



УКРАЇНА

(19) UA (11) 78160 (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) а200510782

(22) 14.11.2005

(24) 15.02.2007

(46) 15.02.2007, Бюл. №2, 2007р.

(72) Голощапов Сергій Степанович

(73) ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(56) UA 66151 A, 15.04.2004

UA 40458 A, 16.07.1001

UA 48848 A, 15.08.2002

UA 67407 A, 15.06.2004

SU 1465821 A1, 15.03.1989

SU 335622, 11.04.1972

(57) Пристрій для виміру ємності, який містить високочастотний генератор, що через роздільний конденсатор приєднаний до першого виводу вимірюваного конденсатора, другий вивід якого через резистор з'єднаний із загальною шиною і через підсилювач із входом детектора, блок завдання режиму через елемент розв'язки приєднаний до першого виводу вимірюваного конденсатора, послідовно з'єднані перший і другий керовані підсилювачі, цифрові входи яких приєднані до виходу першого лічильника, скидний вхід якого з'єднаний із шиною «Пуск» і встановлювальним входом першого тригера і скидним входом другого лічильника імпульсів, вихід якого приєднаний до керуючих входів послідовно з'єднаних третього і четвертого керованих підсилювачів, блок порівняння, перший вхід якого приєднаний до першої клеми опорної напруги, а вихід через формувач імпульсу - до скидного входу першого тригера і встановлювального входу другого тригера, вихід другого керованого підсилювача з'єднаний із першим входом блока вирахування, вихід четвертого керованого підсилювача з'єднаний із першим входом другого блока порівняння, генератор імпульсів, ключ, нормально закритий контакт якого залучений до другої клеми опорної напруги, який відрізняється тим, що він додатково містить три блоки збігу, другий ключ, другий підсилювач, два блоки додавання, третій лічильник імпульсів, п'ятий керований

2

підсилювач, третій блок порівняння, другий формувач імпульсів, третій тригер, при цьому перші входи блоків збігу приєднані до виходу генератора імпульсів, вихід першого блока збігу з'єднаний із тактовим входом першого лічильника імпульсів, а другий вхід - із керуючим входом другого ключа і виходом першого тригера, вихід другого блока збігу з'єднаний із тактовим входом другого лічильника імпульсів, а другий вхід - із виходом другого тригера, скидний вхід якого з'єднаний із установлювальним входом третього тригера і виходом другого формувача імпульсів, вхід якого з'єднаний із виходом другого блока порівняння, другий вхід якого приєднаний до виходу першого блока додавання, один вхід якого приєднаний до третьої клеми опорної напруги, а другий вхід - до виходу другого підсилювача, вхід якого з'єднаний із виходом блока вирахування і нормально відкритим контактом першого ключа, перекидний контакт якого через п'ятий керований підсилювач приєднаний до першого входу третього блока порівняння, вихід якого з'єднаний із скидним входом третього тригера, а другий вхід - з виходом другого блока додавання, перший вхід якого приєднаний до четвертої клеми опорної напруги, а другий вхід - до виходу третього керованого підсилювача, вхід якого з'єднаний із п'ятою клемою опорної напруги, вихід третього лічильника імпульсів з'єднаний з керуючим входом п'ятого керованого підсилювача, скидний вхід - із шиною «Пуск», тактовий вхід - із виходом третього блока збігу, другий вхід якого з'єднаний із виходом третього тригера і керуючим входом першого ключа, вихід детектора приєднаний до нормально відкритого контакту другого ключа, нормально закритий контакт якого приєднаний до першої клеми опорної напруги і другого входу блока вирахування, перекидний контакт - до входу першого керованого підсилювача, вихід якого приєднаний до другого входу першого блока порівняння, виходом пристрою є вихід п'ятого керованого підсилювача.

(13) C2

(11) 78160

(19) UA

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

Відомо пристрій для виміру ємності [Ас. №1465821, G01R27/26], що містить генератор, в частотно-залежний ланцюг котрого 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 запам'ятовуючий блок, вихідний регістр, джерело напруги зсуву, регістр зсуву, цифроаналоговий перетворювач, зразковий варикап, 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 частотно-задаючий ланцюг генератора, один нерухомий контакт другого ключа з'єднаний із виходом джерела напруги зсуву, а інший - із виходом цифроаналогового перетворювача і через другий елемент розв'язки для підключення об'єкта виміру - із затискачем, а вхід цифроаналогового перетворювача з'єднаний із виходом регістра зсуву, інформаційний вхід якого з'єднаний із четвертим виходом блока сполучення і 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 виходом 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 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 обчислювального пристрою з високими дозволяючими спроможностями, оскільки в обмірюваній частоті міститься інформація про власну ємність перетворювача, виділити яку можна 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 вимірювача ємності.

Найбільш близьким по своїй технічній суті до запропонованого пристрою є пристрій для виміру ємності [Патент України №66151А - прототип], що містить високочастотний генератор, що через роздільний конденсатор приєднаний до першого виводу вимірюваного конденсатора, другий вивід

якого через резистор ємкісно-омічного дільника приєднаний до загальної шини і через послідовно з'єднані підсилювач і детектор - до аналогового входу цифроаналогового 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 вирахування, два керованих підсилювачі, цифрові входи яких з'єднані паралельно, елемент розв'язки, два керованих підсилювачі, ключ, другий лічильник імпульсів, два тривходові 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 вимірюваного конденсатора, перший вхід першого блока порівняння - до першої клеми опорної напруги, вихід цифроаналогового перетворювача - до другого входу першого блока порівняння і через послідовно з'єднані перший і другий керовані підсилювачі - до першого входу блока вирахування, 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 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 вихід - до тактового входу другого лічильника, скидний вхід якого з'єднаний із шиною "Пуск" і установлювальним входом другого тригера, а вихід - із цифровими входами третього і четвертого керованих підсилювачів; установлювальний вхід першого тригера з'єднаний 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 приєднаний до виходу генератора імпульсів, а вихід - до тактового входу першого лічильника, вихід другого тригера через блок затримки з'єднаний із третім входом другою блока збігу, цифрові входи цифроаналогового перетворювача і першого і другого керованих підсилювачів з'єднані паралельно, виходом пристрою є вихід третього керованого підсилювача.

До недоліків пристрою варто віднести невисоку точність при вимірі ємностей низького рівня, оскільки схема не враховує вплив вхідної ємності високочастотного підсилювача, що може бути сумірною (і навіть перевершувати) із ємністю, що вимірюється.

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 в пристрій для виміру ємності, що містить високочастотний генератор, що через роздільний конден-

сатор приєднаний до першого виводу вимірюваного конденсатора, другий вивід якого через резистор з'єднаний із загальною шиною і через підсилювач із входом детектора, блок задання режиму через елемент розв'язки підключен до першого виводу вимірюваного конденсатора, послідовно з'єднані перший і другий керовані підсилювачі, цифрові входи яких приєднані до виходу першого лічильника імпульсів, скидний вхід якого з'єднаний із шиною "Пуск", установлювальним входом першого тригера і скидним входом другого лічильника імпульсів, вихід якого приєднаний до керуючих входів послідовно з'єднаних третього і четвертого керованих підсилювачів, блок порівняння, перший вхід якого приєднаний до першої клеми опорної напруги, а вихід через формувач імпульсу - до скидного входу першого тригера і установлювального входу другого тригера, вихід другого керованого підсилювача з'єднаний із першим входом блока вирахування, вихід четвертого керованого підсилювача з'єднаний із першим входом другого блока порівняння, генератор імпульсів, ключ, нормально закритий контакт якого приєднаний до другої клеми опорної напруги, додатково введені три блоки збігу, другий ключ, другий підсилювач, два блоки додавання, третій лічильник імпульсів, п'ятий керований підсилювач, третій блок порівняння, другий формувач імпульсів, третій тригер, при цьому перші входи блоків збігу приєднані до виходу генератора імпульсів, вихід першого блока збігу з'єднаний із тактовим входом першого лічильника імпульсів, а другий вхід - із керуючим входом другого ключа і виходом першого тригера, вихід другого блока збігу з'єднаний із тактовим входом другого лічильника імпульсів, а другий вхід - із виходом другого тригера, скидний вхід якого з'єднаний із установлювальним входом третього тригера і виходом другого формувача імпульсів, вхід якого з'єднаний із виходом другого блока порівняння, другий вхід якого приєднаний до виходу першого блока додавання, один вхід якого приєднаний до третьої клеми опорної напруги, а другий вхід - до виходу другого підсилювача, вхід якого з'єднаний із виходом блока вирахування і нормально відкритим контактом першого ключа, перекидний контакт якого через п'ятий керований підсилювач приєднаний до першого входу третього блока порівняння, вихід якого з'єднаний із скидним входом третього тригера, а другий вхід - із виходом другого блока додавання, перший вхід якого підключений до четвертої клеми опорної напруги, а другий вхід - до виходу третього керованого підсилювача, вхід якого сполучений із п'ятою клемою опорної напруги, вихід третього лічильника імпульсів з'єднаний із керуючим входом п'ятого керованого підсилювача, скидний вхід - із шиною "Пуск", тактовий вхід - із виходом третього блока збігу, другий вхід якого з'єднаний із виходом третього тригера і керуючим входом першого ключа, вихід детектора приєднаний до нормально відкритого контакту другого ключа нормально закритий контакт якого приєднаний до першої клеми опорної напруги і другого входу блока вирахування, перекидний контакт - до входу першого керованого підсилювача, вихід якого приєднаний до другого

входу першого блока порівняння, виходом пристрою є вихід п'ятого керованого підсилювача.

Порівняльний аналіз із прототипом показує, що пристрій, що заявляється, відрізняється тим, що в схему додатково введені нові блоки: три блоки збігу, другий ключ, другий підсилювач, два блоки додавання, третій лічильник імпульсів, п'ятий керований підсилювач, третій блок порівняння, другий формувач імпульсів, третій тригер, що дозволило врахувати вплив вхідної ємності високочастотного підсилювача на вимірювальний сигнал, тим самим підвищити точність пристрою.

На малюнку подана схема запропонованого пристрою. Вона містить елемент розв'язки 1, роздільний конденсатор 2, вимірювану ємність 3, резистор 4, підсилювач 5 високої частоти, клеми для опорної напруги 6, 16, 21, 28 і 30, детектор 7, ключі 8 і 31, керовані підсилювачі 9, 10, 22, 23 і 32, блоки порівняння 11, 18 і 33, високочастотний генератор 12, двоїчні лічильники 13, 26 і 34, блок 14 вирахування, підсилювач 15 постійного току, блоки додавання 17 і 29, блок 19 завдання режиму, двохходові блоки 20, 25 і 27 збігу, генератор 24 імпульсів, формувачі 35 і 37 імпульсів, "S-R" тригера 36, 38 і 39.

Значення резистора ємкісно-омічного дільника так само, як і в прототипі, вибирають таким, щоб напруга на ньому була сумірна з напругою на вимірюваній ємності. Керовані підсилювачі 9, 10, 22, 23 і 32 можуть бути зібрані на основі множачих цифроаналогових перетворювачів, коефіцієнти передачі яких визначаються кодами, що знаходяться в лічильниках 13, 26 і 34. При цьому повинна дотримуватись неодмінна умова: коефіцієнти передачі підсилювачів 9 і 10 повинні бути рівні між собою. Аналогічна вимога подається до підсилювачів 22 і 23.

Високочастотний генератор 12 через роздільний конденсатор 2 приєднаний до першого виводу вимірюваного конденсатора 3, другий вивід якого через резистор 4 з'єднаний із загальною шиною і через підсилювач 5 із входом детектора 7. Блок 19 завдання режиму через елемент 1 розв'язки приєднаний до першого виводу вимірюваного конденсатора 3. Послідовно з'єднані перший 9 і другий 10 керовані підсилювачі, цифрові входи яких приєднані до виходу першого лічильника 13 імпульсів, скидний вхід якого з'єднаний із шиною "Пуск", установлювальним входом першого тригера 36 і скидним входом другого лічильника 26 імпульсів, вихід якого приєднаний до керуючих входів послідовно з'єднаних третього 22 і четвертого 23 керованих підсилювачів. У блоці 11 порівняння перший вхід приєднаний до першої клеми 6 опорної напруги, а вихід через формувач 35 імпульсу - до скидного входу першого тригера 36 і установлювального входу другого тригера 38. Вихід другого керованого підсилювача 10 з'єднаний із першим входом блока 14 вирахування, вихід четвертого керованого підсилювача 23 з'єднаний із першим входом другого блока 18 порівняння. Перші входи блоків 20, 25 і 27 збігу приєднані до виходу генератора 24 імпульсів. Вихід першого блока 20 збігу з'єднаний із тактовим входом першого лічильника 13 імпульсів, а другий вхід - із керуючим входом

другого ключа 8 і виходом першого тригера 36. Вихід другого блока 25 збігу з'єднаний із тактовим виходом другого лічильника 26 імпульсів, а другий вхід - із виходом другого тригера 38, скидний вхід якого з'єднаний із установлювальним виходом третього тригера 39 і виходом другого формувача 37 імпульсів. Вхід формувача 37 з'єднаний із виходом другого блока 18 порівняння, другий вхід якого приєднаний до виходу першого блока 17 додавання, один вхід якого приєднаний до третьої клеми 16 опорної напруги, а другий вхід - до виходу другого підсилювача 15. Вхід підсилювача 15 з'єднаний із виходом блока 14 вираховування і нормально відкритим контактом першого ключа 31, перекидний контакт якого через п'ятий керований підсилювач 32 приєднаний до першого входу третього блока порівняння 33. Вихід блока 33 з'єднаний із скидним виходом третього тригера 39, а другий вхід - із виходом другого блока 29 додавання. Перший вхід блока 29 приєднаний до четвертої клеми 28 опорної напруги, а другий вхід - до виходу третього керованого підсилювача 22. Вхід якого з'єднаний із п'ятою клемою 21 опорної напруги. Вихід третього лічильника 34 імпульсів з'єднаний із керуючим виходом п'ятого керованого підсилювача 32, скидний вхід - із шиною "Пуск", тактовий вхід - із виходом третього блока 27 збігу. Другий вхід блока 27 з'єднаний із виходом третього тригера 39 і керуючим виходом першого ключа 31. Вихід детектора 7 приєднаний до нормально відкритого контакту другого ключа 8, нормально закритий контакт якого приєднаний до першої клеми 6 опорної напруги і другого входу блока 14 вираховування, перекидний контакт - до входу першого керованого підсилювача 9, вихід якого приєднаний до другого входу першого блока 11 порівняння. Виходом пристрою є вихід п'ятого керованого підсилювача 32.

У вихідному стані генератор 12 виробляє напруга частоти, при якій вимірюється ємність варикапа, тригера 36, 38 і 39 знаходяться в нульовому стані. Випробуваний варикап разом із резистором 4 утворюють ємкісно-омічний дільник, напруга з виходу якого поступає на вхід підсилювача 5. Посилена напруга випрямляється детектором 7. При цьому напруга на вході підсилювача 5 у комплексній формі запису дорівнює

$$U_R = \frac{U_T}{-\frac{j}{\omega C} + \frac{1}{R} + j\omega C_0} \cdot \frac{1}{R + j\omega C_0} = \frac{U_T \omega CR [\omega R(C + C_0) + j]}{\omega^2 R^2 (C + C_0)^2 + 1}$$

де:  $U_T$  - напруга високочастотного генератора;

$R$  - величина резистора;

$C$  - вимірювана ємність;

$\omega$  - кругова частота виміру;

$C_0$  - вхідна ємність підсилювача, включена паралельно  $R$ .

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

$$U_d = \frac{U_T k_Y R \omega C}{\sqrt{R^2 \omega^2 (C + C_0)^2 + 1}}, \quad (1)$$

де:  $k_Y$  - результуючий коефіцієнт підсилення підсилювача 5 і детектора 7. Вирішуючи (1) відносно вимірюваної ємності  $C$ , одержимо

$$(U_d^2 R^2 \omega^2 - B^2 R^2 \omega^2) C^2 + 2 U_d^2 R^2 \omega^2 C_0 C + U_d^2 (R^2 \omega^2 C_0^2 + 1) = 0,$$

$$\text{де: } B = U_T k_Y.$$

Рішення наведеного рівняння відносно  $C$  дає:

$$C_{1,2} = C_0 \left( \frac{U_d^2}{B^2 - U_d^2} \pm \frac{U_d^2}{B^2 - U_d^2} \sqrt{1 + A \frac{B^2 - U_d^2}{U_d^2}} \right), \quad (2)$$

$$\text{де: } A = 1 + \frac{1}{R^2 \omega C_0^2}$$

Можна показати, що знак "-" дає від'ємні значення  $C$ , що позбавлено фізичного змісту. З огляду на це, одержимо рішення для вимірюваної ємності у відносних одиницях від вхідної ємності  $C_0$  у вигляді

$$C^* = \frac{C}{C_0} = \frac{1}{\frac{B^2}{U_d^2} - 1} \left( 1 + \sqrt{1 + A \left( \frac{B^2}{U_d^2} - 1 \right)} \right). \quad (3)$$

Реалізація обчислень по виразу (3) у приведеному пристрої здійснюється в такий спосіб.

З приходом імпульсу "Пуск" встановлюється в "1" тригер 36 і обнуляються лічильники 13, 26 і 34, сигнал на виході підсилювачів 9, 10, 22, 23 і 32 дорівнює нулю. З включенням тригера спрацьовує ключ 8, підключаючи вихід детектора 7 до входу керованого підсилювача 9, одночасно дозволяється проходження тактових імпульсів від генератора 24 на вхід лічильника 13 через блок збігу 20. Код у лічильнику 13 зростає. Напруга на виході керованого підсилювача 9 зростає доти, поки не досягне значення опорної напруги, поданої на клему 6. При цьому на виході блока 11 порівняння формується потенціал, що через формувач 35 імпульсу скидає тригер 36, подача тактових імпульсів у лічильник 13 припиняється, керований підсилювач 9 підключається до опорної напруги, поданої на клему 6. У цей момент буде справедлива рівність

$$U_d k_1 = U_{оп1},$$

де  $k_d$  - коефіцієнт передачі керованого підсилювача 9;

$U_{оп1}$  - опорна напруга, подана на клему 6.

Оскільки коефіцієнти передачі керованих підсилювачів 9 і 10 рівні між собою, після скиду тригера 36 на виході підсилювача 10 з урахуванням (2) одержимо:

$$U_{10} = U_{оп1} k_1^2 = \frac{U_{оп1}^3}{U_d^2}.$$

На виході блока 14 вираховування маємо:

$$U_{14} = U_{10} - U_{оп1} = D \left( \frac{D^2}{U_d^2} - 1 \right), \quad (4)$$

при  $D = U_{оп1}$ .

При проходженні через блок 15 отриманий сигнал умножується на постійну величину, рівну

$$\frac{A}{D} = \frac{1 + \frac{1}{R^2 \omega^2 C_0^2}}{U_{оп1}}.$$

З урахуванням цього вихідний сигнал підсилювача 15 буде дорівнювати

$$U_{15} = U_{14} \frac{A}{D} = A \left( \frac{D^2}{U_D^2} - 1 \right),$$

а на виході блока 17 додавання

$$U_{17} = U_{оп2} + U_{15} = 1 + A \left( \frac{D^2}{U_D^2} - 1 \right)$$

при  $U_{оп2} = 1$ .

При установці в "1" тригера 38 дозволяється проходження тактових імпульсів від генератора 24 на лічильник 26 через блок 25 збігу. У момент, коли напруга на виході керованого підсилювача 23 стане рівною напрузі на виході блока 17, спрацює блок порівняння 18, через формувач імпульсу 37 обнуляться тригер 38 і установиться в "1" тригер 39, подача тактових імпульсів у лічильник 26 припиниться. У цей момент буде справедливо

$$U_{оп3} k_2^2 = U_{17},$$

де  $U_{оп3}$  - опорна напруга, подана на клему 21.

Тоді на виході керованого підсилювача 22 одержуємо

$$U_{22} = U_{оп3} k_2 = \sqrt{U_{оп3}} \cdot \sqrt{1 + A \left( \frac{D^2}{U_D^2} - 1 \right)}.$$

Отриманий сигнал складається в блоці 29 з опорною напругою

$$U_{оп4} = \sqrt{U_{оп3}},$$

поданою на клему 28, тобто сигнал на виході блока 29 буде дорівнювати

$$U_{29} = \sqrt{U_{оп3}} \left( 1 + \sqrt{1 + A \left( \frac{D^2}{U_D^2} - 1 \right)} \right). \quad (5)$$

З установкою в "1" тригера 39 спрацює ключ 31 і до входу керованого підсилювача 32 підключається вихідна напруга блока 14. Одночасно дозволяється проходження тактових імпульсів від

генератора 24 на вхід лічильника 32 через блок збігу 27. У момент, коли напруга на виході керованого підсилювача 32 досягне значення напруги на виході блока 29, спрацює блок порівняння 33, скинеться в "0" тригер 39, припиниться подача тактових імпульсів на вхід лічильника 34, вхід керованого підсилювача 32 підключиться до клеми 30, на яку подана опорна напруга  $U_{оп5}$ .

У цей момент до відключення ключа 31 буде справедливо

$$U_{14} k_3 = U_{29},$$

де:  $k_3$  - коефіцієнт підсилення керованого підсилювача 32.

Після відключення ключа сигнал на виході блока 32, він же вихідний сигнал усього пристрою буде дорівнювати

$$U_{вих} = U_{32} = U_{оп5} \frac{U_{29}}{U_{14}}.$$

Або з урахуванням (4) і (5)

$$U_{вих} = \frac{U_{оп5} \sqrt{U_{оп3}} \left( 1 + \sqrt{1 + A \left( \frac{D^2}{U_D^2} - 1 \right)} \right)}{D \left( \frac{D^2}{U_D^2} - 1 \right)}.$$

Співставляючи отриманий вираз із (3), одержимо, що при  $D = B$  або  $U_{оп1} = U_{rky}$  і

$$\frac{U_{оп5} \sqrt{U_{оп3}}}{D} = k_4 - \text{постійна величина,}$$

вихідний сигнал пропорційний вимірюваній ємності у відносних одиницях від вхідної ємності  $C_0$ .

Таким чином, застосувавши спеціалізований обчислювач, побудований на цифрових керованих підсилювачах, одержимо на виході пристрою сигнал, пропорційний ємності, що вимірюється.

Використання подібного обчислювача на цифроаналогових пристроях дає відносну простоту в порівнянні з чисто цифровими пристроями і високу точність в порівнянні з аналоговими обчислювачами. Урахування вхідної ємності високочастотного підсилювача забезпечує більш високу точність пристрою в порівнянні з відомими технічними рішеннями, що особливо відчутно при виміру ємностей низького рівня. Все це зумовлює широку промислову застосовність пристрою, що заявляється.

