



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 57436

(13) A

(51) 7 G01N27/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВИНАХІДвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) ОДНОКАНАЛЬНИЙ ВИМІРЮВАЧ ПАРАМЕТРІВ ДИФЕРЕНЦІЙНИХ ДАТЧИКІВ

1

2

(21) 2002108049

(22) 09 10 2002

(24) 16 06 2003

(46) 16 06 2003, Бюл. № 6, 2003 р.

(72) Скрипник Юрій Олексійович, Каламєєць Тетяна Петрівна

(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

(57) Одноканальний вимірювач параметрів диференційних датчиків, що містить у собі перший і другий автогенератори, ємнісний диференційний датчик з робочою камерою, заповненою матеріалом, що досліджується і компенсаційною камерою з еталонним матеріалом, комутатор, перший і другий входи якого з'єднані з першими виходами камер ємнісного диференційного датчика, загальний вихід яких з'єднаний з загальною заземленою точкою автогенераторів, вихід комутатора з'єднаний з часозадавальним ланцюгом першого автогенератора, формувач імпульсів, вхід якого з'єднаний з виходом першого автогенератора, реверсивний лічильник імпульсів, лічильний вхід якого з'єднаний з виходом формувача імпульсів, цифровий елемент пам'яті, адресні входи якого з'єднані з

кодovими виходами реверсивного лічильника імпульсів, дешифратор, під'єднаний до шин даних цифрового елемента пам'яті, цифровий індикатор, з'єднаний з дешифратором, блок керування, виходи якого з'єднані з відповідними керуючими входами комутатора, реверсивного лічильника імпульсів, цифрового елемента пам'яті і дешифратора, який відрізняється тим, що в нього додатково введені нереверсивний лічильник імпульсів, другий і третій формувачі імпульсів, другий і третій комутатори, причому входи другого комутатора з'єднані з протилежними входами першого комутатора, вихід другого комутатора з'єднаний з часозадавальним ланцюгом другого автогенератора, входи третього комутатора з'єднані з виходами першого і другого автогенераторів, вихід третього комутатора з'єднаний через другий формувач імпульсів з лічильним входом нереверсивного лічильника імпульсів, вихід якого через третій формувач імпульсів з'єднаний зі входом блока керування, один з виходів якого з'єднаний з керуючим входом нереверсивного лічильника імпульсів, керуючі входи другого і третього комутаторів з'єднані з керуючим входом першого комутатора

Винахід відноситься до засобів вимірювання електричних параметрів високочастотних диференційних датчиків і може бути використаний для вимірювання діелектричних, магнітних або провідних властивостей матеріалів та речовин по величині електричного імпедансу, що вноситься в датчик

Диференційні датчики, що працюють в ланцюгах високочастотних генераторів, перетворюють різні величини, що вимірюються, та зразкової величини в пристрій ємності  $\Delta C$ , індуктивності  $\Delta L$  або опору  $\Delta R$  електричного ланцюга датчика. Конструктивно диференційний датчик має два чутливі елементи: робочий елемент, який взаємодіє з досліджуванним матеріалом, і компенсаційний елемент, який взаємодіє із зразковим або еталонним матеріалом. Цифрові вимірювачі приросту параметрів  $\Delta C$ ,  $\Delta L$ ,  $\Delta R$ , найбільш просто реалізуються за допомогою проміжного частотного пере-

творення. Для перетворення приросту параметрів датчика ( $\Delta C$ ,  $\Delta L$ ,  $\Delta R$ ) в частоту або період високочастотних коливань звичайно використовують автогенератори з LC або RC часозадавальним ланцюгом. Почергове періодичне підключення робочого і компенсаційного елементів до часозадавального ланцюга автогенератора за допомогою автоматичного комутатора дозволяє виділити із модульованих по частоті високочастотних коливань автогенератора низькочастотний модулюючий сигнал, пропорційний різницевому параметру диференційного датчика.

Відомий одноканальний вимірювач параметрів диференційних датчиків (Авторське свідоцтво СРСР №655990, кл. G01R27/26, 1976), що містить в собі високочастотний автогенератор, диференційний датчик, автоматичний комутатор, рухомий контакт якого з'єднаний з часозадавальним ланцюгом високочастотного автогенератора, а два

(13) A

(11) 57436

(19) UA

нерухомих контакти з'єднані з першими виводами відповідно робочого і компенсаційного елементів датчика, другі виводи яких з'єднані з корпусом вимірювача, послідовно з'єднані частотний детектор, вхід якого з'єднаний з виходом височастотного автогенератора, вибірковий низькочастотний підсилювач, переривач, синхронний детектор і індикатор, а також комутаційний генератор, вихід якого з'єднаний з опорним входом синхронного детектора, з ланцюгом керування автоматичного комутатора і через подільник частоти та одновібратор з ланцюгом керування переривача

Через випадкові зміни частоти автогенератора, а також непінійність характеристики частотного детектора і нерівномірність його частотної характеристики з'являється велика паразитна частотна модуляція, яка не дозволяє виділити інформаційні зміни частоти автогенератора на фоні випадкових змін

Відомий одноканальний вимірювач параметрів диференційних датчиків (Патент США №4045728, кл. 324-59, 1977), що містить у собі два автогенератори, диференційний індуктивний датчик, одноканальний вимірювальний тракт, який складається із послідовно з'єднаних частотного перетворювача, входи якого з'єднані з виходами двох автогенераторів, низькочастотного підсилювача, синхронного детектора та індикатора, а також комутатор, рухомий контакт якого з'єднаний з часозадавальним ланцюгом одного із автогенераторів, а два нерухомих контакти - з першими виводами робочого і компенсаційного елементів диференційного датчика, другі виводи яких з'єднані з загальною точкою диференційного датчика, і комутаційний генератор, вихід якого з'єднаний з опорним входом синхронного детектора і з ланцюгом керування комутатора

Зміни частоти автогенераторів із-за кореляційних завад взаємно компенсуються в частотному перетворювачі, який формує низькочастотний сигнал різницевої частоти. Але комутаційні завади, що з'являються при періодичних перемиканнях комутатора в ланцюгу тільки одного автогенератора, не компенсуються і насичують вимірювальний тракт, що знижує точність вимірювання

Відомий також одноканальний вимірювач параметрів диференційних датчиків (Скрипник Ю. А. Коммутационные цифровые измерительные приборы М., "Энергия", 1973, С. 23-25), що містить у собі перший і другий автогенератори, ємнісний диференційний датчик з робочою камерою, заповненою матеріалом, що досліджується і компенсаційною камерою з еталонним матеріалом, комутатор, перший і другий входи якого з'єднані з першими виходами камер ємнісного диференційного датчика, загальний вихід яких з'єднаний з загальною заземленою точкою автогенераторів, вихід комутатора з'єднаний з часозадавальним ланцюгом першого автогенератора, формувач імпульсів, вхід якого з'єднаний з виходом першого автогенератора, реверсивний лічильник імпульсів, лічильний вхід якого з'єднаний з виходом формувача імпульсів, цифровий елемент пам'яті, адресні входи якого з'єднані з кодовими виходами реверсивного лічильника імпульсів, дешифратор, під'єднаний до шин даних цифрового елемента пам'яті,

цифровий індикатор, з'єднаний з дешифратором, блок керування, виходи якого з'єднані з відповідними керуючими входами комутатора, реверсивного лічильника імпульсів, цифрового елемента пам'яті і дешифратора

Крім того, одноканальний вимірювач містить у собі змішувач сигналів, входи якого з'єднані з виходами автогенераторів, фільтр нижніх частот, вхід якого підключений до виходу змішувача, а його вихід з'єднаний зі входом формувача імпульсів, а також генератор тактових імпульсів, з'єднаний зі входом блока керування

Наявність цифрової пам'яті в одноканальному вимірювачі параметрів диференційних датчиків дозволяє знизити частоту комутації до долів Гц, що суттєво зменшує рівень комутаційних завад. Додаткове стробування реверсивного лічильника імпульсів в моменти комутації камер датчика дозволяє практично повністю виключити вплив перехідних процесів в автогенераторі, який комутується, що підвищує чутливість до малих змін параметрів робочої камери диференційного датчика

Але залежність результату виміру різницевої частоти від температурної і часової нестабільності параметрів мікросхем автогенераторів, часозадавального ланцюга з камерами диференційного датчика і джерелом живлення приводить до того, що при одній і тій же відносній зміні інформативного параметру диференційного датчика ( $\Delta C/C$ ,  $\Delta L/L$ , або  $\Delta R/R$ ) результат виміру виходить різним, що не забезпечує високу точність виміру таких відносних параметрів, як діелектрична і магнітна проникливість або питомо електропровідність різноманітних матеріалів

В основу винаходу покладено задачу створення такого одноканального вимірювача параметрів диференційних датчиків, в якому введення нових елементів і зв'язків дозволило б забезпечити підвищення точності оцінки якості різноманітних матеріалів і речовин

Поставлена задача вирішується тим, що в одноканальний вимірювач параметрів диференційних датчиків, що містить у собі перший і другий автогенератори, ємнісний диференційний датчик з робочою камерою, заповненою матеріалом, що досліджується і компенсаційною камерою з еталонним матеріалом, комутатор, перший і другий входи якого з'єднані з першими виходами камер ємнісного диференційного датчика, загальний вихід яких з'єднаний з загальною заземленою точкою автогенераторів, вихід комутатора з'єднаний з часозадавальним ланцюгом першого автогенератора, формувач імпульсів, вхід якого з'єднаний з виходом першого автогенератора, реверсивний лічильник імпульсів, лічильний вхід якого з'єднаний з виходом формувача імпульсів, цифровий елемент пам'яті, адресні входи якого з'єднані з кодовими виходами реверсивного лічильника імпульсів, дешифратор, під'єднаний до шин даних цифрового елемента пам'яті, цифровий індикатор, з'єднаний з дешифратором, блок керування, виходи якого з'єднані з відповідними керуючими входами комутатора, реверсивного лічильника імпульсів, цифрового елемента пам'яті і дешифратора, згідно винаходу введені нереверсивний лічильник імпульсів, другий і третій формувачі імпульсів, другий і

третій комутатори, при цьому входи другого комутатора з'єднані з протилежними входами першого комутатора, вихід другого комутатора з'єднаний з часозадавальним ланцюгом другого автогенератора, входи третього комутатора з'єднані з виходами першого і другого автогенераторів, вихід третього комутатора з'єднаний через другий формувач імпульсів з лічильним входом нереверсивного лічильника імпульсів, вихід якого через третій формувач імпульсів з'єднаний зі входом блока керування, один з виходів якого з'єднаний з керуючим входом нереверсивного лічильника імпульсів, керуючі входи другого і третього комутаторів з'єднані з керуючим входом першого комутатора

Введення в схему одноканального вимірювача параметрів диференціальних датчиків нереверсивного лічильника імпульсів, двох додаткових комутаторів, двох додаткових формувачів імпульсів, включення другого комутатора в часозадавальний ланцюг другого автогенератора, підключення входу блока керування до виходів двох автогенераторів через третій комутатор, включення нереверсивного лічильника імпульсів через додаткові формувачі імпульсів забезпечило отримання результату виміру в формі відносної зміни частоти автогенератора, а значить, і відносного приросту інформативного параметру диференційного датчика, дозволило виключити вплив температурних і часових змін параметрів і режимів роботи автогенераторів на результат виміру відносних змін інформативних параметрів диференційного датчика, а також зменшити вплив перехідних процесів і комутаційних завад на результат виміру, що забезпечило підвищення точності виміру діелектричних, магнітних і провідних властивостей контролюємих середовищ і матеріалів

На рисунку (див. фіг.) зображена функціональна схема одноканального вимірювача параметрів диференціальних датчиків

Одноканальний вимірювач параметрів диференціальних датчиків містить в собі ємнісний диференціальний датчик 1 з робочою камерою 2 і компенсаційною камерою 3, перший, другий і третій комутатори - відповідно 4, 5 і 6, перший та другий автогенератори 7 і 8, перший формувач імпульсів 9, другий та третій формувачі імпульсів 10 та 11, нереверсивний лічильник імпульсів 12, реверсивний лічильник імпульсів 13, цифровий елемент пам'яті 14, дешифратор 15, цифровий індикатор 16 і блок керування 17

Ємнісна робоча камера 2 з досліджуємым матеріалом і ємнісна компенсаційна камера 3 з еталонним матеріалом диференційного датчика 1 через перший та другий комутатори 4 і 5 підключені до часозадавальних ланцюгів першого та другого автогенераторів 7 і 8, виходи яких через третій комутатор 6 і другий формувач імпульсів 10 підключені до нереверсивного лічильника імпульсів 12. Вихід нереверсивного лічильника імпульсів 12 через третій формувач імпульсів 11 з'єднаний зі входом блока керування 17. До виходу першого автогенератора 7 безпосередньо через перший формувач імпульсів 9 підключений реверсивний лічильник імпульсів 13, до кодових виходів якого через цифровий елемент пам'яті 14 та дешифратор 15 підключений цифровий індикатор 16. Пер-

ший вихід блока керування 17 підключений до керуючих входів комутаторів 4, 5 і 6, другий і третій вихід - до нереверсивного лічильника імпульсів 12 (обнуління, відлік), четвертий, п'ятий, шостий виходи - до реверсивного лічильника імпульсів 13 (обнуління, відлік і реверс), сьомий вихід - до цифрового елемента пам'яті 14, восьмий вихід - до дешифратора 15

Одноканальний вимірювач параметрів диференціальних датчиків працює таким чином

Робоча камера 2 і компенсаційна камера 3 ємнісного диференційного датчика 1 конструктивно обираються однаковими, що забезпечує рівність їх ємностей  $C_x = C_0$  при відсутності контакту електродів датчика з досліджуємым і еталонним матеріалом або при заповненні обох камер датчика однаковою речовиною. При контакті робочої камери 2 з досліджуємым матеріалом і використанні повітря в якості еталонного матеріалу ємність робочої камери можна представити так

$$C_x = C_0 + \Delta C, \quad (1)$$

де  $\Delta C = C_0(\epsilon - 1)$  - приріст ємності датчика за рахунок контакту з контрольованим матеріалом,  $\epsilon$  - діелектрична проникливість досліджуємого матеріалу

За допомогою комутаторів 4 і 5 камери 2 і 3 ємнісного диференційного датчика 1 підключаються по черговому до часозадавальних ланцюгів автогенераторів 7 і 8. При цьому комутатори і цифрові елементи схеми вимірювача керуються з восьми виходів блока керування 17, на вхід якого поступають тактові імпульси з формувача імпульсів 11. З приходом першого тактового імпульсу сигналом з першого виходу блока керування 17 комутатори 4, 5 і 6 устанавлюються в початкове положення, що показане на рисунку, а нереверсивний лічильник імпульсів 12 і реверсивний лічильник імпульсів 13 сигналами від другого і четвертого виходів блока керування 17 обнуляються. При цьому в часозадавальний ланцюг автогенератора 7 включається ємність компенсаційної камери 3 -  $C_0$ , а в часозадавальний ланцюг автогенератора 8 - ємність робочої камери 2 -  $C_x$ . Частота генерованих коливань автогенератора 8 з RC-часозадавальним ланцюгом визначається виразом

$$f_x = k/R(C + C_0), \quad (2)$$

де  $k$  - коефіцієнт пропорційності, що залежить від параметрів мікросхеми автогенератора і значення напруги живлення,

$R$ ,  $C$  - постійні опір та ємність часозадавального ланцюга автогенератора

Частота генерованих коливань виконаного по тій же схемі автогенератора 7

$$f_0 = k/R(C + C_0) \quad (3)$$

При контакті електродів робочої камери 2 диференційного датчика 1 з досліджуємым матеріалом коливання автогенераторів стають різними ( $f_x < f_0$ ) і чергуються по черговому на виході кожного з автогенераторів в залежності від положення комутаторів. Формувачі 9 і 10 із коливань автогенераторів 7 і 8 утворюють короткі імпульси, які поступають на лічильні входи нереверсивного лічильника імпульсів 12 і реверсивного лічильника імпульсів 13. При вказаному положенні комутаторів на вхід нереверсивного лічильника 12 поступають імпульси, що слідують з частотою  $f_x$ , а на вхід реверсивного лічильника 13 - імпульси з частотою  $f_0$

В неререверсивному лічильнику 12 здійснюється накопичення імпульсів до повного його заповнення. Час заповнення визначається по формулі

$$\Delta t_1 = N_0 / f_x \quad (4)$$

де  $N_0$  - сумарне число імпульсів при  $n$  розрядах лічильника. На час  $\Delta t_1$  реверсивний лічильник 13 закритий для лічильних імпульсів (режим стробування лічильника).

В момент заповнення неререверсивного лічильника 12 формувачем імпульсів 11 по перепаду напруги на виході лічильника утворюється короткий імпульс, який як тактовий поступає на вхід блока керування 17. З приходом другого тактового імпульсу по сигналу блока керування 17 з п'ятого виходу на реверсивний лічильник імпульсів 13 поступає команда "відлік" і реверсивний лічильник імпульсів 13 починає лічити і накопичувати імпульси в режимі їх додавання. При цьому неререверсивний лічильник імпульсів 12 знову починає заповнюватися і по закінченні часу  $\Delta t_2 = \Delta t_1$  видає за допомогою формувача імпульсів 11 черговий тактовий імпульс. З приходом третього тактового імпульсу закінчується відлік імпульсів в реверсивному лічильнику імпульсів 13, в якому накопичилось число імпульсів

$$N_1 = f_0 \Delta t_2 = N_0 f_0 / f_x \quad (5)$$

З першого виходу блока керування 17 поступає команда на перемикання комутаторів 4, 5 і 6, а на реверсивний лічильник імпульсів 13 з шостого виходу - команда "реверс". В протилежному положенні комутаторів в автогенераторі 7 починають генеруватись коливання з частотою  $f_x$ , а в автогенераторі 8 - коливання з частотою  $f_0$ . При цьому на вхід неререверсивного лічильника імпульсів 12 і реверсивного лічильника імпульсів 13 починають поступати імпульси, що слідують тільки з частотою  $f_x$ .

В неререверсивному лічильнику імпульсів 12 здійснюється чергове накопичення імпульсів до повного його заповнення за час, рівний попередньому інтервалу

$$\Delta t_3 = \Delta t_1 \quad (6)$$

За час  $\Delta t_3$  затухають перехідні процеси в автогенераторах 7 і 8, викликані перемиканням ємностей  $C_0$  і  $C_x$  в часозадавальних ланцюгах цих автогенераторів і зникають комутаційні завади. На цьому інтервалі часу відлік імпульсів в реверсивному лічильнику імпульсів 13 не здійснюється (режим стробування лічильника). По заповненню неререверсивного лічильника імпульсів 12 формується четвертий тактовий імпульс, який поступає на вхід блока керування 17. На виході блока керування 17 знову формується команда "відлік", що поступає на керуючий вхід реверсивного лічильника імпульсів 13.

За час  $\Delta t_4 = \Delta t_1$  і в реверсивному лічильнику імпульсів 13 із накопичених імпульсів віднімається число імпульсів

$$N_2 = f_x \Delta t_4 = N_0 \quad (7)$$

Залишок імпульсів в реверсивному лічильнику імпульсів 13 до цього моменту буде

$$N_3 = N_1 - N_2 = N_0 (f_0 / f_x - 1) \quad (8)$$

З приходом п'ятого тактового імпульсу від неререверсивного лічильника імпульсів 12 по сигналу

блока керування 17 зупиняється відлік імпульсів, а комутатори 4, 5 і 6 повертаються в початкове положення. На вхід реверсивного лічильника імпульсів 13 знову поступають імпульси з частотою  $f_0$ , а на вхід неререверсивного лічильника імпульсів 12 продовжують поступати імпульси тільки з частотою  $f_x$ .

По заповненню неререверсивного лічильника імпульсів 12 виробляється шостий тактовий імпульс через часовий інтервал  $\Delta t_5 = \Delta t_1$ . По команді з сьомого виходу блока керування 17 здійснюється подача паралельного двійкового коду, пропорційного кількості імпульсів (8), що залишилися, з кодових виходів реверсивного лічильника імпульсів 13 на адресні входи цифрового елементу пам'яті 14.

До кінця цього інтервалу перехідні процеси в автогенераторах і комутаційні завади в послідовності лічильних імпульсів закінчуються. З приходом сьомого тактового імпульсу через часовий інтервал  $\Delta t_6 = \Delta t_1$  по команді блока керування 17 в реверсивному лічильнику імпульсів 13 починається новий відлік імпульсів з одержанням результату згідно виразу (5). В цей час шини даних цифрового елементу пам'яті 14 по команді з восьмого виходу блока керування 17 на дешифратор 15 підключаються до цифрового індикатора 16, де відображується результат виміру. На цьому цикл виміру закінчується.

З моменту приходу п'ятого тактового імпульсу фактично починається новий цикл вимірювання з режиму стробування реверсивного лічильника імпульсів 13, який продовжується під час послідовних семи тактових імпульсів. При цьому результат попереднього циклу індикуюється на цифровому індикаторі 16.

Код залишку імпульсів (8) з урахуванням значення частот (2) і (3) має вигляд

$$N_3 = N_0 (f_0 - f_x) / f_x = N_0 (C_x - C_0) / (C + C_0) = N_0 \Delta C / (C + C_0) \quad (9)$$

Із співвідношення (9) видно, що результат виміру пропорційний відносній зміні ємності робочої камери 2 диференційного датчика 1.

Так як зміни ємності робочої камери 2 диференційного датчика 1 відносно повітряного середовища компенсаційної камери 3 диференційного датчика 1 визначається діелектричною проникливістю досліджуваного матеріалу, то індикований код

$$N'_3 = N_0 C_0 (\epsilon - 1) / (C + C_0) \quad (10)$$

В випадку коли ємність пустої камери диференційного датчика більше ємності конденсатора часозадавального ланцюга автогенератора ( $C_0 \gg C$ ), маємо

$$N'_3 = (\epsilon - 1) N_0 \quad (11)$$

тобто результат виміру пропорційний діелектричній проникливості.

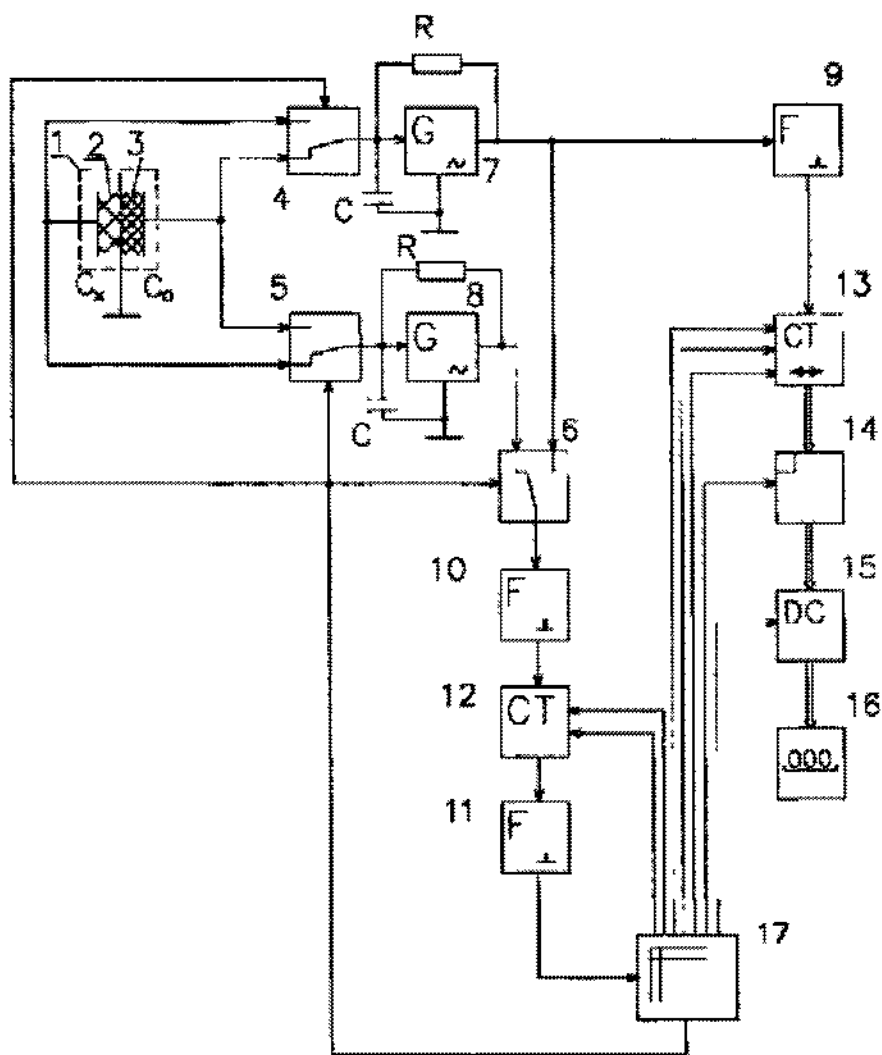
Як видно із виразів (10) і (11) цифровий результат виміру  $N_3$  не залежить від таких нестабільних величин як параметри мікросхем автогенераторів, джерел живлення, опорів часозадавальних ланцюгів. Вміст комірок пам'яті для відповідних кодів на адресних шинах цифрового елементу пам'яті заповнюється в процесі настройки одноканального вимірювача числами, які характеризують

стан і властивості контролюємого матеріалу. Це дозволяє виразити результат безпосередньо в вимірюваних фізичних величинах, пропускаючи стадію обчислення цих величин по значенням діелектричної проникливості досліджуємого матеріалу.

Розглянутий одноканальний вимірювач параметрів диференційних датчиків дозволяє виявляти зміни в діелектричній проникливості твердих, рідких і газових середовищ в третьому знаку після

коми, що дає можливість контролювати вологість матеріалів або ступінь забруднення або їх розбавлення, а також фіксувати наявність чужорідних включень (осад і т.п.)

В залежності від конструкції диференційного датчика по відносним змінам ( $\Delta C/C$ ,  $\Delta L/L$ , або  $\Delta R/R$ ) можливо вимірювати також малі переміщення, деформації пружних елементів, параметри руху об'єктів і т.д.



Фиг.