОК

КРЕДИТНО-MOДУЛЬНА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ “ОСНОВИ ІМПУЛЬСНОЇ ТЕХНІКИ”,

I. Пояснювальна записка

Імпульсна техніка – це галузь науки, яка займається вивченням сукупності методів та засобів перетворення, генерування і вимірювання електричних імпульсів.

Імпульс - це короткочасна зміна напруги або струму в електричному колі. Імпульси за формою бувають: прямокутні, трикутні, трапецеїдальні, експоненціальні тощо; вони можуть бути однієї та різної полярності. Імпульсна техніка тісно пов'язана з імпульсною електронікою, оскільки є її важливою частиною, без якої неможливий розвиток сучасної науки і новітніх технологій.

Електроніка – це галузь науки і техніки, яка вивчає фізичні явища, спричинені зміною концентрації та перенесенням заряджених частинок у вакуумі, газах й твердих тілах; електричні характеристики і параметри електровакуумних, іонних і напівпровідникових приладів, властивості пристроїв та систем, в яких використовуються електровакуумні, іонні та напівпровідникові прилади.

Сучасна електроніка може бути поділена на фізичну і технічну електроніку.

Технічна електроніка включає радіоелектроніку, промислову електроніку, ядерну та біологічну електроніку.

Радіоелектроніка тісно пов'язана з радіотехнікою, тому що є основою радіозв'язку, телебачення, радіоастрономії тощо.

Промислова електроніка пов'язана з використанням електронних пристроїв для промисловості і забезпечує її засобами контролю, керування, вимірювання, перетворенням електричної енергії і технологічним обладнанням.

Ядерна електроніка зв'язана із процесами одержання, вивчення і використання елементарних часток.

Біологічна (медична) електроніка охоплює використання електронних пристроїв у медико-біологічних дослідженнях.

Всі ці види електроніки в тій чи іншій мірі пов'язані з перетворенням, генеруванням і вимірюванням імпульсів, що і є предметом вивчення імпульсної техніки.

В імпульсній техніці можна також виділити інформаційний і силовий (енергетичний) напрямки розвитку.

Інформаційний напрямок включає електронні системи вимірювання, контролю і керування різними технологічними процесами на виробництві і в наукових дослідженнях. До нього належать підсилювачі сигналів, генератори імпульсів струму і напруги різної форми та частоти, логічні схеми, лічильники й індикатори - все це пристрої, робота яких ґрунтується на використанні інтегрованих схем та транзисторів.

Силовий або енергетичний напрямок імпульсної техніки пов'язаний з перетворенням змінного та постійного струмів для потреб електроенергетики, металургії, хімії тощо.

Електронні системи за способом формування і передавання сигналів керування поділяються на **аналогові** та **дискретні**.

В електронній системі **аналогового** типу кожному конкретному значенню реальної фізичної величини на вході давача відповідає цілком визначене значення обраного електричного параметра постійного або змінного струму. **Перевагами** аналогових систем є теоретично максимально досяжні точність та швидкодія і простота систем. Їх **недоліками** є низька завадостійкість та нестабільність параметрів, які зумовлені значною залежністю властивостей пристрою від зовнішніх дестабілізуючих чинників.

Дискретні електронні пристрої призначені для приймання і перетворення електричних сигналів, одержаних внаслідок квантування (тобто заміни безперервного сигналу його значеннями в деяких точках) за часом або (та) за рівнем заданої аналогової функції. Тому сигнали, які в них діють, пропорційні обмеженому числу обраних за певним законом значень реальної фізичної величини, відображеної у вигляді різних параметрів імпульсів (амплітуди, тривалості, періоду тощо). У дискретних електронних системах використовується лише частина інформації про реальну фізичну величину.

Основними перевагами дискретних електронних систем є те, що імпульсна та середня потужності визначаються через шпаруватість, тому за великої шпаруватості можна отримати істотне перевищення потужності в імпульсі, що сприяє поліпшенню показників маси та габаритних розмірів; при роботі у режимі ключа розсіювання потужності мінімальне, а це підвищує коефіцієнт використання пристрою; властивості дискретних пристроїв менше залежать від нестабільності параметрів своїх складових; завадостійкість дискретних приладів вища, оскільки зменшується проміжок часу, коли завада може впливати на сигнал; в них застосовується однотипна елементна база, що сприяє підвищенню надійності і зниженню вартості при серійному виробництві.

Імпульсну техніку і електроніку можна умовно розділити на **низьковольтну** та **високовольтну**. Низьковольтну імпульсну техніку будемо виділяти за величиною амплітуди імпульсів напруги – яка не повина переважати 1000 В, а до високовольтної імпульсної техніки віднесені всі пристрої, генеруються або перетворюються імпульси напруги з амплітудою вищою за 1000 В.

Виходячи з такого умовного поділу імпульсної техніки, весь матеріал спецкурсу «Основи імпульсної техніки» був розділений на два змістові модулі: «Низьковольтна імпульсна техніка» і «Високовольтна та енергетична імпульсна техніка»

Згідно навчального плану підготовки студентів-фізиків за освітньо-кваліфікаційним рівнем "Бакалавр" вивчення навчальної дисципліни «Основи імпульсної техніки» (спецкурс) здійснюється студентами четвертого курсу, які спеціалізуються на кафедрі квантової електроніки. Навчальний процес відбувається у восьмому семестрі.

Кількість кредитів – 3,0 .

«Основи імпульсної техніки» як навчальна дисципліна:

- а) базується на попередньо вивченому студентами на 2-3 курсах предметів «Основи радіоелектроніки» та «Мікросхемотехніка».
- б) забезпечує високий рівень підготовки з імпульсної техніки та електроніки, який необхідний студентам для виконання бакалаврських, дипломних і магістерських робіт, а також цей спецкурс створює основи для

працевлаштування бакалаврів на інженерно-технічні посади у підприємствах електронної промисловості;

- в) закладає студентам фундамент для подальшого засвоєння ними знань із дисциплін “Квантова електроніка”, Техніка лазерів» і “Фізика плазми”.

Організація навчального процесу здійснюється за кредитно-модульно-рейтинговою системою відповідно до вимог Болонської декларації.

Програма дисципліни “**Основи імпульсної техніки**” складається з одного модуля, який містять два змістові модулі.

Модуль 1. ОСНОВИ ІМПУЛЬСНОЇ ТЕХНІКИ

Змістові модулі:

- 1. Низьковольтна імпульсна техніка;**
- 2. Високовольтна та енергетична імпульсна техніка»**

Видами навчальних занять згідно з навчальним планом є: а). лекційні заняття студентів (Л); б).лабораторні заняття студентів (ЛБЗС); в). самостійна робота студентів (СРС); г).індивідуальна робота студентів (ІРС).

Опис структурованого навчального плану з дисципліни “Основи імпульсної техніки” для студентів фізичного факультету

Структура навчальної дисципліни “ОІТ”	Кількість годин, із них					Вид контролю
	Всього годин/ кредити	Аудиторних		СРС	ІРС	
			ЛБЗС М			
	101 / 3,0	16	25	40	20	
Змістовий модуль 1	69 / 2,0	8	25	20	16	Підсумковий контроль Письмове завдання, тести
Підсумковий контроль засвоєння змістового модулю	1					
Змістовий модуль 2	32 / 1,0	8		20	4	Підсумковий контроль Письмове завдання, тести
Підсумковий контроль засвоєння змістового модулю	1					

Примітка: Л – лекції; ЛБЗС – лабораторні заняття студентів; СРС – самостійна робота студентів; ІРС – індивідуальна робота студентів. 1 кредит ECTS – 36 годин; аудиторне навантаження – 41 %.

Теми лекційного курсу розкривають проблемні питання відповідних розділів дисципліни “Основи імпульсної техніки” (ОІТ).

Застосовуються такі засоби перевірки рівня підготовки студентів: тестові завдання, усне опитування і написання рефератів.

Підсумковий контроль засвоєння змістових модулів здійснюється по їх завершенню на підсумкових контрольних заняттях. Оцінка успішності студента є рейтинговою і виставляється за стобальною шкалою з урахуванням оцінок засвоєння окремих змістових модулів.

II. МЕТА І ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою дисципліни “Основи імпульсної техніки” є засвоєння студентами будови і основних принципів роботи радіо- та електротехнічних приладів, які працюють в імпульсному режимі, методів та механізмів роботи імпульсних пристроїв, що широко використовуються в сучасній науці і різних технологіях, сприяють подальшому розвитку помисловості та автоматизації виробництва, оскільки комп’ютерна техніка, приладобудування, сучасні засоби зв’язку, біотехнології, лазерна техніка та лазерні технології, дослідження космосу, світлотехніка і екологія вимагають розвитку сучасної імпульсної техніки. Тому засвоєння основ імпульсної техніки студентами є на даний час актуальним завданням.

Завдання дисципліни “Основи імпульсної техніки” полягає в тому, щоб навчити студентів:

- Основним методам формування і генерації низьковольтних електричних імпульсів малої потужності;
- Принципам роботи і особливостям використання планарних транзисторів, діодів, диністорів, звичайних і спеціальних тиристорів у низьковольтній імпульсній та перетворювальній техніці;
- Основним характеристикам і особливостям використання резисторів, конденсаторів, довгих формуючих ліній, кабельних трансформаторів і комутуючих пристроїв (розрядників і тиратронів) у високовольтній імпульсній техніці;
- Будові та принципам дії сучасних високовольтних сильноточових генераторів імпульсів наносекундної тривалості, які широко використовуються для збудження імпульсних лазерів;

В результаті вивчення дисципліни “Основи імпульсної техніки” студенти повинні знати:

- Основні режими роботи і типові характеристики диференціальних, інтегровальних і розділових RC-ланок, будову і принцип дії імпульсних низьковольтних конденсаторів та ліній затримки низьковольтних імпульсних сигналів;

- Будову, принцип дії та особливості імпульсного режиму роботи планарного транзистора, схеми і принцип дії імпульсних підсилювачів на транзисторах;
- Схеми і принцип роботи формувачів та генераторів низьковольтних малопотужних імпульсів,
- Основи перетворювальної техніки (диністори, тиристори, схеми керування роботою тиристорних пристроїв);
- Елементну базу високовольтної імпульсної техніки (імпульсні резистори, конденсатори, кабельні трансформатори, розрядники, тиратрони);
- Схемотехніку високовольтних джерел імпульсів струму високої амплітуди.

На основі набутих теоретичних знань і практичних навиків студенти повинні вміти:

- Користватися та діагностувати режим роботи основних пристроїв низьковольтної імпульсної техніки;
- Аналізувати схеми і вибирати потрібний для конкретного використання режим роботи тиристорних пристроїв;
- Аналізувати характеристики і режими роботи високовольтних елементів, комутуючих пристроїв та схем генераторів потужних високовольтних імпульсів.

III. ЗМІСТ НАВЧАЛЬНОЇ ПРОГРАМИ

Модуль 1. ОСНОВИ ІМПУЛЬСНОЇ ТЕХНІКИ

Змістовий модуль 1. Низьковольтна імпульсна техніка;

Конкретні цілі:

- А. Розкрити місце сучасної імпульсної техніки та її роль в електроніці, як науці. Висвітлити питання про параметри імпульсів, найпростіші ключові схеми, будову та принцип дії пасивних елементів низьковольтної імпульсної техніки.
- Б. Розкрити будову і принцип дії планарного транзистора, а також імпульсних пристроїв на його основі.
- В. Розкрити будову і принцип роботи, характеристики диністорів і тиристорів, а також схем їх використання в перетворювальній техніці.

Тема 1. «ВСТУП ДО ІМПУЛЬСНОЇ ТЕХНІКИ. ПАСИВНІ ФОРМУЮЧІ ЛАНЦЮГИ»

Імпульсна техніка, як наука. Імпульси і їх параметри. Ідеальні комутуючі ланки. Диференціювання та інтегрування імпульсів. Імпульсні низьковольтні трансформатори і лінії затримки.

Тема 2. «ФОРМУВАЧІ І ГЕНЕРАТОРИ ПРЯМОКУТНИХ ІМПУЛЬСІВ НА ДИСКРЕТНИХ ЕЛЕМЕНТАХ»

Обмежувачі на діодах послідовного і паралельного типів. Біполярні транзистори. Схеми вмикання і статичні характеристики біполярних транзисторів. Біполярний транзистор як активний чотирьохполюсник (h – параметри). Основні режими роботи БП-транзистора. Транзисторний підсилювач-обмежувач. Динамічні характеристики транзисторних ключів. Мульти- і одновібратори. Блокінг-генератори. Генератори лінійнозмінюваної напруги.

Тема 3. «СПУСКОВІ ІМПУЛЬСНІ ПРИСТОЇ (ТРИГЕРИ)»

Загальні відомості про тригери та їх застосування. Механізм роботи симетричного тригера на біполярних транзисторах. Характеристики тунельних діодів і тиристорів. Тригери на тунельних діодах і тиристорах.

Тема 4. «СИСТЕМИ ІМПУЛЬСНО-ФАЗОВОГО КЕРУВАННЯ ЗАПУСКОМ ТИРИСТОРІВ»

Загальні положення про системи імпульсно-фазового керування (СІФК). СІФК з горизонтальним і вертикальним керуванням. Резистивно-смісна СІФК. СІФК з цифровим керуванням.

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Лабораторна робота № 1.

ПАСИВНІ ФОРМУЮЧІ ЛАНКИ ІМПУЛЬСІВ

1. Мета роботи

Ознайомитися з основними методами диференціювання та інтегрування електричних імпульсів. Навчитися формувати низьковольтні імпульси з допомогою диференціювальних та інтегрувальних RC, RL - ланок, імпульсного трансформатора та вивчити роботу лінії затримки імпульсних сигналів на основі дискретних радіотехнічних елементів.

2. Необхідні прилади і матеріали.

Генератор низьковольтних імпульсів, імпульсний осцилограф, лабораторна плата з набором диференціювальних та інтегрувальних ланок, низьковольтний імпульсний трансформатор та лінії затримки імпульсних сигналів на дискретних радіотехнічних елементах.

3. Завдання та методика виконання роботи

1. Засвоїти механізм роботи диференціювальних та інтегрувальних ланок, низьковольтного імпульсного трансформатора і лінії затримки імпульсів на дискретних елементах.

2. Вивчити лабораторну плату із схемами до даної роботи (рис.1).

3. Увімкнути генератор прямокутних імпульсів Г5-54 та імпульсний осцилограф С1-55. Подати на вхід диференціювальної, а потім інтегрувальної схем прямокутні імпульси із виходу генератора імпульсів, спостерігати на екрані імпульсного осцилографа та замалювати у звіт продиференційовані і проінтегровані схемами імпульси.

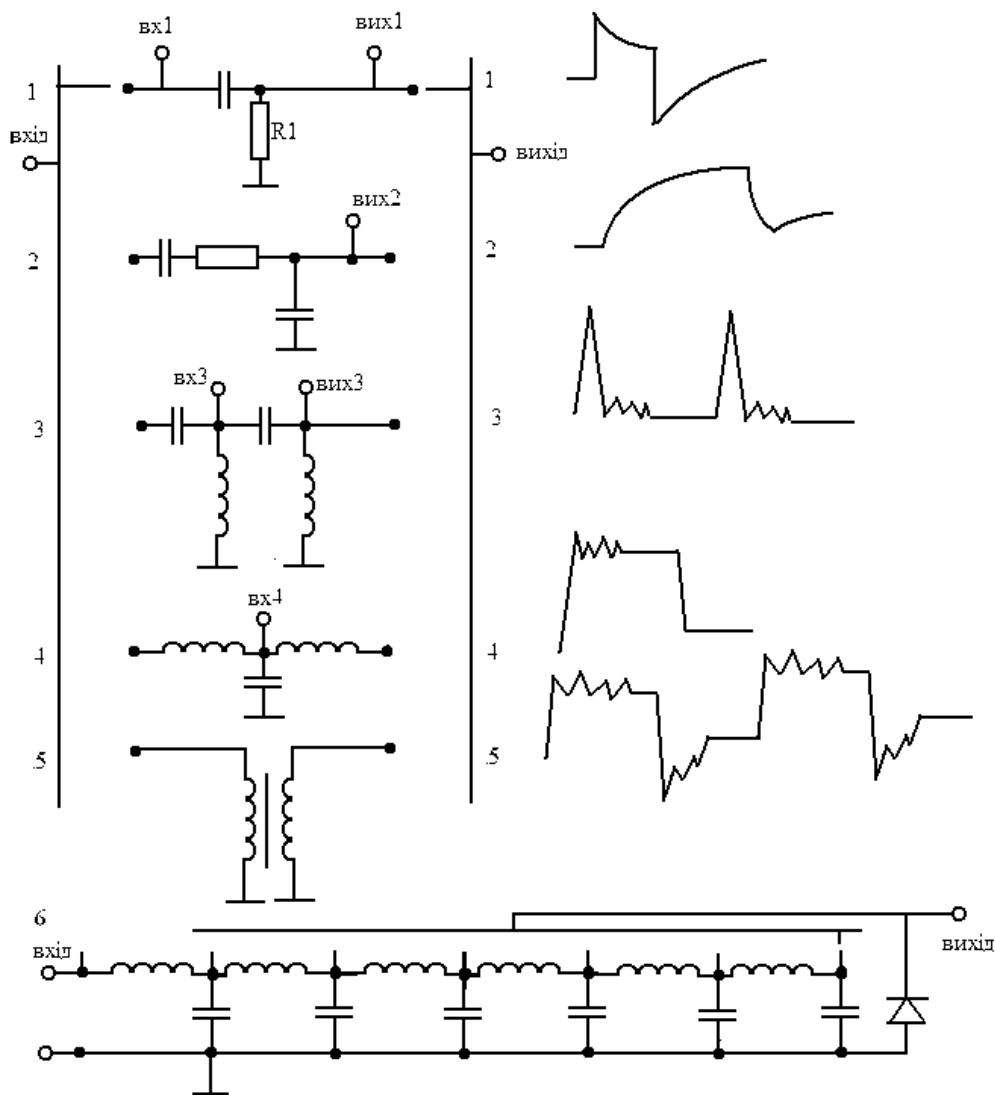


Рис.1. Схеми диференціальних та інтегральних ланок; схеми лінії затримки та імпульсного трансформатора.

4. Дослідити роботу ланок при наступних входних сигналах:
 - 4.1. Диференціальна ланка (1) :
 - а) додатні імпульси амплітудою 3 - 4 В, тривалістю імпульсів – 100 мкс і частотою повторення – 10 кГц;
 - б) додатні імпульси амплітудою 3 - 4 В, тривалістю імпульсів – 1 мкс і частотою повторення – 100 кГц;
 - 4.2. Інтегровальна ланка (2): додатні імпульси амплітудою 3 - 4 В, тривалістю імпульсів 10 і 100 мкс, частотою повторення – 10 кГц.
 - 4.3. Диференціальна ланка (3): додатні імпульси амплітудою 3 - 4 В, тривалістю – 10 - 30 мкс, частотою повторення – 10 кГц.
 - 4.4. Інтегровальна ланка (4) : додатні імпульси амплітудою 3 - 4 В, тривалістю – 2 - 3 мкс та частотою повторення – 100 кГц.

5. Подати на вхід імпульсного трансформатора (5) прямокутні імпульси із тривалістю 1 – 2 мкс і частотою повторення 100 кГц, спостерігати на екрані імпульсного осцилографа та замалювати у звіт вихідні імпульси.

6. Подати на вхід лінії затримки (6) прямокутні імпульси із тривалістю 1 мкс і частотою повторення 100 кГц, спостерігати на екрані імпульсного осцилографа та замалювати у звіт вихідні імпульси, визначити час затримки вихідного імпульсу відносно вхідного.

7. Зробити висновки з одержаних результатів.

Контрольні запитання

1. В чому полягають фізичні основи диференціювання електричних імпульсів за допомогою RC – ланок ?
2. За яких умов RC–ланка буде диференційною, а за яких –розділовою ?
3. Умови отримання режиму негармонійних збурень в схемі з диференціювальною RC – ланкою ?
4. Дайте визначення і поясніть принцип інтегрування електричних імпульсів із допомогою RC – ланок.
5. За яких умов RC – ланка буде інтегровальною. Від чого залежить відносна похибка інтегрування імпульсу і яка її орієнтовна величина ?
6. Від чого залежить час затримки імпульсу в лінії затримки на основі дискретних (L, C) елементів ?
7. Наведіть основні співвідношення для розрахунку дискретної лінії затримки ?
8. Області застосування та принцип дії імпульсного трансформатора ?
9. Намалюйте принципову схему імпульсного трансформатора і перерахуйте основні його параметри ?

Література

1. В.Г.Гусев, Ю.М.Гусев // Электроника. - М. «Высшая школа», 1991.- 622 с.
2. В.В.Гусев, Л.Г.Зеличенко, К.В.Конев и др. // Основы импульсной и цифровой техники. -М. «Сов. радио». 1975. - 440 с.
3. В.І.Бойко, А.М.Гуржій, В.Я.Жуйков та інші // Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої. - К. “Вища школа”. 2004. - 365 с.
4. Ю.А.Браммер, И.Н.Пашук // Импульсная техника, -М. «Высшая школа». 1985. -320 с.
5. А.Н.Старостин // Импульсная техника. -М. «Высшая школа». 1973. - 334 с.

Лабораторна робота № 2

ІМПУЛЬСНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ НА ТРАНЗИСТОРАХ

1. Мета роботи

Вивчити роботу імпульсного підсилювача на резисторах, ознайомитися з впливом на форму імпульсів, які підсилюються, основних параметрів планарного транзистора та складових електричної схеми, засвоїти методи корекції переднього фронту та вершини імпульсу мікросекундної тривалості.

2. Необхідні прилади і матеріали.

Генератори низьковольтних синусоїдальних та імпульсних електричних сигналів, імпульсний осцилограф, лабораторна плата з макетом імпульсного підсилювача на транзисторах.

3. Завдання та методика виконання роботи

1. Ознайомитися з схемою однокаскадного підсилювача на транзисторі (рис.2.) та вивчити роботу резистивного підсилювача і емітерного повторювача на транзисторі.

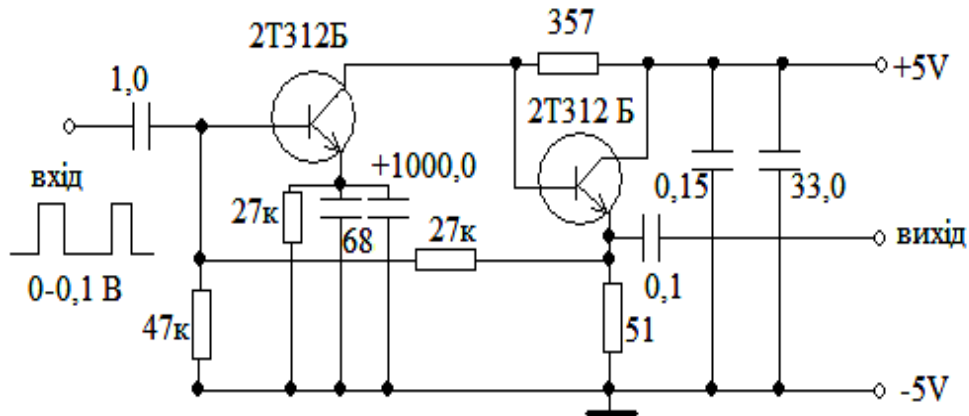


Рис.2. Схема імпульсного підсилювача на транзисторі.

2. Подати на вхід імпульсного підсилювача додатний прямокутний імпульс з генератора імпульсів Г5-54, який має наступні параметри: амплітуду 50-150 мВ, частоту 10-30 кГц і тривалість 0,1-1,0 мкс; спостерігати на екрані осцилографа та замалювати у звіт вихідні імпульси.

3. Подати на вхід підсилювача від генератора Г4-18А синусоїдальну напругу з амплітудою 10 - 40 мВ і виміряти залежність вихідної напруги від частоти в діапазоні 0,1 – 10 МГц.

4. Визначити коефіцієнт підсилення імпульсного підсилювача на транзисторі.

5. Зробити висновки з одержаних результатів.

4. Контрольні запитання

1. Намалюйте схему найпростішого імпульсного підсилювача на транзисторі. Охарактеризуйте будову та основні параметри планарного транзистора в неперервному режимі роботи.
2. Охарактеризуйте основні параметри та механізм роботи планарного транзистора при вмиканні в імпульсному режимі.
3. Охарактеризуйте механізм роботи планарного транзистора при вимиканні в імпульсному режимі.
4. В чому полягає механізм корекції переднього фронту та плоскої вершини підсиленого імпульсу у підсилювачі на транзисторі ?
5. Наведіть основні області застосування та принцип дії емітерного повторювача на транзисторі. Яка основна відмінність емітерного повторювача в порівнянні з імпульсним підсилювачем ?

Література

1. В.Г.Гусев, Ю.М.Гусев // Электроника. - М. «Высшая школа», 1991. - 622 с.
2. В.В.Гусев, Л.Г.Зеличенко, К.В.Конев и др. // Основы импульсной и цифровой техники. - М. «Сов. радио». 1975. - 440 с.
3. К.С.Петров // Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника. - М., С.-П. «Питер». 2004. - 521 с.
4. Ю.А. Браммер, И.Н.Пашук // Импульсная техника, - М. «Высшая школа». 1985. - 320 с.
5. А.Н.Старостин // Импульсная техника. - М. «Высшая школа». 1973. - 334 с.

Лабораторна робота № 3. ФОРМУВАЧІ ІМПУЛЬСІВ

1. Мета роботи

Ознайомитися з принципом дії та роботою формувачів низьковольтних імпульсів, які виготовлено на основі діодного обмежувача, несиметричного тригера, формувача імпульсів визначеної тривалості на логічних елементах та амплітудного аналізатора.

2. Необхідні прилади і матеріали

Генератор низьковольтних електричних імпульсів, імпульсний осцилограф, лабораторна плата з макетами діодного обмежувача, тригера Шмітта і формувача імпульсів визначеної тривалості на логічних елементах та амплітудного аналізатора.

3. Опис та принцип дії лабораторних макетів формувачів імпульсів

3.1. Діодний обмежувач (рис.3) виконано на основі діодів V_1 та V_2 . Імпульсний сигнал додатної полярності подається на діоди через конденсатор C_1 і резистор R_1 . Рівень обмеження імпульсів зверху задається величиною резистора R_2 .

3.2. Тригер Шмітта. Тригер Шмітта виконано на транзисторі T_1 (КТ342Б) та двох логічних елементах “І – НІ” (мікросхема $МС_1$ К155ЛА6). В початковий момент на вході $МС_1$ (1-5 ніжки) утворюється рівень “1”, на виході (6) і вході (9-13) – “0”, а на виході (8) “1”, транзистор T_1 відкривається.

3.3. Формувач імпульсів на мікросхемі К155АГ1. Формувач імпульсів короткої і великої тривалості виготовлено на основі мікросхеми $МС_2$ типу К155АГ1. Він дозволяє формувати входні імпульси як малої, так і великої тривалості. Тривалість імпульсів визначається величиною ємності конденсаторів C_4 і C_5 , які можуть перемикатися з допомогою тумблера K_1 , та резистора R_7 .

3.4. Амплітудний селектор виготовлено на основі мікросхеми $МС_3$ типу К521СА3А (рис.3). Вхідний сигнал проходить на вихід при співпадінні його амплітуди з величиною опорної напруги, рівень якої задається резистором R_{14} . При цьому відбувається інвертування вхідного імпульсу.

4. Завдання та методика виконання роботи

1. Засвоїти принцип роботи діодних обмежувачів послідовного і паралельного типу; несиметричного тригера на транзисторах з емітерним зв'язком (тригера Шмітта); ознайомитися з основними логічними елементами та логічними операціями, роботою формувачів імпульсів на логічних елементах та амплітудного селектора імпульсів.

2. Вивчити лабораторну плату із схемами (рис.3).

3. Подати на вхід схеми діодного обмежувача імпульсний сигнал додатної полярності від генератора імпульсів із частотою 1 - 10 кГц, тривалістю - 100 мкс і амплітудою ≤ 4 В; зарисувати осцилограми вихідних імпульсів при різних величині опорної напруги.

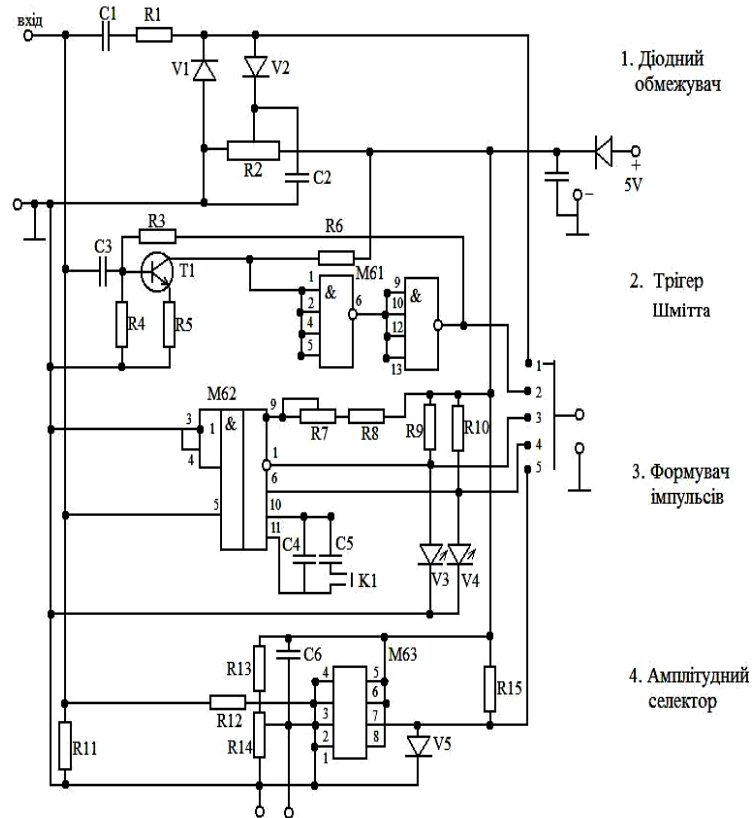


Рис.3. Схема лабораторного макету з формувачами імпульсів.

4. Контрольні запитання

1. Наведіть загальні відомості і основні характеристики формувачів низьковольтних імпульсів.
2. Намалюйте схему і охарактеризуйте діодний обмежувач амплітуди імпульсів послідовного типу.
3. Намалюйте схему і охарактеризуйте діодний обмежувач амплітуди імпульсів паралельного типу.
4. Намалюйте схему тригера Шмітта на транзисторі і поясніть механізм її роботи.
5. Охарактеризуйте основні логічні операції над логічними змінними.
6. Намалюйте умовні позначення основних логічних елементів та дайте характеристику логічних функцій, які вони виконують.
7. Наведіть типові схеми формувачів імпульсів на логічних елементах та охарактеризуйте їх принцип дії.
8. Намалюйте схему селектора імпульсів максимальної амплітуди та поясніть принцип його дії.

Література

1. В.Г.Гусев, Ю.М.Гусев // Электроника. - М. «Высшая школа», 1991. - 622 с.
2. В.В.Гусев, Л.Г.Зеличенко, К.В.Конев и др. // Основы импульсной и цифровой техники. - М. «Сов. радио». 1975. - 440 с.
3. В.І.Бойко, А.М.Гуржій, В.Я.Жуйков та інші // Цифрова схемотехніка. - К. “Вища школа”. 2004. - 423 с.
4. Ю.А.Браммер, И.Н.Пащук // Импульсная техника, М. «Высшая школа». 1985. 320 с.
5. А.Н.Старостин // Импульсная техника. - М. «Высшая школа». 1973. - 334 с.
6. З.П.Важенина // Импульсные генераторы на транзисторах. - Л. «Энергия». 1971. - 128 с.

Лабораторна робота № 4 ГЕНЕРАТОРИ ПРЯМОКУТНИХ ІМПУЛЬСІВ

1. Мета роботи

Ознайомитися з методами генерування прямокутних імпульсів на дискретних (транзисторах) та логічних елементах, основними параметрами логічних елементів та схемою транзисторно-транзисторної логіки. Навчитися формувати низьковольтні електричні імпульси з допомогою транзисторів та логічних елементів.

2. Необхідні прилади і матеріали

Генератор низьковольтних електричних імпульсів, імпульсний осцилограф, лабораторна плата з макетами одновібратора на транзисторі, генератора ступінчастої напруги та генераторами імпульсів на логічних елементах “АБО-НІ”.

3. Опис лабораторних макетів та принципів роботи генераторів прямокутних імпульсів

3.1. Одновібратор на дискретних елементах. Генератор імпульсів виготовлено на одноперехідному транзисторі T_1 КТ117А (рис.4). Він працює наступним чином. В початковий момент часу транзистор T_1 закритий, конденсатор C_1 (C_2) починає заряджатися через резистори R_3 і R_4 . На базі транзистора B_1 додатна напруга в момент часу коли напруга на конденсаторі і, відповідно, на емітері транзистора досягає напруги пробоя, транзистор відкривається і напруга на базі B_1 зменшується. Конденсатор розряджається через коло $E - B_2 - R_2$ і на виході генератора формується короткий імпульс від’ємної полярності. Ємність конденсаторів C_1, C_2 визначає частоту повторення імпульсів.

3.2. Генератор ступінчастої напруги складається з одновібратора на транзисторі T_2 (КТ117А) і керуючого пристрою на транзисторі T_3 (КТ342Б). На базу транзистора T_3 подається імпульсний сигнал з генератора 4. Конденсатор C_4 заряджається імпульсами з колектора транзистора T_3 через резистор R_7 до моменту спрацювання одновібратора. При цьому, на конденсаторі C_4 формується ступінчата напруга з частотою повторення, яка задається одновібратором. Частота сходинок задається генератором 4.

3.3. Генератор прямокутних імпульсів на логічному елементі “НІ” з однією ланкою, яка задає час. Генератор (рис.4) працює наступним чином. В початковий момент на вході мікросхеми 1 є напруга нульового рівня тоді на виході 2 і вході 3 формується напруга рівня “1”. На входах 4 і 5 – “0”, на вході 6 –

“1”. Конденсатор C_5 починає заряджатися через резистор R_{12} і через деякий час на виході 1 формується стан “1”, а на виході 6 – “0” і конденсатор починає розряджатися. В подальшому цей процес повторюється і на виході схеми формуються симетричні прямокутні імпульси. Їх період визначається величиною ємності конденсатора C_5 і резистора R_{12} .

3.4. Генератор прямокутних імпульсів на логічному елементі “НІ” з двома ланками, які задають час. Генератор (рис.4) працює аналогічно попередньому. Тривалість імпульсів визначається ємністю конденсаторів C_6 та $C_7(C_8)$ і регулюється резисторами R_{14} , R_{15} . Шпаруватість імпульсів визначається величиною резистора R_{13} .

4. Завдання та методика виконання роботи

1. Засвоїти загальні відомості про генератори прямокутних імпульсів; ознайомитися з принципом дії одновібратора на транзисторах, основними параметрами логічних елементів, схемою транзисторно-транзисторної логіки, принципами роботи генераторів прямокутних імпульсів на логічних елементах “АБО-НІ” та “І-НІ”.
2. Вивчити схему лабораторного макета до роботи (рис.4).
3. Дослідити роботу одновібратора на транзисторі; зарисувати і визначити параметри вихідних імпульсів.
4. Дослідити генератор імпульсів ступінчатої напруги і зарисувати вихідні імпульси при двох значеннях частоти.
5. Визначити параметри і зарисувати форму імпульсів генератора на основі однієї ланки логічних елементів “НІ”, які визначають тривалість вихідного імпульсу.
6. Виміряти параметри генератора прямокутних імпульсів на основі логічних елементів “НІ” з двома ланками, які задають тривалість вихідних імпульсів; зарисувати форму вихідних імпульсів.
7. Зробити висновки з одержаних результатів.

5. Контрольні запитання

1. Наведіть загальні відомості про методи генерації низьковольтних прямокутних імпульсів.
2. Намалюйте схему одновібратора на транзисторах і поясніть принцип її роботи.
3. Охарактеризуйте основні параметри логічних елементів.
4. Намалюйте принципову схему, яка ілюструє роботу транзисторно-транзисторної логіки, поясніть роботу даної схеми.
5. Намалюйте схему генератора прямокутних імпульсів на основі логічних елементів “АБО-НІ” та поясніть принцип її роботи.
6. Намалюйте схему генератора прямокутних імпульсів на основі логічних елементів “І – НІ” і поясніть принципи її роботи.

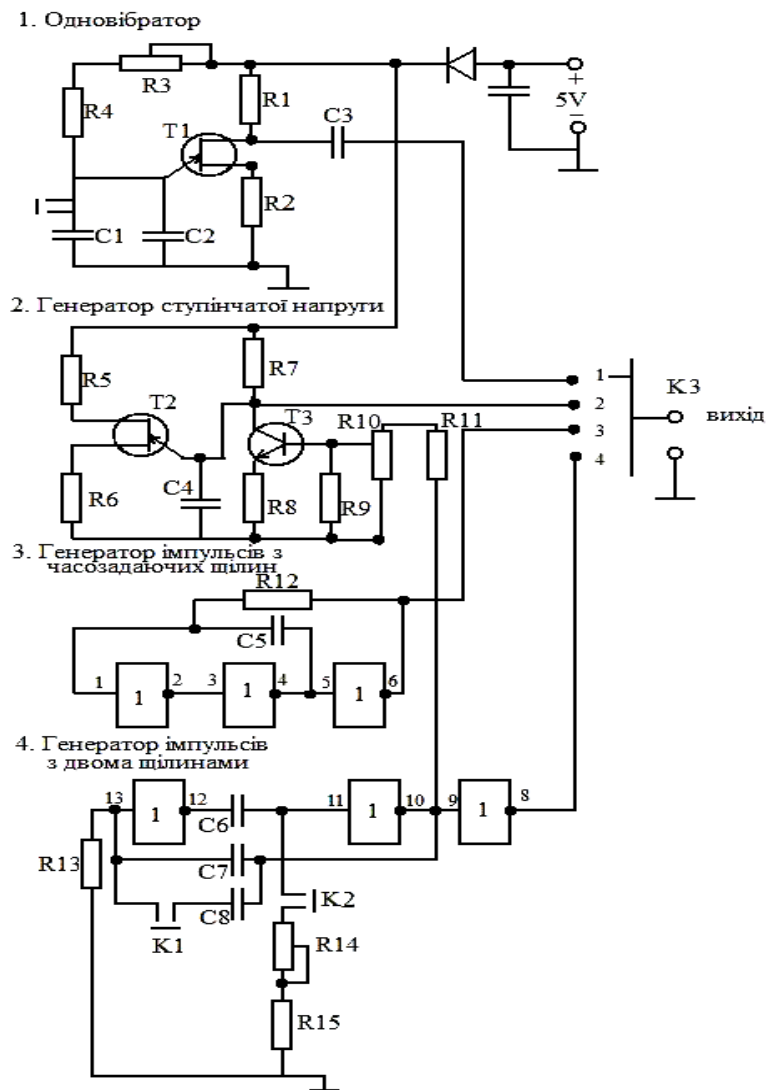


Рис.4. Схема лабораторного макета генераторів прямокутних імпульсів

Література

1. В.В.Гусев, Л.Г.Зеличенко, К.В.Конев и др. // Основы импульсной и цифровой техники. - М. «Сов. радио». 1975. - 440 с.
2. В.І.Бойко, А.М.Гуржій, В.Я.Жуйков та інші // Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої. - К. «Вища школа». 2004. - 395 с.
3. В.І.Бойко, А.М.Гуржій, В.Я.Жуйков та інші // Цифрова схемотехніка. К. «Вища школа». 2004. - 423 с.
4. Ю.А.Браммер, И.Н.Пашук // Импульсная техника, М. «Высшая школа». 1985. - 320 с.
5. В.Н.Яковлев // Микроэлектронные генераторы импульсов. -К. «Техніка». 1982. - 208 с.
6. А.Н.Старостин // Импульсная техника. М. «Высшая школа». 1973. 334 с.

Контроль засвоєння змістового модуля 1

Змістовий модуль 2. Високовольтна та енергетична імпульсна техніка»

Конкретні цілі:

- А. Засвоїти основні особливості роботи пасивних елементів (конденсаторів, резисторів, трансформаторів) та характеристики у високовольтних імпульсних пристроїв.
- Б. Оволодіти знаннями із будови, способам запуску та основним характеристикам високовольтних сильноточових комутаторів імпульсних пристроїв.
- В. Засвоїти основи схемотехніки та базові характеристики і режими роботи джерел живлення імпульсних лазерів.

Тема 5. «РОБОЧИ ЕЛЕМЕНТИ ВИСОКОВОЛЬТНОЇ НАНОСЕКУНДНОЇ ІМПУЛЬСНОЇ ТЕХНІКИ»

Резистори високовольтних імпульсних пристроїв. Високовольтні імпульсні конденсатори. Імпульсні трансформатори для високовольтних потужних пристроїв. Водневі тиратрони – як комутуючі елементи високовольтних сильноточових пристроїв.

Тема 6. ФІЗИКА ПРОЦЕСІВ, КОНСТРУКЦІЇ ТА РЕЖИМИ РОБОТИ ГАЗОВИХ РОЗРЯДНИКІВ *Основні закономірності пробою газів в імпульсних електричних полях. Будова і типові режими роботи дво- і триелектродних газових розрядників.*

Тема 7. «ІМПУЛЬСНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ «

Проблеми імпульсних джерел живлення. Схемотехніка основних блоків імпульсних джерел електроживлення. Імпульсні стабілізатори напруги. Перетворювачі напруги. Генератори імпульсів високої напруги на основі довгих ліній.

Тема 8. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ПОТУЖНИХ ЛАЗЕРІВ ІЗ НАКАЧУВАННЯМ ПОПЕРЕЧНИМ РОЗРЯДОМ

Генератори високовольтних імпульсів з ємнісними та індуктивними накопичувачами

Теми рефератів:

1. Будова та принцип дії псевдоіскрових розрядників.
2. Характеристики, параметри та області застосування триелектродних іскрових розрядників.

3. *Способи запуску водневих тиратронів.*
4. *Процеси, які визначають ресурс роботи імпульсних конденсаторів.*
5. *Схеми живлення потужних лазерів з поперечним розрядом.*
6. *Системи живлення та принцип дії ультрафіолетової передіонізації лазерів втсокого тиску з накачуванням поперечним розрядом.*
7. *Довгі формуючі лінії в схемах формування високовольтних імпульсів малої тривалості.*
8. *Основні характеристики серійних високовольтних резисторів та конденсаторів.*
9. *Схеми живлення імпульсної лампи системи оптичного накачування рідинного чи твердотільного лазера.*
10. *Фізика імпульсного пробою газорозрядних проміжків високого тиску.*

Контроль засвоєння змістового модуля 2.

Структура залікового кредиту – Модуль 1 “**Низьковольтна імпульсна техніка;**”

Змістовий модуль 1. Низьковольтна імпульсна техніка				
Тема	Лекції	Лаборні заняття	Самостійна робота студента	Індивідуальна робота
1. Вступ до імпульсної техніки. Пасивні формуючі ланцюги.	2		2	
2. Формувачі і генератори прямокутних імпульсів на дискретних елементах	2		2	
3. Спускові імпульсні пристрої (тригери)	2		2	

4. Системи імпульсно-фазового керування запуском тиристорів	2		2	
1. Вступне заняття. Інструктаж з техніки безпеки.		1		
2. Пасивні формуючі ланки імпульсів.		6	3	4
3. Імпульсний підсилювач на транзисторах		6	3	4
4. Формувачі імпульсів		6	3	4
5. Генератори прямокутних імпульсів		6	3	4
Контроль засвоєння змістового модуля 1	(1)			
Всього за змістовий модуль 1	8	25	20	16
Змістовий модуль 2. Низьковольтна імпульсна техніка				
5. Робочі елементи високовольтної наносекундної техніки	2		5	1
6. Фізика процесів, конструкції та режими роботи газових розрядників	2		5	1
7. Імпульсні джерела живлення	2		5	1
8. Джерела живлення потужних лазерів із накачуванням поперечним розрядом	2		5	1
Контроль засвоєння змістового модуля 2.	(1)	-	-	-
<i>Всього за змістовий модуль 2</i>	8	-	20	4
<i>Разом за модуль 1</i>	16	25	40	20

Тематичний план лекцій

№ п/п	Тема	Кількість годин
<u>Змістовий модуль 1. «Низьковольтна імпульсна техніка»</u>		
1.	Вступ до імпульсної техніки. Пасивні формуючі ланцюги.	2

2	Формувачі і генератори прямокутних імпульсів на дискретних елементах	2
3.	Спускові імпульсні пристрої (тригери)	2
4.	Системи імпульсно-фазового керування запуском тиристорів	2
Змістовий модуль 2. «Високовольтна та енергетична імпульсна техніка»		
5.	Робочі елементи високовольтної наносекундної техніки	2
6.	.Фізика процесів, конструкції та режими роботи газових розрядників і тиратронів	2
7.	Імпульсні джерела живлення	2
8.	Джерела живлення потужних лазерів із накачуванням поперечним розрядом	2
.	Разом	16

Тематичний план самостійної та індивідуальної роботи студентів

№ п/п	Тема	Кількість годин	
		СРС	ІРС
1.	Підготовка теоретичної частини до лабораторних робіт – теоретична підготовка, опрацювання матеріалів по темі ЛБ, написання і оформлення теоретичної частини звіту з ЛБ .	12	16
2.	Опрацювання тем, які не входять до плану аудиторних занять		
2.1	Імпульсні тиратрони	4	2
2.2	Будова і принцип роботи тунельних та імпульсних діодів, планарних транзисторів.	4	
2.3	Блокінг-генератор	4	
2.4	Цифрові формувачі і генератори низьковольтних імпульсів	4	2
2.5		4	
3.	Підготовка до підсумкового контролю засвоєння змістових модулів 1 та 2	8	
4.	Підсумковий контроль з змістових модулів 1 та 2 (2 г.)		
	Разом	40	20

Розподіл балів, присвоюваних студентам

№	Модуль 1	Кількість балів
---	----------	-----------------

п.п.		
1.	Змістовий модуль 1	
	Лекції 1-4	20
	Лабораторні роботи 1-4	30
	Підсумковий контроль	50
2.	Змістовий модуль 2	
	Лекції 5-8	35
3.	<i>Підготовка реферату</i>	15
	Разом	50
	Підсумковий контроль	
РАЗОМ сума балів		100

IV. ПЕРЕЛІК КОНТРОЛЬНИХ ПИТАНЬ. ЯКІ ВИНОСЯТЬСЯ НА ЗАСВОЄННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ПРОГРАМИ

1. Питання до письмової контрольної роботи за матеріалом змістового модуля 1. “Низьковольтна імпульсна техніка”

ВАРІАНТ № 1.

1. Охарактеризуйте інформаційний та силовий напрями імпульсної техніки, переваги та недоліки аналогових і цифрових систем. Дайте визначення імпульсної техніки як науки.
2. Блокінг-генератор (визначення та принципова схема). Поясніть роботу блокінг-генератора на транзисторі із використанням епюр напруг.

ВАРІАНТ № 2.

1. Нарисуйте схеми диференціювальних RC – ланок з фіксатором нульового та довільного рівнів для додатних імпульсів і поясніть принцип їх роботи з використанням епюр напруги.
2. Дайте визначення транзистора (в тому числі біполярного) та наведіть умовні позначення БП – транзисторів. Охарактеризуйте чотири сім’ї статичних вольт-амперних характеристик БП – транзистора.

ВАРІАНТ № 3.

1. Наведіть загальні відомості про тригери (визначення, типи рівноваги в схемі, стрибки в схемі, характеристика потенціального тригера). Области застосування тригерів.
2. Дайте визначення електричного імпульсу і охарактеризуйте його основні параметри. Який режим роботи електронного пристрою називається «ключовим»? Нарисуйте схему і епюри напруг «ідеального ключа».

ВАРІАНТ № 4.

1. Дайте загальну характеристику обмежувачів амплітуди на діодах. Нарисуйте схему і поясніть принцип дії діодного обмежувача послідовного типу.
2. Наведіть схему тригера на тунельному діоді. На основі ВАХ тунельного діода поясніть роботу тригера. Наведіть часові характеристики тригера на тунельному діоді.

ВАРІАНТ № 5.

1. Які RC – ланки називаються інтегрувальними (нарисуйте схему)? Які умови інтегрування імпульсів з допомогою RC – ланок. Як залежить від часу спад напруги на конденсаторі, який знаходиться на виході інтегрувальної ланки? Основні недоліки інтегрувальної RC – ланки.
2. Наведіть фізичний зміст h – параметрів БП-транзистора. Нарисуйте схему заміщення транзистора з h – параметрами.

ВАРІАНТ № 6.

1. Як залежить струм від часу в RC – ланці, що знаходиться під впливом одиночного стрибка напруги? Яка RC – ланка є диференціювальною? Які умови оптимального диференціювання імпульсів з допомогою RC –

ланки, та умови одержання режимів “розділення” і “негармонійних збурень”?

2. Нарисуйте схему паралельного обмежувача амплітуди імпульсу на діодах. Поясніть принцип роботи цього обмежувача. В чому полягають основні недоліки обмежувачів послідовного та паралельного типу на діодах ?

ВАРІАНТ № 7.

1. Охарактеризуйте основні режими роботи БП - транзистора. Який пристрій називається підсилювачем-обмежувачем (принципова схема, механізм роботи підсилювача). Охарактеризуйте переваги транзисторного підсилювача-обмежувача над діодними обмежувачами.
2. Які причини спотворення форми імпульсу в мултивібраторах на транзисторах? Нарисуйте схему і поясніть принцип дії мултивібратора з відтинаючими діодами.

ВАРІАНТ № 8.

1. Нарисуйте схему мултивібратора з колекторно-базовими зв'язками, який працює в автоколивальному режимі. Поясніть роботу схеми на основі часових діаграм напруги.
2. Дайте визначення тиристора та на основі його ВАХ поясніть його роботу. Нарисуйте структуру, типові ВАХ та умовне позначення тиристора.

ВАРІАНТ № 9.

1. Нарисуйте схему транзисторного генератора лінійно змінюваної напруги та поясніть її роботу на основі часових діаграм напруги.
2. Наведіть загальні відомості про тригери (визначення, типи рівноваги в схемі, стрибки в схемі, характеристика потенціального тригера).
Області застосування тригерів.

ВАРІАНТ №10.

1. Нарисуйте принципову схему транзисторного одновібратора з колекторно-базовими зв'язками, дайте визначення одновібратора, поясніть її роботу на основі часових діаграм.
2. Дайте визначення та охарактеризуйте диністор. Наведіть структуру диністора та його транзисторну модель.

ВАРІАНТ №11.

1. Схема і принцип дії обмежувачів на діодах послідовного і паралельного типу.
2. Імпульсний трансформатор (схема, принцип роботи, характеристики, застосування).

ВАРІАНТ №12.

1. Лінії затримки імпульсних сигналів
Спеціальні типи тиристорів. Тиристири (визначення, схема, принцип дії, застосування).
2. Питання і тести до письмової контрольної роботи за матеріалом змістового модуля 2. «Високовольтна та енергетична імпульсна техніка»

1.Питання до письмової контрольної роботи за матеріалом змістового модуля 2. “Високовольтна та енергетична імпульсна техніка”

ВАРІАНТ 1.

1. Які умови застосування резисторів у високовольтних пристроях з імпульсами короткої тривалості? Що називають коефіцієнтом форми резистора?

ВАРІАНТ 2.

2. При яких умовах схему заміщення високовольтного резистора можливо представити в вигляді паралельної (RC), а при яких в вигляді послідовної (LC) ланок? Як залежить опір високовольтних резисторів від напруги та які причини цього явища? Чим обмежується максимально допустима робоча напруга на резисторі.

ВАРІАНТ 3.

3. Чим визначається потужність втрат у реальному високовольтному імпульсному конденсаторі? Наведіть схему заміщення і діаграму струмів та напруги у реальному імпульсному конденсаторі. Як залежать параметри високовольтного імпульсного конденсатора від частоти?

ВАРІАНТ 4.

4. Наведіть основні вимоги до високовольтних імпульсних конденсаторів? Охарактеризуйте причини і механізм старіння високовольтних імпульсних конденсаторів? Які стадії та яким є механізм старіння діелектриків в високовольтних конденсаторах? Інші причини (крім старіння діелектриків) виходу з ладу імпульсного конденсатора?

ВАРІАНТ 5.

5. Нарисуйте схему і охарактеризуйте принцип дії імпульсного трансформатора на відрізках довгих ліній. Нарисуйте схему і охарактеризуйте принцип дії імпульсного кабельного трансформатора.

ВАРІАНТ 6.

6. Яким способом можна радикально покращити масогабаритні і енергетичні параметри джерел імпульсного живлення ? Охарактеризуйте структурні схеми імпульсних джерел живлення.

ВАРІАНТ 7.

7. В чому полягає принцип дії регульованого перетворювача напруги ? Наведіть принципову електричну схему та охарактеризуйте принцип дії мережевого випрямляча.

ВАРІАНТ 8.

8. Наведіть принципову електричну схему імпульсного регулятора напруги знижувального типу. Поясніть роботу імпульсного регулятора напруги знижувального типу на основі його часових діаграм.

ВАРІАНТ 9.

9. Охарактеризуйте можливі діапазони частот роботи імпульсних джерел живлення лазерів. Наведіть схему заряджання ємнісного накопичувача енергії від мережі.

ВАРІАНТ 10.

10. Охарактеризуйте основні області застосування іскрових розрядників. За якими принципами відбувається класифікація іскрових розрядників? Наведіть типові конструкції двоелектродних іскрових розрядників. Як пов'язана напруга пробою з міжелектродною віддалю двоелектродного іскрового розрядника?

ВАРІАНТ 11.

11. Наведіть типові схеми триелектродних іскрових розрядників. Принципи керування роботою триелектродних іскрових розрядників. Наведіть механізм запалювання розряду в триелектродному іскровому розряднику з кільцевим запускаючим електродом в середині проміжку.

ВАРІАНТ 12.

12. Охарактеризуйте механізм роботи тригатрона та іскрових реле. З яких матеріалів виготовляють електроди іскрових розрядників? Що називають статичною напругою пробою розрядного проміжку? Охарактеризуйте динамічну напругу пробою та час запізнення пробою іскрового розрядника.

ВАРІАНТ 13.

13. Наведіть характерні схеми живлення імпульсних газових лазерів. Нарисуйте основні схеми живлення лазерів з накачуванням поперечним об'ємним розрядом (ПОР). Охарактеризуйте типову конструкцію експлексного лазера з накачуванням ПОР. Наведіть спрощену електричну схему живлення експлексного лазера і поясніть її роботу ?

ВАРІАНТ 14.

14. Охарактеризуйте основні недоліки ємнісних накопичувачів енергії в порівнянні з індуктивними. Поясніть принцип роботи генераторів імпульсів високої напруги з індуктивним накопичувачем енергії. Охарактеризуйте динаміку процесів в азотному лазері з індуктивним накопичувачем енергії.

Питання до заліку.

1. Роль імпульсної техніки для сучасної науки і технологій. Загальні відомості про імпульси.
2. Диференційні, розділові та інтегрувальні RC- ланки.
3. Низьковольтні імпульсні трансформатори. Лінії затримки імпульсних сигналів.
4. Обмежувачі на діодах послідовного і паралельного типів.
5. Характеристики, параметри і механізм роботи планарного транзистора в імпульсному режимі. Лінійна модель транзистора в режимі великого вхідного сигналу.
6. Мульти і одновібратори на транзисторах. Блокінг-генератор.
7. Загальні відомості про тригери. Симетричний тригер на транзисторах.
8. Диністори, тиристори. Тригер на тиристорі.
9. Тригер на тунельному діоді.

10. Логічні елементи та їх характеристики. Формувачі імпульсів на логічних елементах.
11. Нарисуйте схему вузла порівняння (аналогового компаратора в СІФК) та поясніть принцип її роботи. Нарисуйте принципову схему каналу системи імпульсно-фазового горизонтального керування і поясніть її роботу на основі часових діаграм.
12. Охарактеризуйте систему імпульсно-фазового керування вертикального типу на основі часових діаграм напруги. Наведіть загальні положення про системи імпульсно фазового керування напругою мережі.
13. Нарисуйте схему СІФК з цифровим керуванням та поясніть принцип її роботи.
14. Охарактеризуйте принципи побудови, нарисуйте дві базові схеми генераторів лінійно змінюваної напруги та поясніть їх роботу. Нарисуйте схему запуску тиристорів в регуляторах напруги та поясніть принцип його роботи на основі часових діаграм.
15. Характеристики та параметри резисторів, імпульсних конденсаторів та імпульсних трансформаторів високовольтних наносекундних пристроїв.
16. Газові розрядники: схема, принцип дії, характеристики та параметри. Імпульсні тиратрони (визначення, схеми керування та принцип дії).
17. Охарактеризуйте проблеми розробки імпульсних джерел живлення та наведіть їх основні структурні схеми.
18. Наведіть схему та поясніть принцип роботи імпульсного стабілізатора напруги. Нарисуйте схему та поясніть принцип роботи перетворювача напруги.
19. Нарисуйте схему та поясніть механізм роботи генератора імпульсів на основі довгої одинарної формуючої лінії. Нарисуйте схему та поясніть принцип дії генераторів імпульсів на основі подвійної формуючої лінії.
20. Нарисуйте схему та поясніть механізм роботи генераторів імпульсів з каскадним вмиканням ліній. Генератори високовольтних імпульсів для живлення лазерів з поперечним розрядом
21. Який пристрій називається тиратроном?
22. Охарактеризуйте основні способи керування тиратронами.
23. Що називають пусковим струмом сітки тиратрона?
24. Поясніть механізм роботи імпульсних тиратронів.
25. Які чинники впливають на час затримки струму сітки.
26. Дайте розшифровку маркування найуживаніших імпульсних тиратронів.
27. Чим визначаються втрати потужності в тиратроні?
- 28.3 чого складається теплова потужність катода тиратрона (навести формулу)?
29. Охарактеризуйте потужність, що витрачається на керування роботою тиратрона.
30. Наведіть формулу для розрахунку стартових втрат потужності в тиратроні і охарактеризуйте розподіл її складових при роботі тиратрона в ключовому режимі ?
31. Дайте визначення часу відновлення прямої електричної міцності тиратрона і охарактеризуйте чинники, які впливають на неї.

32. Нарисуйте криву відновлення запірної напруги тиратрона і охарактеризуйте різні часові стадії відновлення запірних властивостей тиратрона.
33. Нарисуйте криву відновлення електричної міцності тиратрона ТГИ I – 1000/25.
34. Який пристрій називають таситроном?
35. Порівняйте криві розподілу потенціалу і плазмовий шар в тиратроні і таситроні.
36. Нарисуйте схему з'єднань електродів з виводами для тиратронів ТГИ I – 500/16 та ТГИ I – 1000/25.
37. Охарактеризуйте конструкцію тиратрона ТГИ I – 1000/25.
38. Як залежить максимально допустимі імпульсна потужність від частоти для тиратрона ТГИ I – 1000/25 ?
38. Охарактеризуйте умови експлуатації та вмикання тиратронів ТГИ I 500/16 і ТГИ I – 1000/25.
39. При яких умовах тиратрони ТГИ I-500/16 і ТГИ I-1000/25 можуть працювати в ключовому режимі з частотою 10-50 кГц?
40. Які умови форсованого вмикання тиратронів ТГИ I-500/16 і ТГИ I – 1000/25. ?
41. Охарактеризуйте максимально допустимі параметри при роботі з тиратронами ТГИ I-500/16 та ТГИ I-1000/25.

V. ПЕРЕЛІК НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Основна література

1. О.К. Шуаїбов, Л.Л.Шимон, І.В. Шевера //«Імпульсна електроніка». Навчальний посібник. Ужгород. Видавництво УжНУ «Говерла».390 с.
1. В.І.Бойко, А.М.Гуржій, В.Я.Жуйков та інші //Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої. К. “Вища школа”. 2004. 365 с.
2. В.І.Бойко, А.М.Гуржій, В.Я.Жуйков та інші // Цифрова схемотехніка. К. “Вища школа”. 2004. 423 с.
3. Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков // Промислова електроніка та мікросхемотехніка. К. «Каравела». 2004. 432 с.
4. В.Г.Гусев, Ю.М.Гусев // Электроника. М. «Высшая школа», 1991. 622 с.
5. В.В.Гусев, Л.Г.Зеличенко, К.В.Конев и др. // Основы импульсной и цифровой техники. М. «Сов. радио». 1975. 440 с.
6. К.С.Петров // Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника. М., С.-П. «Питер». 2004. 521 с.
7. В.Ф. Тарасенко, Б.Н. Пойзнер // Импульсные лазеры на плотных газах: физика процессов и экспериментальная техника. Под ред В.Г. Багрова. Изд. Томского университета. Т. 1992. 141 с.
8. А.Л. Лившиц, М.Ш. Отто // Импульсная электротехника. М. «Энергоатомиздат». 1983. 352 с.
9. О.К. Шуаїбов // Вступ до імпульсної техніки. Пасивні формуючі ланки. Навчальний посібник. Ужгород. Вид. УжНУ. 2005. 45 с.
10. О.К. Шуаїбов, А.Й. Дашченко, І.А. Грабова, Л.Л.Шимон // Методичні вказівки до лабораторного практикуму з спеціального курсу «Основи

імпульсної техніки». Методичний посібник. Ужгород. Видавництво УжНУ «Говерла». 62 с.

11. О.К. Шуайбов, І.В. Шевера, І.Е. Качер Робочі елементи високовольтної сильнотримової імпульсної електроніки. Ужгород. Вид. УжНУ. 2005. 92 с.

2. Допоміжна література

1. В.М. Вакуленко, Л.П. Иванов // Источники питания лазеров. М. Советское радио, 1980. 104 с.
2. В.І. Бойко, А.М. Гуржій, В.Я. Жуйков, А.А. Зорі та інші // Схемотехніка електронних систем. Кн. 1. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої: Підручник. К. Вища шк., 2004. 366 с.
3. Б.П. Беленький, П.Н. Бондаренко, М.Э. Борисова, С.Н. Койков, О.Л. Мезенин // Расчет эксплуатационных характеристик и применение электрических конденсаторов. М. «Радио и связь». 1988. Глава 6. С.205-210.
4. Ю.А.Браммер, И.Н.Пашук // Импульсная техника, М. «Высшая школа». 1985. 320 с.
5. В.Н.Яковлев // Микроэлектронные генераторы импульсов. К. «Техніка». 1982. 208 с.
6. А.Н.Старостин // Импульсная техника. М. «Высшая школа». 1973. 334 с.
7. З.П.Важенина // Импульсные генераторы на транзисторах. Л. «Энергия». 1971. 128 с.
8. Э.Д. Лозанский, О.Б.Фирсов // Теория искры. М. Атомиздат.1975. Глава 3, С.103-107, 116-122; Глава 4. С.126-135.
9. Ю.П. Райзер // Физика газового разряда. М. Наука. 1987. Глава 17. С.486-504.

Навчальне видання

Автор: **Шуаїбов Олександр Камілович**

ОСНОВИ ІМПУЛЬСНОЇ ТЕХНІКИ

**Навчальний посібник для самостійної роботи студентів
з курсу за вибором**

Підписано до друку	2009 р.	Формат 60×84/16
	Офсетний друк	
Умовн. друк. арк.		Облік.-вид.арк.
	Замовлення	
Тираж 50		№

Видавництво УжНУ “Говерла”
м. Ужгород, вул. Капітульна, 18., тел: 3-12-48

*Свідотцтво про внесення до державного реєстру видавців, виготавників і
розповсюджувачів продукції-*