



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA (11) 97292 (13) C2  
(51) МПК  
G01R 27/26 (2006.01)

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

### (54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЄМНОСТІ

1

(21) а201003570

(22) 29.03.2010

(24) 25.01.2012

(46) 25.01.2012, Бюл. № 2, 2012 р.

(72) ГОЛОЩАПОВ СЕРГІЙ СТЕПАНОВИЧ

(73) ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(56) UA 66151 A; 15.04.2004

SU 1465821 A1; 15.03.1989

SU 699455; 25.11.1979

SU 954897; 30.08.1982

GB 2058364 A; 08.04.1981

EP 0166705 A2; 02.01.1986

JP 4329375 A; 18.11.1992

(57) Пристрій для вимірювання ємності, що містить генератор високої частоти, який через розділювальний конденсатор приєднаний до першого виводу вимірюваного конденсатора і через елемент розв'язки - до виходу блока задання режиму, другий вивід вимірюваного конденсатора через резистор ємнісно-омічного діляника з'єднаний із загальною шиною, а через послідовно з'єднані підсилювач і детектор - із входом цифро-аналогового перетворювача, цифровий вхід якого приєднаний до виходу першого лічильника, а вихід - до першого входу першого блока порівняння, другий вхід якого приєднаний до першої клеми опорної напруги, а вихід через перший формувач імпульсів - до скидного входу першого тригера, установний вхід якого з'єднаний із шиною "Пуск" і скидним входом першого і другого лічильників, два послідовно з'єднані перший і другий керовані підсилювачі, цифрові входи яких з'єднані паралельно, вихід другого керованого підсилювача з'єднаний із першим входом блока вирахування, другий вхід якого приєднаний до другої клеми опорної напруги, а вихід - до нормально відкритого контакту ключа, нормально закритий контакт якого з'єднаний із третьою клемою опорної напруги, а перекидний контакт через послідовно з'єднані третій і четвертий керовані підсилювачі - з першим входом другого блока порівня-

2

ня, вихід третього керованого підсилювача є виходом пристрою, цифрові входи третього і четвертого керованих підсилювачів приєднані до виходу другого лічильника імпульсів, другий тригер, установний вхід якого приєднаний до скидного входу першого тригера, та генератор імпульсів, який відрізняється тим, що в нього додатково введені другий і третій ключі, три двовходові блоки збігу, другий формувач імпульсів, третій тригер, третій лічильник імпульсів та третій блок порівняння, при цьому нормально замкнений контакт другого чи сполучений із першим виводом вимірюваного конденсатора, перекидний контакт - із другим виводом цього конденсатора, а керуючий вхід - із виходом першого тригера і першим входом його блока збігу, вихід якого з'єднаний із тактовим входом першого лічильника імпульсів, а другий вхід - із виходом генератора імпульсів і першими входами другого і третього блоків збігу, вихід другого блока збігу з'єднаний із тактовим входом його лічильника, а другий вхід - із керуючим входом першого ключа і виходом третього тригера, скидний вхід якого з'єднаний із виходом другого блока порівняння, другий вхід якого приєднаний до другої клеми опорної напруги і нормально замкненого контакту третього ключа, нормально відкритий контакт якого з'єднаний із першою клемою опорної напруги, а перекидний контакт - із входом першого керованого підсилювача, вихід якого з'єднаний із першим входом третього блока порівняння, другий вхід якого приєднаний до виходу цифро-аналогового перетворювача, а вихід через другий формувач імпульсів - до установного входу третього тригера і скидного входу другого тригера, вихід якого приєднаний до керуючого входу третього ключа і другого входу третього блока збігу, вихід якого з'єднаний із тактовим входом третього лічильника, скидний вхід якого з'єднаний із шиною "Пуск", а вихід - із цифровими входами першого і другого керованих підсилювачів.

Винахід належить до контрольно-вимірювальної техніки і може бути використаний

при контролі параметрів напівпровідникових пристроїв.

(13) C2  
(11) 97292  
(19) UA

Відомий пристрій для виміру ємності (А.с. СРСР 1367700 G01R27/26), що містить множи́льно-діли́льний блок, вимірювальний контур, вхід якого з'єднаний із виходом блока задання 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, 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 блока, цифровий вхід цифро-аналогового перетворювача з'єднаний із виходом лічильника імпульсів з входом регістра зсуву, вхід лічильника імпульсів через елемент І з'єднаний із виходом генератора імпульсів, а вихід регістра зсуву з'єднаний із 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, другий вхід якого з'єднаний із клемою другого опорного сигналу, а вихід суматора з'єднаний із входом блока вирахування і другого керованого підсилювача, вихід якого з'єднаний із входом множи́льно-діли́льного блока, другий вхід якого з'єднаний із виходом блока вирахування, а третій вхід - із виходом детектора і другим входом блока вирахування, вихід множи́льно-діли́льного 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 інвертуючим входом четвертого тригера і другим входом елемента І, прямий вихід четвертого тригера з'єднаний із входом другого елемента І, другий вхід якого з'єднаний із виходом п'ятого тригера і входом скидання четвертого тригера, а вихід другого елемента І з'єднаний із керуючим входом перетворювача ємності в напругу і з входом елемента затримки, вихід якого з'єднаний із входом п'ятого тригера, із тактовим входом регістра зсуву і рахунковим входом третього тригера, другий 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 блока з'єднаний із установним входом четвертого тригера.

До недоліків пристрою варто віднести невисоку точність і дозволяючу спроможність при вимірі ємності. Схема використовує метод ємнісно-омічного дільника, утвореного вимірюваним конденсатором і струмознімним резистором. При достатньо 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 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.), через що вимірюваний 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.

Найбільш близьким по своїй технічній суті до запропонованого пристрою є пристрій для виміру ємності (патент України 66151А - прототип), що містить генератор високої частоти, який через розділовий конденсатор приєднаний до першого виводу вимірюваного конденсатора, другий вивід якого через резистор ємнісно-омічного дільника приєднаний 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 задання режиму, два тригери, генератор імпульсів, блок затримки, дві клеми для підключення опорних напруг, блок вирахування, два керованих підсилювачі, цифрові входи яких сполучені 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 задання режиму через елемент розв'язки приєднаний до першого виводу вимірюваного 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 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 сполучені 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 установним входом другого тригера, а вихід - із цифровими входами третього і четвертого керованих підсилювачів; установний 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 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 сполучені 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 джерела нестабільності схеми. У зв'язку з нелінійністю об'єкта виміру, величина високочастотної напруги на ньому обмежується десятками мілівольт. Схема використовує метод ємнісно-омічного дільника, утвореного вимірюваним конденсатором і струмознімним резистором. І хоча опір струмознімного резистора в прототипі вибрано відносно великим, вихідний сигнал дільника потребує значного підсилення 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 вимірі ємності.

Поставлена задача вирішується тим, що пристрій для виміру ємності, що містить генератор високої частоти, який через розділовий конденсатор приєднаний до першого виводу вимірюваного конденсатора, і через елемент розв'язки до виходу блока задання режиму, другий вивід що вимірюваного конденсатора через резистор ємнісно-омічного дільника з'єднаний із загальною шиною, а через послідовно з'єднані підсилювач і детектор - із входом цифро-аналогового перетворювача, цифровий вхід якого приєднаний до виходу першого лічильника, а вихід - до першого входу першого блока порівняння, другий вхід якого приєднаний до першої клеми опорної напруги, а вихід через перший формувач імпульсів до скидного входу першого тригера, установний вхід якого з'єднаний із шиною "Пуск" і скидним входом першого і другого лічильників; два послідовно з'єднані перший і другий керовані підсилювачі, цифрові входи яких з'єднані паралельно, вихід другого керованого підсилювача з'єднаний із першим входом блока вирахування, другий вхід якого приєднаний до другої клеми опорної напруги, а вихід до нормально відкритого контакту ключа, нормально замкнений контакт якого з'єднаний із третьою клемою опорної напруги, а перекидний контакт через послідовно з'єднані третій і четвертий керовані підсилювачі з першим входом другого блока порівняння, вихід третього керованого підсилювача є виходом пристрою, цифрові входи третього і четвертого керованих підсилювачів приєднані до виходу другого лічильника імпульсів, другий тригер, установний вхід якого приєднаний до скидного входу першого тригера, генератор імпульсів, додатково містить другий і третій ключі, три двовходових блоки збігу, другий формувач імпульсів, третій тригер, третій лічильник імпульсів, третій блок порівняння, при цьому нормально замкнений контакт другого ключа з'єднаний із першим виводом вимірюваного конденсатора, перекидний контакт - із другим виводом цього конденсатора, а керуючий вхід із виходом першого тригера і першим входом першого блока збігу, вихід якого з'єднаний із тактовим входом першого лічильника імпульсів, а другий вхід із виходом генератора імпульсів і пер-

шими входами другого і третього блока збігів, вихід другого блока збігу з'єднаний із тактовим входом другого лічильника, а другий вхід - із керуючим входом першого ключа і виходом третього тригера, скидний вхід якого з'єднаний із виходом другого блока порівняння, другий вхід якого приєднаний до другої клеми опорної напруги і нормально замкненого контакту третього ключа, нормально відкритий контакт якого з'єднаний із першою клемою опорної напруги, а перекидний контакт із входом першого керованого підсилювача, вихід якого з'єднаний із першим входом третього блока порівняння, другий вхід якого приєднаний до виходу цифро-аналогового перетворювача, а вихід - через другий формувач імпульсів до установного входу третього тригера і скидного входу другого тригера, вихід якого приєднаний до керуючого входу третього ключа і другого входу третього блока збігу, вихід якого з'єднаний із тактовим входом третього лічильника, скидний вхід якого з'єднаний із шиною "Пуск", а вихід - із цифровими входами першого і другого керованих підсилювачів.

Порівняльний аналіз із прототипом показує, що пристрій, що заявляється, відрізняється тим, що в схему додатково введені нові блоки: два ключі, три двовходові блоки збігу, формувач імпульсів, тригер, лічильник імпульсів, блок порівняння, 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 Фіг. подана схема запропонованого пристрою.

Вона містить елемент 1 розв'язки, ключі 2, 14 і 25, вимірювальний конденсатор 3, розділовий конденсатор 4, резистор 5 ємнісно-омічного дільника, підсилювач 6, детектор 7, цифро-аналоговий перетворювач 8, блоки 9, 10 і 28 порівняння, клеми 11, 18 і 24 для підключення опорних напруг, генератор 12 високої частоти, лічильники 13, 21 і 30 імпульсів, керовані підсилювачі 15, 16, 26 і 27, блок 17 вирахування, блок 19 задання режиму, двовходові блоки 20, 23 і 29 збігу, генератор 22 імпульсів, формувачі 31 і 33 імпульсів, "R-S"- тригери 32, 34 і 35.

Значення резистора 5 ємнісно-омічного дільника так само, як і в прототипі, вибирають таким, щоб напруга на ньому була сумірна з напругою на вимірюваній ємності. Керовані підсилювачі 14, 15, 26 і 27 можуть бути зібрані на основі цифро-аналогових перетворювачів, що множить, коефіцієнти передачі яких визначаються кодами, що знаходяться в лічильниках 21 і 30 відповідно. При цьому повинна дотримуватися неодмінна умова: коефіцієнти передачі підсилювачів 15, 16 і 26, 27 повинні бути попарно рівні між собою.

Генератор 12 високої частоти через розділовий конденсатор 4 приєднаний до першого виводу вимірюваного конденсатора 3, і через елемент 1 розв'язки до виходу блока 19 задання режиму. Другий вивід вимірюваного конденсатора 3 через резистор 5 ємнісно-омічного дільника з'єднаний із загальною шиною, а через послідовно з'єднані підсилювач 6 і детектор 7 - із входом цифро-аналогового перетворювача 8, цифровий вхід яко-

го приєднаний до виходу першого лічильника 13, а вихід - до першого входу першого блока 9 порівняння. Другий вхід блока 9 приєднаний до першої клеми 11 опорної напруги, а вихід через перший формувач 31 імпульсів до скидного входу першого тригера 32, установний вхід якого сполучений із шиною "Пуск" і скидним входом першого 13 і другого 30 лічильників. У двох послідовно з'єднаних першого 15 і другого 16 керованих підсилювачів цифрові входи з'єднані паралельно, вихід другого керованого підсилювача 16 сполучений із першим входом блока 17 вирахування, другий вхід якого приєднаний до другої клеми 18 опорної напруги, а вихід до нормально відкритого контакту ключа 25. Нормально закритий контакт ключа 25 з'єднаний із третьою клемою 24 опорної напруги, а перекидний контакт через послідовно з'єднані третій 26 і четвертий 27 керовані підсилювачі з першим входом другого блока 18 порівняння. Вихід третього керованого підсилювача 26 є виходом пристрою, цифрові входи третього 26 і четвертого 27 керованих підсилювачів приєднані до виходу другого лічильника 30 імпульсів. Установний вхід другого тригера 34 приєднаний до скидного входу першого тригера 32. Нормально замкнений контакт другого ключа 2 з'єднаний із першим виводом вимірюваного конденсатора 3, перекидний контакт - із другим виводом цього конденсатора, а керуючий вхід із виходом першого тригера 32 і першим входом першого блока 20 збігу. Вихід блока 20 сполучений із тактовим входом першого лічильника 13 імпульсів, а другий вхід із виходом генератора 22 імпульсів і першими входами другого 29 і третього 23 блока збігу. Вихід другого блока 29 збігу сполучений із тактовим входом другого лічильника 30, а другий вхід - із керуючим входом першого ключа 25 і виходом третього тригера 35. Скидний вхід тригера 35 з'єднаний із виходом другого блока 28 порівняння, другий вхід якого приєднаний до другої клеми 18 опорної напруги і нормально замкненого контакту третього ключа 14. Нормально відкритий контакт ключа 14 сполучений із першою клемою 11 опорної напруги, а перекидний контакт із входом першого керованого підсилювача 15, вихід якого з'єднаний із першим входом третього блока 10 порівняння, другий вхід якого приєднаний до виходу цифро-аналогового перетворювача 8, а вихід - через другий формувач 33 імпульсів до установного входу третього тригера 35 і скидного входу другого тригера 34. Вихід тригера 34 приєднаний до керуючого входу третього ключа 14 і другого входу третього блока 23 збігу, вихід якого з'єднаний із тактовим входом третього лічильника 21, скидний вхід якого з'єднаний із шиною "Пуск", а вихід - із цифровими входами першого 15 і другого 16 керованих підсилювачів.

У вихідному стані генератор 12 виробляє напругу частоти, при якій вимірюється ємність варикапа, тригери 32, 34 і 35 знаходяться в нульовому стані. Ключі 2, 14 і 25 знаходяться в стані, показаному на рисунку. При включеному ключі 2 випробуваний варикап 3 разом із резистором 5 утворюють ємнісно-омічний дільник, напруга з виходу якого надходить на вхід підсилювача 5. Посилена напруга випрямляється детектором 7.

З приходом імпульсу "Пуск" обнуляються лічильники 13, 21 і 30, сигнал на виході ЦАП 8, підсилювачів 15, 11, 21 і 22 дорівнює нулю. Одночасно встановлюється в "1" тригер 32, що дає дозвіл на проходження тактових імпульсів від генератора імпульсів 22 через блок 20 збігу на вхід лічильника 13 і включає ключ 2, розмикаючи вимірювану ємність.

При цьому напруга на вході підсилювача 6 у комплексній формі запису буде 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 струмозмінного резистора,

$C$  - вимірювана ємність,

$\omega$  - кругова частота виміру.

Після підсилення і детектування даного сигналу на виході амплітудного детектора 7 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 6 і детектора 7.

Надходження тактових імпульсів на вхід лічильника 13 обумовлює зростання його коду, а отже, напруги на виході цифро-аналогового перетворювача 8. У момент рівності цієї напруги з опорною напругою, поданої на клему 11, спрацьовує блок 9 порівняння, що через формувач 31 імпульсів скидає тригер 32 і встановлює тригер 34. Надходження тактових імпульсів на вхід лічильника 13 припиняється, У цей момент буде справедлива рівність

$$U_D \cdot k_1 = U_{оп1} \quad (2),$$

де  $k_1$  - коефіцієнт передачі цифро-аналогового перетворювача 7,  $U_{оп1}$  - величина опорної напруги, поданої на клему 11. Одночасно зі скиданням тригера 32 ключ 2 приходить у вихідний стан, закорочуючи вимірювану ємність. На виході блока 8 з урахуванням (1) і (2) сформується сигнал

$$U_8 = U_R \cdot k_y \cdot k_1 = U_{оп1} \frac{\sqrt{R^2 \omega^2 C^2 + 1}}{R \omega C} \quad (3).$$

Установившись у "1", тригер 34 дає дозвіл на проходження тактових імпульсів від генератора 22 імпульсів через блок 23 збігу на вхід лічильника 21 і включає ключ 14, підключаючи до входу керованого підсилювача 15 джерело опорної напруги, поданої на клему 11. Код у лічильнику 21 росте доти, доки напруга на виході керованого підсилювача 15 не досягне рівня напруги на виході цифро-аналогового перетворювача 8, тобто

$$U_{оп1} \cdot k_2 = U_8 \quad (4).$$

У цей момент спрацьовує блок 10 порівняння, що через формувач 33 імпульсів скидає тригер 34 і встановлює тригер 35. Подача тактових імпульсів на вхід лічильника 21 припиняється, ключ 14 приходить у вихідний стан, підключаючи до входу керованого підсилювача 15 джерело опорної напруги, поданої на клему 18.

Оскільки керовані підсилювачі 15 і 16 сполучені послідовно, на виході підсилювача 16 з урахуванням (3) і (4) одержимо

$$U_{16} = U_{оп2} \cdot k_2^2 = U_{оп2} + \frac{U_{оп2}}{R_{\omega}^2 C^2},$$

де  $U_{оп2}$  - опорна напруга, подана на клему 18,  $k_2$  - коефіцієнт передачі керованого підсилювача 15.

Тоді на виході блока 17 вирахування маємо

$$U_{17} = \frac{U_{оп2}}{R_{\omega}^2 C^2} \quad (5).$$

З установкою тригера 35 дозволяється проходження тактових імпульсів на вхід лічильника 30 і спрацьовує ключ 25, підключаючи до входу керованого підсилювача 26 вихід блока 17 вирахування. Код у лічильнику 30 росте доти, доки сигнал на виході керованого підсилювача 27 не досягне рівня опорної напруги, поданої на клему 18, тобто

$$U_{17} \cdot k_3^2 = U_{оп2} \quad (6),$$

де  $k_3$  - коефіцієнт передачі керованого підсилювача 26.

У момент рівності напруг на входах блока 25 порівняння останній скидає тригер 35. Подача тактових імпульсів на лічильник 30 припиняється,

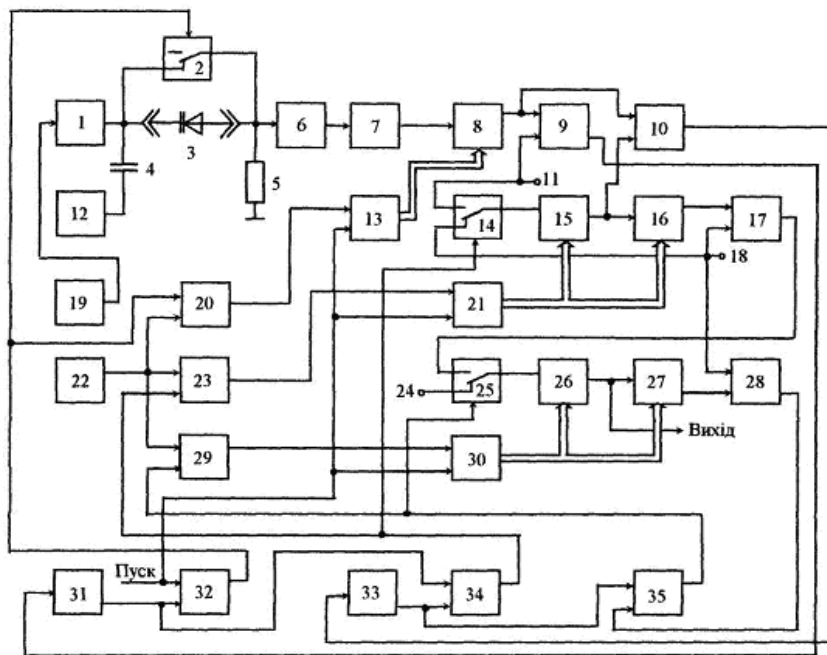
ключ 25 відключається, підключаючи опорну напругу, подану на клему 24, до входу керованого підсилювача 26, на виході якого одержуємо з урахуванням (5) і (6) сигнал

$$U_{вих} = U_{оп3} \cdot k_3 = U_{оп3} R_{\omega} C,$$

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

Аналіз отриманого виразу показує, що вихідний сигнал пристрою не залежить від параметрів високочастотного тракту.

Таким чином, застосувавши спеціалізований обчислювач, побудований на цифрових керованих підсилювачах, одержимо на виході пристрою сигнал, пропорційний вимірюваній ємності. 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 високочастотного генератора і коефіцієнта підсилення підсилювача забезпечує часову і температурну стабільність пристрою в цілому.



Фіг.