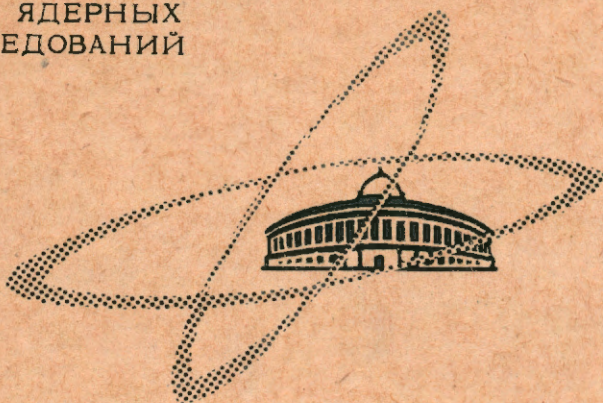


1997

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

Р-1987



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

М.Н. Дражев

МЕТОДЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВРЕМЕНИ
В АМПЛИТУДУ В НАНОСЕКУНДНОМ ДИАПАЗОНЕ

(Обзор)

1965

P-1997

М.Н. Дражев

МЕТОДЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВРЕМЕНИ
В АМПЛИТУДУ В НАНОСЕКУНДНОМ ДИАПАЗОНЕ

(Обзор)

Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ

С о д е р ж а н и е

1. Введение	3
2. Общие сведения	5
3. Преобразовательные устройства, основанные на принципе "старт-стоп" 9	
4. Преобразовательные устройства, основанные на принципе "перекрытия импульсов"	12
5. Преобразовательные системы с применением лучевого отклонения и преобразователи дифференциального типа	17
6. Дополнительные устройства к преобразовательным системам	19
7. З а к л ю ч е н и е	20
8. Литература	23

В в е д е н и е

В ряде областей современной ядерной физики методика эксперимента связана с измерением и спектрометрированием коротких временных интервалов. Так, например, измерение времени жизни возбужденных состояний ядер, измерение времени жизни позитронов, измерение времен пролета быстрых нейтронов и осколков деления ядер и т.д. предполагает наличие устройств, позволяющих измерять и спектрометрировать временные интервалы в области от нескольких до сотен наносекунд.

Первые измерительные установки, которые применялись для этой цели, были обычными схемами задержанных совпадений. Они являлись простейшими временными анализаторами и представляли собой, по сути дела, одноканальные устройства. При измерении на них использовалась лишь малая доля всей информации, которая может быть получена из эксперимента, что связано с большими, часто недопустимыми затратами времени и жесткими требованиями к стабильности всех систем.

Дальнейшее развитие измерительных устройств по пути к многоканальности пошло по двум основным направлениям – применение прямых методов анализа и применение преобразовательных систем, при использовании которых измеряемый короткий временной интервал предварительно преобразуется подходящим образом и только тогда подается на многоканальный анализатор.

Перерастание одноканальных систем в многоканальные начинается с простого умножения основной ячейки, т.е. появляется схемная комбинация от "n" задержанных совпадений – так называемый хронотрон ^{/105-107/}.

Из-за ряда недостатков (ограниченное число каналов, неравномерность их ширины, невозможность удобного изменения рабочего диапазона и т.д.) эти системы уже мало применяются. ^{/108/} Редко находит применение и другой "прямой" метод анализа – осциллографический метод ^{/23/}.

Как известно, применение временных анализаторов классического типа для измерения очень коротких временных интервалов связано с рядом технических трудностей. До сих пор обычно ширина канала этих анализаторов оставалась, как правило, больше ста наносекунд и, таким образом, независимо от их больших потенциальных возможно-

стей (получение информации прямо в цифровом виде, большое число каналов, стабильность в работе и т.д.), они не применялись для временного анализа в наносекундном диапазоне.

В связи с повышенными требованиями к точности эксперимента (например, наносекундная точность в микросекундном диапазоне) и с повышением технических возможностей наносекундной техники (появление новых схемных элементов) в последние годы проводились большие работы по увеличению быстродействия временных анализаторов классического типа. В настоящее время ширина каналов подобных систем может достигнуть 10 н.сек^{/7,8/}, и даже 1 н.сек. При этом число каналов может быть очень большим - порядка десятков тысяч - и временная нестабильность сведена до 0,5 наносекунды^{/9/}. Конечно, все это связано с освоением быстрых схем пересчета - до 1000 Мгц, - применением больших тактовых частот и т.д.

Наибольшее распространение получили все-таки не системы "прямого" анализа, а системы преобразования. При использовании подобных систем измеряемый временной интервал преобразуется линейно либо в импульс, амплитуда которого является пропорциональной этому интервалу (преобразователи "время-амплитуда"), либо во временной интервал с большей длительностью.

Исключительно широкое распространение, которое нашли преобразователи "время-амплитуда" (до сих пор им посвящено около 80 публикаций в периодической печати), можно легко объяснить, имея в виду, что при их применении анализ ведется с помощью обычных стандартных амплитудных анализаторов, являющихся достоянием каждой лаборатории ядерной физики. Важным фактором в этом отношении является и то, что они просты, удобны в эксплуатации - их рабочий диапазон можно легко изменять, и он обычно простирается от нескольких наносекунд до сотен наносекунд, т.е. ширина канала может получать значение от десятков пикосекунд до наносекунды.

Методы преобразования "время-время" до сих пор находили сравнительно ограниченное применение. Здесь можно перечислить временные экстендеры емкостного типа^{/11,12/}, фазовые методы преобразования масштаба времени - "нониусы"^{/10,11,12,13/}, где два близких по частоте ВЧ генератора запускаются через исследуемый интервал t и измеряется время, по истечении которого их колебания будут в фазе. Это время может быть на один-два порядка больше исследуемого интервала t .

Метод "нониуса" может быть применен и без промежуточного преобразования времени в амплитуду^{/10/}, и, таким образом, информация может вноситься в многоканальное регистрирующее устройство прямо в цифровом виде^{/100/}.

Дальнейшим развитием фазового принципа "нониуса" можно считать так называемый верньер-хротопрон, в котором совпадение между событиями, отвечающими изме-

ряемому временному интервалу, получается только после времени $t = r \frac{L_1}{L_1 - L_2}$, благодаря применению двух замкнутых контуров с неодинаковой электрической длиной L_1 и L_2 .

Этот метод тоже находит ограниченное применение^{/15,16,17-22/}.

Несмотря на сравнительно широкое распространение преобразовательных систем (особенно типа "время-амплитуда"), сведения о них можно получить только из отдельных разрозненных статей в периодической печати, где авторы обыкновенно описывают проведенные физические эксперименты или реализованные ими измерительные установки.

Первый обзор в этой области представляет работа Линева (1981)^{/2/}; этому вопросу также отведено большое место в обзорной статье Боница о временных наносекундных анализаторах^{/4/}.

В настоящем обзоре сделана попытка отразить современное состояние методики преобразования времени в амплитуду, которая находит применение в устройствах для временного анализа в наносекундном диапазоне. Впервые делается опыт систематизации основных параметров конверторных систем.

В обзор включены материалы, опубликованные в периодической печати примерно до середины 1984 года.

Общие сведения

Измерение времени, прошедшего между двумя событиями, в ядерном эксперименте сводится к измерению времени между электрическими импульсами, связанными с этими событиями. Эти импульсы поступают из детекторов ядерных излучений, или один из них приходит периодически в случае использования пульсирующего источника.

Первый импульс (по времени), поступающий на преобразователь (импульс "старт"), приводит его в действие, а при поступлении второго импульса через измеряемое время "t" (импульс "стоп") рабочий цикл накопления информации заканчивается. Это вызывает на выходе преобразователя (конвертора) появление импульса U_k , амплитуда которого является линейной функцией времени t , т.е.

$$U_k = \gamma t.$$

Время t измеряется с ограниченной точностью из-за временной неопределенности, которую вводят отдельные звенья экспериментальной установки: пульсирующий источник, детектор (или детекторы), преобразователь, система амплитудного анализа. Так как эти неопределенности обыкновенно не коррелированы между собой, то общая временная дисперсия определяется как $\overline{\Delta t^2} = \sum_1 \Delta t_1^2$. При помощи современных

"быстрых" ФЭУ (например, типа ХР 1020) можно добиться временной дисперсии порядка сотен и даже десятков пикосекунд $\frac{1}{114}$, а вклад неопределенности системы амплитудного анализатора может быть сделан довольно малым. При необходимости получения высокого общего разрешения измерительной установки система преобразования должна вносить минимальный временной разброс - иногда не больше десятков пикосекунд.

Независимо от большого разнообразия существующих преобразовательных устройств их общую эквивалентную блок-схему можно изобразить, как это показано на рис. 1. По входным цепям А и В поступают импульсы "старт" и "стоп", формируются по амплитуде и длительности в формирующих устройствах (1) и (2) и задействуют ключевое устройство (3). Во время измеряемого интервала "t" оно включает накопительную и удлинительную систему (4), из которой на усилитель (5) поступает "медленный" импульс с подходящей для амплитудного анализа длительностью. К выходу усилителя подключен амплитудный анализатор (МАО).

В зависимости от устройства формирования и переключения все конверторы могут быть разделены на две категории:

1. Конверторные системы, работающие на принципе "старт-стоп", и
2. Конверторные системы, работающие на принципе "перекрытия" импульсов.

Дальнейшую классификацию можно сделать в зависимости от типа накопительной системы:

1. Конверторы с преобразованием емкостного типа.
2. Конверторы с преобразованием индуктивно-емкостного типа.

Признаком классификации могут быть и применяемые схемные элементы: электронные лампы, транзисторы, туннельные диоды.

Основными характеристиками преобразовательных систем (независимо от их типа) можно считать следующие:

1. Рабочий диапазон $t \cdot [10^{-9} \text{ сек}]$.
2. Временное разрешение $\tau [10^{-12} \text{ сек}]$.
3. Конверсионная константа $\gamma [\frac{10^{-3} \text{ В}}{10^{-9} \text{ сек}}]$.
4. Линейность $\rho [\%]$.
5. Чувствительность по входам $U_A, U_B [10^{-3} \text{ В}]$.
6. "Долговременная" стабильность $s [\frac{10^{-3} \text{ сек}}{\text{час}}]$.
7. Максимальное число каналов $N_{\text{max}} [\frac{N_{\text{max}}}{10^{-9}}]$.

8. Загрузочные характеристики $F_{A_{\text{max}}}, F_{B_{\text{max}}}, F_{K_{\text{max}}} [\frac{\text{ИМП}}{\text{сек}}]$.

Рассматривая отдельные характеристики, необходимо уточнить следующее.

1. Рабочий диапазон конвертора "t"

Он охватывает ту часть временного диапазона, где основные характеристики преобразователя изменяются в допустимых пределах. Обычно диапазон составляет от 5-10 до 90-95% всего диапазона.

2. Временное разрешение "r"

Амплитуда выходных импульсов U_K реального конвертора всегда подвержена флюктуациям. Поскольку $U_K = \gamma t$, то эти амплитудные флюктуации можно перевести во временные, т.е. им соответствует определенная временная дисперсия, которая, как и в схемах совпадения, обыкновенно имеет нормальное распределение. Она определяется как $2\Delta t = r$, т.е. полная ширина пика (полученная на амплитудном анализаторе) на полувысоте и ее удобно выражать в пикосекундах (10^{-12} сек). При этом различают:

2.1. "Схемное" временное разрешение r_s , полученное при измерении с подходящими искусственными импульсами, т.е. от импульсного генератора).

2.2. "Реальное" временное разрешение r_d с учетом амплитудного разброса входных импульсов (полученное при измерении с импульсами от одного детектора с последующим разветвлением и задержкой одного из них).

2.3. "Физическое" временное разрешение r_p (полученное в реальных условиях физического эксперимента).

2.4. "Относительное" разрешение r_r . Иногда является полезным применение не величины абсолютного разрешения r , а величины относительного разрешения $r_r = \frac{r}{t} \cdot 100 [\%]$.

3. Конверсионная константа "y"

Так как амплитуда на выходе конверторного устройства $U_K = \gamma t$, то конверсионная константа $\gamma = \frac{U_K}{t}$, где t - измеряемое время. На практике γ удобно выражать в $\frac{10^{-3} \text{ В}}{10^{-9} \text{ сек}}$. Иногда находят применение и конверсионная константа $s = \frac{\gamma}{K}$, где K является коэффициентом усиления усилителя в конверторе.

4. Линейность "p"

Конверсионная константа не сохраняет одной и той же величины в разных точках рабочего диапазона, т.е. $\frac{\Delta U_K}{\Delta t} = \gamma' \neq \gamma = \text{const}$, и амплитуда выходного импульса конвертора $U_{K1} = \gamma' t_1$, или относительное отклонение от линейности $p' = \frac{\gamma t_1 - U_{K1}}{\gamma t_1}$, где $U_{K1} = \gamma' t_1$.

Обычно интегральную нелинейность ρ выражают в % и относят ко всей рабочей части временного диапазона t , т.е. $\rho = \frac{Y t_1 - (U_K)}{Y t} 100 [\%]$.

5. Чувствительность

Она определяется минимальной амплитудой $U_{A,B}$ входных импульсов, при которой основные параметры конвертора изменяются только в допустимых пределах (например, 0,5%).

6. Долговременная стабильность "s"

Фактическая точность спектрометрирования определяется не только временным разрешением измерительного тракта, полученным за сравнительно короткое время измерения. В течение эксперимента, который часто длится много часов, из-за влияния ряда факторов (например, изменения температуры, медленных изменений напряжения питания и т.д.) происходят дополнительные временные смещения и, если не принять специальные меры компенсации или сравнения ^{90/}, фактическое разрешение заметно снижается. При достаточно стабильных системах медленные изменения могут быть такого же порядка, как и временное разрешение, измеренное за короткое время работы. Временное смещение s обычно выражается в псек/час при сохранении реальных рабочих условий. Существенный вклад в общее смещение вносят:

6.1. Температурная зависимость s_t преобразовательной системы, т.е.

$s_t = \frac{\Delta t}{\Delta T} \left[\frac{10^{-12} \text{сек}}{\text{град } ^\circ\text{C}} \right]$, где Δt - временное смещение, вызванное изменением температуры ΔT .

6.2. Зависимость от напряжения питания $s_u = \Delta t / \frac{\Delta U}{U} 100 \left[\frac{10^{-12}}{\%} \right]$, где Δt -

временное смещение, вызванное относительным изменением напряжения питания.

7. Максимальное число каналов - "N_{max}"

Для всего рабочего диапазона $N_{max} t$ можно определить из соотношения t/s .

N_{max} в общем удобнее определять за единицу времени, т.е. $\frac{N_{max}}{s} \approx \frac{1}{s}$, и выразить как число каналов на наносекунду $\left[\frac{N_{max}}{10^{-9}} \right]$.

8. Загрузочные характеристики

Параметры преобразовательной системы изменяются при изменении частоты следования импульсов как по входам $/F_A, F_B /$, так и по выходу $/F_K /$. Как правило, частотная нагрузка по входам может быть на несколько порядков выше выходной частотной нагрузки. Максимальные частоты следования $F_{A_{max}}, F_{B_{max}}, F_{K_{max}}$ определяются

исходя из сохранения основных параметров в допустимых пределах. Их можно определить, зная соответствующие мертвые времена $\theta_A \cdot \theta_B \cdot \theta_K$.

Преобразовательные устройства, основанные на принципе "старт-стоп"

Метод "старт-стоп" является первым из методов преобразования, который нашел широкое распространение. В этом методе как накопительно-удлинительное устройство обычно применяется емкость - и в основе лежит принцип ее линейного заряда (или разряда). Упрощенная эквивалентная схема подобного конвертора представлена на рис. 2. При поступлении импульса "старт" выключатель K_1 замыкается и начинается разряд заряженной до потенциала источника V емкости C , поскольку $R_1 \ll R_a$. По истечении измеряемого промежутка времени $t / t \ll R_1 C /$ поступает импульс "стоп", что можно рассматривать как размыкание ключа K_2 . На этом разряд заканчивается, и емкость снова начинает заряжаться через R_a (рис. 3). Так как $R_1 C \gg t$, можно считать, что ток разряда во времени меняется незначительно, т.е. $\frac{\Delta U_C}{\Delta t} = \text{const}$ или $t = s U_C$. Очевидно, что для сохранения линейности отношение $\frac{t_{max}}{R_1 C}$ должно быть достаточно мало (например, 0,1 для максимального отклонения от линейности порядка 0,2%) или ток разряда должен поддерживаться постоянным другими схемными методами, как это бывает в случае использования дифференциального сопротивления электронной лампы или транзистора.

Амплитуда импульсов, возникающих на емкости C , как правило, небольшая, и их необходимо усилить линейным малошумящим усилителем, прежде чем они поступят на многоканальный амплитудный анализатор.

Характерной особенностью метода "старт-стоп" является то, что на выходе конвертора получается импульс даже и при наличии только одного импульса "старт". В случае работы преобразователя с пульсирующим источником "старт-сигнал" получается от второго (по времени) импульса, который берется (от детектора) в конце измеряемого интервала, а "стоп-сигнал" подается периодически синхронно с пульсациями источника. При этом амплитуда выходного импульса конвертора будет $U_K = \gamma(T-t)$, где T является периодом повторения импульсов пульсирующего источника.

Когда конвертор работает на двух детекторах (например, при измерении времени пролета путем регистрации сопровождающих частиц), для нормального функционирования системы необходимо иметь дополнительное ключевое устройство, которое чаще всего управляется быстрой схемой совпадений. Таким образом, преобразователь запускается только при наличии двух входных импульсов. Иногда на выходе конвертора стоит схема пропускания, которая открывается только в вышеуказанном случае.

Как на особое преимущество конверторов, основанных на принципе "старт-стоп", следует указать на то, что длительность запускающих импульсов не связана прямо с измеряемым интервалом времени. В периодической литературе описано более двадцати подобных конверторов /24,25, 26,113 и 29-49/, в большинстве своем построенных на электронных лампах.

Очень часто в ламповых конверторах этого типа находят применение специальная лучевая лампа 6В№6 (отечественный эквивалент 6АЗП). Эта лампа имеет хорошую электронную оптику, которая позволяет сфокусировать анодный ток в виде узкого луча, ее анодно-сеточная характеристика достигает полного насыщения при сравнительно небольших напряжениях и имеет крутой излом. Она позволяет достигнуть схемного временного разрешения τ_g порядка десятков пикосекунд /45/ при чувствительности около двух вольт, конверсионная константа c (без усилителя) обычно бывает около одного милливольта на наносекунду, а отклонение от линейности "р" - меньше одного процента.

Как на пример подобного традиционно-классического решения можно указать на конвертор Джонсона и Кранберга /30/ (рис. 4). В нем при поступлении стартового импульса лампа L_2 открывается и начинается разряд емкости C через ее внутреннее сопротивление. При поступлении сигнала "стоп" открывается лампа L_1 и на L_2 подается отрицательный "затянутый" импульс, который закрывает ее, разряд емкости C прекращается и снова начинается медленный заряд через анодное сопротивление R_a . Временная диаграмма импульсов в разных точках преобразователя дана на рис. 5.

В последние годы (начиная примерно с 1961 года) в связи с созданием "быстрых" транзисторов с хорошими параметрами наблюдается тенденция к полной "транзисторизации" конверторных устройств. По всем основным параметрам конверторы на транзисторах уже не уступают ламповым и имеют ряд преимуществ перед ними (большая чувствительность, долговечность, компактность и т.д.). Их применение является особенно удобным в комбинации с туннельными диодами.

В качестве примера современных транзисторных конверторов, в основе которых лежит принцип "старт-стоп", можно рассмотреть конвертор Ван-Зурка /48/ и конвертор Вибера /47/.

Блок-схема первого преобразователя изображена на рис. 6. Здесь входные импульсы через линии задержек после двукратного формирования (3,4 и 4,6) поступают на ключевое устройство (7), которое управляет системой накопления и удлинения (8). Отсюда, через выходное устройство (9), сигнал поступает на многоканальный амплитудный анализатор. Работа преобразователя управляется быстрой схемой совпадений (10) через ключевые устройства (11) и (12).

В конверторе применены современные схемные элементы: в устройствах формирования (3, 4, 5 и 6) - туннельные диоды, переключающее устройство (7) осуществлено тоже при помощи туннельного диода, а в вспомогательной схеме совпадения (10) работают туннельный диод и лавинный транзистор. Временная диаграмма сигналов в разных точках конвертора дана на рис. 7.

Основные характеристики преобразователя следующие:

1. Рабочий диапазон $t = 180 \cdot 10^{-9}$ сек.
2. Физическое временное разрешение $\tau_p = 600 \cdot 10^{-12}$ сек (для $\gamma-\gamma$ совпадений с 2-мя ФЭУ AVP 56 на Co^{60}).
3. Максимальная нелинейность $p \approx 2\%$.
4. Температурная стабильность $s_t = 3,5 \cdot 10^{-12}$ сек/град.С'.
5. Чувствительность $\approx 500 \cdot 10^{-3}$ в.
6. Максимальная частотная загрузка по входам $- 3 \cdot 10^5$ имп/сек.

Блок-схема конвертора Вибера представлена на рис. 8. И в этом преобразователе необходимо отметить хорошее предварительное формирование импульсов - в трактах "старт" и "стоп", сигналы через входные устройства (1) и (2) подаются на быстрые дискриминаторы на туннельных диодах (3 и 4), потом через эмиттерные повторители (5 и 6) поступают на унвивбраторы (7 и 8) и только после этого подаются через эмиттерные повторители (9 и 10) к ключевой системе. Здесь в исходном состоянии диоды D_2 и D_3 открыты, а диод D_1 закрыт. При поступлении стартового отрицательного импульса D_2 закрывается и начинается заряд емкости C через R , L и D_3 от стабилизатора постоянного тока 11.

При поступлении положительного импульса "стоп" диод D_1 открывается, D_3 закрывается и процесс заряда емкости прекращается - поскольку ток начинает течь через D_1 (рис. 9). При прекращении импульсов старта D_2 начинает проводить и емкость быстро разряжается через него и через низкое выходное сопротивление эмиттерного повторителя (10). Таким образом, на емкости C получаются импульсы отрицательной полярности, которые в дальнейшем, через эмиттерный повторитель (12) и усилитель (14), поступают на многоканальный амплитудный анализатор. Необходимо отметить наличие дополнительных ключевых устройств управления преобразователя (13, 15 и 16). Основные характеристики этого конвертора следующие:

1. Рабочий диапазон $t = 50 \cdot 10^{-8}$ сек.
2. Схемное временное разрешение $\tau_g = 6 \cdot 10^{-12}$ сек (при измерении в течение одного часа).
3. Конверсионная константа $\gamma = -68 \cdot 10^{-3}$ в / 10^{-8} сек.

4. Линейность $\rho - 1\%$.
5. Чувствительность $- 300 \cdot 10^{-3}$ в.
6. Температурная стабильность $s_t = 2 \cdot 10^{-12}$ сек/град. $^{\circ}\text{C}$.
7. Максимальное число каналов $N_{\max t} = 100$ кан/10⁻⁹ сек или $N_{\max t} = 5000$ каналов.

Иногда в системе накопления применяется не емкость, а индуктивность - как это сделано в конверторе Кулигана и Липмана^{/35/}.

Схема, эквивалентная схеме этого преобразователя, дана на рис. 10. Здесь при поступлении импульса "старт" ключ K_2 замыкается и ток в индуктивности L нарастает приблизительно по линейному закону, т.е. $\frac{di}{dt} = \frac{U_L}{L}$. Поступление импульса "стоп" через измеряемое время K_1 можно рассматривать как размыкание ключа K_1 , и ток в индуктивности в момент размыкания будет $I_t = t \frac{U_L}{L}$. Если вся энергия, запасенная в индуктивности, передается емкости, то $E = \frac{1}{2} L I_t^2 = \frac{1}{2} C U_o^2$, и поскольку $I_t = t \frac{U_L}{L}$, то $\frac{1}{2} L (t \frac{U_L}{L})^2 = \frac{1}{2} C U_o^2$, или напряжение на емкости $U_o = \frac{U}{\sqrt{LC}}$. Упрощенная принципиальная схема этого конвертора представлена на рис. 11. В исходном положении транзистор T_2 полностью закрыт и через индуктивность ток не протекает. При этом L_2 открыт и его ток течет через сопротивления R_2 и R_3 . При поступлении импульса "старт" D_2 перестает проводить, транзистор T_2 открывается и через L начинает течь линейно нарастающий со временем ток. При поступлении импульса "стоп" транзистор T_1 закрывается, потенциал эмиттера T_2 поднимается и он тоже закрывается. Теперь начинается процесс передачи энергии от индуктивности к емкости через диод D_3 , и конденсатор C разряжается экспоненциальным образом через сопротивление R_4 .

Этот конвертор характеризуется следующими данными:

1. Рабочий диапазон $t = 15 \cdot 10^{-9}$ сек.
2. Схемное временное разрешение $\tau_k = 10 \cdot 10^{-12}$ сек.
3. Долговременная стабильность $\Delta = 100 \cdot 10^{-12}$ сек за 24 часа.
4. Чувствительность $= 2$ в.

Можно отметить, что преобразователи подобного типа (с индуктивно-емкостной накопительной системой) до сих пор находили очень ограниченное применение.

Преобразовательные устройства, основанные на принципе "перекрытия импульсов"

Действие обычной схемы двукратных совпадений может быть представлено такой же эквивалентной схемой, которая была приведена в пояснении к работе преобразовательных систем типа "старт-стоп" (рис. 2).

Здесь совпадение можно представить как одновременное замыкание ключей K_1 и K_2 , что приводит к появлению выходного сигнала U_k (в случае перекрытия импульсов во времени).

Когда $RC \gg t$, то напряжение на выходе схемы $U_k = ct$, где c - коэффициент пропорциональности, t - время перекрытия импульсов, а RC - выходная время-константа.

При этом, если один из импульсов "А" поступает в момент t_0 , независимо от того, поступает ли другой импульс "В" в момент $t_1 = t_0 + \Delta t$ или в момент $t_2 = t_0 - \Delta t$, время перекрытия t остается одним и тем же, т.е. $t = T_0 - \Delta t$, где T - длительность импульсов А и В (рис. 12), а выходное напряжение $U_k = c(T - \Delta t)$. Таким образом, если к выходу подобной системы подключить не интегральный дискриминатор, как это бывает в случае обычных схем совпадений, а многоканальный амплитудный анализатор, ее можно применять как преобразователь "время-амплитуда".

В связи с вышеуказанной временной неоднозначностью каждому амплитудному каналу анализатора δU_i будут отвечать два временных интервала δt_1 и δt_2 (рис. 13), разнесенные на время $2\Delta t$ (где Δt - измеряемое время).

Несмотря на некоторые неудобства, связанные с использованием этого принципа (зависимость выходного напряжения U_k не только от измеряемого интервала Δt , но и от длительности импульсов T , свойственная ему временная неоднозначность, для устранения которой необходимы дополнительные устройства), преобразователи на принципе перекрытия находят очень широкое применение, и в последние годы им посвящено около 50 публикаций^{/50-97/}. Это можно объяснить их простотой, удобством и гибкостью в эксплуатации.

Как на особое преимущество этих конверторов следует указать на то, что у них получается импульс на выходе только при наличии двух входных импульсов. Преобразователи этого типа нуждаются в хорошем формировании входных импульсов по амплитуде и по времени. Они могут быть реализованы как на лампах, так и на диодах и транзисторах. В ламповых конверторах, работающих на принципе перекрытия, чаще всего находит применение лучевая лампа 6ВН6 /8АЗП/, используя которую можно получить такие же параметры преобразования, как и при ее применении в конверторах "старт-стоп". При этом обычно 6ВН6 /8АЗП/ работает с пониженным анодным и экранным напряжением. Типичная упрощенная принципиальная схема дана на рис. 14. Здесь в исходном состоянии лампы L_1 и L_3 открыты, при поступлении отрицательных импульсов по входам А и В на командные сетки G_1 и G_3 6ВН6 поступают положительные импульсы, сформированные по амплитуде и по длительности благодаря наличию закороченных кабелей K_1 и K_2 . Длительность этих импульсов $T = 2l$, где l - время

задержки кабеля. В исходном состоянии лампа L_2 закрыта (командные сетки через сопротивления R_1 и R_2 получают смещение ≈ -2 в), и она открывается только тогда, когда положительные импульсы поступают сразу по обеим сеткам, т.е. только во время перекрытия командных импульсов. Длительность этих импульсов T определяет рабочий диапазон конвертора.

В исходном состоянии накопительно-удлинительная емкость C заряжена до потенциала источника $+V$. Когда L_2 открывается, начинается разряд емкости C и, благодаря большому внутреннему дифференциальному сопротивлению L_2 , $\frac{\Delta U_C}{\Delta t}$ изменяется мало, т.е. ток разряда остается постоянным, что позволяет получить хорошую линейность преобразования. По истечении времени перекрытия t_1 6BN6 закрывается и накопительно-удлинительная емкость C заряжается медленно через анодное сопротивление $R_a / R_a \gg R_{\Sigma} /$, где R_{Σ} - внутреннее сопротивление по постоянному току. Так как амплитуда импульса, полученного таким образом, невелика (конверсионная константа κ из-за пониженного анодного напряжения имеет величину $\approx \frac{10^{-9} V}{10^{-9} \text{ сек}}$), требуется его дальнейшее усиление.

При применении лампы 6BN6 необходимо учитывать некоторые ее специфические особенности - паразитную емкостную связь между третьей сеткой и анодом, не совсем эквивалентные условия для командного сигнала в случае поступления его на первую и третью сетки (неодинаковая крутизна и различное время прохождения), чрезвычайно большую чувствительность к магнитным полям. Для уменьшения влияния емкостной связи, которая искажает выходной импульс, иногда применяется двойное интегрирование на выходе^{/83/} или используются пентагридные лампы, у которых эта связь сведена к минимуму.

Были предприняты попытки^{/58/} симметризации входных цепей добавлением второй такой же лампы и соединением их командных сеток накрест, как это изображено на рис. 15.

Находят применение и конверторы, у которых переключение осуществляется только по одной сетке, например,^{/88,84/} или конверторы с катодной связью^{/53/} (рис. 16). Примером подобного решения является преобразователь, описанный в работе Городецкого^{/88/}. В нем формирование осуществляется лампами L_1 и L_2 (рис. 17), имеющими в качестве общей нагрузки закороченный кабель. После предварительного формирования ступенчатый импульс подается на лампу L_3 , которая закрыта таким образом, что открывается только во время перекрытия импульсов. От анодной цепи этой лампы уже вторично сформированный по времени и по амплитуде импульс подается на ключевую лампу L_4 , которая в исходном положении открыта. Накопление-удлинение осуществляется емкостью C , и после дополнительного интегрирования выходные импульсы поступают через усилитель в многоканальный амплитудный анализатор. Временное разрешение этого конвертора $\tau_g \approx 100$ псек, а чувствительность - около 3 в.

Примером современного лампового преобразователя с хорошими параметрами может служить описанный в работе Юнга конвертор^{/94/}, упрощенная принципиальная схема которого дана на рис. 18. Здесь через устройства формирования (1 и 2) совпадающие входные импульсы поступают на дискриминатор (3), который открывается только во время перекрытия. Сигнал, поступающий от дискриминатора, закрывает ключевую лампу (типа EF80), анодный ток которой поддерживается постоянным специальным стабилизатором (4) и соответствующей глубокой отрицательной обратной связью.

Так как при больших нагрузках на выходе преобразователя может происходить наложение импульсов, в конверторе предусмотрено специальное устройство (5) обратного возвращения потенциала накопительно-удлинительной емкости, которое запускается через задержку (9). Эта задержка обуславливает длительность выходного импульса конвертора.

Через катодный повторитель (6) и симметризирующее устройство (7), которое обеспечивает сохранение рабочей точки всех каскадов усилителя, сигнал поступает на многоканальный амплитудный анализатор через устройство удлинения импульсов и выходной усилитель. Параметры этого конвертора следующие:

1. Рабочий диапазон $t = 20,50$ и $100 \cdot 10^{-12}$ сек.
2. Схемное временное разрешение $\tau_g = 4,8 \cdot 10^{-12}$ сек.
3. Конверсионная константа $\gamma = 50 \cdot 10^{-3}$ в/10⁻⁹ сек.
4. Линейность $p = 0,15\%$.
5. Макс. нагрузка по входам $F_{\max A}, F_{\max B} = 10^6$ имп/сек.
6. Макс. нагрузка по выходу $F_{\max K} = 10^6$ имп/сек.

Следует отметить, что только конвертор (без питания) содержит более 45 ламп и вместе с питанием занимает одну двухметровую стойку.

Число схемных решений конверторов, использующих полупроводниковые схемные элементы и работающих на основе принципа перекрытия импульсов, довольно велико.

Как на типичный пример диодного конвертора этого типа можно указать на конвертор, предложенный в работе Гриа и Джозефа^{/95/}. Его принципиальная схема изображена на рис. 19.

Здесь в исходном состоянии диоды D_1 и D_2 открыты (ток от источника V через сопротивление R_1 разветвляется и течет через каждый из них). Диод D_3 при этом закрыт, так как он получает небольшой обратный положительный потенциал $\approx +1$ в/ через сопротивление R . При поступлении только одного импульса по входам A или B закрывается соответствующий диод (D_1 или D_2), но поскольку второй диод, проводит, диод D_3 остается закрытым. При одновременном поступлении импульсов

по входам А и В D_1 и D_2 закрываются и во время перекрытия импульсов, D_3 открывается, после чего накопительно-удлинительная емкость С начинает линейно заряжаться через сопротивление R_1 и диод D_3 , так как $RC \gg t$. Этот конвертор нуждается в предварительном амплитудном формировании входных импульсов. Его основные параметры следующие:

1. Рабочий диапазон $t = 5,20,100 \cdot 10^{-9}$ сек.
2. Схемное временное разрешение $t_k = 40 \cdot 10^{-12}$ сек.
3. Линейность "р" лучше 1%.
4. Долговременная стабильность $10 \cdot 10^{-12}$ сек / сек/час (стабилизированным питанием, но без темп. компенсации).
5. Температурная стабильность - около $1,5 \cdot 10^{-12}$ град C° (до $40 C^\circ$).
6. Чувствительность - 2 в.

В качестве примера транзисторного преобразователя, в основе которого лежит принцип перекрытия, можно назвать конверторы, которые описаны в работе Симса^{/84/} и Рода и Гриффина^{/80/}. Упрощенная схема первого конвертора представлена на рис.20.

В исходном состоянии транзисторы T_1 и T_2 проводят, при поступлении только одного входного импульса закрывается соответствующий транзистор (T_1 или T_2), но транзистор T_3 остается закрытым, и потенциал накопительно-удлинительной емкости С -равным потенциалу питания +В. Только при перекрытии импульсов T_3 открывается и через него начинается разряд емкости С.

Физическое временное разрешение t_p этого конвертора, полученное из γ -у совпадений на Co с двумя ФЭУ АРР 58 составляет $470 \cdot 10^{-12}$ сек / его чувствительность - 1 в., а паразитный сигнал на выходе, когда импульс поступает только на один из входов, - менее 0,1% нормального сигнала.

Упрощенная принципиальная схема конвертора, описанная в работе Рода и Гриффина, изображена на рис. 21.

В этом конверторе в исходном состоянии транзистор T_1 закрыт, а при перекрытии двух входных импульсов А и В он открывается и начинается заряд накопительно-удлинительной емкости С. Транзистор T_2 играет роль компенсирующего элемента. Для увеличения эквивалентной нагрузки R транзисторов T_1 она присоединяется к эмиттерному повторителю, осуществленному на транзисторе T_3 . Транзистор T_4 работает как выходной эмиттерный повторитель.

Этот конвертор нуждается в предварительных амплитудных ограничителях, его рабочий диапазон - $12 \cdot 10^{-9}$ сек, и, несмотря на большую температурную нестабильность ($s_t = 50 \cdot 10^{-12}$ сек /град C°), путем применения специального устройства периодиче-

ского сравнения с вспомогательным референтным источником авторам удалось провести измерения времени жизни позитронов со статистической ошибкой $\pm 3 \cdot 10^{-12}$ сек.

Преобразовательные системы с применением лучевого отклонения и преобразователи дифференциального типа

Еще несколько лет тому назад для временного анализа в наносекундном диапазоне находил применение так называемый осциллографический метод^{/110/}. Основным недостатком этого метода являлась неудобная система регистрации - информация получалась только после фотометрирования, к тому же точность его недостаточна высока.

Современная разновидность осциллографического метода - метод лучевого отклонения, основанный на применении специальной лучевой лампы (E80T)^{/24,25,26/}, электронным током которой можно управлять не только по командной сетке, но и через пару отклоняющих пластин.

Принцип работы подобной системы преобразования иллюстрируется рис. 22. Здесь сигнал "старт" запускает генератор импульсов линейно нарастающей амплитуды которые подаются на командную сетку лампы E80T. Время нарастания этих импульсов примерно равно временному рабочему диапазону t . Так как на отклоняющие пластины в исходном положении приложен некоторый начальный постоянный потенциал, электронный луч не попадает на анод, который имеет вид узкой полоски.

При поступлении сигнала "стоп" на отклоняющую пластину подается короткий импульс управления, и электронный луч в это время попадает на анод. Ток анода тогда приобретает величину, которая определяется линейным нарастающим напряжением на командной сетке. Полученный таким образом импульс интегрируется, усиливается и подается на многоканальный амплитудный анализатор.

Основным недостатком этой системы следует считать ее сравнительно малую чувствительность, высокие требования, которые предъявляются к линейности генератора пилообразных импульсов, а также к длительности коротких командных импульсов. Тем не менее Христиансену^{/25/} удалось добиться таким образом (на лампе E80T) схемного временного разрешения $7 \cdot 10^{-12}$ сек, при линейности порядка 5% и временной нестабильности s в течение часа порядка $100 \cdot 10^{-12}$ сек.

Попыткой улучшить параметры современных преобразовательных систем - повысить их стабильность, уменьшить нелинейность при измерении коротких временных интервалов и т.д. является создание так называемых конверторов дифференциального типа. Работа подобных преобразовательных систем напоминает работу дифференциальных схем совпадений.

Как на пример современного конвертора дифференциального типа можно указать на преобразователь, описанный в работе Мейлинга и др.^{/46/}.

Упрощенная блок-схема его дана на рис. 23. Здесь, входные импульсы (предварительно сформированные во временном и амплитудном отношении) поступают на две идентичные преобразовательные системы (1 и 2). Преобразователи охвачены глубокой отрицательной обратной связью по постоянному току и характеризуются большой стабильностью и чувствительностью. Так как линия ЛЗ₁ вносит дополнительную задержку для сигналов, поступающих по входу В в первый конвертор, а линия ЛЗ₂ - для сигналов, поступающих по входу А во второй, то в случаях опаздывания сигналов, поступающих по входу В, амплитуда выходного импульса первого конвертора увеличивается, а второго - уменьшается. Импульсы от двух конверторов поступают на дифференциальный усилитель (4); на его выходе получается разностный сигнал, который после дополнительного усиления в усилителе (5) и после обрезания отрицательной ветви выпрямителем (6) поступает на ключевое устройство (7). Ключевое устройство управляется схемой совпадений (3), временной диапазон $2\Delta t$, ограничивающий рабочий диапазон конвертора. Временно-амплитудные диаграммы в различных точках преобразователя показаны на рис. 24.

Благодаря применению двух конверторов, связанных дифференциальным способом, влияние изменений ламповых характеристик, изменений в амплитуде и форме входных сигналов, а также изменений напряжения питания можно уменьшить в значительной степени и получить таким образом хорошую долговременную стабильность преобразования.

Характеристики этого конвертора следующие:

1. Рабочий диапазон $t = 15 \cdot 10^{-9}$ сек.
2. Схемное временное разрешение $\tau_k = 50 \cdot 10^{-12}$ сек.
3. Долговременная стабильность $s = 15 \cdot 10^{-12}$ сек/24 ч. (без стабилизации напряжения накала и без температурной стабилизации).
4. Температурная стабильность $s_t = 2,5 \cdot 10^{-12}$ сек/град С°.
5. Чувствительность $= 10 + 370 \cdot 10^{-3}$ в (при этом амплитуда выходных импульсов изменяется в 4 раза), т.е. $\frac{U_{к 370}}{U_{к 10}} = 4$.

Несмотря на их преимущества преобразовательные устройства дифференциального типа из-за своей сложности находят ограниченное применение - до сих пор им посвящено только три публикации^{/46/}.

Применение современных преобразовательных систем связано с рядом вспомогательных и контрольных устройств. Сюда входят различные устройства амплитудного отбора, медленные и быстрые схемы совпадений, конденсаторы амплитудной зависимости, устройства сравнения, калибровочные блоки задержки и т.д.

Очень часто выходной сигнал от конверторного устройства должен поступать на многоканальный анализатор только в случаях, когда входные импульсы имеют определенную амплитуду, т.е. когда они отвечают определенному энергетическому диапазону. Этот амплитудный отбор удобнее всего осуществлять не с помощью пороговых устройств конвертора, а в совершенно отдельных "амплитудных", "медленных" каналах. Для этой цели сигнал от детектора берется часто не с анода ФЭУ, а с предпоследнего диода. При этом амплитудный отбор обычно осуществляется путем включений обыкновенных дифференциальных дискриминаторов в медленных каналах - сигналы от их выходов поступают на "медленную" схему совпадения, которая управляет системой пропускания многоканального амплитудного анализатора.

Совместно с конвертором почти всегда работает и быстрая схема совпадений. Временной диапазон такой схемы $2\Delta t$ обычно выбирается равным рабочему диапазону преобразователя.

В конверторах типа "старт-стоп" быстрая схема совпадений обеспечивает запуск системы регистрации (или реже - самого конвертора) только при наличии двух входных импульсов, а в конверторах типа перекрытия она устраняет специфическую временную неоднозначность, которая присуща последним^{/52,63,69,79,98-100/}. Проще всего она устраняется путем введения дополнительной задержки $l = \frac{t}{2}$ ^{/89/} для импульсов, поступающих по входу А (т.е. приходящих раньше, чем импульсы, поступающие по входу В).

В реальных преобразовательных устройствах выходной сигнал является функцией не только времени, -, к сожалению, он подвержен известному влиянию амплитуды входных импульсов. Так, в конверторах типа "старт-стоп", например, из-за конечного времени нарастания входных импульсов каждое увеличение амплитуды первого (по времени) сигнала ("старт") и соответственно каждое уменьшение второго сигнала ("стоп") вызывает увеличение амплитуды выходного импульса. Это влияние можно уменьшить до известной степени благодаря применению метода "пересечения нуля" во входных устройствах конвертора и иногда - путем введения эффективных устройств амплитудного отбора. Дальнейшее уменьшение этого влияния можно осуществить при помощи так называемых компенсаторов амплитудной зависимости^{/90,102,103/} путем смешивания входных сигналов с выходными соблюдая при этом необходимые полярности и амплитудные соотношения.

Иногда является полезным применение вспомогательных источников, позволяющих получать от детекторов калибровочные опорные импульсы сравнения и таким образом значительно уменьшать влияние аппаратного дрейфа.

З а к л ю ч е н и е

Для спектрометрирования в наносекундном диапазоне в настоящее время находят применение как методы "прямого" анализа, так и методы преобразования.

Из системы "прямого" анализа современным требованиям отвечают только недавно появившиеся быстрые временные анализаторы (с шириной канала до 1 нсек), а те устройства "прямого" анализа, которые раньше встречались (например, хронотрон, осциллографический метод и т.д.), больше не находят применения.

Использование быстрых временных анализаторов несмотря на ряд преимуществ — получение информации прямо в цифровом виде, лучшей линейности и т.д. — остается ограниченным из-за схемотехнических затруднений, которые возникают в случае необходимости достигнуть достаточно малой ширины канала (она пока остается не менее чем 1 нсек). Это ограничивает область применения этих анализаторов в диапазоне сравнительно длинных времен (выше 100 нсек).

При измерении наиболее часто встречающихся временных интервалов (от 5 до 50 нсек) быстрые анализаторы могут быть использованы в комбинации с новисом импульсного типа.

Самое широкое распространение, однако, в настоящее время имеют не методы "прямого" анализа, а методы преобразования времени в амплитуду, основанные на принципе "старт-стоп" и на принципе "перекрытия импульсов". Эти методы могут без особых затруднений обеспечить достаточно малую ширину канала — до 10^{-11} сек и довольно большое число каналов — до нескольких тысяч $N_{\max} = \frac{100 \kappa}{10^{-9} \text{ сек}}$. Преобразователи остальных типов (например, основанные на принципе лучевого отклонения или дифференциальные системы) встречаются сравнительно редко.

Анализ всех вышедших в последние годы публикаций, посвященных вопросам спектрометрии в наносекундном диапазоне, показывает следующее.

1. Публикаций о быстрых временных анализаторах 4
2. Публикаций о фазово-верньерном методе 5
3. Публикаций об импульсно-верньерном методе 10
4. Публикаций о преобразователях на принципе лучевого отклонения /E80T/ . . 4
5. Публикаций о преобразователях на принципе "старт-стоп" 24

6. Публикаций о преобразователях на принципе перекрытия импульсов 52
7. Публикаций о разных методах около 10

Выбор самого подходящего метода временного анализа обуславливается не только спецификой данного эксперимента (например, рабочий диапазон, необходимое разрешение, допустимая нелинейность и т.д.), но это обычно связано и с рядом технических и финансовых вопросов, которые необходимо учитывать в каждом отдельном случае.

Для ориентировки в таблице, помещенной ниже, приведены параметры самых лучших реализованных устройств различного типа.

Так как дальнейшее развитие детекторных систем связано с повышением их разрешающей способности (например, временная дисперсия экспериментального ФЭУ Вонтерса /114/ сведена до 10^{-11} сек), можно ожидать, что в ближайшее время ширина канала анализаторных систем должна достичь величины примерно до 10^{-11} сек. Конечно, это приведет к повышению требований к стабильности, линейности и схемному разрешению преобразовательных систем.

В связи с разрешением области применения полупроводниковых детекторов намечается и другая тенденция развития — улучшение чувствительности, которая должна возрасти приблизительно на два порядка и достичь величины примерно 10^{-3} в.

Само собой разумеется, что делать прогнозы о дальнейших путях развития методики временного наносекундного анализа довольно трудно — это связано прежде всего с теми детекторами, которые будут применяться в будущем, и может пойти по совсем неожиданным для настоящего времени направлениям.

Т а б л и ц а

Важнейшие параметры применяемых систем

Метод анализа	Специфич. временной диапазон	Схемное времен. разреш.	Линейность	Макс. число к-лов	Макс. число к-лов в сек N_{max1} [$\frac{кан}{с}$]	Долговр. стабильн.	Темпер. стабильн.
	$t[нс]$	$r_g[ps]$	$p[\%]$	N_{max}		$s[\frac{ps}{час}]$	$s_t[\frac{ps}{град C^o}]$
Быстрый анализатор	больше 100	1000	лучше 0,1%	10000	1	-	-
Конверт. "старт-стоп"	5-50	8	лучше 1%	5000	100	10	2
Конверт. "перекрытие"	5-50	4,8	0,15%	5000	100	10	3,5
Конверт. Е 80 Т	5-50	7	5%	-	-	100	-
Конверт. дифференц. типа	5-50	50	лучше 1%	-	-	1,5	1,5

Л и т е р а т у р а

1. H. Waard, Nucl. Instr. Febr. (1958).
2. А.Линев. Преприят ОИЯИ, 803, Дубна, 1961.
3. J. Neiler, W. Good. Fast Neutrons Physics. A. IV. N.Y. (1963).
4. M. Bontz, Nucl. Instr., 22, 22 (1963).
5. B. Rossi, N. Nereson. Rev. Sc. Instr., 17, 65 (1963).
6. H. Meyer. C.R. Electr. Nucl. Paris 1963, p. 679 (1964).
7. J. Whittaker, P. Giraud. C.R. Electr. Nucl. Paris, 1963, p. 663 (1964).
8. P. Durand, P. Giraud, C.R. Electr. Nucl. Paris, 1963, p. 643 (1964).
9. P. Durand, P. Giraud, G. Brudermüller, B. Rentner. C.R. Electr. Nucl. Paris, 1963, p. 679. (1964).
10. C. Cottini, E. Gatti, G. Gianelli. Nuovo Cimento, 4, 1550 (1956).
11. C. Cottini, E. Gatti, G. Gianelli. Nucl. Instr., 2 (1958).
12. C. Cottini, E. Gatti, G. Gianelli. Proc. Symp. Adv. Pulse Techn. Nucl. Count. ACRL 8706 (1959).
13. C. Cottini, E. Gatti, G. Gianelli. C.R. Electr. Nucl., Wien (1959).
14. H. Lefevre, J. Russel. Bul. Am. Phys. Soc., II, 2 (1957).
15. H. Lefevre, J. Russel. Nucleonics, 16 (1958).
16. H. Lefevre, J. Russel. IRE Trans. Nucl. Sc., 146. Dec. (1958).
17. H. Lefevre, J. Russel. Rev. Sc. Instr., 30 (1959).
18. R. Borchers, H. Lefevre, C. Poppe. Bul. Am. Phys. Soc. II. 6 (1961).
19. А.Курашов, В.Сидоров. ПТЭ, № 6 (1961).
20. А.Иванов, С.Чубаров. Труды V конф. ядерн. электр. Госатомиздат, Москва (1963).
21. H. Lefevre, R. Borchers, C. Poppe. Rev. Sc. Instr. Oct. (1962).
22. R. Anderson, M-c Daniel. Nucl. Instr. Febr. (1963).
23. K. Malmfors, J. Kjellman, A. Nilson. Nucl. Instr., 1, 186 (1957).
24. J. Brotzman. Rev. Sc. Instr., 31 (1960).
25. J. Christiansen, D. Gupta, D. Schmidt, B. Zeitnitz. C.R. Electr. Nucl. Belgrade, 1961 Ne/ 117 (1962).
26. D. Bloess. Nucl. Instr., 21 (1963).
27. N. Moody. Electr. Eng., 24 (1952).
28. A. Ferguson, P. Orman, J. Montagne. C.R. Electr. Nucl., Belgrade, 1961, Ne/ 109 (1962).
29. F. Lepri, L. Mezetti, G. Stoppini. Rev. Sc. Instr., 26 (1955).
30. W. Weber, C. Johnstone, L. Cranberg. Rev. Sc. Instr., 27 (1956).

31. L. Beghian, G. Kegel, R. Scharenberg. *Rev. Sc. Instr.*, 29 (1958).
32. A. Elwin, H. Landon, S. Oselka. *Phys. Rev.*, 114 (1959).
33. M. Birk, G. Goldring. *Phys. Rev.*, 116 (1959).
34. J. Neiller. *Proc. Sec. Symp. Adv. Fast Pulse Techn. Nucl. Count. Berkeley. UCRL - 8706* (1959).
35. G. Gulligan, N. Lipman. *Rev. Sc. Instr.*, 31 (1960).
36. R. Ballini, E. Pomelas. *Nucl. Instr.*, 9 (1960).
37. F. Wells, A. Barlow. *AERE R 2903* (1960).
38. А.Иванов, М.Ляткина, Л.Маталина. *ПТЭ*, № 4 (1961).
39. E. Gatti, Zaglio. *C. R. Electr. Nucl. Belgrade*, 1961, Ne/63 (1962).
40. J. Brun, R. Brevil, C. Victor. *C.R. Electr. Nucl., Belgrade*, Ne/206 (1962).
41. R. Wagner, P. Huber, Z. Lewandowski. *Helv. Phys. Acta*, 34 (1961).
42. А.Иванов, В.Нестеренко. *ПТЭ*, № 6 (1962).
43. P. Thierberger. *Arkiv Fysik*, N 7 (1960)
44. Р.Думитреску. Докл. симп. ядерн. электр., Будапешт, 1963, Дубна (1964).
45. Л. Алмаши, Л. Шандор. Докл. симп. ядерн. электр. Будапешт, 1963, Дубна (1964).
46. W. Melling, J. Schindlmeister, F. Stary. *Nucl. Instr.*, 21 (1963).
47. D. Wieber. *Nucl. Instr. Sept.* (1963)
48. R. Van Zurk, C.R. *Electr. Nucl. Paris*, 1963, p. 619 (1964).
49. G. Preffer, A. Lami, G. Laistriat, A. Coche. *C.R. Electr. Nucl., Paris*, 1963, p. 93 (1964).
50. G. Grin, C. Joseph, J. Adler, B. Vancher. *Helv. Phys. Acta*, 34 (1951).
51. G. Nelson, W. Danson, F. Johnston. *Rev. Sc. Instr.*, 30 (1955).
52. G. Nelson, B. James. *Rev. Sc. Instr.* 26 (1955).
53. G. Jones, J. Warren. *J. Sc. Instr.*, 33 (1956).
54. E. Remy, K. Winter. *J. Phys. Rad.*, 18 (1957).
55. A. Suniar. *Bull. Am. Phys. Soc.*, 2 (1957),
56. J. Samueli, A. Sarazini. *J. Phys. Rad.*, 19 (1958).
57. А.Веретенников, В.Аверченков. *ПТЭ*, № 3 (1958).
58. Holland, F. Lynch, S. Hanna. *Phys. Rev.*, 112 (1958).
59. B. Johanson. *Nucl. Instr.*, 2 (1958).
60. J. Fraser, J. Milton. *Nucl. Instr.*, 2 (1958).
61. J. Garg, B. Torki. *C.R.*, 246, Paris (1958).
62. J. Warren, G. Jones. *Bull. Am. Phys. Soc.*, II (1958).
63. R. Green, R. Bell. *Nucl. Instr.*, 3 (1958).
64. Gorodetsky, F. Muller, M. Port, C. Bergdolt, J. Graff. *J. Phys. Rad.*, 20 (1959).
65. R. Bell, M. Jorgensen. *Nucl. Phys.*, 12 (1959).

66. Gorodetsky, R. Richert, R. Manquenolle, A. Knipper. *Nucl. Instr.*, 7 (1960).
67. Kaul, R. Pixley, R. Schwarz, *Bull. Am. Phys. Soc.*, 115 (1960).
68. J. Samueli, A. Sarazini, *J. Phys. Rad.*, 21 (1960).
69. M. Bonitz, E. Berlowich. *Nucl. Instr.*, 9 (1960).
70. J. Garg. *Nucl. Instr.*, 6 (1960).
71. R. Bell, S. Bjornhom, J. Severiens. *Mat. Fys. Meth.* 32 (1960).
72. Е.Жеребин, Е.Таманов. *ПТЭ*, № 4 (1960).
73. G. Souchere. *CERN Pr. N 1844*.
74. А.Линев, Преприят ОИЯИ, Р-722, Дубна, 1961.
75. М.Бонитц, В.Никитин. *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 25 (1961).
76. J. Burde, M. Bakavy, S. Ofer. *Phys. Rev.*, 124 (1961).
77. W. Currie, R. Azuma, G. Lewis. *Nucl. Instr.*, 13 (1961)
78. D. Nainan. *Phys. Rev.*, 123 (1961).
79. F. Tinta. *C.R. Electr. Nucl. Belgrade 1961 Ne/38* (1962).
80. P. Weinzler, W. Bartl. *C.R. Electr. Nucl., Belgrade*, 1961 Ne/53 (1962).
81. R. Manquenville. *Ann Phys.* 6 (1961).
82. M. Rogérier, P. Vergez. *C.R. Electr. Nucl., Belgrade*, 1961 (1962).
83. М.Дражев. II нац. конф. физ. наук. София (1961).
84. P. Simms. *Rev. Sc. Instr.* 8 (1961).
85. J. Vanna, M. Esvaran. *Phys. Rev.* 125 (1962).
86. G. Cook. *Nucl. Instr. March* (1962).
87. О.Колотов, А.Санин. *ПТЭ*, № 5 (1962).
88. Е.Жеребин, Е.Таманов. *ПТЭ*, № 4 (1960).
89. М.Дражев. Докл. симп. ядерн. электр. Будапешт 1963, Дубна (1964).
90. J. Rodda, J. Griffin, M. Stewart. *Nucl. Instr.* 23 (1963).
91. W. Bartl, P. Wenzler. *Rev. Sc. Instr. March* (1963).
92. Е.Елизаров, О.Карпухин, Ю.Крютяков. *Инф. бюлл.* № 8 /57/ (1963).
93. O. Aspelsund. *Nucl. Instr. May* (1963).
94. H. Jung. *Nucl. Instr. August* (1963).
95. G. Grin, C. Joseph. *Nucl. Instr. September* (1963).
96. P. Vergerac, J. Kahane. *C.R., Electr. Nucl. Paris*, 1963, p. 629 (1964).
97. M. Forte. *C.R. Electr. Nucl. Paris*, 1963, p. 105 (1964).
98. Neilson, Sample, Warren. *Coincidence studies*, p. 1967, *Fast Neutrons Physics - N.Y. Lond.*
99. R. Green, R. Bell. *Nucl. Instr.* 3, 127 (1958).
100. А.Веретенников, В.Аверченков. *ПТЭ*, № 3 (1961).
101. R. Ballini, E. Pomelas. *Nucl. Instr. May* (1961).

102. R. Huber. Nucl. Instr., 14 (1961).
103. R. Bell, M. Jorgensen. Can. J. Phys., 38 (1962).
104. R. Graham, J. Geiger. Nucl. Instr. January (1962).
105. S. Neddermeyer, J. Althaus, W. Allison. Rev. Sc. Instr., 18, 488 (1947).
106. W. Keuffel. Rev. Sc. Instr. 20, 3, 197 (1949).
107. M-с Lusky, F. Moody. Electr. Eng., 24, 293 (1952).
108. R. Grismore, W. Parkinson. Rev. Sc. Instr., 28, 245 (1957).
109. А.Курашов, А.Линев, Б.Рыбаков, В.Сидоров. Атомная энергия, 5, 135 (1958).
110. K. Malmfors, J. Kjellman, A. Nilsson. Nucl. Instr., 1, 186 (1957).
111. N. Moody. Electr. Eng., 24, 289 (1952).
112. N. Moody. Electr. Eng., 24, 292 (1952).
113. J. Slekman. Nucl. Phys., 2 (1956).
114. L. Wonters. IRE Trans. Nucl. Sc. Aug. (1962).

Рукопись поступила в издательский отдел
10 февраля 1965 г.

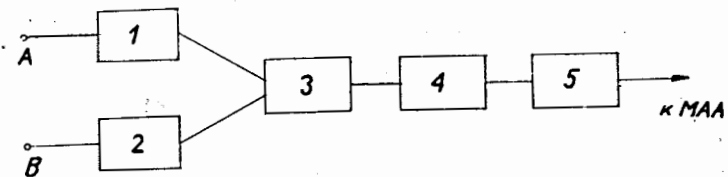


Рис. 1. Общая блок-схема преобразовательного устройства время-амплитуда. А и В - входы "старт" и "стоп", 1 и 2 - устройства формирования, 3 - ключевое устройство, 4 - накопительно-удлинительная система, 5 - линейный усилитель, МАА- многоканальный амплитудный анализатор.

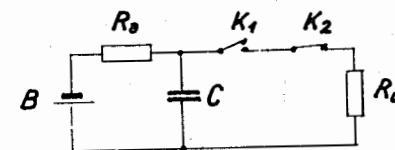


Рис. 2. Упрощенная эквивалентная схема преобразователя, работающего по принципу "старт-стоп".

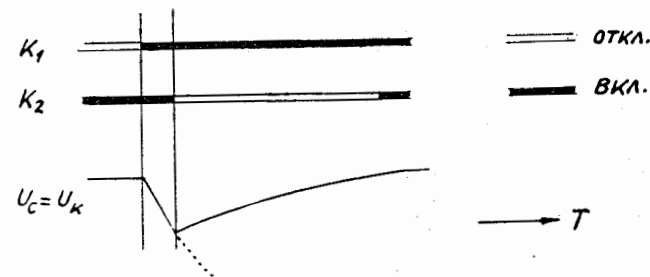


Рис. 3. Временная диаграмма к рис. 2.

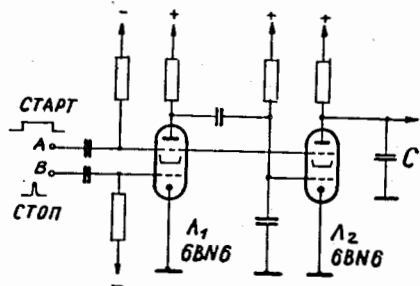


Рис. 4. Упрощенная принципиальная схема преобразователя типа "старт-стоп", выполненного на лампах 6BN6 (6A3П).

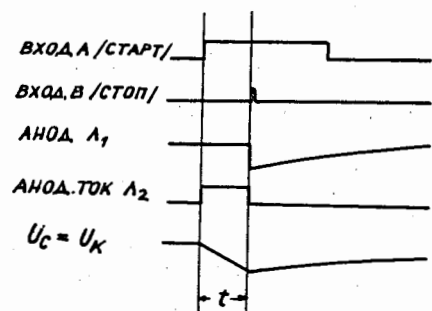


Рис. 5. Временная диаграмма сигналов в разных точках преобразователя, изображенного на рис. 4.

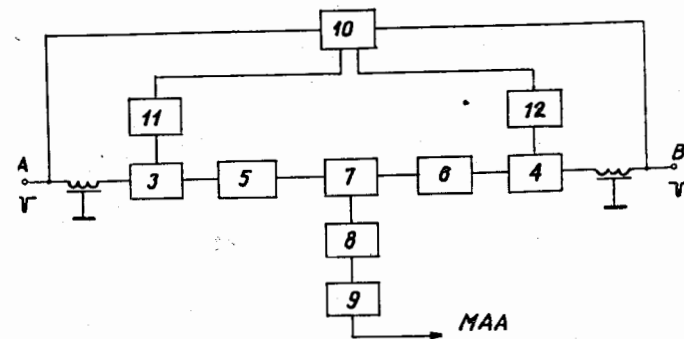


Рис. 6. Блок-схема преобразователя Ван-Зурка. 3,5 и 4,6 - устройства формирования, 7 - ключевое устройство, 8 - система накопления и удлинения, 9 - выходное устройство, 10 - быстрая схема совпадений, 11 и 12 - ключевые устройства к быстрой схеме совпадений.

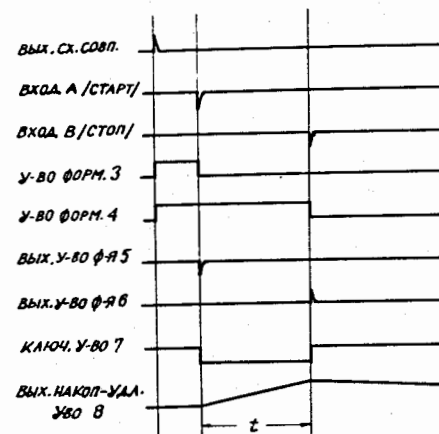


Рис. 7. Временная диаграмма сигналов преобразователя, показанного на рис. 6.

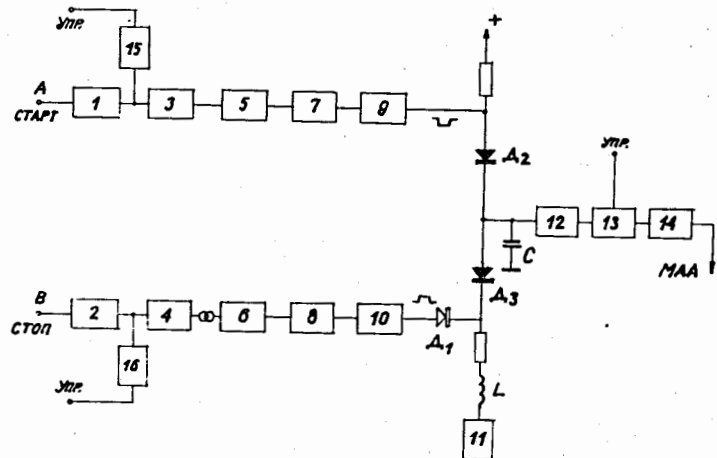


Рис. 8. Блок-схема преобразователя Вибера. 1 и 2 - входные устройства, 3 и 4 - дискриминаторы на туннельных диодах, 5 и 6 - эмиттерные повторители, 7 - и 8 - унвивбраторы, 9 и 10 - эмиттерные повторители, 11 - стабилизатор тока, 12 - эмиттерный повторитель, 13, 15, 16 - ключевые системы управления преобразователя, 14 - линейный усилитель.

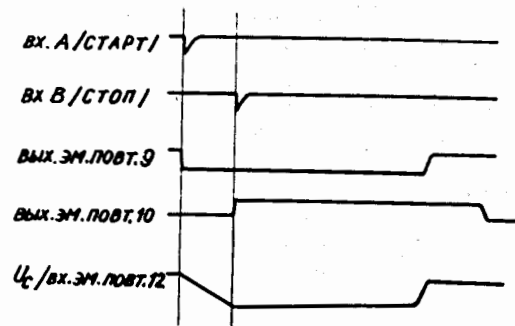


Рис. 9. Временная диаграмма в разных точках преобразователя, изображенного на рис. 8.

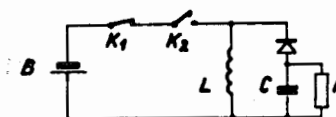


Рис. 10. Эквивалентная схема преобразователя с индуктивностью в накопительной системе.

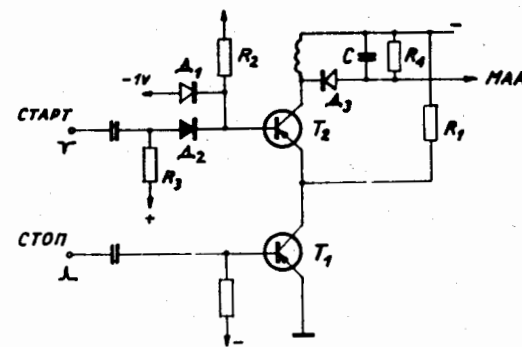


Рис. 11. Упрощенная принципиальная схема преобразователя Кулигена и Липмана.

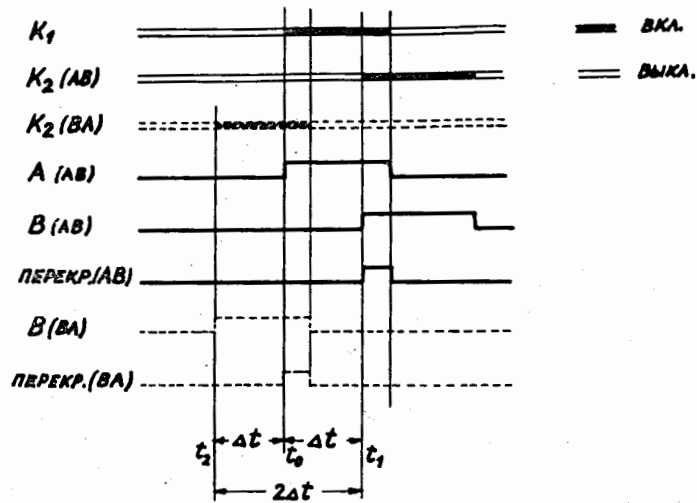


Рис. 12. Временная диаграмма, поясняющая работу конверторов, основанных на принципе "перекрывание импульсов".

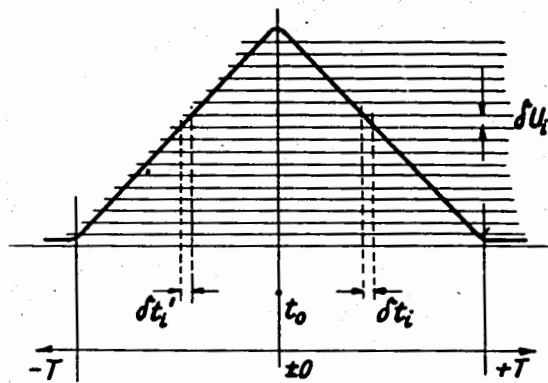


Рис. 13. Время-амплитудная зависимость конверторов, основанных на принципе "перекрывания импульсов" (к пояснению неоднозначности в их временных характеристиках).

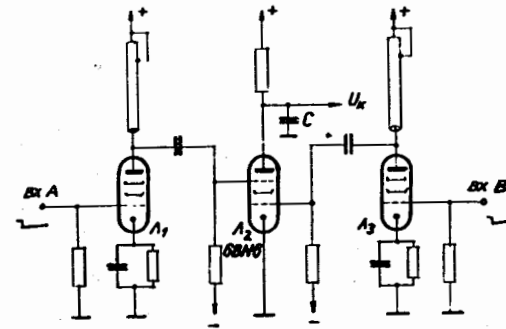


Рис. 14. Упрощенная принципиальная схема преобразователя, работающего по принципу "перекрывание импульсов" на лампе 6BN6 /6АЗП1/.

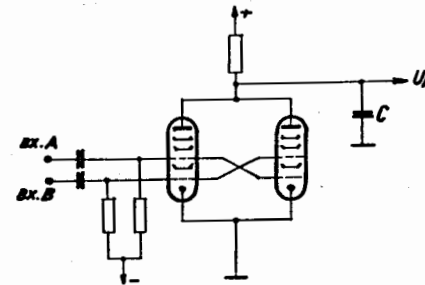


Рис. 15. Симметричная схема преобразователя на многосеточных лампах.

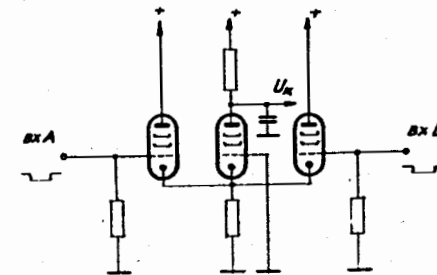


Рис. 16. Упрощенная принципиальная схема с катодной связью.

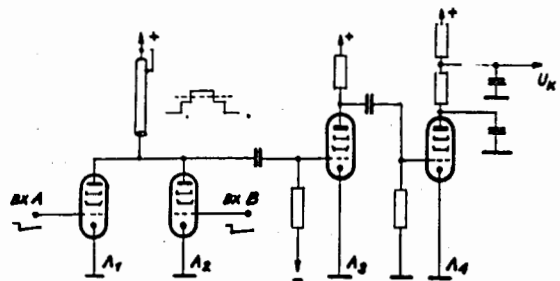


Рис. 17. Упрощенная принципиальная схема преобразователя Городецкого.

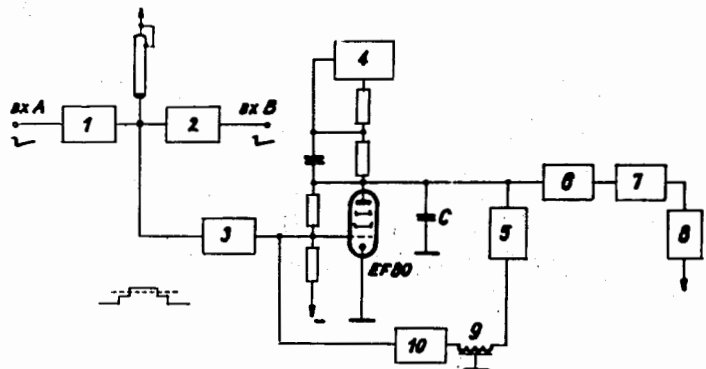


Рис. 18. Блок-схема преобразователя Юнга. 1 и 2 - устройства формирования, 3 - дискриминатор, 4 - стабилизатор тока, 5, 9 и 10 - устройство обратного возвращения, 7 - симметризирующее устройство, 8 - линейный усилитель.

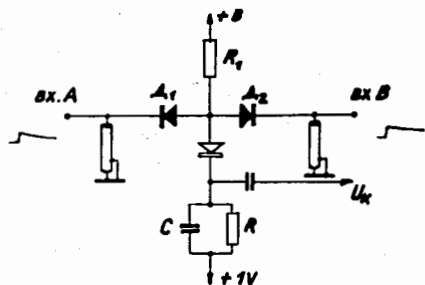


Рис. 19. Принципиальная схема преобразователя диодного типа, работающего по принципу "перекрытие импульсов".

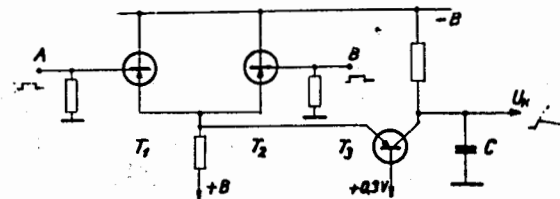


Рис. 20. Упрощенная принципиальная схема транзисторного преобразователя, работающего по принципу "перекрытие импульсов".

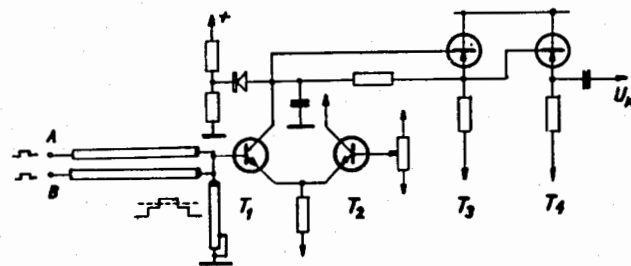


Рис. 21. Упрощенная принципиальная схема преобразователя Рода и Грифина, работающего по принципу "перекрытие импульсов".

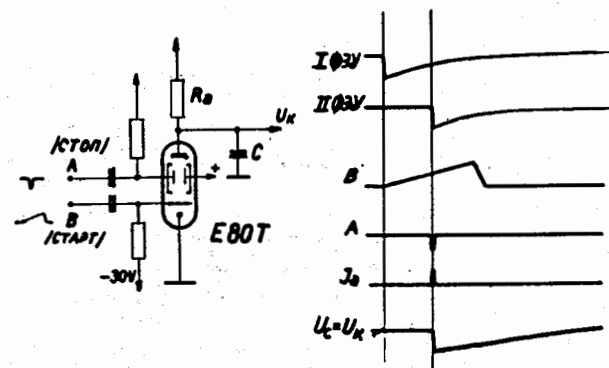


Рис. 22. Упрощенная принципиальная схема преобразователя, работающего на лучевой лампе типа Е 80 Т.

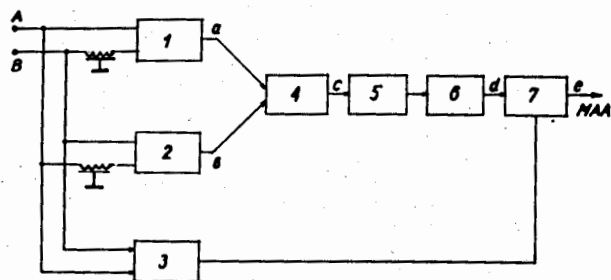


Рис. 23. Блок-схема преобразователя дифференциального типа. 1 и 2 - преобразовательные системы, 3 - схема совпадений, 4 - дифференциальный усилитель, 5 - линейный усилитель, 6 - выпрямитель, 7 - ключевое устройство.

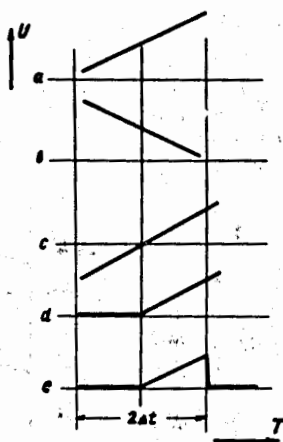


Рис. 24. Диаграмма время-амплитудных соотношений конвертора, изображенного на рис. 23.