



УКРАЇНА

(19) UA (11) 37837 (13) A

(51) 7 G01N27/06

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) АВТОГЕНЕРАТОРНИЙ ВИМІРЮВАЧ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОНИКЛИВОСТІ

(21) 2000042292

(22) 21.04.2000

(24) 15.05.2001

(33) UA

(46) 15.05.2001, Бюл. № 4, 2001 р.

(72) Скрипник Юрій Олексійович, Каламєєць Тетяна Петрівна

(73) Київський державний університет технологій та дизайну

(57) Автогенераторний вимірювач діелектричної проникливості, який містить у собі перший та другий автогенератори з RC часозадавальними ланцюгами, перший комутатор, входи якого з'єднані з високопотенційними електродами вимірювального і опорного ємнісних датчиків, розміщених на одній діелектричній підложці, вихід першого комутатора з'єднаний з високопотенційним електродом конденсатора часозадавального ланцюга першого автогенератора, змішувач, входи якого з'єднані з виходами першого і другого автогенераторів, до виходу змішувача підключені послідовно з'єднані смуговий фільтр і підсилювач-обмежувач, інтегратор і індикатор, який **відрізняється** тим, що дода-

тково введені другий комутатор, входи якого з'єднані з протилежними входами першого комутатора, вихід другого комутатора з'єднаний з низькопотенційними електродами вимірювального і опорного датчиків і заземлений, послідовно з'єднані диференціюючий елемент і формувач однополярних імпульсів, третій та четвертий комутатори, при цьому їх протилежні входи з'єднані між собою і підключені до симетричних виходів формувача однополярних імпульсів, виходи третього та четвертого комутаторів з'єднані з входами інтегратора, а вхід диференціюючого елемента підключений до виходу підсилювача-обмежувача, фільтр нижніх частот і несиметричний мультивібратор, в часозадавальний ланцюг якого включений варикап, керуючий електрод якого через фільтр нижніх частот з'єднаний з виходом інтегратора, перший вихід несиметричного мультивібратора з'єднаний з керуючими входами першого і другого комутаторів, а другий вихід з'єднаний з керуючими входами третього і четвертого комутаторів, і амплітудний обмежувач, включений між плечима несиметричного мультивібратора і індикатором.

Винахід відноситься до вимірювальної техніки і може бути застосований для вимірювання діелектричних характеристик різноманітних матеріалів при односторонньому доступі до об'єкту контролю.

Відомий автогенераторний вимірювач діелектричної проникливості (див.: Патент США № 4048844, Кл. 324-71, 1977), який містить у собі вимірювальний автогенератор з ємнісним датчиком в його часозадавальному ланцюзі, опорний автогенератор, змішувач, смуговий фільтр, підсилювач-обмежувач, диференціюючий елемент, імпульсний обмежувач, імпульсний генератор, інтегратор, схему компенсації температури з термодатчиком, а також включений в ланцюг зворотного зв'язку вимірювального автогенератора компенсатор змін частоти.

Через неминучий дрейф частот вимірювального та опорного автогенераторів під впливом зовнішніх дій виникає велика адитивна похибка (похибка нуля), яка не дозволяє вимірювати малі зміни діелектричної проникливості ємнісного датчика. Пасивна компенсація змін частоти автогенератора, що використовується в схемі вимірювача, ма-

лоєфективна і потребує періодичного підстроювання.

Відомий автогенераторний вимірювач діелектричної проникливості (див.: А.с. СРСР № 858634, кл. G01R27/26, 1980), який містить у собі два автогенератори - вимірювальний з ємнісним датчиком в резонансному контурі та опорний, підключений до їх виходів змішувач, до виходу якого послідовно підключені смуговий фільтр, амплітудний обмежувач, смуговий підсилювач, амплітудний детектор, вибіркового підсилювач частоти комутації, синхронний детектор і індикатор, а також комутатор, багатна ємність, яка підключена паралельно резонансному контуру опорного автогенератора через контакти комутатора, виконуючий механізм, вхід якого через вимикач з'єднаний з виходом синхронного детектора, а вихід діє на підстроювальний елемент резонансного контура вимірювального автогенератора, і комутаційний генератор, вихід якого з'єднаний з опорним входом синхронного детектора і з керуючим входом комутатора.

Після замикаання оператором вимикача виконуючий механізм діє на підстроювальний елемент

(19) UA (11) 37837 (13) A

резонансного контура, завдяки чому коригується дрейф нуля вимірювача по різницевій частоті. Але в режимі вимірювання, коли вимикач розімкнено, з'являється дрейф нуля через поточну нестабільність частот вимірювального і опорного автогенераторів.

Відомий також автогенераторний вимірювач діелектричної проникливості за Ас. СРСР № 938202, кл. G01R27/26, 1980, який містить у собі перший та другий автогенератори з RC часозадавальними ланцюгами, перший комутатор, входи якого з'єднані з високопотенційними елементами вимірювального і опорного ємнісних датчиків, розміщених на одній діелектричній підложці, вихід першого комутатора з'єднаний з високопотенційним електродам конденсатора часозадавального ланцюга першого автогенератора, змішувач, входи якого з'єднані з виходами першого і другого автогенераторів, до виходу змішувача підключені послідовно з'єднані смуговий фільтр і підсилювач-обмежувач, інтегратор і індикатор. Крім того, відомий вимірювач містить послідовно з'єднані частотний детектор, амплітудний детектор, низькочастотний підсилювач і синхронний детектор, вихід якого з'єднаний з входом індикатора, переривачі, генератор синхросигналу, вихід якого з'єднаний з керуючим входом першого переривача і входом подільника частоти, з'єданого виходом з керуючими входами синхронного детектора і комутатора і другого переривача, який включений між інтегратором і другим синхронним детектором, що керується саме від генератора синхросигналу.

Завдяки автоматичному підстроюванню частоти другого автогенератора виключається дрейф нуля вимірювача по різницевій частоті. Але нестабільність чуттєвості перетворення ємності датчиків в частоту автогенератора, а також вплив непостійності геометричних розмірів ємнісних датчиків і їх неідентичність не дозволяють забезпечити високу точність вимірювання діелектричної проникливості.

В основу винаходу покладена задача створення такого автогенераторного вимірювача діелектричної проникливості, в якому введення нових елементів і зв'язків дозволило б виключити вплив неідентичності і непостійності параметрів ємнісних датчиків і чуттєвості частотного перетворення на рівняння вимірювального перетворення, що підвищить точність вимірювання діелектричної проникливості при односторонньому доступі до об'єкта, який контролюється.

Поставлена задача вирішується тим, що в автогенераторний вимірювач діелектричної проникливості, який містить у собі перший та другий автогенератори з RC часозадавальними ланцюгами, перший комутатор, входи якого з'єднані з високопотенційними електродами вимірювального і опорного ємнісних датчиків, розміщених на одній діелектричній підложці, вихід першого комутатора з'єднаний з високопотенційним електродам конденсатора часозадавального ланцюга першого автогенератора, змішувач, входи якого з'єднані з виходами першого і другого автогенераторів, до виходу змішувача підключені послідовно з'єднані смуговий фільтр і підсилювач-обмежувач, інтегратор і індикатор, згідно з винаходом, введені другий комутатор, входи якого з'єднані з протилежними

входами першого комутатора, вихід другого комутатора з'єднаний з низькопотенційними електродами вимірювального і опорного датчиків і заземлений, послідовно з'єднані диференціюючий елемент і формувач однополярних імпульсів, третій та четвертий комутатори, при цьому їх протилежні входи з'єднані між собою і підключені до симетричних виходів формувача однополярних імпульсів, виходи третього та четвертого комутаторів з'єднані з входами інтегратора, а вхід диференціюючого елемента підключений до виходу підсилювача-обмежувача, фільтр нижніх частот і несиметричний мултивібратор, в часозадавальний ланцюг якого включений варикап, керуючий електрод якого через фільтр нижніх частот з'єднаний з виходом інтегратора, перший вихід несиметричного мултивібратора з'єднаний з керуючими входами першого і другого комутаторів, а другий вихід з'єднаний з керуючими входами третього і четвертого комутаторів, і амплітудний обмежувач, включений між плечима несиметричного мултивібратора і індикатором.

Саме введення в схему автогенераторного вимірювача додатково трьох комутаторів, керованого несиметричного мултивібратора, вихідні напруги якого керують роботою першого і другого та третього і четвертого комутаторів, диференціюючого елемента і формувача однополярних імпульсів, якими заряджується інтегратор при періодичних змінах полярності заряджуваних імпульсів, зв'язки виходу інтегратора через введений фільтр нижніх частот з варикапом в часозадавальному ланцюзі несиметричного мултивібратора дозволило забезпечити пропорційну залежність між показаннями індикатора і діелектричною проникливістю об'єкта незалежно від параметрів ємнісних датчиків і нестабільністю чуттєвості автогенераторного частотного перетворювача, що підвищує точність виміру діелектричної проникливості.

На фігурі зображена функціональна схема автогенераторного вимірювача діелектричної проникливості.

Вимірювач містить у собі перший та другий автогенератори 1 і 2 з RC часозадавальними ланцюгами, перший 3, другий 4, третій 5 і четвертий 6 комутатори, відповідно, опорний ємнісний датчик 7 з високопотенційним електродам 8 і низькопотенційним електродам 9, виконані на діелектричній підложці 10, змішувач 11, смуговий фільтр 12, підсилювач-обмежувач 13, диференціюючий елемент 14, формувач однополярних імпульсів 15, інтегратор 16, фільтр нижніх частот 17, несиметричний мултивібратор 18, в RC часозадавальний ланцюг якого включений варикап 19, амплітудний обмежувач 20, індикатор 21. Позицією 22 позначено діелектричний матеріал, що контролюється. На діелектричній підложці 10 розташовані також вимірювальний ємнісний датчик 23 з високопотенційним електродам 24 і низькопотенційним електродам 25. RC часозадавальний ланцюг першого автогенератора 1 позначений позиціями 26 і 27, RC часозадавальний ланцюг другого автогенератора 2 позначений позиціями 28 і 29, RC часозадавальний ланцюг мултивібратора 18 позначений позиціями 30 і 31.

Паралельно ємності C_1 автогенератора 1 через комутатори 3 і 4, протилежні входи яких з'єднані між собою, підключається опорний ємнісний датчик 7 з електродною системою 8-9 або вимірювальний ємнісний датчик 23 з електродною системою 24-25 залежно від положення контактів комутаторів. Виходи автогенераторів 1 і 2 з'єднані зі входами змішувача 11, до виходу якого підключені послідовно з'єднані смуговий фільтр 12, підсилювач-обмежувач 13, диференціюючий елемент 14 і формувач однополярних імпульсів 15. Протилежні входи комутаторів 5 і 6 з'єднані між собою. Симетричні виходи формувача імпульсів з'єднані через виходи комутаторів 5 і 6 з входами інтегратора 16, виходом підключеного через фільтр нижніх частот 17 до варикапа 19 несиметричного мультівібратора 18. Перший вихід несиметричного мультівібратора з'єднаний з керуючими входами комутаторів 3 і 4, другий вихід з'єднаний з керуючими входами комутаторів 5 і 6. До виходів несиметричного мультівібратора 18 через амплітудний обмежувач 20 підключений індикатор 21.

Автогенераторний вимірювач працює таким чином.

При вказаному положенні контактів комутаторів 3 і 4 напруга, що виробляється високочастотним автогенератором 1, утворює змінне електричне поле, яке за допомогою електродів 24 і 25 зондує контрольований матеріал 22. При цьому вископотенційний електрод 8 заземлений, як і кільцеві низькопотенційні електроди 9 і 25, що виключає зондування середовища (повітря) на протилежній стороні підложки 10. Але при цьому утворюється електричне поле всередині діелектричної підложки. В результаті цього результуючу ємність часозадавального ланцюга автогенератора 1 можна представити в вигляді суми ємностей:

$$C'_1 = C_1 + C_X + C_n, \quad (1)$$

де C_X - ємність, що визначається геометрією зовнішнього електричного поля датчика і діелектричною проникливістю ϵ_X матеріалу 22, C_n - ємність, що визначається геометрією внутрішнього електричного поля датчика і діелектричною проникливістю ϵ_n підложки, C_1 - ємність конденсатора часозадавального ланцюга.

Частота релаксаційних коливань, які генеруються автогенератором 1, визначається опором R_1 і сумарною ємністю C'_1 часозадавального ланцюга:

$$f'_1 = \frac{S_1}{R_1(C_1 + C_X + C_n)} \quad (2)$$

де S_1 - чутливість автогенератора 1, що визначається параметрами електричної схеми і напругою живлення.

В протилежному положенні контактів комутаторів 3 і 4 вископотенційний електрод 24 датчика заземлюється, а вископотенційний електрод 8 підключається до схеми автогенератора 1.

Сумарна ємність часозадавального ланцюга змінюється і приймає значення:

$$C''_1 = C_1 + C_0 + C_n, \quad (3)$$

де C_0 - ємність, що визначається геометрією зовнішнього електричного поля і діелектричною проникливістю повітря.

Ємність, що визначається внутрішнім електричним полем, залишається такою ж, так як його

геометрія при перемиканні електродів не змінюється.

Частота релаксаційних коливань автогенератора 1 приймає значення:

$$f''_1 = \frac{S_1}{R_1(C_1 + C_0 + C_n)} \quad (4)$$

Частота релаксаційних коливань високочастотного автогенератора 2 задається параметрами R_2 і C_2 його часозадавального ланцюга:

$$f_1 = \frac{S_2}{R_2 C_2}, \quad (5)$$

де S_2 - чутливість автогенератора 2.

В результаті змішування коливань автогенераторів 1 і 2 в змішувачі 11 утворюються низькочастотні коливання різницевої частоти, які виділяються смуговим фільтром 12. В один такт комутації різницева частота:

$$f_p = f'_1 - f_2, \quad (6)$$

а в другий такт комутації:

$$f''_p = f''_1 - f_2, \quad (7)$$

Коливання різницевої частоти f_p і f''_p по чергову перетворюються в прямокутні напруги підсилювачем-обмежувачем 13. Із прямокутних напруг після диференціювання в елементі 14 формуються короткі імпульси, які збуджують, наприклад, одновібратор, що входить в формувач 15 однополярних прямокутних імпульсів з амплітудою U_m і тривалістю τ . Частота слідування імпульсів визначається відповідно різницеви частотами.

Комутатори 5 і 6 працюють синхронно з комутаторами 3 і 4, так як керуються прямокутними напругами одного мультівібратора 18. При одному положенні комутаторів 5 і 6 починається заряд інтегратора 16 однополярними імпульсами за час t_1 . Напруга на виході інтегратора зростає до значення:

$$U_1 = k U_m \tau f_p t_1, \quad (8)$$

де k - масштабний коефіцієнт інтегратора 16.

При протилежному положенні комутаторів 5 і 6 змінюється полярність імпульсів, що поступають на вхід, і починається розряд інтегратора 16 за час t_2 . До кінця часу розряду напруга на виході інтегратора зменшується до значення:

$$U_2 = k U_m \tau f_p t_1 - k U_m \tau f_p t_2 \quad (9)$$

В результаті періодичної роботи комутаторів 3, 4 і 5, 6 діє циклічний заряд-розряд інтегратора 16. Різницева напруга, яка зростає при безперервній роботі комутаторів, виділяється фільтром нижніх частот 17 і діє на керуючий електрод варикапа 19, включеного в часозадавальний ланцюг мультівібратора 18. В результаті змінюється ємність варикапа 19 і, як наслідок, співвідношення часових інтервалів t_1 і t_2 мультівібратора 18:

$$T = t_1 + t_2 = \text{const}, \quad (10)$$

де $F = \frac{1}{T}$ - частота перемикань несиметричного мультівібратора 18.

Процес регулювання співвідношень часових інтервалів продовжується до тих пір, поки постійна складова вихідної напруги інтегратора 16 після перезарядки не наблизиться до нуля. Нехтуючи статизмом замкнутої системи автоматичного регулювання несиметрії ($t_1 \neq t_2$), отримаємо:

$$f_p t_1 = f''_p t_2, \quad (11)$$

Звідки співвідношення різницеви частот:

$$\frac{f_p'}{f_p''} = \frac{t_2}{t_1}. \quad (12)$$

На індикатор 21 поступає знакозмінна напруга з протилежних виходів мультівібратора 18 через амплітудний обмежувач 20. Якщо рівень обмеження U_0 , то напруга, що вимірюється індикатором 21, пропорційна різниці напруг додатної і від'ємної полярності:

$$U_3 = U_0 \frac{t_1}{T} - U_0 \frac{t_2}{T} = U_0 \frac{t_1 - t_2}{t_1 + t_2}. \quad (13)$$

При малих значеннях діелектричної проникливості, що властиво більшості твердих діелектриків, частоти f_1 і f_2 близькі, а значить, близькі і різниці частот f_p' і f_p'' . Тому і часові інтервали t_1 і t_2 близькі по значенню і можна прийняти:

$$t_1 + t_2 \approx 2t_1. \quad (14)$$

Тоді з урахуванням співвідношення (14) напругу (13) можна представити в вигляді:

$$U_3 = \frac{U_0}{2} \frac{t_1 - t_2}{t_1} = \frac{U_0}{2} \left(1 - \frac{t_2}{t_1} \right). \quad (15)$$

Підставляючи у вираз (15) відношення часових інтервалів (12), отримуємо:

$$U_3 = \frac{U_0}{2} \left(1 - \frac{f_p'}{f_p''} \right) = \frac{U_0}{2} \frac{f_p'' - f_p'}{f_p''}. \quad (16)$$

Якщо підставити в (16) значення частот з виразів (6) і (7), то маємо:

$$U_3 = \frac{U_0 S_1}{2R_1} \frac{1}{\frac{C_1 + C_0 + C_n}{S_1} - \frac{1}{\frac{C_1 + C_x + C_n}{S_2}}} = \frac{U_0 S_1}{2R_1} \frac{S_1}{R_1(C_1 + C_0 + C_n)} - \frac{S_2}{R_2 C_2} \quad (17)$$

При вимірюванні малих значень діелектричної проникливості ($\epsilon_x = 1 \dots 5$) у знаменнику виразу (17) можна прийняти $C_x \approx C_0$. Тоді вираз набере простішого вигляду:

$$U_3 = \frac{\frac{U_0 S_1}{2R_1} \frac{(C_x - C_0)}{(C_1 + C_0 + C_n)^2}}{\frac{S_1}{R_1(C_1 + C_0 + C_n)} - \frac{S_2}{R_2 C_2}} \quad (18)$$

Частоту автогенератора 2 вибираємо з умови:

$$R_2 = R_1, C_2 = C_1 + C_n + 2C_0. \quad (19)$$

Враховуючи, що автогенератори 1 і 2 однотипні ($S_1 = S_2$), отримуємо:

$$U_3 = \frac{U_0}{2} \frac{\frac{(C_x - C_0)}{(C_1 + C_0 + C_n)^2}}{\frac{C_0}{(C_1 + C_0 + C_n)(C_1 + 2C_0 + C_n)}} \quad (20)$$

Вважаючи, що добуток

$$(C_1 + C_0 + C_n)(C_1 + 2C_0 + C_n) \approx (C_1 + C_0 + C_n)^2,$$

нарешті отримаємо:

$$U_3 = \frac{U_0}{2} \frac{(C_x - C_0)}{C_0}. \quad (21)$$

Так як геометричні розміри електродних систем 8-9 і 24-25 однакові, то відношення ємностей дорівнює відношенню діелектричних проникливостей середовищ, що зондуються, тобто напруга:

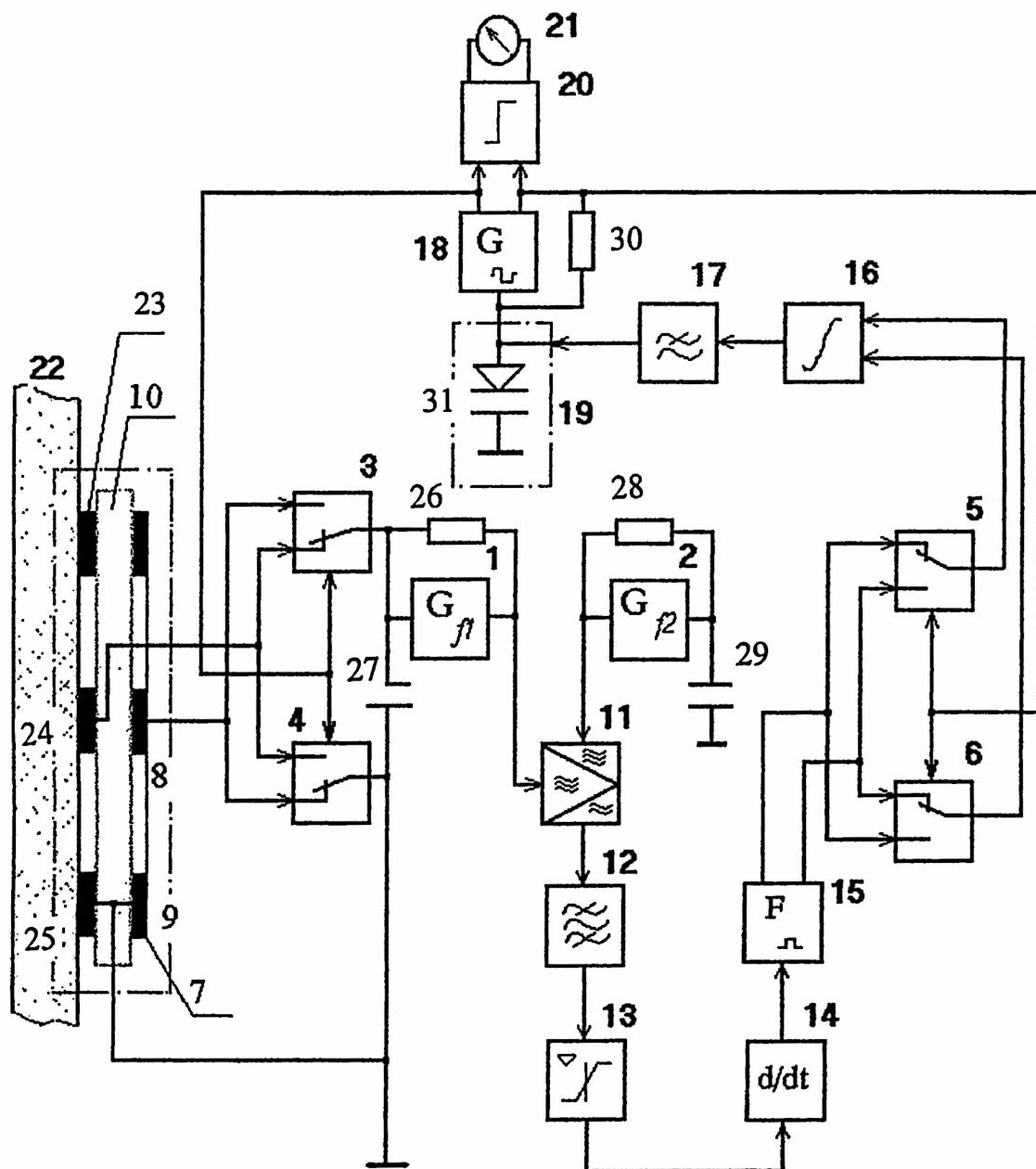
$$U_3 = \frac{U_0(\epsilon_x - \epsilon_0)}{2\epsilon_0} = \frac{U_0}{2}(\epsilon_x - 1). \quad (22)$$

Таким чином, при $U_0 = \text{const}$ показники індикатора 21 пропорційні тільки діелектричній проникливості об'єкта або середовища, що контролюється.

В рівняння вимірювального перетворення (22) не входять геометричні розміри накладних ємнісних датчиків, параметри діелектричної підложки, чутливість високочастотних автогенераторів і початкові частоти цих автогенераторів. Не впливає на результат перетворення і нестабільність амплітуди і тривалості заряджувачих імпульсів, масштабного коефіцієнта інтегратора, коефіцієнта передачі фільтра нижніх частот, крутизни перетворення керуючої напруги в змінну ємності варикапа і т.ін.

Завдяки вказаним схемним відмінностям запропонованого вимірювача від прототипу досягнуто суттєве підвищення точності вимірювання діелектричної проникливості в широкому діапазоні змін факторів, що впливають, в тому числі і температури.

Дослідження показали, що розглянутий автогенераторний вимірювач ефективний для контролю якості ряду діелектриків (поліетилену, поліпропілену, полістиролу, капрону, нейлону та ін.), а також корисний для контролю остаточної вологості в висушеній деревині, шкірі, папері, в різноманітних електроізоляційних пластмасах і компаундах. Діапазон вимірювання по діелектричній проникливості 1...5, відносна похибка вимірювання не перевищує $\pm 0,5\%$. При початковій частоті автогенераторів в діапазоні 0,1...10 МГц частота комутації вибирається в проміжку 10...25 Гц. Як комутатори доцільно використовувати магнітокеровані реле (геркони).



Фіг.

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
 Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
 (044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2001 р. Формат 60x84 1/8.
 Обсяг _____ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.
 (044) 268-25-22