



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2003120779/09, 07.07.2003

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
07.07.2003

(43) Дата публикации заявки: 10.02.2005

(45) Опубликовано: 27.02.2006 Бюл. № 6

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2099892 C1, 20.12.1997. SU 1737748 A1, 30.05.1992. СПИЛКЕР Дж. Цифровая спутниковая связь. Пер. с англ./Под ред. В.В. Маркова. М.: Связь, 1979. ПЕСТРЯКОВ В.Б. Фазовые радиотехнические системы. М.: Советское радио, 1968. ПЕТРОВИЧ Н.Т. Передача дискретной информации в каналах с фазовой манипуляцией. М., 1965. ФАЛЬКО А.И., ЗЮКО А.Г. Радиоприемные устройства/Под ред. А.Г. Зюко. М.: Связь, 1975.

Адрес для переписки:
660074, г.Красноярск, а/я 24136, А.П. Романову

(72) Автор(ы):

Романов Александр Петрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

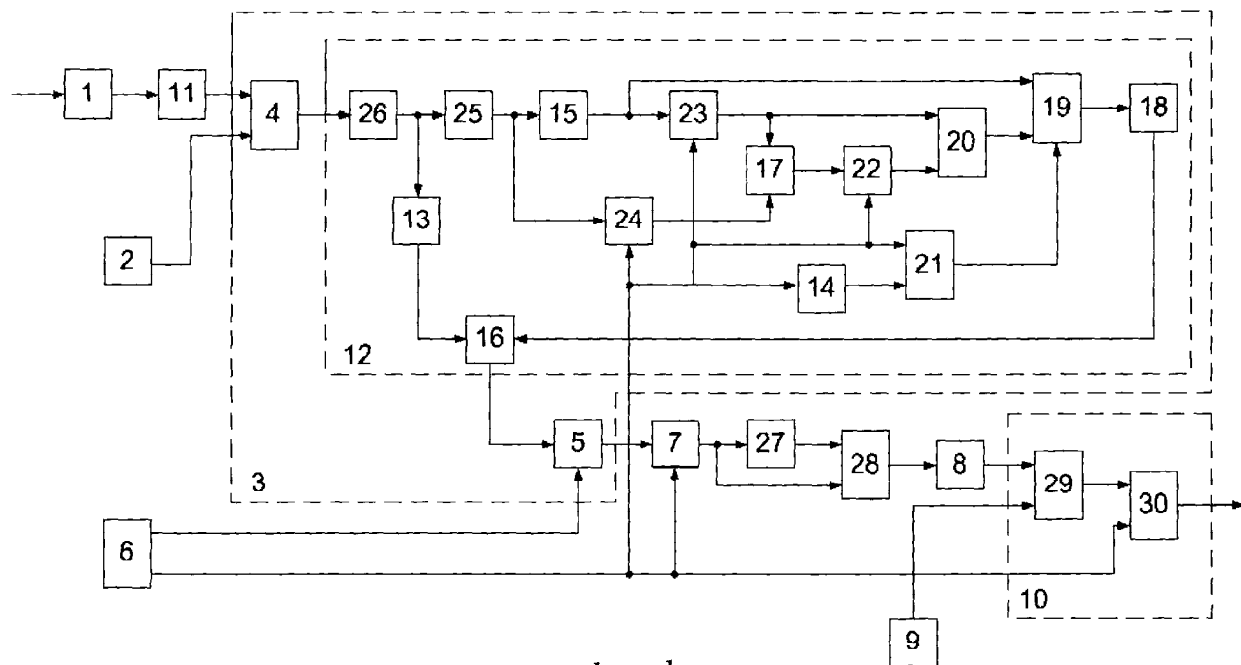
Романов Александр Петрович (RU),
Романова Галина Михайловна (RU),
Сидоренко Юлия Александровна (RU)

(54) СПОСОБ ДЕМОДУЛЯЦИИ СИГНАЛОВ С ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области приема цифровых сигналов, передаваемых методом относительной фазовой модуляцией (ОФМ), и может быть использовано для построения устройств демодуляции. Технический результат заключается в повышении помехоустойчивости демодуляции сигналов ОФМ, уменьшении среднего уровня помехи, действующей на входе интегратора коррелятора. Для этого определяют мгновенные значения части помехи на выходе перемножителя

сигналов коррелятора путем дифференцирования сигнала и разделения его на две ветви: 1) задержанный на время длительности переходного процесса сигнал; 2) незадержанный сигнал, а также взятии отчетов в ветвях в момент окончания переходного процесса в незадержанной ветви, линейной интерполяции значений между отчетами и вычитания вычисленных мгновенных значений помехи из аддитивной смеси сигнала с помехой. 2 н.п. ф-лы, 3 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2003120779/09, 07.07.2003**

(24) Effective date for property rights: **07.07.2003**

(43) Application published: **10.02.2005**

(45) Date of publication: **27.02.2006 Bull. 6**

Mail address:
660074, g.Krasnojarsk, a/ja 24136, A.P. Romanovu

(72) Inventor(s):

Romanov Aleksandr Petrovich (RU)

(73) Proprietor(s):

**Romanov Aleksandr Petrovich (RU),
Romanova Galina Mikhajlovna (RU),
Sidorenko Julija Aleksandrovna (RU)**

(54) **METHOD AND DEVICE FOR DEMODULATING RELATIVE PHASE MODULATED SIGNALS**

(57) Abstract:

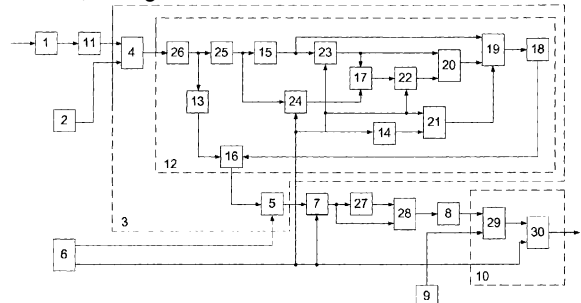
FIELD: receiving digital signals transferred by relative phase modulation method; demodulators.

SUBSTANCE: proposed method includes evaluation of instant value of part of noise at correlator signal multiplier output by signal differentiation and division into two branches: (1) signal delayed for transient time period; (2) undelayed signal; take-off of readings in branches by end of transient process in undelayed branch; linear interpolation of values between readings and subtraction of calculated instant values of noise from additive signal-and-noise mixture.

EFFECT: enhanced noise immunity in relative

phase modulated signal demodulation, reduced mean noise level at correlator integrator input.

2 cl, 3 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к передаче данных по дискретным каналам связи и может быть использовано для построения устройств демодуляции сигналов с относительной фазовой модуляцией.

Известный способ демодуляции сигналов с относительной фазовой модуляцией (ОФМ) [1, с.300] заключается в том, что формируют два сигнала с частотой, равной средней частоте демодулируемого сигнала, вычисляют на длительности элемента сигнала пару его корреляционных квадратурных (синфазный и квадратурный) опорных гармонических функций с упомянутыми опорными сигналами, берут в момент окончания элемента сигнала отсчеты указанных корреляционных функций, получают оценку фазы демодулируемого сигнала путем вычисления функции \arctg отношения этих отсчетов, сравнивая полученную оценку фазы соответствующей оценкой фазы, полученной на предшествующем элементе сигнала, принимают решение по методу сравнения фаз о переданном информационном символе.

Известен демодулятор сигналов с относительной фазовой модуляцией [1, с.300] (устройство), состоящий из двух корреляторов, двух блоков стробирования, а также из блока вычисления функции \arctg , решающего блока, генератора опорного колебания, фазовращателя, генератора тактовых импульсов; причем второй вход первого коррелятора вместе с входом фазовращателя подключен к выходу генератора опорного колебания, второй вход второго коррелятора соединен с выходом фазовращателя, входы установки корреляторов соединены вместе и подключены к первому выходу генератора тактовых импульсов; входы управления блоков стробирования соединяются с вторым выходом генератора тактовых импульсов; вход первого блока стробирования соединен с выходом первого коррелятора, а выход первого блока стробирования соединен с первым входом блока вычисления функции \arctg , второй вход которого соединен с выходом второго блока стробирования, вход которого подключен к выходу второго коррелятора, соединенные вместе первые входы первого и второго корреляторов служат входом демодулятора, выходом которого является выход решающего блока, вход которого подключен к выходу блока вычисления функции \arctg .

Описанный демодулятор ОФМ [1, с.300] является в известной мере математической моделью, поясняющей принципы демодуляции сигналов ОФМ, реализация которой связана со значительными трудностями. В известном способе демодуляции сигналов ОФМ после получения отсчетов упомянутых корреляционных функций вычисляют оценку фазы сигнала по правилу:

$$\varphi_n = \arctg(Y/X).$$

При этом получают оптимальную оценку фазы [2, с.380], линейно зависимость от фазы демодулируемого сигнала. Однако в условиях, когда демодулируемый сигнал ограничивают, используют в качестве опорных сигналов последовательности прямоугольных импульсов, оценка фазы, вычисленная по вышеуказанному правилу, перестает быть оптимальной, так как не обеспечивает линейной зависимости оценки от фазы демодулируемого сигнала, что соответственно приводит к снижению помехоустойчивости демодуляции сигналов ОФМ.

Наиболее близким к заявляемому способу является способ демодуляции сигналов с относительной фазовой модуляцией (ОФМ) [3], заключающийся в фильтрации демодулируемого сигнала $S(t)$, в получении на длительности T каждого элемента сигнала двух корреляционных функций $Y(t)$, $X(t)$, во взятии отсчетов Y_n , X_n , указанных корреляционных функций в момент окончания элемента сигнала, в получении оценки фазы Φ_n с использованием отсчетов Y_n , X_n , указанных корреляционных функций, в принятии решения о переданном информационном символе на основе сравнения оценки фазы Φ_n со значением фазы, полученном из предыдущих элементов сигнала, при этом формируют из упомянутого отфильтрованного демодулируемого сигнала $S(t)$ последовательность прямоугольных импульсов $S_n(t)$, соответствующих знаку его мгновенных значений, генерируют две опорных последовательности прямоугольных импульсов $c_n(t)$ и $s_n(t)$, соответствующих знаку мгновенных значений синфазного

Cos($2\pi \cdot f_0 \cdot t$) и квадратурного Sin($2\pi \cdot f_0 \cdot t$) сигналов с частотой f_0 , равной средней частоте демодулируемого сигнала, для получения упомянутых корреляционных функций $Y(t)$, $X(t)$ определяют корреляцию сформированной последовательности прямоугольных импульсов $S_n(t)$ с упомянутыми опорными импульсами последовательностями $c_n(t)$ и $s_n(t)$,

5 соответственно, определяют знаки и вычисляют абсолютные значения полученных отсчетов Y_n , X_n , формируют оценку фазы Φ_n сигнала по правилу

- $2A \cdot Y_n$, при ($|X_n| > |Y_n|$) & ($X_n \leq 0$) & ($Y_n \leq 0$)

- $A + X_n$, при ($|X_n| \leq |Y_n|$) & ($Y_n \leq 0$)

Y_n , при ($|X_n| > |Y_n|$) & ($X_n > 0$)

10 - $A - X_n$, при ($|X_n| \leq |Y_n|$) & ($Y_n > 0$)

- $2A \cdot Y_n$, при ($|X_n| > |Y_n|$) & ($X_n \leq 0$) & ($Y_n > 0$)

где A константа, ($A = \pi/2$), а & - операция конъюнкции.

Согласно вышеуказанному способу известен демодулятор сигналов ОФМ, состоящий из
 15 фильтра, из двух корреляторов, двух блоков стробирования, решающего блока, генератора опорного колебания, фазовращателя и генератора тактовых импульсов, причем вход первого блока стробирования соединен с выходом первого коррелятора, вход второго блока стробирования подключен к выходу второго коррелятора, вход фазовращателя подключен к выходу генератора опорного колебания, входы установки обоих корреляторов соединены вместе и подключены к первому выходу генератора тактовых импульсов, входы
 20 управления обоих блоков стробирования соединяются с вторым выходом генератора тактовых импульсов, вход фильтра служит входом демодулятора, выходом которого является выход решающего блока, ограничителя, двух блоков выделения знака и блока формирования оценки фазы, состоящего из двух инверторов, двух блоков выделения знака, коммутатора, двух блоков вычисления модуля, блока сравнения, генератора
 25 констант, сумматора, причем выход фильтра соединен с входом ограничителя, выход которого подключен к соединенным вместе первым входам корреляторов, второй вход первого коррелятора соединен с выходом первого блока выделения знака, вход которого подключен к выходу генератора опорного колебания, второй вход второго коррелятора соединен с выходом второго блока выделения знака, вход которого подключен к выходу
 30 фазовращателя, первый информационный вход коммутатора вместе с входом первого инвертора, входом третьего блока выделения знака и входом первого блока вычисления модуля служат первым входом блока формирования оценки фазы и соединены с выходом первого блока стробирования, четвертый информационный вход коммутатора вместе с входом второго инвертора, входом четвертого блока выделения знака и входом второго
 35 блока вычисления модуля служат вторым входом блока формирования оценки фазы и соединены с выходом второго блока стробирования, выход первого инвертора соединен с вторым информационным входом коммутатора, выход второго инвертора соединен с третьим информационным входом коммутатора, выход третьего блока выделения знака подключен к соединенным вместе первым управляющим входам коммутатора и генератора
 40 констант, выход четвертого блока выделения знака подключен к соединенным вместе вторым управляющим входам коммутатора и генератора констант, выход первого блока вычисления модуля подключен к первому входу блока сравнения, второй вход которого подключен к выходу второго блока вычисления модуля, выход блока сравнения подключен к соединенным вместе третьим управляющим входам коммутатора и генератора констант,
 45 выход коммутатора подключен к первому входу сумматора, второй вход которого подключен к выходу генератора констант, выход сумматора служит выходом блока формирования оценки фазы и соединен с входом решающего блока.

Но этому изобретению свойственна потеря помехоустойчивости до двух децибел
 50 особенно при малых отношениях сигнал/шум на входе демодулятора сигналов ОФМ вследствие использования такой операции, как формирование из отфильтрованного демодулируемого сигнала $S(t)$ последовательности прямоугольных импульсов $S_n(t)$, так как эта операция соответствует амплитудному ограничению или квантованию принимаемого сигнала [1, стр.493-496]. Кроме того, в известном устройстве

производится вычисление на длительности элемента T сигнала корреляционной функции $Y(t)$, определяемой в соответствии с (6а) выражением

$$Y(t) = \int_{(n-1)T}^{nT} S_n(t) \cdot c_n(t) dt$$

5 Согласно этому значению корреляционной функции $Y(t)$ определяется посредством интегрирования на длительности T элемента сигнала произведения элемента фазоманипулируемого сигнала на опорный сигнал. В случае приема сигнала совместно с помехой квадрат отношения среднего уровня сигнала к среднему уровню помехи в выборке Y_n корреляционной функции не может быть больше, чем квадрат отношения среднего

10 уровня сигнала к среднему уровню помехи на входе коррелятора. В основу изобретения способа демодуляции сигналов с относительной фазовой модуляцией (ОФМ) положена задача увеличения помехоустойчивости как за счет исключения ограничения амплитуды фазомодулированного радиосигнала, так и за счет

15 уменьшения уровня помехи, поступающей на вход интегратора коррелятора посредством предварительного определения мгновенного значения части помехи на выходе перемножителя напряжений коррелятора в области низких частот и вычитания сформированных мгновенных значений помехи из аддитивной смеси сигнала с помехой, поступающей на вход интегратора коррелятора.

20 Поставленная задача решается тем, что в способе демодуляции сигналов ОФМ, заключающемся в фильтрации демодулируемого сигнала $S(t)$, который равен

$$S(t) = U(t) \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t + \{0, \pi\})$$

(где $U(t)$ - амплитуда, которая может изменяться вследствие изменения условий распространения радиосигнала в канале связи, f_0 - средняя частота, $\{0, \pi\}$ - начальная

25 фаза, определяемая информационным символом передаваемой информацией, сигнала), в генерировании опорного сигнала $S_0(t)$, который равен

$$S_0(t) = U_0 \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t)$$

(где U_0 - амплитуда сигнала), в получении на длительности T элемента сигнала корреляционной функции $Y(t)$ при перемножении сигнала $S_c(t)$ со стабилизированной

30 амплитудой на опорный сигнал $S_0(t)$ и интегрировании разности $S_p(t)$ сигналов, во взятии отсчета Y_n указанной корреляционной функции в момент окончания элемента сигнала, в вычислении абсолютного значения сигнала Y_{pn} , в генерировании константы E , в принятии решения о переданном информационном символе, отличающийся тем, что формируют из отфильтрованного демодулируемого сигнала сигнал $Sc(t)$

$$35 Sc(t) = U_c \cdot \cos(2\pi f_0 + \{0, \pi\})$$

со стабилизированной амплитудой U_c , фильтруют произведение сигналов $Sc(t) \cdot S_0(t)$ в фильтре низких частот (ФНЧ) и задерживают профильтрованный сигнал на время τ , равное длительности переходного процесса, обусловленного изменением полярности видеосигнала на выходе ФНЧ, кроме того, профильтрованный сигнал дифференцируют по

40 времени, и продифференцированный сигнал задерживают тоже на время τ , получают в момент, при котором результат дифференцирования незадержанного переходного процесса видеосигнала должен иметь уровень, близкий к нулю, отчет O_{dn} , а в момент, когда скачок продифференцированного переходного процесса видеосигнала не должен начинаться, отчет $O_{d\tau_n}$, полученные отчеты запоминают, формируют мгновенные значения

45 сигнала $S'(t)$ по правилу:

$$S'(t) = O_{dn} + (O_{dn} - O_{d\tau_n}) \cdot t / \tau$$

(где t - текущее время на интервале времени T и принимающее значение от 0 до τ), интегрируют в текущем времени сначала сигнал $S'(t)$ в течение времени τ , а затем в

50 течение оставшийся части времени $T - \tau$ продифференцированный задержанный сигнал, разность сигналов $S_p(t)$ формируют посредством вычитания от профильтрованного в ФНЧ и задержанного сигнала проинтегрированный в текущем времени сигнал, сигнал Y_p разности получают посредством вычитания от очередного

отчета Y_n корреляционной функции $Y(t)$ отчета Y_{n-1} , полученного от предыдущего элемента сигнала, при этом принимают решение о переданном информационном символе на основе сравнения абсолютного значения сигнала Y_p с константой E по правилу:

если выполняется неравенство $|Y_p| - E > 0$, то принимают единичное решение, в случае

5 невыполнения неравенства, принимают нулевое решение о демодулируемом символе.

Для этого в демодуляторе сигналов ОФМ, состоящем из фильтра, вход которого является входом демодулируемого сигнала ОФМ, генератора опорного сигнала, коррелятора, включающего в себя умножитель напряжений, оба входа которого являются
10 сигнальными входами коррелятора, интегратор коррелятора, выход которого является выходом коррелятора, а вход сброса интегратора коррелятора является входом установки коррелятора, генератора тактовых импульсов, блока стробирования, соединенного с выходом коррелятора, а вход установки коррелятора подключен к первому выходу генератора тактовых импульсов, ко второму выходу которого подключен вход управления блока стробирования, блока вычисления модуля, генератора константы, решающего блока,
15 выход которого является выходом демодулятора, введены блок стабилизации амплитуды фазомодулированного сигнала, вход которого подключен к выходу фильтра, а выход - к первому сигнальному входу коррелятора, второй сигнальный вход которого соединен с выходом генератора опорного сигнала, и блок уменьшения уровня помехи (УУП), вход которого соединен с выходом умножителя напряжений, а выход - с сигнальным входом интегратора коррелятора, состоящий из первой, второй и третьей схем задержки с одинаковым временем задержки, равным τ , первой и второй схем вычитания, при этом выход первой схемы вычитания является выходом блока УУП, первого интегратора, выход которого подключен к вычитающему входу первой схемы вычитания, другой вход которой
20 соединен с выходом первой схемы задержки, коммутатора, выходом подключенного к входу первого интегратора, сумматора, выходом подключенного к первому сигнальному входу коммутатора, RS-триггера, выход которого соединен с управляющим входом коммутатора, второго интегратора, выходом подключенного к первому входу сумматора, при этом вычитающий вход второй схемы вычитания соединен со вторым входом сумматора, а выход второй схемы вычитания соединен со входом второго интегратора, первой и второй схем хранения выборки, выходы которых соединены соответственно с вычитающим и другим входом второй схемы вычитания, а управляющие входы объединены и соединены со вторым выходом генератора тактовых импульсов, синхронизированного с началом задержанного видеосигнала, со входом второй схемы
35 задержки, со входом сброса второго интегратора и S-входом RS-триггера, R-вход которого соединен с выходом второй схемы задержки, схемы дифференцирования, выход которой соединен со входом второй схемы хранения выборки, и через третью схему задержки - с входом первой схемы хранения выборки и со вторым сигнальным входом коммутатора, фильтра нижних частот, вход которого является входом блока УУП, а выход фильтра нижних частот соединен со входом схемы дифференцирования и входом первой
40 схемы задержки, схема задержки на длительность T , схема вычитания, при этом выход блока стробирования соединен с первым входом и через схему задержки на длительность T - с вычитающим входом схемы вычитания, а выход схемы вычитания соединен с блоком вычисления модуля, выход которого соединен с первым входом решающей схемы, которая включает в себя последовательно соединенные компаратор напряжений и D-триггер, выход которого является выходом решающей схемы, при этом неинвертирующий вход компаратора напряжений является первым входом решающей схемы, а инвертирующий вход компаратора напряжений является вторым входом решающей схемы, который соединен с генератором константы, при этом управляющий вход решающей схемы, являясь входом синхронизации D-триггера, соединен со вторым выходом генератора
50 тактовых импульсов.

Предлагаемое изобретение поясняется примером конкретного выполнения демодулятора ОФМ, приведенного на Фиг.1, содержащего фильтр 1, вход которого является входом демодулируемого сигнала ОФМ, генератор опорного сигнала 2,

коррелятор 3, включающий в себя умножитель напряжений 4, входы которого являются сигнальными входами коррелятора 3, интегратор 5 коррелятора, выход которого является выходом коррелятора 3, а вход сброса интегратора 5 коррелятора является входом установки коррелятора 3, генератор тактовых импульсов 6, блок стробирования 7, вход которого соединен с выходом коррелятора 3, а вход установки коррелятора 3 присоединен к первому выходу генератора тактовых импульсов 6, ко второму выходу которого подключен вход управления блока стробирования 7, блок вычисления модуля 8, генератор константы 9, решающий блок 10, выход которого является выходом демодулятора, блок стабилизации амплитуды фазомодулированного сигнала, вход которого подключен к выходу фильтра 1, а выход - к первому сигнальному входу коррелятора 3, второй сигнальный вход которого соединен с выходом генератора опорного сигнала 2, блок уменьшения уровня помех (УУП) 12, вход которого соединен с выходом умножителя напряжений 4 коррелятора 3, а выход - с сигнальным входом интегратора 5 коррелятора 3, состоящий из первой, второй и третьей схем задержки с одинаковым временем задержки, равным τ 13, 14, 15, первой и второй схем вычитания 16, 17, выход первой схемы вычитания 16 является выходом блока УУП 12, первого интегратора 18, выход которого подключен к вычитающему входу первой схемы вычитания 16, другой вход которой соединен с выходом первой схемы задержки 13, коммутатора 19, выход которого подключен к входу первого интегратора 18, сумматора 20, выход которого подключен к первому сигнальному входу коммутатора 19, RS-триггера 21, выход которого соединен с управляющим входом коммутатора 19, второго интегратора 22, выход которого подключен к первому входу сумматора 20, при этом вычитающий вход второй схемы вычитания 17 соединен со вторым входом сумматора 20, а выход второй схемы вычитания 17 соединен с входом второго интегратора 22, первой и второй схем хранения выборки 23, 24, выходы которых соединены соответственно с вычитающим и первым входами второй схемы вычитания 17, а управляющие входы объединены и соединены со вторым выходом генератора тактовых импульсов 6, со входом второй схемы задержки 14, со входом сброса второго интегратора 22 и с S-входом RS-триггера 21, R-вход которого соединен с выходом второй схемы задержки 14, схемы дифференцирования 25, выход которой соединен с входом второй схемы хранения выборки 24 и через третью схему задержки 15 - со входом первой схемы хранения выборки 23 и вторым сигнальным входом коммутатора 19, фильтра нижних частот 26, вход которого является входом блока УУП 12, а выход фильтра нижних частот 26 соединен со входом схемы дифференцирования 25 и входом первой схемы задержки 13, схему задержки на длительность T 27, схему вычитания 28, при этом выход блока стробирования 7 соединен с первым входом и через схему задержки 27 на длительность T - с вычитающим входом схемы вычитания 28, а выход схемы вычитания 28 соединен с блоком вычисления модуля 8, выход которого соединен с первым входом решающей схемы 10, которая включает в себя последовательно соединенные компаратор напряжений 29 и D-триггер 30, выход которого является выходом решающей схемы 10, при этом неинвертирующий вход компаратора напряжений 29 является первым входом решающей схемы 10, а инвертирующий вход компаратора напряжений 29 является вторым входом, который соединен с генератором константы 9, при этом управляющий вход решающей схемы 10 является входом синхронизации D-триггера 30, соединен со вторым выходом генератора тактовых импульсов 6.

Работа заявляемого устройства происходит следующим образом. Приходящий по каналу связи сигнал $S(t)$ поступает на вход фильтра 1, являющийся входом демодулятора. В фильтре 1 осуществляется ослабление частотных составляющих, находящихся вне полосы частот демодулируемого сигнала. В канале передачи в связи с изменением его параметров амплитуда сигнала может изменяться, при этом огибающая сигнала не будет постоянной. С выхода фильтра 1 сигнал поступает на вход стабилизатора амплитуды 11. В стабилизаторе амплитуды 11 происходит стабилизация амплитуды фазомодулированного сигнала до уровня U_c . С выхода стабилизатора амплитуды 11 фазомодулированный сигнал $S_c(t)$ с длительностью элемента сигнала T

$$S_c(t) = U_c \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t + \{0, \pi\})$$

(где U_c - амплитуда, f_0 - средняя частота, $\{0, \pi\}$ - начальная фаза, определяемая информационным символом передаваемой информации) поступает на вход умножителя напряжений 4 коррелятора 3. На второй вход умножителя напряжений 4 коррелятора 3

5 поступает с генератора опорного сигнала 2 опорный сигнал

$$S_0(t) = U_0 \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t)$$

постоянной амплитуды U_0 . С выхода умножителя напряжений 4 коррелятора 3 сигнал произведения $S_0(t) \cdot S_c(t)$ поступает на вход блока уменьшения уровня помехи (УУП) 12.

10 Работа блока уменьшения уровня помехи 12 происходит следующим образом. При прохождении сигнала произведения $S_0(t) \cdot S_c(t)$ через фильтр низких частот 26 посредством отфильтровывания фильтром низких частот 26 высокочастотной составляющей сигнала произведения производится выделение сигнала, соответствующего области низких частот, то есть формированию на выходе фильтра низких частот 26 видеосигнала (Фиг.2а) с полярностью, обусловленной начальной фазой в демодулируемом

15 сигнале.

При смене полярности видеосигнала происходит переходный процесс длительностью τ (Фиг.2а). Длительность переходного процесса определяется полосой частот, пропускаемой фильтром ФНЧ 26. Таким образом, на выходе фильтра низких частот 26 формируется видеосигнал с амплитудой

$$E_a = k_1 \cdot U_0 \cdot U_c$$

(где k_1 - величина постоянная, определяется коэффициентами передачи перемножителя напряжений 4 и фильтра низких частот (ФНЧ) 26) и длительностью, равной длительности T элемента фазомодулированного сигнала, и длительностью переходного

25 процесса τ (Фиг.2а). Видеосигнал с выхода ФНЧ 26 поступает на вход дифференцирующей схемы 25. На выходе дифференцирующей схемы 25 формируется сигнал, соответствующий производной от видеосигнала по времени (Фиг.2б). Посредством третьей схемы задержки 15 продифференцированный сигнал задерживается (Фиг.2с). Время задержки третьей схемы 15 выбирается равным длительности переходного процесса - τ .

30 Продифференцированный задержанный сигнал и продифференцированный незадержанный сигнал поступают на входы первой схемы хранения выборки (СХВ) 23 и второй СХВ 24 соответственно. Посредством этих схем хранения выборки производится получение отсчета в продифференцированных сигналах в момент действия стробирующего импульса (Фиг.2д) со второго выхода генератора тактовых импульсов 6 на

35 управляющие входы схем хранения выборки 23, 24. Действие стробирующего импульса выбирается в такой момент (Фиг.2д), при котором результат дифференцирования незадержанного переходного процесса видеосигнала должен иметь уровень, близкий к нулю по сравнению с максимальным значением E_a (Фиг.2б), а скачок

40 продифференцированного задержанного переходного процесса видеосигнала не должен начинаться (Фиг.2с). Таким образом, в полученных отсчетах на выходах СХВ 23, 24 будет всегда отсутствовать информация о продифференцированном видеосигнале. В случае действия аддитивной помехи (изображенной тонкой линией совместно с видеосигналом на

Фиг.2а) на выходе дифференцирующей схемы (Фиг.2б, с), тогда на выходах СХВ 23, 24 будут получены отсчеты $O'_{d\tau n}$, O_{dn} , соответствующие мгновенным значениям

45 продифференцированной помехи (Фиг.2б, с), на выходах в момент действия стробирующего импульса (Фиг.2) со второго выхода генератора тактовых импульсов 6. Посредством СХВ 23, 24 производятся выборка мгновенных значений продифференцированного сигнала и их хранение. Таким образом, при действии

аддитивной помехи совместно с видеосигналом в отсчетах продифференцированного

50 суммарного сигнала будет только информация об отсчетах помехи $O'_{d\tau n}$, O_{dn} на временном участке $t'_{n\tau} \div t'_{n\tau} + \tau$ (Фиг.2с), где отсчет $O'_{d\tau n}$ соответствует задержанному продифференцированному сигналу (Фиг.2с) и равен отсчету $O_{d\tau n}$, незадержанного продифференцированного сигнала (Фиг.2б). Далее, используя полученные отсчеты $O'_{d\tau n}$,

$O'_d n$, можно мгновенные значения продифференцированной помехи на временном участке $t'_{n\tau} - t'_{n\tau} + \tau$ восстановить с конечной ошибкой посредством использования линейной интерполяции. Для этого полученные сигналы выборок $O'_{d\tau} n$, $O'_d n$ подают на входы второй схемы вычитания 17. Второй схемой вычитания 17 формируется сигнал разности отсчетов $O'_d n - O'_{d\tau} n$. Сигнал разности отсчетов поступает на вход второго интегратора 22.
 5 Посредством второго интегратора 22 формируется напряжение $S'_1(t)$ (Фиг.2е)

$$S'_1(t) = k_2 \int_0^t (O'_{d\tau} n - O'_d n) dt$$

10 (где k_2 - коэффициент передачи интегратора, равный $1/\tau$). А так как значение отсчетов O'_{dn} , $O'_{d\tau n}$ на участке интегрирования $0 \div \tau$ не изменяется, то получаемое напряжение $S'_1(t)$ можно представить в виде

$$S'_1(t) = (O'_{d\tau} n - O'_d n) \cdot t / \tau$$

15 В момент $t'_{n\tau}$ действия стробирующего импульса (Фиг.2d) на стробирующий вход интегратора 22 последний устанавливается в нулевое состояние (Фиг.2е) и после чего начинается интегрирование (Фиг.2е) на временном участке $t'_{n\tau} - t'_{n\tau} + \tau$. Выходной сигнал $S'_1(t)$ с интегратора 22 поступает на первый вход сумматора 20. На второй вход сумматора 20 поступает значение выборки $O'_{d\tau} n$ СХВ 23, и в результате на выходе
 20 сумматора 20 формируется суммарный сигнал (Фиг.2f). Суммарный сигнал $S'(t)$ по существу совпадает с точностью, обусловленной линейной интерполяцией, на интервале $t'_{n\tau} \div t'_{n\tau} + \tau$ с продифференцированным задержанным сигналом на том же интервале времени (Фиг.2с, выделенный пунктиром).

25 Таким образом, на участке времени $t'_{n\tau} \div t'_{n\tau} + \tau$ будут воспроизведены мгновенные значения напряжений $S'(t)$ только продифференцированной помехи. Далее с момента $t'_{n\tau} + \tau$ выход интегратора 22 отключается и вместо него подключается выход второй схемы задержки 14, на котором формируются мгновенные значения продифференцированной помехи на временном участке $t'_{n\tau} + \tau \div t'_{n\tau} - t'_{(n+1)\tau} + \tau$ помехи, тем самым на интервале $t'_{n\tau} \div t'_{(n+1)\tau}$,
 30 равном длительности T элемента сигнала (Фиг.2с, г), происходит полное восстановление продифференцированной помехи. Для этого сигнал с выхода сумматора 20 поступает на первый вход коммутатора 19, который за счет воздействия на управляющий вход сигнала с выхода RS-триггера 21 подключает первый вход коммутатора 19 на первый вход первого интегратора 18. При интегрировании в текущем времени мгновенных значений
 35 продифференцированного сигнала на выходе интегратора 18 будут формироваться мгновенные значения дифференцируемого сигнала с точностью до постоянной составляющей Δu (в соответствии с математическим определением значения неопределенного интеграла). Тогда посредством первого интегратора 18 на интервале времени $t'_{n\tau} \div t'_{(n+1)\tau}$ производится восстановление мгновенных значений помехи. Это
 40 достигается следующим образом. В момент времени $t_{n\tau}$ сигнал со второго выхода генератора тактовых импульсов 6, через вторую схему задержки 14, воздействуя на R-вход RS-триггера 21, переключает последний в нулевое состояние и этим подключает выход коммутатора 19 (Фиг.2g) (вход интегратора 18) ко второму входу коммутатора 19, и куда подается оставшаяся часть продифференцированного задержанного сигнала в течение времени $t'_{n\tau} \div t'_{(n+1)\tau}$ (Фиг.2с, г). На выходе первого интегратора 18 может быть
 45 сформировано напряжение постоянной составляющей, так как интегрирование продифференцированного сигнала может начинаться с любого момента времени. Таким образом, на выходе первого интегратора 18 будут воспроизводиться задержанные на τ мгновенные значения помехи с ошибкой, обусловленной линейной интерполяцией и
 50 постоянной составляющей, обусловленной моментом начала интегрирования первым интегратором 18. Одновременно видеосигнал совместно с аддитивной помехой (изображенной пунктиром на Фиг.2а) с выхода ФНЧ 26 поступает на вход первой схемы задержки 13, задерживается на время τ и поступает на первый вход первой схемы

вычитания 16, на вычитающий вход которой поступает сигнал в виде вычисленных мгновенных значений помехи, тоже задержанных на τ с выхода первого интегратора 18. На выходе первой схемы вычитания 16 формируется сигнал разности $S_p(t)$ (Фиг.3а) между мгновенными значениями аддитивной смеси видеосигнала с помехой и вычисленными мгновенными значениями помехи. Таким образом, схемой вычитания 16 или блоком УУП 12 формируется без изменения видеосигнал совместно с уменьшенным уровнем помехи (Фиг.3а). С выхода схемы вычитания 16 сигнал поступает на вход интегратора 5 коррелятора 3. В интеграторе 5 коррелятора 3 производится интегрирование видеосигнала совместно с помехой уменьшенного уровня, и, в результате, на выходе коррелятора 3 формируется корреляционная функция $Y(t)$ (Фиг.3б). С выхода коррелятора 3 сигнал поступает на вход блока стробирования 7. В блоке стробирования 7 в момент окончания интегрирования по сигналу со второго выхода генератора тактовых импульсов 6 (Фиг.3h) происходит взятие отсчетов Y_n (Фиг.3с) функции корреляции $Y(t)$ (Фиг.3б). Далее, посредством сигнала с первого выхода генератора тактовых импульсов 6 значение корреляционной функции $Y(t)$ в интеграторе 5 коррелятора 3 сбрасывается в ноль, и после этого происходит формирование корреляционной функции для следующего элемента видеосигнала. С выхода блока стробирования 7 сигнал поступает на первый вход схемы вычитания 28, в то же время на вычитающий вход схемы вычитания 28 поступает задержанный на время T в схеме задержки 27 (Фиг.3d) сигнал блока стробирования 7. С выхода схемы вычитания 28 (Фиг.3f) сигнал разности Y_{p_n} поступает на блок вычисления модуля 28. С выхода блока вычисления модуля 8 сигнал $|Y_{p_n}|$ (Фиг.3g) поступает на вход решающего блока 10 (неинвертирующий вход компаратора напряжений 29). На второй вход решающего блока 10 (инвертирующий вход компаратора 29) поступает постоянный уровень напряжения E с генератора константы 9. Уровень напряжения E определяется предварительно в демодуляторе при подаче на его вход фазомодулированного сигнала без помехи. Согласно этому этот уровень равен абсолютному значению отсчета, полученного в конце длительности T элемента сигнала (корреляционной функции), вычисленной в отсутствие помехи. С выхода компаратора напряжений 29 (Фиг.3m) в моменты формирования тактовых импульсов генератором 6 (Фиг.3h) в D-триггер 30 будет записана информация о принятом решении (Фиг.3n) по правилу:

если в момент действия стробирующего импульса напряжения, действующие на входах компаратора 29, будут соответствовать выполнению неравенства $|Y_{p_n}| > E$, то на выходе компаратора напряжений 29 будет высокий уровень и в D-триггер 30 будет записан логический уровень - 1, в случае невыполнения неравенства на выходе компаратора 29 будет низкий уровень и в D-триггер 30 будет записан логический уровень - 0.

В соответствии с (Фиг.3n) получена последовательность символов, которая предварительно перекодировалась на передающей стороне, а затем передавалась по каналу связи и поступала на вход демодулятора, в котором решающей схемой была снова восстановлена. Таким образом, работают системы передачи и приема сигналов с ОФМ [4, с.78].

Работа заявляемого способа заключается в последовательной реализации заявляемым устройством следующих операций:

1. Фильтруют в фильтре фазомодулированный сигнал $S(t)$ посредством фильтра 1.
2. Формируют фазомодулированный сигнал $S_c(t)$ со стабилизированной амплитудой посредством блока стабилизации амплитуды 11.
3. Формируют опорный гармонический сигнал $S_0(t)$ посредством генератора опорного сигнала 2.
4. Вычисляют корреляционную функцию $Y(t)$ посредством перемножения фазомодулированного сигнала $S_c(t)$ со стабилизированной амплитудой на опорный сигнал $S_0(t)$, используя перемножитель напряжений 4 коррелятора 3, формирования элементов видеосигналов совместно с уменьшенным уровнем помех, используя блок уменьшения уровня помех (УУП) 12, включающий в себя первую, вторую, третью схемы задержки 13,

14, 15, первую и вторую схемы вычитания 16, 17, первый интегратор 18, коммутатор 19, сумматор 20, RS-триггер 21, второй интегратор 22, первую и вторую схемы хранения выборки 23, 24, схему дифференцирования 25, фильтр нижних частот 26 и интегрирования разности $S_p(t)$ сигналов (элемента видеосигнала совместно с уменьшенным уровнем помехи) на интервале времени T интегратором 5 коррелятора 3, генератора тактовых импульсов 6.

5 5. Определяют отсчет Y_n , задерживают его на время T , формируют разность Y_{x_n} между незадержанным и задержанным отсчетами. Вычисляют абсолютные значения разности отсчетов $|Y_{x_n}|$. Данные операции выполняются с помощью блока стробирования 7, схемы задержки 27, схемы вычитания 28, блока вычисления модуля 8.

10 6. Принимают решение о демодулируемом информационном символе посредством решающей схемы 10, состоящей из компаратора напряжений 29, D-триггера 30, генератора константы 9.

15 Предлагаемый способ демодуляции сигналов с ОФМ можно реализовать в более простой форме, если отфильтрованный сигнал в фильтре низких частот 26 преобразуют в цифровую форму и далее все последующие преобразования с сигналами проводят в цифровом виде.

20 Блоки и схемы, входящие в состав заявляемого устройства, известны в технике. Для их реализации могут быть использованы как соответствующие блоки известного устройства [1], так и блоки, описанные в литературе.

В качестве фильтра 1 можно использовать фильтр, требования к которому сформированы в [5, стр.263].

25 В качестве стабилизатора амплитуды 11 можно использовать устройство, описанное в [6].

Генератор опорных сигналов 2, генератор тактовых импульсов 6 представлены в [1].

Компаратор напряжений 29, коммутатор 19, триггер 21 и триггер 30, перемножитель сигналов 4, схемы хранения выборки 23, 24 могут быть реализованы на микросхемах 597CA2, 590KN4, 1564TM2, 174ПС1, КР1100СК2 соответственно [7].

30 Фильтр низких частот 26, схема дифференцирования 25, блок вычисления модуля 28, схемы вычитания 16, 17, интеграторы 5, 18, 22, сумматор 20 в [8].

Схемы задержки 13, 15, 17, 27 в [9].

Генератор константы 9 реализуется на резистивном делителе напряжения с установлением уровня напряжения на выходе, равного значению константы E .

35 Литература

1. Спилкер Дж. Цифровая спутниковая связь. Пер. с англ./Под ред. В.В.Маркова. - М.: Связь, 1979.

2. Пестряков В.Б. Фазовые радиотехнические системы. - М.: Сов. радио, 1968.

3. Н 04 L 27/22, патент №2099892, 20.12.97.

40 4. Петрович Н.Т. Передачи дискретной информации в каналах с фазовой манипуляцией. - М., 1965.

5. Фалько А.И., Зюко А.Г. Радиоприемные устройства./Под. ред. А.Г.Зюко. - М.: Связь, 1975.

6. А.С. №1737748, 04 27/22, 30.05.92. Бюл. №20.

45 7. Справочник разработчика и конструктора РЭА. Элементная база. Кн. 1. - М., 1993. Сост. Масленников М.Ю., Соболев Е.А. и др.

8. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. Справочное руководство./Пер. с нем. - М.: Мир, 1982.

50 9. Захарьящев Л.И. Конструирование ультразвуковых линий задержки. - М.: Сов. радио, 1982.

Формула изобретения

1. Способ демодуляции сигналов с относительной фазовой модуляцией, заключающийся

в фильтрации демодулируемого сигнала $S(t)$

$$S(t) = U(t) \cdot \cos(2\pi f_0 t + \{0, \pi\}),$$

где $U(t)$ - амплитуда, которая может измениться вследствие изменения условий распространения радиосигнала в канале связи; f_0 - средняя частота; $\{0, \pi\}$ - начальная фаза, определяемая информационным символом передаваемой информацией, сигнала,

$$S_0(t) = U_0 \cdot \cos(2\pi f_0 t),$$

где U_0 - амплитуда сигнала,

в получении на длительности T элемента сигнала корреляционной функции $Y(t)$ при перемножении сигнала $S_c(t)$ со стабилизированной амплитудой на опорный сигнал $S_0(t)$ и интегрировании разности $S_p(t)$ сигналов, во взятии отсчета Y_n указанной корреляционной функции в момент окончания элемента сигнала, в вычислении абсолютного значения сигнала Y_{pn} , в генерировании константы E , в принятии решения о переданном информационном символе, отличающийся тем, что формируют из отфильтрованного демодулируемого сигнала $S_c(t)$

$$S_c(t) = U_c \cdot \cos(2\pi f_0 t + \{0, \pi\})$$

со стабилизированной амплитудой U_c , фильтруют произведение сигналов $S_c(t) \cdot S_0(t)$ в фильтре низких частот и задерживают профильтрованный сигнал на время τ , равное длительности переходного процесса, обусловленного изменением полярности видеосигнала на выходе фильтра низких частот, кроме того, профильтрованный сигнал дифференцируют по времени и продифференцированный сигнал задерживают тоже на время τ , получают в момент, при котором результат дифференцирования незадержанного переходного процесса видеосигнала должен иметь уровень, близкий к нулю, отчет O_{dn} , а в момент, когда скачок продифференцированного переходного процесса видеосигнала не должен начинаться, отчет $O_{d\tau n}$, полученные отчеты запоминают, формируют мгновенные значения сигнала $S'(t)$ по правилу

$$S'(t) = O_{d\tau n} + (O_{dn} - O_{d\tau n}) \cdot t / \tau,$$

где t - текущее время на интервале времени T и принимающее значение от 0 до τ ,

интегрируют в текущем времени сначала сигнал $S'(t)$ в течение времени τ , а затем в течении оставшийся части времени $T - \tau$ продифференцированный задержанный сигнал, разность $S_p(t)$ сигналов формируют посредством вычитания от профильтрованного в фильтре низких частот и задержанного сигнала проинтегрированного сигнала в текущем времени, сигнал $Y_p(t)$ разности получают посредством вычитания из очередного отчета Y_n предыдущего отчета Y_{n-1} , полученного посредством задержки на время T , корреляционной функции $Y(t)$, при этом принимают решение о переданном информационном символе на основе сравнения абсолютного значения $|Y_p|$ сигнала с

константой E по правилу: если выполняется неравенство $|Y_p| - E > 0$, то решение о

переданном информационном символе (о демодулируемом символе) принимают равным единице, в случае невыполнения неравенства - принимают равным нулю.

2. Демодулятор сигналов ОФМ, состоящий из фильтра, вход которого является входом демодулируемого сигнала ОФМ, генератора опорного сигнала, коррелятора, включающего в себя умножитель напряжений, оба входа которого являются сигнальными входами коррелятора, интегратор коррелятора, выход которого является выходом коррелятора, а вход сброса интегратора коррелятора является входом установки коррелятора, генератора тактовых импульсов, блока стробирования, соединенного с выходом коррелятора, а вход установки коррелятора подключен к первому выходу генератора тактовых импульсов, ко второму выходу которого подключен вход управления блока стробирования, блока вычисления модуля, генератора константы, решающего блока, выход которого является выходом демодулятора, отличающийся тем, что в него дополнительно введены блок стабилизации амплитуды фазоманипулированного сигнала, вход которого подключен к выходу фильтра, а выход - к первому сигнальному входу коррелятора, второй сигнальный

вход которого соединен с выходом генератора опорного сигнала, и блок уменьшения уровня помехи (УУП), вход которого соединен с выходом умножителя напряжений, а выход - с сигнальным входом интегратора коррелятора, состоящий из первой, второй и третьей схем задержки с одинаковым временем задержки, равным τ , первой и второй

5 схем вычитания, при этом выход первой схемы вычитания является выходом блока УУП, первого интегратора, выход которого подключен к вычитающему входу первой схемы вычитания, другой вход которой соединен с выходом первой схемы задержки, коммутатора, выходом подключенного к входу первого интегратора, сумматора, выходом подключенного к первому сигнальному входу коммутатора, RS-триггера, выход которого соединен с

10 управляющим входом коммутатора, второго интегратора, выходом подключенного к первому входу сумматора, при этом вычитающий вход второй схемы вычитания соединен со вторым входом сумматора, а выход второй схемы вычитания соединен со входом второго интегратора, первой и второй схем хранения выборки, выходы которых соединены соответственно с вычитающим и другим входом второй схемы вычитания, а управляющие

15 входы объединены и соединены со вторым выходом генератора тактовых импульсов, синхронного с началом задержанного видеосигнала, со входом второй схемы задержки, со входом сброса второго интегратора и S-входом RS триггера, R-вход которого соединен с выходом второй схемы задержки, схемы дифференцирования, выход которой соединен со вторым входом второй схемы хранения выборки и через третью схему задержки с входом

20 первой схемы хранения выборки и со вторым сигнальным входом коммутатора, фильтра низких частот, вход которого является входом блока УУП, а выход фильтра низких частот соединен со входом схемы дифференцирования и входом первой схемы задержки, схема задержки на длительность T, схема вычитания, при этом выход блока стробирования соединен с первым входом и через схему задержки на длительность T с вычитающим

25 входом схемы вычитания, а выход схемы вычитания соединен с входом вычисления модуля, выход которого соединен с первым входом решающей схемы, которая включает в себя последовательно соединенные компаратор напряжений и D-триггер, выход которого является выходом решающей схемы, при этом неинвертирующий вход компаратора напряжений является первым входом решающей схемы, а инвертирующий вход

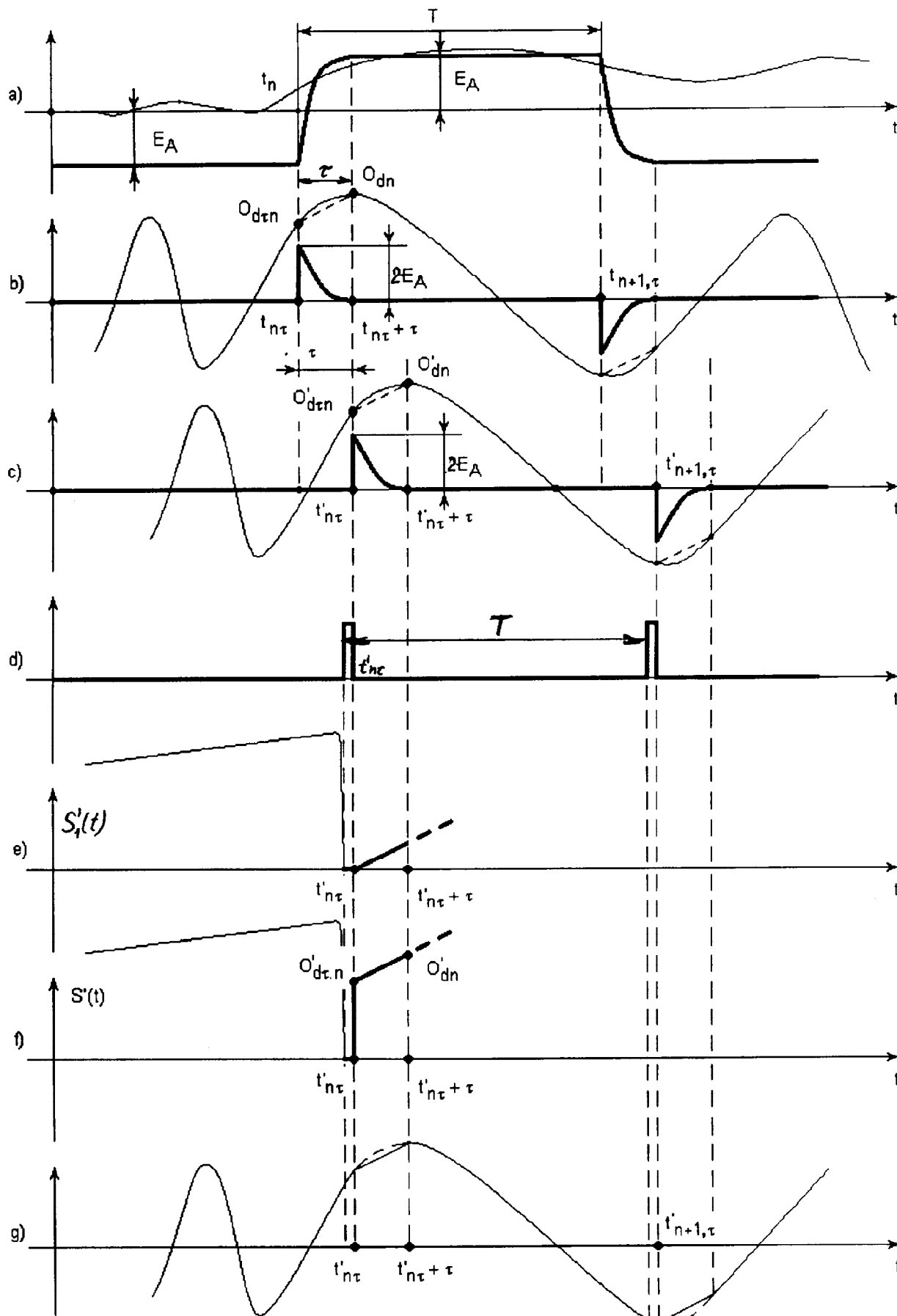
30 компаратора напряжений является вторым входом решающей схемы, который соединен с генератором константы, при этом управляющий вход решающей схемы, являясь входом синхронизации D-триггера, соединен со вторым выходом генератора тактовых импульсов.

35

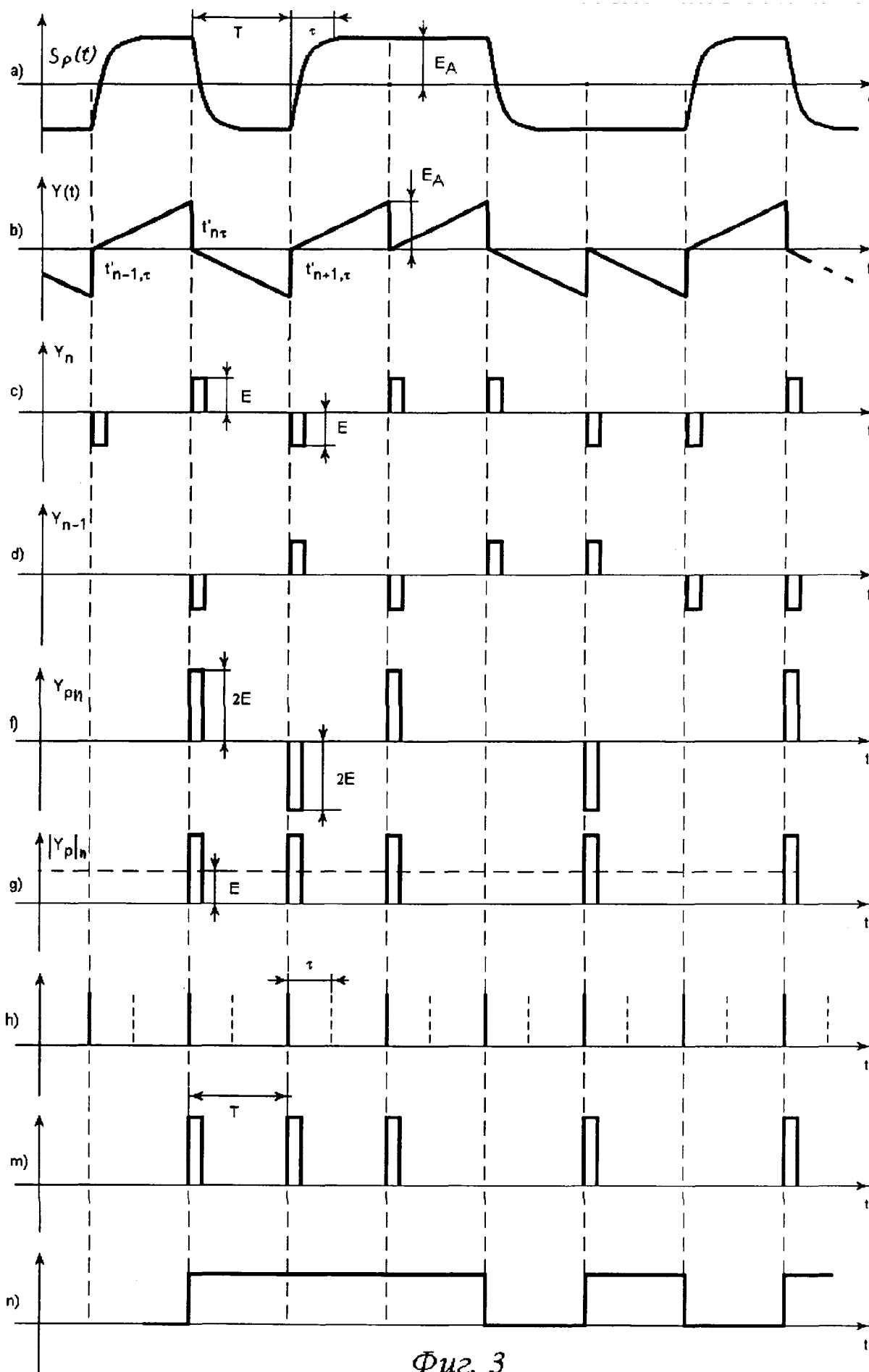
40

45

50



Фиг. 2



Фиг. 3