



СОЮЗ СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

АВТОРСКОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО

№

875222

На основании полномочий, предоставленных Правительством СССР,
Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий
выдал настоящее авторское свидетельство на изобретение:
"Датчик теплового потока"

Автор (авторы): Декуша Леонид Васильевич, Мазуренко
Александр Григорьевич, Федоров Владимир Григорьевич,
Герашенко Олег Аркадьевич и Грищенко Татьяна
Георгиевна

Заявитель: ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕПЛОФИЗИКИ АН УССР

Заявка № 2878032 Приоритет изобретения 19 февраля 1980 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений СССР

22 июня 1981 г.

Действие авторского свидетельства распро-
страняется на всю территорию Союза ССР.

Председатель Комитета

Начальник отдела

О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11) 875222

(61) Дополнительное к авт. свид-ву —

(22) Заявлено 19.02.80 (21) 2878032/18-10

(51) М. Кл.³

с присоединением заявки № —

G 01 K 17/06

(23) Приоритет —

Опубликовано 23.10.81. Бюллетень № 39

(53) УДК 536.629.
.7 (088.8)

Дата опубликования описания 23.10.81

Л. В. Декуша, А. Г. Мазуренко, В. Г. Федоров, О. А. Геращенко
и Т. Г. Грищенко

Институт технической теплофизики АН Украинской ССР

(54) ДАТЧИК ТЕПЛОВОГО ПОТОКА

1

Изобретение относится к области теплотрии и может быть использовано для измерения тепловых потоков при стационарных и нестационарных теплообменных процессах.

Известно устройство для измерения нестационарных тепловых потоков, содержащее две термоэлектрические батареи одинаковой чувствительности, включенные навстречу друг другу по электрическому сигналу. В условиях стационарного теплообмена суммарный электрический сигнал, вырабатываемый устройством, равен нулю. В условиях нестационарного теплообмена плотности теплового потока, прошедшего через тепловоспринимающую и теплоотдающую поверхности устройства, будут отличаться между собой, так как часть тепла затрачивается на изменение его тепло содержания. Суммарный сигнал, вырабатываемый термоэлектрическими батареями, будет отличен от нуля, а знак и числовое значение сигнала соответствуют направлению и величине изменения потока во времени [1].

Это устройство позволяет получать информацию только о наличии нестационарности

2

процесса и используется в качестве индикатора.

Известен датчик для измерения локальных тепловых потоков, основанный на использовании термоэлектрического эффекта и содержащий дифференциальные термоэлементы с промежуточными термоэлектродами, образующими вспомогательную стенку и соединенными последовательно, причем термоэлектрод каждого предыдущего термоэлемента служит основанием для последующего [2].

Этот датчик имеет низкую чувствительность, что делает его непригодным для измерения тепловых потоков малой и средней интенсивности, вырабатываемый им сигнал пропорционален среднеинтегральной по толщине датчика плотности теплового потока, проходящего через него.

Кроме того, характерна и низкая точность при измерении нестационарных тепловых потоков, так как в условиях нестационарного теплообмена плотности теплового потока, проходящего через тепловоспринимающую и тепло-

отдающую поверхности датчика, не равны между собой.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к изобретению является высокочувствительный батарейный термоэлектрический датчик теплового потока, содержащий батарею дифференциальных термоэлектрических элементов, выполненную из термоэлектронной проволоки в виде плоской спирали, составленной из чередующихся между собой полувитков, покрытых парным термоэлектродным материалом и непокрытых, у которой места переходов от непокрытого участка к покрытому расположены в параллельных плоскостях, разнесенных на толщину термобатареи, подключенную к регистрирующему прибору [3].

Этот датчик теплового потока имеет высокую чувствительность, что позволяет использовать его для измерений тепловых потоков не только высокой, но и малой интенсивности. Вырабатываемый таким многоспайным датчиком сигнал пропорционален среднеинтегральной по толщине датчика плотности теплового потока, а постоянная времени в зависимости от толщины датчика, его теплофизических характеристик и формпараметра составляет 1–30 с, но в отдельных случаях может достигать 120 с, что приводит к значительной длительности измерения стационарных тепловых потоков и возникновению динамической погрешности при измерении нестационарных тепловых потоков.

Цель изобретения — увеличение быстродействия и повышение точности измерений.

Поставленная цель достигается тем, что в измерительную цепь датчика теплового потока последовательно по электрическому сигналу с имеющейся термобатареи включена корректирующая, у которой все полувитки термоэлектродной проволоки прерывистого покрытия покрыты парным термоэлектродным материалом, причем расстояния для каждого полувитка между плоскостями, в которых расположены места переходов от непокрытого участка к покрытому, выбраны равными, одинаковыми, а расстояния между плоскостями, в которых расположены "горячие спаи" чередующихся полувитков корректирующей термообработки и толщина термобатареи h связаны соотношением

$$0 < b < h$$

На фиг. 1 изображена схема датчика теплового потока, содержащего основную и корректирующую термобатареи; на фиг. 2 — схемы покрытия парным термоэлектродным материалом полувитков термоэлектродной проволоки основной (а) и корректирующей термобатареи (б, в, г); на фиг. 3 — изменение

теплового потока в зависимости от F_0 (критерий Фурье) при скачкообразном изменении теплового потока; на фиг. 4 — изменение сигнала корректирующей термобатареи в зависимости от F_0 , расстояния между местами переходов от непокрытого участка к покрытому и количества витков термоэлектродной проволоки при скачкообразном изменении теплового потока.

Датчик теплового потока (фиг. 1) содержит две термоэлектрические батареи, основную 1 и корректирующую 2, которые включены последовательно по электрическому сигналу в измерительную цепь с вторичным регистрирующим прибором 3.

Основная термоэлектрическая батарея (фиг. 2) выполнена в виде плоской спирали, составленной из чередующихся между собой полувитков 4, покрытых парным термоэлектродным материалом, и 5, непокрытых, у которой места переходов от непокрытого участка к покрытому расположены в параллельных плоскостях I и II, разнесенных на толщину термобатареи h .

Корректирующая термоэлектрическая батарея (фиг. 2 б, в, г) имеет такую же толщину h , что и основная, но у нее каждый полувиток покрыт парным термоэлектродным материалом. Однако покрытие выполнено прерывистым, расстояние между плоскостями I и II, III и IV, в которых расположены места переходов от непокрытого участка к покрытому, выбрано равным. Расстояние b между плоскостями I и III, в которых расположены "горячие спаи", образованные местами переходов от непокрытого участка к покрытому, больше нуля и меньше толщины термобатареи h . В частном случае (фиг. 2 б и г) плоскости II и III могут совпадать, но при этом должно соблюдаться условие $0 < b < h$. Таким образом, каждый виток термоэлектродной проволоки образует своеобразную пару включенных встречно по электрическому сигналу дифференциальных термоэлементов, вырабатывающих ТЭДС только при прохождении через датчик изменяющегося во времени теплового потока, или в случае, когда плотность теплового потока, прошедшего через тепловоспринимающую поверхность, отличается от плотности теплового потока, прошедшего через теплоотдающую поверхность. При прохождении через корректирующую термобатарею стационарного теплового потока суммарный сигнал, вырабатываемый всеми ее термоэлементами, равен нулю.

Датчик может быть использован для измерения как в случае стационарного, так и в случае нестационарного теплообмена. При измерении установившегося в пространстве и

времени теплового потока сигнал, вырабатываемый основной термобатареей 1 (фиг. 1), пропорционален его плотности, а сигнал корректирующей термобатареи 2 равен нулю. Суммарный сигнал, измеряемый регистрирующим прибором 3, равен сигналу основной термобатареи 1.

При переменном в пространстве и времени тепловом потоке, сигнал основной термобатареи 1 будет пропорционален среднеинтегральной по толщине датчика плотности теплового потока, проходящего через датчик. Величина этого сигнала будет соответствовать меньшему значению теплового потока, по сравнению с воспринятым тепловоспринимающей поверхностью, и большему значению, по сравнению с прошедшим через теплоотдающую поверхность. Сигнал корректирующей термобатареи 2 при этом будет пропорционален изменению теплоемкости некоторого слоя вспомогательной стенки датчика. Вторичный регистрирующий прибор 3 будет регистрировать суммарный сигнал обеих термобатареи, который в зависимости от подключения корректирующей термобатареи 2 будет приближаться к сигналу, соответствующему тепловому потоку, прошедшему либо через тепловоспринимающую, либо через теплоотдающую поверхности датчика. В результате суммирования сигналов основной 1 и корректирующей 2 термобатареи постоянная времени датчика уменьшится, а быстродействие — увеличится по сравнению с этими же характеристиками для основной термобатареи.

Изложенное подтверждается решением задачи, частный случай которой можно показать на примере работы предлагаемого датчика, установленного на термостатированную поверхность, при скачкообразном изменении плотности теплового потока. При этом положим, что датчик — изотропное плоское тело конечной толщины и его теплофизические характеристики от температуры не зависят. В этом случае температурное поле датчика описывается уравнением теплопроводности

$$\alpha = \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial \tau^2} \quad (1)$$

при следующих краевых условиях

$$\begin{aligned} t(x, \tau) / \tau = \tau_0 = t_0 \\ t(x, \tau) / x = h = t_0 \\ -\lambda \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial x} / x_0 = q_0, \end{aligned}$$

где x и τ — пространственная и временная текущие координаты;
 t — текущее значение температуры;
 t_0 — начальное значение температуры ($x=0$);

λ, α — теплопроводность и температуропроводность датчика;

q_0 — плотность теплового потока (в сечении $x=0$)

Решением уравнения (1) относительно разности между температурой t_i в сечении, удаленном на расстояние x_i от тепловоспринимающей поверхности $x=0$, и температурой термостатированной поверхности t_0 , отнесенной к разности температур Δt между тепловоспринимающей ($x=0$) и теплоотдающей ($x=x_i$) поверхностями в установившемся режиме ($F_0 \gg 2$), получим расчетную формулу для определения величины $(t_i - t_0) \Delta t$ при любых значениях F_0 и x_i :

$$\frac{(t_i - t_0) \Delta t}{V} = 1 - x_i - \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{2}{\mu_n^2} \sin[\mu_n(1 - x_i)] x \exp(-\mu_n^2 F_0), \quad (2)$$

где $x_i = \frac{x_i}{h}$ — расстояние от тепловоспринимающей поверхности до сечения x_i , отнесенное к толщине датчика h ;

$\mu_n = (2n-1) \frac{\pi}{h}$ — собственные значения;

$F_0 = \frac{\alpha \tau}{h^2}$ — критерий Фурье.

Для термоэлектрических датчиков теплового потока вырабатываемая ТЭДС в стационарных условиях прямо пропорциональна разности температур между плоскостями, в которых расположены своеобразные спаи, образованные местами перехода от непокрытого участка к покрытому, и зависит от числа спаев, толщины термобатареи, форм параметра и теплопроводности устройств, т.е. для каждого конкретного датчика можно записать расчетную зависимость для генерируемой им ТЭДС

$$e = \frac{q_0 h n c}{\lambda}, \quad (3)$$

где q_0 — плотность измеряемого теплового потока;

h — толщина термобатареи;

n — число витков плоской спирали, образующей термобатарею;

c — постоянная датчика, зависящая от материала термоэлектродной проволоки и покрытия, а также от площадей сечений термоэлектродной проволоки и покрытия.

Исходя из формул (2) и (3), получается выражение для расчета величины ТЭДС, вырабатываемой основной термобатареей при любом значении F_0 , отнесенной к величине ТЭДС термобатареи при $F_0 \gg 2$

$$\frac{e}{e_0} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{2}{\mu_n^2} \sin \mu_n \exp(-\mu_n^2 F_0), \quad (4)$$

где e — ТЭДС основной термобатареи при любом значении F_0 ;

ℓ_0 — то же, при установившемся значении теплового потока ($F_0 \gg 2$).

На фиг. 3 приведены динамические характеристики основной термобатареи (кривая 1).

Для превращения датчика теплового потока из апериодического звена с постоянной времени τ_0 в безинерционное, путем включения в измерительную цепь корректирующего звена, необходимо, чтобы сигнал, вырабатываемый этим звеном был пропорционален $(1 - \frac{\ell}{\ell_0})$ (кривая 1 на фиг. 4). Сигнал, вырабатываемый описанной корректирующей термобатареей, начиная с некоторого значения F_0 , удовлетворяет этому условию.

При условии, что толщина термобатарей h значение формпараметра, материал термоэлектродной проволоки и покрытия, теплофизические характеристики и число витков термоэлектродной проволоки одинаково для корректирующей и основной термобатарей, ТЭДС корректирующей термобатарей можно рассчитывать по формуле, полученной с помощью равенства (2) и (3)

$$\frac{\ell_k}{\ell_0} = - \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{2}{\mu_n^2} \left\{ [\sin \mu_n(1-x_1) - \sin \mu_n(1-x_2)] - \right. \\ \left. - [\sin \mu_n(1-x_3) - \sin \mu_n(1-x_4)] \right\} \exp(-\mu_n^2 F_0), \quad (5)$$

где ℓ_k — ТЭДС корректирующей термобатарей при любом значении;

ℓ_0 — то же, основной термобатареи при установившемся значении теплового потока ($F_0 \gg 2$);

x_1 и x_3 — расстояния от тепловоспринимающей поверхности к плоскостям, в которых расположены "горячие спаи" полувитков корректирующей термобатарей (отнесенные к ее толщине h);

x_2 и x_4 — расстояния от тепловоспринимающей поверхности к плоскостям, в которых расположены "холодные спаи" полувитков (отнесенные к толщине h).

Следует заметить, что

$$x_2 = \frac{x_1 + a}{h} = x_1 + A, \quad x_4 = \frac{x_3 + a}{h} = x_3 + A, \quad a;$$

$$x_1 - x_3 = \frac{b}{h} = B$$

Исходя из этого, уравнение (5) может быть преобразовано к виду

$$\frac{\ell_k}{\ell_0} = - \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{2}{\mu_n^2} \sin \mu_n \frac{A}{2} \cdot \sin \mu_n \left(1 - \frac{x_1 + x_3 + A}{2}\right) \times \\ \times \sin \mu_n \frac{B}{2} \cdot \exp(-\mu_n^2 F_0), \quad (6)$$

где A — расстояние между плоскостями, в которых расположены места перехода от непокрытого участка к по-

крытому для каждого полувитка (отнесенное к толщине термобатарей)

B — расстояние между плоскостями, в которых расположены "горячие спаи" чередующихся полувитков.

Из анализа уравнения (6) следует, что корректирующая термобатарея генерирует сигнал только в том случае, если для каждого полувитка расстояние a между плоскостями, в которых расположены места перехода от непокрытого участка к покрытому, и расстояние b между плоскостями, в которых расположены "горячие спаи" термобатарей, отличны от нуля, т.е. $a > 0$ и $b > 0$.

На фиг. 4 приведены кривые изменения величины ℓ_k/ℓ_0 в зависимости от F_0 для корректирующей термобатарей при условии $a = b = 0,5h$ (кривая 2), $a = b = 0,33h$ (кривая 3). При этом числе витков термоэлектродной проволоки у основной и корректирующей термобатарей одинаково. Из анализа полученных решений следует, что для улучшения коррекции сигнала основной термобатарей необходимо, чтобы число витков и корректирующей термобатарей было больше числа витков в основной. Отношение числа витков в корректирующей термобатареи n_k к числу витков в основной — n_0 определяют по формуле

$$\frac{n_k}{n_0} = \left(\frac{\ell_0 - \ell}{\ell_k} \right) / F_0 = 0,35 \quad (7)$$

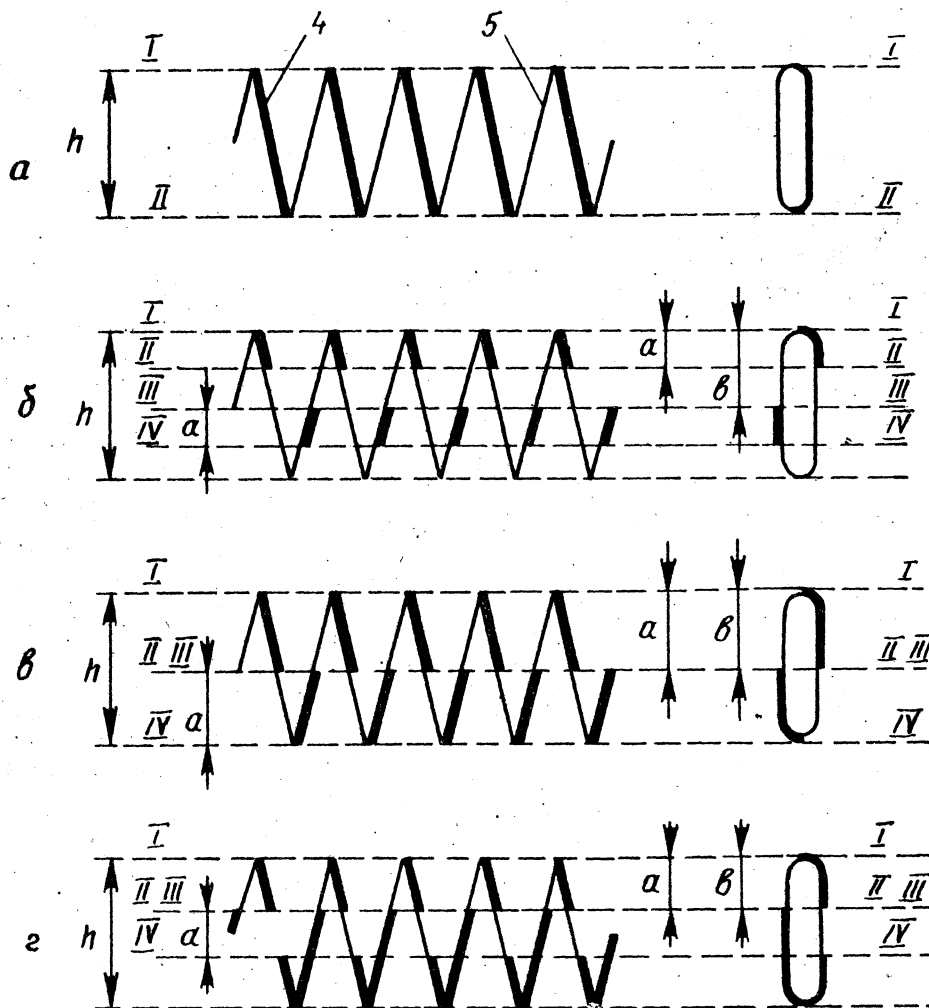
На фиг. 4 приведены кривые изменения величины ℓ_k/ℓ_0 в зависимости от F_0 для корректирующих термобатарей с $a = b = 0,5h$ при $n_k/n_0 = 2,2$ (кривая 4) и с $a = b = 0,33h$ при $n_k/n_0 = 4,0$ (кривая 5), которые наглядно показывают, что с некоторого значения F_0 сигнал корректирующей термобатарей практически полностью компенсирует "недобор" сигнала основной термобатарей.

На фиг. 3 приведены динамические характеристики предлагаемого устройства для датчиков с корректирующими термобатареями с $a = b = 0,5h$ и $n_k/n_0 \approx 2,2$ (кривая 2) и с $a = b = 0,33h$ и $n_k/n_0 \approx 4,0$ (кривая 3), которые показывают, что с введением в измерительную цепь корректирующей термобатарей динамические характеристики устройства улучшаются.

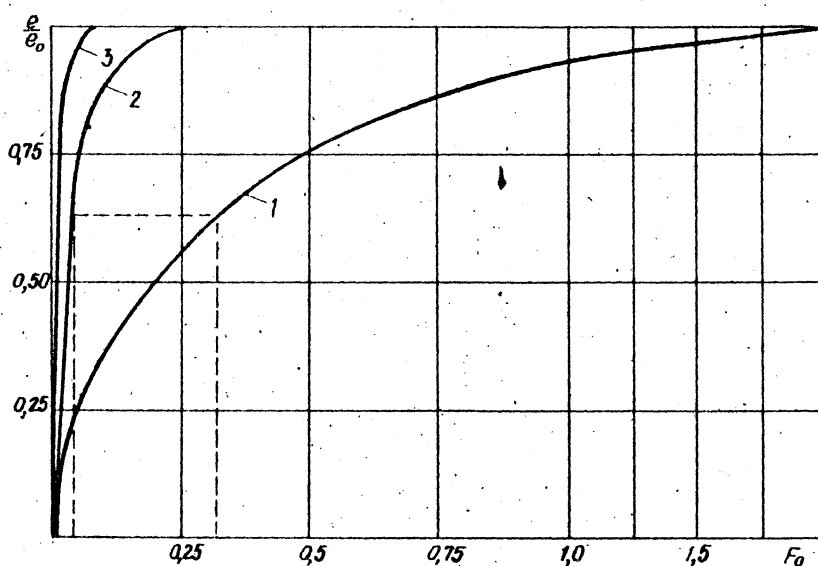
Кроме аналитических исследований возможностей улучшения динамических характеристик датчика теплового потока были проведены испытания опытных образцов датчика.

С этой целью были изготовлены опытные образцы с $a = b = 0,5h$, испытание которых показало, что время достижения $0,98\ell_0$ у датчика теплового потока с корректирующей термобатареей снизилось более, чем в 12,5 раз

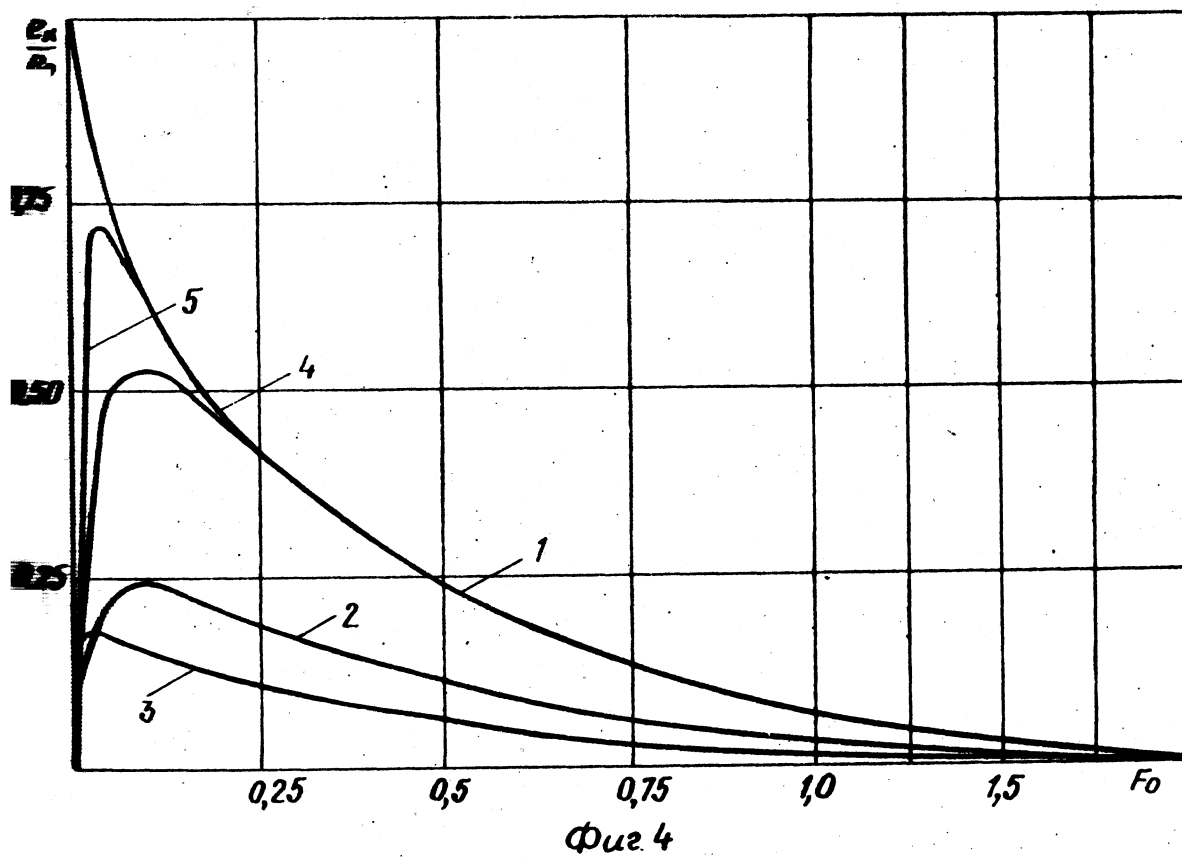
875222



Фиг. 2



Фиг. 3



Редактор В. Еремеева

Составитель Н. Горшкова
Техред А.Савка

Корректор У. Пономаренко

Заказ 9321/66

Тираж 910

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР
по делам изобретений и открытий
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Филиал ИПИ "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4