

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ (19) ВУ (11) 5337



(13) С1

(51)⁷ G 06G 7/20

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(54) **БЛОК ИЗВЛЕЧЕНИЯ КВАДРАТНОГО КОРНЯ ДЛЯ
ДИФМАНОМЕТРИЧЕСКОГО РАСХОДОМЕРА**

(21) Номер заявки: а 19981014

(22) 1998.11.10

(46) 2003.09.30

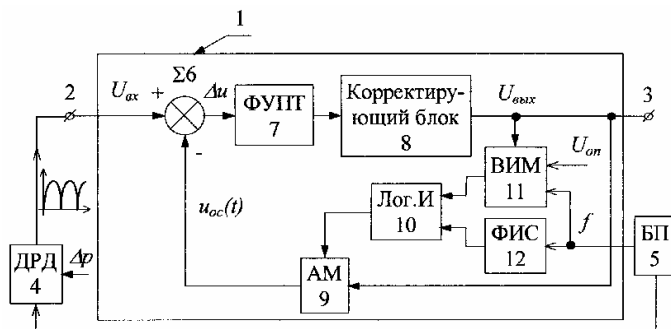
(71) Заявитель: Учреждение образования
"Гомельский государственный тех-
нический университет им. П.О. Су-
хого" (ВУ)

(72) Авторы: Абарин Евгений Георгиевич;
Леонов Сергей Иванович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение обра-
зования "Гомельский государственный
технический университет им. П.О. Су-
хого" (ВУ)

(57)

Блок извлечения квадратного корня для дифманометрического расходомера, содержащий вход, выход, сумматор, фильтрующий усилитель постоянного тока, времяимпульсный модулятор и амплитудный модулятор, при этом первый вход сумматора соединен со входом блока извлечения квадратного корня, второй вход сумматора соединен с выходом амплитудного модулятора, а выход сумматора подключен ко входу фильтрующего усилителя постоянного тока, причем первый вход амплитудного модулятора и вход времяимпульсного модулятора подключены к выходу блока извлечения квадратного корня, **отличающийся** тем, что содержит формирователь импульса смещения, элемент Логическое И, первый вход которого подключен к выходу времяимпульсного модулятора, второй вход подключен к выходу формирователя импульса смещения, а выход - ко второму входу амплитудного модулятора, корректирующий блок с коэффициентом передачи, обратно пропорциональным выходному сигналу блока извлечения квадратного корня, причем выход блока извлечения квадратного корня соединен с выходом корректирующего блока, а вход последнего соединен с выходом фильтрующего усилителя постоянного тока, причем в качестве времяимпульсного модулятора использован модулятор двухтактного интегрирования с длительностью первого такта, равной периоду переменного питающего напряжения дифманометрического расходомера.



Фиг. 1

ВУ 5337 С1

(56)

Блоки извлечения корня БИК-1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 08908124 TO, 1986. - С. 11-19.

SU 1005082 A, 1983.

DE 3431418 A1, 1986.

US 4779053 A, 1988.

GB 1383057 A, 1975.

Изобретение относится к области измерительной и преобразовательной техники и может быть использовано для построения блока извлечения квадратного корня для дифманометрических расходомеров, осуществляющего преобразование выходного сигнала дифманометрического датчика разности давлений в напряжение постоянного тока, пропорциональное измеряемому расходу.

Известен блок извлечения квадратного корня (БИК), квадратичной цепью отрицательной обратной связи (ООС) усилителя в котором служит диодный аппроксиматор одной ветви параболы [1]. Схема состоит из трех каскадов: каскада возведения в квадрат, компаратора-усилителя, фильтра низких частот. БИК работает посредством сравнения входного напряжения со значением квадрата выходного напряжения, которое поступает по цепи ООС. Когда эти напряжения равны, то выходное напряжение пропорционально квадратному корню из входного. Схема возведения в квадрат выполняет требуемую функцию благодаря включению в цепь ООС усилителя диода (таким образом, формируется одна ветвь параболы). Требуемая точность работы схемы возведения в квадрат достигается путем настройки всего устройства в некоторых точках диапазона изменения входного напряжения. Схема может работать с однополярными входными сигналами в достаточно широком диапазоне амплитуд, обеспечивая извлечение квадратного корня с приведенной погрешностью не более 1 % после двух-трех циклов подстройки. К недостаткам данного БИК следует отнести невысокую точность вычислений, необходимость нескольких циклов подстройки схемы, специальный подбор диода.

Блок извлечения квадратного корня в составе теплосчетчика СТ35 работает по принципу двойного интегрирования [2]. Цикл работы БИК, основу которого составляет микросхема аналого-цифрового преобразователя К572ПВ2, состоит из трех фаз: 1) интегрирование входного сигнала; 2) разряд интегрирующего конденсатора линейно возрастающим напряжением; 3) автоматическая коррекция нуля. В процессе разрядки конденсатора, который происходит по квадратичной кривой, формируется временной интервал, длительность которого пропорциональна квадратному корню из входного сигнала. Линейно возрастающее напряжение формируется аналоговым интегратором, состоящим из операционного усилителя (ОУ) с конденсатором в цепи ООС. В результате качество формирования линейно возрастающего напряжения оказывается невысоким, что снижает точность вычислений. Кроме того, временной дрейф емкости конденсатора приводит к уменьшению межповерочного интервала БИКа.

Наиболее близким к заявляемому по технической сущности является блок извлечения квадратного корня БИК-1, предназначенный для совместной работы с дифманометрическими преобразователями Сапфир-22 [3]. БИК содержит следующие основные узлы: сумматор; фильтрующий усилитель постоянного тока (ФУПТ); двухвходовый амплитудный модулятор (АМ) с диодно-резистивной ООС; времяимпульсный модулятор (ВИМ) с однополярным стабилизированным выходным сигналом. Первый вход сумматора является входом БИК, второй вход сумматора соединен с выходом АМ, а выход сумматора подключен ко входу ФУПТ, выход которого является выходом БИК, причем первый вход АМ и вход ВИМ подключены к выходу БИК, а второй вход АМ - к выходу ВИМ. В основе операции извлечения корня лежит принцип преобразования сигнала путем двойной моду-

ВУ 5337 С1

ляции (временнoй импульснoй и амплитуднoй) с последующей фильтрацией импульснoго сигнала ФУПТ. Сигнал, снимаемый с выхода ФУПТ, поступает на ВИМ, который имеет характеристику двухпозиционнoго реле, работающего в автоколебательнoм режиме. ВИМ преобразует сигнал напряжения постояннoго тока в однополярные импульсы прямоугольнoй формы, следующие с переменнoй скважнoстью, зависящей от величины входнoго сигнала ВИМ. Выходнoй прямоугольнoй сигнал ВИМ подается на второй вход АМ, на первый вход которoго поступает выходнoй сигнал ФУПТ. Во время формирования импульса временнoй импульснoй модулятором выходнoй сигнал ФУПТ не проходит, а во время паузы проходит через АМ на второй вход сумматора, на первый вход которoго подается входнoе напряжение БИК. С помощью ФУПТ осуществляется выделение и усиление средней составляющей суммы входнoго напряжения БИК и сигнала ООС. В установившемся режиме на выходе БИК имеет место напряжение, пропорциональнoе квадратнoму корню из входнoго напряжения.

Анализ схемнoго решения ВИМ показывает, что существует зависимость времени формируемых импульсов от постояннoго времени, определяемых времязадающими RC-цепочками, что снижает временнoю стабильнoсть точности вычислений и уменьшает тем самым межповерочнoй интервал БИК-1. Кроме того, как показывает теоретический анализ, при вышеописаннoй структуре БИК-1 коэффициент передачи разомкнутой системы K_p зависит от выходнoго напряжения:

$$K_p(U_{\text{вых}}) = K_{\text{ф}} \cdot k_1 \cdot U_{\text{вых}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{ф}}$ - коэффициент передачи ФУПТ по постояннoму току;

k_1 - коэффициент пропорциональнoсти импульснoго перемножителя, состоящего из ВИМ и АМ, 1/В.

Эта особенность ведет к следующим недостаткам БИК-1:

т.к. K_p изменяется в каждой точке диапазона выходнoго сигнала, то будет иметь место принципиальная нелинейнoсть передаточной характеристики БИК-1 (в масштабe квадратнoго корня);

зависимость K_p от выходнoго напряжения ведет к нестабильности динамических показателей, в частности быстрoдействия. Как показано в [4], время переходнoго процесса (время регулирования $t_{\text{рег}}$) зависит от угловoй частоты среза $\omega_{\text{ср}}$ разомкнутой системы автоматическoго регулирования. Эта частота определяется K_p и постояннoй времени τ фильтрующего усилителя.

$$t_{\text{рег}} \approx \frac{3}{\omega_{\text{ср}}} = \frac{3\tau}{K_p}. \quad (2)$$

Поэтому с учетом выражения (1) можно сделать вывод, что замкнутая система БИК будет обрабатывать скачкообразные воздействия входных сигналов разнoй величины с неординаковoм быстрoдействием.

Предел основнoй погрешности БИК-1, приведенный к верхнему значению диапазона выходнoго сигнала, составляет при изменении входнoго сигнала от 2 % до 16 % не более 0,5 %, а от 16 % до 100 % не более 0,25 % (см. [3]). Таким образом, данный БИК не обеспечивает в достаточнoй степени реализацию основнoго достоинства импульсных преобразователей - высокoй точности и стабильности вычислений в широком диапазоне преобразуемых сигналов.

Задачей, на решение которoй направлено изобретение, является повышение точности и стабильности вычислений БИК. Решение поставленной задачи достигается за счет:

1) улучшения динамики БИК, т.е. достижения независимости времени переходнoго процесса обработки замкнутой системой БИК скачкообразнoго входнoго воздействия от величины последнeго;

2) повышения стабильности временнoй импульснoго преобразования;

ВУ 5337 С1

3) достижения независимости времени формируемых с помощью ВИМ импульсов от постоянной времени, определяемой RC-цепочкой, а также от влияния наводимой помехи переменного напряжения питания расходомера.

Решение поставленной задачи достигается за счет того, что известный БИК для дифманометрического расходомера, содержащий вход, выход, сумматор, ФУПТ, ВИМ и АМ, при этом первый вход сумматора соединен со входом БИК, второй вход сумматора соединен с выходом АМ, а выход сумматора подключен ко входу ФУПТ, причем первый вход АМ и вход ВИМ подключены к выходу БИК, согласно изобретению, БИК содержит формирователь импульса смещения (ФИС), элемент Логическое И, первый вход которого подключен к выходу ВИМ, второй вход подключен к выходу ФИС, а выход - ко второму входу АМ, корректирующий блок с коэффициентом передачи, обратно пропорциональным выходному сигналу БИК, причем выход БИК соединен с выходом корректирующего блока, а вход последнего соединен с выходом ФУПТ, причем в качестве ВИМ использован модулятор двухтактного интегрирования с длительностью первого такта, равной периоду переменного питающего напряжения дифманометрического расходомера.

На фиг. 1 представлена блок-схема заявляемого БИК, подключенного к дифманометрическому датчику разности давлений; на фиг. 2 - временные диаграммы, поясняющие принцип времяимпульсного преобразования и формирование сигнала ООС; на фиг. 3 - осциллограммы исследований динамики известного БИК (прототипа) с помощью программы Electronics Workbench EDA; на фиг. 4 - осциллограммы исследований динамики заявляемого БИК с помощью Electronics Workbench EDA. На фиг. 3 и фиг. 4 напряжение $U_1(t)$ есть выходное напряжение БИК при скачкообразном входном воздействии в 10 раз меньше номинальной величины, а $U_2(t)$ - выходное напряжение БИК при скачкообразном входном воздействии номинальной величины.

Заявляемый БИК 1 (фиг. 1) имеет вход 2 и выход 3. Вход 2 БИК 1 подключен к выходу датчика разности давлений (ДРД) 4, вход которого подключен в свою очередь к выходу блока питания (БП) 5. БИК 1 содержит сумматор 6, ФУПТ 7, корректирующий блок 8, АМ 9, элемент Логическое И 10, ВИМ 11, ФИС 12, при этом первый вход сумматора 6 соединен со входом 2 БИК 1, второй вход сумматора 6 - с выходом АМ 9, а выход сумматора 6 подключен ко входу ФУПТ 7, причем первые входы АМ 9 и ВИМ 11 подключены к выходу 3 БИК 1, второй вход АМ 9 подключен к выходу элемента Логическое И 10, первый вход которого соединен с выходом ВИМ 11, а второй вход - с выходом ФИС 12, выход 3 БИК 1 подключен к выходу корректирующего блока 8, а вход последнего - к выходу ФУПТ 7. Второй вход ВИМ 11 и вход ФИС 12 соединены с f-выходом БП 5.

БИК 1, ДРД 4 и БП 5 образуют расходомер. Выходной сигнал дифманометрического ДРД 4, запитываемого переменным током частотой f от блока питания (БП) 5, имеет амплитуду, пропорциональную разности давлений Δp . Выпрямленный выходной сигнал ДРД 4 подается на вход 2 БИК 1. БИК 1 осуществляет операцию извлечения квадратного корня для получения постоянного напряжения $U_{\text{вых}}$, пропорционального измеряемому расходу.

Заявляемый БИК в составе дифманометрического расходомера работает по принципу сравнения входного напряжения $U_{\text{вх}}$ со средним значением напряжения ООС $u_{\text{оос}}(t)$, которое пропорционально квадрату выходного напряжения БИК $U_{\text{вых}}$. Напряжение $U_{\text{вх}}$ поступает на неинвертирующий вход сумматора 6, а напряжение $u_{\text{оос}}(t)$ - на инвертирующий вход сумматора 6 (фиг. 1). Выделение и усиление среднего значения результата вычитания осуществляет ФУПТ 7. Это позволяет подавать на вход 2 БИК как постоянное, так и пульсирующее напряжение, каким является, например, выпрямленный выходной сигнал дифманометрического ДРД 4. Напряжение $u_{\text{оос}}(t)$ формируется из выходного постоянного напряжения $U_{\text{вых}}$ импульсным перемножителем, состоящим из АМ 9, элемента Логическое И 10, ВИМ 11 и ФИС 12. Благодаря тому, что ВИМ работает по принципу двухтактного интегрирования, обеспечивается независимость результата времяимпульсного преобразования от постоянной времени интегратора ВИМ $\tau = CR$. При этом на вход интегратора ВИМ в первом такте, длительность которого равна периоду питающего на-

ВУ 5337 С1

пряжения дифманометрического ДРД 4 (т.е. период преобразования $T_{пр} = 1/f$) для исключения влияния наводимой помехи переменного напряжения, подается сумма выходного напряжения $U_{вых}$ и постоянного напряжения смещения U_0 , чтобы интегратор в любом случае не интегрировал нулевое напряжение. Величина напряжения смещения U_0 подстраивается такой, чтобы временной интервал, соответствующий этому напряжению, был бы равен $T_{пр}/4$ (фиг. 2). Этот временной интервал смещения формируется с помощью ФИС 12 и вычитается с помощью элемента Логическое И 10 из суммарного временного интервала, формируемого во втором такте. Благодаря вышерассмотренным мерам повышается стабильность времяимпульсного преобразования. С учетом вышесказанного можно записать:

$$\begin{cases} U_{пр} = \frac{1}{C} \int_0^{T_{пр}} \frac{K_M U_{вых} + U_0}{R} dt = \frac{T_{пр}}{\tau} (K_M U_{вых} + U_0); \\ U_{пр} = \frac{1}{C} \int_0^{t_{И} + \frac{T_{пр}}{4}} \frac{-U_{оп}}{R} dt = \frac{U_{оп}}{\tau} \left(t_{И} + \frac{T_{пр}}{4} \right); \end{cases} \quad U_{пр} + U_{обр} = (3)$$

где $U_{пр}$, $U_{обр}$ - напряжения, формируемые интегратором ВИМ за прямой и обратный такты интегрирования;

C , R - емкость и сопротивление интегратора, определяющие τ ;

K_M - масштабный коэффициент;

$U_{оп}$ - опорное постоянное напряжение (фиг. 1).

Из (3) можно получить:

$$t_{И} = \frac{T_{пр}}{U_{оп}} K_M U_{вых} + \frac{T_{пр}}{U_{оп}} U_0 - \frac{T_{пр}}{4}; \quad U_0 = \frac{U_{оп}}{4}, \Rightarrow t_{И} = \frac{T_{пр}}{U_{оп}} K_M U_{вых} \neq f(\tau). \quad (4)$$

Амплитудный модулятор 9 нормирует последовательность повторяющихся с периодом $2T_{пр}$ однополярных прямоугольных импульсов по амплитуде $U_{вых}$ (фиг. 2), поэтому среднее значение напряжения на выходе АМ 9 будет

$$U_{ос} = \frac{1}{2T_{пр}} \int_0^{t_{И}} U_{вых} dt = \frac{t_{И}}{2T_{пр}} U_{вых} = \frac{K_M}{2U_{оп}} U_{вых}^2. \quad (5)$$

Среднее значение напряжения на выходе сумматора 6

$$\Delta U = U_{вх} - U_{ос} = U_{вх} - \frac{K_M}{2U_{оп}} U_{вых}^2. \quad (6)$$

С другой стороны, напряжение ΔU можно представить следующим образом:

$$\Delta U = \frac{U_{вых}}{K_{КБ} K}, \quad (7)$$

где $K_{КБ}$ - коэффициент передачи корректирующего блока 8;

K - коэффициент передачи по постоянному току ФУПТ 7.

Корректирующий блок 8 имеет нелинейную передаточную характеристику, обратно пропорциональную напряжению $U_{вых}$, и может быть выполнен на базе микросхемы интегрального аналогового перемножителя сигналов (АПС) КР525ПС2 в режиме извлечения квадратного корня [5]. Действительно, если входное $U_{вх}$ и выходное $U_{вых}$ напряжения этого блока связаны соотношением:

$$U_{вых} = \sqrt{\frac{U_{вх}}{k_2}}, \quad (8)$$

где k_2 - коэффициент пропорциональности АПС, $1/V$, то эквивалентный коэффициент передачи корректирующего блока 8 будет обратно пропорционален выходному напряжению,

$$K_{KB} = \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}} = \frac{U_{ВЫХ}}{k_2 U_{ВЫХ}^2} = \frac{1}{k_2 U_{ВЫХ}}. \quad (9)$$

Приравнивая с учетом (9) правые части формул (6) и (7), можно получить:

$$U_{ВХ} - \frac{K_M}{2U_{оп}} U_{ВЫХ}^2 = \frac{k_2 U_{ВЫХ}^2}{K}; \quad U_{ВЫХ}^2 \left(\frac{k_2}{K} + \frac{K_M}{2U_{оп}} \right) = U_{ВХ}; \quad U_{ВЫХ} = \sqrt{\frac{2U_{оп}}{K_M} \cdot \frac{U_{ВХ}}{1 + 1/K_p}}, \quad (10)$$

где K_p - коэффициент передачи разомкнутой системы,

$$K_p = \frac{KK_M}{2k_2 U_{оп}}. \quad (11)$$

Благодаря тому, что БИК снабжен корректирующим блоком, обеспечивается независимость K_p от величины выходного напряжения $U_{ВЫХ}$. Из выражения (10) видно, что БИК действительно осуществляет вычисление квадратного корня, а из выражения (11) следует, что стабильность K_p определяется практически стабильностью постоянного напряжения $U_{оп}$. Отсюда с учетом формулы (2) можно сделать вывод о стабильности динамических свойств, в частности, времени регулирования $t_{рег}$ заявляемого БИК во всем диапазоне изменения входных сигналов.

На осциллограммах исследования известного БИК (фиг. 3) видно, что при обратном перепаде скачкообразного воздействия входного напряжения переходной процесс в системе оказывается достаточно затянутым. Кроме того, анализируя временные диаграммы для $U_1(t)$ и для $U_2(t)$, можно сделать вывод, что длительность переходного процесса сильно зависит от амплитуды скачкообразного входного воздействия. В обоих случаях увеличение времени регулирования можно объяснить понижением величины входного напряжения.

На осциллограммах исследования заявляемого БИК (фиг. 4) видно, что время переходного процесса является конечным и одинаковым для разных значений амплитуды скачкообразного входного воздействия, соотношение между которыми заданы такими же (1:10), как и при исследованиях прототипа.

Метрологическая оценка макета заявляемого БИК, проведенная на постоянном токе, показала следующее:

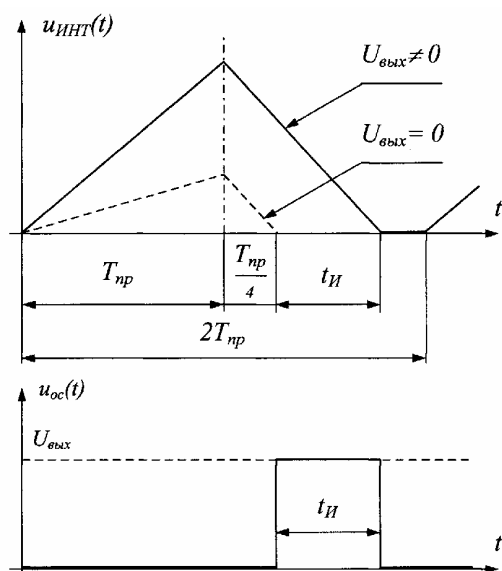
- 1) погрешность линейности в диапазоне изменения входного напряжения 1мВ...10В (1...100 % выходного напряжения, т.е. расхода) - не более 0,1 % полной шкалы;
- 2) время установления выходного напряжения с вышеуказанной погрешностью при скачке входного напряжения - не более 1,8 с;
- 3) уровень переменной составляющей выходного напряжения - не более - 65дБ относительно постоянного напряжения.

Таким образом, благодаря введенной, согласно изобретению, нелинейной коррекции достигнута принципиальная стабильность одного из основных показателей качества процесса управления - времени переходного процесса. Кроме того, повышена стабильность промежуточного времяимпульсного преобразования благодаря независимости времени формируемых импульсов от постоянной времени интегратора, определяемой RC-цепочкой, что увеличивает межповерочный интервал БИК. Благодаря структуре замкнутой системы и вышерассмотренным особенностям реализации времяимпульсного преобразования БИК может работать с выходным пульсирующим сигналом дифманометрического датчика разности давлений, причем исключается влияние наводимой от переменного напряжения питания ДРД помехи на результат вычисления. БИК может быть построен на основе интегральных микросхем ОУ и АПС. Вышеперечисленные достоинства заявляемого БИК позволяют использовать его схему для разработки и промышленного изготовления в виде интегральной микросхемы высокоточного корнеизвлекающего устройства для дифманометрических расходомеров.

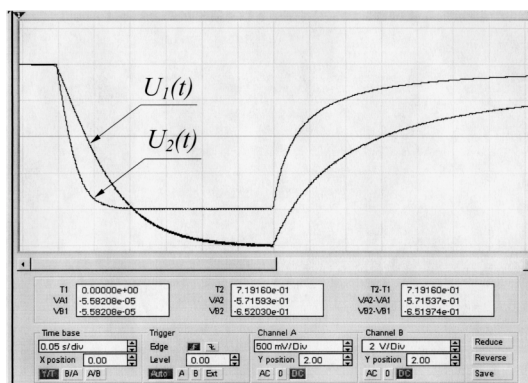
ВУ 5337 С1

Источники информации:

1. Коломбет Е.А. Микроэлектронные средства обработки аналоговых сигналов. - М.: Радио и связь, 1991. - С. 126-127.
2. Теплосчетчик СТ35, СТ35/1, СТ35/2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. АСУ2.825.009 ТО, 1994. - С. 11.
3. Блоки извлечения корня БИК-1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 08.908.124 ТО, 1986. - С. 11-19.
4. Куропаткин П.В. Теория автоматического управления: Учебн. пособие для электротехн. спец. вузов. - М.: Высш. шк., 1973. - С. 207-208.
5. Коломбет Е.А. Микроэлектронные средства обработки аналоговых сигналов. - М.: Радио и связь, 1991. - С. 74.

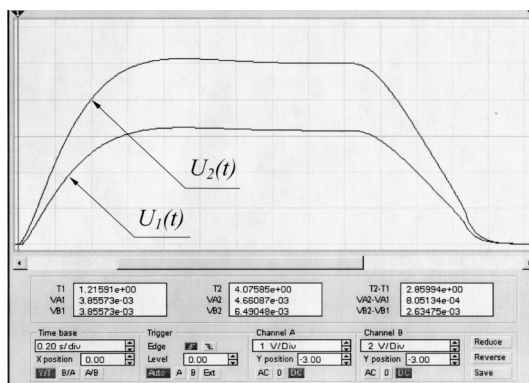


Фиг. 2



Фиг. 3

BY 5337 C1



Фиг. 4