



УКРАЇНА

(19) UA (11) 78068 (13) C2  
(51) МПК (2006)  
G01R 27/26

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

### (54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРУ ЄМНОСТІ

1

(21) а200500682  
(22) 25.01.2005  
(24) 15.02.2007  
(46) 15.02.2007, Бюл. № 2, 2007 р.  
(72) Голощанов Сергій Степанович  
(73) ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ  
(56) UA 66151 A, 15.04.2004  
SU 1465821 A1, 15.03.1989  
SU 954897, 30.08.1982  
EP 0166705 A2, 02.01.1986  
(57) Пристрій для виміру ємності, що містить високочастотний генератор, розділювальний конденсатор, один вивід якого з'єднаний з першою вимірювальною клемою і виходом елемента розв'язки, вхід якого з'єднаний з виходом блока задання режиму, друга вимірювальна клемка з'єднана з резистором ємнісно-омічного подільника, другий вивід якого з'єднаний із загальною шиною, і через підсилювач - зі входом детектора; блок вирахування, один вхід якого з'єднаний з клемою опорної напруги, другий з виходом керованого підсилювача, а вихід - з нормально відкритим контактом ключа, нормально закритий контакт якого з'єднаний з клемою другої опорної напруги, а перекидний контакт через послідовно з'єднані другий і третій керовані підсилювачі - з першим входом блока порівняння, другий вхід якого приєднаний до третьої клеми 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 третій вхід - до виходу генератора імпульсів і першого входу другого блока збігу, другий вхід якого з'єднаний із виходом блока затримки, а третій вхід - із

2

входом формувача імпульсів і виходом другого блока порівняння, вихід формувача імпульсів з'єднаний із установлювальним входом першого тригера і скидним входом другого тригера, вихід якого з'єднаний із входом блока затримки, установлювальний вхід - із шиною "Пуск" і скидними входами першого і другого лічильників імпульсів, тактовий вхід першого лічильника приєднаний до виходу другого блока збігу, а вихід - до цифрового входу першого керованого підсилювача, тактовий вхід другого лічильника імпульсів приєднаний до виходу першого блока збігу, а вихід - до цифрових входів другого і третього керованих підсилювачів, виходом пристрою є вихід другого керованого підсилювача, який **відрізняється** тим, що він додатково містить підсилювач, детектор, другий ключ, третій блок порівняння, четвертий керований підсилювач, четверту і п'яту клеми опорної напруги, при цьому генератор високої частоти приєднаний до входу четвертого керованого підсилювача, вихід якого з'єднаний із другим виводом розділювального конденсатора, а керуючий вхід - із виходом третього блока порівняння, перший вхід якого з'єднаний із четвертою клемою опорної напруги, а другий вхід - із виходом першого детектора, перша вимірювальна клемка через послідовно з'єднані другий підсилювач і другий детектор з'єднана із першим входом другого блока порівняння і з нормально закритим контактом другого ключа, нормально відкритий контакт якого з'єднаний із п'ятою клемою опорної напруги, перекидний контакт - із входом першого керованого підсилювача, а керуючий вхід - із виходом другого тригера, другий вхід другого блока порівняння з'єднаний із виходом першого керованого підсилювача.

Винахід, що пропонується, відноситься до контрольно-вимірювальної техніки і може бути використаний для контролю параметрів напівпровідникових приладів.

Відомо пристрій для виміру ємності [Ас. СРСР №1465821, G01R27/26], що містить генератор, у частотно-залежний ланцюг якого послідовно включені ключ 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, зразковий варикап, перший і другий елементи розв'язки, другий ключ і тригер, причому

(19) UA (11) 78068 (13) C2

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, який включений у частотно-задаючий 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'єкта виміру - із 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 I, один вхід якого з'єднаний із третім виходом блока сполучення, а інший вхід - із другим виходом блока сполучення і входом першого блока I, вихід якого з'єднаний із другим входом вихідного регістра, а інший вхід першого блока I з'єднаний із першим виходом блока сполучення, вихід вимірювача періоду з'єднаний з інформаційним входом блока сполучення, шостий вихід якого з'єднаний із запусканням входом вимірювача періоду, крім того, блок сполучення з'єднаний через канал колективного користування з електронною обчислювальною машиною і постійним блоком, що запам'ятовує, 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 спеціалізованого перетворювача ємність-частота і обчислювальною пристроєм з високою дозволяючою спроможністю, оскільки в обмірюваній частоті міститься інформація про власну ємність перетворювача, виділити яку вдасться тільки при математичному опрацюванні обмірюваного сигналу. Це створює складності особливо при виміру малих (нижче 10пФ) 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 виміру ємності [патент України 6651А – прототип], що містить генератор високої частоти, який через розділювальний конденсатор залучений до першого виводу вимірюваного конденсатора, другий вивід якого через резистор ємнісно-омічного дільника залучений до загальної шини і через послідовно з'єднані підсилювач і детектор до аналогового входу цифро-аналогового перетворювача, цифровий вхід якого з'єднаний із виходом лічильника імпульсів, скидний вхід якого з'єднаний із шиною "Пуск", блок завдання режиму, два тригери, генератор імпульсів, блок затримки, дві клеми для підключення опорних напруг, блок вираховування, два керованих підсилювачі, цифрові входи яких з'єднані паралельно, елемент розв'язки, два керованих підсилювачі, ключ, другий лічильник імпульсів, два трихходові блоки збігу, два блоки порівняння, дві клеми для підключення опорних напруг, формувач імпульсів, при цьому вихід блока завдання режиму через елемент розв'язки залучений до першого виводу що вимірювального конденсатора, 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 вираховування, другий вхід якого з'єднаний із другою клемою опорної напруги, а вихід - із нормально розімкненим контактом ключа, нормально замкнений контакт якого залучений 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 залучений до четвертої клеми опорної напруги, а вихід - до скидного входу першого тригера і першого входу першого блока збігу, другий вхід якого залучений до виходу першого тригера і керуючого входу ключа, а вихід - до тактового входу другого лічильника, скидний вхід котрого з'єднаний із шиною "Пуск" і настановним входом другого тригера, а вихід - із цифровими входами третього і четвертого керованих підсилювачів; настановний вхід першого тригера сполучений із скидним входом другого тригера і з виходом формувача імпульсів, вхід якого з'єднаний із виходом першого блока порівняння і першим входом другого блока збігу, другий вхід якого разом із третім входом першого блока збігу залучений 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.

До недоліків пристрою варто віднести невисоку стабільність виміру, оскільки вихідний сигнал пристрою залежить від напруги генератора і коефіцієнта підсилення підсилювача високої частоти - основних джерел нестабільності схеми. У зв'язку з нелінійністю об'єкта виміру, величина високо-частотної напруги на ньому обмежується десятками мілівольт. Схема використовує метод ємнісно-омічного дільника, утвореного вимірювальним конденсатором і струмознімним резистором. І хоча опір струмознімного резистора в прототипі вибрано щодо великим, вихідний сигнал дільника потребує значного посилення на частоті виміру, що породжує нестабільність вихідного сигналу пристрою в цілому.

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, розділювальний конденсатор, один вивід якого з'єднаний з першою вимірювальною клемою і виходом елемента розв'язки, вхід якого з'єднаний з виходом блока завдання режиму, друга вимірювальна клема з'єднана з резистором ємнісно-омічного дільника, другий вивід якого з'єднаний із загальною шиною, і через підсилювач зі входом детектора; блок вираховування, один вхід якого з'єднаний з клемою опорної напруги, другий з виходу керованого підсилювача, а вихід - з нормально відкритим контактом ключа, нормально закритий

контакт якого з'єднаний з клемою другої опорної напруги, а перекидний контакт через послідовно з'єднані другий і третій керовані підсилювачі з першим входом блока порівняння, другий вхід якого залучений до третьої клеми опорної напруги, а вихід до скидного входу першого тригера і першого входу першого блока збігу, другий вхід якого залучений до виходу першого тригера і керуючого входу ключа, а третій вхід - до виходу генератора імпульсів і першого входу другого блока збігу, другий вхід якого з'єднаний із виходом блока затримки, а третій вхід - із входом формувача імпульсів і виходом другого блока порівняння; вихід формувача імпульсів з'єднаний із настановним входом першого тригера і скидним входом другого тригера, вихід якого з'єднаний із входом блока затримки, настановний вхід - із шиною "Пуск" і скидними входами першого і другого лічильників імпульсів, тактовий вхід першого лічильника залучений до виходу другого блока збігу, а вихід - до цифрового входу першого керованого підсилювача, тактовий вхід другого лічильника імпульсів залучений до виходу першого блока збігу, а вихід - до цифрових входів другого і третього керованих підсилювачів, виходом пристрою є вихід другого керованого підсилювача, підсилювач, детектор, другий ключ, третій блок порівняння, четвертий керований підсилювач, четверту і п'яту клеми опорної напруги, при цьому генератор високої частоти залучений до входу четвертого керованого підсилювача, вихід якого з'єднаний із другим виводом розділювального конденсатора, а керуючий вхід - із виходом третього блока порівняння, перший вхід якого з'єднаний із четвертою клемою опорної напруги, а другий вхід - із виходом першого детектора, перша вимірювальна клема через послідовно з'єднані другий підсилювач і другий детектор з'єднана із першим входом другого блока порівняння і з нормально закритим контактом другого ключа, нормально відкритий контакт якого з'єднаний із п'ятою клемою опорної напруги, перекидний контакт - із входом першого керованого підсилювача, а керуючий вхід - із виходом другого тригера, другий вхід другого блока порівняння з'єднаний із виходом першого керованого підсилювача.

Порівняльний аналіз із прототипом показує, що пристрій, що заявляється, відрізняється тим, що в схему додатково введені нові блоки: підсилювач, детектор, другий ключ, третій блок порівняння, четвертий керований підсилювач, четверта і п'ята клеми опорної напруги, і їхні зв'язки між собою й іншими елементами схеми, що дозволило усунути залежність вихідного сигналу пристрою від напруги генератора і коефіцієнта підсилення підсилювача високої частоти, зробивши його більш стабільним.

На малюнку подана схема запропонованого пристрою. Вона містить генератор 1 високої частоти; керовані підсилювачі 2, 15, 25 і 26, розділювальний конденсатор 3, вимірювальні клеми 4, резистор 5 ємнісно-омічного дільника, підсилювачі 6 і 11, детектори 7 і 12, клеми 8, 13, 17, 21 і 27 для підключення опорної напруги, блоки 9, 16 і 28 порівняння, елемент 10 розв'язки, ключі 14 і 22, блок 18 вирахування, блок 19 завдання режиму, лічильники 20 і 31 імпульсів, генератор 23 імпульсів,

два трихходові блоки 24 і 30 збігу, блок 29 затримки, формувач 32 імпульсів, тригера 33 і 34.

Значення резистора ємкісно-омічного дільника так само, як і в прототипі, вибирають таким, щоб напруга на ньому було сумірна з напругою на ємності, що вимірюється. Керований підсилювач 2 повинен формувати коефіцієнт підсилення, пропорційний напрузі на керуючому вході. Керовані підсилювачі 15, 25 і 26 можуть бути зібрані на основі множачих цифро-аналогових перетворювачів, коефіцієнти передачі яких визначаються кодами, що знаходяться в лічильниках 20 і 31 відповідно. При цьому повинна дотримуватися неодмінна умова: коефіцієнти передачі підсилювачів 25 і 26 повинні бути рівні між собою.

Розділювальний конденсатор 3 одним виводом залучений до першої вимірювальної клеми 4 і виходу елемента 10 розв'язки, вхід якого залучений до виходу блока 19 завдання режиму, друга вимірювальна клема залучена до резистора 5 ємнісно-омічного дільника, другий вивід якого з'єднаний із загальною шиною, і через підсилювач 6 до входу детектора 7. Блок 18 вирахування одним входом залучений до клеми 17 опорної напруги, другим до виходу керованого підсилювача 15, а виходом - до нормально відкритого контакту ключа 22, нормально закритий контакт якого залучений до клеми 21 другої опорної напруги, а перекидний контакт через послідовно з'єднані другий 25 і третій 26 керовані підсилювачі до першого входу блока 28 порівняння. Другий вхід блока 28 порівняння залучений до третьої клеми 27 опорної напруги, а вихід до скидного входу першого тригера 34 і першого входу першого блока 30 збігу, другий вхід якого залучений до виходу першого тригера 34 і керуючого входу ключа 22. Третій вхід блока 30 збігу залучений до виходу генератора 23 імпульсів і першого входу другого блока 24 збігу, другий вхід якого з'єднаний із виходом блока 29 затримки, а третій вхід - із входом формувача 32 імпульсів і виходом другого блока 24 порівняння. Вихід формувача 32 імпульсів з'єднаний із настановним входом першого тригера 34 і скидним входом другого тригера 33, вихід якого з'єднаний із входом блока 29 затримки, настановний вхід - із шиною "Пуск" і скидними входами першого 20 і другого 31 лічильників імпульсів. Тактовий вхід першого лічильника 20 залучений до виходу другого блока 24 збігу, а вихід - до цифрового входу першого керованого підсилювача 15. Тактовий вхід другого лічильника 31 імпульсів залучений до виходу першого блока 30 збігу, а вихід - до цифрових входів другого 25 і третього 26 керованих підсилювачів, виходом пристрою є вихід другого керованого підсилювача 26. Генератор 1 високої частоти залучений до входу четвертого керованого підсилювача 2, вихід якого з'єднаний із другим виводом розділювального конденсатора 3, а керуючий вхід - із виходом третього блока 9 порівняння, перший вхід якого з'єднаний із четвертою клемою 8 опорної напруги, а другий вхід - із виходом першого детектора 7. Перша вимірювальна клема через послідовно з'єднані другий підсилювач 11 і другий детектор 12 отолучена з першим входом другого блока 16 порівняння і з нормально закритим контактом другого ключа 14, нормально відкритий контакт якого з'єднаний із

п'ятою клемою 13 опорної напруги, перекидний контакт - із входом першого керованого підсилювача 15, а керуючий вхід - із виходом другого тригера 33. Другий вхід другого блока 16 порівняння з'єднаний із виходом першого керованого підсилювача 15.

У вихідному стані генератор 1 виробляє напруга частоти, при якій вимірюється ємність варикапа, котра через керований підсилювач 2 надходить до ємнісно-омічного дільника, утвореного випробуваним варикапом 4 разом із резистором 5. Тригери 33 і 34 знаходяться в нульовому стані. Напруга ємнісно-омічного дільника поступає на вхід підсилювача 6, посилена напруга випрямляється детектором 7. При цьому сигнал на вході підсилювача 6 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 на виході керованого підсилювача 2,

$R$  - величина струмознімного резистора 5,

$C$  - ємність 4, що вимірюється,

$\omega$  - кругова частота виміру.

Після підсилення і детектування даного сигналу на виході амплітудного детектора 7 одержимо

$$U_{d1} = \frac{U_r k_{y1} R \omega C}{\sqrt{R^2 \omega^2 C^2 + 1}}, \quad (1)$$

де  $U_{d1}$  - напруга на виході детектора 7,

$k_{y1}$  - результуючий коефіцієнт підсилення підсилювача 6 і детектора 7. Оскільки система охоплена зворотним зв'язком, отримане значення напруги дорівнює опорній напрузі  $U_{on1}$ , поданій на клему 8. Якщо вирішити (1) щодо  $U_r$ , одержимо значення напруги на виході керованого підсилювача 2, яка потім посилюється підсилювачем 11 і випрямляється детектором 12. Тоді

$$U_{d2} = U_{on1} \frac{k_{y2} \sqrt{R^2 \omega^2 C^2 + 1}}{k_{y1} R \omega C}, \quad (2)$$

де  $U_{d2}$  - напруга на виході детектора 12,

$k_{y2}$  - результуючий коефіцієнт підсилення підсилювача 11 і детектора 12.

З приходом імпульсу "Пуск" встановлюється в "1" тригер 33 і обнуляються лічильники 20 і 31, сигнал на виході підсилювачів 15, 25 і 26 дорівнює нулю, спрацьовує ключ 14, підключаючи вхід керованого підсилювача 15 до джерела опорної напруги, поданої на клему 13. На виході блоків 18 і 28 порівняння формуються потенціали, що дозволяють проходження тактових імпульсів від генератора 23 імпульсів через блоки 24 і 30 збігу. З затримкою, необхідною для формування зазначених сигналів, і здійснюваною блоком 29 затримки, дозволяється проходження тактових імпульсів від генератора 23 на тактовий вхід лічильника 20. Код у лічильнику 20 росте. Напруга на виході керованого підсилювача 15 збільшується доти, поки не досягне значення напруги  $U_{d2}$  на виході детектора 12. При цьому на виході блока 16 порівняння формується потенціал, що забороняє надходження тактових імпульсів на лічильник 20. У цей момент

буде справедлива рівність:

$$U_{on2} k_1 = U_{d2},$$

де  $k_1$  - коефіцієнт передачі керованого підсилювача 15,

$U_{on2}$  - величина опорної напруги, поданої на клему 13.

У момент формування забороняючого потенціалу формувач 32 імпульсу видає імпульс, що скидає в "0" тригер 33 і встановлює в "1" тригер 34. Ключ 14 виключається, встановлюючись у стан, показаний на малюнку і підключаючи до входу керованого підсилювача 15 вихід детектора 12. На виході підсилювача 15 одержуємо сигнал:

$$U_{15} = U_{d2} k_1 = \frac{U_{d2}}{U_{on2}}, \quad (3)$$

де  $U_{15}$  - напруга на виході керованого підсилювача 15.

З урахуванням (2) і (3) одержуємо:

$$U_{15} = \frac{U_{on1}}{U_{on2}} \frac{1}{R^2 \omega^2 C^2} \frac{k_{y2}^2}{k_{y1}^2} + \frac{U_{on1}^2}{U_{on2}^2} \frac{k_{y2}^2}{k_{y1}^2}. \quad (4)$$

Приймаючи третю опорну напругу, подану на клему 17, що дорівнює

$$U_{on3} = \frac{U_{on1}^2}{U_{on2}^2} \frac{k_{y2}^2}{k_{y1}^2},$$

на виході блока 18 вирахування одержуємо:

$$U_{18} = \frac{U_{on1}^2}{U_{on2}^2} \frac{k_{y2}^2}{k_{y1}^2} \frac{1}{R^2 \omega^2 C^2}. \quad (5)$$

Установившись у "1", тригер 34 дає дозвіл на проходження тактових імпульсів від генератора 23 імпульсів через блок 30 збігу на вхід лічильника 31 і включає ключ 22, підключаючи до входу керованого підсилювача 25 вихідний сигнал блока 18. У момент рівності напруг на виході керованого підсилювача 26 і опорної напруги  $U_{on4}$ , поданої на клему 27, на виході блока 28 порівняння формується сигнал, що забороняє проходження тактових імпульсів від генератора 23 до лічильника 31 і скидає у "0" тригер 34.

У момент формування забороняючого сигналу формувач 32 імпульсу видає імпульс, що скидає в "0" тригер 33 і встановлює в "1" тригер 34, що дає дозвіл на проходження тактових імпульсів від генератора 23 через блок 30 збігу на тактовий вхід лічильника 31.

Схема приходиться у вихідний стан, до входу підсилювача 25 підключається опорна напруга  $U_{on5}$ , подана на клему 21. З огляду на те, що коефіцієнти передачі керованих підсилювачів 25 і 26 рівні, у момент спрацьовування блока 28 буде справедлива рівність:

$$U_{18} k_2^2 = U_{on4}, \quad (6)$$

де  $U_{on4}$  - напруга, що подана на клему 27,

$k_2$  - коефіцієнт передачі керованого підсилювача 25.

При вимиканні ключа 22 на виході керованого підсилювача 25 одержимо:

$$U_{25} = U_{on5} k_2.$$

Або з урахуванням (5) і (6):

$$U_{25} = U_{on5} \sqrt{\frac{U_{on4}}{U_{18}}} = \frac{U_{on5} \sqrt{U_{on4} U_{on2}}}{U_{on1}} \frac{k_{y1}}{k_{y2}} R_{\omega} C \quad (7)$$

- сигнал, пропорційний ємності  $C$ , що вимірюється.

Аналіз отриманого виразу показує, що вихідний сигнал пристрою пропорційний не коефіцієнту підсилення височастотного тракту, а відношенню коефіцієнтів підсилення підсилювачів 6 і 11.

Якщо підсилювачі 6 і 11 виготовити ідентичними і помістити в однакові умови, це забезпечить їх однаковий часовий і температурний дрейф і рівність  $k_{y1} = k_{y2}$  в усіх режимах роботи.

Таким чином, застосувавши спеціалізований обчислювач, побудований на 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. Відсутність залежності вихідного сигналу від напруги височастотного генератора і коефіцієнта підсилення підсилювача забезпечує часову і температурну стабільність пристрою в цілому.

