

Передбачуваний винахід відноситься до контрольно-виміральної техніки і може бути використаний для контролю параметрів напівпровідникових приладів.

Відомий пристрій для виміру ємності (Ас. СРСР №1465821, G01R27/26), що містить генератор, у частотно-залежний ланцюг якого послідовно включені ключ і затиски для підключення об'єкта виміру, а вихід генератора через формувач імпульсів з'єднаний із входом вимірника періоду, перший і другий елементи І, електронна обчислювальна машина, блок сполучення, постійний запам'ятовуючий блок, вихідний регістр, джерело напруги зсуву, регістр зсуву, цифро-аналоговий перетворювач, зразковий варикап, перший і другий елементи розв'язки, другий ключ і тригер, причому вихід тригера з'єднаний із входом блоку сполучення і керуючими входами першого і другого ключів, при цьому рухливий контакт другого ключа через елемент розв'язки з'єднаний зі зразковим варикапом, включеним у частотно-задаючий ланцюг генератора, один нерухомих контакт другого ключа з'єднаний з виходом джерела напруги зсуву, а інший - з виходом цифро-аналогового перетворювача і через другий елемент розв'язки для підключення об'єкта виміру - із затискачем, а вхід цифро-аналогового перетворювача з'єднаний з виходом регістра зсуву, інформаційний вхід якого з'єднаний з четвертим виходом блоку сполучення й інформаційним входом вихідного регістра, а інший вхід регістра зсуву з'єднаний з виходом другого блоку І, один вхід якого з'єднаний із третім виходом блоку сполучення, а інший вхід - із другим виходом блоку сполучення і входом першого блоку І, вихід якого з'єднаний із другим входом вихідного регістра, а інший вхід першого блоку І з'єднаний з першим виходом блоку сполучення, вихід вимірника періоду з'єднаний з інформаційним входом блоку сполучення, шостий вихід якого з'єднаний із запускаючим входом вимірника періоду, крім того, блок сполучення з'єднаний через канал колективного користування з електронною обчислювальною машиною і постійним запам'ятовуючим блоком, один вхід тригера з'єднаний з п'ятим виходом блоку сполучення, а інший його вхід - із шиною сигналу «Пуск».

До недоліків пристрою варто віднести складність - пристрій вимірює ємність на основі частотного методу, що вимагає спеціалізованого перетворювача ємність-частота й обчислювальний пристрій з високою дозволяючою спроможністю, оскільки в обмірюваній частоті міститься інформація про власну ємність перетворювача, виділити яку вдається тільки при математичній обробці обмірюваного сигналу. Це створює складності особливо при виміру малих (нижче 10пф) рівнях ємності. Наявність ЕОМ і спеціалізованого програмного забезпечення істотно ускладнили побудову розглянутого вимірника ємності.

Найбільш близьким по своїй технічній суті до пропонованого пристрою є пристрій для розбраковування варикапів по ємнісних параметрах і добротності (Ас. СРСР 1367700 G01R27/26 - прототип), що містить множно-ділильний блок, вимірювальний контур, вхід якого з'єднаний з виходом блоку завдання режиму і генератора високої частоти, керуючий вхід якого з'єднаний з виходом джерела напруги, що змінюється, а вихід через підсилювач високої частоти з входом детектора, перетворювач ємності в напругу, цифро-аналоговий перетворювач, лічильник імпульсів, регістр зсуву, два керованих підсилювачі, аналоговий суматор, чотири граничних блоки, п'ять тригерів, блок вирахування, два елементи затримки, два елементи І, при цьому вихід перетворювача ємності в напругу з'єднаний з аналоговим входом цифро-аналогового перетворювача і входом другого граничного блоку, цифровий вхід цифро-аналогового перетворювача з'єднаний з виходом лічильника імпульсів і входом регістра зсуву, вхід лічильника імпульсів через елемент І з'єднаний з виходом генератора імпульсів, а вихід регістра зсуву з'єднаний з керуючими входами двох керованих підсилювачів, вхід першого керованого підсилювача з'єднаний із клемою опорного сигналу, а його вихід з'єднаний з одним із входів аналогового суматора, інший вхід якого з'єднаний із клемою другого опорного сигналу, а вихід суматора з'єднаний із входом блоку вирахування і другого керованого підсилювача, вихід якого з'єднаний із входом множно-ділильного блоку, інший вхід якого з'єднаний з виходом блоку вирахування, а третій вхід - з виходом детектора й іншим входом блоку вирахування, вихід множно-ділильного блоку через перший граничний блок з'єднаний з рахунковим входом першого тригера, вихід цифро-аналогового перетворювача з'єднаний із входами третього і четвертого граничних блоків, виходи другого і третього граничних блоків з'єднані з інформаційними входами другого і третього тригерів відповідно, рахунковий вхід другого тригера з'єднаний з інформаційним входом першого тригера і виходом четвертого тригера, що інвертує, і другим входом елемента І, прямої вихід четвертого тригера з'єднаний із входом другого елемента І, інший вхід якого з'єднаний з виходом п'ятого тригера і входом скидання четвертого тригера, а вихід другого елемента І з'єднаний з керуючим входом перетворювача ємності в напругу і з входом елемента затримки, вихід якого з'єднаний із входом п'ятого тригера, з тактовим входом регістра зсуву і рахунковим входом третього тригера, інший вхід п'ятого тригера через другу схему затримки з'єднаний із шиною «Пуск», входами скидання лічильника імпульсів, першого, другого і третього тригерів, вихід четвертого граничного блоку з'єднаний з настановним входом четвертого тригера.

До недоліків пристрою варто віднести невисоку точність і дозволяючу спроможність при виміру ємності. Схема прототипу використовує метод ємкісно-омічного дільника, утвореного вимірюваним конденсатором і струмоз'ємним резистором. При досить малому значенні резистора струм дільника, а отже, і напруга на резисторі пропорційні вимірюваній ємності. У зв'язку з нелінійністю об'єкта виміру, величина високочастотної напруги на ньому обмежується десятками мілівольтів. Для обмеження методичної погрішності виміру спадання напруги на струмоз'ємному резисторі повинно бути на порядок менше (див. вимоги ДСТ 18986.4 - 73. Діоди полупроводниковые. Методы измерения емкости.), через що вимірюваний сигнал має потребу в значному (близько 1000 разів) посиленні, що приводить до нестабільності сигналу і появи в ньому значної шумової складової. Спроба збільшити значення сигналу, що знімається з дільника, за рахунок збільшення струмоз'ємного резистора приводить до збільшення методичної погрішності виміру.

Задачею винаходу є створення пристрою для виміру ємності варикапів, у якому за рахунок конструктивних особливостей можливо було б одержати збільшення точності при виміру ємності.

Поставлена задача вирішується тим, що пристрій для виміру ємності містить генератор високої частоти, що через розділовий конденсатор з'єднаний з виходом блоку завдання режиму, послідовно з'єднані підсилювач і детектор, вихід якого підключений до аналогового входу цифро-аналогового перетворювача, цифровий вхід якого з'єднаний з виходом лічильника імпульсів, скидний вхід якого з'єднаний із шиною «Пуск», резистор, клеми для підключення досліджуваного конденсатора, два тригери, генератор імпульсів, блок затримки, дві клеми для

підключення опорних напруг, блок вирахування, два керованих підсилювачі, цифрові входи яких з'єднані паралельно, два керованих підсилювачі, другий лічильник імпульсів, два тривходові блоки збігу, два блоки порівняння, третя клемма для підключення опорної напруги, формувач імпульсів, при цьому вихід блока завдання режиму через резистор з'єднаний із входом детектора і з першою клеммою для підключення досліджуваного конденсатора, друга клемма для підключення якого з'єднана з загальною шиною; перший вхід першого блока порівняння з'єднаний з першою клеммою опорної напруги, вихід цифро-аналогового перетворювача - із другим входом першого блока порівняння і через послідовно з'єднані перший і другий керовані підсилювачі - з першим входом блока вирахування, другий вхід якого з'єднаний із другою клеммою опорної напруги, а вихід - через послідовно з'єднані третій і четвертий аналогові підсилювачі - з першим входом другого блока порівняння, другий вхід якого з'єднаний із третьою клеммою опорної напруги, а вихід - зі скидним входом першого тригера і першим входом першого блока збігу, другий вхід якого підключений до виходу першого тригера, а вихід - до тактового входу другого лічильника, скидний вхід якого з'єднаний із шиною «Пуск» і настановним входом другого тригера, а вихід - з цифровими входами третього і четвертого керованих підсилювачів; настановний вхід першого тригера з'єднаний зі скидним входом другого тригера і з виходом формувача імпульсів, вхід якого з'єднаний з виходом першого блоку порівняння і першим входом другого блока збігу, другий вхід якого разом із третім входом першого блоку збігу підключений до виходу генератора імпульсів, а вихід - до тактового входу першого лічильника, вихід другого тригера через блок затримки з'єднаний із третім входом другого блока збігу, цифрові входи цифро-аналогового перетворювача, першого і другого керованих підсилювачів з'єднані паралельно, виходом пристрою є вихід третього керованого підсилювача.

Порівняльний аналіз із прототипом показує, що пристрій, що заявляється, відрізняється тим, що в схему додатково введені нові блоки: два керованих підсилювачі, другий лічильник імпульсів, два тривходові блоки збігу, два блоки порівняння, третя клемма для підключення опорної напруги, формувач імпульсів і їхні зв'язки між собою й іншими елементами схеми, що дозволило поліпшити співвідношення сигнал-шум у вимірювальному сигналі і виключити методичну погрешність виміру ємності, тим самим підвищити точність пристрою.

На малюнку представлена схема пропонованого пристрою. Вона містить блок 1 завдання режиму, розділовий конденсатор 2, генератор 3 високої частоти, резистор 4, вимірювальні клеми 5 і 6 досліджуваного конденсатора, підсилювач 7, детектор 8, цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) 9, клеми 10, 15 і 22 для підключення опорних напруг, два блоки 11 і 21 порівняння, керовані підсилювачі 12, 13, 19 і 20, блок 14 вирахування, лічильники 16 і 25 імпульсів, генератор 17 імпульсів, два тривходові блоки 18 і 24 збігу, блок 23 затримки, формувач 26 імпульсів, тригера 27 і 28.

Резистор 4 разом з досліджуваним конденсатором утворюють омично-ємнісний дільник. Значення резистора вибирають таким, щоб напруга на ньому і випробуваному конденсаторі були порівнянні, тобто напруга, що знімається, з дільника приблизно на порядок більше, ніж у прототипі.

Цифро-аналоговий перетворювач 9 і керовані підсилювачі 12, 13, 19 і 20 можуть бути зібрані на основі множачих цифро-аналогових перетворювачів, коефіцієнти передачі яких визначаються кодами, що знаходяться в лічильниках 16 і 25 відповідно. При цьому повинно дотримуватися неодмінної умови: коефіцієнти передачі цифро-аналогового перетворювача 9 і підсилювачів 12 і 13 повинні бути рівні між собою. Аналогічна вимога у відношенні рівності коефіцієнтів передачі поширюється і на керовані підсилювачі 19 і 20.

Генератор 3 високої частоти через розділовий конденсатор 2 з'єднаний з виходом блока 1 завдання режиму і через резистор 4 і послідовно з'єднані підсилювач 7 і детектор 8 - з аналоговим входом цифро-аналогового перетворювача 9. Цифровий вхід перетворювача з'єднаний з виходом лічильника 16 імпульсів, скидний вхід лічильника - із шиною «Пуск». Вхід детектора 7 з'єднаний з першою клеммою 5 для підключення досліджуваного конденсатора, друга клемма 6 з'єднана з загальною шиною. Перший вхід першого блока 11 порівняння з'єднаний з першою клеммою 10 опорної напруги, вихід цифро-аналогового перетворювача 9 - із другим входом першого блока 11 порівняння і через послідовно з'єднані перший 12 і другий 13 керовані підсилювачі - з першим входом блоку 14 вирахування. Другий вхід блока вирахування з'єднаний із другою клеммою 15 опорної напруги, а вихід - через послідовно з'єднані третій 19 і четвертий 20 аналогові підсилювачі - з першим входом другого блока 21 порівняння. Другий вхід блока 21 з'єднаний із третьою клеммою 22 опорної напруги, а вихід - зі скидним входом першого тригера 28 і першим входом першого блока 24 збігу, другий вхід якого підключений до виходу першого тригера 28, а вихід - до тактового входу другого лічильника 25. Скидний вхід цього лічильника з'єднаний із шиною «Пуск» і настановним входом другого тригера 27, а вихід - з цифровими входами третього 19 і четвертого 20 керованих підсилювачів. Настановний вхід першого тригера 28 з'єднаний зі скидним входом другого тригера 27 і з виходом формувача 26 імпульсів, вхід якого з'єднаний з виходом першого блоку 11 порівняння і першим входом другого блока 18 збігу. Другий вхід блока 18 разом із третім входом першого блока 24 збігу підключений до виходу генератора 17 імпульсів, а вихід - до тактового входу першого лічильника 16. Вихід другого тригера 27 через блок 26 затримки з'єднаний із третім входом другого блока 24 збігу, цифрові входи цифро-аналогового перетворювача 9, першого 12 і другого 13 керованих підсилювачів з'єднані паралельно, виходом пристрою є вихід третього керованого підсилювача 19.

У вихідному стані генератор 3 виробляє напругу частоти, при якій вимірюється ємність варикапа, тригера 27 і 28 знаходяться в нульовому стані. Випробуваний варикап разом з резистором 4 утворюють омично-ємнісний дільник, напруга з виходу якого надходить на вхід підсилювача 7. Посилена напруга випрямляється детектором 8. При цьому напруга на вході підсилювача 7 у комплексній формі запису буде дорівнює:

$$U_C = \frac{U_r}{R - \frac{j}{\omega C}} = \frac{U_r(1 - jR\omega C)}{1 + R^2\omega^2 C^2},$$

де U_r - напруга високочастотного генератора,

R - величина резистора,

C - вимірювана ємність,

ω - кругова частота виміру.

Після посилення і детектування даного сигналу на виході амплітудного детектора 8 одержимо

$$U_d = \frac{U_r k_y}{\sqrt{1 + R^2 \omega^2 C^2}}, \quad (1)$$

де k_y - результуючий коефіцієнт підсилення підсилювача 5 і детектора 6.

З приходом імпульсу «Пуск» встановлюється в «І» тригер 27 і обнуляються лічильники 16 і 25, сигнал на виході ЦАП 9, підсилювачів 12, 13, 19 і 20 дорівнює нулю. На виході блоків 11 і 21 порівняння формуються потенціали, що дозволяють проходження тактових імпульсів від генератора 17 імпульсів через блоки 18 і 26 збігу. З затримкою, необхідною для формування зазначених сигналів, і здійснюваною блоком 23 затримки, дозволяється проходження тактових імпульсів від генератора 17 на тактовий вхід лічильника 16. Код у лічильнику 16 росте. Напруга на виході ЦАП 9 збільшується доти, поки не досягне значення опорної напруги, поданого на клему 10. При цьому на виході блока 11 порівняння формується потенціал, що забороняє надходження тактових імпульсів на лічильник 16. У цей момент буде справедлива рівність:

$$U_d k_1 = U_{оп1}, \quad (2)$$

де k_1 - коефіцієнт передачі цифроаналогового перетворювача 9,

$U_{оп1}$ - величина опорної напруги, поданої на клему 10.

Оскільки коефіцієнти передачі цифроаналогового перетворювача 9 і керованих підсилювачів 12 і 13 рівні між собою, на виході підсилювача 13 одержуємо сигнал:

$$U_{13} = U_d k_1^3, \quad (3)$$

де U_{13} - напруга на виході керованого підсилювача 13.

З урахуванням (2) і (3) одержуємо:

$$U_{11} = U_d \frac{U_{оп1}^3}{U_d} = \frac{U_{оп1}^3 (R^2 \omega^2 C^2 + 1)}{U_r^2 k_y^2} = \frac{U_{оп1}^3 R^2 \omega^2 C^2}{U_r^2 k_y^2} + \frac{U_{оп1}^3}{U_r^2 k_y^2} \quad (4)$$

У виразі (4) другий доданок - постійна величина, оскільки всі члени, що входять у цей доданок - постійні величини. Приймаючи другу опорну напругу, подану на клему 15, рівну

$$U_{оп2} = \frac{U_{оп1}^3}{U_r^2 k_y^2},$$

на виході блоку 14 вирахування одержуємо:

$$U_{14} = \frac{U_{оп1}^3 R^2 \omega^2 C^2}{U_r^2 k_y^2}. \quad (5)$$

У момент формування потенціалу, що забороняє, формувач 26 імпульсу видає імпульс, що скидає в «0» тригер 27 і встановлює в «І» тригер 28, що дає дозвіл на проходження тактових імпульсів від генератора 17 через блок 24 збігу на тактовий вхід лічильника 25. При цьому як опорну напругу в системі лічильник 25, керовані підсилювачі 19 і 20, блок 21 порівняння використовується напруга $U_{оп3}$ подана на клему 22. У момент рівності напруг на виході керованого підсилювача 20 і опорної напруги $U_{оп3}$ на виході блока 21 порівняння формується сигнал, що забороняє проходження тактових імпульсів від генератора 17 до лічильника 24 і скидає у «0» тригер 28. Схема приходить у вихідний стан. З огляду на те, що коефіцієнти передачі керованих підсилювачів 19 і 20 рівні, у цей момент буде справедлива рівність:

$$U_{14} k_2^2 = U_{оп3}, \quad (6)$$

де $U_{оп3}$ - напруга, подана на клему 22,

k_2 - коефіцієнт передачі керованого підсилювача 19.

На виході керованого підсилювача 19 одержимо сигнал:

$$U_{19} = U_{14} k_2.$$

Або з урахуванням (5) і (6) одержимо:

$$U_{19} = \sqrt{U_{14} U_{оп3}} = \frac{\sqrt{U_{оп1}^3} \sqrt{U_{оп3}}}{U_r k_y} R \omega C \quad (7)$$

- сигнал, пропорційний вимірюваній ємності C , оскільки всі інші члени, що входять у вираз - постійні величини.

Таким чином, застосувавши спеціалізований обчислювач, побудований на цифроаналоговому перетворювачі і цифрових керованих підсилювачах, одержимо на виході пристрою сигнал, пропорційний вимірюваній ємності. Використання подібного обчислювача на цифроаналогових пристроях дає відносну простоту в порівнянні з чисто цифровими пристроями і високу точність в порівнянні з аналоговими обчислювачами.

Застосування в пропонованому пристрої методу омично-ємнісного дільника з порівнянням значенням опорів пліч дільника дозволяє зняти значно більший вимірювальний сигнал, а виниклу істотну методичну погрішність усунути приведенням обчислювачем. Пропонована схема дає можливість використовувати підсилювач зі значно меншим i , отже, більш стабільним коефіцієнтом підсилення, а також на порядок поліпшити співвідношення сигнал-шум у вихідному вимірювальному сигналі, тим самим підвищивши точність і дозволяючи спроможність пристрою. Певні переваги запропонованій схемі також дає те, що одна з вимірювальних клем з'єднана з загальною шиною.

