

УДК 621.308.38

РАДІОЧАСТОТНІ ДАТЧИКИ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ ОБ'ЄКТА

Л. Б. Ліщинська

Вінницький національний технічний університет,
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна
L_FiLi@mail.ru

РАДІОЧАСТОТНІ ДАТЧИКИ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ ОБ'ЄКТА

Л. Б. Ліщинська

Анотація. Сформульовані вимоги до радіочастотних датчиків (РЧД) дистанційного контролю стану об'єкта, обґрунтована їх узагальнена структура, визначені робочі діапазони частот та розглянуті можливі технічні рішення для реалізації і використання РЧД.

Ключові слова: радіочастотні датчики, первинні вимірювальні перетворювачі, частотна модуляція, дистанційний контроль, негатрон

RADIO FREQUENCY SENSORS OF THE CONTROLLED FROM DISTANCE CONTROL OF THE STATE OF OBJECT

L. B. Lishchinskaya

Abstract. It is formulated requirement to the radio frequency sensors (RFS) of the controlled from distance control of the state of object, grounded their generalized structure, the workings ranges of frequency are certain and possible technical decisions are considered for realization and use of RFD.

Keywords: radio frequency sensors, primary measuring transformers, frequency modulation, controlled from distance control, negatron

РАДИОЧАСТОТНЫЕ ДАТЧИКИ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА

Л. Б. Лищинская

Аннотация. Сформулированы требования к радиочастотным датчикам (РЧД) дистанционного контроля состояния объекта, обоснована их обобщенная структура, определены рабочие диапазоны частот и рассмотрены возможные технические решения для реализации и использования РЧД.

Ключевые слова: радиочастотные датчики, первичные измерительные преобразователи, частотная модуляция, дистанционный контроль, негатрон

Вступ

Для дистанційного контролю стану об'єкта використовуються два види інформаційних каналів: повітряний і кабельний. Останній реалізується у вигляді електричних або волоконно-оптичних ліній зв'язку. Вони мають високу заводо захищеність, але і високу вартість [1]. Крім того, виникає жорсткий зв'язок між пристроєм знімання інформації (датчиком) і віддаленим приймачем інформації, що у ряді застосувань (наприклад, у разі рухливого об'єкту інформації) є суттєвим недоліком. Цей недолік відсутній у повітряних каналах зв'язку. При цьому, найбільш широке використання отримали радіочастотні датчики (РЧД), що являють собою різні комбінації первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП) і схем генерації електромагнітних хвиль, які використовують різні види модуляції і діапазони частот [2–5].

У зв'язку з таким різноманіттям, актуальна проблема формулювання вимог до радіочастотних датчиків, які можна покласти в основу прийняття оптимальних рішень.

Формулювання завдань дослідження

Виходячи з вище наведеного аналізу, сформулюємо основні завдання дослідження:

1. Формулювання вимог до радіочастотних датчиків дистанційного контролю стану об'єкту.
2. Обґрунтування узагальненої структури РЧД.
3. Визначення робочих діапазонів частот.
4. Розгляд можливих технічних рішень реалізації і використання РЧД.

Формулювання вимог до радіочастотних датчиків

При розробці РЧД може бути сформульовано N -технічних вимог. Але, як показує практика, чим більше N , тим менш достовірний результат. Це пов'язано, перш за все, з тим, що точність визначення параметрів, які беруть участь в оцінці, — низька, а аналітичний (або статистичний) зв'язок між більшістю параметрів — невизначений. Виходячи з цього, величина N має бути як можна меншою, а параметри, що створюються повинні як можна точніше визначати цільову функцію.

Виходячи з цього, на першому етапі, ефективність технічного рішення достатньо оцінювати з використанням широковідомого інформаційно-вартісного критерію [6]:

$$K_E = I/C_\Sigma, \quad (1)$$

де: I — кількість інформації, яка забезпечує дане технічне рішення;

C_Σ — вартість виробництва і експлуатації даного технічного рішення.

На наш погляд, другий параметр C_Σ є більш критичним для отримання максимального K_E , оскільки інформаційні ККД сучасних пристроїв досягають 80–90% [7]. Вартість виробництва C_B в основному визначається вартістю технічних рішень і видом використовуваної технології. Чим простіше технічне рішення, тим нижче собівартість. Можливість використання інтегральної технології гарантує низьку вартість виробництва і високу надійність пристрою, що забезпечує низькі експлуатаційні витрати. Значну частину цих витрат складають вартісні витрати по забезпеченню енергетичних витрат C_E у ланцюгах живлення. Таким чином, сумарні вартісні витрати дорівнюють:

$$C_\Sigma = C_B + C_E. \quad (2)$$

Кількість отримуваної інформації I залежить від похибки датчика v і діапазону зміни вимірюваної величини D [8]:

$$I = \lg \frac{\ln D}{2v\sqrt{D}}, \quad (3)$$

де $v = \sqrt{P_{\text{шум}}/P_{\text{сх}}}$, $P_{\text{шум}}$ — потужність шумів, приведена до входу, $P_{\text{сх}}$ — потужність вхідного сигналу.

Підставляючи (2) і (3) в (1), отримуємо вираз для коефіцієнта ефективності РЧД в залежності від величини його основних параметрів:

$$K_E = \lg \frac{\ln D}{2v(C_B + C_E)\sqrt{D}}. \quad (4)$$

Величина v , яка входить у (4) і характеризує похибку датчика, залежить від виду модуляції, яку використовує РЧД. При побудові таких датчиків отримала використання амплітудна (АМ), часова (ЧСМ) і частотна (ЧМ) модуляція.

Амплітудна модуляція має найменшу ентропію. Проте, внаслідок того, що більшість вимірюваних величин у природі представлена саме амплітудою процесу, який може бути поданий на вхід датчика, вона є основним видом

модуляції вхідних процесів вимірювальних пристроїв. Використання ЧСМ дозволяє підвищити точність вимірів у порівнянні з АМ на 50%, але це пов'язано з необхідністю додаткових часових витрат на вимір або збільшення споживаної від об'єкту виміру потужності приблизно в 200 разів [8]. Тому найбільш ефективним видом модуляції є ЧМ, використання якої порівняно з АМ дає приблизно двократну перевагу за інформаційною здатністю. Ще більш суттєвий теоретичний вииграш забезпечує використання кодоімпульсної модуляції (КІМ). Проте, ці переваги при технічній реалізації обмежуються точністю і швидкодією вхідних кодуєчих пристроїв, які мають такі ж параметри, що й для систем амплітудної модуляції. У зв'язку з цим, використання у РЧД можливостей КІМ є проблематичним.

Таким чином, для побудови вискоефективних РЧД дистанційного контролю доцільно використовувати РЧД з ЧМ і повітряним каналом зв'язку, які володіють мінімальним споживанням енергії і є придатними для виготовлення за інтегральною технологією.

Обґрунтування вимог до технічної реалізації

Узагальнену структурну схему РЧД дистанційного контролю стану об'єкта можна представити у вигляді генератора електромагнітних коливань Γ з джерелом живлення, одного або декількох первинних вимірювальних перетворювачів ПВП_і і випромінюючої антени А (рис. 1). Інформаційний сигнал F може впливати лише на ПВП або одночасно і на елементи генератора Γ .

Найбільш суттєвим питанням, яке у подальшому багато в чому визначає технічні параметри проектуемого пристрою, є вибір схеми задаючого генератора. З цього питання можна відзначити два основні технічні рішення: перше — використання традиційних RC- і LC-генераторів на транзисторах; друге — використання генераторів на базі негatronів (рис. 2).

Класичні RC- і LC-генератори широко і успішно використовуються у діапазоні відносно невисоких частот (до декількох ГГц). Враховуючи, що зі зростанням частоти, ефективність більшості РЧД дистанційного контролю зростає, перевагу необхідно віддавати схемам побудови генераторів на базі напівпровідникових негatronів [9], які здатні працювати на частотах у декілька десятків ГГц.

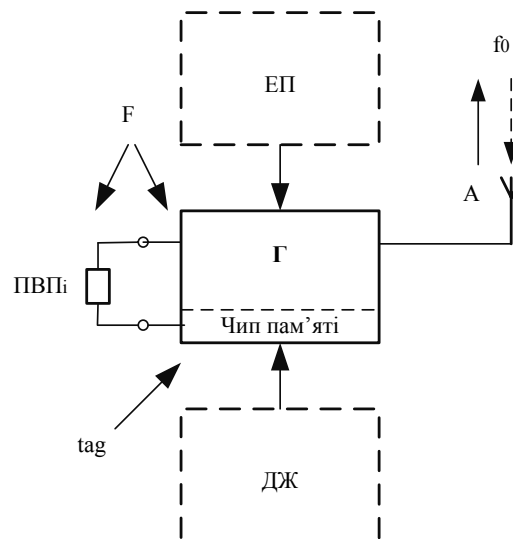


Рис. 1. Структурна схема радіочастотного датчика дистанційного контролю (РЧД): ДЖ — джерело живлення; ЕП — елемент пам'яті; ПВП — первинний вимірювальний пристрій

До них можна пред'явити такі вимоги:

- температурна стабільність;
- режимна стабільність;
- можливість режимної і температурної стабілізації;
- технологічність;
- висока гранична частота генерації;
- можливість електричного і механічного регулювання та підстроювання;
- незначна споживана потужність;
- низька напруга живлення;
- великий динамічний діапазон;
- незначні шуми.

Перелік цих вимог може бути розширений, виходячи зі специфіки вирішуваних завдань, але їх достатньо для вибору найбільш ефективних технічних рішень для більшості використань.

Генератори на базі схмотехнічних аналогів негatronів, внаслідок впливу паразитних перекресних зв'язків знаходять використання на високих частотах і у низькочастотних областях НВЧ діапазону. Їх переваги найбільш виявляються при створенні генераторів з великою вихідною потужністю [10].

Генератори на базі фізичних негatronів (тунельних, лавинних, інжекційно-пролітних діодах, діодах Ганна і ін.) мають суттєві обмеження щодо реалізації електричного і механічного (наприклад, у процесі виготовлення) підстроювання. Це також обмежує їх використання при реалізації РЧД дистанційного контролю, але вони мають найвищі граничні частоти генерації [11].

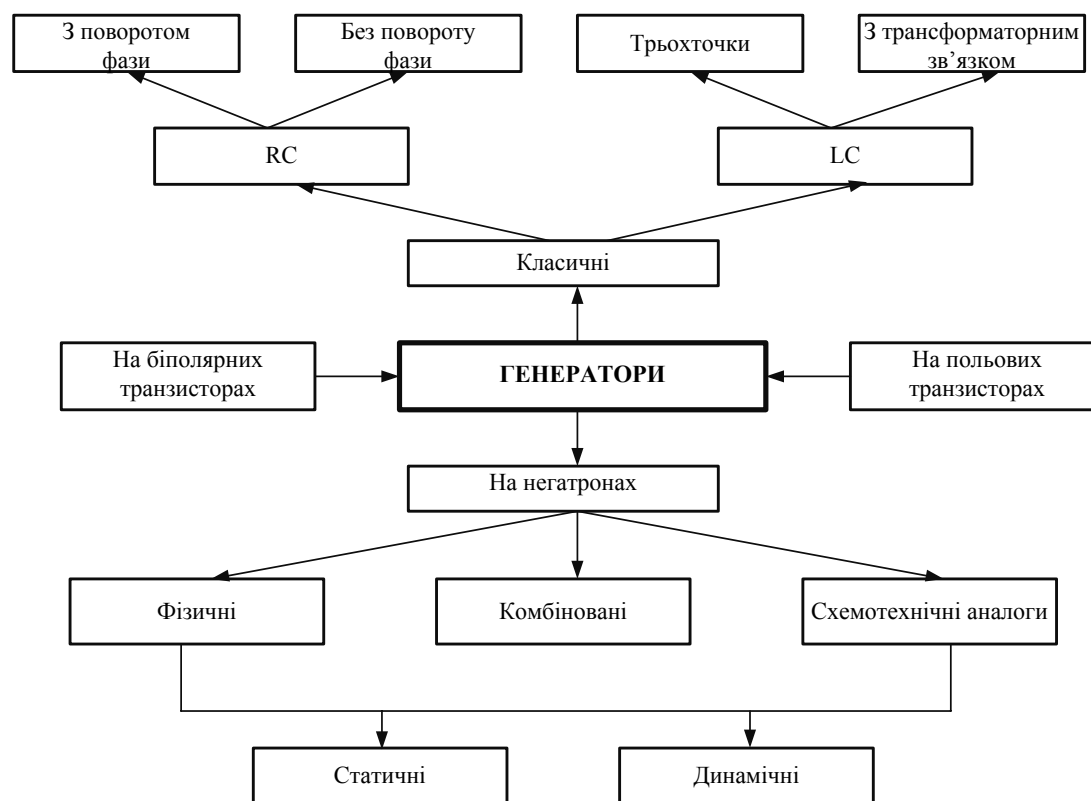


Рис. 2. Класифікація технічної реалізації генераторів електромагнітних коливань для РЧД дистанційного контролю

Більшість з вищеперелічених недоліків відсутні у комбінованих негатронів, які реалізуються на базі інжекційно-пролітних GaAs структур Шотткі [12]. Такі негатрони відносяться до групи динамічних негатронів, що дозволяє при реалізації генераторів використовувати у них негативний зворотний зв'язок по постійному струму. А це забезпечує підвищення режимної і температурної стабільності, що не можна реалізувати у генераторах на базі статичних негатронів.

РЧД дистанційного контролю, які розглядаються, за багатьма ознаками співпадають з елементами радіочастотної ідентифікації (Radio Frequency identification — RFID) [13], в основі роботи яких лежить принцип передачі даних, які записані на радіочастотну мітку (transponder—транспондер), розміщену на деякому віддаленні від зчитуючого пристрою (reader—рідер). Відмінність полягає лише у тому, що у даному використанні повинна передаватися не фіксована, раніше записана інформація, а динамічна інформація про стан об'єкту. Проте, як і транспондери, всі РЧД дистанційного контролю за способом живлення (рис. 3.) можна поділити на:

- активні (із вбудованим джерелом живлення);
- напівактивні (отримують живлення від енергії, яка наведена на РЧД зчитувачем);
- пасивні (не вимагають для роботи енергію джерела живлення і використовують модуляцію віддзеркаленого сигналу).

Дальність зчитування інформації залежить від багатьох чинників:

- активний або пасивний РЧД;
- потужність опромінення РЧД;
- частотний діапазон, у якому працює система.

Зазвичай, чим вище частота, тим більше дальність і роздільна здатність РЧД.

При створенні РЧД доцільно використовувати ті ж частотні діапазони, які визначені міжнародними стандартами ISO для параметрів інтерфейсу зв'язку елементів радіочастотної ідентифікації і для яких в більшості країн дозволено вести комерційні розробки:

- 125 кГц, 134 кГц (ISO/IEC 18000–2) — виданий в 2004 р.;
- 13,56 МГц (ISO/IEC 18000–3) — виданий в 2004 р.;

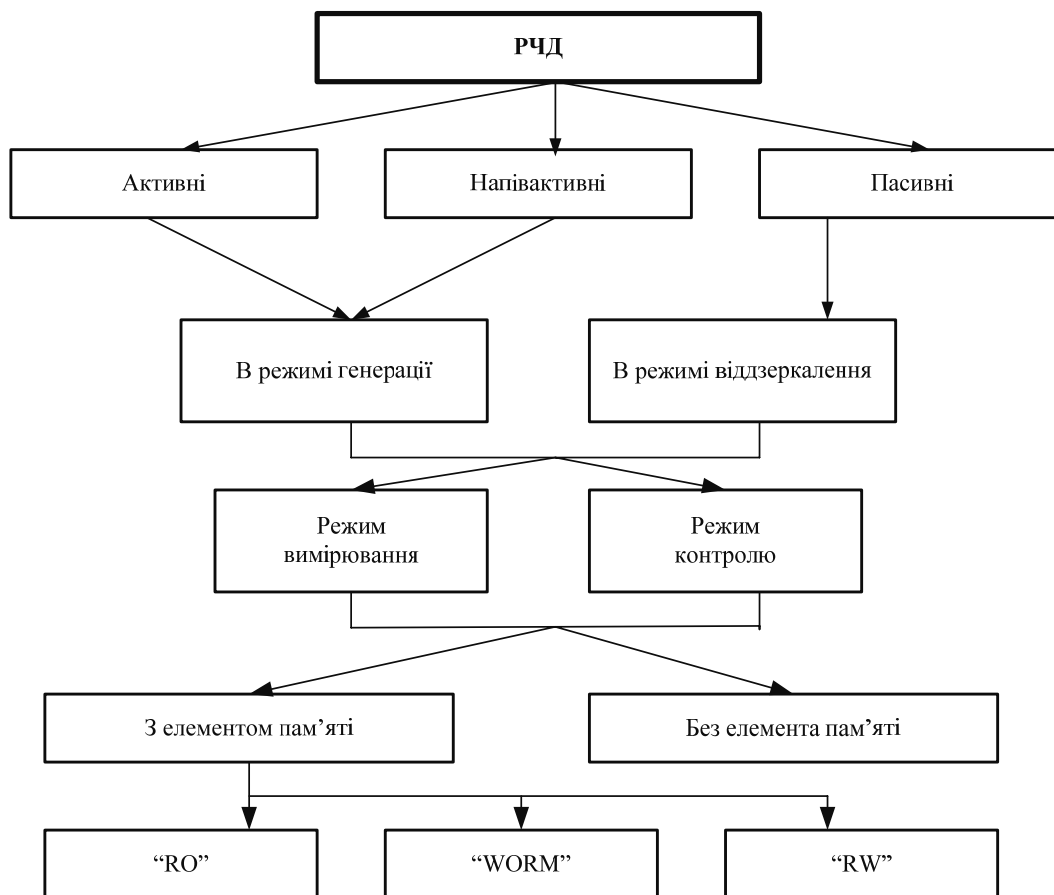


Рис. 3. Класифікація РЧД дистанційного контролю стану об'єкта

– 433,22 МГц (ISO/IEC 18000–7) — йде за-
вершальне затвердження;

– 860–930 МГц (ISO/IEC 18000–6) — вида-
ний в 2004 р.;

– 2,45 ГГц (ISO/IEC 18000–4) — йде завер-
шальне затвердження;

– 5,8 ГГц (ISO/IEC 18000–5) — йде завер-
шальне затвердження.

Ввівши у РЧД дистанційного контролю еле-
мент пам'яті (ЕП), використовуваний, напри-
клад, у радіочастотних мітках, можливо, суттє-
во розширити функціональні (а у ряді випадків і
технічні параметри) РЧД дистанційного контр-
олю (рис. 1.). Такі елементи пам'яті необхідно
поділити на три групи (як і для радіочастотних
міток [14]):

– «RO» (Read Only) — дані записуються
лише один раз відразу при виготовленні і ви-
користовуються, наприклад, для ідентифікації
датчика або для виконання функції жорсткої
корекції; ніяку нову інформацію в них записа-
ти у процесі експлуатації не можливо;

– «WORM» (Write Once Read Many) — до-
зволяє проводити однократний запис вже після

виготовлення і здійснювати багатократне зчи-
тування інформації;

– «RW» (Read and Write) — дозволяє багато-
кратний запис і зчитування інформації.

Введення такого елемента пам'яті, окрім
ідентифікації РЧД, дозволяє виконувати ре-
жимну, часову і функціональну корекцію. Але
при цьому вартість таких датчиків зростає.

Окрім відомих стандартів ISO, широке вико-
ристання отримали стандарти EPC Global, роз-
роблені однойменною компанією. Їх короткий
опис наведений у [14]. Вони базуються не лише
на частотному розподілі, але і на конструктив-
них особливостях радіочастотних міток, поді-
ливши їх на 4-и класи. До РЧД дистанційного
контролю необхідно віднести пристрої 2 класу
(пасивні датчики) і 3 класу (активні датчики).

Проведений аналіз показує, що при реаліза-
ції РЧД дистанційного контролю суттєві пере-
ваги мають пасивні і напіваактивні датчики НВЧ
діапазону, які мають практично необмежений
час експлуатації. Відсутність вбудованого дже-
рела живлення призводить також до зниження
вартості експлуатації C_E і собівартості датчика

C_B , а, отже, до підвищення його ефективності. При цьому використання полімерних активних контурів, розробкою яких займаються фірми IBM, Xerox, Samsung [16], найближчим часом дозволить зменшити вартість таких елементів до декількох центів, тобто вони по суті стануть елементами одноразового і масового використання. Окрім вищезрозглянутих, основними перевагами таких датчиків є:

- для зчитування інформації не потрібна пряма видимість РЧД, тому вони можуть розташовуватися усередині не екранованого об'єкту (забезпечуючи його потаємність і збереження); наприклад, в об'ємі зерна на елеваторі, або під штукатуркою будівлі тощо;

- висока швидкість зняття інформації, що дозволяє опитувати до 1000 датчиків у секунду або здійснювати паралельне опитування датчиків;

- можливість отримання інформації і внесення необхідної корекції у роботу датчика на значному віддаленні;

- довговічність (особливо для пасивних і напівактивних датчиків);

- висока ступінь безпеки, що досягається

можливістю шифрування даних у датчиках з елементами пам'яті;

- стійкість до дії доквілля, оскільки датчик завжди можна помістити у захисну полімерну оболонку.

Приклади технічної реалізації

Проведений аналіз показав, що при побудові високоефективних РЧД дистанційного контролю доцільно використовувати комбіновані динамічні негatronи, що забезпечують можливість побудови генераторних схем НВЧ діапазону. Вони можуть бути реалізовані, як із вбудованим джерелом живлення (активні РЧД), так і без нього (напівактивні РЧД). При цьому вони можуть працювати у режимі безперервного виміру або у режимі контролю (у дискретному режимі) — напівактивні, активні.

Особливу групу утворюють пасивні РЧД. Пасивний РЧД, концептуальна схема якого представлена на рис. 4, являє собою кероване пасивне навантаження на транзисторі VT1, модельоване імпульсами логічної схеми (ЛС).

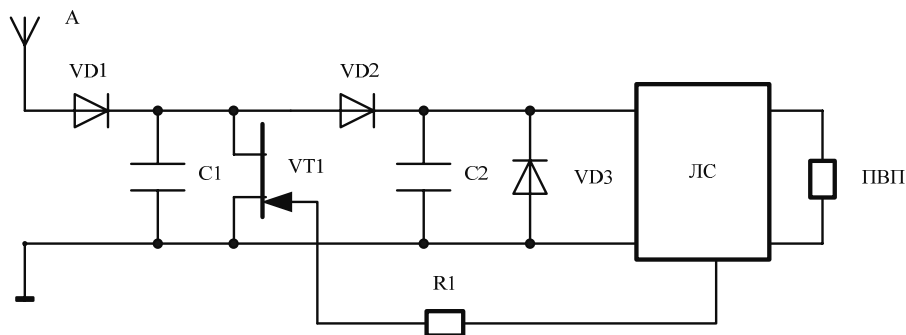


Рис. 4. Концептуальна схема пасивного РЧД

Кодова послідовність несе у собі як ідентифікаційну інформацію, так і інформацію про стан ПВП. При опроміненні антени А за допомогою рідера частина енергії поглинається антенною А і забезпечує роботу схеми подвоєння напруги, побудованої на низькобар'єрних діодах Шотткі VD1 та VD2 для живлення ЛС. Частина енергії відбивається від антени і поступає на вхід рідера. Причому відбитий від антени сигнал виявляється промодельованим ключем на транзисторі VT1, шляхом періодичного підключення до антени резистора навантаження R1 і керованого кодовою послідовністю керуючих імпульсів, поступаючих з ЛС. Діод VD3 є обмежувальним для випадку наближення рідера до антени РЧД.

Недоліком такого РЧД є його малий радіус дії, пов'язаний з необхідністю прийому рідером слабкого відбитого сигналу. Кількісні оцінки, приведені для аналогічного транспондера на частоті 2,45 ГГц [15] показали, що при потужності випромінювання генератора рідера $P_p = 0,5$ Вт, з врахуванням ефективності штир'євої антени (з врахуванням 40 ДБ втрат у повітрі), дальність дії не перевищуватиме 1 м. Покращання цього параметра забезпечує використання напівактивних і активних РЧД.

Напівактивні РЧД у своєму складі мають генератор електромагнітних коливань, але не мають вбудованого джерела живлення. Збудження схеми здійснюється періодичною дією

на антену РЧД електромагнітних коливань f_0 зовнішнього збуджуючого генератора, частота яких повинна відрізнятися від частоти сигналу f_r і входить у стандартну сітку частот.

Концептуальним прикладом побудови напівактивного РЧД є безконтактна радіочастотна схема обліку витрат електричної енергії (рис. 5.). Вона складається з LC-генератора, утвореного резонуючою ємністю C_3 і комбінованим динамічним негатроном, реалізованому на польовому транзисторі $VT1$ з індуктивним перетворюваним імітансом індуктивності L_1 ,

включеною між затвором і стоком $VT1$. Напряга між затвором і витком знімається з конденсатора C_1 . Його величина визначається струмом і часом заряду конденсатора C_1 через випрямний діод $VD1$ від ЕДС, наведеною у котушці L_0 , величина якої пропорційна струму, що протікає по провідникові навантаження 1 , і величині магнітного зв'язку. Таким чином, частота генерації визначається величиною струму і часом заряду конденсатора C_1 , пропорційно електричній енергії перемінного струму, який пройшов через провідник 1 .

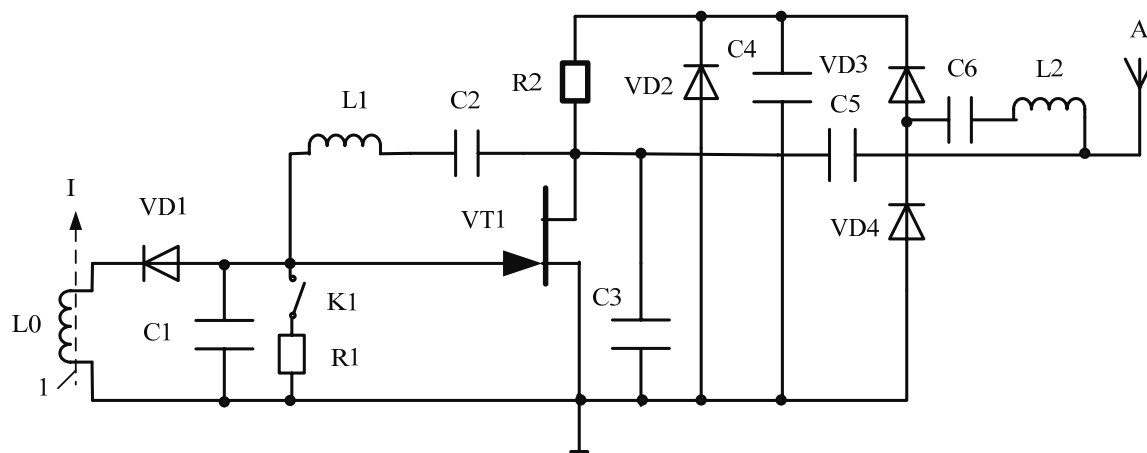


Рис. 5. Напівактивний РЧД дистанційного контролю витрат електроенергії

Схема починає генерувати після того, як на антену РЧД поступають збуджуючі електромагнітні коливання від рідера, які схемою подвоєння напруги на діодах $VD3$ і $VD4$ випрямляються і забезпечують необхідну напругу між витком і стоком транзистора $VD1$, що стабілізується діодом $VD2$. Зчитування інформації відбуватися з деякою затримкою, після закінчення дії збуджуючих коливань.

Такий лічильник електричної енергії не вимагає візуального контакту, немає механічних частин, немає електричного контакту з електричною мережею і може бути просто закладений в елементи конструкції будівлі. Введення у схему елемента пам'яті ЕП дозволяє забезпечити його ідентифікацію, але збільшує собівартість.

Наступним концептуальним прикладом побудови напівактивного РЧД є схема РЧД дистанційного контролю температури об'єкту (рис. 6.). Схема аналогічна попередній, але напруга на затворі польового транзистора $VT1$, а, отже, і частота генерації, визначається величиною опору терморезистора R_t , за-

лежною від довколишньої температури. Такі пристрої, виготовлені у вигляді пластикових капсул, мають низьку вартість і високу надійність, і можуть, наприклад, бути «засіяні» на площі сільськогосподарського масиву на глибині декількох десятків сантиметрів. Це дозволяє періодично робити висновок про стан (температуру, вологість) ґрунту на великій території.

Необхідними умовами самозбудження розглянутих схем (рис. 5, 6) є [16]:

$$K_{y_{\text{вн}}} < 1, |Y_{12}Y_{21}|/2\text{Re}Y_{11} > 0,$$

де $K_{y_{\text{вн}}}$; $Y_{11} Y_{12} Y_{21}$ — внутрішній інваріантний коефіцієнт стійкості ПТ і його Y -параметри в схемі із загальним стоком.

Для забезпечення генерації на частоті f_c необхідно виконання умови $\text{Im}Y_H + \text{Im}Y_{\text{вих}} = 0$, де Y_H — провідність навантаження у площині «виток-сток» $VT1$; $Y_{\text{вих}} = \text{Re}Y_{\text{вих}} + j\text{Im}Y_{\text{вих}}$ — провідність ланцюга «виток-сток» $VT1$.

$$\text{Re}Y_{\text{вих}} = \text{Re}Y_{22} - \frac{\text{Re}(Y_{12}Y_{21}) + \sigma_r \text{Im}(Y_{12}Y_{21})}{(1 + \sigma_r)\text{Re}(Y_{11} + Y_r)}; \quad (5)$$

$$\text{Im} Y_{\text{вих}} = \text{Im} Y_{22} - \frac{\text{Im}(Y_{12}Y_{21}) + \sigma_r \text{Re}(Y_{12}Y_{21})}{(1 + \sigma_r^2) \text{Re}(Y_{11} + Y_r)}, \quad (6)$$

де $\sigma_r = \text{Im}(Y_r + Y_{11}) / \text{Re}(Y_r + Y_{11})$.

Вирішуючи рівняння $\partial \text{Re} Y_{\text{вих}} / \partial \sigma_r = 0$ від-

носно σ_r при $\text{Re} Y_r = 0$, знаходимо умову, при якій $\text{Re} Y_{\text{вих}}$ має мінімальне значення:

$$\sigma_{r_{\text{opt}}} = \frac{|Y_{12}Y_{21}| - \text{Re}(Y_{12}Y_{21})}{\text{Im}(Y_{12}Y_{21})}. \quad (7)$$

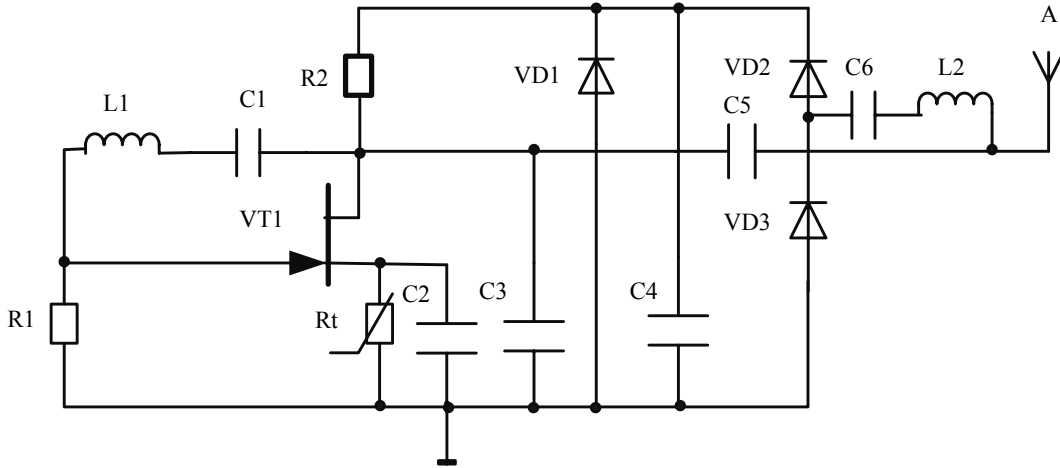


Рис. 6. Напівактивний РЧД температури (вологості)

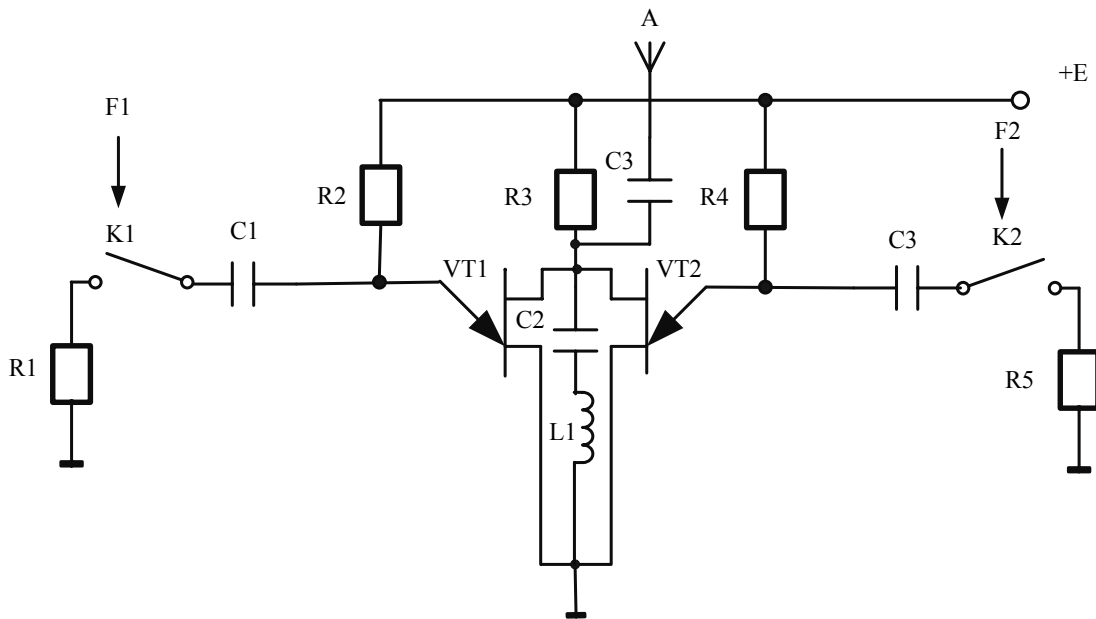


Рис. 7. Активний РЧД охоронної сигналізації

Підставляючи (7) в (6) і розв'язуючи його відносно $\text{Im} Y_r$ знаходимо величину перетвореної провідності (у даному випадку провідність індуктивності L1)

$$\text{Im} Y_{r_o} = \frac{1}{2\pi f_r L1} = \sigma_{r_{\text{opt}}} \text{Re} Y_{11} - \text{Im} Y_{11}$$

і значення резонуючої ємності

$$C3 = \frac{\text{Im} Y_{\text{вих}}}{2\pi f_r} = \left(\frac{\text{Im}(Y_{12}Y_{21})}{2\text{Re} Y_{11}} - \text{Im} Y_{22} \right) / 2\pi f_r.$$

Наприклад, при використанні польового транзистора Шотткі типа ЗП327 на частоті 5,8 ГГц, маємо: $\text{Re} Y_{\text{вихmin}} = -0,02 \text{ Ом}^{-1}$; $K_{\text{убн}} = -0,11$; $\text{Im} Y_H = -0,032 \text{ Ом}^{-1}$; $\text{Im} Y_{r_o} = 0,032 \text{ Ом}^{-1}$.

Наведена методика розрахунку може бути застосована і для інших видів транзисторів (біполярних, одноперехідних), використовуваних як основа комбінованого динамічного негатрона.

В якості активного РЧД, що працює у дискретному режимі контролю (наприклад, в сис-

темі охоронної сигналізації) розглянемо схему (рис. 7), реалізовану на базі імітансного логічного елемента «І-НІ» на базі двох одноперехідних транзисторів (ОТ) VT1 і VT2, що працюють конверторами імітансу з коефіцієнтами зворотної конверсії імітансу [17]

$$T_K = \frac{1 - \beta_o - j\Omega\beta_o}{(1 - \beta_o)^2},$$

де β_o — коефіцієнт передачі по струму ОТ, $\Omega = f/f_\beta$ — гранична частота.

При малих струмах емітера $\beta_o > 1$, вхідний активний опір R_1 конвертується у опір ланцюга «база 1 — база 2» ОТ з негативною активною складовою $\operatorname{Re} Z_{B_1, B_2} < 0$ і ємкісною реактивною складовою $\operatorname{Im} Z_{B_1, B_2} < 0$.

$$Z_{B_1, B_2} \approx -\frac{(R_1)}{\beta_o - 1} - j\frac{\Omega\beta_o(R_1)}{(\beta_o - 1)^2}. \quad (8)$$

У режимі, коли ключі K1 і K2 розімкнені, активна складова вихідного опору транзисторів VT1 і VT2 є позитивною і схема не генерує («мовчить»). В разі замикання K1 або K2 у вихідному ланцюзі схеми з'являється негативний активний опір, але його величини не вистачає для компенсації дисипативних втрат у схемі. При одночасному спрацьовуванні ключів K1 і K2 відбувається збудження схеми.

При використанні імітансної логічної схеми «АБО-НІ» забезпечується виникнення генерації при спрацьовуванні будь-якого з ключів K1 і K2 на частотах f_1 та f_2 , або при їх одночасному спрацьовуванні на частоті f_3 . Використання ОТ визначає відносно низькочастотний режим роботи схеми. Наявність у схемі джерела живлення Е забезпечує великий радіус її дії, але обмежує термін служби такого РЧД.

Висновки

Для побудови високоефективних РЧД дистанційного контролю доцільно використовувати РЧД з ЧМ і повітряним каналом зв'язку, які володіють мінімальним споживанням енергії і придатні для виготовлення за інтегральною технологією.

Виходячи з сформульованих вимог до РЧД і аналізу сучасних технологічних рішень їх реалізації суттєвими перевагами володіють пасивні та напівактивні РЧД на базі динамічних транзисторних негатронів, які здатні працювати у

діапазоні НВЧ на частотах, що визначені стандартами ISO для систем радіочастотної ідентифікації.

Введення до складу РЧД елемента пам'яті, який використовується, наприклад, у радіочастотних мітках, дозволяє розширити функціональні (а у ряді випадків і технічні) параметри РЧД дистанційного контролю.

Список літератури

1. Парфенов Ю. А. Кабели электросвязи. — М.: Эко-Трендз, 2003. — 256 с.
2. Новицкий П. В., Кнорринг В. Г., Гутников В. С. Цифровые приборы с частотными датчиками. — Л.: Энергия, 1970. — 424 с.
3. Осадчук О. В. Микроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором. — Вінниця: УНІВЕРСУМ—Вінниця, 2000. — 303 с.
4. Lishchinska L. V., Miroshnikova S. V., Varaban M. V., Filinyuk N. A. Negatron-based inductive sensors // Вісник Черкаського державного технічного університету. — 2009. — Спецвип. — С. 60–62.
5. Ліщинська Л. Б., Мірошникова С. В., Філінюк М. А. Генераторні сенсори на базі негатронів // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — 2009. — № 2(18). — С. 186–194.
6. Кузьмин И. В., Кедров В. А. Основы теории информатики и кодирования. — К.: Вища школа, 1977. — 280 с.
7. Филинюк Н. А. Критерий эффективности информационных устройств преобразования и управления // Приборостроение. Изв. вузов СССР. — 1984. — №3. — С. 3–8.
8. Новицкий П. В. Основы информационной теории измерительных устройств. — Л.: Энергия, 1968. — 245 с.
9. Філінюк М. А. Основы негатроники. Том 1. Теоретичні і фізичні основи негатроники: Монографія. — Вінниця: УНІВЕРСУМ—Вінниця, 2006. — 456 с.
10. Пашаев А. М., Касимов Ф. Д., Негоденко О. Н., Филинюк Н. А. Физико-технологические и схемотехнические основы негатроники. — Баку: Элм, 2008. — 433 с.
11. Филинюк Н. А. Физические основы негатроники. — Вінниця: ВГТУ, 2003. — 79 с.
12. Філінюк М. А., Куземко О. М., Ліщинська Л. Б. Інформаційні пристрої на основі потенційно-нестійких багатоелектродних напівпровідникових структур Шоттки: Монографія. — Вінниця: ВНТУ, 2009. — 274 с.
13. RFID-технология радиочастотной идентификации: — режим доступа до ресурсу: [http:// www. datakrat.ru/tehnologii_3.html](http://www.datakrat.ru/tehnologii_3.html)

14. Фёдоров М. Стандарты и тенденции развития RFID-технологий: — режим доступа до ресурсу: [http:// www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/06_01/stat_rfid.htm](http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/06_01/stat_rfid.htm)
15. Дшхунян В. Л., Шаньгин В. Ф. Электронная идентификация. Безконтактные электронные идентификаторы и смарт-карты. — М.: NT Press, 2004. — 695 с.
16. Філінюк М. А., Войцехівська О. В. Елементи та пристрої автоматики на основі нелінійних властивостей динамічних негатронів: Монографія. — Вінниця: УНІВЕРСУМ—Вінниця, 2008. — 189 с.
17. Лишинская Л. Б., Булыга И. В., Шведюк А. Г., Филинюк Н. А. Обобщенные преобразователи иммитанса на основе инжекционно-пролётной транзисторной структуры с общим истоком // Наукові праці ВНТУ. — 2008. — №2. — С. 1–18.