



УКРАЇНА

(19) UA (11) 62293 (13) U
(51) МПК
G01R 19/25 (2006.01)
G01R 27/32 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО КОЕФІЦІЄНТА ВІДБИТТЯ

1

(21) u201100276
(22) 10.01.2011
(24) 25.08.2011
(46) 25.08.2011, Бюл.№ 16, 2011 р.
(72) КАРЛОВ ВОЛОДИМИР АНАТОЛІЙОВИЧ
(73) ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ОЛЕСЯ ГОНЧАРА
(57) 1. Пристрій для вимірювання комплексного
коефіцієнта відбиття, що містить розв'язаний над-
високочастотний генератор, гібридне з'єднання,
виконане у вигляді перетинання в одній площині
двох НВЧ ліній передач, перше плече якого є вхо-
дом гібридного з'єднання, а четверте є вихідним
для приєднання невідомого навантаження для
дослідження, який **відрізняється** тим, що в нього
введено чотири спрямованих детектори від скла-
яного рефлекметра так, що між виходом генера-
тора та першим плечем гібридного з'єднання по-
слідовно розташовані опорний спрямований

2

детектор вихідної хвилі генератора та перший
спрямований детектор відбитої хвилі з гібридного
з'єднання, друге плече гібридного з'єднання підк-
лючено до другого спрямованого детектора вихід-
ної хвилі, а третє - до третього спрямованого де-
тектора вихідної хвилі, також у пристрій введені
блок аналого-цифрових перетворювачів вихідних
сигналів від спрямованих детекторів і контролер,
вихідні порти якого підключені до блока аналого-
цифрового перетворювача та до генератора, а
вихідний порт підключено до електронної обчислю-
вальної машини, крім того, між неоднорідністю
гібридного з'єднання та неоднорідністю невідомою
навантаження розміщено резонатор на відбиття.
2. Пристрій за п. 1, який **відрізняється** тим, що до
його вихідного четвертого плеча підключена анте-
на, а у її радіолокаційній зоні розміщено невідоме
навантаження для дослідження

Корисна модель відноситься до вимірювальної
техніки, а саме до вимірювальної техніки у міліме-
тровому діапазоні довжин радіохвиль, і може бути
використана як віртуальний осцилограф комплекс-
ного коефіцієнта відбиття для визначення амплі-
тудних та фазочастотних залежностей вібруючих
об'єктів або органів, наприклад у медицині, у кос-
мічній радіолокації та не-руйнуючому контролі де-
талей і машин.

Відомо пристрій для вимірювань комплексного
коефіцієнту відбиття, який містить генератор,
спрямований відгалужувач, чотири хвилевод-них
щілинних моста, чотири детектори, які з'єднані з
індикаторами потужності, та навантаження з неві-
домим комплексним коефіцієнтом відбиття (Па-
тент США, № 4104583, НКИ 324-58,1978). З засто-
суванням цього винаходу розробленні
автоматизовані аналізатори кіл надвисоких частот
для вимірювань параметрів чотирьох полюсників
та комплексного коефіцієнту відбиття від наванта-
жень (наприклад, Система векторного аналізу
Anritsu VectorStar ME7828A).

Недолік цих приладів полягає у тому, що пока-
зання індикаторів потужності отримуються із век-

торної суми частини опорної хвилі генератора, яка
пройшла крізь лінію з'єднання чотирьох узгодже-
них гібридних мостів, та частини хвилі від невідомо-
го навантаження, яка також повинна пройти
крізь свою лінію з'єднання чотирьох узгоджених
гібридних мостів. Таким чином, геометричні дов-
жини цих ліній дорівнюють майже сотню довжин
хвиль, наприклад у 8мм діапазоні. З урахуванням
того, що не тільки електричні, а і геометричні дов-
жини ліній проходження опорної та невідомої від-
битої хвилі повинні між собою дорівнюватися, ви-
мір параметрів навантажень, вібрація яких
дорівнює одному відсотку від довжини хвилі у лінії
передачі, не можливо.

Найближчим аналогом до корисної моделі є
пристрій, який містить послідовно з'єднані розв'я-
заний НВЧ генератор, спрямований відгалужувач
падаючої потужності та гібридне з'єднання, вико-
нане у вигляді перетину в одній площині двох НВЧ
ліній передач, перше плече якого є входом гібрид-
ного з'єднання, друге з'єднання з другим індикато-
ром потужності, третє - з третім індикатором поту-
жності, а четверте є виходом для приєднання
невідомого навантаження для дослідження (Ав-

(13) U
(11) 62293
(19) UA

торське посвідчення СРСР. № 1814076 кл. G01R27/06, 1992).

Головний недолік даного пристрою - відсутність блоків обробки показань індикаторів потужності, блоків для автоматизованого керування процесом вимірювання та зручного відображення результатів вимірювань, а також невідомі технічні характеристики для встановлення його місця та застосування серед однотипних приладів.

Задача корисної моделі - створення надвисокочастотного швидкодіючого автоматизованого вимірювача комплексного коефіцієнту відбиття (віртуального осцилографа комплексного коефіцієнту відбиття) для визначення амплітудних та фазочастотних залежностей вібруючих навантажень та об'єктів.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрій, який містить надвисокочастотний генератор, гібридне з'єднання, виконане у вигляді перетинання в одній площині двох НВЧ ліній передач, перше плече якого є входом гібридного з'єднання, а четверте є вихідним для приєднання невідомого навантаження для дослідження, додатково введено чотири спрямованих детектори від скалярного рефлектометра так, що між виходом генератора та першим плечем гібридного з'єднання послідовно розташовані опорний детектор вихідної хвилі генератора та перший детектор відбитої хвилі з гібридного з'єднання, друге плече гібридного з'єднання підключено до другого спрямованого детектором вихідної хвилі, а третє - до третього спрямованого детектора вихідної хвилі, також у пристрій введені блок аналого-цифрових перетворювачів вихідних сигналів від спрямованих детекторів, та контролер, вихідні порти якого підключені до блоку аналого-цифрового перетворювача та до генератора, а вхідний порт підключено до електронної обчислювальної машини, крім того, між неоднорідністю гібридного з'єднання та неоднорідністю невідомого навантаження розміщено резонатор на відбиття.

Крім того, для вимірювання комплексного коефіцієнту відбиття у вільному просторі до вихідного четвертого плеча пристрою підключена антена, а у її радіолокаційній зоні розміщено невідоме навантаження для дослідження.

На фіг.1 наведена структурна схема пристрою для вимірювання комплексного коефіцієнту відбиття. Пристрій містить:

1. генератор надвисоких частот, який програмується;
2. вентиль;
3. опорний спрямований детектор (ДС0) вихідної хвилі генератора;
4. перший спрямований детектор (ДС1) відбитої хвилі з першого плеча гібридного з'єднання;
5. гібридне з'єднання;
6. другий спрямований детектор (ДС2) вихідної хвилі з другого плеча гібридного з'єднання;
7. узгоджене навантаження;
8. третій спрямований детектор (ДС3) вихідної хвилі з третього плеча гібридного з'єднання;
9. блок аналого-цифрових перетворювачів (АЦП), який програмується;
10. контролер;

11. електронна обчислювальна машина (ЕОМ);

12. навантаження;
13. невідоме навантаження для дослідження;
14. резонатор на відбиття.

На фіг.2 наведена конструкція гібридного з'єднання 5. Конструкція виконана, як хрестоподібне сполучення у площині вузької стінки в прямокутних хвилеводів з плечима: першим (1), другим (2), третім (3) та четвертим (4) (хрестоподібний Е-площинний подільник потужності).

На фіг.3 представлено розміщення резонатора на відбиття 14 у закритому каналі. Резонатор на відбиття 14 розміщено між неоднорідністю вихідного четвертого (4) плеча подільника потужності 5 та неоднорідністю невідомого навантаження 12.

На фіг.4 представлено розміщення резонатора на відбиття 14 у радіолокаційній зоні антени 12. Резонатор на відбиття 14 розміщено між неоднорідністю четвертого (4) плеча подільника потужності 5 та неоднорідністю невідомого вібруючого навантаження (об'єкту) 13.

На фіг. 5 представлені експериментальні осцилограми амплітудних та фазочастотних залежностей вібруючого навантаження, яке розташовано у закритому вихідному плечі пристрою.

На фіг.6 представлені експериментальні осцилограми амплітудних та фазочастотних залежностей вібруючого навантаження, яке розташовано у радіолокаційній зоні антени.

На фіг.7 представлена фотографія зовнішнього вигляду пристрою для вимірювання комплексного коефіцієнта відбиття.

На фіг.8 представлена фотографія конструкції одного з двох контролерів 10.

Для визначення фазочастотних залежностей вібруючи навантаження 12 розміщуються безпосередньо у регулярній лінії резонатору на відбиття 14, де утворюється стояча хвиля (фіг.3).

Для визначення фазочастотних залежностей від зовнішніх навантажень (об'єктів) 13 контактним методом (фіг.4), у регулярній лінії резонатору на відбиття 14 розміщується рухоме навантаження 12, наприклад коротко замкнутий поршень, який твердим штоком з'єднується з вібруючим зовнішнім навантаженням 13.

Для визначення фазочастотних залежностей вібруючих навантажень безконтактним методом (фіг.4) до вхідного рознімання вихідного четвертого плеча подільника потужності 5 приєднується антена 12, а в її радіолокаційній зоні розміщується навантаження (об'єкт) для досліджування 13.

Функціонування пристрою здійснюється таким чином. Опорний високочастотний сигнал генератора 1, який не модулюється, після буферизації вентилем 2 з малими втратами у первинних каналах спрямованих детекторів (ДС) 3 та 4 надходить до неоднорідності хрестоподібного Е-площинного подільника потужності 5 та розсіюється по амплітуді приблизно на чотири рівні частини між його вихідними плечима. Четверта частина опорного сигналу з вихідного четвертого плеча подільника потужності 5 розповсюджується у регулярній лінії резонатора 14, падає на неоднорідність навантаження 12. Відбита хвиля від навантаження 12, ам-

плітуда та фаза якої визначається комплексним коефіцієнтом відбиття невідомого навантаження 12, розповсюджується у регулярній лінії резонатора 14, падає на неоднорідність Е-площинного подільника потужності 5 та також розсіюється між його вихідними плечима приблизно рівними чотирма частинами. Таким чином, чисельні значення відбитої від невідомої неоднорідності хвилі залежать від параметрів резонатора 14, у якому утворюється стояча хвиля, а саме від електричної (фазової) довжини, яка утворюється між широкополосною еталонною неоднорідністю подільника потужності та вібруючим навантаженням. З урахуванням того, що геометричні (фазові) харак-

$$\left| \dot{A}_4 + \frac{\dot{S}_{i1}^0}{\dot{S}_{i4}^0} \right|^2 = \left| \frac{\dot{S}_{i1}^0}{\dot{S}_{i4}^0} \right|^2 \frac{P_0^0 \cdot P_i}{P_i^0 \cdot P_0}; \dot{\Gamma} = \frac{\dot{A}_4}{\dot{S}_{41}^0 + \dot{S}_{44}^0 \cdot \dot{A}_4}, i = 1, 2, 3 \quad (2)$$

де \dot{S}_{ij}^0 - розрахункові значення коефіцієнтів матриці розсіювання подільника потужності 5;

$\dot{S}_{44}^0 \approx 0,4$ - коефіцієнт відбиття від неоднорідності подільника потужності 5, який утворює резонатор на відбиття 14 у вихідному четвертому (4) плечі (фіг.3, фіг.4);

P_i^0, P_0^0 - значення вихідних сигналів ДС при підключенні до пристрою еталонного навантаження з відомим коефіцієнтом відбиття $\dot{\Gamma}_0$ (наприклад, $\dot{\Gamma}_0 = 0$);

P_i^0, P_0 - значення вихідних сигналів ДС при підключенні до пристрою навантаження з невідомим коефіцієнтом відбиття $\dot{\Gamma}$.

Програмне забезпечення ЕОМ обробляє вихідні дані P_0, P_1, P_2, P_3 чотирьох спрямованих детекторів 3,4,6,8, після їх перетворення у блоці АЦП 9, керує процесом дослідження вібруючих навантажень та відображає на моніторі осцилограми у реальному часі. Для створення програмного забезпечення та графічного інтерфейсу користувача застосовано середовище Microsoft Visual Studio C++.

Амплітуда вібрації навантажень (об'єктів) ΔX пов'язана із зміною фази $\Delta \theta$ знайденого коефіцієнту відбиття $\dot{\Gamma}$ відношенням:

$$\Delta X = \frac{\lambda_L / 2}{2\pi} \Delta \theta \quad (1)$$

де λ_L - довжина електромагнітної хвилі у лінії передачі резонатора 14.

Наприклад, коли зміна фази $\Delta \theta$ дорівнює 360 градусів, амплітуда вібрації навантаження ΔX дорівнює $\lambda_L / 2$.

Відстань між неоднорідністю Е-площинного хрестоподібного подільника потужності 5 та вібруючим навантаженням знаходиться з урахуванням властивості незалежності фази θ комплексного

теристики резонатора та вібруючого навантаження одного порядку, з'являється можливість створити пристрій для аналізу параметрів вібруючих навантажень та об'єктів.

Вихідні аналогові сигнали P_0, P_1, P_2, P_3 надходять до блоку швидкодіючих АЦП, та після їх перетворення за допомогою контролера 10 надходять у шину даних центрального процесору ЕОМ. Математична модель вимірювача для обчислення комплексного коефіцієнту відбиття $\dot{\Gamma}$, яка знаходиться у пам'яті ЕОМ, має такий вигляд:

коефіцієнту $\dot{\Gamma}$ невідомого навантаження від частоти генератора 1.

Експериментальні дослідження розробленого пристрою було здійснено у 8-ми мм діапазоні довжин радіохвиль. Розроблена конструкція містить такі елементи (фіг.1):

Елемент 1 пристрою - генератор надвисоких частот Г4-156. Елемент 2 - феритовий вентиль ФВВН1-2.

Елементи 3,4,6,8 - спрямовані детектори від скалярного рефлектометра Р2-65.

Елемент 5 - хрестоподібний Е-площинний подільник потужності з перерізом хвилеводу $a = 7,2 \text{ мм}$, $b = 3,4 \text{ мм}$.

Елемент 7 - узгоджене навантаження від скалярного рефлектометра Р2-65.

Блок 9 - аналого-цифрових перетворювачів (АЦП), який містить чотири однакових канали. Кожен канал містить малощумлячий операційний підсилювач типу PGA204 та паралельний шістнадцяти розрядний аналого-цифровий перетворювач типу AD7884.

Блок 10 - контролер, який містить на двох платах (фіг.8) розширення для магістралі ISA PC IBM п'ять паралельних інтерфейси, які програмуються, типу KP580BB55A: чотири інтерфейси керують блоком АЦП, а п'ятий - керує генератором 1.

Блок 11 - електронна обчислювальна машина (ЕОМ) типу PC IBM (Pentium 3,1GHz), яка містить у двох системних магістралях ISA контролер 10.

Швидкість обробки однієї вибірки комплексного коефіцієнту відбиття $\dot{\Gamma}$ розробленим пристроєм не перевищує 20мкс на одну вибірку (20мкс/тчок). Це дозволило зафіксувати на екрані монітора частоту вібрації невідомого навантаження від 0 Гц до 1 КГц з амплітудою 0,1 мм.

Вихідний сигнал генератора 1 типу Г4-156 не модулюється. Рівень чотирьох вихідних сигналів від спрямованих детекторів 3,4,6,8 змінюється у діапазоні від 1 до 10000 мкВ. Чотири операційних підсилювача типу PGA204, які програмуються, підсилюють ці сигнали у 10,100 або 1000 разів. Далі сигнали надходять до чотирьох паралельних АЦП типу AD7884. Кожен АЦП керується своїм інтерфейсом типу KP580BB55A, який розміщено у контролері 10. З'єднання ліній запуску (convst) чо-

тирьох АЦП між собою дозволяє одним сигналом реалізувати паралельну вибірку сигналів P_0, P_1, P_2, P_3 для їх подальшого використання у математичній моделі (2) ЕОМ.

Експериментальне моделювання вібрацій навантажень розташованих у вимірювальній лінії резонатору 14 (фіг.3) здійснювалось так: у вимірювальний канал резонатору 14 було введено рухоме навантаження, вібрація на навантаження за допомогою металевого штоку передавалось від низькочастотного динаміка потужністю 80 Вт (фіг.7).

На фіг.5 представлені експериментальні демонстраційні осцилограми отримані з монітору ЕОМ. На першому етапі експерименту для керуючого генератора була задана частота 28,5 ГГц (код " $F = 2850$ "), у вимірювальний канал пристрою було введено узгоджене навантаження і була натиснута кнопка "KALIBROVKA". Пристрій запам'ятав у

віртуальній пам'яті ЕОМ значення P_i^0, P_0^0 для математичної моделі (2). Для контролю ці значення на осцилограмі відображені як $P_2 = -4129$, та $P_3 = -1656$. У вікна "Range" було введено число вибірок та чисельний діапазон для горизонтальної осі - від 0 до 9998.

На другому етапі у вимірювальний канал було введено рухоме навантаження. На динамік від низькочастотного генератора була подана синусоїдальна напруга 2В з частотою 30 Гц (фіг.5.а). Для одноразового зчитування заданого числа вибірок треба натиснути кнопку "RUN", для автоматичного оновлення осцилограм треба натиснути кнопку "START TIMER". У програму було введено мультимедійний таймер, який фіксував час паралельного зчитування з чотирьох АЦП 9999 вибірок. На осцилограмі цей час наведено у вікні "TIMER" - 145мсек. Як свідчить із аналізу результатів модуля коефіцієнта відбиття (графік "Gama"), його значення, яке повинно бути постійним та незалежним від місцезнаходження рухомого навантаження, значно залежить від фази. Це - недолік, який пов'язаний з застосуванням у пристрою неузгодженого багатоплечого гібридного з'єднання. Як свідчить із другого графіка "Faza", навпаки, завдяки присутності у вимірювальному каналі резонатора на відбиття та генерації у ньому стоячої хвилі відобразили чітку синусоїдальну криву зміни фази $\Delta\theta$ за часом (за 145мсек). На осцилограмі відображена задана частота для генератора Г4-156-28,5 ГГц (код " $F = 2850$ "), та період комплексного коефіцієнту

$\Gamma = -"LW/2 = 7,7129"$. Згідно з графіком зміна фази рухомого навантаження дорівнює плюс-мінус 73,4 градуса (146,8 градусів). З урахуванням формули (1), амплітуда вібрації рухомого навантаження відображена у вікні осцилограми та дорівнює "3,14605"мм, а частота вібрації відображена у вікні " $F[HZ]$ " = 30,9534 Гц.

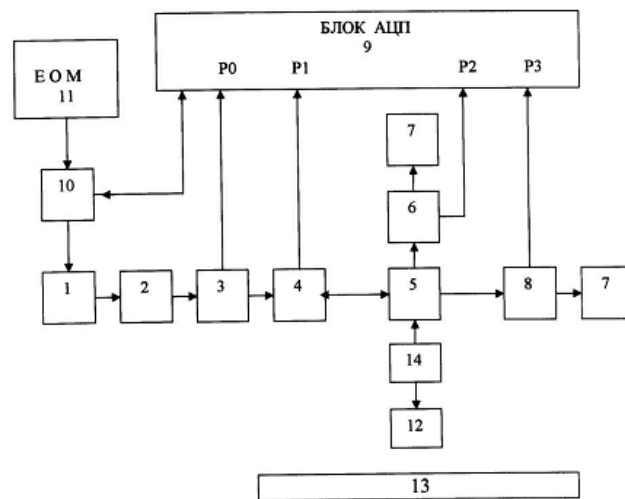
На фіг.5.б наведена осцилограма при встановленні на динаміку синусоїдальної напруги 10В з частотою 30 Гц. Згідно з графіком зміна фази рухомого навантаження дорівнює плюс-мінус 404 градуса (808 градусів). Таким чином, амплітуда вібрації рухомого навантаження дорівнює "17,3146" мм, а частота " $F[HZ]$ " = 31,0816 Гц.

На фіг.6 представлені осцилограми експериментальних досліджень фазочастотних залежностей віброуючих навантажень (об'єктів), які знаходяться у радіолокаційній зоні антени 12 пристрою (фіг.4), безконтактним методом. При проведенні експерименту, до рознімання вихідного плеча було приєднано узгоджену рупорну антену 12. На відстані 10см від антени було розташовано металевий диск 13 діаметром 10см. Диск був наклеєний на динамік потужністю 80Вт (фіг.7).

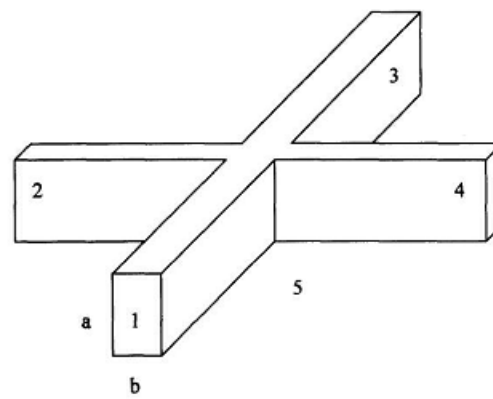
На фіг.6.а відображена осцилограма при встановленні на динаміку синусоїдальної напруги 0,2В з частотою 20 Гц. У вікні "Range" уведено число вибірок - 16000. Для НВЧ генератора задана частота 28,5 ГГц (код " $F=2850$ "). Згідно з графіком "Faza" зміна фази $\Delta\theta$ в віброуючого навантаження дорівнює плюс-мінус 8,91 градусів (17,82 градуса). Тобто, амплітуда коливання віброуючого навантаження дорівнює "0,381869"мм, частота биття (наприклад, серця людини) дорівнює " $F[HZ] = 19,8797$ ".

На фіг.6.б відображена осцилограма при збільшенні на динаміку синусоїдальної напруги до 8В. Згідно з аналізом графіка "Faza" зміна фази $\Delta\theta$ віброуючого навантаження дорівнює 1312 градусів (плюс-мінус 656 градусів). Тобто, амплітуда коливання віброуючого навантаження дорівнює "28,1166"мм, частота биття дорівнює "18,687"Тц.

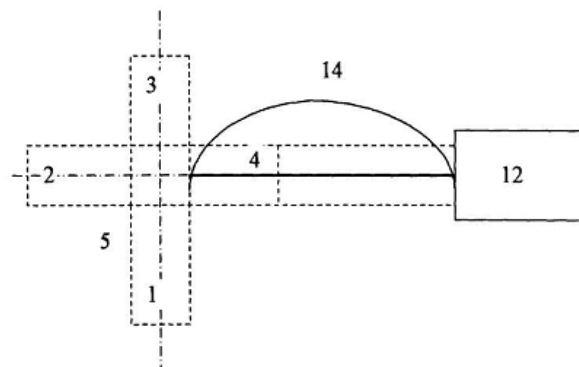
Таким чином, наявність резонатору на відбиття у вимірювальному каналі Е-площинного подільника-перетворювача потужності запропонованого вимірювача та його відсутність в узгоджених перетворювачах автоматизованих аналізаторах кіл, дозволяє створити новий клас приладів "Віртуальні осцилографи комплексного коефіцієнта відбиття надвисоких частот", які, у якійсь мірі, є альтернативними стосовно "Векторних аналізаторів кіл".



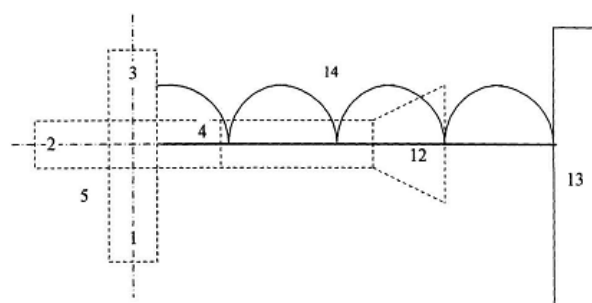
Фиг. 1



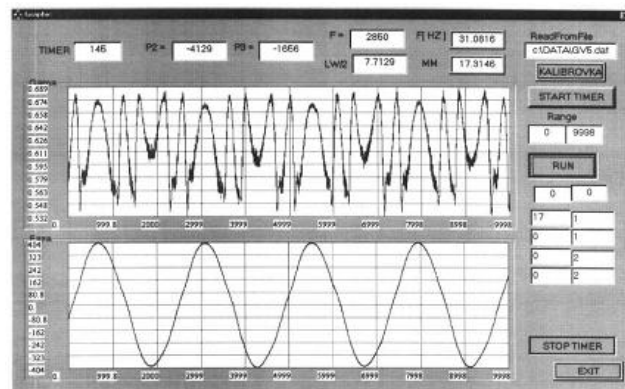
Фиг. 2



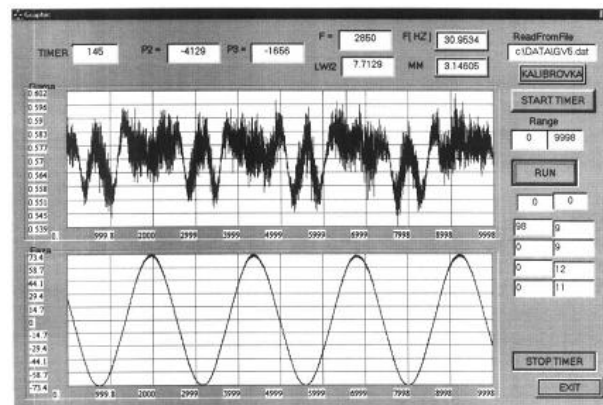
Фиг. 3



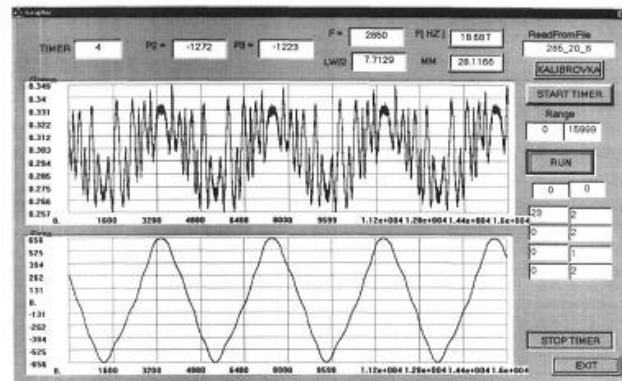
Фиг. 4



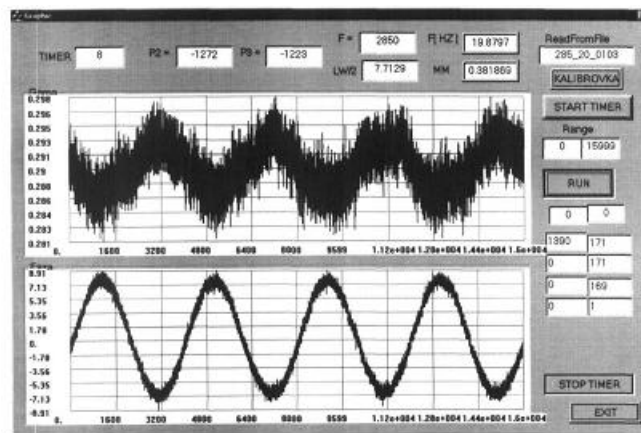
Фиг. 5, б



Фиг. 5, а



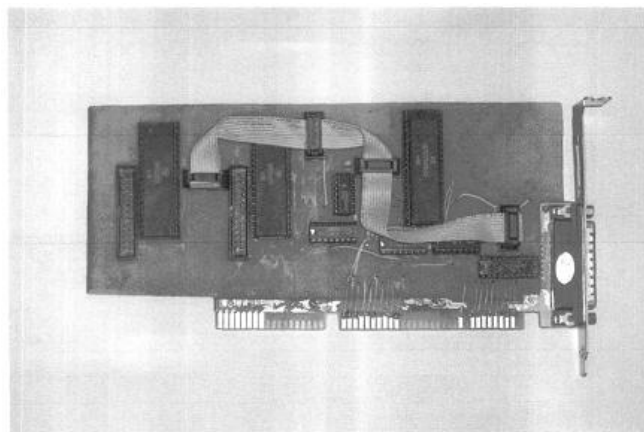
Фиг. 6, б



Фиг. 6,а



Фиг. 7



Фиг. 8