

К.21

38

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
СО АН СССР

В.В.Каргальцев, Э.А.Купер

**БЛОК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
ИМПУЛЬСНЫХ ПАРАМЕТРОВ
БИИП-4 «Ц0640»**

ПРЕПРИНТ 82-48

БИБЛИОТЕКА
Института ядерной
Физики СО АН СССР
Инд. №



Новосибирск

БИИП-4 предназначен для измерения мгновенных значений магнитных полей (в импульсных магнитных полях) и вольтсекундных площадей импульсных сигналов. Основные параметры: погрешность преобразования 0,02%, дискретность $5,800 \cdot 10^{-12}$ К, время преобразования 50 мсек. Рассмотрена работа основных узлов и принципы организации измерительных систем на основе БИИП-4.

В.В.Каргальцев, Э.А.Купер

БЛОК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ПАРАМЕТРОВ БИИП-4 (ЦО640)

АННОТАЦИЯ

Описан 4-х каналный прибор для измерения мгновенных значений импульсных магнитных полей и вольтсекундных площадей импульсных сигналов. Основные параметры: погрешность преобразования 0,02%, дискретность $5,800 \cdot 10^{-12}$ К, время преобразования 50 мсек. Рассмотрена работа основных узлов и принципы организации измерительных систем на основе БИИП-4.

БЛОК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ПАРАМЕТРОВ БИИП-4 (Ц0640)

БИИП-4 предназначен для измерения мгновенных значений импульсных магнитных полей (с использованием индуктивных датчиков) и интегральных параметров различных импульсных процессов (вольт-секундной площади сигнала).

Прибор может быть использован также в качестве интегрирующего вольтметра для измерения постоянных и квазипостоянных напряжений, обеспечивая в условиях высокочастотных наводок большую точность, чем АЦП поразрядного уравнивания. При этом, в отличие от стандартных интегрирующих вольтметров, интервал интегрирования входного сигнала задается внешними устройствами (обычно системой синхронизации установки) и может быть выбран оптимальным для каждого измеряемого сигнала.

Обычно подлежащие измерению сигналы задаются напряжением. Данный прибор имеет токовый вход, и для преобразования напряжения входного сигнала в ток необходимы дополнительные внешние резисторы.

Принцип действия прибора

Временная диаграмма работы представлена на рис. I. Модуль БИИП-4 является элементом для построения систем сбора данных для электрофизических установок, работающих в импульсном режиме, и требует внешней аппаратной синхронизации. Для осуществления измерения необходимы три синхроимпульса:

- Импульс подготовки (ИП) - переводит схему из режима "ожидания" в рабочий режим: схемой управления формируется временной интервал ($T_0 + T_3$), в котором разрешено интегрирование входных сигналов. Затем запускается процесс преобразования запомненных в интеграторах значений аналоговых сигналов в коды и, по окончании преобразования, блок возвращается в режим ожидания.

- Импульс ИИ - задает момент начала интегрирования входных сигналов.

- Импульс ЗАП - задает момент окончания интегрирования входного сигнала (момент "запоминания").

Импульс ИИ должен следовать за импульсом ИП с задержкой не менее 3 мксек и опережать импульс ЗАП не менее чем на 0,3 мксек. Импульс ЗАП должен попасть в интервал, в котором разрешено интегрирование (обычно 10 мсек после ИП).

Реальное положение синхроимпульсов определяется характерными моментами времени контролируемого процесса. Например, при измерении мгновенных значений импульсных магнитных полей, ИИ подается до появления поля, а ЗАП определяет тот момент, которому соответствует интересующее мгновенное значение.

Входы импульсов ИП, ИИ — общие для всех четырех каналов блока, ЗАП1 — для 1-го и 2-го каналов, ЗАП2 — для 3-го и 4-го каналов.

На рис.2 представлена функциональная схема. Часть схемы, обведенная пунктирной линией, индивидуальна для каждого из 4-х каналов прибора и содержит: усилитель интегратора A_1 , усилитель коррекции дрейфа A_2 , масштабирующие резисторы R , R_0 , аналоговые ключи K_0 , K_1 , K_3 . Схема управления синхронизируется внешними импульсами и организует для каждого из каналов работу в режиме АЦП двухтактного интегрирования. Цифровые эквиваленты измеренных величин получаются и хранятся в 4-х канальном счетчике-измерителе временных интервалов.

В режиме ожидания (ключ K_1 — разомкнут, K_3 — замкнут, K_0 подключает резистор R_0 к нулевому потенциалу) производится установка "нуля" интегратора и коррекция дрейфа усилителя A_1 интегратора. Импульс ИП размыкает ключ K_3 , разрывая цепь установки "нуля" и коррекции дрейфа. Интегрирование входного сигнала происходит в интервале между импульсами ИИ и ЗАП, которые, соответственно, замыкают и размыкают ключ K_1 . По окончании интегрирования, после момента T_2 , напряжение на выходе интегратора равно:

$$U_{\text{вых}} = \frac{1}{RC} \int_{T_1}^{T_2} U_{\text{вх}} dt$$

В момент T_3 анализируется полярность выходного напряжения интегратора (усилитель A_2 служит также компаратором напряжения) и в момент T_4 резистор R_0 подключается ключом K_0 к тому источнику опорного напряжения U_0 , полярность которого совпадает с полярностью выходного напряжения интегратора в момент анализа

полярности, и емкость C начинает разряжаться током $I = U_0/R_0$. Момент, когда емкость C разрядится до "нуля" (T_5), отмечается компаратором A_2 , а время разряда, равное:

$$T_p = T_5 - T_4 = U_{\text{вых}} C \frac{R_0}{U_0} = \frac{R_0}{R U_0} \int_{T_1}^{T_2} U_{\text{вх}} dt$$

измеряется путем подсчета числа импульсов N калиброванной частоты F_0 , помещающихся в интервале T_4 , T_5 .

$$(I) \quad N = T_p \cdot F_0 = \frac{F_0 R_0}{R U_0} \int_{T_1}^{T_2} U_{\text{вх}} dt = \frac{1}{K} \frac{1}{R} \int_{T_1}^{T_2} U_{\text{вх}} dt$$

Крутизна преобразования заряд-код $K = U_0/F_0 R_0$ является параметром калибровки прибора, одинакова для всех блоков и равна $5,800 \cdot 10^{-12} \text{ К}$.

По окончании преобразования во всех каналах (момент T_6) блок выставляет сигнал запроса обслуживания, а схема переводится в режим "ожидания", в котором регистры, содержащие результат измерения, становятся доступными для чтения.

Интервал $T_0 - T_3$, в котором может производиться интегрирование сигналов во всех каналах (в момент T_3 ключи K_1 всех каналов принудительно размыкаются), задается схемой управления и таймирования и обычно равен 10 мсек. Полное время преобразования ($T_0 + T_6$) — 50 мсек.

К вопросу о точности преобразования

Обычно в прецизионных измерительных устройствах, осуществляющих обработку электрического заряда (различные АЦП, УВХ и т.д.) применяются конденсаторы со слабополяризуемым полистироловым диэлектриком, лучшие образцы которых имеют коэффициент абсорбции менее чем $2 \cdot 10^{-4}$, что позволяет отказаться от дополнительных схем компенсации поляризации. Полистироловые конденсаторы практически не имеют утечки заряда, но зато обладают заметной зависимостью емкости от температуры и подвержены не прогнозируемому старению (обычно уменьшение емкости при длительной работе при температуре выше 40°C).

Принцип преобразования, примененный в БИИП-4 исключает, как видно из (1), влияние величины емкости интегратора C на результат преобразования и обеспечивает высокую точность без применения таких дополнительных мер как термостатирование емкости или автоматическая калибровка прибора.

Постоянство параметров, определяющих крутизну преобразования K , обеспечивается соответствующими схемными решениями, применением качественных стабилитронов, работающих в термостабильной точке, и кварцевой стабилизацией генератора калиброванной частоты. Все резисторы, непосредственно влияющие на значение крутизны преобразования, отбираются не только по номинальной величине, но и по температурному коэффициенту сопротивления. Точность и стабильность внешнего, устанавливаемого, обычно, около датчика, масштабного резистора также должны соответствовать требуемой точности измерения.

В качестве аналоговых ключей в блоке используются полевые транзисторы. Эти полупроводниковые приборы удобны в управлении, имеют низкие (~ 10 мкВ) остаточные напряжения, умеренное сопротивление в открытом и малые токи утечки в закрытом состояниях и удовлетворительное быстроедействие.

Сопротивление канала открытого полевого транзистора заметно зависит от температуры (типичное значение $T_{КС} - 1\%/^{\circ}\text{C}$). У МДП-транзисторов, кроме того, часто наблюдаются значительные изменения напряжения отсечки тока истока, что, очевидно, объясняется инжекцией заряда в область подзатворного диэлектрика и может привести к значительным изменениям сопротивления "открытого" канала.

В схеме, приведенной на рис.2, сопротивление z открытого ключа K_I входит, суммируясь с интегрирующим сопротивлением R , в результат преобразования. Изменение сопротивления ключа Δz приводит к появлению мультипликативной погрешности измерения с относительной величиной порядка $\Delta z/R$, что в реальных условиях может снизить точность измерения.

Для исключения этой погрешности, реально, ключ K_I состоит из 4-х одновременно срабатывающих ключей (рис.3) $/I/$. Открытому состоянию K_I соответствует: K_{Ia} и K_{Ib} - открыты, K_{Ic} и K_{Id} - закрыты. Ключ K_{Ia} , по которому течет ток сигнала (рис.4),

оказывается включенным в цепь обратной связи, падение напряжения на нем не включается в цепь входного сигнала и ток, а следовательно и накопленный на емкости C к концу интегрирования заряд, определяются только интегрирующим сопротивлением R и напряжением сигнала. При закрытом K_I (K_{Ia} и K_{Ib} - закрыты, K_{Ic} и K_{Id} - открыты), ключ K_{Ic} замыкает обратную связь и выходное напряжение усилителя A_I равно напряжению на емкости C .

Ключ K_{Id} предотвращает накопление заряда на емкости трассы, подводящей входной сигнал, в то время, когда ключ K_I "разомкнут".

Наличие емкости затвор-канал у транзисторов ключа K_I приводит к появлению еще одной, аддитивной погрешности, обуславливаемой набросом заряда в цепь сигнала из цепи управления ключом (примерно $20nK$ на транзистор). Постоянство перепадов управляющих напряжений и то обстоятельство, что потенциалы коммутируемых точек не зависят от сигнала, позволили компенсацией заряда уменьшить эту погрешность до пренебрежимой величины.

Ключи K_I и K_3 выполнены на полевых транзисторах типа КП303 или КП307. В качестве ключа K_0 (рис.2) используется микросхема 590КН1, удобно сопрягающаяся со схемой управления, выполненной на К-МОП логических микросхемах.

Задержки срабатывания ключа K_I (около $200ns$) определяются, главным образом, схемой управления и должны учитываться при формировании управляющих синхроимпульсов. Задержка срабатывания компаратора и ключа K_0 компенсируется схемно внутри блока.

Организация измерений

При проведении измерений с помощью БИИП могут возникнуть погрешности, связанные с разницей потенциалов "земель" блока и датчика, с которого снимается сигнал. Для исключения этих погрешностей необходимо применять "подвешенные" датчики - экранированные датчики с гальванической развязкой или иметь напряжение сигнала, значительно превышающее межземельное напряжение.

Конструкции датчиков должны предусматривать размещение в них интегрирующих резисторов. Вынесение интегрирующего резистора из измерительного блока в датчик исключает вредное влия-

ние емкости соединительной трассы, так как в этом случае трасса нагружена на малое входное сопротивление прибора. При магнитных измерениях, включение интегрирующего резистора между индуктивностью датчика и емкостью трассы подавляет паразитный резонанс, значительно искажающий форму сигнала. Для подавления собственных паразитных резонансов многовитковых индуктивных датчиков, их рекомендуется изготавливать из высокоомного провода.

Измерение магнитного поля может быть прямым — при расположении датчика в измеряемом поле (измерительные витки в магнитных элементах или точечные измерительные катушки при измерении топографии магнитного поля), и косвенным — при расположении датчика (пояс Роговского) на токопроводе магнитного элемента. При косвенных измерениях необходимо учитывать всегда реально существующий сдвиг по фазе между током, который, собственно и измеряется, и полем в магнитном элементе, создаваемым этим током. Напряжение сигнала индуктивного датчика равно:

$$(2) \quad U = \sum_{i=1}^W \int_{S_i} \left(\frac{dB(S_i)}{dt} \right) dS_i$$

где W — количество витков датчика, S_i — площадь i -того витка, $B(S_i)$ — распределение магнитной индукции по площади i -того витка.

В предположении однородности поля в объеме датчика и равенства площадей витков выражение (2) упрощается:

$$U = WS \frac{dB}{dt}$$

На практике точное измерение геометрических размеров датчика затруднительно и для прецизионных измерений используются датчики, чувствительность которых — WS — определяется прямыми измерениями с помощью калибровочных магнитов.

Результатом измерения является код N , равный (с учетом (1)):

$$N = \frac{1}{K} \frac{WS}{R} \int_{T_1}^{T_2} \frac{dB}{dt} = \frac{1}{K} \frac{WS}{R} \Delta B$$

$$\text{или} \quad \Delta B = \frac{R}{WS} \cdot KN$$

ΔB — изменение магнитного поля за время интегрирования (интервал интегрирования задается извне импульсами ИИ, ЗАП).

Обычно производится измерение полей, начинающихся с нулевого уровня и удобна практическая формула:

$$B(t)(Гс) = 10^8 \frac{R(\text{ом})}{WS(\text{см}^2)} KN = \frac{5,8 \cdot 10^{-4} R(\text{ом})}{WS(\text{см}^2)} N$$

Здесь: $B(t)$ — мгновенное значение поля в момент T (задаваемый импульсом ЗАП); $K = 5,800 \cdot 10^{-12} \text{ К}$ — крутизна преобразования прибора; WS — чувствительность датчика; R — интегрирующее сопротивление, включающее сопротивление обмотки датчика и соединительной трассы; N — выходной код прибора.

Измерение интегральных характеристик электрических сигналов

Оценка многих параметров импульсных электрофизических установок, необходимая для решения таких задач, как контроль и поддержание режима работы, определение выходных параметров установки, может быть произведена измерением интегральных параметров. Например, значение вольтсекундной площади импульса при неизменных, как это часто и бывает, форме и длительности позволяет достаточно точно судить о его амплитуде, в то время как прямое измерение амплитуды иногда невозможно осуществить с высокой точностью из-за наличия различного рода наводок и помех, спектр которых совпадает со спектром сигнала или находится в более высокочастотной области. Например, на установке ВЭП-4 амплитуду десятимикросекундного тока ускорителя ЭЛИТ удается измерять с точностью около 2%, в то время как погрешность измерения полного заряда пучка за "выстрел" с помощью блока БИИП не превышает 0,2%.

Интегрирующий измеритель удобен, а в некоторых случаях незаменим, при измерениях постоянных и квазипостоянных, существующих в течение нескольких десятков миллисекунд, напряжений в условиях высокочастотных помех. Блок БИИП в этом случае реализует свойство всех интегрирующих вольтметров — подавление высо-

кочастотных наводок, но, в отличие от стандартных приборов, длительность интервала интегрирования входного сигнала и момент его начала могут быть заданы наиболее оптимальными для каждого конкретного случая.

Основные параметры прибора

- Размер блока - 2М.
- Количество каналов - 4.
- Дискретность измерения - $5,800 \cdot 10^{-12}$ К.
- Выходной код - двоичный, 15 разрядов плюс знак.
- Точность преобразования
(В интервале температур $20^{\circ} + 40^{\circ}\text{C}$) - 0,02%.
- Время преобразования - 50 мсек.
- Ток потребления:
 - + 6В - 0,8 А
 - 6В - 0,12 А
 - +24В - 0,1 А
 - 24В - 0,18А.

Передняя панель

4 разъема CP50-73 - входы I-го + 4-го каналов.

Разъем контрольных точек (РГИН-I-3):

- 1 - выход интегратора I-го канала
- 2 - выход интегратора 2-го канала
- 3 - выход интегратора 3-го канала
- 4 - выход интегратора 4-го канала
- 5 - импульс управления ключом KI-1
- 6 - импульс управления ключом KI-2
- 7 - импульс управления ключом K3
- 8 - общий

Разъем синхронизации (РГИН-I-3):

- 3 - вход импульса ИП
- 7 - общий
- 4 - вход импульса ИИ
- 8 - общий
- 1 - вход импульса ЗАП (1,2 каналы)
- 5 - общий

2 - вход импульса ЗАП2 (3-й, 4-й каналы).

6 - общий.

Импульсы синхронизации - отрицательные ТТЛ

КАМАК - команды:

- F 0, A(0+3) - чтение I-го + 4-го каналов, $Q = I$
сброс L
- F 10, A(0) - сброс L
- F 24, A(0) - блокировка L
- F 26, A(0) - снятие блокировки L
- Z, C, I - не используются.
- L - генерируется по окончании преобразования и снимается на время преобразования.
- R I + R I 5 - данные
- R I 6 - полярность ("I"- соответствует положительному входному напряжению).
- X, Q - не отдаются, если обращение пришло во время преобразования.

Модуль БР (Б0605)

В связи с тем, что на установках ИЯФ для временной синхронизации используются импульсы амплитудой $+12 + 300$ В, для управления работой БИИП разработан модуль БР, преобразующий входные "высоковольтные" импульсы в отрицательные импульсы ТТЛ формата.

Основные параметры модуля:

- размер блока 1 М
- количество каналов 6
- длительность выходных импульсов 2 мксек
- задержка 0,15 мксек.
- ток потребления + 6в - 0,25 а

Передняя панель

6 разъемов CP50-73 - входы I+6-го каналов.

6 светодиодов - индикация выходных импульсов
I-го + 6-го каналов.

Выходной разъем (PГН-I-5):

- I - выход I-го канала
- 9 - общий
- 2 - выход 2-го канала
- 10 - общий
- 3 - выход 3-го канала
- 11 - общий
- 4 - выход 4-го канала
- 12 - общий
- 5 - выход 5-го канала
- 13 - общий
- 6 - выход 6-го канала
- 14 - общий.

КАМАК - команды

F 25,A(0) - Запрещение прохождения импульсов во всех каналах.
Выключение ранее заданных режимов.

F 25,A(1) - Разрешение на пропускание одного цикла импульсов
после получения блоком этой команды.
Длительность цикла 30 мсек от первого из пришедших
после этой команды импульса (независимо от номера
канала). На время цикла разрешается прохождение
импульсов во всех каналах.

F 25,A(2) - Прохождение импульсов во всех каналах разрешается
в течение 30 мсек после каждого прихода импульса
на I-й канал.

F 25,A(3) - Прохождение импульсов во всех каналах разрешено
всегда.

X,Q - ответ всегда на команду 25.

Z,C,I - не используются.

При включении питания блок устанавливается в режим,
соответствующий F 25, A0.

Л и т е р а т у р а :

- I. Болванов Ю.А., Каргальцев В.В., Купер Э.А., Нифонтов В.И.
"Многоканальная система для измерения мгновенных значений
импульсных параметров".
Материалы III Всесоюзного симпозиума "Проблемы создания
преобразователей формы информации". Киев, 1976 г.

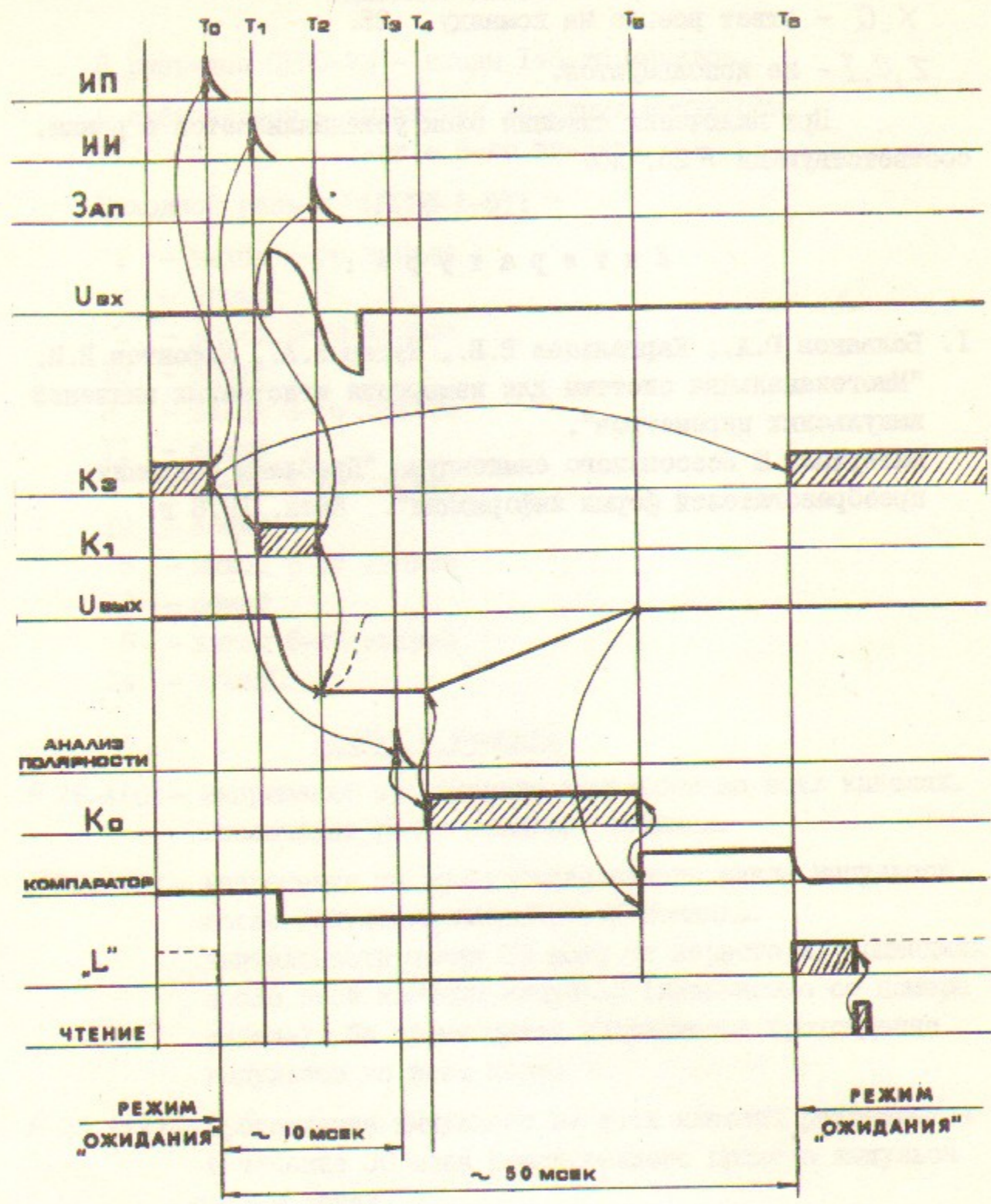


РИС. 1

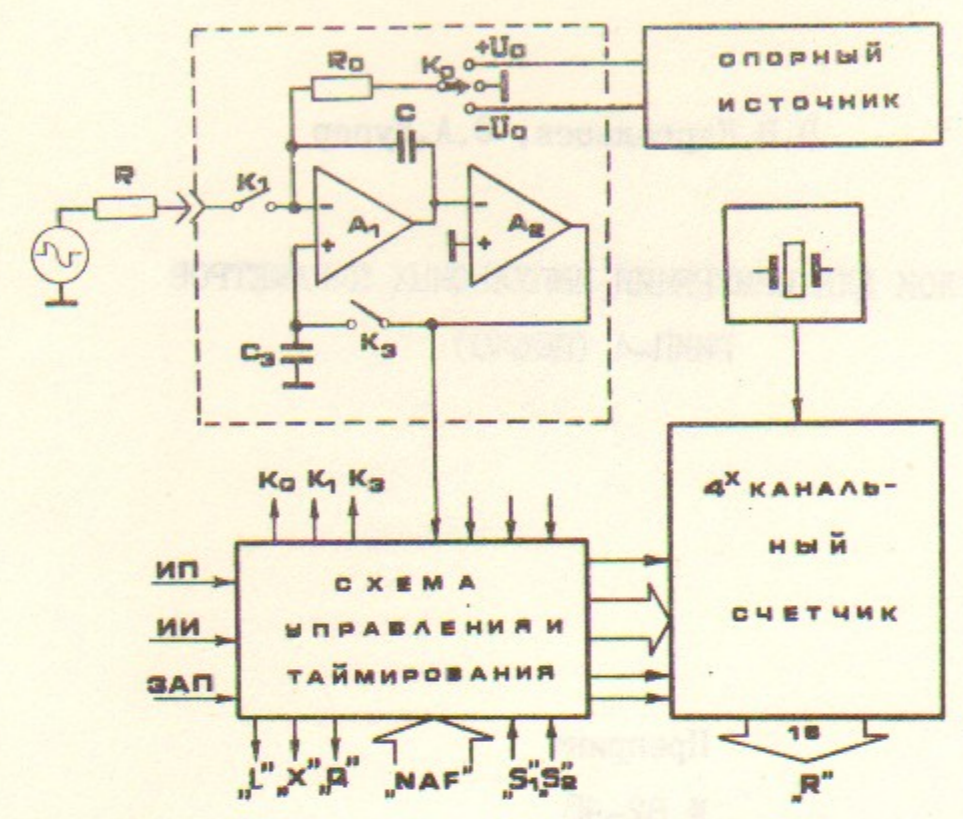


РИС. 2

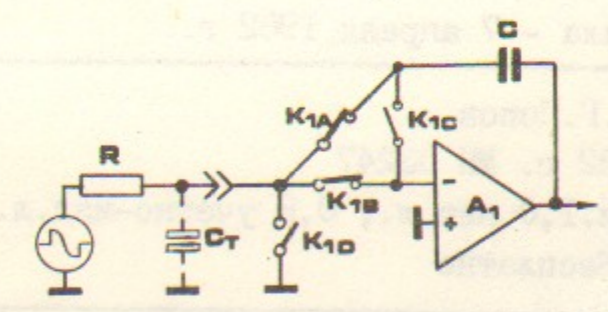


РИС. 3

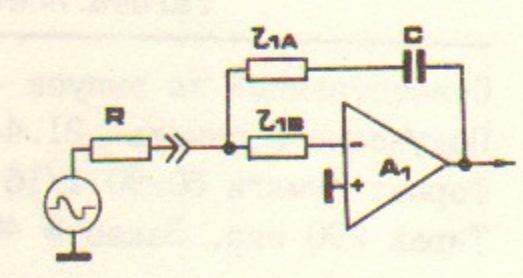


РИС. 4

В.В.Каргальцев, Э.А.Купер

БЛОК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ПАРАМЕТРОВ

БИИП-4 (ЦОБ40)

Препринт

№ 82-48

Работа поступила - 7 апреля 1982 г.

Ответственный за выпуск - С.Г.Попов

Подписано к печати 21.4-1982 г. МН 03247

Формат бумаги 60x90 1/16 Усл.1,0 печ.л., 0,8 учетно-изд.л.

Тираж 290 экз. Заказ № 48. Бесплатно

Ротапринт ИЯФ СО АН СССР, г.Новосибирск, 90