



УКРАЇНА

(19) UA (11) 40130 (13) A

(51) 7 G01S3/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІД

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) РАДІОЛОКАТОР БЕЗУПИННОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

(21) 2000063667

(22) 23.06.2000

(24) 16.07.2001

(33) UA

(46) 16.07.2001, Бюл. № 6, 2001 р.

(72) Порошин Сергій Михайлович, Бахвалов Валентин Борисович

(73) Харківський державний політехнічний університет, UA

(57) Радіолокатор безупинного випромінювання, що містить антену, що передає, передавач безупинного сигналу з генератора високої частоти, генератора низької частоти, що модулює, і модулятора, приймальну антену, приймач і фазовимірювач, що **відрізняється** тим, що передавач виконаний із частотно-модульованим сигналом, до складу пристрою додатково включений фільтр низької частоти, що модулює, амплітудний детектор сигналу на частоті Доплера, амплітудний обмежувач і вимірювач частоти Доплера, фільтр частоти, що модулює, установлений на виході приймача і пов'язаний з амплітудним обмежувачем, на виході якого установлений вимірювач частоти Доплера, а

також пов'язаний з амплітудним детектором сигналу на частоті Доплера, вихід якого пов'язаний із фазовимірювачем, на виході фазовимірювача і вимірювача частоти Доплера додатково встановлений обчислювач радіальної швидкості і дальності цілі по співвідношенням

$$V_p = \frac{\lambda F_D}{2},$$

$$r = \frac{c(\varphi - \pi)}{2\pi F},$$

де: V_p - радіальна швидкість цілі,

r - дальність цілі,

λ - довжина хвилі,

F_D - частота Доплера,

c - швидкість світла,

φ - зсув фаз сигналу генератора низької частоти передавача, що модулює, щодо сигналу на цій же частоті на виході амплітудного детектора сигналу доплерівської частоти,

F - частота передавача, що модулює.

Винахід належить до області радіолокації і може бути використаний у фазових радіолокаторах безупинного випромінювання мікрохвильового діапазону для одночасного виміру дальності і радіальної швидкості цілі.

Відомий імпульсний радіолокаційний далекомір [1, с. 13, рис. 1.1]. Аналог містить імпульсний передавач, антену з антенним перемикачем і приймач. Дальність цілі визначають за часом запізнювання імпульсу луна-сигналу щодо імпульсу, що зондує.

Хибою аналога є те, що він не може вимірювати малі дальності менше добутку швидкості світла на половину тривалості імпульсу.

Як прототип обраний фазовий радіолокатор із безупинним випромінюванням [1].

До складу прототипу входять такі основні елементи:

антена, що передає;

передавач із генератора високочастотного безупинного сигналу, генератора низькочастотної напруги, що модулює, і модулятора (наприклад, амплітудного модулятора);

приймальна антена;

екран розв'язки антен;

приймач (наприклад, супергетеродинний приймач з амплітудним детектором);

фазовимірювач зсуву фаз вихідного низькочастотної напруги приймача щодо напруги генератора передавача, що модулює.

Вимір дальності цілі в прототипі засновано на вимірі зсуву фаз φ вихідної низькочастотної напруги приймача щодо напруги передавача, що модулює. При цьому дальність цілі визначають за співвідношенням

$$D = \frac{c\varphi}{4\pi F}, \quad (1)$$

де: D - дальність цілі;

c - швидкість світла;

φ - зсув фаз вихідної напруги приймача щодо напруги низькочастотного генератора напруги передавача, що модулює;

F - частота напруги, що модулює.

UA (11) 40130 (13) A

Антенні прототипу рознесені в просторі й екрановані одна від одної за допомогою екрана розв'язки для того, щоб прямі радіохвилі антени, що передає, не потрапляли в приймальну антену і не заважали приймати луна-сигнали цілі.

Хибою прототипу є те, що в його склад входить громіздкий екран розв'язки антен, що істотно ускладнює конструкцію антенної системи радіолокатора.

Інша хиба прототипу полягає в тому, що такий фазовий радіолокатор забезпечує вимір тільки дальності цілі і не дозволяє вимірювати радіальну швидкість цілі.

В основу винаходу поставлена задача удосконалення радіолокатора безупинного випромінювання, у якому за рахунок виконання передавача з частотно-модульованим сигналом і додатковим вставлянням до складу пристрою фільтра частоти, що модулює, амплітудного детектора сигналу на частоті Доплера, амплітудного обмежувача і вимірювача частоти Доплера забезпечується поділ на виході приймача частоти, що модулює, і доплерівської частоти і одночасне визначення дальності і радіальної швидкості цілі, а також виключення із складу пристрою екрана розв'язки антен, що істотно спрощує конструкцію антенної системи радіолокатора.

Поставлена задача вирішується тим, що в радіолокаторі безупинного випромінювання, що містить антену, що передає, передавач безупинного сигналу з генератора високої частоти, генератора низької частоти, що модулює, і модулятора, приймальну антену, приймач і фазовимірювач, відповідно до винаходу:

передавач виконаний із частотно-модульованим сигналом;

до складу пристрою додатково включений фільтр низької частоти, що модулює, амплітудний детектор сигналу на частоті Доплера, амплітудний обмежувач і вимірювач частоти Доплера;

фільтр частоти, що модулює, установлений на виході приймача і пов'язаний з амплітудним обмежувачем, на виході якого установлений вимірювач частоти Доплера, а також пов'язаний з амплітудним детектором сигналу на частоті Доплера, вихід якого пов'язаний із фазовимірювачем;

на виході фазовимірювача і вимірювача частоти Доплера додатково встановлений обчислювач радіальної швидкості і дальності цілі за співвідношеннями

$$V_p = \frac{\lambda F_D}{2}, \quad (2)$$

$$r = \frac{c(\varphi - \pi)}{2\pi F}, \quad (3)$$

де: V_p - радіальна швидкість цілі;

r - дальність цілі;

λ - довжина хвилі;

F_D - частота Доплера;

c - швидкість світла;

φ - зсув фаз сигналу генератора низької частоти передавача, що модулює, щодо сигналу на цій же частоті на виході амплітудного детектора сигналу доплерівської частоти;

F - частота передавача, що модулює.

При цьому екран розв'язки антен, що був у прототипі, зі складу запропонованого пристрою виключений. Припускається також, що низька частота F сигналу передавача, що модулює, нижче доплерівської частоти F_D луна-сигналу цілі.

Додаткове вмикання до складу пристрою фільтра частоти, що модулює, амплітудного детектора сигналу на частоті Доплера, амплітудного обмежувача і вимірювача частоти Доплера, з зазначеними зв'язками між цими елементами, забезпечує визначення за допомогою обчислювача дальності і радіальної швидкості цілі, а вилучення зі складу пристрою екрана розв'язки антен істотно спрощує конструкцію антенної системи.

Технічна сутність і принцип дії запропонованого пристрою пояснюються на фіг. 1-6. На фіг. 1 надано спрощену структурну схему радіолокатора безупинного випромінювання, а на фіг. 2-6 надані спрощені епюри сигналу передавача, що модулює, і сигналів на виходах амплітудного детектора приймача, фільтра частоти, що модулює, амплітудного обмежувача й амплітудного детектора сигналу на частоті Доплера.

До складу запропонованого пристрою на схемі (фіг. 1) входять такі основні елементи:

антена, що передає 1;

приймальна антена 2;

передавач, що складається з генератора 3 високої частоти f , генератора 4 низької частоти, що модулюють F , і частотні модулятори 5;

приймач 6 луна-сигналів, наприклад, супергетеродинний приймач зі своїм гетеродином, змішувачем і амплітудним детектором;

фільтр частоти, що модулює 7, настроєний на низьку частоту F сигналу, що модулює;

амплітудний детектор 8 сигналу на частоті Доплера F_D із виходу фільтра 7;

фазовимірювач 9 зсуву фаз φ сигналу передавача, що модулює, щодо сигналу на частоті F із виходу амплітудного детектора 8;

амплітудний обмежувач 10 сигналу на частоті Доплера F_D ;

вимірювач частоти Доплера F_D 11;

обчислювач 12 дальності r і радіальної швидкості V_p цілі за показаннями фазовимірювача φ і частотою Доплера F_D за допомогою співвідношень (2), (3).

Принцип дії запропонованого пристрою пояснюється таким чином. Антена радіолокатора, що передає, випромінює височастотний сигнал, модульований по частоті синусоїдальною напругою низької частоти F , що нижче доплерівської частоти F_D луна-сигналу цілі. Епюра синусоїдального сигналу передавача, що модулює, на низькій частоті, що модулює F , умовно надана на фіг. 2. Приймальна антена приймає одночасно луна-сигнал цілі і прямий частотно-модульований сигнал антени, що передає. Луна-сигнал цілі буде містити доплерівський зсув частоти, а прямий сигнал антени такого зсуву не містить. Амплітудний детектор приймача має приблизно квадратичну вольт-амперну характеристику. Пропонується виділити за допомогою цього детектора сигнал на різнищевій частоті луна-сигналу і сигналу передавача, що потрапляє в приймальну антену. Цей сигнал містить 4 частотні складові на доплерівській частоті і частоті, що модулює, передавача. Ці частотні складові пропону-

ється розділити за допомогою фільтра 7, настроєного на частоту, що модулює F , сигналу, амплітудного детектора 8 сигналу на частоті Доплера F_D і амплітудного обмежувача 10. Далі сигнал на частоті, що модулює, виділений на виході амплітудного детектора 8, пропонується використовувати для виміру дальності цілі по зсуву фаз φ цього сигналу щодо сигналу генератора, що модулює, 4 передавача, а сигнал на частоті Доплера F_D , виділений на виході амплітудного обмежувача 10, пропонується використовувати для визначення радіальної швидкості. Запропоноване технічне рішення дозволяє розділити частотні складові луна-сигналу по частотах F і F_D , що забезпечує одночасне визначення дальності g і радіальної швидкості V_r цілі і дозволяє виключити екран розв'язки антен із складу радіолокатора безупинного випромінювання.

Для обґрунтування можливості практичної реалізації запропонованого технічного рішення і його істотних відмітних ознак нижче наводяться необхідні математичні співвідношення.

Сигнал передавальної антени, що потрапляє в канал прийому, на вході амплітудного детектора приймача 6 визначається за таким співвідношенням

$$u_n = U_{m1} \cos[2\pi f_{np} t + M \sin(2\pi F t + \Phi_0) + \varphi_0], \quad (4)$$

де: u_n - сигнал антени, що передає, на вході амплітудного детектора приймача;

U_{m1} - амплітуда прямого сигналу антени, що передає, у каналі прийому;

f_{np} - проміжна частота супергетеродинного приймача;

t - час;

M - індекс частотної модуляції передавача;

F - частота частотної модуляції, що модулює, передавача;

Φ_0 - початкова фаза сигналу, що модулює;

φ_0 - початкова фаза сигналу генератора високої частоти передавача.

Луна-сигнал цілі на вході амплітудного детектора приймача визначений за таким співвідношенням

$$u_{\text{ц}} = U_{m2} \cos[2\pi(f_{np} + F_D)(t - t_3) + M \sin(2\pi F(t - t_3) + \Phi_0) + \varphi_0], \quad (5)$$

де: $u_{\text{ц}}$ - напруга луна-сигналу цілі на вході амплітудного детектора приймача;

U_{m2} - амплітуда напруги луни-сигналу цілі;

F_D - доплерівська частота луна-сигналу цілі;

t_3 - час запізнювання луна-сигналу цілі, який дорівнює

$$t_3 = \frac{2g}{c}, \quad (6)$$

g - дальність цілі;

c - швидкість світла.

Амплітудний детектор приймача має приблизно квадратичну вольт-амперну характеристику, і напруга на виході цього детектора буде

$$u_{\text{вих}} = AR_n (u_n + u_{\text{ц}})^2, \quad (7)$$

де: $u_{\text{вих}}$ - напруга на виході амплітудного детектора приймача;

A - коефіцієнт вольт-амперної характеристики діодів детектора приймача;

R_n - опір навантаження детектора.

Підставляючи співвідношення (4), (5) у (7), одержимо таке співвідношення для напруги u_d складової різницевої низької частоти на виході детектора приймача

$$u_d = AR_n U_{m1} U_{m2} \cos[2\pi F_D t - 2\pi(f_{np} + F_D)t_3 - 2M \sin(\pi F t_3) \cos(2\pi F t - \pi F t_3 + \Phi_0)]. \quad (8)$$

Звідси очевидно, що низькочастотна напруга на виході амплітудного детектора приймача подає сигнал на несучій частоті Доплера F_D , модульований по частоті більш низькою частотою, що модулює F , сигналу, що модулює. Епюра низькочастотного сигналу на виході амплітудного детектора приймача умовно надана на фіг. 3.

Для поділу частотних складових на доплерівській частоті F_D і частоті, що модулює, F пропонується використовувати фільтр 7 у вигляді контуру, настроєного на низьку частоту, що модулює F , і має широкую смугу, що охоплює можливий діапазон доплерівських частот цілі. Напруга на виході такого фільтра пропорційна миттєвій частоті частотно-модульованого сигналу. Тобто такий контур перетворює частотно-модульований сигнал в амплітудно-модульований сигнал на несучій частоті Доплера F_D . Останній промодульований по амплітуді частотою, що модулює F . Розрахункова епюра амплітудно-модульованого сигналу на несучій частоті Доплера F_D на виході фільтра 7 надана на фіг. 4. З цього сигналу можна одержати сигнал на доплерівській частоті F_D за допомогою амплітудного обмежувача 10, що обмежить неглибоку амплітудну модуляцію вихідної напруги фільтра 7. Епюра сигналу на частоті Доплера F_D на виході амплітудного обмежувача 10 надана на фіг. 5. Складові на частоті, що модулює F , не пройде на вихід цього обмежувача і не буде перешкоджати вимірювати частоту Доплера F_D за допомогою вимірювача частоти.

Для виділення складової на частоті, що модулює F , із вихідного амплітудно-модульованого сигналу на несучій частоті F_D із виходу фільтра 7 пропонується використовувати амплітудний детектор 8. Розрахункова епюра низькочастотного сигналу на частоті, що модулює F , амплітудного детектора 8 надана на фіг. 6. З епюр фіг. 2, 6 очевидно, що сигнал частоти F на виході амплітудного детектора 8 запізнюється по фазі щодо сигналу передавача, що модулює. Зсув фаз цих сигналів φ містить інформацію про дальність цілі і дорівнює

$$\varphi = \pi F t_3 + \pi = 2\pi F \frac{g}{c} + \pi. \quad (9)$$

Співвідношення (9) отримане з (4), (8) з урахуванням характеристик фільтра 7 і детектора 8. З співвідношення (9) отримане співвідношення (3), що рекомендується використовувати для визначення дальності цілі g за показаннями φ фазовимірювача 9. Цей фазовимірювач вимірює зсув фаз сигналу генератора, що модулює 4, низької частоти

ти, що модулює F , передавача і вихідної напруги амплітудного детектора 8 на цій же частоті. Радіальну швидкість цілі V_p визначають за результатом виміру частоти Доплера F_d вимірювачем частоти 11 за допомогою відомого співвідношення (2).

Використання фільтра 7, амплітудного детектора 8 і амплітудного обмежувача 10 принципово необхідне для поділу складових на частотах Доплера F_d і частоти, що модулює F , із низькочастотної напруги з виходу амплітудного детектора приймача і забезпечення можливості одночасного виміру дальності і радіальної швидкості цілі.

Таким чином, запропонований пристрій може бути практично реалізований, а зазначені вище його відмітні ознаки є істотними і принципово необхідні для реалізації цього пристрою.

Основні елементи запропонованого пристрою на схемі (фіг. 1) виконані таким чином. Передавач радіолокатора виконаний із генератора 3 синусоїдального сигналу високої частоти, генератора 4 синусоїдального сигналу низької частоти, що модулює F , і частотного модулятора 5. Цей модулятор може бути виконаний, наприклад, за відомою схемою Армстронга. Генератор 4 низької частоти, що модулює F , передавача має два виходи, один з яких пов'язаний із частотним модулятором 5, а інший - з фазовимірювачем 9. У запропонованому пристрої не потрібно екранувати приймальну антену від антени, що передає, і екран розв'язки антен виключений, а влучення прямих радіохвиль антени, що передає, у приймальну антену принципово необхідне для роботи пристрою.

Приймач 6 виконаний у вигляді звичайного супергетеродинного приймача зі своїм гетеродином, змішувачем, підсилювачем проміжної частоти й амплітудного детектора, що повинен мати приблизно квадратичну вольт-амперну характеристику. Фільтр 7 настроєний на частоту, що модулює F , і повинен мати широку смугу пропускання, що охоплює можливий діапазон доплерівських частот цілі. Припускається, що частота передавача, що модулює, менше доплерівської частоти цілі $F < F_d$. Амплітудний обмежувач 10 повинен мати поріг обмеження, що нижче рівня вихідної напруги фільтра 7. Амплітудний детектор 8 повинен забезпечувати детектування амплітудно-модульованого сиг-

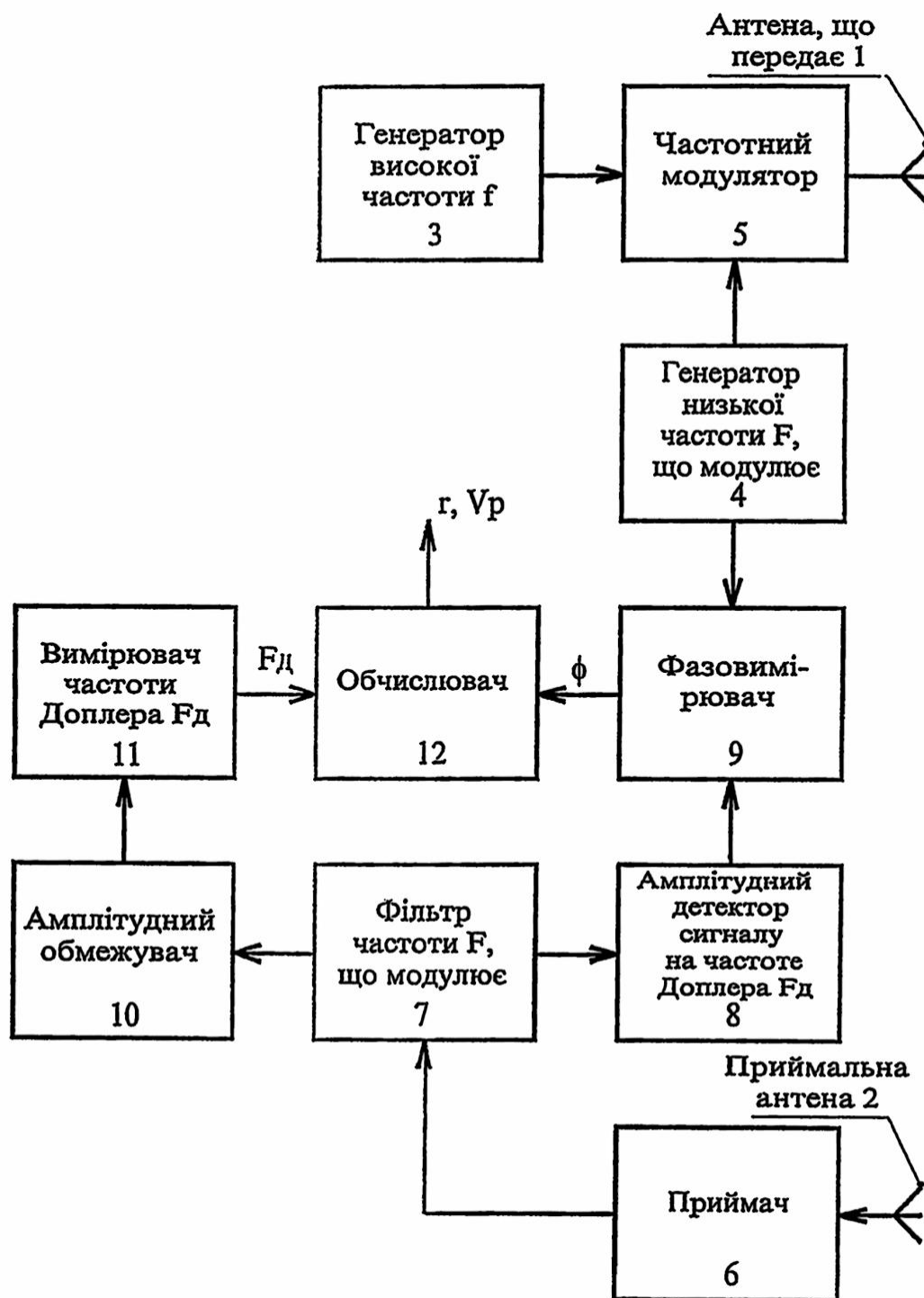
налу на несучій частоті Доплера у всьому діапазоні можливих доплерівських частот. Вимірювач 11 частоти Доплера F_d має відому конструкцію. Фазовимірювач 9 не відрізняється від фазовимірювача прототипу. Обчислювач 12 виконаний у вигляді мікроЕОМ для обчислення радіальної швидкості і дальності цілі за допомогою співвідношень (2), (3) за результатами вимірів f і F_d .

Динаміка роботи запропонованого пристрою здійснюється таким чином. Передавач формує, а антена, що передає 1, випромінює сигнал, що зондує, у вигляді безупинного сигналу високої частоти f , модульованого по частоті сигналом низької частоти, що модулює F . Приймальна антена 2 приймає луна-сигнал цілі і прямий сигнал антени, що передає. Приймач 6 посилює ці сигнали, перетворює їх на проміжну частоту і детектує, а на виході амплітудного детектора приймача виділяється низькочастотний сигнал на низькій різнищевій частоті сигналів цілі і передавача. Цей сигнал являє собою частотно-модульований сигнал на несучій частоті Доплера. Фільтр 7 перетворює цей частотно-модульований сигнал в амплітудно-модульований сигнал на несучій частоті Доплера. Амплітудний обмежувач 10 обмежує амплітудну модуляцію і виділяє сигнал на частоті Доплера, що вимірюють вимірювачем частоти 11. Амплітудний детектор 8 детектує амплітудно-модульований сигнал на несучій частоті Доплера F_d і виділяє з нього майже синусоїдальний сигнал на частоті F . Фазовимірювач 9 вимірює зсув фаз ϕ цього сигналу. Обчислювач 12 обчислює радіальну швидкість V_p і дальність цілі r за результатами вимірів F_d і ϕ за допомогою співвідношень (2), (3).

Таким чином, запропонований пристрій вирішує поставлену задачу, усуває відзначені хиби прототипу і забезпечує одночасний вимір дальності і радіальної швидкості цілі за допомогою фазового радіолокатора безупинного випромінювання.

Джерела інформації:

1. Педак А.М., Баклашов П.И. и др. Справочник по основам радиолокационной техники / Под ред. В.В. Дружинина. - М.: Военное издательство, 1967. - С. 23, 24, рис. 1.13 (прототип).



Фіг. 1

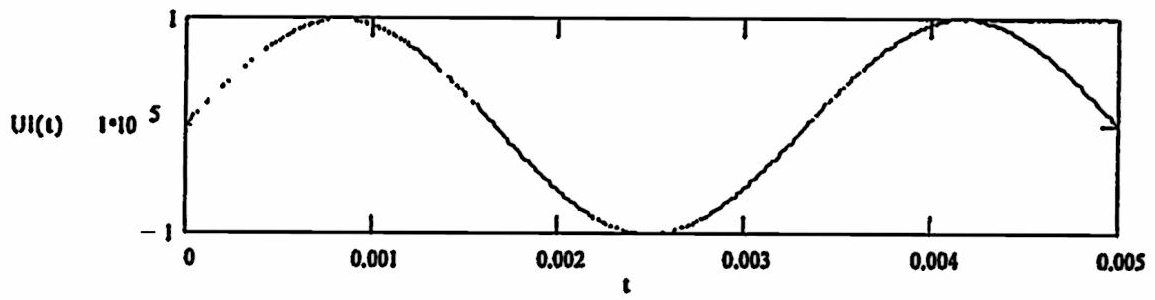


Fig. 2

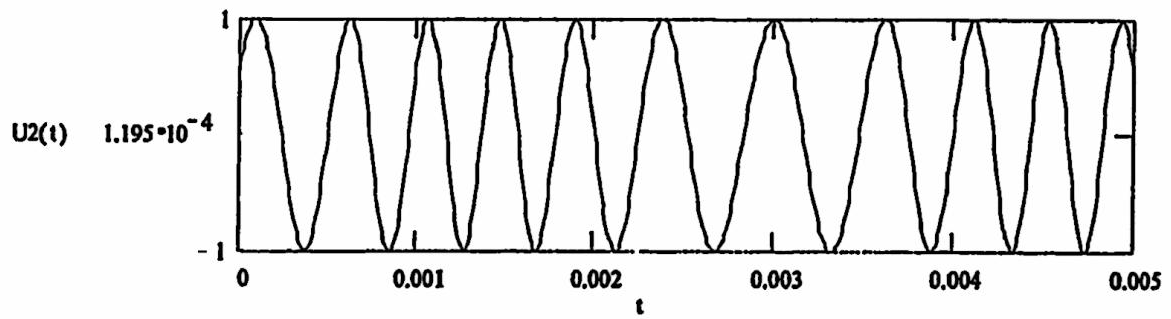


Fig. 3

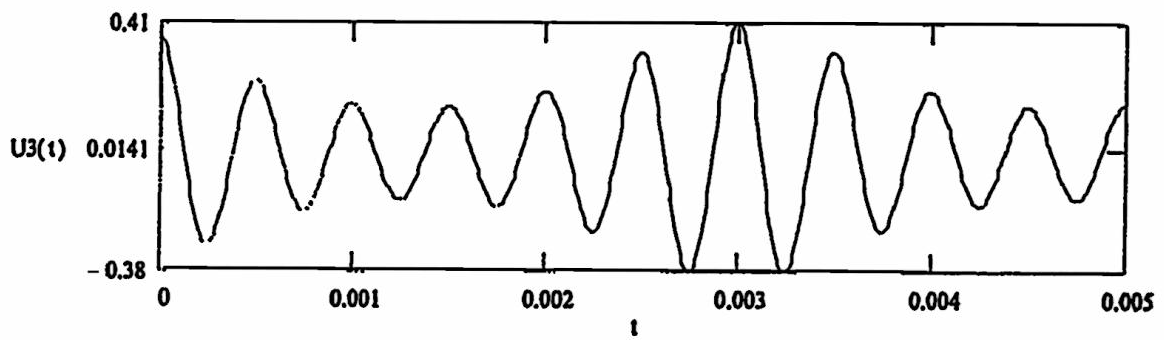
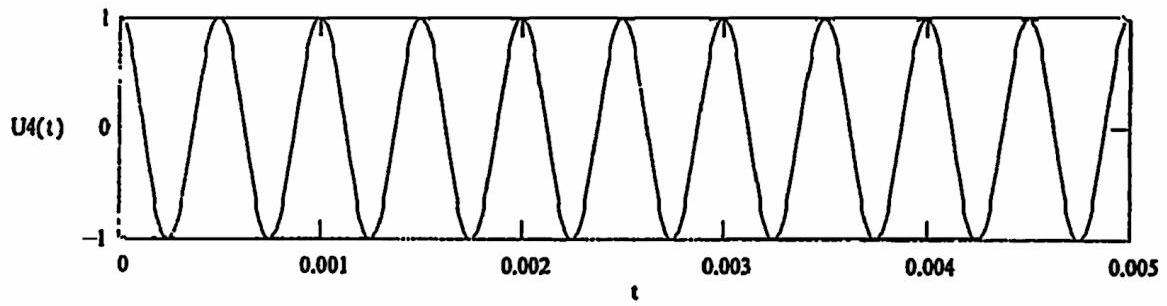
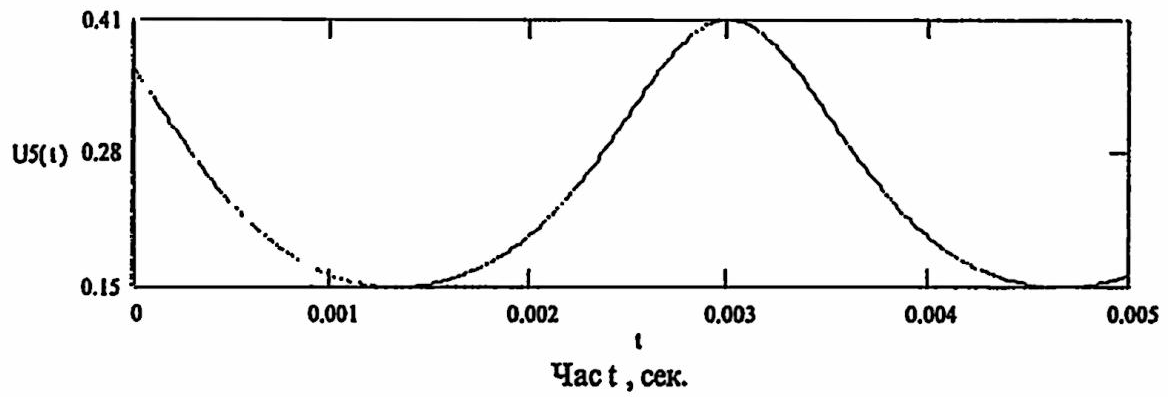


Fig. 4



Фіг. 5



Фіг. 6

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
(044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2001 р. Формат 60x84 1/8.
Обсяг _____ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.
(044) 268-25-22
