



Государственный комитет
СССР
по делам изобретений
и открытий

О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(61) Дополнительное к авт. свид-ву -

(22) Заявлено 14.09.77 (21) 2523991/18-25

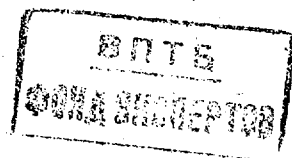
с присоединением заявки № -

(23) Приоритет -

Опубликовано 30.05.80. Бюллетень № 20

Дата опубликования описания 05.06.80

(11) 737891



(51) М. Кл.²

G 01 R 31/26

(53) УДК 621.382.3
(088.8)

(72) Автор
изобретения

В. Л. Свирид

(71) Заявитель

Минский радиотехнический институт

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ
СОСТАВЛЯЮЩИХ ДРЕЙФА ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕВЫХ
ТРАНЗИСТОРОВ

Изобретение относится к измеритель-
ной технике и предназначено для изме-
рения температурных коэффициентов со-
ставляющих дрейфа параметров полевых
транзисторов, обусловленных подвиж-
ностью носителей заряда в канале и
контактной разностью потенциалов меж-
ду затвором и каналом, с повышенной
точностью и быстродействием и может
быть использовано при технологическом
контроле тепловых и других парамет-
ров полевых транзисторов различных
типов.

Известны устройства для измерения
температурных коэффициентов парамет-
ров различных элементов, например ем-
кости конденсаторов, основанные на
определении изменения параметров ис-
следуемого элемента, вызванного изме-
нением температуры окружающей среды
и содержащие термостат с двумя каме-
рами, в которых поддерживается различ-
ная температура, систему транспорти-
ровки исследуемых элементов из одной
камеры в другую, автоматический
мост переменного тока с двумя систе-
мами уравнивания и блоки памяти
для запоминания информации после каж-
дого уравнивания моста [1].

Эти устройства при определении
температурных коэффициентов составля-
ющих дрейфа параметров полевых тран-
зисторов не обеспечивают соответствую-
щей точности измерений вследствие
специфических особенностей исследуе-
мых элементов, состоящих в том, что в
них источники дрейфа действуют сов-
местно и влияют на выходные парамет-
ры в противоположных направлениях,
усложняя получение и разделение инфор-
мации об измеряемых коэффициентах.

Наиболее близким по технической
сущности к предлагаемому является
устройство для измерения температур-
ных коэффициентов составляющих дрей-
фа параметров полевых транзисторов,
содержащее двухкамерный термостат с
системой транспортировки исследуемо-
го прибора из одной камеры в другую,
регистрирующий прибор, преобразова-
тель параметр-напряжение, соединен-
ный с исследуемым прибором, генера-
тор импульсов, два синхронных детек-
тора, два аттенюатора, сравнивающие
устройства, пропорциональный модуль-
тор и источник напряжений смещения,
при этом генератор импульсов подклю-
чен к первому и второму синхронным

детекторам и пропорциональному модулятору, выход преобразователя параметр-напряжение соединен со входами первого и второго синхронных детекторов, выход первого детектора подключен непосредственно к одному из входов, а выход второго детектора через первый аттенюатор - ко второму входу первого сравнивающего устройства, соединенного с пропорциональным модулятором, второй вход сравнивающего устройства через второй аттенюатор подключен к клемме истока полевого транзистора, клемма затвора которого соединена с выходом пропорционального модулятора [2].

Данное устройство не обеспечивает высокой точности измерений вследствие специфических особенностей полевых транзисторов. Кроме того, устройство имеет низкую производительность, так как процесс измерений температурных коэффициентов не автоматизирован.

Цель изобретения - повышение точности и автоматизация измерений.

Поставленная цель достигается тем, что в устройство введены четыре синхронных детектора, два вычитающих устройства, делительное и множителе-делительное устройство, а также последовательно соединенные генератор-формирователь запускающих импульсов, моностабильный элемент, логический элемент ИЛИ, второй вход которого подключен к выходу генератора - формирователя импульсов, а выход моностабильного элемента соединен с системой транспортировки исследуемого элемента, выход второго сравнивающего устройства соединен с клеммой источника полевого транзистора, а входы - с соответствующими выходами второго синхронного детектора и блока напряжений смещения, первые входы третьего и четвертого синхронных детекторов подключены к выходу первого сравнивающего устройства, а пятого и шестого - к выходу первого вычитающего устройства, вторые входы третьего и пятого синхронных детекторов подключены к выходу генератора-формирователя импульсов, а четвертого и шестого - к выходу логического элемента ИЛИ, выходы пятого и шестого синхронных детекторов соединены с соответствующими входами второго вычитающего устройства, выход которого соединен с одним из перемножающих входов множителе-делительного устройства, второй перемножающий и делительный входы которого подключены соответственно к выходам третьего и четвертого синхронных детекторов, выходы которых соединены с соответствующими входами третьего вычитающего устройства, выход которого соединен с одним из входов делительного устройства, второй вход которого подключен к выходу четвертого синхронного детектора, а выход - к первому входу

регистрирующего прибора, второй и третий входы которого подключены соответственно к выходам множителе-делительного устройства и логического элемента ИЛИ.

Известно, что

$$\alpha = x \frac{1 - \frac{\partial P'}{\partial U_{3H}}(U_{3H0})}{t^{01} - t^0} \left/ \frac{\partial P'}{\partial U_{3H}}(U_{3H0}) \right. \quad (1)$$

$$\beta = \frac{U_{3H0TC} - U'_{3H0TC}}{t^{01} - t^0} \frac{\partial P' / \partial U_{3H}(U_{3H0})}{\frac{\partial P}{\partial U_{3H}}(U_{3H0})} \quad (2)$$

где α и β - измеряемые температурные коэффициенты составляющих дрейфа параметров полевых транзисторов, обусловленных соответственно относительной подвижностью носителей заряда в канале и контактной разностью потенциалов между затвором и каналом;

x - степень аппроксимирующего полинома характеристик управления полевого транзистора (для большинства типов полевых транзисторов), $x = 2$ - для сток-затворных характеристик $I_c = f(U_{3H})$ и $x = 1$ - для характеристик крутизны $S = f(U_{3H})$ в усилительном режиме и проводимости канала $G = f(U_{3H})$ в режиме управляемого сопротивления; $\frac{\partial P'}{\partial U_{3H}}(U_{3H0})$ и $\frac{\partial P}{\partial U_{3H}}(U_{3H0})$ - производные параметров P по напряжению затвор-исток U_{3H} характеристик управления полевого транзистора в термостабильной точке U_{3H0} при двух значениях температуры окружающей среды соответственно t^{01} и t^0 (под параметрами P следует понимать такие параметры полевого транзистора, как ток стока I_c , крутизна S , проводимость канала G); U_{3H0TC} и U'_{3H0TC} - напряжение отсечки полевого транзистора при температурах окружающей среды соответственно t^{01} и t^0 .

Если перейти к линейным характеристикам, например проводимости канала ($x = 1$), то отпадает необходимость определения параметров полевого транзистора в термостабильной точке и выражения (1) и (2) можно представить через конечное приращение в следующем виде

$$\alpha = \frac{1 - \frac{\Delta G'}{\Delta U_{3H}}(U_{3H})}{t^{01} - t^0} \left/ \frac{\Delta G}{\Delta U_{3H}}(U_{3H}) \right. = \frac{\Delta U'_{3H} - \Delta U_{3H}}{\Delta U'_{3H}(t^{01} - t^0)} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{U_{3H0TC} - U'_{3H0TC}}{t^{01} - t^0} \frac{\frac{\Delta G'}{\Delta U_{3H}}(U_{3H})}{\frac{\Delta G}{\Delta U_{3H}}(U_{3H})} = \frac{U_{3H0TC} - U'_{3H0TC}}{t^{01} - t^0} \frac{\Delta U'_{3H}}{\Delta U_{3H}} \quad (4)$$

Соотношения (3) и (4) справедливы в том случае, если в процессе измерения независимо от изменения температуры окружающей среды выполняется условие

$$\Delta G' = \Delta G \quad (5)$$

Таким образом, устройство в автоматическом режиме производит измерение напряжения отсечки и приращений напряжений, пропорциональных производных, при двух значениях температуры окружающей среды и в соответствии с (3), (4) и (5) определяет искомые температурные коэффициенты, обеспечивая выигрыш в точности и быстродействии измерений.

На фиг. 1 представлена схема устройства для измерения температурных коэффициентов составляющих дрейфа параметров полевых транзисторов; на фиг. 2 — характеристика проводимости канала полевого транзистора при двух значениях температуры окружающей среды, поясняющие принцип измерения; на фиг. 3 — диаграммы, поясняющие принцип работы устройства.

Устройство (фиг. 1) содержит ряд функциональных систем. Исследуемый транзистор 1, преобразователь 2 параметр-напряжение, первый и второй синхронные детекторы 3 и 4 и пропорциональный модулятор 5, управляемые генератором 6 импульсов, а также первый аттенуатор 7, с коэффициентом затухания равным двум, и первое сравнивающее устройство 8 образуют систему измерения производной проводимости канала по напряжению затвор-исток полевого транзистора. Второй аттенуатор 9, соединенный с клеммой истока исследуемого транзистора 1, и имеющий коэффициент затухания, равный двум, и первое вычитающее устройство 10 обеспечивают непосредственный отсчет напряжения отсечки. Источник 11 напряжений смещения и второе сравнивающее устройство 12, соединенное с клеммой затвора транзистора 1, образуют систему стабилизации проводимости в одной из точек исследуемой характеристики независимо от влияния температуры окружающей среды, которая позволяет автоматически выполнить условие (5). Двухкамерный термостат 13 с системой транспортировки 14 исследуемого элемента из одной камеры в другую позволяет произвести модуляцию по температуре параметров полевого транзистора. Третий и четвертый синхронные детекторы 15 и 16, третье вычитающее устройство 17 и делительное устройство 18 представляют собой канал измерения температурного коэффициента составляющей дрейфа параметров, обусловленной подвижностью носителей заряда в канале (3). В состав канала измерения температурного коэффициента составляющей дрейфа параметров, обусловленной контактной разностью потенциалов между затвором и каналом (4), входят пятый и шестой синхронные детекторы 19 и 20, второе вычитающее устройство 21 и множительно-делительное устройство 22. Регистрирующий

прибор 23 осуществляет индикацию измеряемых величин. Управление всеми системами устройства производится с помощью генератора-формирователя 24 запускающих импульсов, моностабильного элемента 25 и логического элемента ИЛИ 26.

При подключении к измерительным клеммам устройства полевого транзистора 1 его рабочая точка оказывается смещенной в область максимума проводимости исследуемой характеристики под влиянием большого разностного сигнала, возникающего в сравнивающем устройстве 12 за счет опорного напряжения источника 11 и отсутствующего в данный момент напряжения синхронного детектора 4, что способствует образованию напряжений на выходах преобразователя 2 параметр-напряжение и синхронных детекторов 3 и 4 в результате непрерывной работы генератора 6. Выходное напряжение детектора 4, преодолевая в сравнивающем устройстве 12 опорное напряжение источника 11, переводит рабочую точку полевого транзистора 1 на участок характеристики, определяемый начальными условиями, с последующей стабилизацией в установившемся режиме проводимости $G(U_{3и})$ (фиг. 2) с заданной точностью, независимо от влияния различных факторов, за счет изменения напряжения $U_{3и}$. Одновременно с этим выходное напряжение детектора 4, ослабленное аттенуатором в соответствующее число раз, сравнивается с полным напряжением детектора 3 в устройстве 8. Результат сравнения, усиленный в этом же устройстве, а затем преобразованный в пропорциональном модуляторе 5 в импульсное напряжение прямоугольной формы, воздействуя на затвор, вызывает модуляцию проводимости канала полевого транзистора, при этом на выходе преобразователя 2 образуется напряжение, пропорциональное глубине модуляции ΔG (фиг. 2). В дальнейшем это напряжение с помощью синхронных детекторов 3 и 4 разделяется по временному принципу с последующим накоплением информации в виде напряжений, соответствующих максимальному $G(U_{3и})$ и минимальному $\frac{G(U_{3и})}{2}$ значениям проводимости канала транзистора в пределах модулирующего воздействия. Таким образом, при выборе необходимых начальных условий работы детекторов 3 и 4 и модулятора 5, синхронизм которых обеспечивается генератором 6, данная система авторегулировки приходит в равновесное состояние, непрерывно поддерживая постоянную с заданной степенью точности и в соответствии с уровнем затухания аттенуатора 7 глубину модуляции проводимости канала полевого транзистора 1, независимо от действия различных факторов, за счет изменения входного воздействия $\Delta U_{3и}$, несущего информацию о

производной проводимости исследуемой характеристики. Напряжение смещения $U_{3и}$ определенной полярности, поступающее с выхода сравнивающего устройства 12 и ослабленное в два раза аттенуатором 9, вычитается в устройстве 10 с выходным напряжением сравнивающего устройства 8, а затем усиливается в два раза, образуя напряжение отсечки $U_{3и.отс.}$ исследуемого транзистора (фиг. 2), которое поступает для дальнейшей обработки на синхронные детекторы 19 и 20. Одновременно с ним выходное напряжение сравнивающего устройства 8, соответствующее производной проводимости $\Delta U_{3и}$, воздействует на информационные входы синхронных детекторов 15 и 16. К этому моменту времени полевой транзистор 1, находясь в одной из камер термостата 13, приобретает температуру кристалла $t_{кр}^0$ (фиг. 3 а). Под влиянием управляющего импульса (фиг. 3 б) генератора-формирователя 24, воздействующего на управляющие входы синхронных детекторов 15 и 19 непосредственно, а 16 и 20 — через логический элемент ИЛИ 26, в детекторах 15 и 16 накапливается информация о производной проводимости, а в детекторах 19 и 20 — о напряжении отсечки $U_{3и.отс.}$, соответствующих характеристике проводимости канала при температуре t^0 (фиг. 2). По окончании управляющего импульса (фиг. 3 б), длительность которого зависит от времени установления переходных процессов в системах авторегулировок, синхронные детекторы 15 и 19 переходят в режим хранения информации, а моностабильный элемент 25 формирует импульс (фиг. 3 в), который, воздействуя на систему транспортировки 14 и логический элемент ИЛИ 26, перемещает исследуемый транзистор 1 в другую камеру с температурой t^0 и продолжает сохранять прежний режим работы синхронных детекторов 16 и 20 (управляющие импульсы на фиг. 3 г). По мере прогрева транзистора (фиг. 3 а) изменяется наклон исследуемой характеристики (фиг. 2), при этом системы стабилизации проводимости $G(U_{3и})$ и глубины модуляции проводимости ΔG , стремясь воспрепятствовать изменению этих параметров, вызывают изменения напряжения смещения $U_{3и}$ и модулирующего воздействия $\Delta U_{3и}$, что приводит к непрерывному накоплению информации о производной проводимости и напряжении отсечки раздельно в синхронных детекторах 16 и 20. Изменяющееся напряжение детектора 16 обрабатывается в соответствии с (3) в канале измерения температурного коэффициента α , т. е. вычитается в устройстве 17 с хранимым напряжением детектора 15, а образующаяся разность подвергается делению в устройстве 18 на это же напряжение. Одновременно с этим, выходное детектора 20

обрабатывается в соответствии с (4) в канале измерения второго температурного коэффициента β , т. е. вычитается в устройстве 21 с хранимым напряжением детектора 19, а получаемая разность перемножается с хранимым напряжением детектора 15 и делится на изменяющееся напряжение детектора 16 в множително-делительном устройстве 22. Спустя три-четыре тепловых постоянных переход-среда полевого транзистора, когда температура кристалла $t_{кр}^0$ (фиг. 3 а) станет равной температуре другой камеры термостата t^0 и дальнейшее изменение наклона характеристики проводимости (фиг. 2) прекращается, моностабильный элемент, возвращаясь в исходное состояние, заканчивается формирование управляющего импульса (фиг. 3 в), переводя синхронные детекторы 16 и 20 в режим хранения накопленной информации о производной $\Delta U_{3и}$ и напряжении отсечки $U_{3и.отс.}$, соответствующими температуре t^0 , и, воздействуя на систему транспортировки 14, возвращает ее в исходное состояние. При этом изымается старый и подключается к измерительным клеммам устройства новый транзистор, находящийся в первой камере термостата и успевший заблаговременно прогреться до температуры t^0 , а измерительное устройство подготавливается к новому циклу измерений. Отрицательный перепад напряжения, который образовывается на выходе логического элемента ИЛИ 26, разрешает регистрирующему прибору 20 индикацию выходных напряжений делительного 18 и множително-делительного 22 устройств, которые к данному моменту времени оказываются точно соответствующими измеряемым коэффициентам. Спустя некоторое предельно короткое время (индикация измеряемых температурных коэффициентов предыдущего транзистора может производиться во время измерения параметров последующего транзистора), снова срабатывает генератор-формирователь 24 и процесс в измерительном устройстве периодически повторяется описанным выше способом, производя измерения температурных коэффициентов составляющих дрейфа параметров все новых и новых транзисторов.

Предлагаемое устройство отличается от известного повышенной точностью и быстродействием. Выигрыш в точности измерений заключен, прежде всего, в методе определения соответствующих коэффициентов. Температурный коэффициент составляющей, обусловленной относительной подвижностью носителей заряда в канале, в соответствии с общепринятой методикой определяется соотношением

$$\alpha^* = \frac{\partial p_{t^0}(U_{3и})}{\Delta t^0} = \alpha + \frac{\alpha \rho}{U_{3и.отс.} - U_{3и}}$$

Отсюда выигрыш в точности измерения α

$$B_{\alpha} = \frac{\alpha^*}{\alpha} = 1 + \frac{\alpha \beta}{\alpha(U_{\text{эмотс}} - U_{\text{эи}})}$$

Температурный коэффициент составляющей, обусловленной контактной разностью потенциалов между затвором и каналом, при определении известными методами

$$\beta = \frac{U_{\text{эмотс}} - U'_{\text{эмотс}}}{t^{\circ} - t^{\circ}}$$

Сравнивая данное выражение с (2), получают выигрыш в точности измерения β

$$B_{\beta} = \frac{\beta^*}{\beta} = \frac{\partial \beta}{\partial U_{\text{эи}}} (U_{\text{эи}0}) \left| \frac{\partial \beta'}{\partial U_{\text{эи}}} (U_{\text{эи}0}) \right| = \frac{1}{1 - \Delta t^{\circ} / \Delta t^{\circ}}$$

Таким образом, при исследовании полевых транзисторов с усредненными параметрами: $\alpha = 0,66\%/^{\circ}\text{C}$, $\beta = 2,2 \text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$ и условиях $x = 1$, $\Delta t^{\circ} = 50^{\circ}\text{C}$, $U_{\text{эмотс}} = 1 \text{ В}$, выигрыш в точности измерений коэффициентов составляет $B_{\alpha} \approx 1,33$ и $B_{\beta} \approx 1,49$. Очевидно, выигрыш будет возрастать по мере увеличения разности температур Δt° и при исследовании полевых транзисторов с меньшим напряжением отсечки.

Проведенный анализ погрешностей показывает, что при указанных выше условиях среднеквадратическая погрешность измерения коэффициентов не превышает $\sigma_{\alpha} \leq \pm 0,7\%$, $\sigma_{\beta} \leq \pm 1\%$.

Количественную оценку выигрыша в быстроедействии измерений произвести невозможно, так как известное устройство не автоматизировано. Однако предлагаемое устройство не уступает по быстроедействию лучшим автоматизированным устройствам, предназначенным для измерения температурных коэффициентов различных элементов, так как его время измерения не превышает трех-четыре тепловых постоянных переход-среда полевых транзисторов.

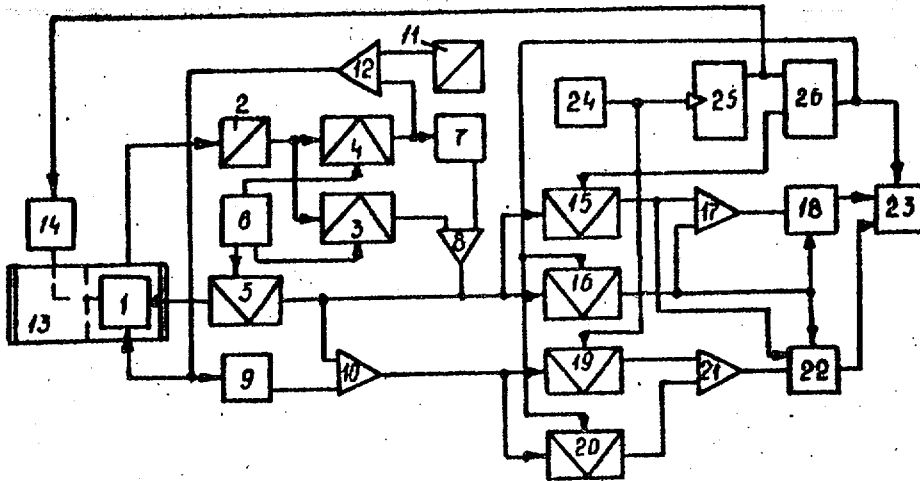
Формула изобретения

Устройство для измерения температурных коэффициентов составляющих дрейфа параметров полевых транзисторов, содержащее двухкамерный термостат с системой транспортировки исследуемого прибора из одной камеры в другую, регистрирующий прибор, преобразователь параметр — напряжение, соединенный с исследуемым прибором, генератор импульсов, два синхронных детектора, два аттенюатора, сравнивающие устройства, пропорциональный модулятор и источник напряжений смещения, при этом генератор импульсов подключен к первому и второму синхронным детекторам и пропорциональному модулятору, выход преобразователя параметр — напряжение соединен со входами первого и второго синхронных детекторов, выход первого детектора подключен непосредственно к одному из входов, а выход второго детекто-

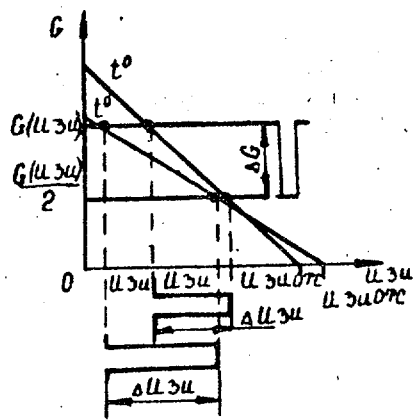
ра через первый аттенюатор — ко второму входу первого сравнивающего устройства, соединенного с пропорциональным модулятором, второй вход сравнивающего устройства через второй аттенюатор подключен к клемме истока полевого транзистора, клемма затвора которого соединена с выходом пропорционального модулятора, отсюда ясно тем, что, с целью повышения точности и автоматизации измерений, в него введены четыре синхронных детектора, два вычитающих устройства, делительное и множительно-делительное устройства, а также последовательно соединенные генератор-формирователь запускающих импульсов, моностабильный элемент, логический элемент ИЛИ, причем второй вход элемента ИЛИ подключен к выходу генератора-формирователя, а выход моностабильного элемента соединен с системой транспортировки исследуемого прибора, выход второго сравнивающего устройства соединен с клеммой истока полевого транзистора, а вход — с соответствующими выходами второго синхронного детектора и блока напряжений смещения, первые входы третьего и четвертого синхронных детекторов подключены к выходу первого сравнивающего устройства, а пятого и шестого — к выходу первого вычитающего устройства, вторые входы третьего и пятого синхронных детекторов подключены к выходу генератора-формирователя импульсов, а четвертого и шестого — к выходу логического элемента ИЛИ, выходы пятого и шестого синхронных детекторов соединены с входами второго вычитающего устройства, выход которого соединен с одним из перемножающих входов множительно-делительного устройства, второй перемножающий и делительный входы которого подключены соответственно к выходам третьего и четвертого синхронных детекторов, выходы которых, кроме того, соединены с входами третьего вычитающего устройства, выход которого соединен с одним из входов делительного устройства, второй вход которого подключен к выходу четвертого синхронного детектора, а выход — к первому входу регистрирующего прибора, второй и третий входы которого подключены соответственно к выходам множительно-делительного устройства и логического элемента ИЛИ.

Источники информации, принятые во внимание при экспертизе

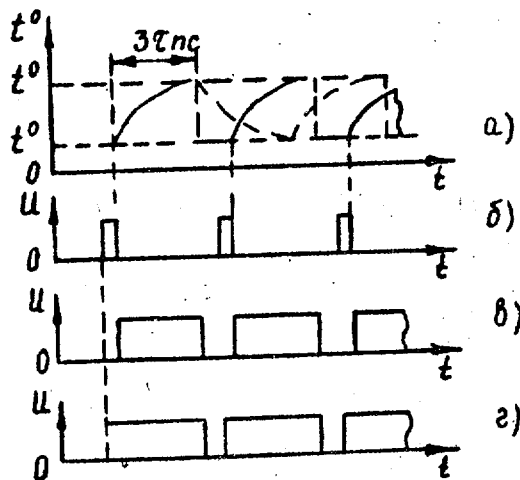
1. Авторское свидетельство СССР № 277088, кл. G 01 R 25/00, 1968.
2. Авторское свидетельство СССР № 543894, кл. G 01 R 31/26, 1975 (прототип).



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

Редактор Е. Дорошенко Составитель В. Немцев Техред И. Асталаш Корректор С. Шекмар

Заказ 2563/7

Тираж 1019

Подписное

ЦНИИПИ 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