

УДК 681.32

**В. М. Кичак**, д. т. н., проф. ;  
**Н. Г. Курилова**

## АНАЛІЗ ШВИДКОДІЇ РАДІОІМПУЛЬСНОГО ТРИГЕРА НА БАЗІ ІНДУКТИВНОГО ТРАНЗИСТОРНОГО НЕГАТРОНА

*Проведено аналіз швидкодії радіоімпульсних тригерів на базі індуктивних транзисторних негatronів. Показано, що тактову частоту для роботи таких тригерів необхідно вибирати в 2–3 рази менше, ніж власна частота. Досліджено залежність ширини бістабільної зони від напруги керування.*

### Вступ

Під час побудови пристроїв обробки сигналів з частотним представленням інформації виникає необхідність застосування елементів пам'яті, до яких можна віднести амплітудні радіоімпульсні тригери. Відомо ряд праць, в яких розглянуто можливість побудови і проведено дослідження таких елементів на базі тунельних діодів [1, 2, 3]. Проте вони характеризуються рядом суттєвих недоліків, пов'язаних з типом активного елемента. Так потужність, яку генерує тунельний діод, не перевищує одиниці мВт, ширина бістабільної зони незначна і складає декілька десятків мВ, що знижує завадозахищеність і потребує застосування додаткових підсилювачів. Крім того під час роботи такого пристрою в діапазоні дециметрових хвиль виникає необхідність використання коаксіальних або мікросмужкових резонаторів, які мають значні габарити і масу. Розглянуті недоліки, певною мірою, можна усунути використовуючи схеми на базі індуктивних транзисторних негatronів (ІТН), які працюють в жорсткому режимі збудження [4].

В роботі [5] з використанням методу фазової площини показано, що у разі вмикання між колектором і емітером ІТН ємності, що резонує, в схемі можлива генерація надвисокочастотних синусоїдальних коливань і при цьому має місце жорсткий режим збудження. Для переведення такого елемента з одного стійкого стану в інший необхідно подавати на вхід запускаючий радіоімпульс, а повернення у вихідне положення здійснюється також шляхом подачі керувального радіоімпульсу, який періодично зриває автоколивання.

Метою цієї роботи є дослідження швидкодії радіоімпульсного тригера на базі ІТН, яка визначається часом наростання амплітуди коливань до величини, достатньої для спрацювання наступного елемента і часом згасання амплітуди вільних коливань до величини, яка виключає спрацювання наступного елемента за відсутності запускаючого радіоімпульсу.

### Теоретичні дослідження

Розглянемо процес встановлення амплітуди автоколивань в автогенераторі з жорстким режимом збудження на базі ІТН. Як показано в [4] основне диференціальне рівняння для такого автогенератора можна записати так:

$$\frac{dU_{EK}(t)}{dt} + \alpha(1 - SR)U_{EK}(t) = 0, \quad (1)$$

де  $U_{EK}(t)$  — миттєве значення напруги між емітером і колектором транзистора;

$S = \frac{1}{R_{\text{від}}}$  — миттєве значення крутості вхідної характеристики складеного ІТН;

$R_{\text{від}} = \frac{(r + r_{\text{від}})^2 + x_L^2}{r_{\text{від}}}$  — еквівалентний від'ємний опір ІТН;  $R_{\text{від}} = \frac{(r + r_{\text{від}})^2 + x_L^2}{r}$  — еквівалент-

ний активний опір ІТН;  $\alpha$  — коефіцієнт згасання;  $r_{\text{від}}$  — від'ємний опір складеного ІТН;  $r$  — опір втрат.

Якщо у виразі (1) перейти від миттєвого значення крутості до середнього  $S \approx S_{cp}$ , то з (1) можна визначити залежність часу наростання амплітуди автоколиваний від величини напруги на емітері транзистора, що змінюється в діапазоні з  $U_{EK3ап}$  до  $U_{EK} > U_{EK3ап}$ .

$$\tau = (t - t_{3ап}) = \frac{1}{\alpha} \int_{U_{EK3ап}}^{U_{EK}} \frac{dU(t)}{(RS_{cp} - 1)U(t)}. \quad (2)$$

Швидкість наростання автоколиваний можна розрахувати, використовуючи (1) і (2):

$$V_a = \frac{dU_{EK}(t)}{dt} = \alpha(RS_{cp} - 1)U_{EK}(t). \quad (3)$$

Використовуючи (3) і залежність повного опору складеного ІТН від напруги на емітері  $U_{EK}$ , можна побудувати залежність швидкості наростання амплітуди напруги  $V_a$  від величини напруги на емітері другого транзистора (рис. 1).

Знаючи закон зміни швидкості  $V_a$ , можна розрахувати залежність амплітуди коливаний від напруги запуску  $U_{EK3ап}$ . Із (3) можна визначити швидкість відносного збільшення амплітуди

$$V_n = \frac{V_a}{U_{EK}} = \alpha(RS_{cp} - 1). \quad (4)$$

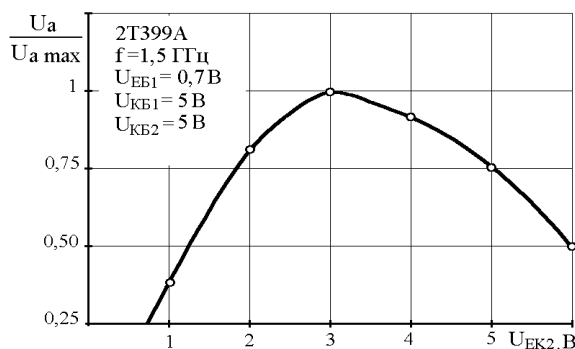


Рис. 1. Залежність швидкості наростання амплітуди напруги  $U_a$  від величини напруги на емітері транзистора, увімкненого в коло зворотного зв'язку

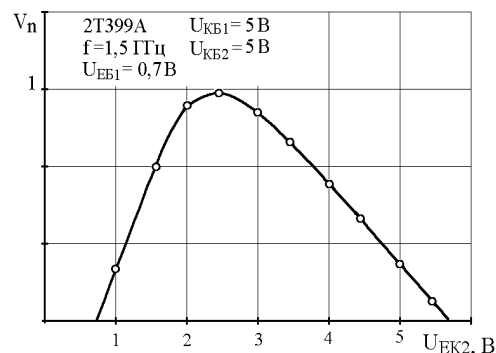


Рис. 2. Залежність відносного збільшення швидкості наростання амплітуди від напруги керування

Графік залежності відносного збільшення швидкості наростання амплітуди від напруги керування  $U_{EK}$  зображено на рис. 2.

Оскільки у виразі (4) від  $U_{EK}$  залежить  $S_{cp}$  і  $R$ , то

$$V_{nmax} = \alpha(R_{max}S_{cpmax} - 1). \quad (5)$$

Враховуючи (4), вираз (5) можна переписати у вигляді

$$V_{nmax} = \alpha \left[ \frac{r_{відmax}}{r} - 1 \right]. \quad (6)$$

У цьому виразі від напруги на емітері  $U_{EK}$  залежить від'ємний опір ІТН і після запуску автогенератора амплітуда коливаний монотонно збільшується, як видно з рис. 2, досягає максимального значення для  $r_{відmax}$ , потім знову зменшується і наближається до нуля для  $U_{EK} > U_{EKвст}$ .

Для оцінки мінімального часу спрацювання тригера визначимо час, протягом якого амплітуда коливаний, після виникнення, збільшиться в  $K_U$  разів порівняно з максимальною амплітудою  $U_{EK3ап}$  радіоімпульсу запуску. Згідно з (2)

$$\tau_{K_U} = \frac{1}{\alpha} \frac{K_U U_{EK\text{зап}}}{U_{EK\text{зап}}} \frac{dU_{EK}}{(RS_{cp} - 1) U_{EK}}. \quad (7)$$

Цей час зручно описати кількістю періодів власних коливань тригера

$$N_k = \frac{\tau_k}{T} = \frac{Q}{\pi} \frac{K_U U_{EK\text{зап}}}{U_{EK\text{зап}}} \frac{dU_{EK}}{(RS_{cp} - 1) U_{EK}}. \quad (8)$$

Визначимо умови, для яких час збільшення амплітуди коливань в  $K_U$  разів буде найменшим. Як видно з (8), цей час залежить тільки від амплітуди запуску  $U_{EK\text{зап}}$  і її величина, для якої  $N_k$  має екстремальне значення, визначається з умови

$$\frac{dN_k}{dU_{EK\text{зап}}} = 0.$$

Цю умову з урахуванням (8) можна переписати у вигляді

$$S_{cp}(U_{EK\text{зап}}) = S_{cp}(K_U U_{EK\text{зап}}). \quad (9)$$

Враховуючи залежність середньої крутості від напруги на емітері в жорсткому режимі, рівняння (9) має єдиний розв'язок за умови

$$U_{EK\text{н}} < U_{EK\text{зап}} < U_{EK\text{вст}}.$$

Розв'язок рівняння (9) з урахуванням характеру наростання коливань і дає те оптимальне значення напруги запуску  $U_{EK\text{опт}}$ , з яким збільшення амплітуди в  $K_U$  разів буде досягнуто за найменше число періодів  $N_{k\text{мін}}$ .

За теоремою Лагранжа середня швидкість наростання  $U_{EK}$  в межах від  $U_{EK\text{опт}}$  до  $K_U U_{EK\text{опт}}$  дорівнює

$$V_{a\text{ср}} = V_a(U_{EK}^*) = \frac{U_{EK\text{опт}}(K_U - 1)}{TN_{k\text{мін}}}, \quad (10)$$

де  $U_{EK}^*$  — те значення амплітуди на емітері, при якому швидкість  $V_a$  збігається з середньою швидкістю  $V_{a\text{ср}}$ , причому  $U_{EK\text{опт}} < U_{EK}^* < U_{EK\text{опт}} K_U$ .

Розв'язуючи рівняння (10) відносно  $N_{k\text{мін}}$  з урахуванням (3), отримаємо

$$N_{k\text{мін}} = \frac{1}{\pi} \frac{(K_U - 1) U_{EK\text{опт}}}{V_{a\text{ср}}} = \frac{1}{\pi} \frac{(K_U - 1) U_{EK\text{опт}}}{\left( S_{cp}^* \rho \beta_{oc} - \frac{1}{Q} \right) U_{EK}^*}, \quad (11)$$

де  $S_{cp}^* = S_{cp}(U_{EK}^*)$ .

Для невеликих  $K_U U_{EK\text{опт}} \approx U_{EK}^*$ , тому вираз (11) можна спростити

$$N_{k\text{мін}} \approx \frac{1}{\pi} \frac{(K_U - 1)}{\left( S_{cp}^* \rho \beta_{oc} - 1 \right)}. \quad (12)$$

Таким чином, вибираючи амплітуду запускаючої напруги, можна використовувати найкрутіші ділянки кривої росту коливань і зменшити час, за який амплітуда тригера збільшиться в  $K_U$  разів.

Аналіз виразу (12) показує, що найменше значення  $N_{k\text{мін}}$  обмежується найбільшим значенням середньої крутості ПН, або величиною від'ємного опору, добротності коливальної системи, яка залежить, в свою чергу, від параметрів другого транзистора, який утворює коло зворотного зв'язку. Не зупиняючись на інших обмеженнях, розглянемо як змінюється  $N_k$  зі зміною амплітуди запускаючої напруги між базою і емітером другого транзистора, яку найдоцільніше використовувати для керування процесами переходу з одного стану в інший. Графіки теоретичних залежностей мінімального числа періодів  $N_k$ , протягом яких амплітуда автоколивань тригера зростає в  $K_U$

разів, показані на рис. 3. Частота запускарних радіоімпульсів збіглася з власною частотою коливань тригера.

Аналіз залежностей показує, що з оптимальними значеннями амплітуди напруги керування, мінімальне число періодів амплітуди запускарючих імпульсів може знаходитись в межах 2...3, тобто тактову частоту для роботи таких тригерів необхідно вибирати в 2...3 рази меншу власної частоти.

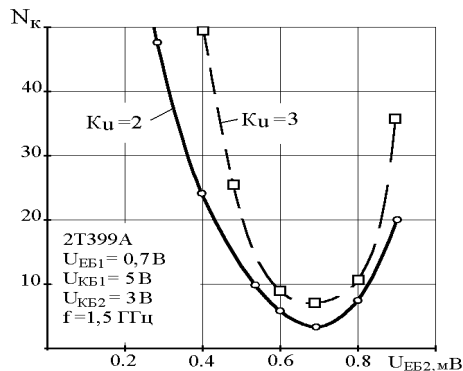


Рис. 3. Залежність мінімального числа періодів  $N_k$ , протягом яких амплітуда автоколивань зростає в  $K_U$  разів

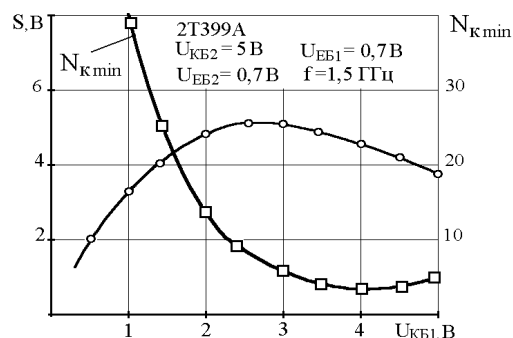


Рис. 4. Залежність ширини бістабільної зони  $S$  і мінімального числа періодів, протягом яких амплітуда автоколивань зростає в  $K_U$  разів, від амплітуди запускарного радіоімпульсу напруги на базі першого транзистора

В працях [4, 5] зазначається, що застосування ІТН приводить до розширення бістабільної зони таких тригерів, тому доцільно дослідити, як впливає вибір робочого режиму на мінімальне число періодів коливань, протягом яких амплітуда автоколивань зростає в  $K_U$  разів. Графіки залежності ширини бістабільної зони і мінімального числа періодів, протягом яких амплітуда автоколивань зростає в  $K_U$  разів, показані на рис. 4. З аналізу очевидно, що коли напруга на базі транзистора близька до правої межі бістабільної зони, то кількість періодів, протягом яких амплітуда коливань зростає в  $K_U$  разів, зменшується.

## Висновок

1. Проведені дослідження показують, що швидкодія радіоімпульсного тригера обмежується величиною крутості вхідної характеристики індуктивного транзисторного негатора і параметрами коливальної системи.
2. Ширина бістабільної зони може змінюватись в широких межах в залежності від режиму роботи транзисторів і в декілька разів перевищує ширину бістабільної зони для аналогічного пристрою на тунельному діоді.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гончаров Б. А., Полежаев В. А., Тузов В. М. Амплитудная характеристика регенератора радиоимпульсов на основе генератора в жестком режиме // Радиотехника. — 1976. — Вып. 31. — № 5. — С. 47—51.
2. Яловега Г. И., Карпунин А. В., Лоза Ю. Х., Слепченко Н. И. Проектирование частотного элемента на основе автотенератора // Радиотехника. — 1985. — Вып. 75. — С. 144—147.
3. Гарматюк С. С. Экспериментальные исследования двухчастотного СВЧ тригера на туннельном диоде // Известия вузов. Радиотехника. — 1966. — Т. 9. — № 4.
4. Кичак В. М. Радиоімпульсні логічні НВЧ елементи. Монографія. — Вінниця: Універсум—Вінниця, 1999. — 240 с.
5. Кичак В. М., Осадчук В. С. Амплитудный триггер с радиоимпульсным управлением // Электронная техника в автомобилке. — М.: Сов. радио, 1978. — № 10. — С. 265—268.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування» (2—5. 07.05)

Надійшла до редакції 11.07.05  
Рекомендована до друку 21.07.05

**Кичак Василь Мартинович** — завідувач кафедри, **Курилова Наталія Геннадіївна** — асистент.  
Кафедра телекомунікаційних систем і телебачення, Вінницький національний технічний університет