



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ(21)(22) Заявка: **2011101615/28**, 18.01.2011(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
18.01.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **18.01.2011**(45) Опубликовано: **27.05.2012** Бюл. № 15(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2288449 C2**, 27.11.2006. **RU 2390724 C2**, 27.05.2010. **US 5805468 A**, 08.09.1998. **US 2010128247 A1**, 27.05.2010. **JP 2002368720 A**, 20.12.2002. **US 5179286 A**, 12.01.1993.

Адрес для переписки:

**117342, Москва, ул. Введенского, 3, ФГУП
НИИ "Полус" им. М.Ф. Стельмаха, НТЦ
"Система", для В.Г. Вильнера**

(72) Автор(ы):

**Вильнер Валерий Григорьевич (RU),
Волобуев Владимир Георгиевич (RU),
Казаков Александр Аполлонович (RU),
Рябокуль Артем Сергеевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное унитарное
предприятие "Научно-исследовательский
институт "Полус" им. М.Ф. Стельмаха" (RU)****(54) СПОСОБ ВРЕМЕННОЙ ПРИВЯЗКИ ИМПУЛЬСНОГО СВЕТОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА**

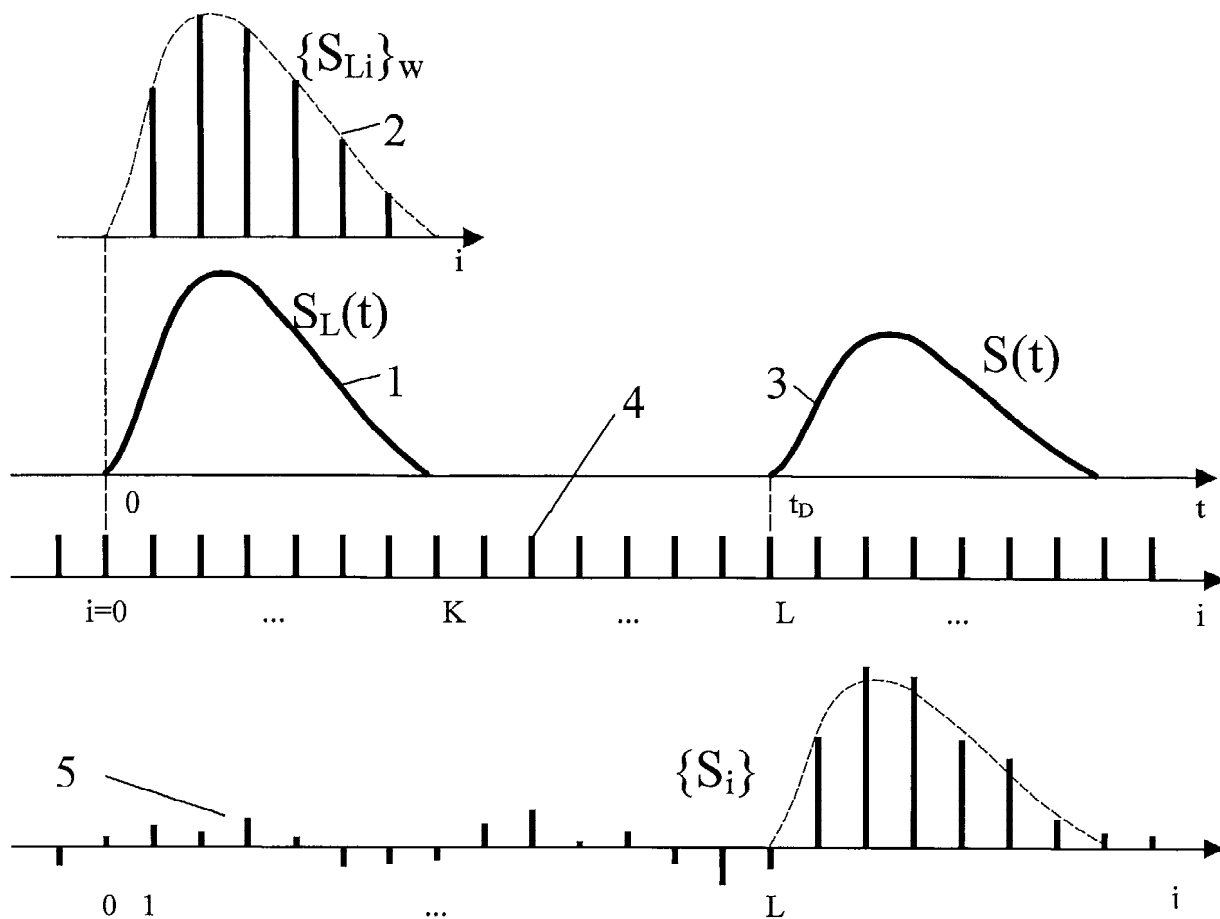
(57) Реферат:

Изобретение относится к лазерной технике, а именно к лазерной дальнометрии. Технический результат изобретения заключается в повышении точности определения дальности до цели. Способ временной привязки импульсного светолокационного сигнала к сигналу тактовой частоты, синхронизированному с зондирующим импульсом, заключается в формировании массива выборочных значений сигнала и последующей временной привязке путем сравнения с цифровым шаблоном, соответствующим форме зондирующего импульса. Цифровой шаблон формируют путем оцифровки зондирующего импульса, в результате чего образуют базовый массив

выборочных значений зондирующего импульса; после этого массив интерполируют гладкой функцией, а затем формируют дополнительные массивы. В процессе временной привязки светолокационного сигнала массив его выборочных значений сравнивают с каждым из дополнительных массивов, в результате чего формируют оценки, характеризующие близость базового и дополнительных массивов, например, в виде суммарного абсолютного отклонения, определяют порядковый номер, при котором оценка в наибольшей степени характеризует близость массивов, и формируют поправку временной привязки относительно импульса тактовой частоты, совпадающего с началом сигнала. 3 ил.

RU 2 451 950 C1

RU 2 451 950 C1



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2011101615/28, 18.01.2011

(24) Effective date for property rights:
18.01.2011

Priority:

(22) Date of filing: 18.01.2011

(45) Date of publication: 27.05.2012 Bull. 15

Mail address:

117342, Moskva, ul. Vvedenskogo, 3, FGUP NII
"Poljus" im. M.F. Stel'makha, NTTs "Sistema",
dlja V.G. Vil'nera

(72) Inventor(s):

Vil'ner Valerij Grigor'evich (RU),
Volobuev Vladimir Georgievich (RU),
Kazakov Aleksandr Apollonovich (RU),
Rjabokul' Artem Sergeevich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe
predpriyatje "Nauchno-issledovatel'skij institut
"Poljus" im. M.F. Stel'makha" (RU)

(54) **METHOD FOR TIMING PULSED OPTICAL LOCATION SIGNAL**

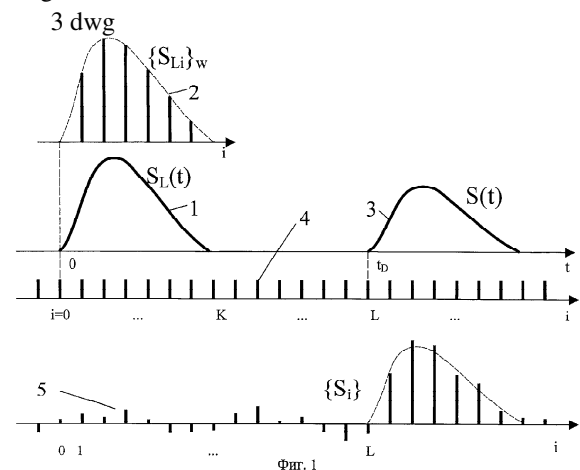
(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: method of timing a pulsed optical location signal to a clock frequency signal, which is synchronised with a probing pulse, involves generating an array of sampled signal values and subsequent timing by comparing with a digital template corresponding to the shape of the probing pulse. The digital template is formed by digitising the probing pulse, which results in formation of base array of sampled values of the probing pulse. Further, the array is interpolated with a smooth function and additional arrays are formed. When timing the optical location signal, the array of its sampled values is compared with each of the additional arrays to obtain estimates which characterise proximity of the base and additional arrays, e.g., in form of total absolute deviation. The index number for which the estimate most

characterises proximity of arrays is determined and an adjustment of timing relative the clock frequency pulse coinciding with the beginning of the signal is generated.

EFFECT: high accuracy of determining range to a target.



RU 2 4 5 1 9 5 0 C 1

RU 2 4 5 1 9 5 0 C 1

Изобретение относится к лазерной технике, а именно к лазерной дальнометрии.

Известны локационные способы измерения дальности до удаленных объектов. Известен способ измерения дальности до цели [1], включающий посылку на цель зондирующего лазерного импульса $S_L(t-t_0)$, где t - текущее время, t_0 - момент посылки, регистрацию момента посылки t_0 , прием отраженного целью излучения $S(t-t_D)$, регистрацию момента приема t_D и определение временного интервала $\tau=t_D-t_0$, по которому судят о дальности D до цели по формуле $D=c\tau/2$, где c - скорость света. Согласно этому способу, регистрацию моментов излучения зондирующего импульса и приема отраженного сигнала (временную привязку) производят в момент превышения сигналом заданного порога (привязка по фронту). При таком способе погрешность временной привязки велика - порядка длительности фронта сигнала [2]. Другим недостатком описанного в [1] способа является невысокая точность определения временного интервала τ , поскольку в измерителях первого поколения использовались аналоговые методы измерения временных интервалов.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому способу является способ временной привязки импульсного светолокационного сигнала $S(t-t_D)$ к сигналу тактовой частоты, синхронизированному с зондирующим импульсом $S_L(t)$, путем подсчета количества периодов T тактовой частоты от момента излучения зондирующего импульса, заключающийся в формировании массива $\{S_i\}$ выборочных значений сигнала $S(t-t_D)$, с периодом выборок T , и последующей временной привязке путем сравнения с цифровым шаблоном $\{S_{L_i}\}$, соответствующим зондирующему импульсу [3].

В указанном источнике сравнение массивов $\{S_{L_i}\}$ и $\{S_j\}$ производят путем последовательного сдвига массива $\{S_i\}$ на $p=1, 2, \dots, I_{\max}$ шагов, соответствующих периоду T тактовой последовательности, и определения на каждом шаге коэффициента корреляции $R(p) = \sum_{j=1}^K S_{0j} \cdot S_{j+p}$. Значение P , при котором

корреляционная зависимость $R(P)$ принимает максимальное значение, считают соответствующим временному положению принятого сигнала и определяют дальность до цели по формуле $D=cPT/2$, где c - скорость света. Максимальное количество шагов $p=I_{\max}$ соответствует предельной измеряемой дальности D_{\max} и определяется выражением $I_{\max}=2D_{\max}/cT$.

При таком методе фиксации временного положения принятого сигнала $S(t)$, представленного массивом своих выборочных значений $\{S_i\}$, точность измерения дальности определяется дискретностью тактового сигнала T .

Задачей изобретения является повышение точности определения дальности. Указанная задача решается за счет того, что в известном способе временной привязки импульсного светолокационного сигнала $S(t)$, где t - текущее время, к сигналу тактовой частоты с периодом T , синхронизированному с зондирующим импульсом $S_L(t)$, заключающемся в формировании массива $\{S_i\}$ выборочных значений сигнала $S(t)$, с периодом выборок T , и последующей временной привязке путем сравнения с цифровым шаблоном, соответствующим форме зондирующего импульса, цифровой шаблон формируют путем оцифровки зондирующего импульса $S_L(t)$, с периодом T , в результате чего образуют базовый массив $\{S_{L_i}\}_0$ выборочных значений зондирующего импульса $S_{T_i}=S_L(i \cdot T)$, где $i=1, \dots, I$ - индекс оцифровки; $I=t_{\text{и}}/T$ - количество выборок в массиве $\{S_{L_i}\}_0$; $t_{\text{и}}$ - длительность импульса; после этого массив $\{S_{L_i}\}_0$ интерполируют гладкой функцией $S_L^*(t)$, а затем формируют массивы

$\{S_{Li}\}_w$, где $w=1, 2, \dots, W$, образуемые по формуле $S_{Liw}=S_L^*(t_{iw})$, где $t_{iw}=(w-1)T/W+(i-1)T$,
 причем при формировании массива $\{S_{Li}\}_0$ начало отсчета времени $t=0$ выбирают так,
 чтобы на период от этого момента до вершины зондирующего импульса приходилось
 не менее чем два периода T тактовой частоты, количество W дополнительных
 массивов выбирают из условия $2 \leq W \leq T/\Delta_T$, где Δ_T - неустранимая аппаратурная
 погрешность временной привязки, а в процессе временной привязки
 светолокационного сигнала массив его выборочных значений сравнивают с каждым
 из массивов $\{S_{Li}\}_w$ в результате чего формируют W оценок $R_w=R(\{S_{1i}\}_w, \{S_{2i}\})$,
 характеризующих близость массивов $\{S_{1i}\}_w$ и $\{S_{2i}\}$, например, в виде суммарного
 абсолютного отклонения $R_w = \sum_{i=1}^I |S_{1iw} - S_{2i}|$, определяют порядковый номер w^* , при
 котором оценка R_w в наибольшей степени характеризует близость массивов $\{S_{1i}\}_w$ и
 $\{S_{2i}\}$, и формируют поправку T_t временной привязки относительно импульса тактовой
 частоты, совпадающего с началом сигнала $S(t)$, по формуле $T_t=\Delta N \cdot T$, где $\Delta N=(w^*-1)/W$,
 T - период тактовой частоты.

На Фиг.1 представлена временная диаграмма процесса зондирования, его привязки
 к тактовой частоте и формирования массивов $\{S_{Li}\}$ и $\{S_i\}$. Фиг.2 иллюстрирует
 принцип формирования массивов $\{S_{Li}\}_{w=1}$ и $\{S_{Li}\}_{w=W}$. На фиг.3а) и б) приведены
 результаты представления функции $S_L^*(t)$ соответственно кубическими сплайнами и по
 методу наименьших квадратов.

В момент времени $t=0$ в направлении цели посылают зондирующий импульс $S_L(t)$,
 представленный массивами своих выборочных значений $\{S_{Li}\}_w$. Один из таких
 массивов 2 показан на фиг.1. Момент $t=0$ излучения зондирующего импульса 1
 привязан к тактовой последовательности 4 путем присвоения импульсу тактовой
 последовательности, совпадающему с моментом $t=0$, порядкового номера $i=0$.
 Тактовые импульсы генерируют с помощью высокостабильного источника с
 частотой $F_T=1/T$, где T - период следования тактовых импульсов.

После излучения зондирующего импульса принимают отраженный целью
 импульс $S(t)$ 3 и производят его оцифровку с периодом тактовой частоты T .
 Результаты оцифровки сохраняют в массиве $\{S_i\}$ 5, который затем сравнивают с
 каждым из массивов $\{S_{Li}\}_w$, образуемых следующим образом.

Базовый массив $\{S_{Li}\}_1$ 6 формируют путем предварительной оцифровки
 зондирующего сигнала 1, заключающейся в пробном излучении зондирующего
 сигнала 1, его преобразовании в электрический сигнал, выделении и регистрации его
 выборочных значений 6 с периодом T , как это показано на фиг.2а). Вслед за этим
 производят интерполяцию массива $\{S_{Li}\}_0$ гладкой функцией $S_L^*(t)$. Эта функция 7
 показана на фиг.2. Построив функцию $S_L^*(t)$, формируют W массивов ее выборочных
 значений 2. Каждый из этих массивов образуют по формуле

$$S_{Liw} = S_L^*(t_{iw}), \text{ где} \quad (1)$$

$$t_{iw} = (w-1)T/W + (i-1) \cdot T;$$

$$w = 1, 2, \dots, W; i = 1, 2, \dots, I.$$

Формирование шаблона в виде W массивов, формируемых по формуле (1), и
 осуществление временной привязки массива $\{S_i\}$ путем его поочередного сравнения с
 каждым из этих массивов $\{S_{Li}\}_w$ дает возможность уменьшить дискретность
 измерения дальности в W раз, поскольку результаты такого сравнения зависят от
 порядкового номера массива $\{S_{Li}\}_w$. Благодаря этому существенно повышается
 точность измерения без увеличения тактовой частоты F_T .

Рассмотренный способ формирования шаблона позволяет произвести оцифровку зондирующего сигнала стандартными техническими средствами без увеличения тактовой частоты и без необходимости многократных пробных зондирований с введением сдвига оцифровки $t_w = wT/W$ при каждом таком зондировании. Это позволяет исключить аппаратные ошибки формирования шаблона, связанные с погрешностью задания сдвига t_w , неоднозначностью воспроизведения амплитуды и формы сигнала при каждом пробном зондировании, воздействии помех и других факторов, присущих аналого-цифровой обработке. На фиг.3 показаны примеры интерполяции зондирующего сигнала $S_L(t)$ 1, представленного массивом своих выборочных значений $\{S_{Li}\}_0$ 6, с помощью кубических сплайнов (кривая 9) и аппроксимации по методу наименьших квадратов (кривая 11) [4]. Ошибки аппроксимации показаны на тех же графиках в масштабе 50:1 - кривая 10 при сплайн-интерполяции и кривые 12, 13 - при аппроксимации полиномами соответственно степени 7 и 9. При любом из указанных методов аппроксимации предлагаемый способ при оцифровке массивов $\{S_{Li}\}_w$ обеспечивает погрешность порядка 0,1% и менее. Такая точность недостижима при непосредственном аналого-цифровом преобразовании зондирующего сигнала.

Данный способ реализован в экспериментальном образце лазерного дальномера со следующими характеристиками. Тактовая частота $F_T = 25$ МГц (тактовый период $T = 40$ нс, что соответствует дискретности по дальности $\Delta D = 6$ м). Количество массивов $W = 100$. Общее количество выборок в каждом массиве $\{S_{Li}\}_w$ $K = 5$. Среднеквадратичная ошибка измерения дальности не превышает 0,06 м и определяется неустранимой аппаратной погрешностью временной привязки. У известных дальномеров ошибка измерения в десятки раз больше этой величины.

Предлагаемый способ по сравнению с известными способами обеспечивает значительно более точную оценку положения отраженного сигнала по массиву его выборочных значений в условиях воздействия шумов, в том числе, при многократном зондировании и накоплении данных. В результате обеспечивается существенное повышение точности определения дальности до цели.

Источники информации

1. В.А.Волохатюк, В.М.Кочетков, Р.Р.Красовский. Вопросы оптической локации. - М.: Советское радио, 1971 г., с.176.
2. Е.А.Мелешко. Интегральные схемы в наносекундной ядерной электронике. - М.: Атомиздат, 1977, с.77.
3. United States Patent No 5805468, September 8, 1998, Method and apparatus for determining the light transit time over a measurement path arranged between a measuring apparatus and a reflecting object. - Прототип.
4. И.Н.Бронштейн, К.А.Семендяев. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. - М.: Наука, 1986 г.

Формула изобретения

Способ временной привязки импульсного светолокационного сигнала $S(t)$, где t - текущее время, к сигналу тактовой частоты с периодом T , синхронизированному с зондирующим импульсом $S_L(t)$, заключающийся в формировании массива $\{S_i\}$ выборочных значений сигнала $S(t)$ с периодом выборок T и последующей временной привязке путем сравнения с цифровым шаблоном, соответствующим форме зондирующего импульса, отличающийся тем, что цифровой шаблон формируют путем оцифровки зондирующего импульса $S_L(t)$ с периодом T , в результате чего образуют

базовый массив $\{S_{Li}\}_0$ выборочных значений зондирующего импульса $S_{Ti}=S_L(i \cdot T)$,
 где $i=1, \dots, I$ - индекс оцифровки; $I=t_n/T$ - количество выборок в массиве $\{S_{Li}\}_0$; t_n -
 длительность импульса; после этого массив $\{S_{Li}\}_0$ интерполируют гладкой функцией
 $S_L^*(t)$, а затем формируют массивы $\{S_{Li}\}_w$, где $w=1, 2, \dots, W$, образуемые по формуле
 $S_{Liw}=S_L^*(t_{iw})$, где $t_{iw}=(w-1)T/W+(i-1)T$, причем при формировании массива $\{S_{Li}\}_0$
 начало отсчета времени $t=0$ выбирают так, чтобы на период от этого момента до
 вершины зондирующего импульса приходилось не менее чем два периода T тактовой
 частоты, количество W дополнительных массивов выбирают из условия $2 \leq W \leq T/\Delta_T$,
 где Δ_T - неустранимая аппаратурная погрешность временной привязки, а в процессе
 временной привязки светолокационного сигнала массив его выборочных значений
 сравнивают с каждым из массивов $\{S_{Li}\}_w$, в результате чего формируют W оценок
 $R_w=R(\{S_{1i}\}_w, \{S_{2i}\})$, характеризующих близость массивов $\{S_{1i}\}_w$ и $\{S_{2i}\}$, например, в
 виде суммарного абсолютного отклонения $R_w = \sum_{i=1}^I |S_{1iw} - S_{2i}|$, определяют
 порядковый номер w^* , при котором оценка R_w в наибольшей степени характеризует
 близость массивов $\{S_{1i}\}_w$ и $\{S_{2i}\}$, и формируют поправку T_t временной привязки
 относительно импульса тактовой частоты, совпадающего с началом сигнала $S(t)$, по
 формуле $T_t=\Delta N \cdot T$, где $\Delta N=(w^*-1)/W$, T - период тактовой частоты.

25

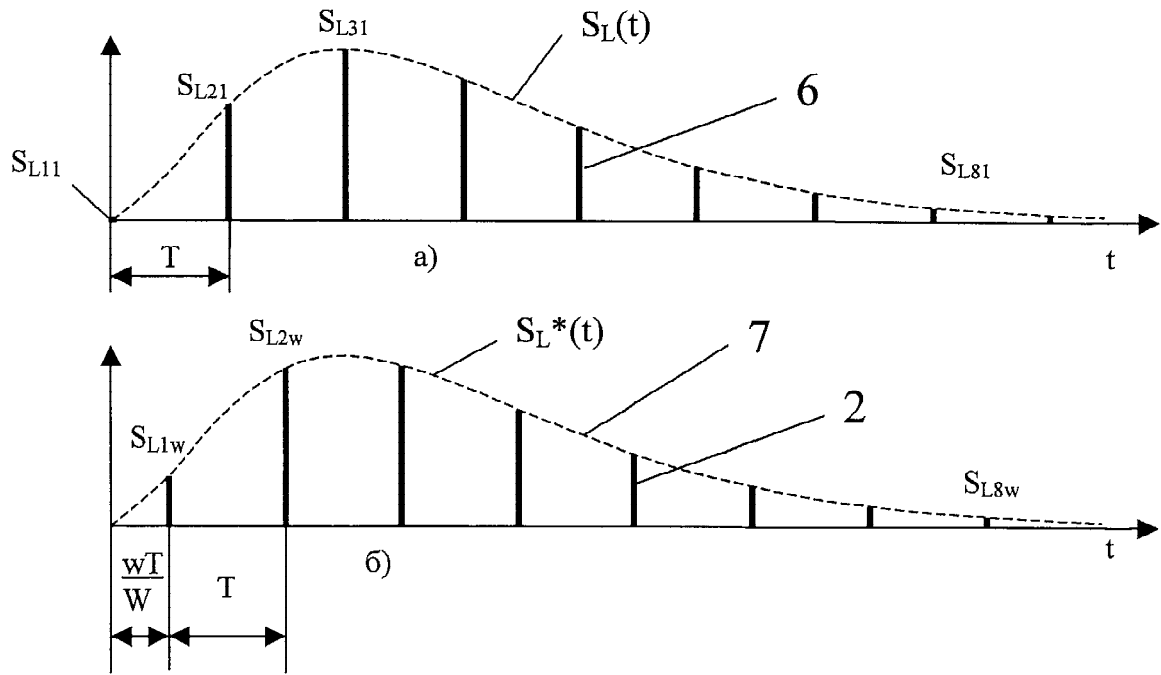
30

35

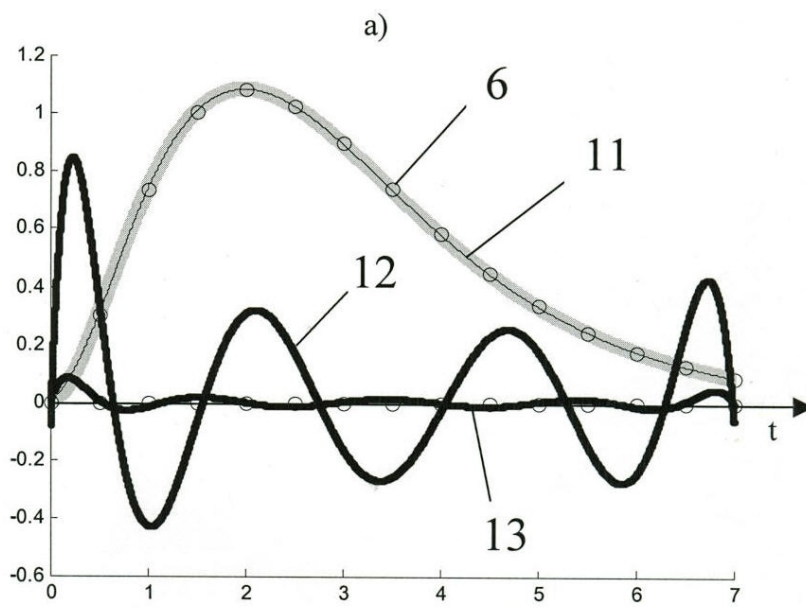
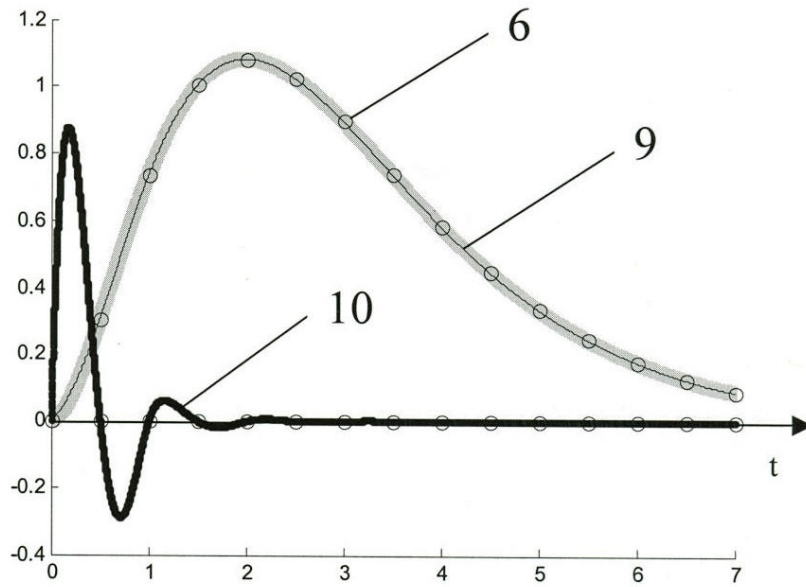
40

45

50



Фиг. 2



б)

Фиг. 3