

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

Відомо пристрій для виміру ємності (А. с. СРСР №1465821, G01R27/26), що містить генератор, у частотно-залежне коло якого послідовно включені ключі і затискачі для підключення об'єкта виміру, а вихід генератора через формувач імпульсів з'єднаний із входом вимірювача періоду, перший і другий елементи І, електронна обчислювальна машина, блок сполучення, постійний блок, що запам'ятовує, вихідний регістр, джерело напруги зсуву, регістр зсуву, цифро-аналоговий перетворювач, перший і другий елементи розв'язки, другий ключ і тригер, причому вихід тригера з'єднаний із входом блока сполучення і керуючими входами першого і другого ключів, при цьому рухливий контакт другого ключа через елемент розв'язки з'єднаний із зразковим варикапом, включеним у коло, що задає частоту генератора, один нерухомий контакт другого ключа з'єднаний із виходом джерела напруги зсуву, а інший - із виходом цифро-аналогового перетворювача і через другий елемент розв'язки для підключення об'єкту виміру - зі затискачем, а вхід цифро-аналогового перетворювача з'єднаний із виходом регістра зсуву, інформаційний вхід якого з'єднаний із четвертим виходом блока сполучення й інформаційним входом вихідного регістра, а інший вхід регістра зсуву з'єднаний із виходом другого блока І, один вхід якого з'єднаний із третім виходом блока сполучення, а інший вхід - із другим виходом блока сполучення і входом першого блока І, вихід якого з'єднаний із другим входом вихідного регістра, а інший вхід першого блока І з'єднаний із першим виходом блока сполучення, вихід вимірювача періоду з'єднаний з інформаційним входом блока сполучення, шостий вихід якого з'єднаний із запускаючим входом вимірювача 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 із п'ятим виходом блока сполучення, а інший його вхід - із шиною сигналу «Пуск».

До недоліків пристрою варто віднести складність - пристрій вимірює ємність на основі частотного методу, що потребує спеціалізованих перетворювача ємність-частота і обчислювального пристрою 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 10 пФ) рівнях ємності. Наявність ЕОМ і спеціалізованого програмного забезпечення істотно ускладнили побудову розглянутого вимірювача ємності.

Найбільш близьким по своїй технічній суті до запропонованого пристрою є пристрій для розбраковування варикапів по ємнісних параметрах і добротності (А.с. СРСР 1367700 G01R27/26 - прототип), що містить множно-ділильний блок, вимірювальний контур, вхід якого з'єднаний із виходом блока завдання режиму і генератора високої частоти, керуючий вхід з'єднаний із 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 обчислення, два елементи затримки, два елементи 1, при ньому вихід перетворювача ємності в напругу з'єднаний з аналоговим входом цифро-аналогового перетворювача і входом другого граничного блока, цифровий вхід цифро-аналогового перетворювача з'єднаний із виходом лічильника імпульсів і входом регістра зсуву, вхід лічильника імпульсів через елемент 1 з'єднаний із виходом генератора імпульсів, а вихід регістра зсуву з'єднаний із керуючими входами двох керованих підсилювачів, вхід першого керованого підсилювача сполучений 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 блока обчислення і другого керованого підсилювача, вихід якого з'єднаний із входом множно-ділильного блока, інший вхід якого з'єднаний із виходом блока обчислення, а третій вхід - з виходом детектора й іншим входом блока обчислення, вихід множно-ділильного блока через перший граничний блок з'єднаний із 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, що інвертує, четвертого тригера, і другим входом елемента І, прямий вихід четвертого тригера з'єднаний зі входом другого елемента І, інший вхід якого з'єднаний із виходом п'ятого тригера і входом скиду четвертого тригера, а вихід другого елемента І з'єднаний із керуючим входом перетворювача ємності в напругу і зі входом елемента затримки. вихід якого з'єднаний із входом п'ятого тригера, із тактовим входом регістра зсуву і рахунковим входом третього тригера, інший вхід п'ятого тригера через другу схему затримки з'єднаний із шиною «Пуск», входами скиду лічильника імпульсів, першого, другого і третього тригерів, вихід четвертого граничного блока з'єднаний із настановним входом четвертого тригера.

До недоліків пристрою варто віднести невисоку точність і дозволяючу спроможність при виміру ємності. Схема прототипу використовує метод ємнісно-омічного дільника, утвореного вимірювальним конденсатором і струмознімним резистором. При достатньо малому значенні резистора струм дільника, а отже, і напруга на резисторі пропорційні ємності, що вимірюється. У зв'язку з нелінійністю об'єкта виміру, величина високочастотної напруги на ньому обмежується десятками мілівольт. Для обмеження методичної погрішності виміру падіння напруги на струмознімному резисторі повинно бути на порядок менше (див. вимоги ДЕРЖСТАНДАРТ 18986.4-73. Діоди напівпровідникові. Методи виміру ємності.), тому вимірювальний сигнал потребує значного (біля 1000 разів) посилення, що призводить до нестабільності сигналу і появи в ньому значної шумової складової. Спроба збільшити значення сигналу, що знімається з дільника, за рахунок збільшення струмознімного резистора призводить 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 досягається тим, що пристрій для виміру ємності містить генератор високої частоти, який через розділювальний конденсатор приєднаний до першого виводу конденсатора, що вимірюється, другий вивід через резистор ємнісно-омічного дільника приєднаний до загальної шини і через послідовно сполучені підсилювач і детектор - до аналогового входу цифро-аналогового перетворювача, цифровий вхід якого з'єднаний із виходом лічильника імпульсів, скидний вхід якого сполучений із шиною "Пуск", блок завдання режиму, два тригери, генератор імпульсів, блок затримки, дві клеми для підключення опорних напруг, блок обчислення, два

керовані підсилювачі, цифрові входи яких з'єднані паралельно, елемент розв'язки, два керовані підсилювачі, ключ, другий лічильник імпульсів, два три входові блоки збігу, два блоки порівняння, дві клеми для підключення опорних напруг, формувач імпульсів, при цьому вихід блока завдання режиму через елемент розв'язки приєднаний до першого виводу конденсатора, що вимірюється, перший вхід першого блока порівняння - до першої клеми опорної напруги, вихід цифро-аналогового перетворювача - до другого входу першого блока порівняння і через послідовно з'єднані перший і другий керовані підсилювачі - до першого входу блока обчислення, другий вхід якого з'єднаний із другою клемою опорної напруги, а вихід - із нормально розімкненим контактом ключа, нормально замкнений контакт якого приєднаний до третьої клеми опорної напруги, а перекидний контакт через послідовно з'єднані третій і четвертий керовані підсилювачі - до першого входу другого блока порівняння, другий вхід якого приєднаний до четвертої клем опорної напруги, а вихід - до скидного входу першого тригера і першого входу першого блока збігу, другий вхід якого приєднаний до виходу першого тригера і керуючого входу ключа, а вихід - до тактового входу другого лічильника, скидний вхід якого з'єднаний із шиною «Пуск» і настановним входом другого тригера, а вихід - із цифровими входами третього і четвертого керованих підсилювачів; настановний вхід першого тригера з'єднаний із скидним входом другого тригера і з виходом формувача імпульсів, вхід якого сполучений із виходом першого блока порівняння і першим входом другого блока збігу, другий вхід якого разом із третім входом першого блока збігу приєднаний до виходу генератора імпульсів, а вихід - до тактового входу першого, лічильника, вихід другого тригера через блок затримки сполучений із третім входом другого блока збігу, цифрові входи цифро-аналогового перетворювача і першого і другого керованих підсилювачів з'єднані паралельно, виходом пристрою є вихід третього керованого підсилювача.

Порівняний аналіз із прототипом показує, що пристрій, який заявляється, відрізняється тим, що в схему додатково введені нові блоки: елемент розв'язки, два керованих підсилювачі, ключ, другий лічильник імпульсів, два три входові блоки збігу, два блоки порівняння, дві клеми для підключення опорних напруг, формувач імпульсів і їх зв'язки між собою й іншими елементами схеми, що дозволило поліпшити співвідношення сигнал-шум у вимірювальному сигналі і виключити методичну погрішність виміру ємності, тим самим підвищити точність пристрою.

На фігурі подана схема запропонованого пристрою. Вона містить генератор 17 високої частоти, розділювальний конденсатор 2, вимірювальні клеми 3, резистор 4 ємнісно-омічного дільника, підсилювач 5, детектор 6, цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) 7, клеми 8, 13, 14 і 24 для підключення опорних напруг, два блоки 9 і 23 порівняння, керовані підсилювачі 10, 11, 21 і 22, блок 12 обчислення, лічильники 15 і 27 імпульсів, ключ 16, елемент 1 розв'язки, блок 18 завдання режиму, генератор 19 імпульсів, два три входові блоки 20 і 26 збігу, блок 25 затримки, формувач 28 імпульсів, тригера 29 і 30.

Значення резистора ємнісно-омічного дільника вибирають таким, щоб напруга на ньому було сумірна з напругою вимірювальної ємності, тобто на порядок більше, ніж у прототипі. Цифро-аналоговий перетворювач 7 і керовані підсилювачі 10, 11, 21 і 22 можуть бути зібрані на основі множачих цифро-аналогових перетворювачів, коефіцієнти передачі яких визначаються кодами, що знаходяться в лічильниках 15 і 27 відповідно. При цьому повинна дотримуватися неодмінна умова: коефіцієнти передачі цифро-аналогового перетворювача 7 і підсилювачів 10 і 11 повинні бути рівні між собою. Аналогічна вимога у відношенні рівності коефіцієнтів передачі поширюється і на керовані підсилювачі 21 і 22.

Генератор 17 високої частоти через розділювальний конденсатор 2 приєднаний до першого виводу конденсатора 3, що вимірюється, другий вивід якого через резистор 4 ємнісно-омічного дільника приєднаний до загальної шини і через послідовно сполучені підсилювач 5 і детектор 6 - до аналогового входу цифро-аналогового перетворювача 7. Цифровий вхід перетворювача з'єднаний із виходом лічильника 15 імпульсів, скидний вхід лічильника - із шиною «Пуск». Вихід блока 18 завдання режиму через елемент 1 розв'язки приєднаний до першого виводу конденсатора 3, що вимірюється, перший вхід першого блока 9 порівняння - до першої клеми 8 опорної напруги. Вихід цифро-аналогового перетворювача 7 приєднаний до другого входу першого блока 9 порівняння і через послідовно сполучені перший 10 і другий 11 керовані підсилювачі - до першого входу блока 12 обчислення. Другий вхід блока 12 з'єднаний із другою клемою 13 опорної напруги, а вихід - із нормально розімкненим контактом ключа 16. Нормально замкнений контакт ключа приєднаний до третьої клеми 14 опорної напруги, а перекидний контакт через послідовно сполучені третій 21 і четвертий 22 керовані підсилювачі - до першого входу другого блока 23 порівняння. Другий вхід блока 23 приєднаний до четвертої клеми 24 опорної напруги, а вихід - до скидного входу першого тригера 29 і першого входу першого блока 26 збігу. Другий вхід блока 26 приєднаний до виходу першого тригера 29 і керуючого входу ключа 16, а вихід - до тактового входу другого лічильника 26. Скидний вхід лічильника 26 з'єднаний із шиною «Пуск» і настановним входом другого тригера 29, а вихід - із цифровими входами третього 21 і четвертого 22 керованих підсилювачів. Наставний вхід першого тригера 29 сполучений із скидним входом другого тригера 29 і з виходом формувача імпульсів 28. Вхід формувача 28 з'єднаний із виходом першого блока 9 порівняння і першим входом другого блока 20 збігу, другий вхід якого разом із третім входом першого блока 26 збігу приєднаний до виходу генератора 19 імпульсів. Вихід блока 20 приєднаний до тактового входу першого лічильника 15, вихід другого тригера 29 через блок 25 затримки з'єднаний із третім входом другого блока 20 збігу. Цифрові входи цифро-аналогового перетворювача 7 і першого 10 і другого 11 керованих підсилювачів з'єднані паралельно, виходом пристрою є вихід третього керованого підсилювача 21.

У вихідному стані генератор 17 виробляє напругу частоти, при якій вимірюється ємність варикапа, тригера 29 і 30 знаходяться в нульовому стані. Випробуваний варикап 3 разом із резистором 4 утворюють ємнісно-омічний дільник, напруга з виходу якого надходить на вхід підсилювача 5. Посилена напруга випрямляється детектором 6. При цьому напруга на вході підсилювача 5 у комплексній формі запису дорівнює:

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

де:

U_r - напруга високочастотного генератора,

R - величина струмознімного резистора,

C - ємність, що вимірюється,

ω - кругова частота виміру.

Після підсилення і детектування даного сигналу на виході¹ амплітудного детектора 6 одержимо:

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

де:

k_y - результуючий коефіцієнт підсилення підсилювача 5 і детектора 6.

З приходом імпульсу «Пуск» встановлюється в «1» тригер 29 і обнуляються лічильники 15 і 27, сигнал на виході ЦАП 7, підсилювачів 10, 11, 21 і 22 дорівнює нулю. На виході блоків 9 і 23 порівняння формуються потенціали, що дозволяють проходження тактових імпульсів від генератора 19 імпульсів через блоки 20 і 26 збігу. З затримкою, необхідною для формування зазначених сигналів, і здійснюваною блоком 28 затримки, дозволяється проходження тактових імпульсів від генератора 19 на тактовий вхід лічильника 15. Код у лічильнику 15 зростає. Напруга на виході ЦАП 7 збільшується доти, поки не досягне значення опорної напруги, поданої на клему 8. При цьому на виході блока 9 порівняння формується потенціал, то забороняє надходження тактових імпульсів на лічильник 15. У цей момент буде справедлива рівність:

$$U_d k_l = U_{onl}, \quad (2)$$

де:

k_l - коефіцієнт передачі цифро-аналогового перетворювача 7,

U_{onl} - величина опорної напруги, поданої на клему 8.

Оскільки коефіцієнти передачі цифро-аналогового перетворювача 7 і керованих підсилювачів 10 і 11 рівні між собою, на виході підсилювача 11 одержуємо сигнал:

$$U_{11} = U_d k_l^3, \quad (3)$$

де:

U_{11} - напруга на виході керованого підсилювача 11.

З урахуванням (2) і (3) одержуємо:

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

У виразі (4) другий доданок - постійна величина, оскільки всі члени, що входять у цей доданок - постійної величини. Приймаючи величину другої опорної напруги, поданої на клему 13, рівну

$$U_{on2} = \frac{U_{onl}^3}{U_r^2 k_y^2},$$

на виході блока 12 обчислення одержуємо:

$$U_{12} = \frac{U_{onl}^3}{U_r^2 k_y^2 R^2 \omega^2 C^2}. \quad (5)$$

У момент формування потенціалу, що забороняє, формувач 28 імпульсу видає імпульс, що скидає в «0» тригер 29 і встановлює в «1» тригер 30, який дає дозвіл на проходження тактових імпульсів від генератора 19 через блок 26 збігу на тактовий вхід лічильника 27. Одночасно спрацьовує ключ 16, підключаючи до входу керованого підсилювача 21 вихідний сигнал блока 12. При цьому в якості опорної напруги в системі лічильник 27

керовані підсилювачі 21 і 22, блок 23 порівняння використовується напруга U_{on4} , подана на клему 24. У момент рівності напруг на виході керованого підсилювача 22 і опорної напруги U_{on4} на виході блока 23 порівняння формується сигнал, що забороняє проходження тактових імпульсів від генератора 19 до лічильника 27 і скидає у «0» тригер 30. Схема приходить у вихідний стан, до входу підсилювача 21 підключається опорна напруга U_{on3} , подана на клему 14. З огляду на те, що коефіцієнти передачі керованих підсилювачів 21 і 22 рівні, у цей момент буде справедлива рівність:

$$U_{12} k_2^2 = U_{on4} \quad (6)$$

де

U_{on4} - напруга, подана на клему 24,

k_2 - коефіцієнт передачі керованого підсилювача 21.

На виході керованого підсилювача 21 одержимо сигнал:

$$U_{21} = U_{on3} k_2.$$

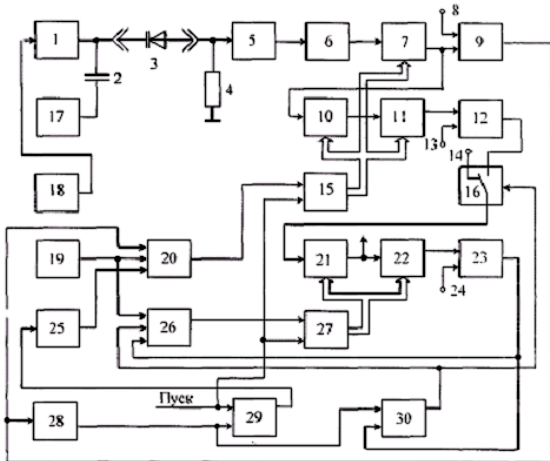
Або з урахуванням (5) і (6) одержимо напругу

$$U_{21} = U_{on3} \sqrt{\frac{U_{on4}}{U_{12}}} = \frac{U_{on3} \sqrt{U_{on4}}}{\sqrt{U_{onl}^3}} U_r k_y R \omega C \quad (7)$$

- пропорційну ємності C , що вимірюється, оскільки всі інші члени, що входять у вираз - постійної величини.

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

Застосування в запропонованому пристрої методу ємнісно-омічного дільника із сумірним значенням опорів плечей дільника дозволяє зняти значно більший вимірювальний сигнал, а істотну методичну погрішність, що виникає при цьому - усунути приведеним обчислювачем. Запропонована схема дає можливість використовувати підсилювач із 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.



Фіг.