

0345e5

p-699

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



У 23 / 2-77

13 - 10103

У 2-77

Ю.И.Романов

УСТРОЙСТВА
СТАБИЛЬНОЙ ВРЕМЕННОЙ ЗАДЕРЖКИ
С ЛИНЕЙНОЙ РЕГУЛИРОВКОЙ
ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСА
ДЛЯ ЗАПУСКА ПОДСИСТЕМ
ИНЖЕКТОРА СИНХРОФАЗОТРОНА

1976

13 - 10103

Ю.И.Романов

УСТРОЙСТВА
СТАБИЛЬНОЙ ВРЕМЕННОЙ ЗАДЕРЖКИ
С ЛИНЕЙНОЙ РЕГУЛИРОВКОЙ
ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСА
ДЛЯ ЗАПУСКА ПОДСИСТЕМ
ИНЖЕКТОРА СИНХРОФАЗОТРОНА

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Романов Ю.И.

13 - 10103

Устройства стабильной временной задержки
с линейной регулировкой длительности импульса
для запуска подсистем инжектора синхрофазотрона

Описаны две схемы стабильной временной задержки миллисекундного диапазона с линейной регулировкой длительности импульса. В первой использованы согласованные транзисторные пары, во второй - интегральные операционные усилители. Формирующие устройства задержанных импульсов для запуска мощных подсистем инжектора построены по схеме одновибратора с применением тиристорных оптронов.

Устройства разработаны и изготовлены в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1976

Блоки регулируемой временной задержки миллисекундного диапазона входят в таймерные устройства радиотехнической аппаратуры ускорителя. Они обеспечивают временную "привязку" начала рабочего цикла ускорителя, производят запуск мощных подсистем синхрофазотрона^{/1/}. В качестве устройств регулируемой временной задержки малой и средней точности на ускорителях применяются различные схемы одновибраторов, а также схемы фантастронного типа^{/2,3/}. Инжекционный комплекс синхрофазотрона, состоящий из мощных радиотехнических и электротехнических систем, во многом определяет качество работы ускорителя. К числу требований, предъявляемых к системам инжектора, относятся стабильность временной задержки и возможность её линейного регулирования в широком диапазоне (от 10 мкс до 100 мс).

Любое устройство регулируемой временной задержки содержит интегратор, компаратор и триггер. В одновибраторе и фантастроне эти звенья совмещены, что позволяет получить простые схемные решения при минимальном количестве транзисторов^{/4/}. Однако подобные устройства имеют недостаточную температурную стабильность и малый диапазон регулирования. Применение унифицированных интегральных микросхем позволяет обеспечить достаточно высокие точностные характеристики отдельных звеньев и устройства в целом^{/5,6/}.

Использование согласованных транзисторных пар и интегральных операционных усилителей в цепях формиро-

вания временного интервала позволяет существенно повысить температурную стабильность этих схем, т.е. практически довести её до уровня, определяемого стабильностью параметров RC-элементов времязадающей цепи.

В работе описаны две схемы стабильной временной задержки с линейной регулировкой длительности импульса. В первой использованы согласованные транзисторные пары, во второй – интегральные операционные усилители. Формирующие устройства задержанных импульсов для запуска мощных подсистем инжектора построены по схеме одновибратора с применением тиристорных оптронов.

УСТРОЙСТВО ВРЕМЕННОЙ ЗАДЕРЖКИ ЛИНЕЙНОЙ РЕГУЛИРОВКИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОГЛАСОВАННЫХ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПАР

Схема стабильного одновибратора временной задержки приведена на рис. 1. Она работает следующим образом. В исходном состоянии транзистор Т5 открыт и в базу Т3 поступает ток, не зависящий от сопротивления времязадающего резистора задержки, т.к. Т6 заперт и времязадающий резистор отключен от схемы.

При отсчете времени задержки, когда Т3 и Т4 запираются, перезарядка конденсатора С1 идет через насыщенные транзисторы Т2, Т6 и резистор задержки R10. Благодаря такому распределению функций между транзисторами Т1 + Т6, одна часть которых участвует только в зарядке (Т3, Т4), а другая – только в разрядке (Т2, Т6) конденсатора С1, нелинейность регулирования задержки получается малой. Величина ошибки $\delta t_{\text{нел}}$ для одновибратора задержки не превышает 0,2%. Использование согласованных транзисторных пар – микросхем ИТ591 позволило значительно снизить температурный дрейф схемы, поскольку изменения напряжений эмиттербаза указанных выше транзисторов в рабочем диапазоне температур одинаковы и, следовательно, компенсируют друг друга.

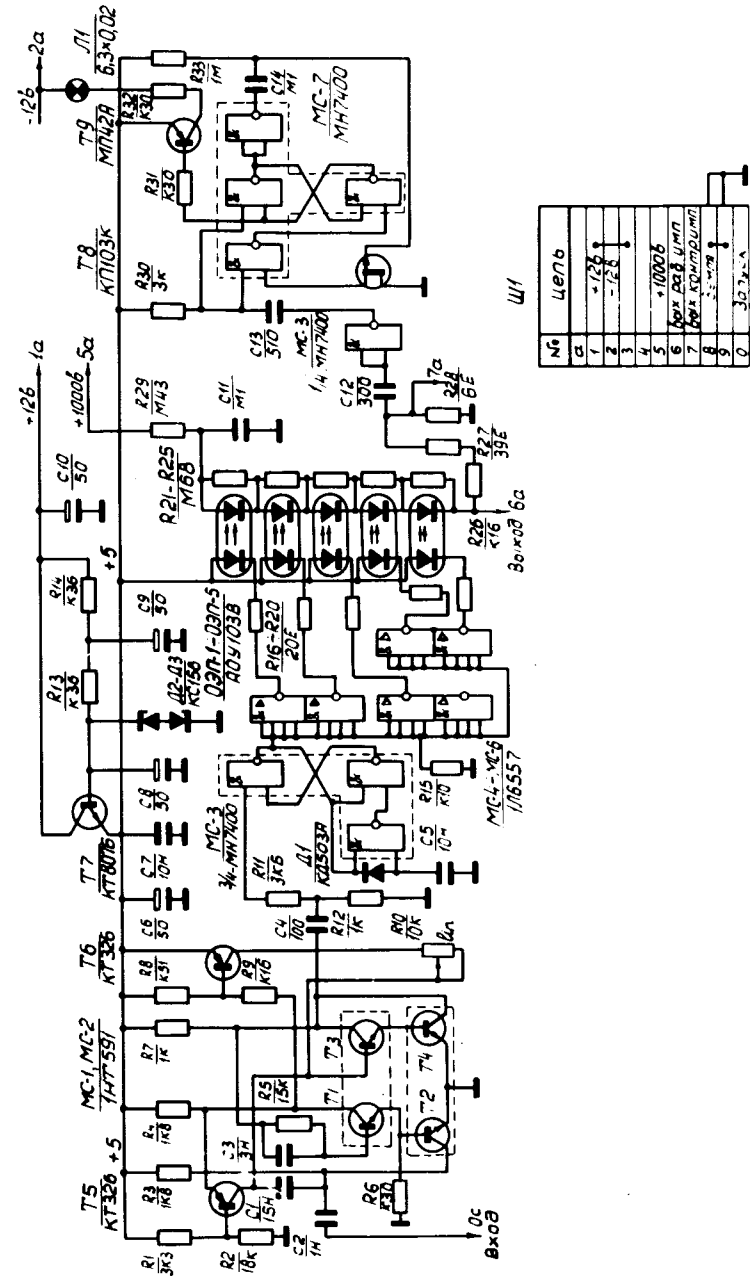


Рис. 1. Схема стабильного одновибратора задержки с использованием согласованных транзисторных пар.

Для измерения диапазона задержки используется потенциометр "Гелипот". Показания счетчика последнего соответствуют величине задержки в микросекундах. Формирование задержанного импульса производится формирователем на микросхеме МС3. Ключи МС4+МС6 служат для запуска одновибратора на тиристорных оптронах ОЭП1+ ОЭП5. Принцип действия одновибратора ясен из схемы (рис.2).

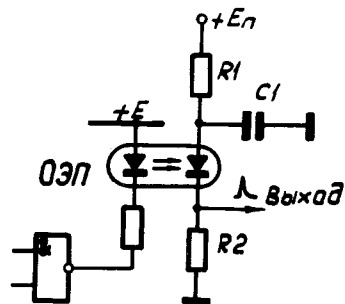


Рис.2. Схема одновибратора на оптроне.

При анализе его работы особый интерес представляет стадия задержки ($t_{\text{зад}}$) включения фототиристора ФТ^{7/7}. Величина $t_{\text{зад}}$ определяется экспериментально как минимальная длительность импульса света, включающего ФТ. С ростом интенсивности света $t_{\text{зад}}$ существенно уменьшается (рис.3). Однако каких-либо данных по предельно допустимым импульсным токовым характеристикам оптрона в технической литературе не приводится. Проведенные макетные испытания схемы одновибратора показали возможность импульсной работы с большой скважностью как светодиода, так и фототиристора при токах в импульсе до 7 А. При этом допустимые нагрузки определяются максимальной температурой переходов и нагрузочной способностью контактных выводов. Минимальный интервал между импульсами во время отработки макета был принят равным $\sim 1\text{с}$ при длительности импульса запуска $t_{\text{и}} = 10\text{ мкс}$. Длительные, в течение месяца, испытания одновибратора с током нагрузки 4 А подтвердили надежность схемы. Структура оптрона не претерпевает необратимых изменений, а нагрев токоотводов не становится причиной отказа прибора. Увеличение коммутирующего напряжения в схеме достигнуто

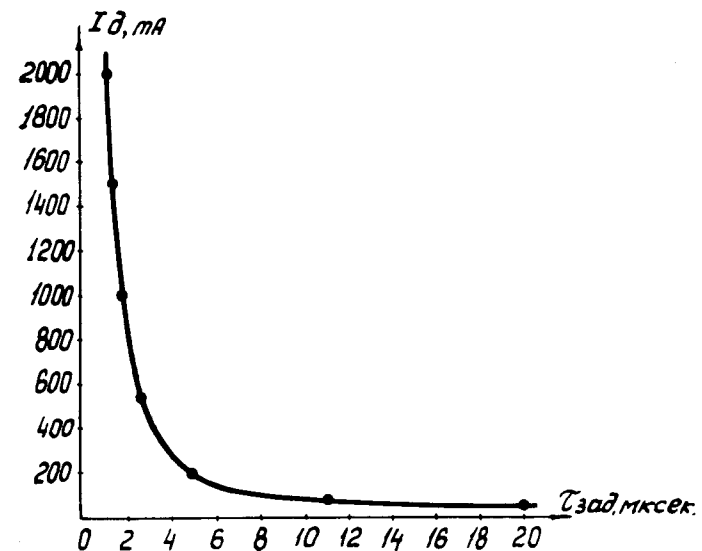


Рис.3. График зависимости $t_{\text{зад}} = f(I_{\text{д}})$.

путем последовательного включения оптронов (рис.1). Запертое состояние приборов одного типа в этом случае сохраняется, если выполняется условие $U_0 < nU_{\text{вкл}}$.

С целью уменьшения времени задержки включения одновибратора светодиоды оптронных пар включены параллельно. Задержка включения фототиристоров в этом случае составляет $t_{\text{зад}} = 5\text{ мкс}$.

Появление импульса высокого напряжения фиксируется схемой одновибратора (МС-7, Т8, Т9) и лампочкой Л1.

Технические характеристики устройства

1. Диапазон регулирования задержки 10 мкс - 1000 мкс.
2. Относительная нелинейность регулирования $\pm 0,1\%$.
3. Температурная погрешность $\pm 0,2\%$.
4. Диапазон рабочих температур $0 \pm +50^\circ\text{C}$.
5. Параметры входных импульсов:
 - а) амплитуда - 2 В;
 - б) полярность - отрицательная;

- в) длительность - 10 мкс;
 - г) длительность переднего фронта $0,5 \pm 1$ мкс.
6. Параметры выходных задержанных импульсов:
- а) амплитуда - 850 В и 25 В;
 - б) полярность - положительная;
 - в) длительность переднего фронта - 0,5 мкс;
 - г) сопротивление нагрузки - 75 Ом.
7. Питание ± 12 В и +1000 В.

УСТРОЙСТВО РЕГУЛИРУЕМОЙ ВРЕМЕННОЙ ЗАДЕРЖКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Высокоточное устройство регулируемой временной задержки представляет собой преобразователь напряжения во временной интервал (рис. 4). Оно выполнено по схеме с отдельными функциональными элементами на базе линейных интегральных микросхем типа МАА501, микросхем ТТЛ типа МН7400, МН7410 (Тесла, ЧССР).

Преобразуемое напряжение подается с потенциометра R11 на вход 2 микросхемы MC-2, работающей в режиме компаратора. На вход 3 (MC-2), поступает напряжение с выхода 6 генератора линейно нарастающего напряжения, содержащего операционный усилитель (MC-1) и предназначенного для стабилизации тока заряда конденсатора C1. Скорость роста напряжения генератора определяется параметрами времязадающей RC1 - цепочки и напряжением постоянного тока, формируемого элементами R2, R3, R4. Подбор сопротивления резистора R5 позволяет скомпенсировать ток смещения нуля, присущий линейным интегральным микросхемам. Потенциометры: R2 типа СП5-2; R11 типа "Гелипот", последний снабжен счётчиком. Конденсатор C1 типа МПО.

Для получения линейной и термостабильной характеристик преобразователей необходимо использовать конденсаторы с минимальными ТКЕ и токами утечки. Помимо МПО в обеих схемах можно использовать, например, МП-1, МП-2, К71-3, К71-4, К73П-4.

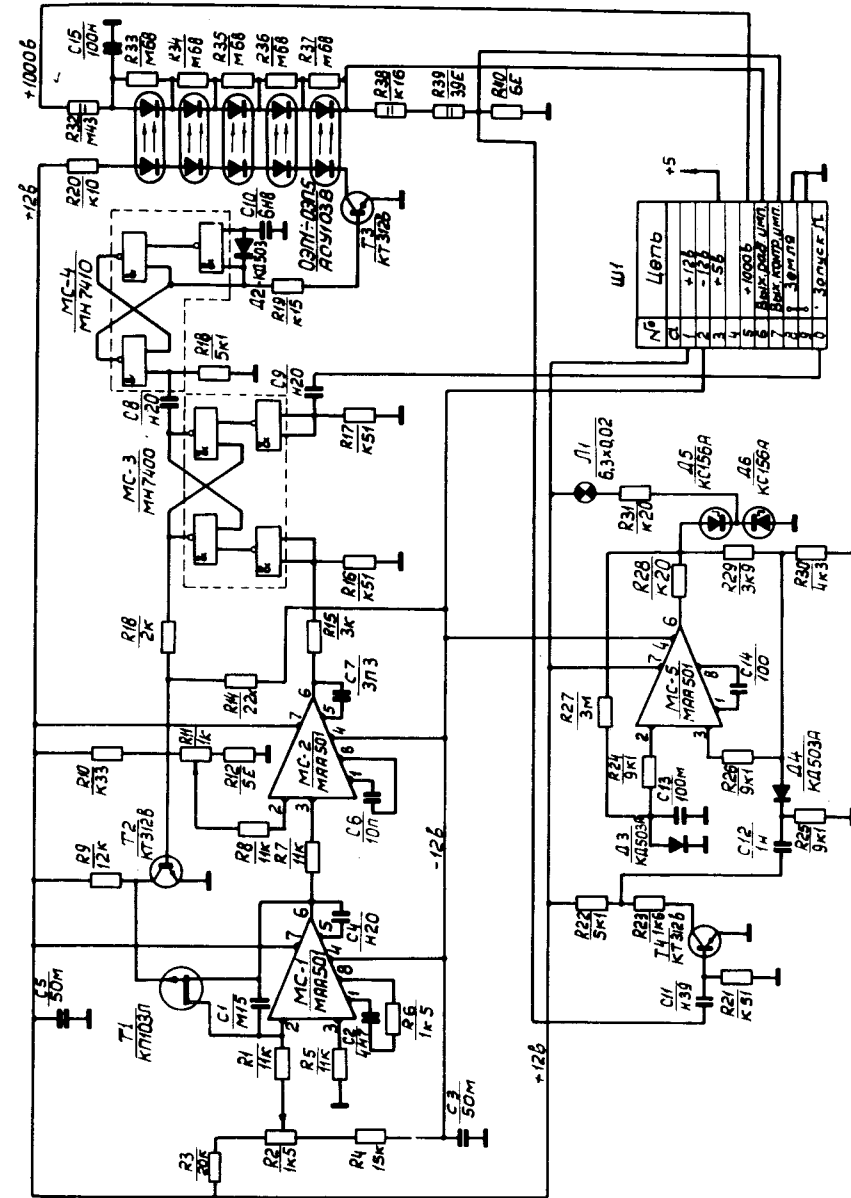


Рис. 4. Схема регулируемой временной задержки с использованием операционных усилителей.

Периодическое сравнение преобразуемого напряжения с линейно нарастающим обеспечивается с помощью положительных импульсов, поступающих на вход устройства с частотой 0,1-1 Гц от синхронизатора ЛУ-20, и схемы управления (МС-3, Т1, Т2), см. рис.4.

Устройство работает следующим образом. При включении конденсатора в цепь отрицательной обратной связи операционного усилителя (МС-1) устройство выполняет функцию интегратора. Напряжение на его выходе нарастает по линейному закону. Выходное пилообразное напряжение генератора, построенного на этом принципе, обладает высокой линейностью и стабильностью при значительных изменениях напряжения питания. Дифференциальный вход микросхемы МС-2 позволяет осуществить сравнение преобразуемого напряжения с компенсирующим, вырабатываемым генератором пилообразного напряжения. Сравнительно низкий уровень дрейфа, приведенного ко входу интегрального усилителя постоянного тока ($\Delta I_{\text{вхmax}} = 0,2 \text{ мкА}$, $U_{\text{см0 max}} = 1+2 \text{ мВ}$)^{8/}, позволяет компаратору сравнивать входные напряжения с необходимой точностью. Формирование временного интервала, эквивалентного преобразуемому напряжению, осуществляется с помощью триггера (МС-3). В исходном состоянии на выходе триггера устанавливается высокий уровень напряжения. Транзистор Т2 открыт, и на затвор полевого транзистора Т1, работающего в ключевом режиме, подается управляющее напряжение низкого уровня. В результате транзистор Т1 открывается и сопротивление его канала, шунтирующее конденсатор С1, становится малым. При этом напряжение на выходе микросхемы МС-1 практически равно нулю. Сигналом запуска триггер опрокидывается, и на его выходах устанавливаются, соответственно, низкий и высокий уровень напряжений. Транзистор Т2 запирается, а на затвор Т1 подается управляющее напряжение высокого уровня. Сопротивление канала полевого транзистора становится большим. На выходе интегратора (МС-1) появляется линейно нарастающее напряжение, поступающее на вход компаратора (МС-2). В момент равенства пилообразного и преобразуемого напряжений происходит скачкообразное изменение сигнала на

выходе компаратора. Этот момент времени регистрируется триггером (МС-3), и устройство возвращается в исходное состояние.

Интервал времени, в течение которого на выходе триггера устанавливается высокий уровень сигнала, пропорционален величине преобразуемого напряжения. Изменение его величины производится потенциометром R11 "Гелипот". Показания счетчика последнего соответствуют величине задержки в миллисекундах. Формирование задержанного импульса относительно входного производится формирователем на микросхеме МС-4. Ключ на транзисторе Т3 служит для запуска одновибратора, собранного на тиристорных оптронах ОЭП1 + ОЭП5.

Задержка включения для пяти последовательно включенных оптронов, взятых без предварительного отбора, составляет $t_{\text{зад}} = 10 \text{ мкс}$. Так как минимальная задержка устройства принята равной $t_{\text{вmin}} = 1 \text{ мс}$, а $t_{\text{зад}} \ll t_{\text{вmin}}$ при $t_{\text{зад}} = \text{const}$, следовательно, она автоматически учитывается в диапазоне задержки.

Импульс напряжения, снимаемый с резистора R41, инвертируется (транзистор Т4) и запускает схему индикации. На выходе одновибратора (МС5) возникает импульс, длительности которого ($t_{\text{и}} = 300 \text{ мс}$) достаточно для зажигания лампочки Л1. Последняя позволяет фиксировать подключение источников питания (постоянное горение в 1/2 накала) и появление импульса высокого напряжения (короткая яркая вспышка).

Использование динисторов в схемах выходных формирователей весьма перспективно, поскольку оно позволяет сократить количество тиристорных оптронов (рис.5). В этом случае необходим предварительный отбор приборов по наибольшему напряжению включения и более тщательный подбор величин сопротивлений шунтирующих резисторов.

Однако возможность разброса параметров отдельных приборов этим не исключается, и настройка занимает много времени. Задержка включения одновибратора составляет $t_{\text{зад}} = 4,5 \pm 4,8 \text{ мкс}$.

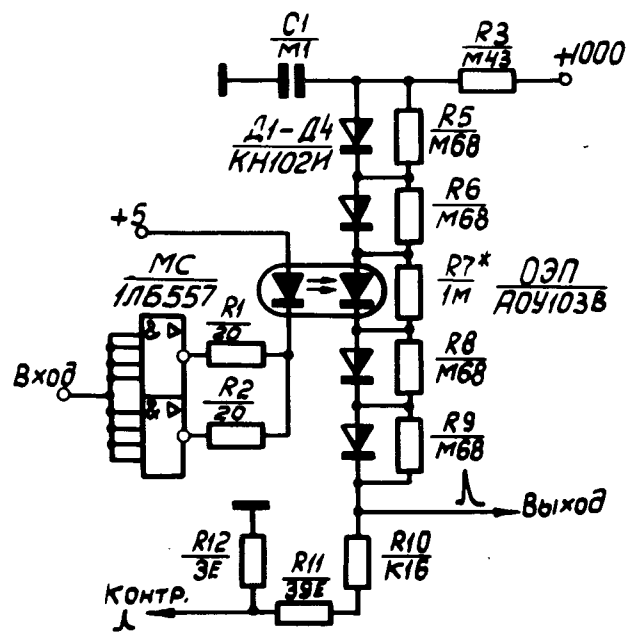


Рис. 5. Схема одновибратора на оптроне с использованием диноисторов.

Технические характеристики устройства

1. Диапазон регулирования задержки 1 мс - 100 мс.
2. Погрешности преобразования:
 - а) основная - 0,05 %;
 - б) дополнительная - 0,1 % на 10⁰С.
3. Диапазон изменения управляющего напряжения 0,1 ± 10 В.
4. Рабочий диапазон температур 0 + 50⁰С.
5. Параметры входных импульсов:
 - а) амплитуда - 1,5 В;
 - б) полярность - положительная;
 - в) длительность - 10мкс;
 - г) длительность переднего фронта 0,5 ± 1 мкс.
6. Параметры выходных задержанных импульсов:
 - а) амплитуда - 850 В и 25 В;
 - б) полярность - положительная;

- в) длительность переднего фронта - 0,5 мкс;
- г) сопротивление нагрузки - 75 Ом.
7. Питание: ±12 В; +1000 В.

Конструктивно схемы размещены в стандартных субблоках "Вишня" с размером передней панели 40 x 160 мм². Однако использованная элементная база допускает размещение схем и в более прогрессивных стандартах, например в субблоках "Камак" и "Вектор" единичной ширины.

Автор благодарит М.А.Воеводина за постоянный интерес и поддержку в работе, а также Е.А.Силаева за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.А.Воеводин, Ю.И.Романов, Б.В.Соболев. Сообщение ОИЯИ, 13-9114, Дубна, 1975.
2. Б.П.Мурин, А.Д.Белов, Ю.Г.Корнелюк. Труды Всесоюзного Совещания по ускорителям заряженных частиц. М., ВИНТИ, 1970, т.2, стр. 62.
3. В.И.Данилов и др. Сообщение ОИЯИ, Р9-5953, Дубна, 1971.
4. З.П.Важенина, Э.В.Пудриков. Транзисторные генераторы импульсов миллисекундного диапазона. Москва, "Сов.радио", 1974.
5. В.А.Кренделев, В.Я.Углеков. ПТЭ, 1971, № 4, стр.123.
6. Ю.А.Масюренко. Приборы и системы управления, 1973, № 2, стр. 30.
7. И.И.Клетченков, А.Н.Шмырева. Изв.вузов, Радиоэлектроника, том XVIII, 12, стр. 97, 1975.
3. В.Л.Шило. Линейные интегральные схемы. Москва, "Сов.радио", 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 сентября 1976 года.