

М. А. Філінюк, д. т. н., проф.; М. В. Барабан

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ДОСЯГНЕНЬ СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРИБОРІВ НА ОСНОВІ ОДНОПЕРЕХІДНИХ ТРАНЗИСТОРНИХ СТРУКТУР

Проведено аналіз сучасних досягнень створення інформаційних пристроїв на основі одноперехідних транзисторних структур, визначено їхні переваги та недоліки. Вироблено рекомендації щодо покращення інформаційних пристроїв.

Ключові слова: інформаційні пристрої, одноперехідна транзисторна структура, одноперехідний транзистор.

Одноперехідна транзисторна структура (ОТС) є багатофункціональним електронним пристроєм, використання якого дозволяє покращити технічні параметри елементів і пристроїв обчислювальної техніки і автоматики, підвищити їхню ефективність і створити якісно нові елементи на її основі. Оскільки одноперехідний транзистор (ОТ) має вольт-амперну характеристику S-типу, то в нього є унікальні властивості, що дозволяє створювати на його основі пристрої більш прості, надійні та ефективні, ніж аналогічні пристрої на діодах та транзисторах. Випуск широкої номенклатури ОТ фірмами: General Electric, Philips, ASI, Motorola [1 – 4] – підтверджує їхню конкурентну спроможність поряд з іншими напівпровідниковими приладами. Проте на сьогодні відсутній порівняльний аналіз створення сучасних інформаційних пристроїв на їхній основі. Цей аналіз відкриває нові можливості створення високоефективних інформаційних елементів і пристроїв придатних для реалізації в інтегральному вигляді, що забезпечує їхнє широке застосування.

Виходячи з цього, актуальним є завдання щодо проведення аналізу сучасних досягнень створення інформаційних пристроїв на основі ОТС.

Мета роботи – вироблення рекомендацій щодо покращення характеристик інформаційних пристроїв на основі ОТС.

1.1. Класифікація інформаційних пристроїв

До складу інформаційної системи входять інформаційні пристрої як основні вузли для перетворення та обробки інформації. Розрізняють два типи інформаційних пристроїв – пристрої перетворення інформації та пристрої керування. Інформаційні пристрої, алгоритм функціонування яких не залежить від алгоритму функціонування інформаційної системи, призначені для перетворення повідомлень у сигнал і навпаки, а також для зміни фізичної природи або параметрів сигналу, називають інформаційними пристроями перетворення. До них належать: вимірювальні перетворювачі, перетворювачі імітансу, пристрої кодування та декодування, логічні пристрої та ін. Інформаційні пристрої, алгоритм функціонування яких змінюється з часом за законом, який визначається алгоритмом функціонування інформаційної системи, називають інформаційними пристроями керування. Приклади таких пристроїв – фільтри, комутатори, фазообертачі тощо [5].

Ураховуючи, що в більшості інформаційних систем основним носієм інформації є електричний сигнал, у статті розглянуто інформаційні пристрої перетворення та керування електричними сигналами. Узагальнену функціональну схему цих пристроїв наведено на рис. 1 [5]. Пристрій містить три види виводів: вхідного сигналу, вихідного сигналу та сигналу керування. В інформаційних пристроїв перетворення відсутні виводи сигналу керування, але може бути вивід опорного сигналу.

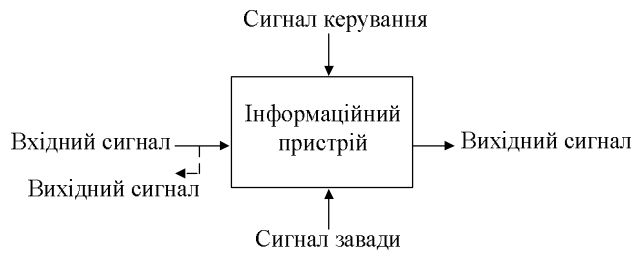


Рис. 1. Узагальнена функціональна схема інформаційного пристрою

Крім інформаційних сигналів, в інформаційний пристрій потрапляє сигнал завади. Він може потрапляти як по колах основного сигналу та сигналу керування, так і по колах живлення або виникати в самому інформаційному пристрої [5].

Класифікацію інформаційних пристроїв представлено на рис. 2.

Інформаційні пристрої за типом електричного сигналу класифікують на відеоімпульсні та радіочастотні. Інформаційним базисом радіочастотних інформаційних пристроїв є амплітуда, частота або фаза сигналу. За реакцією на вхідний сигнал радіочастотні інформаційні пристрої класифікують на підсилювальні, перетворювальні та пасивні. Підсилювальні збільшують потужність вхідного сигналу за рахунок енергії, що надходить із джерела живлення. За функціональним призначенням розрізняють вимірювально-перетворювальні, підсилювально-перетворювальні та допоміжні елементи, до яких можна віднести логічні схеми, пристрої зберігання та перетворення інформації. За способом живлення радіочастотні інформаційні пристрої поділяють на активні, пасивні та напівпасивні. Активні, на відміну від пасивних, містять власне джерело живлення.

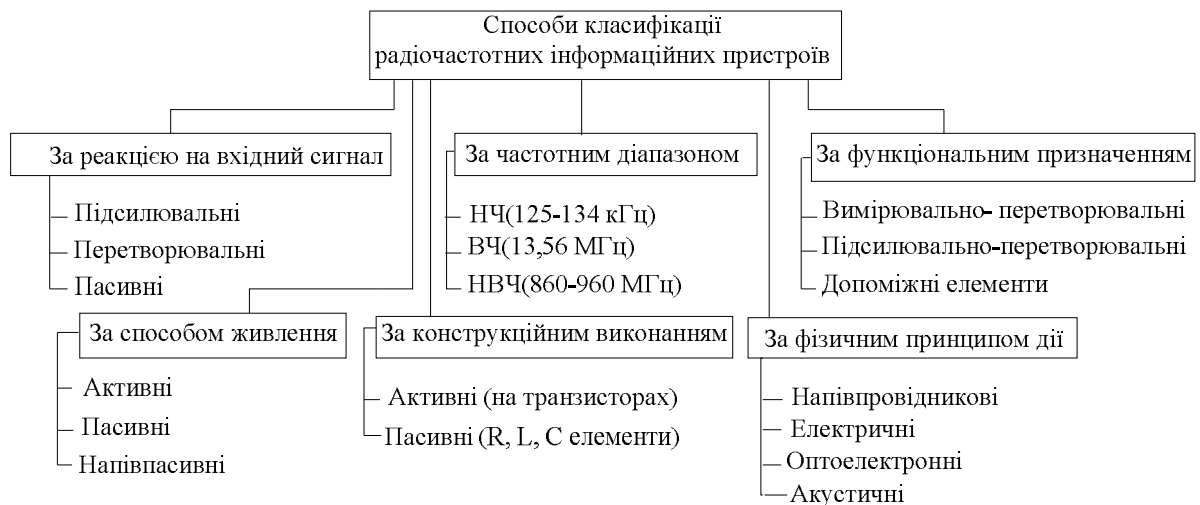


Рис. 2. Класифікація радіочастотних інформаційних пристроїв

Радіочастотні інформаційні пристрої за конструкційним виконанням класифікують на активні та пасивні. Активні – побудовані на активних пристроях, а саме, на транзисторах (біполярних, польових, одноперехідних та ін.), а пасивні – на L-, C-елементах. Усі види радіочастотних інформаційних пристроїв можна класифікувати за частотним діапазоном, наведеним у схемі. Існує класифікація радіочастотних інформаційних пристроїв за фізичним принципом дії. Виділяють напівпровідникові, електричні, оптиелектронні, акустичні та ін. [6].

1.2. Ключові схеми на основі одноперехідного транзистора

Одноперехідний транзистор на ВАХ має ділянку від'ємного опору, тому може бути використаний для побудови перемикача. Перемикач на одноперехідному транзисторі

представлено на рис. 3 [7].

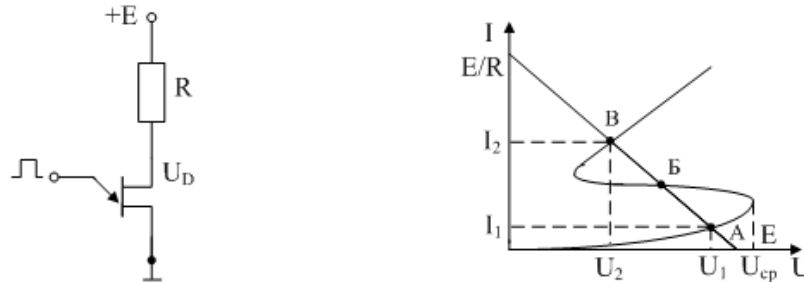


Рис. 3. Перемикач на одноперехідному транзисторі

Напруга джерела живлення розподілена між резистором і одноперехідним транзистором. Значення струму в колі і спадання напруги на транзисторі й опорі визначають у точках перетинання вольт-амперною характеристикою навантажувальної прямої. Якщо диференційний опір на ділянці від'ємного опору $|R_D| > R$, то за відповідної величини E буде три точки перетину ВАХ одноперехідного транзистора з навантажувальною прямою. Після увімкнення джерела живлення встановлено робочу точку А, у колі протікає малий струм. Якщо подати на одноперехідний транзистор позитивний імпульс, величина якого становить $U_i > U_{cp} - U_1$, то напруга на транзисторі стане більша за U_{cp} – і транзистор увімкнеться. Відбувається наростання струму, робоча точка стрибкоподібно переходить у точку В. У колі встановлюється струм $I_2 > I_1$. Перемикачання струму у зворотну сторону від I_2 до I_1 відбувається за допомогою подачі від'ємного імпульсу на транзистор. Робота в точці Б є нестійкою. Поява будь-якої флуктуації в цій точці буде призводити до подальшого зростання цієї флуктуації. Якщо флуктуація позитивна, то робоча точка переміщується з точки Б в точку В, а якщо негативна, то з точки Б в точку А. Отже, під час перемикачання система переходить з одного стійкого стану в інший [7].

Ключові схеми на ОТ знаходять застосування в системах освітлення [8, 9], у пристроях для заряду акумуляторів [10], тиристорних регуляторів напруги генератора [11], у системах контролю свердловинного пристрою та ін [12]. Перевагою ключових схем на основі ОТ є їхня здатність працювати за малих струмів.

1.3. Сенсори на основі ОТ

Схеми, виконані на одноперехідних транзисторах, зазвичай простіші й надійніші, ніж схеми на польових і біполярних транзисторах. Ці переваги роблять їх перспективними для розробки сенсорів фізичних величин. На основі одноперехідних транзисторів, чутливих до величин магнітного поля (одноперехідних магнітотранзисторів), створено сенсори з вихідним сигналом, частота якого залежить від величини магнітного поля [13 – 16].

У роботах [17 – 19] запропоновано перетворювачі тиску з частотними виходами на основі одноперехідних тензотранзисторів, які мають практичну цінність з погляду високої чутливості, можливості роботи в умовах підвищеного рівня електромагнітних завад, відносно низької вартості, можливістю сполучення з цифровими системами і підвищеною заводо захищеністю внаслідок слабкої чутливості частотно-модульованого сигналу до завад. Значення відносної чутливості одноперехідного тензотранзистора складає: $S_{Rp} = 4 \cdot 10^{-10}$, $S_{Rv} \geq 10^{-10}$ (Па⁻¹), при цьому відносна чутливість одноперехідного тензотранзистора визначається за відношенням до напруги включення S_{Rp} та виключення S_{Rv} за формулою:

$$S_{Rp(Rv)} = \frac{1}{U_{p(v)}} \left| \frac{\partial U_{p(v)}}{\partial \sigma} \right|_{\sigma \rightarrow 0}, \quad (1)$$

де σ – механічна напруга в базовій області тензотранзистора.

Крутизна перетворення одноперехідного тензотранзистора з керованим p - n -переходом визначається, як:

$$S_f = \frac{1}{f} \left| \frac{\partial f}{\partial \sigma} \right|_{\sigma \rightarrow 0}, \quad (2)$$

і може бути записана у вигляді: $S_f = S_{f\beta} + S_{fv} + S_{fp}$, де $S_{f\beta}$ – крутизна перетворення, зумовлена деформацією змінного коефіцієнта переносу.

Значення крутизни перетворення одноперехідного тензотранзистора з керованим p - n -переходом складає: $S_{Rp} = 4 \cdot 10^{-10}$, $S_{Rv} \geq 10^{-10}$, $S_{f\beta} = 1,5 \cdot 10^{-8}$ (Па⁻¹).

У роботі [20] досліджено характеристики перетворювачів світла з частотним виходом на основі одноперехідного транзистора. Розроблена схема покращує лінійність залежності частоти вихідного сигналу від світлового потоку, а також збільшує фоточутливість (близько 10 кГц/мВт) і розширює спектральний діапазон оптичних сигналів. Залежність частоти від світлового потоку наведено на рис. 5 б.

Генератор на основі одноперехідних фототранзисторів використовується в якості сенсорів-фотоприймачів із частотним виходом. Напівпровідниковий кристал провідності n -типу містить два омичних базових контакти n^+ -типу провідності, а також інжектувальний емітерний перехід, p - n -перехід (область p^+ -типу) з електричними виводами. Чутливість за частотою цього сенсора складає 7 кГц/мкВт [21, 22].

Розроблено сенсор температури на основі одноперехідного і польового транзисторів, схему якого наведено на рис. 4 а. У цій схемі всі три транзистори є термочутливими. Частота генерації цього сенсора лінійно зростає зі збільшенням температури. Термочутливість складає 300 Гц/град. Для сенсора температури властива лінійна залежність вихідного сигналу від температури. Працездатність цього сенсора зберігається за дії радіації: транзистори опромінювали потоком електронів з енергією 5 МеВ, γ -квантами з енергією 1 МеВ та потоком нейтронів з енергією 1,1 МеВ (рис. 4 б) [23].

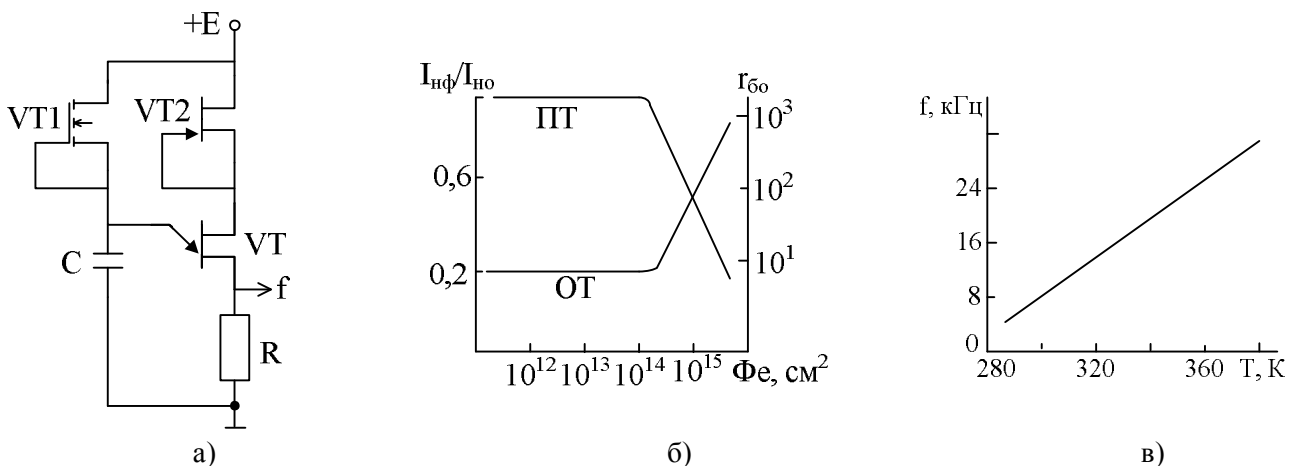


Рис. 4. Сенсор температури на основі одноперехідного та польових транзисторів (а), залежності впливу потоку електронів польового транзистора та міжбазовий опір ОТ (б), залежність частоти генерації від температури (в)

Магніточутливий сенсор [24] з покращеною чутливістю (рис. 5) складається з одноперехідного транзистора на основі n -провідника з двома омичними базовими контактами та p -емітером, а також біполярного магнітотранзистора на базі n -провідника з p -емітером та p -колектором. База одноперехідного транзистора через резистор підключена до джерела живлення, конденсатор у ланцюзі емітера одноперехідного транзистора підключений до того ж полюсу джерела живлення через біполярний

магнітотранзистор. Вихідний сигнал сенсора знімається з конденсатора у вигляді пилкоподібних імпульсів з частотою f .

Пристрій для реєстрації теплових властивостей шкіри [25] складається з сенсора температури, виконаного на основі одноперехідного транзистора, розташованого в геометричному центрі контактної сторони підкладки, виконаної із діелектричного матеріалу. На підкладку надіто кільце прямокутного перерізу з діелектричного термостійкого матеріалу, з системою канавок на зовнішній поверхні, на які намотано нагрівальний елемент. Перевагою цього пристрою є розширення функціональних можливостей, підвищення вірогідності вимірювання та зменшення похибок виміру.

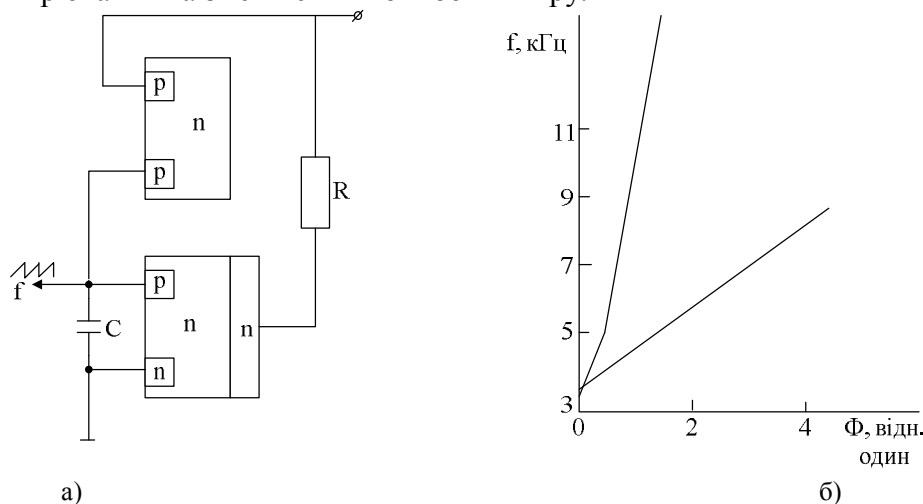


Рис. 5. Магніточутливий сенсор (а), залежність частоти від світлового потоку перетворювача світла з частотним виходом на основі ОТ (б)

Одноперехідний тензотранзистор [26, 27] використовується в якості тензочутливого сенсора, має покращену чутливість за рахунок його застосування разом з емітером контакту до бази у вигляді переходу метал-провідник. Тензочутливість контакту метал-напівпровідник в багато разів вища, ніж чутливість тензорезистора, у ролі якого зазвичай виступає база одноперехідного тензотранзистора. За значення тиску 20 МПа чутливість перетворювача складає 0,03 кГц/МПа. Економічний ефект від використання цього одноперехідного тензотранзистора полягає в тому, що в пристроях для виміру слабких тисків з його використання необхідна менша кількість підсилювальних елементів, а отже, зменшується вартість пристрою.

1.4. Генератори на основі ОТ

Завдяки високій надійності, стабільності частоти та малому рівню завад, ОТ використовують для побудови генераторів. Класифікацію генераторів на основі ОТ наведено на рис. 6.

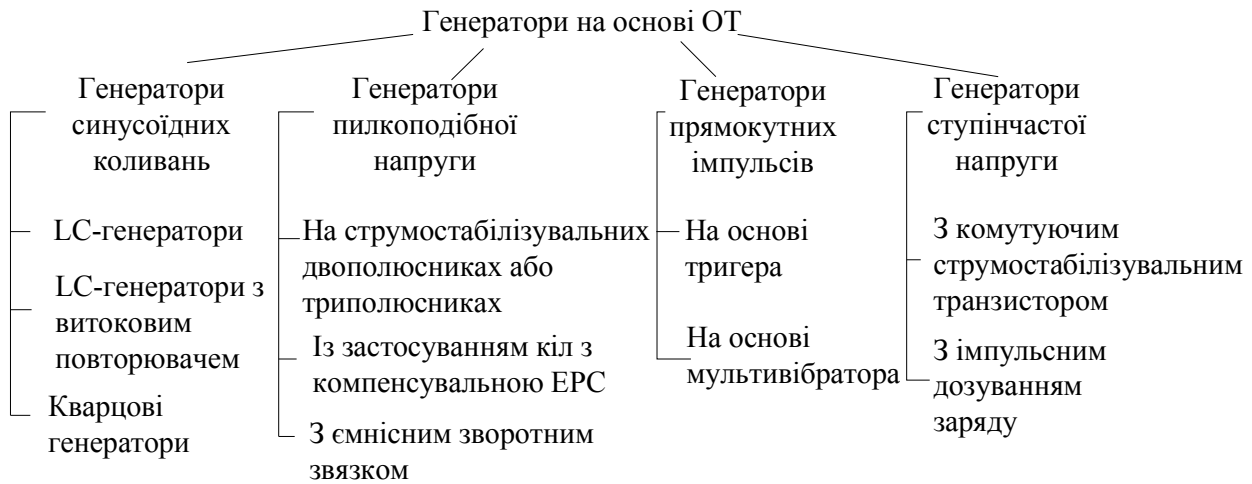


Рис. 6. Класифікація генераторів на одноперехідному транзисторі

LC-генератори на основі ОТ характеризуються простотою і відсутністю кола позитивного зворотного зв'язку, що є їхньою перевагою порівняно з аналогами, проте схеми працюють у досить обмеженому діапазоні частот – до 200 – 300 кГц. Це пов'язано з тим, що частотні властивості ОТ є обмеженими і не перевищують сотні кГц. Високий за модулем від'ємний опір входу ОТ узгоджується тільки з високим опором утрат у низькочастотних контурах, сильна нелінійність S-подібної ВАХ є перешкодою отримання синусоїдальних коливань з низьким числом гармонік.

Проте схему на ОТ можна використовувати для отримання майже синусоїдальних коливань у контурах без елементів зовнішнього зворотного зв'язку, наприклад, на основі одиничної котушки індуктивності. Такі схеми існують і на звичайних транзисторах, але вони досить складні і ненадійно працюють на низьких частотах там, де застосовують ОТ. Низькочастотні схеми застосовують під час контролю котушок індуктивностей, дроселів і трансформаторів з магнітним осердям у процесі їхнього виробництва [28].

Ще одним недоліком цих схем є низька навантажувальна здатність. Підключення до неї навантаження різко знижує добротність резонансного контуру [28].

LC-генератори з витоковим повторювачем [28] мають підвищену навантажувальну здатність, що зумовлено підключенням виходу через конденсатор до витокового повторювача, який має високий вхідний опір і практично не навантажує контур (рис. 7 а). Недоліком цих схем є збільшення енергоспоживання через уведення польового транзистора.

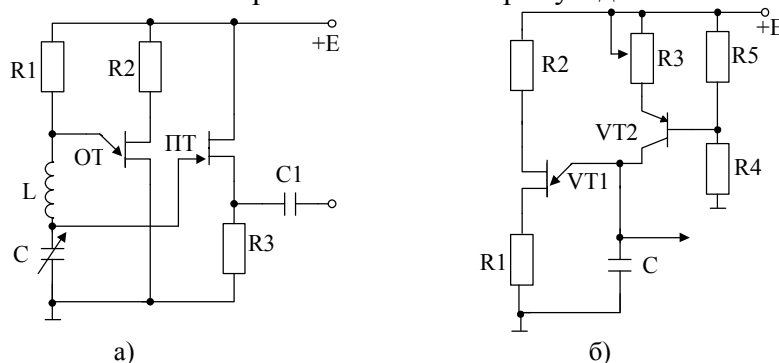


Рис. 7. LC-генератор з витоковим повторювачем (а), автоколивальний генератор пилкоподібної напруги з струмостабілізуючим транзистором (б)

Одноперехідні транзистори використовують для побудови генераторів пилкоподібної напруги, які застосовують у вимірній техніці. Для побудови таких генераторів використовують три методи: застосування струмостабілізуючих двополюсників або триполюсників; застосування кіл із компенсувальною ЕРС; увімкнення конденсатора в коло

від'ємного зворотного зв'язку підсилювача постійної напруги [28].

Для побудови пилкоподібних генераторів у якості струмостабілізуючого триполюсника використовують біполярний транзистор зі спільним емітером. Схема увімкнення біполярного транзистора зі спільною базою не використовують, оскільки вона потребує додаткового джерела живлення в колі емітера. Недоліком схеми, зображеної на рис. 7 б, є залежність амплітуди імпульсів від напруги живлення. Цього недоліку можна позбутися шляхом введення додаткового діода (між базою біполярного транзистора й п'ятим резистором R5), який компенсує напругу струмостабілізуючого транзистора. Це вдосконалення послаблює залежність частоти коливання цієї схеми від зміни напруги живлення та температури [28].

У роботі [28] представлено схему автоколивального генератора пилкоподібних імпульсів із розрядним одноперехідним транзистором КТ117. Стабілізатор струму виконано на біполярному транзисторі. Кремнієвий стабілітрон у схемі стабілізує напругу живлення емітерного кола, що робить схему стабілізатора струму схожою зі схемою зі спільною базою. Недоліком такого генератора є значний час зворотного ходу.

Застосування заходів щодо покращення навантажувальної здатності генераторів пилкоподібної напруги зі струмостабілізуючими двополюсниками призводить до значного ускладнення схем.

Одну з найкращих схем генераторів із компенсувальною ЕРС представлено на рис. 8 а. У ній ЕРС подається в точку А через кремнієвий стабілітрон. Напруга на стабілітроні практично не змінюється, і тому погіршення лінійності не відбувається. Недоліком цієї схеми є зменшення коефіцієнта використання напруги живлення й необхідність у його збільшенні [28].

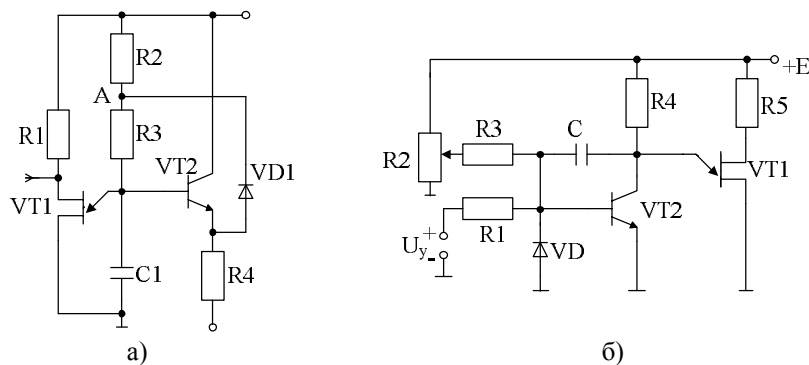


Рис. 8. Покращений варіант схеми генератора пилкоподібної напруги з компенсувальною ЕРС (а), генератор пилкоподібної напруги на одноперехідному транзисторі з ємнісним зворотнім зв'язком (б)

У роботі [28] наведено схему генератора пилкоподібної напруги на одноперехідному транзисторі з ємнісним зворотнім зв'язком (рис. 8 б). Схеми цього класу мають низку переваг. Від них можна отримати нелінійність порядку 1 % і менше. При цьому схеми мають достатньо високу навантажувальну здатність.

У роботі [29] представлено декілька видів генераторів на одноперехідному транзисторі. Розглянуто способи покращення лінеаризації шляхом введення джерела підвищеної напруги або з допомогою зворотного зв'язку (із використанням конденсатора або стабілітрона). Застосування додаткового джерела дозволяє збільшити номінал резистора, який задає струм, що еквівалентно заряду від генератора струму. Недолік цього методу – необхідність використання додаткового джерела.

Підвищення надійності запуску генератора й підвищення стійкості до дії імпульсних завад розв'язується в роботі [30] шляхом введення одноперехідного транзистора, емітер якого з'єднаний з R- або S-входом тригера, перша база – з нульовою шиною, а друга база – з прямим (або інверсним) виходом тригера. RS-тригер виконаний на КМОП-транзисторах.

Недоліком імпульсних генераторів на основі тригера та мультівібратора є ускладнення схем та збільшення енергоспоживання.

Застосування генераторів ступінчастої напруги в якості подільників частоти дозволяє отримати поділ при зміні частоти в декілька разів більше, а в деяких випадках навіть у десятки разів більше. У свою чергу, подільники частоти на основі тригерних комірок здатні ділити частоту від нуля до деякої граничної величини й коштують набагато більше, ніж схеми на ОТ [28].

Великого поширення набула схема релаксаційного генератора на основі ОТ [31 – 33], який характеризується стабільністю частоти, оскільки U_o та U_{cp} одноперехідного транзистора більш стабільні до зміни температури, ніж аналогічні параметри інших приладів з характеристикою S-типу. Релаксаційні генератори на одноперехідному транзисторі використовують, як генератори пилкоподібної напруги, мультівібратори, реле часу.

1.5. Узагальнені перетворювачі імітансу

ОТ можуть бути представлені у вигляді чотириполіусників, що дозволяє створювати на їхній основі узагальнені перетворювачі імітансу. Детальна класифікація перетворювачів імітансу та їхні визначення наведено в роботі [34].

Узагальнені перетворювачі імітансу на основі інжекційно-пролітної транзисторної структури із загальним витоком розглянуто в роботі [35]. Автори проаналізували властивості інжекційно-пролітної транзисторної структури із загальним витоком у якості узагальненого перетворювача імітансу та отримали таблиці перетворення імітансу. Інжекційно-пролітний транзистор має властивості узагальненого перетворювача імітансу в режимі як прямого, так і зворотного зміщення емітерного переходу. Зміна знаку потенціалу емітерного переходу призводить до зміни якісних і кількісних характеристик такого перетворювача імітансу, що, у свою чергу, призводить до зміни властивостей з конвертора імітансу на інвертор імітансу.

У роботі [36] досліджено узагальнений перетворювач імітансу на основі одноперехідного транзистора від параметрів його фізичної еквівалентної схеми. У якості узагальненого перетворювача імітансу використано ОТ зі спільною першою базою. Проведені дослідження засвідчили можливість керування величиною імпедансу ОТ під час прямого та зворотного перетворень імпедансу шляхом зміни номіналів його еквівалентної схеми.

Конвертор імітансу на ОТ зі спільною першою базою представлено в роботі [37]. Досліджено залежність “якості” конвертора імітансу на ОТ від його фізичних параметрів. Збільшення параметру опору другої бази призводить до збільшення якості конвертора на основі ОТ.

Висновки

Проведений аналіз показав, що ОТ характеризуються простотою, надійністю, низьким рівнем завад, широким діапазоном робочих температур (від -60^0 С до $+125^0$ С), високою стабільністю частоти та низькою вартістю, що дозволяє використовувати їх для побудови інформаційних пристроїв з покращеними параметрами. При цьому основним недоліком є низьке значення граничної частоти. Подолати цей недолік можна шляхом використання одноперехідних транзисторних структур, які працюють на вищих частотах і мають низькоомну область бази.

Проте на сьогодні відсутні систематичні дослідження властивостей ОТС при різних схемах увімкнення, коли реалізовані чотириполіусники можуть бути потенційно нестійкими. А ці властивості відкривають нові можливості реалізації високоефективних інформаційних елементів і пристроїв, придатних для реалізації в інтегральному вигляді, що забезпечує їхнє широке застосування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Silicon unijunction transistor 2N2646. Philips Semiconductors. Preliminary specification. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/2N2646.pdf>.

2. 2N2647 Silicon PN unijunction transistor. ASI. Advanced semiconductor. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://grupos.unican.es/dyvc/ruizrg/postscript/Componentes/2N2647.pdf>.
3. 2N2647. Motorola Semiconductor Datasheet Library. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.datasheetarchive.com/2N2647-datasheet.html>.
4. 2N6027, 2N6028. Programmable unijunction transistor. Semiconductors components industries. [Електронний ресурс] // Режим доступу: www.solarbotics.net/library/datasheets/2N602X.pdf.
5. Філінюк М. А. Інформаційні пристрої на основі потенційно-нестійких багатоелектродних напівпровідникових структур Шотткі: монографія / М. А. Філінюк, О. М. Куземко, Л. Б. Ліщинська. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 274 с.
6. Васюра А. С. Елементи та пристрої систем управління автоматики / В. С. Васюра. – Вінниця: ВДТУ, 1999. – 420 с.
7. Осадчук В. С. Напівпровідникові прилади з від'ємним опором / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 162 с.
8. Патент Российской Федерации 2031554, МПК⁶ H 05 B 39/02. Осветительное устройство / Филиппов А. Н., Машков А. С., Пушкин Н. М.; заявитель и патентообладатель Научно-исследовательский институт измерительной техники. – № 5054391/07; заявл. 14.07.92; опубл. 20.03.95.
9. Патент 51719 України, МПК⁶ G 05 F 1/44. Пристрій для регулювання світлового режиму в пташниках / Берека О. М., Жулай Е. Л.; заявник та патентовласник Національний аграрний університет. – № 99021126; заявл. 26.02.1999; опубл. 16.12.2002, Бюл. № 12.
10. Патент Российской Федерации 15432, МПК⁷ H 02 J 7/10. Устройство для заряда аккумуляторной батареи / Лившин Г. Д., Ременик Д. М., Дмитриев В. П., Меркулов А. С.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "КОСМОС-ЭНВО". – № 2000109049/20; заявл. 12.04.2000; опубл. 10.10.2000.
11. Патент Российской Федерации 1306435, МПК⁶ H 02 P 9/30. Тиристорный регулятор напряжения генератора переменного тока / Нечаев А. В., Рябов А. Д. – № 3828578/07; заявл. 20.12.84; опубл. 10.09.99.
12. Патент 60442 А України, МПК⁶ E 21 B 43/25, E 21 B 47/12. Заглибний свердловинний пристрій / Курашко Ю. І, Кліманський М. М., Лазун А. Ф. заявник та патентовласник Інститут імпульсних процесів і технологій Національної академії наук України. – № 2002075822; Заявл. 15.07.02; Опубл. 15.10.03, Бюл. №10.
13. Осадчук В. С. Сенсори тиску і магнітного поля. Монографія / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 207 с.
14. Викулина Л. Ф. Физика сенсоров температуры и магнитного поля / Л. Ф. Викулина, М. А. Глауберман. – Одесса: Маяк, 2000. – 156 с.
15. Гуменюк С. В. Интегральные полупроводниковые магнито чувствительные датчики / С. В. Гуменюк, Б. И. Подлепещкий // Зарубежная электронная техника. – 1989. – № 12(343). – С. 3 – 47.
16. Горти З. Ю. Мікроелектронні сенсорні пристрої магнітного поля. За редакцією З. Ю. Горти. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2001. – 412 с.
17. Преобразователи давления с частотным выходом на основе однопереходных транзисторов / Г. Г. Бабичев, Г. И. Гаврилюк, Э. А. Зинченко [и др.] // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2004. – № 3. – С. 48 – 51.
18. Кремниевый однопереходный тензотранзистор / Бабичев Г. Г., Козловский С. И., Романов В. А., Шаран Н. Н. [и др.] – Журнал технической физики. – 2002. – № 4. – С. 66 – 71.
19. Converter of pressure with frequency output on the base of unijunction tenso-transistors / Babichev G. G., Gavrylyuk G. P. [etc.] – Technology and design in electronic devices. – 2004. – № 3. – P. 48 – 51.
20. Викулин И. М. Фотоприемник на основе однопереходного и полевого транзисторов / И. М. Викулин, Ш. Д. Курмашев, В. А. Мингалев // Sensors Electronics and Microsystems Technologies. – 2006. – № 4. – P. 28 – 30.
21. Фотоприемник на основе однопереходного транзистора и фотодиода / Викулин И. М., Курмашев Ш. Д., Никифоров С. Н., Панфилов М. И. [и др.] Фотозлектроника. О.: Астропринт, 2008. – № 17. – С. 88 – 90.
22. Патент 20016 України, МПК⁶ H 01 L 31/10. Одноперехідний фототранзистор / Вікулін І. М., Курмашев Ш. Д., Никифоров С. М., Панфілов М. І.; заявник та патентовласник Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова. – № u200606237; заявл. 05.06.06; опубл. 15.01.07, Бюл. № 1.
23. Датчики температуры на основе однопереходного и полевого транзисторов при радиационном воздействии / И. М. Викулин, Ш. Д. Курмашев, П. Ю. Марколенко [и др.] // Sensors Electronics and Microsystems Technologies. – 2009. – № 2. – p. 18 – 21.
24. Патент 49256 України, МПК⁶ H 01 L 29/82. Магніточутливий сенсор / Вікулін І. М., Вікуліна Л. Ф., Курмашев Ш. Д.; заявник та патентовласник Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова. – № u200910777; заявл. 26.10.09; опубл. 26.04.10, Бюл. № 8.
25. Патент 30179 А України, МПК⁶ G 01 K 13/00, A61B 5/02. Пристрій для реєстрації теплових властивостей шкіри / Логінов В. В., Русяєв В. Ф.; заявник та патентовласник Кримський медичний університет ім. С. І. Георгієвського. – № 98010211; заявл. 15.01.1998; опубл. 15.11.2000, Бюл. № 6.

26. Патент 19977 України, МПК Н 01 L 29/00. Одноперехідний тензотранзистор / Вікулін І. М., Курмашев Ш. Д., Мінгальов В. О., Никифоров С. М. ; заявник та патентовласник Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова.– № u200605556; заявл. 22.05.06; опубл. 15.01.07, Бюл. № 1.
27. Патент 53618 України, МПК⁶ Н 01 L 9/04. Одноперехідний тензотранзистор / Курмашев Ш. Д., Вікулін І. М., Сидорець Р. Г. ; заявник та патентовласник Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова.– № u201004826; заявл. 22.04.10; опубл. 11.10.10, Бюл. № 19.
28. Дьяконов В. П. Однопереходные транзисторы и их аналоги / В. П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 240 с.
29. Петров А. Азбука транзисторной схемотехники / А. Петров // Радиолюбитель. – 1994. – № 12. – С. 12 – 14.
30. Патент Российской Федерации 2087069, МПК⁶ Н 03 К 3/351. Генератор импульсов / Иванов С. М., Сонин А. Ф., Тимофеев В. М. ; заявитель и патентообладатель Московский институт теплотехники.– № 3828578/07; Заявл. 12.04.94; Опубл. 10.08.97.
31. Осадчук В. С. Напівпровідникові прилади з від'ємним опором / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 162 с.
32. Salivahanan S. Electronic Devices and Circuits / S. Salivahanan, N. Suresh Kumar, A. Vallavaraj. – Tata McGraw-Hill, 2008. – 951 p.
33. Mothiki S. Pulse and digital circuits / S. Mothiki, R. Prakash. – Tata McGraw-Hill, 2006. – 671 p.
34. Філінюк М. А. Основи негatronіки. Прикладні аспекти / М. А. Філінюк. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 306 с.
35. Узагальнені перетворювачі іммітансу на основі інжекційно-пролітної транзисторної структури із загальним витоком [Електронний ресурс] / Ліщинська Л. Б., Булига І. В., Шведюк А. Г., Філінюк Н. А. // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2008. – № 2. Режим доступу до журн.: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-2/2008-2.files/uk/08lblsts_uk.pdf.
36. Дослідження узагальнених перетворювачів іммітансу на базі одноперехідного транзистора від параметрів його фізичної еквівалентної схеми [Електронний ресурс] / Ліщинська Л. Б., Барабан М. В., Рожкова Я. С. // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2010. – № 2. Режим доступу до журн.: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2010-2/2010-2.files/uk/10lblruc_ua.pdf
37. Дослідження “якості” одно кристалних конверторів іммітансу [Електронний ресурс] / Ліщинська Л. Б., Рожкова Я. С., Філінюк М. А. // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2010. – № 3. Режим доступу до журн.: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2010_3/2010-3.files/uk/10llboic_ua.pdf.

Філінюк Микола Антонович – д. т. н., проф., завідувач кафедри проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури.

Барабан Марія Володимирівна – аспірант кафедри проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури.

Вінницький національний технічний університет.