



Государственный комитет  
СССР  
по делам изобретений  
и открытий

# О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

## К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11) 808872

(61) Дополнительное к авт. свид-ву -

(22) Заявлено 28.03.79 (21) 2755828/18-10

с присоединением заявки № -

(23) Приоритет -

Опубликовано 28.02.81. Бюллетень № 8

Дата опубликования описания 03.03.81

(51) М. Кл.<sup>3</sup>

G 01 K 7/00

(53) УДК 536.53

(088.8)

(72) Автор  
изобретения

В. А. Гайский

(71) Заявитель

Морской гидрофизический институт АН Украинской ССР

### (54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

1

Изобретение относится к температурным измерениям, а именно, к устройствам для измерения температурных профилей и предназначено для использования в системах контроля окружающей среды и технологических процессов.

Известно устройство для измерения профиля температуры в жидких и газообразных средах, содержащее несколько точечных датчиков температуры, расположенных в узлах по траектории профиля [1].

Однако это устройство не обеспечивает высокой точности измерения температуры, им невозможно осуществлять пространственную фильтрацию существенно неоднородных температурных полей.

Наиболее близким к предлагаемому по технической сущности является устройство для измерения температуры, содержащее распределенный термопреобразователь и регистратор [2]. Это устройство обеспечивает высокую чувствительность и точность измерения средней в объеме температуры.

2

Его недостатком является невозможность получения температурного профиля по траектории датчика, а также невозможность реализации с помощью датчика другого пространственного фильтра, кроме фильтра скользящего среднего при перемещении датчика в среде. Использование же в устройстве нескольких таких датчиков, последовательно размещенных на траектории профиля, не обеспечивает высокой точности восстановления профиля температуры и выполнение фильтрации, а также усложняет дистанционную аппаратуру.

Цель изобретения - повышение точности измерения температурного профиля, а также расширение функциональных возможностей пространственной фильтрации температурного поля непосредственно термопреобразователем.

Поставленная цель достигается тем, что в устройство введены последовательно включенные блок съема сигнала, коммутатор, аналого-цифровой преобразователь и блок восстановления, выход которого со-

05.08.79

единен с регистром, причем термопреобразователь выполнен в виде жгута из нескольких проводов с различным по длине провода погонным сопротивлением, один концы которых соединены между собой и совместно с другими концами подключены ко входам блока съема сигнала.

На фиг. 1 изображена структурная схема предлагаемого устройства; на фиг. 2 - график изменения погонного сопротивления проводов термопреобразователя по функциям тригонометрического ряда Фурье; на фиг. 3 - то же, по функциям Уолша-Адамара; на фиг. 4 - то же, по импульсным весовым функциям фильтров низких пространственных частот; на фиг. 5 - то же, по импульсным весовым функциям полосовых фильтров пространственных частот; на фиг. 6 - то же, по импульсным весовым функциям фильтров низких пространственных частот в многоканальном устройстве.

Устройство для измерения температуры содержит термопреобразователь 1, выполненный в виде жгута из  $n+2$  проводов (проводимых датчиков), один концы которых соединены через провод 2, а другие концы непосредственно подключены к блоку 3 съема сигналов, выходы которого через коммутатор 4 подключены к аналогового цифровому преобразователю 5, соединенному с блоком 6 восстановления и регистратор 7. Блок восстановления включает в себя источник 8 напряжения, стабилизаторы 9, 10, 11 и 12 тока, постоянные резисторы 13, 14, 15 и 16, развязывающие усилители 17, 18 и 19. В качестве стабилизаторов тока могут использоваться постоянные резисторы с большим относительно проводных датчиков сопротивлением, или барреты. В зависимости от конкретной реализации устройства источник 8 напряжения, а также развязывающие усилители 17, 18 и 19 могут быть постоянного или переменного тока. Каждый из проводных датчиков образует последовательную цепь с одним из резисторов и стабилизаторов тока. Все эти цепи параллельно через провод 2 подключены к выходу источника 8 напряжения так, что каждая из пар образует мостовую схему, выходы которых через развязывающие усилители подключены ко входу коммутатора. Такая схема соединения проводных датчиков позволяет по-лучать сигнал, пропорциональный разности сопротивлений проводных датчиков термопреобразователя.

Проводные датчики термопреобразователя изготовлены так, что погонное сопротивление (Ом/м)  $i$ -датчика ( $i=1, \dots, n$ ) при некоторой начальной температуре  $Q_0$  не является постоянным по длине  $X$ , а модулировано и изменяется по закону

$$r_i(X) = r_c + r_m \cdot \varphi_i(X), \quad i=1, \dots, n, \quad (1)$$

где  $r_c$  - постоянная составляющая погонного сопротивления;

$r_m$  - максимальная амплитуда переменной составляющей погонного сопротивления;

$\varphi_i(X)$  -  $i$ -ая функция, вид которой зависит от целей измерения.

Модуляция погонного сопротивления может быть получена, например, за счет изменения площади его поперечного сечения, изменения удельного сопротивления материала провода или запараллеливанием проводов с одинаковым сечением.

Погонное сопротивление  $r_0(X)$  первого проводного датчика постоянно по длине и равно:

$$r_0(X) = r_m \cdot \varphi_0(X), \quad (2)$$

что эквивалентно его модуляции функцией  $\varphi_0(X) = 1$ .

Погонное сопротивление последнего датчика постоянно по длине и равно:

$$r_{n+1}(X) = r_c \quad (3)$$

При линейной зависимости сопротивления датчика от температуры и отклонении температуры в точке  $X$  от начальной на  $Q(X)^0$  для погонного сопротивления первого,  $i$ -го и последнего датчиков справедливы выражения:

$$r_{0Q} = r_m(X) [1 + \alpha Q(X)]$$

$$r_{iQ} = [r_c + r_m \varphi_i(X)] [1 + \alpha Q(X)] \quad (4)$$

$$r_{(n+1)Q} = r_c [1 + \alpha Q(X)]$$

где  $\alpha$  - температурный коэффициент датчика.

Интегральные сопротивления датчиков соответственно равны:

$$R_{0Q} = \int_0^X r_{0Q} [1 + \alpha Q(X)] dx = r_m X + \alpha r_m \bar{Q} X = R_m (1 + \alpha \bar{Q}), \quad (5)$$

$$R_{iQ} = \int_0^X r_{iQ}(X) dx = \int_0^X r_i(X) [1 + \alpha Q(X)] dx, \quad i=0, \dots, n \quad (6)$$

$$R_{n+1} = \int_0^X r_c [1 + \alpha Q(X)] dx, \quad (7)$$

где  $X$  — длина датчика;

$Q$  — средняя температура.

Для сопротивлений  $R_{iq}$  проводных датчиков справедливо выражение:

$$R_{iq} = \int_0^X [r_c + r_m \varphi_i(x)] [1 + \alpha Q(x)] dx = R_{(n+1)} Q + r_m \int_0^X \varphi_i(x) dx + r_m \alpha \int_0^X \varphi_i(x) Q(x) dx. \quad (8)$$

Выбор системы модулирующих функций  $\{\varphi_i(x)\}$  зависит от цели измерения.

Устройство может использоваться для измерения температурного профиля вдоль траектории расположения чувствительного элемента в среде, а также для измерения пространственно отфильтрованных значений температуры в одной или нескольких точках среды.

Если целью измерения является получение профиля температуры вдоль неподвижного чувствительного элемента, то в качестве  $\{\varphi_i(x)\}$  используется система ортонормированных на отрезке  $[0, X]$  функций, образующих базис обобщенного ряда Фурье. В этом случае в выражении (8)

$$r_m \int_0^X \varphi_i(x) dx = 0, \quad i = 1, \dots, n;$$

поскольку функции  $\varphi_i(x)$  ортогональны на отрезке  $[0, X]$ , а

$$\alpha r_m \int_0^X \varphi_i(x) Q(x) dx = K_i r_m \alpha X a_i;$$

где  $K_i$  — нормирующий множитель;  
 $a_i$  — коэффициент обобщенного ряда Фурье, аппроксимирующего температурный профиль выражением

$$Q(x) \approx \sum_{i=0}^n a_i \varphi_i(x). \quad (9)$$

Поскольку коэффициенты  $a_i$ , определенные по выражению

$$a_i = \int_0^X \varphi_i(x) Q(x) dx, \quad (10)$$

обеспечивают наилучшее по среднеквадративной погрешности приближение в выражении (9), значение сопротивления  $R_{iq}$  может быть представлено в виде:

$$R_{iq} = R_{(n+1)} Q + K_1 r_m \alpha X a_1. \quad (11)$$

Для коэффициентов  $a_i$  разложения  $Q(x)$  в обобщенный ряд Фурье справедливы выражения:

$$a_0 = \frac{R_{0q} - R_m}{\alpha \cdot R_m \cdot K_0}; \quad (12)$$

$$a_i = \frac{R_{iq} - R_{(n+1)} Q}{\alpha R_m \cdot K_i}$$

где  $i = 1, \dots, n$ ;  $R_m = 2m \cdot X \cdot K_0 \cdot K_1$  — нормирующие множители зависящие от вида функции  $\varphi_i(x)$ .

При измерении профиля температуры устройство работает следующим образом.

- 15 Под воздействием температуры среды  $Q(x)$  проводные датчики термопреобразователя 1 принимают сопротивление  $R_{iq}$  в соответствии с зависимостями (5), (7), (11). Блок 3 съема сигнала
- 20 обеспечивает получение сигналов пропорциональных разности сопротивлений проводных датчиков в соответствии с формулами (12), аналого-цифровой преобразователь преобразует эти сигналы в
- 25 цифровой код, блок 6 восстановления осуществляет вычисление температуры по формуле (10), значение которой фиксируется регистратором 7.

Если известно, что функция  $Q(x)$  является периодичной и кусочно непрерывной на отрезке  $[0, X]$ , то эффективное среднеквадратичное приближение может быть получено при использовании системы тригонометрических функций ряда Фурье. В этом случае используется  $(2n+2)$  датчиков, погонные сопротивления которых промодулированы по функциям (фиг.2)

$$r_0(x) = r_m;$$

$$r_1^a(x) = r_c + r_m \cos \frac{2\pi}{X} x;$$

$$r_1^b(x) = r_c + r_m \sin \frac{2\pi}{X} x \quad (13)$$

$$r_i^a = r_c + r_m \cos i \frac{2\pi}{X} x;$$

$$r_i^b = r_c + r_m \sin i \frac{2\pi}{X} x.$$

$$r_{n+1}(x) = r_c$$

В этом случае вычисление температуры профиля температуры осуществляется по формуле

$$Q(x) \approx \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^n (a_i \cos i \frac{2\pi}{X} x + b_i \sin i \frac{2\pi}{X} x), \quad (14)$$

получаемой из (9), где коэффициенты  $a_i$ ,  $b_i$  определяются по формулам (12) при  $K_0 = 2$ ,  $K_i = 1/2$  ( $i = 1, n$ ),  $R_{iq} = R_i^a R_i^b$ .

Наиболее просто реализуются распределенные датчики с модуляцией погонного сопротивления по системам функций Уолша. В этом случае модуляция сопротивления может осуществляться простым запа-раллеливанием идентичных проводов. Из различных систем функций Уолша наиболее удобны те, в которых начальные функции сохраняются неизменными при произвольном увеличении порядка. К ним относятся функции Уолша-Адамара (had) и собственно Уолша.

При использовании функций Уолша-Адамара  $\{had(h, x)\}$  погонные сопротивления датчиков выражаются зависимостями (фиг.3)

$$\begin{aligned} r_0(x) &= had(Q, x) = r_m \\ r_{n+1}(x) &= r_c \\ r_i(x) &= r_c + r_m had(h, x), \end{aligned} \quad (15)$$

где  $had = \prod_{i=1}^n [\cos \pi x_i]$ ;  $h_i$  - номер функции Уолша-Адамара,  $x_i = 0, 1$ ;  $i$  -ый разряд двоичного представления точки  $x$  на интервале  $[0, X]$ .

Для любых непрерывных профилей  $\Theta(X)$  возможна модуляция погонного сопротивления по функциям Хаара.

При измерении некоторых температурных профилей в верхнем слое океана, типичная форма которых хорошо аппроксимируется малым числом членов некоторых полиномов, например, полиномов Лежандра 1-го рода  $\{P_n(x)\}$ , целесообразно выполнять модуляцию датчиков по этим полиномам.

Если целью измерения является получение значения температуры в некоторой точке поля  $X_0$ , причем эти значения должны содержать только отфильтрованные заданным пространственным фильтром  $\psi_i(x)$  составляющие исходного температурного поля среды, то для  $i$ -го датчика в качестве функции  $\psi_i(x)$  принимают нормированную импульсную весовую функцию  $h_i(x - x_0)$  заданного фильтра, причем

$$h_i(x) = \frac{g_i(x)}{|g_{im}|},$$

где  $g_i(x)$  - импульсная весовая функция,  $|g_{im}|$  - модуль максимального значения.

Из выражения (8) получим

$$\begin{aligned} R_{iq} &= R_{n+1}Q + r_m \int_0^X h_i(x - x_0) dx + \\ &+ dr_m \int_0^X h_i(x - x_0) Q(x) dx \end{aligned} \quad (16)$$

Член  $r_m \int_0^X h_i(x - x_0) dx + r_{m1} = const$ , так как он не зависит от измеряемой температуры, а определяется только весовой функцией  $h_i(x)$  заданного фильтра, т.е. конструктивными параметрами. Отфильтрованное значение температуры будет равно

$$Q_{1i}(x) = r_m \int_0^X h_i(x - x_0) Q(x_0) dx \quad (17)$$

Из результатов измерения сопротивлений  $R_{iq}$ ,  $R_{n+1}Q$  температура определяется по формуле

$$Q_{1i}(x) = \frac{R_{iq} - R_{n+1}Q - R_{m1}}{\alpha} \quad (18)$$

Таким образом, при измерении температуры возможно осуществлять произвольную фильтрацию пространственных частот температуры датчиком, если сопротивление датчика промодулировать по нормированной импульсной весовой функции заданного фильтра.

При реализации прямоугольного фильтра низких пространственных частот (ФНПЧ) нормированная весовая функция фильтра равна

$$h_i(x - x_0) = \frac{\sin 2\pi F_i(x - x_0)}{2\pi F_i(x - x_0)}, \quad (19)$$

где  $F_i$  - пространственная частота среза  $i$ -го фильтра.

При реализации полосового пространственного фильтра нормированная весовая функция равна

$$h_i(x - x_0) = \frac{\sin 2\pi F_i(x - x_0)}{2\pi F_i(x - x_0)} - \frac{\sin 2\pi F_n(x - x_0)}{2\pi F_n(x - x_0)}. \quad (20)$$

Если требуется измерить пространство отфильтрованных значений температуры в точке  $x_0$   $Q_{1i}(x_0)$ ,  $i = 1, n$  (получить спектр), то используя  $(n+1)$  распределенных датчиков, погонные сопротивления которых промодулированы по функциям

$$\begin{aligned} r_1(x) &= r_c + r_m h_1(x - x_0) \\ r_2(x) &= r_c + r_m h_2(x - x_0) \\ &\vdots \\ r_n(x) &= r_c + r_m h_n(x - x_0) \\ r_{n+1}(x) &= r_c, \end{aligned} \quad (21)$$

где  $h_i(x)$  - нормированная весовая функция фильтра.

На фиг. 4 показаны графики модулирующих сопротивление датчиков функций

по выражению (19) для фильтра низких пространственных частот. Вычитая попарно сигналы с выходов таких датчиков, можно получить широкий набор сигналов, отфильтрованных в определенных полосах.

На фиг. 5 показаны графики модулирующих функций по выражению (20) для полосовых фильтров пространственных частот. В этом случае устройство является анализатором амплитудного пространственного спектра температуры.

Во всех случаях вычисление отфильтрованных значений температуры  $Q_{ji}(x_0)$  производится по формуле (18). Для получения профиля отфильтрованных значений температуры  $Q_{ji}(x)$ ,  $x \in [0; X]$  вдоль линии  $X$  чувствительный элемент перемещают вдоль линии  $X$ .

Если требуется одновременно измерить пространственно отфильтрованные значения температуры  $Q_{ji}(x_0)$  в  $m$  точках вдоль линии  $X$ , то в многоканальном устройстве используется  $m$  групп по  $n$  датчиков модулированными сопротивлениями по функциям (фиг. 6 для ФНПЧ):

$$\begin{aligned} R_{11}(x) &= R_c + R_m h_1(x - \Delta x); \\ R_{12}(x) &= R_c + R_m h_2(x - \Delta x); \\ R_{1n}(x) &= R_c + R_m h_n(x - \Delta x); \\ R_{21}(x) &= R_c + R_m h_1(x - 2\Delta x); \end{aligned} \quad (22)$$

$R_{ji}(x) = R_c + R_m h_i(x - j\Delta x)$   
где  $i = 1, \dots, n$ ,  $j = 1, \dots, m$ ;  $\Delta x$  — расстояние между точками определения температуры по оси  $X$ . При этом вычисление температуры осуществляется по формуле:

$$Q_{ji} = \frac{R_{11}Q - R_{(n+1)Q} - R_{mi}}{\alpha}; \quad j=1, \dots, m, \quad i=1, \dots, n.$$

Для получения непрерывных профилей отфильтрованной температуры  $Q_{ji}(X)$  чувствительный элемент необходимо сканировать вдоль оси  $X$  в пределах  $\Delta X$ .

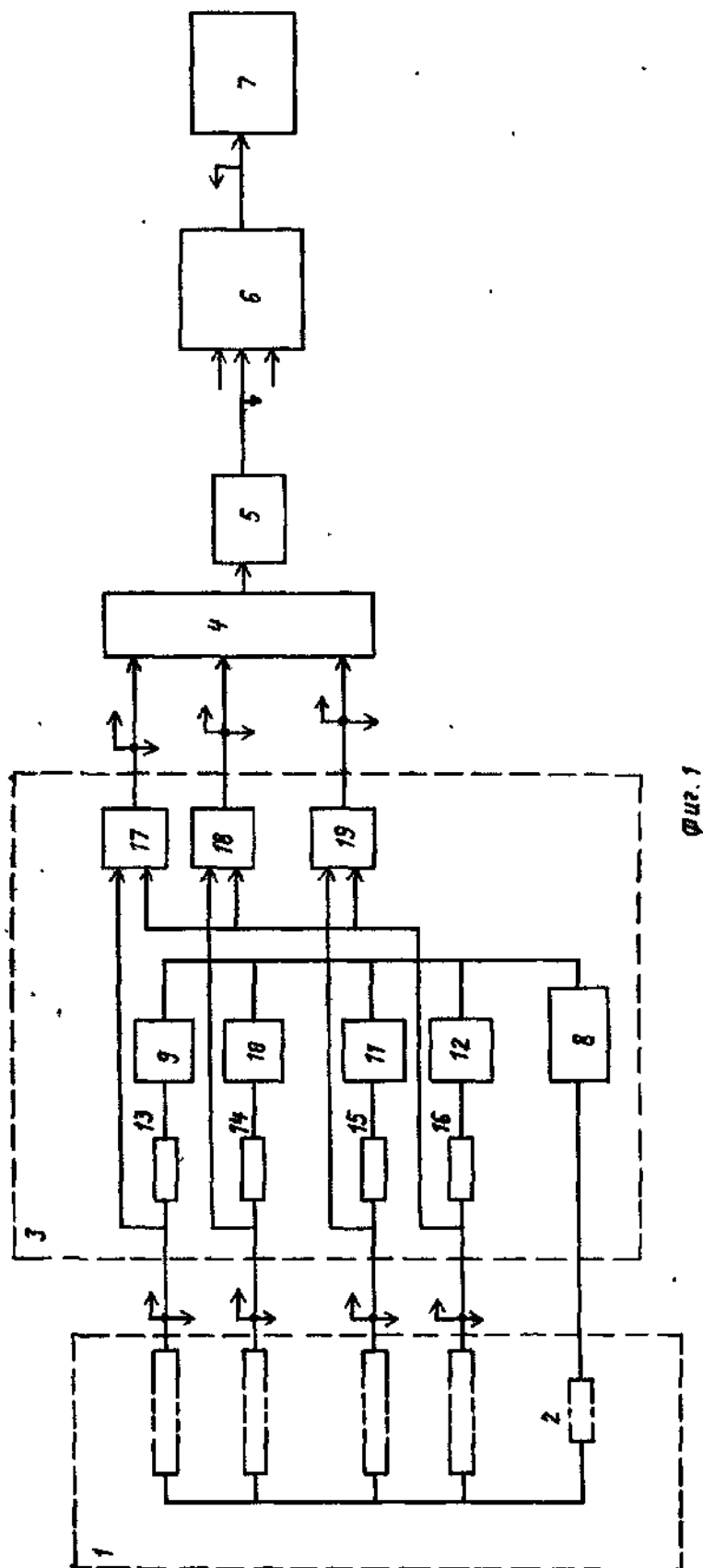
- 3 Устройство для измерения температуры обладает высоким быстродействием, позволяет с высокой точностью производить измерение температурного профиля среды, а также осуществлять пространственную фильтрацию температурных полей.

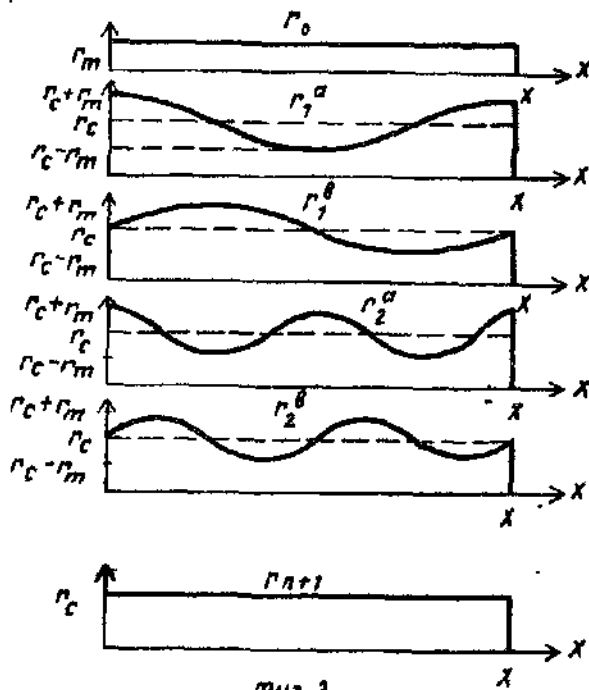
#### Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

- 15 Устройство для измерения температуры, содержащее распределенный термопреобразователь и регистратор, отличающееся тем, что, с целью повышения точности измерения температурного профиля, в него введены последовательно включенные блок съема сигнала, коммутатор, аналого-цифровой преобразователь и блок восстановления, выход которого соединен с регистратором, причем термопреобразователь выполнен в виде жгута из нескольких проводов с различным по длине провода погонным сопротивлением, один конец которых соединены между собой и совместно с другими концами подключены ко входам блока съема сигнала.

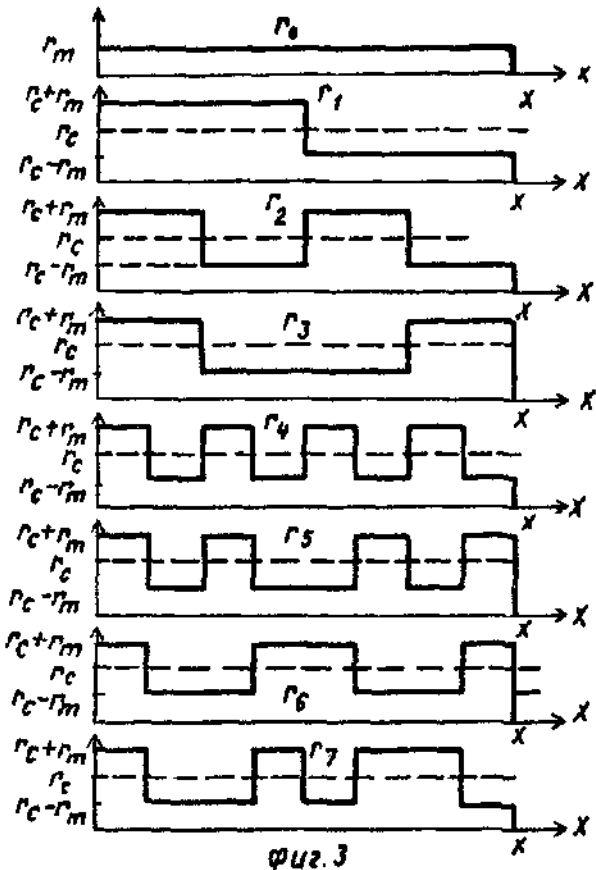
- 30 Источники информации, принятые во внимание при экспертизе  
1. Авторское свидетельство СССР № 139105, кл. G 01 K 3/02, 7/02, 19.09.60.

- 35 2. Авторское свидетельство СССР № 238823, кл. G 01 K 7/16, 17.04.67 (прототип).

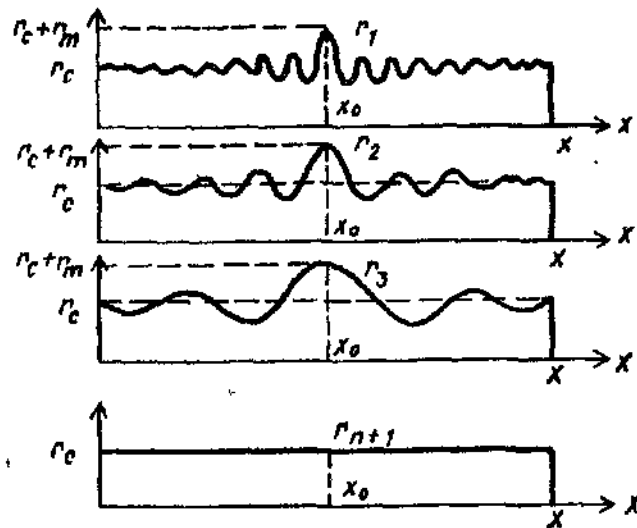




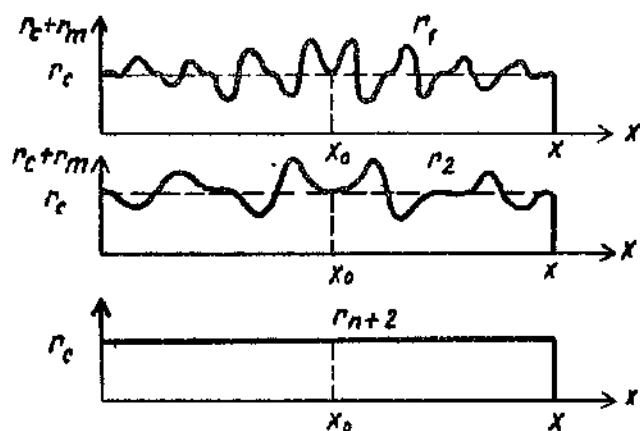
фиг. 2



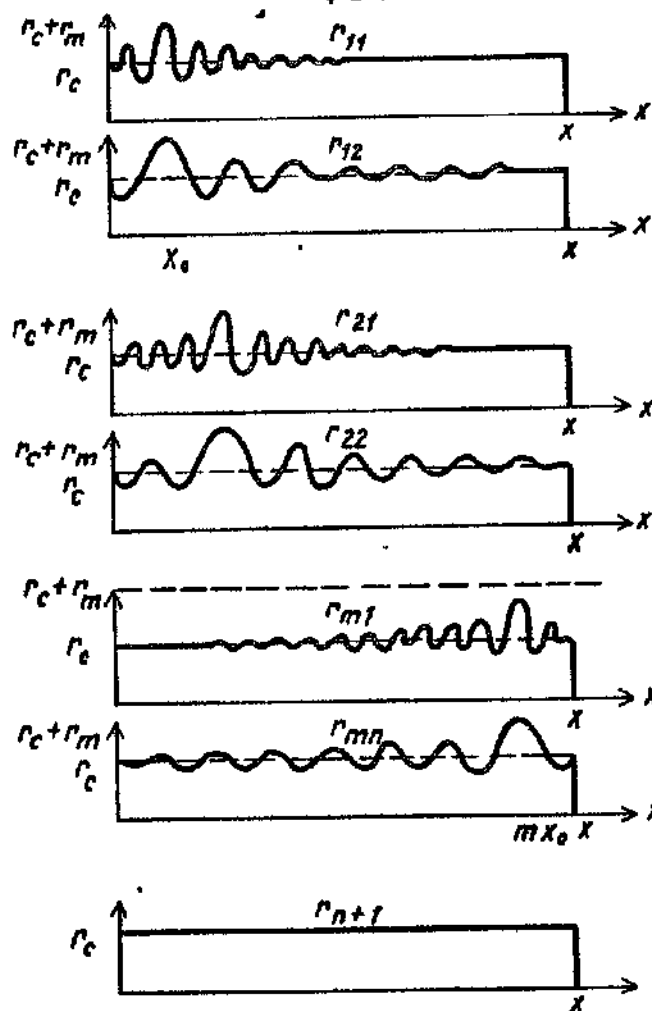
фиг. 3



фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

Составитель В. Куликов  
 Редактор П. Макаревич Техред А. Савка Корректор Н. Спец  
 Заказ 397/43 Тираж 918 Подписное  
 ВНИИПИ Государственного комитета СССР  
 по делам изобретений и открытий  
 113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5  
 Филиал ППП "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4