



УКРАЇНА

(19) UA (11) 38373 (13) A

(51) 7 H03K5/07

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС

### ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

#### (54) СПОСІБ ФОРМУВАННЯ КОРОТКИХ ІМПУЛЬСІВ

(21) 2000063767

(22) 27.06.2000

(24) 15.05.2001

(33) UA

(46) 15.05.2001, Бюл. № 4, 2001 р.

(72) Борисенко Анатолій Миколайович, Самсонов

Володимир Петрович, Свистун Віталій Григорович

(73) Харківський державний політехнічний  
університет

(57) Спосіб формування коротких імпульсів, який полягає в тому, що організують активну довгу лінію, на початку лінії між землею лінії і загальною землею підключають активне навантаження  $R_H = \rho$  на кінці лінії забезпечують режим холостого ходу, подають на вхід лінії ступеневий перепад напруги, який **відрізняється** тим, що паралельно активній довгій лінії розташовують пасивну довгу лінію у такий спосіб, щоб між активною і пасивною лініями існував ємнісний і індуктивний взаємозв'язок і ви-

конувалося співвідношення  $\frac{C_V}{C_0} \neq \frac{L_V}{L_0}$ , поєднують

землі обох ліній та загальну землю, навантажують входи обох ліній однаковими активними опорами

рівними:  $R_{BX} = \sqrt{\frac{L_0 - L_V}{C_0 + C_V}}$  навантажують виходи

обох ліній однаковими активними опорами рівними

$R_{BHX} = \sqrt{\frac{L_0 + L_V}{C_0 - C_V}}$  при цьому на виході пасивної

лінії одержують прямокутний імпульс, тривалість якого дорівнює

$$\tau = \left| \sqrt{(L_0 - L_V)(C_0 + C_V)} - \sqrt{(L_0 + L_V)(C_0 - C_V)} \right|,$$

де  $L_0, L_V$ -власні і взаємні погонні індуктивності;  $C_0, C_V$ -власні і взаємні погонні ємності;  $l$ -довжина ліній;  $\rho$ - хвильовий опір лінії.

Винахід належить до імпульсної техніки і може бути використаний в потужних імпульсних генераторах коротких імпульсів.

Відомий спосіб формування коротких імпульсів [1] полягає в тому, що організують довгу лінію, підключають її вхід до джерела напруги з внутрішнім опором значно більшим хвильового опору лінії ( $R_E \gg \rho$ ), після завершення процесу заряду лінії, до її виходу через ідеальний ключ підключають навантаження ( $R_H = \rho$ ), при цьому з навантаження знімають короткий прямокутний імпульс.

Недоліки даного способу полягають: у тому, що існують обмеження на мінімально можливу щільність імпульсів, тому що через умову  $R_E \gg \rho$  час заряду лінії набагато перевищує час розряду лінії, отже підготування лінії вимагає набагато більше часу, аніж формування імпульсу; у відсутності розв'язки джерела високої напруги і навантаження стосовно постійного струму, через що доводиться застосовувати розв'язуючий конденсатор, який спотворює фронти сформованого імпульсу [3]; в істотній похибці завдання тривалості імпульсу.

Відомий спосіб формування коротких імпульсів, у якому зняті обмеження на мінімально можливу щільність [2], який полягає в тому, що орга-

нізують довгу лінію, між входом і землею лінії підключають активне навантаження ( $R_H = \rho$ ), забезпечують на виході лінії режим короткого замикання, подають на вхід лінії ступеневий перепад струму, при цьому з навантаження знімають прямокутний імпульс. Недоліки даного способу полягають: у тому, що відсутня розв'язка джерела високої напруги і навантаження щодо постійного струму, тому доводиться застосовувати розв'язуючий конденсатор, який спотворює фронти сформованого імпульсу; в істотній похибці завдання тривалості імпульсу.

Найбільш близьким за технічною сутністю до запропонованого є спосіб формування коротких імпульсів [2], який полягає в тому, що організують довгу лінію, на початку лінії між землею лінії і загальною землею, підключають активне навантаження ( $R_H = \rho$ ), на кінці лінії забезпечують режим холостого ходу, подають на вхід лінії ступеневий перепад напруги, при цьому з навантаження знімають прямокутний імпульс. Недоліки даного способу полягають: у тому, що відсутня розв'язка джерела високої напруги і навантаження щодо постійного струму, тому доводиться застосовувати розв'язуючий конденсатор, який спотворює фрон-

ти сформованого імпульсу; в істотній похибці завдання тривалості імпульсу.

В основу способу формування коротких імпульсів поставлено задачу в раніше відомому способі формування імпульсів, який полягає в тому, що організують активну довгу лінію, на початку лінії між землею лінії і загальною землею підключають активне навантаження ( $R_H = \rho$ ), на кінці лінії забезпечують режим холостого ходу, подають на вхід лінії ступеневий перепад напруги; шляхом того, що паралельно активній довгій лінії розташовують пасивну довгу лінію у такий спосіб, щоб між активною і пасивною лініями існував ємнісний і індуктивний взаємозв'язок і виконувалося співвідношення

$$\frac{C_V}{C_0} \neq \frac{L_V}{L_0},$$

поєднують землі обох ліній та загальну землю, навантажують входи обох ліній однаковими активними опорами рівними:

$$R_{BX} = \sqrt{\frac{L_0 - L_V}{C_0 + C_V}},$$

навантажують виходи обох ліній однаковими активними опорами рівними:

$$R_{BHX} = \sqrt{\frac{L_0 + L_V}{C_0 - C_V}},$$

забезпечують таку розв'язку щодо постійного струму між джерелом високої напруги і навантаженням, яка не спотворює фронти сформованого імпульсу, а також забезпечують підвищення точності завдання тривалості сформованого імпульсу, при цьому на виході пасивної лінії одержують прямокутний імпульс, тривалість якого дорівнює

$$\tau = \left| \sqrt{(L_0 - L_V)(C_0 + C_V)} - \sqrt{(L_0 + L_V)(C_0 - C_V)} \right|,$$

де  $L_0, L_V$  - власні і взаємні погонні індуктивності,  $C_0, C_V$  - власні і взаємні погонні ємності,  $l$  - довжина ліній,  $\rho$  - хвильовий опір лінії.

Винахід ілюструється кресленнями, де на фіг.1 зображена модель двох взаємодіючих ліній у вигляді п'ятиполюсника; фіг.2 - модель першої еквівалентної лінії у вигляді триполюсника; фіг.3 - модель другої еквівалентної лінії у вигляді триполюсника; фіг.4 - часові діаграми напруг на входах і виходах першої еквівалентної лінії; фіг. 5 - часові діаграми напруг на входах і виходах другої еквівалентної лінії; фіг.6 - часові діаграми, що ілюструють одержання короткого імпульсу в пасивній лінії. Спосіб Г

$$\begin{cases} \frac{dI}{dx} = -j\omega C U \\ \frac{dU}{dx} = -j\omega L I \end{cases},$$

розташовують пасивну лінію і забезпечують між цими лініями ємнісний та індуктивний взаємозв'язок таким чином, щоб

$$\frac{C_V}{C_0} \neq \frac{L_V}{L_0},$$

з [4] відомо, що отримана при цьому сукупність ліній описується

системою диференціальних рівнянь (1):

$$\begin{cases} \frac{dI^P}{dx} = -j\omega C_0 \dot{U}^a + j\omega C_V \dot{U}^P \\ \frac{dI^a}{dx} = -j\omega C_0 \dot{U}^P + j\omega C_V \dot{U}^a \\ \frac{d\dot{U}^a}{dx} = -j\omega L_0 I^a - j\omega L_V I^P \\ \frac{d\dot{U}^P}{dx} = -j\omega L_0 I^P - j\omega L_V I^a \end{cases} \quad (1)$$

де  $I^a, I^P$  - струми в активній і пасивній лініях;

$\dot{U}^a, \dot{U}^P$  - напруги в активній і пасивній лініях;  $L_0, L_V$  - власні і взаємні погонні індуктивності;  $C_0, C_V$  - власні і взаємні погонні ємності.

Входи обох ліній навантажують однаковими

$$\text{активними опорами, рівними: } R_{BX} = \sqrt{\frac{L_0 - L_V}{C_0 + C_V}},$$

виходи обох ліній навантажують також однаковими активними опорами, рівними:

$$R_{BHX} = \sqrt{\frac{L_0 + L_V}{C_0 - C_V}}.$$

На вхід активної лінії подають ступеневий перепад напруги:  $u(t) = E \cdot l(t)$ ,

де  $E$  - амплітуда перепаду;

$$l(t) = \begin{cases} 0, t \leq 0 \\ 1, t > 0 \end{cases},$$

а на виході пасивної лінії при цьому одержують імпульс тривалістю:

$$\tau = \left| \sqrt{(L_0 - L_V)(C_0 + C_V)} - \sqrt{(L_0 + L_V)(C_0 - C_V)} \right|$$

і амплітудою:

$$U_a = \frac{E z_{B1}}{2(z_{B1} + z_{B2})},$$

де  $E$  - амплітуда перепаду;

$$z_{B1} = \sqrt{\frac{L_0 - L_V}{C_0 + C_V}}; z_{B2} = \sqrt{\frac{L_0 + L_V}{C_0 - C_V}};$$

Для ілюстрації одержання виразів для тривалості і амплітуди сформованого імпульсу введемо позначення:

$$\begin{cases} L_{E1} = L_0 - L_V \\ L_{E2} = L_0 + L_V \\ C_{E1} = C_0 + C_V \\ C_{E2} = C_0 - C_V \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} i_{e1} = i^a - i^p \\ i_{e2} = i^a + i^p \\ u_{e2} = u^a + u^p \\ u_{e1} = u^a - u^p \end{cases} \quad (3a)$$

або

$$\begin{cases} I_{E1} = I^a - I^p \\ I_{E2} = I^a + I^p \\ \dot{U}_{E2} = \dot{U}^a + \dot{U}^p \\ \dot{U}_{E1} = \dot{U}^a - \dot{U}^p \end{cases} \quad (3b)$$

З(2) і (3) одержуємо:

$$\begin{cases} L_0 = \frac{L_{E1} + L_{E2}}{2} \\ L_V = \frac{L_{E2} - L_{E1}}{2} \\ C_0 = \frac{C_{E1} + C_{E2}}{2} \\ C_V = \frac{C_{E1} - C_{E2}}{2} \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} i^a = \frac{i_{e1} + i_{e2}}{2} \\ i^p = \frac{i_{e2} - i_{e1}}{2} \\ u^a = \frac{u_{e1} + u_{e2}}{2} \\ u^p = \frac{u_{e2} - u_{e1}}{2} \end{cases} \quad (5a)$$

або

$$\begin{cases} I^a = \frac{I_{E1} + I_{E2}}{2} \\ I^p = \frac{I_{E2} - I_{E1}}{2} \\ \dot{U}^a = \frac{\dot{U}_{E1} + \dot{U}_{E2}}{2} \\ \dot{U}^p = \frac{\dot{U}_{E2} - \dot{U}_{E1}}{2} \end{cases} \quad (5b)$$

Підставляємо (4) і (5b) у (1), одержуємо:

$$\begin{cases} \frac{dI_{E2}}{dx} = -j\omega C_{E2} \dot{U}_{E2} \\ \frac{dI_{E1}}{dx} = -j\omega C_{E1} \dot{U}_{E1} \\ \frac{d\dot{U}_{E2}}{dx} = -j\omega L_{E2} I_{E2} \\ \frac{d\dot{U}_{E1}}{dx} = -j\omega L_{E1} I_{E1} \end{cases} \quad (6)$$

Система рівнянь (6) являє собою дві незалежні системи.

$$\begin{cases} \frac{dI_{E2}}{dx} = -j\omega C_{E2} \dot{U}_{E2} \\ \frac{d\dot{U}_{E2}}{dx} = -j\omega L_{E2} I_{E2} \end{cases}, \quad (7)$$

$$\begin{cases} \frac{dI_{E1}}{dx} = -j\omega C_{E1} \dot{U}_{E1} \\ \frac{d\dot{U}_{E1}}{dx} = -j\omega L_{E1} I_{E1} \end{cases}, \quad (8)$$

кожна з яких є телеграфними рівняннями окремої довгої лінії.

Загальним рішенням системи (7) є:

$$\begin{cases} I_{E2} = A e^{\gamma 2x} + B e^{-\gamma 2x} \\ \dot{U}_{E2} = -A z_{B2} e^{\gamma 2x} + B z_{B2} e^{-\gamma 2x} \end{cases}, \quad (9)$$

де

$$\gamma 2 = j\omega \sqrt{L_{E2} C_{E2}} = j\omega \sqrt{(L_0 + L_V)(C_0 - C_V)};$$

$$z_{B2} = \sqrt{\frac{L_{E2}}{C_{E2}}} = \sqrt{\frac{L_0 + L_V}{C_0 - C_V}}.$$

Загальним рішенням системи (8) є:

$$\begin{cases} I_{E1} = A e^{\gamma 1x} + B e^{-\gamma 1x} \\ \dot{U}_{E1} = -A z_{B1} e^{\gamma 1x} + B z_{B1} e^{-\gamma 1x} \end{cases}, \quad (10)$$

$$\text{де } \gamma 1 = j\omega \sqrt{L_{E1} C_{E1}} = j\omega \sqrt{(L_0 - L_V)(C_0 + C_V)};$$

$$z_{B1} = \sqrt{\frac{L_{E1}}{C_{E1}}} = \sqrt{\frac{L_0 - L_V}{C_0 + C_V}}.$$

Таким чином, за допомогою заміни (4,5) з двох взаємодіючих ліній одержали дві еквівалентні незалежні довгі лінії. Тепер здобудемо зовнішні кола незалежних ліній, які еквівалентні зовнішнім колам зв'язаних ліній.

Запишемо межові умови для п'ятиполюсника, зображеного на (фіг 1)

$$\begin{cases} u_a^{ex} = e(t) - i_a^{ex} R_{ex} \\ u_p^{ex} = -i_p^{ex} R_{ex} \\ u_a^{вих} = i_a^{вих} R_{вих} \\ u_p^{вих} = i_p^{вих} R_{вих} \end{cases}, \quad (11)$$

де  $u_a^{вх}, u_p^{вх}$  - напруги на входах активної і пасивної ліній;  $u_a^{вих}, u_p^{вих}$  - напруги на виходах активної і пасивної ліній;  $i_a^{вх}, i_p^{вх}$  - струми на

входах активної і пасивної ліній;  $i_a^{вих}, i_p^{вих}$  - струми на виходах активної і пасивної ліній.

Підставляємо (5) у (11) і одержуємо:

$$\begin{cases} u_{e2}^{ex} = e(t) - i_{e2}^{ex} R_{ex} \\ u_{e1}^{ex} = e(t) - i_{e1}^{ex} R_{ex} \\ u_{e2}^{вих} = i_{e2}^{вих} R_{вих} \\ u_{e1}^{вих} = i_{e1}^{вих} R_{вих} \end{cases}, \quad (12)$$

де  $u_{e1}^{BX}, u_{e2}^{BX}$  - напруги на входах першої і другої еквівалентних ліній;  $u_{e1}^{вих}, u_{e2}^{вих}$  - напруги на виходах першої і другої еквівалентних ліній;  $i_{e1}^{BX}, i_{e2}^{BX}$  - струми на входах першої і другої еквівалентних ліній;  $i_{e1}^{вих}, i_{e2}^{вих}$  - струми на виходах першої і другої еквівалентних ліній.

Уявимо лінії (7) і (8) у вигляді триполюсників, що мають зовнішні кола (фіг.2,3) і запишемо для них межові умови:

$$\begin{cases} u_{e2}^{BX} = e_1(t) - i_{e2}^{BX} R_{E1} \\ u_{e1}^{BX} = e_2(t) - i_{e1}^{BX} R_{E2} \\ u_{e2}^{вих} = R_{E3} i_{e2}^{вих} \\ u_{e1}^{вих} = R_{E4} i_{e1}^{вих} \end{cases}, \quad (13)$$

Прирівнюючи праві частини (12) і (13) одержуємо вирази переходу від навантажень і джерела зв'язаних ліній до навантажень і джерел незалежних довгих ліній.

$$\begin{aligned} R_{E1} &= R_{E2} = R_{BX}; \\ R_{E3} &= R_{E4} = R_{вих}; \\ e(t)_1 &= e(t)_2 = e(t). \end{aligned} \quad (14a, б, в)$$

Тепер, коли відомі межові умови для кожної еквівалентної довгої лінії, можна знайти приватне рішення для еквівалентних ліній.

У нашому випадку маємо  $e(t) = E \cdot 1(t)$ ,

$$\text{де } E \text{ - амплітуда перепаду; } 1(t) = \begin{cases} 0, t \leq 0 \\ 1, t > 0. \end{cases}$$

Якщо :

$$\begin{aligned} R_{BX} &= Z_{B1} \\ R_{вих} &= Z_{B2}, \end{aligned} \quad (15)$$

тоді в першій лінії буде присутнє однократне віддзеркалення від кінця лінії, а в другій лінії віддзеркалення будуть відсутні. Побудуємо часові діаграми процесів, що відбуваються у лініях при межових умовах (14). Часові залежності напруг на входах і виходах першої еквівалентної лінії зображені на фіг(4), а другої - на фіг(5), де  $u_{e1}^{BX}, u_{e2}^{BX}$  - напруги на входах першої і другої еквівалентних ліній;  $u_{e1}^{вих}, u_{e2}^{вих}$  - напруги на виходах першої і другої еквівалентних ліній;  $\tau_1, \tau_2$  затримки вихідного сигналу відносно вхідного в першій і другій лініях відповідно.

Розглянемо ці величини більш докладно. З [5] відомо, що амплітуда напруги на початку лінії виражається співвідношенням:

$$U_B = \frac{Ez_B}{R_{\Gamma} + z_B}, \quad (16)$$

де  $U_B$  - амплітуда фронту хвилі, що поширюється уздовж лінії;  $E$  - амплітуда джерела перепаду напруги;  $R_{\Gamma}$  - внутрішній опір джерела перепаду напруги;  $z_B$  - хвильовий опір лінії.

Напруга на навантаженні виражається співвідношенням:

$$U_H = \frac{2U_B R_H}{R_H + z_B}, \quad (17)$$

де  $U_H$  - напруга на навантаженні;  $R_H$  - опір навантаження.

Підставляючи (16) у (17) з урахуванням навантажень і хвильових опорів одержуємо:

$$U_{E1}^{вих} = \frac{2Ez_{B1} R_{вих}}{(z_{B1} + R_{BX})(z_{B1} + R_{вих})}; \quad (18)$$

$$U_{E2}^{вих} = \frac{2Ez_{B2} R_{вих}}{(z_{B2} + R_{BX})(z_{B2} + R_{вих})}. \quad (19)$$

Використовуючи рівність (15) одержуємо:

$$U_{E1}^{вих} = U_{E2}^{вих} = U = \frac{Ez_{B1}}{(z_{B1} + z_{B2})}. \quad (20)$$

З [6] відомо, що час запізнення сигналу в довгій лінії без утрат визначається виразом:

$$\tau = l\sqrt{LC}$$

де  $l$  - довжина лінії;  $L, C$  - погонна індуктивність та погонна ємність лінії.

Приймаючи до уваги (2) маємо:

$$\tau_1 = l\sqrt{L_{E1} C_{E1}} = l\sqrt{(L_0 - L_V)(C_0 + C_V)}; \quad (21)$$

$$\tau_2 = l\sqrt{L_{E2} C_{E2}} = l\sqrt{(L_0 + L_V)(C_0 - C_V)}; \quad (22)$$

де  $\tau_1, \tau_2$  запізнення сигналу в першій і другій лініях відповідно;  $l$  - довжина лінії;  $L_{E1}, L_{E2}$  - погонні індуктивності першої і другої еквівалентних ліній;

$C_{E1}, C_{E2}$  - погонні ємності еквівалентних ліній.

Отже напруга на виході першої еквівалентної лінії матиме вигляд:

$$U_{E1}^{вих}(t) = U \cdot 1(t - \tau_1), \quad (23)$$

а на виході другої еквівалентної лінії:

$$U_{E2}^{вих}(t) = U \cdot 1(t - \tau_2), \quad (24)$$

де  $U$  - визначається виразом (20).

Використовуючи правила переходу від напруг і струмів еквівалентних ліній до напруг і струмів вихідних зв'язаних ліній (5а), одержуємо вираз для напруги на виході пасивної лінії:

$$U_p^{вих}(t) = \frac{U[1(t - \tau_2) - 1(t - \tau_1)]}{2}. \quad (25)$$

Напруги на виходах еквівалентних ліній і на виході пасивної лінії показані на (фіг.6). З отриманого виразу (25) очевидно, що сигнал на виході пасивної лінії являє собою імпульс амплітудою:

$$\frac{U}{2} = \frac{Ez_{B1}}{2(z_{B1} + z_{B2})} \text{ і тривалістю:}$$

$$\tau = |\tau_2 - \tau_1| = \left| \sqrt{(L_0 - L_V)(C_0 + C_V)} - \sqrt{(L_0 + L_V)(C_0 - C_V)} \right|.$$

Причому якщо  $1 \neq 0$  тривалість сформованого імпульсу  $\tau$  не дорівнює нулю, тому що з

$$\frac{C_V}{C_0} \neq \frac{L_V}{L_0} \text{ слідує } \tau_1 \neq \tau_2.$$

Покажемо, що при малих тривалостях імпульсів, а отже при малих довжинах ліній запропонований спосіб дає меншу похибку, ніж раніше відомі способи.

Для зв'язаних довгих ліній тривалість імпульсу знаходиться з виразу:

$$\tau_{\text{и}}^* = \frac{(\gamma_2 - \gamma_1)l_1}{j\omega}, \quad (26)$$

$$\text{де } \gamma_1 = j\omega \sqrt{(L_0 - L_V)(C_0 + C_V)},$$

$\gamma_2 = j\omega \sqrt{(L_0 + L_V)(C_0 - C_V)}$  - постійні поширення зв'язаної довгої лінії;  $l_1$  - довжина зв'язаних довгих ліній.

В раніше відомих способах тривалість імпульсу виражається формулою:

$$\tau_{\text{и}} = \frac{2\gamma l}{j\omega}, \quad (27)$$

де  $\gamma = \sqrt{LC}$  - постійні поширення;  $l$  - довжина лінії.

Тоді

$$\tau_{\text{и}}^* + \Delta\tau_{\text{и}}^* = \frac{(\gamma_2 - \gamma_1 + \Delta\gamma_1 + \Delta\gamma_2)(l_1 + \Delta l_1)}{j\omega}; \quad (28)$$

$$\tau_{\text{и}} + \Delta\tau_{\text{и}} = \frac{2(\gamma + \Delta\gamma)(l + \Delta l)}{j\omega}, \quad (29)$$

де  $\Delta\gamma_1$ ,  $\Delta\gamma_2$  - похибки обчислення постійних поширення зв'язаних ліній;  $\Delta\gamma$  - похибка обчислення постійної поширення окремої лінії;  $\Delta l_1$ ,  $\Delta l$  - похибки виміру довжини зв'язаних ліній довжини окремої лінії відповідно.

З урахуванням того, що добуток двох малих величин є величиною меншого порядку, то  $\Delta l_1(\Delta\gamma_1 + \Delta\gamma_2) \approx 0$ ,  $\Delta l \Delta\gamma \approx 0$  і абсолютну похибку тривалості імпульсів у запропонованому і раніше відомих способах відповідно можна подати у вигляді:

$$\Delta\tau_{\text{и}}^* = \frac{l_1(\Delta\gamma_1 + \Delta\gamma_2) + \Delta l_1(\gamma_2 - \gamma_1)}{j\omega}; \quad (30)$$

$$\Delta\tau_{\text{и}} = \frac{l\Delta\gamma + \Delta l\gamma}{j\omega}. \quad (31)$$

Тому що однакові величини вимірюються однаковими засобами, то можна записати:

$$\Delta\gamma_1 = \Delta\gamma_2 = \Delta\gamma; \quad \Delta l_1 = \Delta l. \quad (32)$$

З урахуванням (32) маємо:

$$\Delta\tau_{\text{и}}^* = \frac{l_1 2\Delta\gamma + \Delta l_1(\gamma_2 - \gamma_1)}{j\omega}. \quad (33)$$

Запишемо відносну похибку тривалості імпульсів для запропонованого способу:

$$\delta_{\tau}^* = \frac{(l_1 2\Delta\gamma + \Delta l_1(\gamma_2 - \gamma_1))j\omega}{j\omega(\gamma_2 - \gamma_1)l_1};$$

або

$$\delta_{\tau}^* = \frac{2\Delta\gamma}{(\gamma_2 - \gamma_1)} + \frac{\Delta l_1}{l_1}. \quad (34)$$

Відповідно відносна похибка тривалості імпульсів для раніше відомих способів матиме вигляд:

$$\delta_{\tau} = \frac{(l\Delta\gamma + \Delta l\gamma)j\omega}{j\omega 2\gamma l};$$

або

$$\delta_{\tau} = \frac{\Delta\gamma}{2\gamma} + \frac{\Delta l}{2l}. \quad (35)$$

Якщо прийняти  $\frac{\gamma}{\gamma_2 - \gamma_1} = k$  тоді  $\gamma_2 - \gamma_1 = \frac{\gamma}{k}$ .

З виразів (26), (27) для  $\tau_{\text{и}}^* = \tau_{\text{и}}$  слідує:

$$l_1 = kl. \quad (36)$$

С урахуванням (36) запишемо:

$$\delta_{\tau}^* = \frac{2k\Delta\gamma}{\gamma} + \frac{\Delta l}{kl}. \quad (37)$$

Оскільки при  $\Delta l \neq 0$   $\lim_{l \rightarrow 0} \frac{\Delta l}{l} = \infty$ , то при ма-

лих  $l$  у виразах (35) і (37) визначальним є другий доданок. Отже при малих  $l$  справедливо:

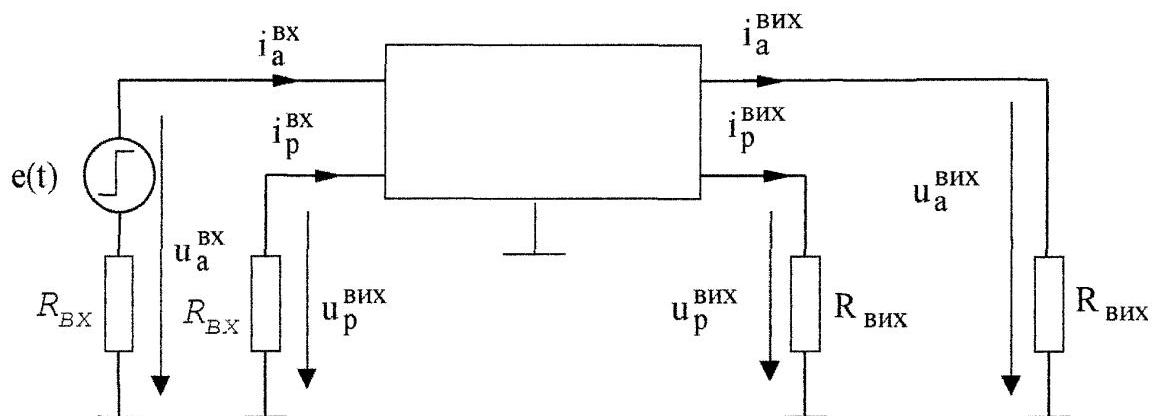
$$\delta_{\tau}^* \approx \frac{\Delta l}{kl}; \quad (38)$$

$$\delta_{\tau} \approx \frac{\Delta l}{2l}. \quad (39)$$

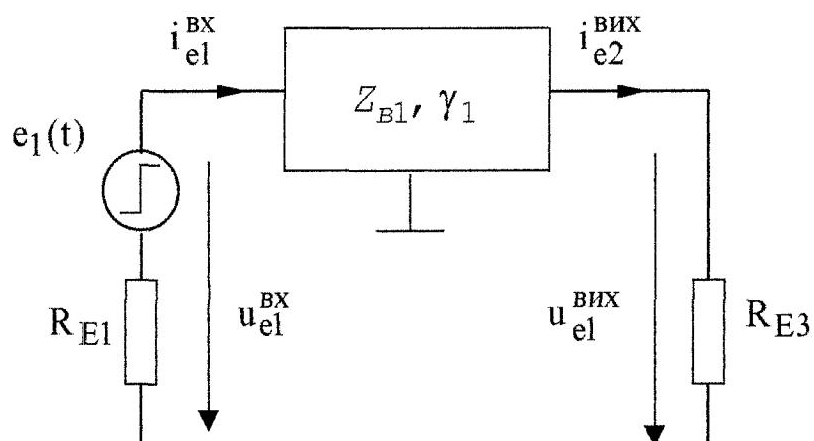
Виходячи з того що  $k \gg 1$  можна зробити висновок що  $\delta_{\tau}^* < \delta_{\tau}$ .

Джерела інформації:

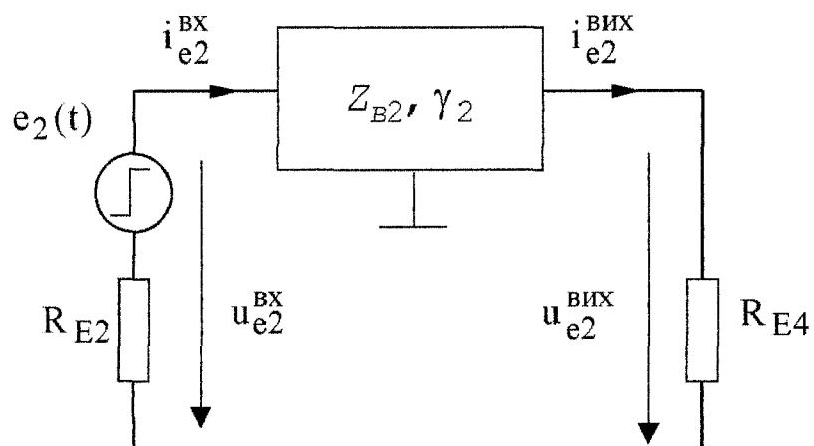
1. Месяц Г.А. Генерирование мощных наносекундных импульсов. М.: Сов. Радио, 1974.
2. Агаханян Т.М., Гаврилов Л.Е., Мищенко Б.Г. Основы наносекундной импульсной техники. М.: Сов. Радио, 1976.
3. Стрюков Б. А., Мандрик И. В., Суржиков В.Ф. Перспективы развития и применения формирователей короткоимпульсных сигналов. - Радиотехника, 1995, №9.
4. Савельев А. Я., Овчинников В. А. Конструирование ЭВМ и систем.
5. Моругин Л. А., Глебович Г. В. Наносекундная импульсная техника. М.: Сов. Радио, 1964.
6. Бессонов Л. А. ТОЭ М.: Высш. шк., 1973



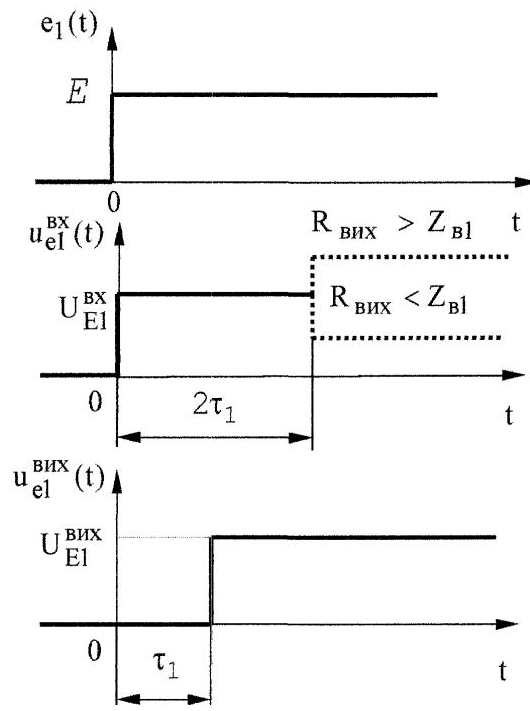
Фиг. 1



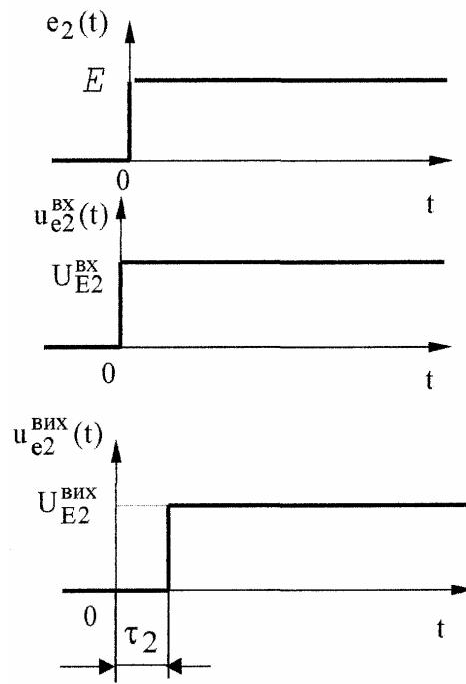
Фиг. 2



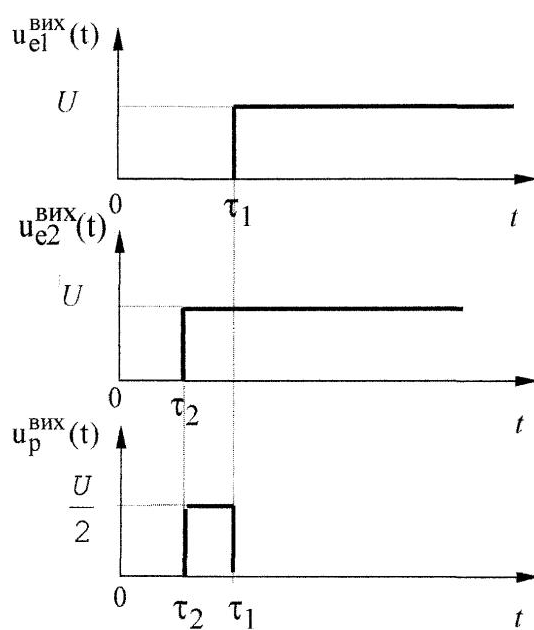
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фіг. 6

---

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)  
Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26  
(044) 295-81-42, 295-61-97

---

Підписано до друку \_\_\_\_\_ 2001 р. Формат 60x84 1/8.  
Обсяг \_\_\_\_\_ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. \_\_\_\_\_

---

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.  
(044) 268-25-22

---