

Слід зазначити, що схема задовільно працює при розширенні нижньої границі до $1 \cdot 10^{-3}$ Ом і верхньої до $4 \cdot 10^7$ Ом.

1. Швецький Б.И. *Электронные измерительные приборы с цифровым отсчетом*. К., 1970. 2. Алексеенко А.Г. *Основы микросхемотехники*. М., 1977. 3. Булер О.Р. *Метод точного измерения малых сопротивлений // Электроника*. 1992. № 15-16. 4. *Вольтметр универсальный В7-21А. Техническое описание и инструкция по эксплуатации*. 1989.

УДК 621.315.592

АВТОГЕНЕРАТОРНІ СХЕМИ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ РЕЗОНАНСНИХ СЕНСОРІВ

© Байцар Р.І., Рак В.С., Гінгін М.П., 2000

ДУ “Львівська політехніка”, кафедра “Метрологія, стандартизація і сертифікація”

Розглянуто питання побудови автогенераторних схем, які забезпечують збудження коливань резонатора-чутливого елемента сенсора, перетворення цих коливань і реєстрацію частоти вихідного електричного сигналу. Дослідження запропонованих схем вимірювальних генераторів виявили шляхи їх вдосконалення для істотного покращання метрологічних і експлуатаційних характеристик резонансних сенсорів.

A principle of the device consists in autogenerator scheme, which made sure the excitement of the resonator – the sensitive sensors element, transformation this oscillations into frequency electrical signal was considered. It was shown that in consequence of improvment of the metrological and functional characteristics these transducers are interesting for modern device.

Проектуючи вимірювальний генератор (ВГ), важливо вибрати параметри електронної схеми, які забезпечують найкращі, з метрологічного погляду, умови і режими роботи електромеханічного резонатора [1]. Вирішальними залишаються стабільність фазового зсуву і сталість величини енергії, яка вноситься в контур резонатора за період коливань напівпровідникового ниткоподібного кристала (НК). Треба враховувати те, що характер напруженого стану НК визначається не тільки дією вимірюваної фізичної величини, але і деформацією, викликаною поперечними коливаннями кристала (завдяки якій формується електричний сигнал).

Аналіз роботи електронної схеми вимірювального перетворювача [2] показує, що збуджуюча сила (сила електростатичної взаємодії), під дією якої коливається кристал, виникає при подачі на збуджуючий електрод імпульсу напруги. Якщо тривалість збуджуючого імпульсу дорівнює половині періоду механічного коливання кристала та постійній часовій затримці, яка створює необхідний фазовий зсув, оптимальні умови збудження забезпечуються на фіксованій частоті або при незначній її зміні (< 1 кГц).

Схема автогенератора з фазовим автопідстроюванням частоти (ФАПЧ) (рис.1) містить стабілізований генератор струму, три каскади підсилення сигналу резонатора, формувач імпульсів, цифровий фазообертач, подільник частоти і високовольтний ключ.

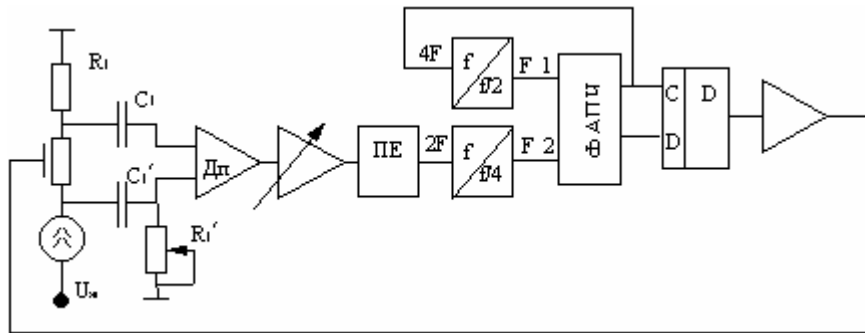


Рис.1. Структурна схема автогенератора з ФАПЧ.

Вхідний каскад виконаний за диференційною схемою для зменшення електричних завад, та завад, що виникають від дії високовольтних імпульсів збудження. Зменшення цього впливу є принциповим, оскільки проникнення імпульсів збудження (частота яких у два рази менша від частоти електричних коливань на виході резонатора) через каскади підсилення на вхід схеми ФАПЧ призводить до того, що ця схема відстежує не за сигналом з резонатора, а за імпульсами збудження. Коефіцієнт підсилення диференційного каскаду $K_1 = 100$, другого і третього каскадів відповідно $K_2 = 50$, і $K_3 = 10$. Цифровий фазообертач підтримує необхідний фазовий зсув між механічними коливаннями резонатора та імпульсами збудження. Для зменшення затримки, що виникає під час проходження електричного сигналу з резонатора, через каскади підсилення до схеми ФАПЧ, використані швидкодіючі широкосмугові операційні підсилювачі (ОП) з високою швидкістю наростання напруги. Для зменшення рівня шуму, зумовленого низькоомним опором генератора сигналу ($R_{нк}$ порядку 1кОм) на вході використаний ОП з біполярними вхідними транзисторами 154УД3 ($V = 90\text{ В/мкс}$). Два останні каскади виконані на ОП 574УД1 ($V = 50\text{ В/мкс}$). Формувач імпульсного сигналу має гістерезис перемикання порядку 2 В . Це дозволяє зменшити вплив шумів й імпульсних завад на процес збудження кристала резонатора. Фазозсувний каскад побудований на базі мікросхеми ФАПЧ 564ГГ1. Частота зрізу смуги пропускання ФАПЧ становить 4 кГц .

Фазообертач виконує операцію зсуву фази на 90° в діапазоні частот від 20 до 80 кГц і подальшого поділу частоти на два. Вихідний ключовий каскад виконаний на високовольтному транзисторі КТ604. Ємністю забезпечується згладжування фронтів імпульсів збудження і надання їм дзвоноподібної форми. При ввімкненні живлення генератор керованої напруги (ГКН) схеми ФАПЧ видає нижню частоту діапазону перестроювання. Вихідні високовольтні імпульси з підкладки збуджують коливання кристала резонатора. Відгуки цих коливань ("дзвін") після підсилення надходять на вхід ФАПЧ, піднімаючи частоту ГКН вверх до захоплення на резонансній частоті кристала резонатора. На рис. 2 наведені осцилограми напруг на виході функціональних елементів автогенератора з ФАПЧ: А – амплітуда механічних коливань кристала, U_1 – напруга на

виході підсилювача зі змінним коефіцієнтом підсилення, U_2 – напруга на виході порогового елемента, U_3 – напруга на виході подільника частоти на два, U_4 – напруга на виході подільника частоти на чотири, U_5 – напруга на виході ФАПЧ, частота якої дорівнює $4F$, U_6 – напруга імпульсів збудження на вході D-тригера.

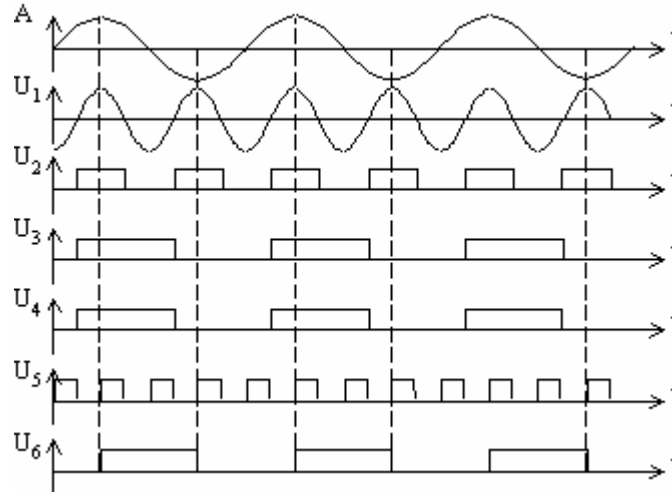


Рис.2. Осцилограма напруг на функціональних елементах автогенератора з ФАПЧ.

Вимушені коливання НК, які виникають під дією імпульсів вільної частоти ФАПЧ, мають амплітуду набагато меншу, ніж амплітуда резонансу і тоді їх важко виділити на фоні шумів. Нерідко внаслідок взаємодії вільної частоти ФАПЧ і частоти вимушених коливань резонатора виникає биття цих частот і відхід генератора ФАПЧ на частоту вище резонансної. У такому випадку резонатор не сприймає імпульсів збудження, що ускладнює запуск автогенератора.

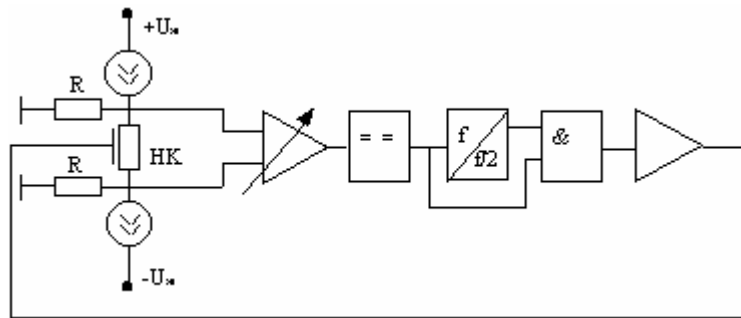
Несиметричне під'єднання джерела струму на виході диференційного підсилювача (ДП) призводить до того, що комплексні напруги, які виникають на його вході, неоднакові, що робить угамування шумів та імпульсів збудження недостатнім.

Запропонована схема ВГ не потребує ручного регулювання фази імпульсів збудження, здатна утримувати задану величину фази цих імпульсів у всьому вимірюваному діапазоні, однак вона виявилась не дуже стійкою в режимі генерації на резонансній частоті.

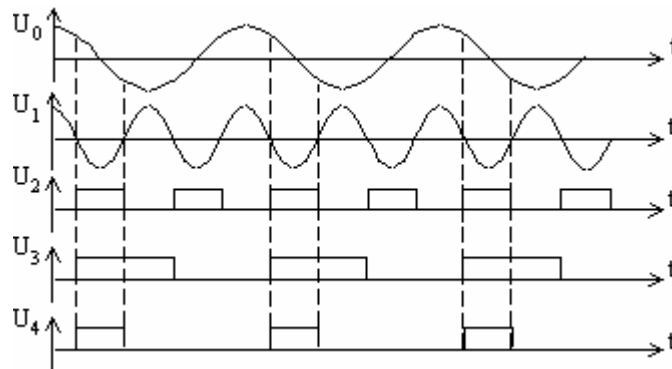
Всі вимоги найліпше задовольняє електронна схема автогенератора (рис.3а), в яку входять два джерела струму, диференційний підсилювач, пороговий елемент (ПЕ), подільник частоти на два, інвертор, логічний елемент "І" та високовольтний ключ-підсилювач.

Для забезпечення симетрії вхідного опору і максимального усунення синфазних впливів на вході ДП розміщено два джерела струму. Рівень підсилення ДП вибрано таким, щоб в момент ввімкнення живлення деякі шумові стрибки напруги були дещо вищими від рівня спрацювання ПЕ і проходили через подільник частоти на логічний елемент "І" та на вхід високовольтного ключа-підсилювача. Під дією цих імпульсів НК почне коливатись на частоті власних механічних коливань (рис.3б). Внаслідок тензоефекту зміниться опір кристала і, відповідно, напруга на вході ДП (U_1). Напруга

матиме частоту в два рази більшу від частоти механічних коливань НК (U_0) і на виході підсилювача буде найбільшою тоді, коли НК знаходиться в одному з крайніх положень і найменша, коли він переходить середнє положення (положення рівноваги). Рівень спрацювання порогового елемента вибрано посередині амплітудних значень напруги. З порогового елемента (U_2) проінвертовані імпульси надходять на подільник частоти (U_3) та на логічний елемент "І". Імпульси на виході високовольтного ключа (U_4) з'являються тоді, коли НК наближається до положення рівноваги і напрям його руху збігається з напрямом сили притягання між кристалом і підкладкою (пружним елементом). Під дією цієї сили НК набуває прискорення, його кінетична енергія збільшується, що забезпечує режим стійких незагасаючих коливань.



а



б

Рис.3. Удосконалений варіант схеми автогенератора (а)
і осцилограми формування збуджуючих імпульсів (б).

В електронній схемі автогенератора в джерелах струму застосовано мікросхеми 140УД14, в каскадах підсилення – мікросхеми 154УД3А та 574УД1В, логічна частина схеми, разом з пороговим елементом, зібрана на мікросхемах 561 серії, високовольтний ключ-підсилювач на транзисторах КТ315 та КТ968.

Випробування схеми показали, що часова нестабільність більшості параметрів схеми, від яких залежить точність вимірювання, є незначною, оскільки похибки частково компенсуються. Внесок автогенератора в загальну похибку перетворювача обмежувався величиною 0,01 %. Для виконання цієї умови необхідно забезпечити стабільність частоти автоколивань не менше 10^{-5} . Підвищення стабільності частоти

генератора можна досягти забезпеченням малих амплітуд коливань резонатора (завдяки використанню мікрокристалів) і стабільності амплітудного режиму. Останній визначається стабільністю величини напруги збудження.

Описана електронна схема покладена в основу розробки ВГ для напівпровідникового резонансного сенсора з мінімальним впливом дестабілізуючих факторів, зокрема температури. Функціональна відмінність схеми з термостабілізацією (рис.4) полягає лише в тому, що вона містить диференційний підсилювач та інвертор, зібрані на мікросхемах 140УД11 та 140УД14А відповідно. Розробка такої схеми зумовлена тим, що НК та пружний елемент перетворювача мають різні температури і відповідно різні значення температурних коефіцієнтів лінійного розширення. Внаслідок того, що кристал живиться постійним струмом і частково нагрівається при коливанні за рахунок внутрішнього тертя, його температура є дещо вищою від температури пружного елемента. Це означає, що зі зміною температури в закріпленому кінцями НК виникатиме механічне напруження, яке проявиться в зміні частоти власних механічних коливань кристала.

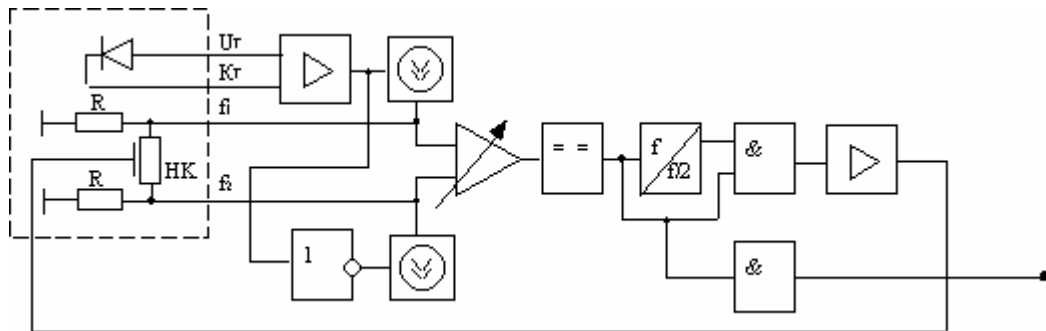


Рис.4. Структурна схема вимірювального автогенератора з термостабілізацією.

Температурна стабілізація резонансного перетворювача полягає в підтриманні сталим напруження в кристалі при зміні температури, для чого через НК пропускають такий струм, при якому частота коливань буде сталою в заданому інтервалі температур (при сталому значенні вимірюваної величини). Схемотехнічна реалізація регулювання струму здійснюється застосуванням безкорпусного діода 2Д907, який встановлюється всередині корпуса перетворювача поблизу кристала. На р-n переході діода, ввімкненому прямо, напруга змінюється приблизно на 2 мВ/К і подається на інверсний вхід ДП. На інший вхід підсилювача подається напруга з подільника, яку можна регулювати потенціометром в певних межах. Таке регулювання необхідне для вибору початкового струму, який вже потім регулюється від напруги, що знімається з діода. З виходу ДП підсилена напруга подається на вхід інвертора. Прямі і проінвертовані напруги подаються на входи обох джерел струму (виконаних на мікросхемах), які регулюють струм, що проходить через НК.

Модифікована схема автогенератора [3] з монокристалічним резонатором здатна забезпечити стабільність частоти коливань на рівні $10^{-7} \dots 10^{-9}$.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що в діапазоні частот 20 ...80 кГц генератори, частота яких стабілізується за допомогою електромеханічних

резонаторів на пружних коливаннях напівпровідникових монокристалічних струн з НК є джерелом високостабільних електричних коливань. За стабільністю вони в деяких випадках не поступаються кварцовим і дозволяють покращити метрологічні і експлуатаційні характеристики сенсорів. При застосуванні алгоритмічних методів обробки інформаційних сигналів напівпровідникових резонансних сенсорів, які працюють у схемі ВГ, відносна похибка вимірювання деформацій і сил становить $10^{-3} \dots 10^{-4} \%$.

1. Baitsar R., Voronin V., Krasnogenov E., Bogdanova N. Operation of monocrystalline silicon resonator in a measuring circuit // *Sensors and Actuators*. 1992. Vol. A.30. P 175-178.
2. Байцар Р.І., Красножонов Є.П., Рак В.С., Нечипорук І.Є. Аналіз роботи електронної схеми напівпровідникового струнного термоперетворювача// *Вимірювальна техніка та метрологія*. 1995. № 51. С. 40-43.
3. Заявка № 89073964 від 21.07.98 р. на видачу патента України на винахід "Струнний автогенератор" / Р.І.Байцар, В.Б.Дудикевич, В.С.Рак, М.П.Гінгін.

УДК 771.343

СУЧАСНІ ОХОРОННІ СИСТЕМИ ТЕЛЕНАГЛЯДУ

© Мокренко П.В., Кременецький В.М., Акініна О.В., 2000

ДУ "Львівська політехніка", кафедра "Автоматика і телемеханіка"

Наведено огляд охоронних систем теленагляду та їх складових, показано напрямки подальшого розвитку і надано рекомендації для замовника.

The given article deals with the security CCTV systems and its parts. The ways of its further development are also described there. The customer can find the recommendations for choosing and buying the production.

Вступ. Системи теленагляду [1–7,13,14,19,20] призначені для забезпечення безпеки об'єкта, який охороняється. Вони дозволяють одному або декільком охоронцям водночас стежити за одним або багатьма об'єктами, які перебувають іноді на значній відстані один від одного і від місця спостереження.

Найпростіша система теленагляду складається з телевізійної камери і монітора. Камера може бути підключена безпосередньо до телевізора або до монітора і розташовуватися як у середині будинку, так і зовні.

Кількість камер, що одночасно працюють, має бути обмеженою, оскільки при збільшенні кількості моніторів оператору важко стежити за всіма змінами на них. Тому у багатокамерних системах використовують додаткові пристрої – детектори руху, які аналізують зміни зображення, наприклад, переміщення будь-якого предмета в полі зору камери, сигналізуючи оператору про це.

Для одночасного одержання декількох зображень на екрані одного монітора (до 16) використовують квадратори ("ділянки екрана"). Квадратори перетворюють сигнали