

15  
В-93  
688



М. Высочанский, С.В. Мухин, Пин Цунь-пин, С.В. Рихвицкий,  
И.Н. Семенюшкин

688

МНОГОКАНАЛЬНАЯ СХЕМА СОВПАДЕНИЙ  
С МАЛЫМ ВРЕМЕНЕМ РАЗДЕЛЕНИЯ

*ТТЭ, 1961, №5, с 67-70.*

М. Высочанский, С.В. Мухин, Пин Цунь-пин, С.В. Рихвицкий,  
И.Н. Семенюшкин

688

МНОГОКАНАЛЬНАЯ СХЕМА СОВПАДЕНИЙ  
С МАЛЫМ ВРЕМЕНЕМ РАЗДЕЛЕНИЯ

1065/9 чр.

20/20

Объединенный институт  
ядерных исследований  
Б. П. ЛЕНИНСКОГО

Рассматривается диодная схема совпадений с малым временем разделения.  
При работе со сцинтилляционными счетчиками на трехканальной схеме совпадений при эффективности выше 95% получено разрешающее время  $\tau = 1,5$  нсек и время разделения-полуширина кривой совпадений на уровне 0,1%  $N_{max} - \tau_{q1} = 3$  нсек. Мертвое время схемы совпадений (при совпадающих импульсах) составляет 300 нсек. Схема работает от отрицательных импульсов с амплитудой  $\approx 500$  мв.

Как известно, основными параметрами схемы совпадений являются разрешающее время  $\tau$ , эффективность  $\epsilon$  и мертвое время  $\tau_m$ .

Однако для целого ряда задач описание схемы совпадений только тремя этими параметрами будет недостаточным. Так, например, при постановке опытов на ускорителях по определению массового состава вторичных частиц по времени пролета необходимо знать не только разрешающее время схемы совпадений, т.е. полуширину кривой совпадений на полувывоте, но и форму этой кривой.

Это требование связано с тем, что в такого рода опытах приходится иметь дело с частицами разных сортов, интенсивности которых могут колебаться относительно друг друга в пределах нескольких порядков.

Естественно, что при таких условиях можно будет судить о том, удастся ли разделить соседние пики масс или нет, если будет задана ширина кривой совпадений на полувывоте минимального по интенсивности пика.

Полуширину кривой совпадений на заданном уровне будем называть временем разделения  $\tau_i$ . Индекс  $i$  выражается в процентах и означает, на каком уровне относительно максимума рассматривается полуширина кривой совпадений.

В данной работе это будет полуширина кривой совпадений на уровне  $0,1\% N_{max}$ , где  $N_{max}$  — скорость счета совпадений в максимуме кривой, т.е.  $\tau_i = \tau_{0,1}$ .

Для определения физических экспериментов на синхрофазотроне ОИЯИ необходимо было разработать многоканальную схему совпадений со временем разделения  $\tau_{0,1} \leq 4$  нсек при эффективности не хуже 90%.

Предварительные исследования показали, что наиболее перспективным для получения заданных параметров является элемент отбора совпадений, предложенный А.А. Руденко<sup>1/</sup>.

Рассматриваемая ниже схема совпадений состоит из: 1) сцинтилляционных счетчиков, 2) ограничителей амплитуд, 3) формирующих устройств, 4) элемента отбора совпадений, 5) усилителя, 6) дискриминатора.

#### Сцинтилляционный счетчик

При разработке схемы совпадений наносекундного диапазона, рассчитанной на работу со сцинтилляционными счетчиками, необходимо учитывать то обстоятельство, что длительность фронта импульсов и их временной разброс оказываются того же

порядка, что и разрешающее время схемы совпадений. Поэтому основные параметры схемы совпадений в сильной степени зависят как от выбора сцинтиллятора и соответствующего типа фотоумножителя, так и от монтажа делителя напряжения и выходной части ФЭУ.

Нами были использованы пластмассовые сцинтилляторы, приготовленные из полистирола с добавкой 2% терфенила и 0,02% РОРОР<sup>2/</sup>. Размеры сцинтиллятора составляли 60х60х20 мм<sup>3</sup>. Световые вспышки из сцинтиллятора передавались на фотокатод по световоду, изготовленному из плексигласа, длиной 60 мм. Для улучшения оптических контактов было использовано вазелиновое масло.

Крутизна нарастания переднего фронта и полная длительность импульсов ФЭУ-36, использованных в сцинтилляционных счетчиках, приведены в работе<sup>3/</sup> и равны

$$S = \frac{I_a}{t} = 400 \text{ мА/нсек,}$$

$$t = 6 \div 9 \text{ нсек.}$$

Максимальная амплитуда импульсов с ФЭУ-36 при работе с  $\gamma$ -квантами Со<sup>60</sup> и пластмассовым сцинтиллятором лежала в диапазоне 3-7в (измерения были проведены с осциллографом ДЭСО-1). Рабочее напряжение на фотоумножителях не выходило за пределы 2-3 кв.

В процессе измерений было обнаружено, что наряду с основным максимумом счета для кривых задержанных самосовпадений, имеются ложные максимумы счета, отстоящие от основного, примерно, через каждые 4 нсек. Эти ложные максимумы счета, по-видимому, обусловлены паразитными емкостями и индуктивностями системы фотоумножитель-делитель напряжения. При введении развязывающих сопротивлений порядка 100 ом, включенных последовательно с диодами, интенсивность этих максимумов была уменьшена, примерно, в 100 раз без уменьшения интенсивности основного максимума счета.

Конструкция счетчиков обеспечивала надежное экранирование фотоумножителя от рассеянных магнитных полей, наикратчайшее расстояние между анодом ФЭУ и выходной высокочастотной фишкой.

### Блок задержки

Блок задержки был выполнен в виде магазина из кабелей типа РК-2 разной длины. Длины кабелей были подобраны таким образом, чтобы при наличии одной перемычки можно было производить коммутацию задержек по десятичной системе через 0,5 нсек в диапазоне  $\pm 30$  нсек. Точность калибровки задержек составляла 0,1 нсек.

### Ограничитель с формирующим устройством

Получение заданных параметров схемы совпадений при выбранном элементе отбора совпадений накладывает ряд специфических требований на тип и характер работы ограничителя. Основные из этих требований сводятся к следующим:

- а) обеспечение достаточной полосы пропускания ограничителя с тем, чтобы передать передний фронт импульса с ФЭУ без искажений;
- б) возможность изменения длины формирующей линии в достаточно широких пределах;
- в) низкоомный выход.

Было исследовано несколько вариантов ограничителей. Наиболее целесообразным оказался разработанный нами диодный ограничитель на лампе со вторичной эмиссией 6В1П. Схема ограничителя представлена на рис. 1. Импульсы отрицательной полярности подаются по высокочастотному кабелю РК-2, нагруженному на волновое сопротивление, на вход ограничителя. Нагрузкой в цепи диода является параллельное соединение коаксиального кабеля РК-2 и формирующей линии в виде короткозамкнутого отрезка того же типа. Напряжение относительно диода: на аноде +100 в, на сетке - 150в.

Напряжение диод-катод должно быть стабилизировано. Стабилизация рабочей точки лампы обеспечивается отрицательной обратной связью по напряжению и току. Для индикации замыкания контактов цепи ФЭУ - блок задержки - ограничитель на входе ограничителя установлена неоновая лампа МН-5.

На рис. 2 приведена характеристика коэффициента передачи ограничителя и на рис. 3 - форма импульса на входе (а) и выходе ограничителя (б) при длине формирующего кабеля  $l_{\phi} = 1$  м.

Как видно из рис. 2, характеристика коэффициента передачи может быть разбита на три участка: область линейного усиления (ОА) с максимальным входным напряжением до 0,8 в, область нелинейного усиления (АВ) при входном напряжении порядка 0,8 - 2в и область ограничения - при  $U_i \geq 2$  в, когда выходное напряжение остается практически постоянным.

Измерения были проведены при помощи осциллографа ОС-513 (полоса пропускания  $> 100$  МГц и генератора импульсов  $\tau_{\text{ф}} = 4 \cdot 10^{-9}$  сек,  $U \leq 5$  в).

#### Элемент отбора совпадений

Как уже отмечалось, в качестве элемента отбора совпадений (э.о.с.) была использована схема, предложенная А.А.Руденко. Принцип работы э.о.с. описан в /1/. К числу достоинств этой схемы (рис. 1) следует отнести: многоканальность, бес-  
токовое включение диодов (диод открывается только при отсутствии на одном из входов схемы сигнала). Такой способ включения диодов дает возможность уменьшить время разделения без потери в эффективности регистрации совпадений. Недостаток рассматриваемого э.о.с. - малый коэффициент передачи, который в нашем случае составляет несколько процентов.

Внесенные изменения в э.о.с. носили, главным образом, конструктивный характер. Так, например, емкости, шунтирующие диоды, были заменены на подстроечные конденсаторы 0,7-4,5 пф. Последние позволяли производить как оперативную компенсацию разбросов параметров диодов и индивидуальную коррекцию чувствительности каждого канала совпадения, так и существенно облегчали настройку оптимального режима работы схемы при переходе на другое число каналов совпадений. При наладке схемы был изменен тип диодов. Были использованы кремниевые диоды ДК-С1 и для проходного диода был взят диод ДГ-С4. Эти диоды по сравнению с диодами, указанными автором э.о.с., имеют более низкое прямое сопротивление и удобны с точки зрения эксплуатации.

Для катодного повторителя (на выходе э.о.с.) была использована лампа типа "желудь" (6С1Ж) с малой величиной входной емкости ( $C_{\text{вх}} = 1$  пф,  $C_{\text{прох.}} = 1,4$  пф).

При наладке схемы были обнаружены некоторые отклонения<sup>х)</sup> от ожидавшихся, величин (коэффициент отбора совпадений, коэффициент передачи и др.). При ближайшем рассмотрении оказалось, что эти отклонения обусловлены, прежде всего, резким увеличением прямого сопротивления диодов ДК-С1 при понижении отпирающего напряжения на клеммах диода ниже 0,3 в.

### У с и л и т е л ь

Проведенные измерения показали, что коэффициент передачи э.о.с. в случае совпадающих импульсов составляет, примерно, 0,04. С учетом диапазона амплитуд сигналов, подлежащих дискриминации необходимо, чтобы коэффициент усиления был не менее 60 дб. Помимо этого усилитель должен обеспечивать: 1) время нарастания не хуже 100 нсек, 2) линейность не хуже 5%, 3) мертвое время не более 500 нсек, 4) инвертировать фазу входного сигнала и усиливать только входные отрицательные импульсы.

Последнее требование предусматривает как запуск дискриминатора положительным по знаку импульсом, так и подавление выбросов обратной полярности, возникающих при появлении на входах э.о.с. одиночных или несовпадающих импульсов.

За основу был взят трехкаскадный усилитель с коррекцией усиления по высокой частоте с вынесенным отдельным предусилителем (рис.1).

Предусилитель составляет с элементом отбора отдельный блок и сконструирован как ячейка: катодный повторитель (6С1Ж) плюс усилитель с заземленной сеткой (6Ж5П). Импульс на выходе предусилителя имеет ту же полярность, что и на входе. Коэффициент усиления каскада  $K_1 \approx 12 \text{ дб}$ .

Трехкаскадный усилитель, как видно из рис. 1, состоит из двух широкополосных пентодов 6Ж5П и мощной лампы 6Э5П в оконечном каскаде. Общий коэффициент усиления составляет  $K_2 \approx 48 \text{ дб}$ . Коррекция по высокой частоте обеспечивается путем включения индуктивности порядка 10 мкг последовательно с анодной нагрузкой в анодах ламп. Для подавления импульсов обратной полярности на

<sup>х)</sup> Эксперименты показали, что для дальнейшего совершенствования схемы необходимо выяснить как проблемы, связанные с э.о.с., так и определить область, в которой действительны теоретические предположения, обеспечивающие его оптимальный режим.



выходе предпоследнего и последнего каскадов усилителя установлены диодные ограничители. Ограничитель минимума в анодной цепи оконечной лампы имеет возможность регулировки порога в пределах 0–30 в.

На осциллограммах (рис.4) показана работа ограничителя по подавлению фона усилителя при задержке одного из входных импульсов ( $t_3 = 25$  нсек) при нулевом пороге ограничителя обратной полярности  $E_y = 0$  (а) и то же самое при  $E_y = 0,3$ в (б).

Было определено время нарастания импульса на выходе усилителя. Оно составляло  $\tau = 60$  нсек (рис. 4в).

На рис. 4 г,д,е приведены осциллограммы выходных импульсов с усилителя при подаче на его вход парных импульсов, сдвинутых относительно друг друга во времени. На рис. 4 г этот временной сдвиг составлял 1 мксек. На рис. 4 д,е соответственно 300 нсек и 150 нсек. Напряжение в промежутке между двумя импульсами при этом составляло соответственно 10% и 50% от амплитуды выходного сигнала. Все измерения были проведены при помощи генераторов ГКИ-1 ( $\tau_{\text{ф}} \approx 10$  нсек), запуск которых осуществлялся генератором ГИС-1 и осциллографом ОС-513.

### Д и с к р и м и н а т о р

В качестве дискриминатора использована схема, предложенная Коллинжем<sup>14/</sup>, с некоторой модернизацией. Дискриминатор состоит из двух каскадов: собственно дискриминатора, собранного на двойном триоде 6Н6П с двумя диодами Д-2В, и быстрой спусковой схемы - на лампе 6В1П.

Введенная входная **RC** дифференцирующая цепочка позволила устранить в широком интервале длительностей импульсов (30 ÷ 500 нсек) возможность повторных срабатываний дискриминатора.

На рис. 5а, б,в приведены осциллограммы входного и выходного импульсов при следующих условиях: амплитуда входного импульса  $U_1 = 2$  в, длительность импульса  $\tau = 20 - 100 - 500$  нсек, порог дискриминатора  $E_{\text{п}} = 0$ .

Перегрузочная способность дискриминатора при подаче на вход импульсов большой амплитуды показана на осциллограммах (рис.5 г, д, е) при длительности  $\tau = 100$  нсек, амплитуде  $U_1 = 2 - 10 - 40$  в.

Осциллограммы входных и выходных импульсов при разном временном сдвиге приведены на рис. 5 ж, з. Мертвое время дискриминатора равно 300 нсек.

Амплитуда выходного импульса на конце согласованного кабеля составляла 7,5 в.

### Работа на ускорителе

Определение основных параметров трехканальной схемы совпадений проводилось при работе с телескопом из пяти спинтилляционных счетчиков в  $\pi$ -мезонном пучке на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем.

Мониторирование осуществлялось от двух счетчиков при помощи стандартной схемы совпадений БДС-1.

Была измерена зависимость скорости счета тройных совпадений от напряжения на ФЭУ при длине формирующего кабеля 0,3 м. Как видно из рис.6, плато по напряжению составляло около 300 в.

Далее при выбранном в центре плато напряжении на ФЭУ была измерена зависимость скорости счета тройных совпадений от смещения на дискриминаторе при разных длинах формирующих кабелей: 1 м, 0,5 м, 0,3 м и 0,15 м. Полученные результаты приведены на рис. 7.

При выбранных значениях напряжения на ФЭУ и порога дискриминатора были измерены кривые задержанных совпадений (рис. 8) при разных длинах формирующих кабелей. Как видно из рис. 8, разрешающее время схемы тройных совпадений и время разделения в зависимости от длины формирующих кабелей соответственно равны:

$l_{\text{ФЭУ}} = 0,15 \text{ м}$	$\tau = 0,8 \times 10^{-9} \text{ сек}$	$\tau_{0,1} = 2,1 \times 10^{-9} \text{ сек}$
$l_{\text{ФЭУ}} = 0,3 \text{ м}$	$\tau = 1,6 \times 10^{-9} \text{ сек}$	$\tau_{0,1} = 3,1 \times 10^{-9} \text{ сек}$
$l_{\text{ФЭУ}} = 0,5 \text{ м}$	$\tau = 2,1 \times 10^{-9} \text{ сек}$	$\tau_{0,1} = 3,8 \times 10^{-9} \text{ сек}$
$l_{\text{ФЭУ}} = 1,0 \text{ м}$	$\tau = 3,0 \times 10^{-9} \text{ сек}$	$\tau_{0,1} = 5,8 \times 10^{-9} \text{ сек.}$

Если принять эффективность регистрации совпадений при длине формирующего кабеля 1 м равной 100% (последнее подтверждается наличием плато по регистрации совпадений в зависимости от напряжения на ФЭУ, наличием плато в зависи-

мости от порога дискриминатора и  $\Pi$ -образной кривой задержанных совпадений, то можно получить зависимость эффективности схемы совпадений, разрешающего времени и времени разделения от длины формирующего кабеля, представленную на рис. 9.

Как видно из рис. 9, эффективность схемы совпадений остается неизменной и равной 100 % вплоть до величин  $\tau$  порядка 1,8 нсек и  $\tau_{0,1} = 3,2$  нсек. Получение более короткого разрешающего времени и времени разделения связано с потерей эффективности регистрации совпадений. На рис. 10, 11 приведены результаты измерения кривых задержанных совпадений при разных порогах дискриминации. Длина кабеля формирования составляла при этом 0,3 м.

#### Особенности конструкции

Для монтажа блоков и узлов схем, в которых протекают импульсные токи с короткими фронтами импульсов, было разработано универсальное кольцевое шасси. Кольцевое шасси позволило более полно удовлетворить электрическим требованиям в отношении минимальной паразитной емкости, длины соединительных проводов и равенства условий работы всех каналов элемента отбора совпадений. Одновременно обеспечивался удобный доступ ко всем элементам схемы при сохранении неприкосновенности монтажа и экранировки их от электромагнитных полей.

Представлялось рациональным применить универсальное кольцевое шасси для монтажа блоков диодных ограничителей и амплитудного дискриминатора.

В связи со значительным разбросом параметров фотоумножителей представлялось целесообразным подбирать оптимальный высоковольтный делитель для каждого экземпляра ФЭУ. Делители устанавливались на разъемах и могли быть легко сменены одновременно с заменой ФЭУ.

Авторы пользуются случаем выразить благодарность А.Г. Берковскому, за содействие при выполнении работы, Вишняковой В.М., Шкобиной М.Н. и Хренову А.Н., принимавшим участие в монтаже и наладке схемы совпадений.

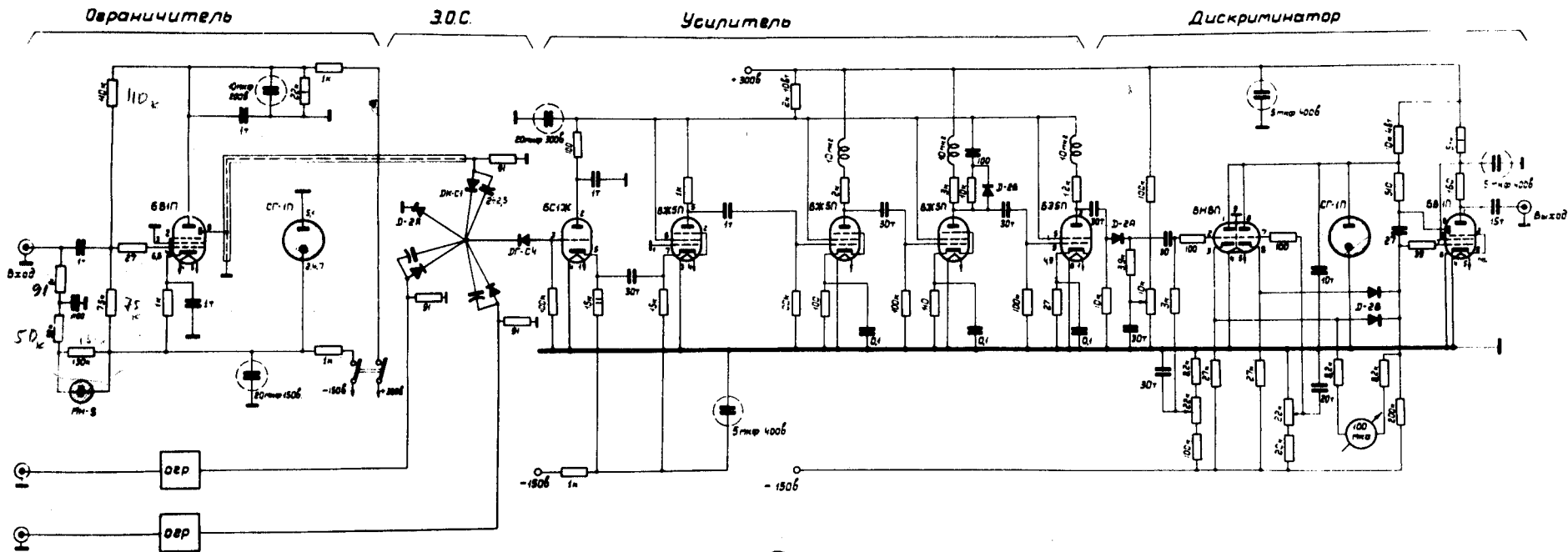


Рис.1

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА

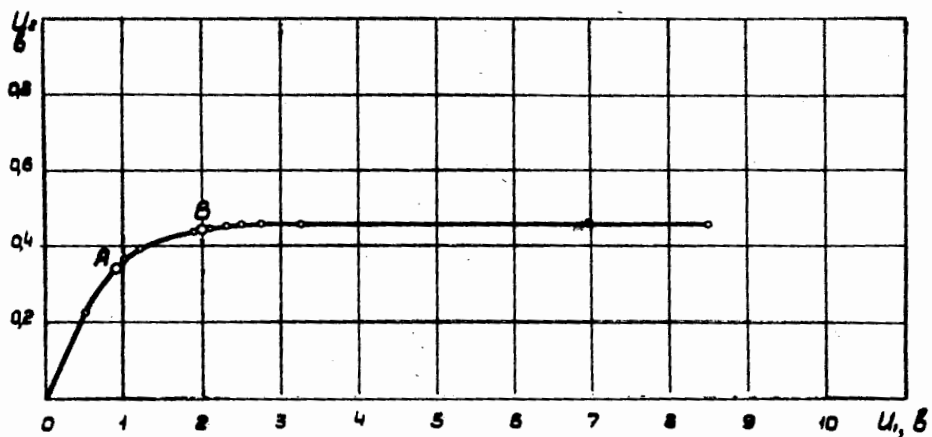
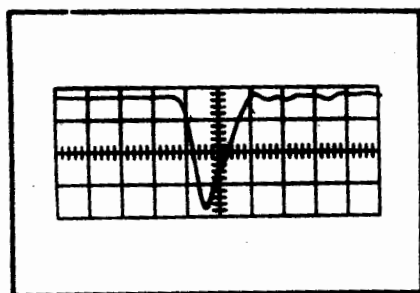
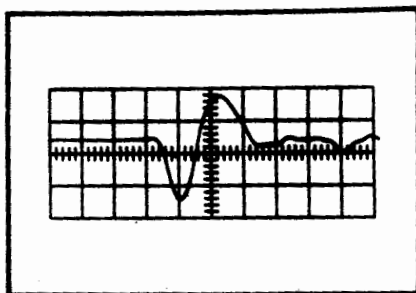


Рис.2



а

— 10 нсек  
I 16



б

— 10 нсек  
I 0,25 б

Рис.3

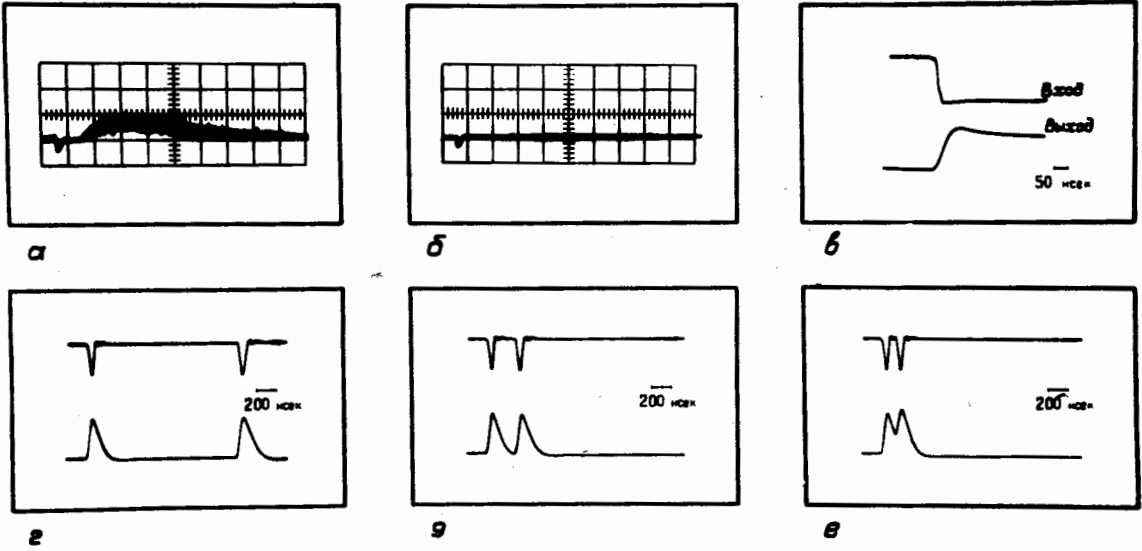


Рис. 4

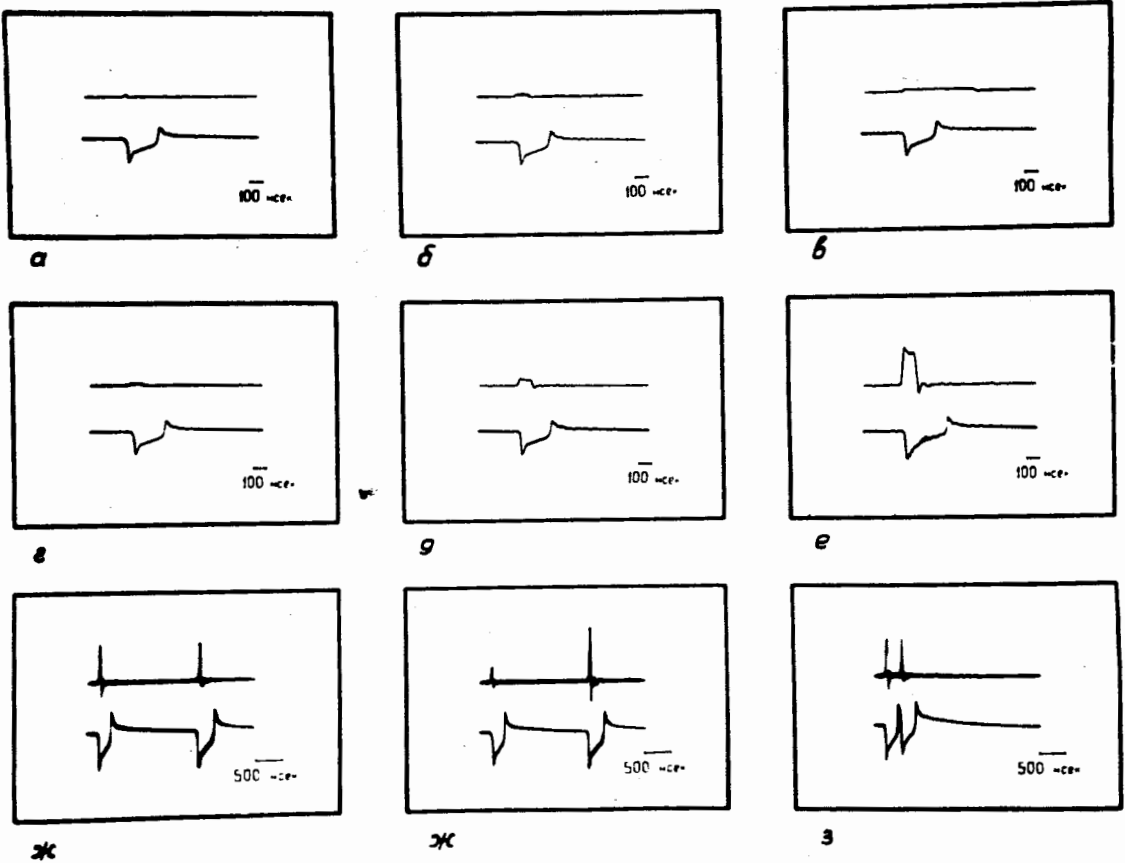


Рис. 5

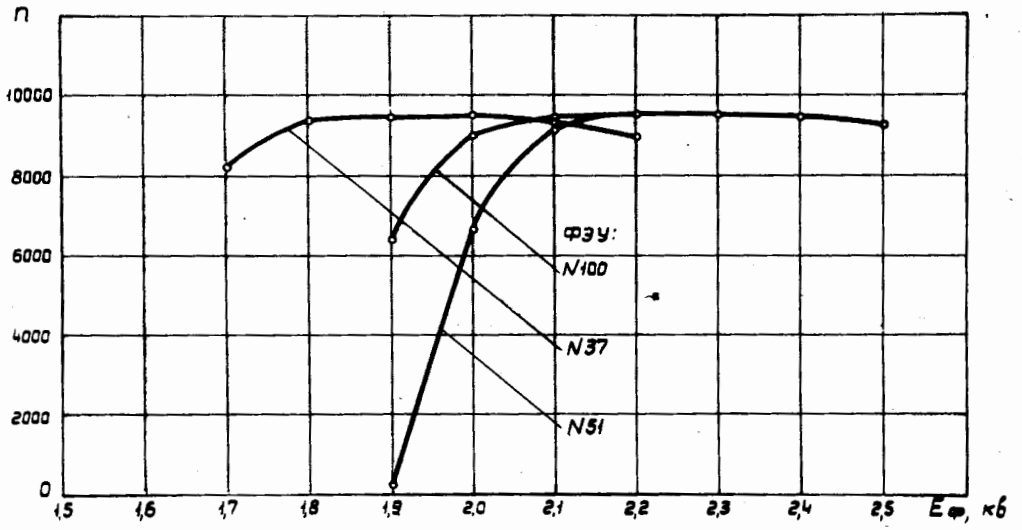


Рис. 6

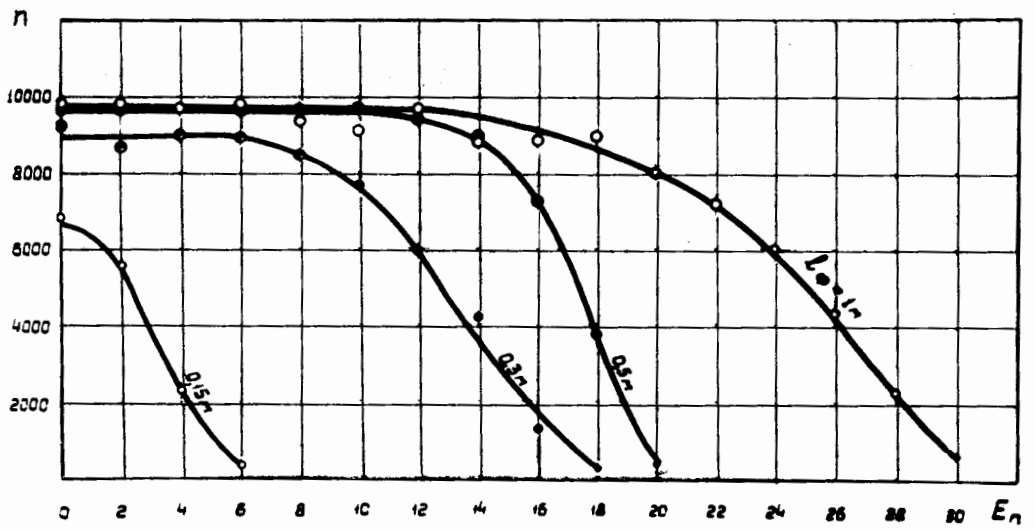
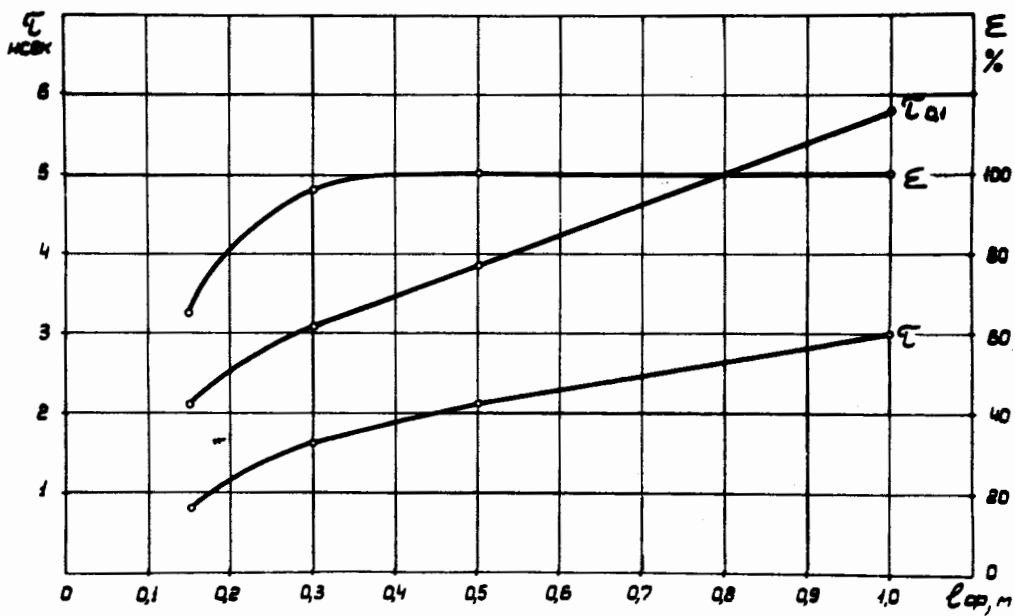
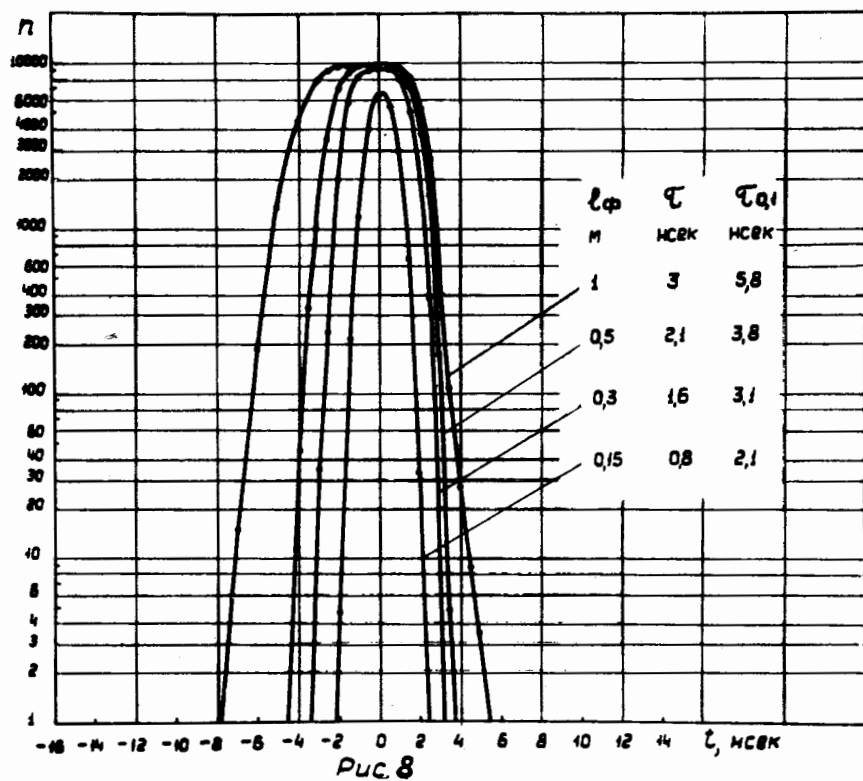


Рис. 7





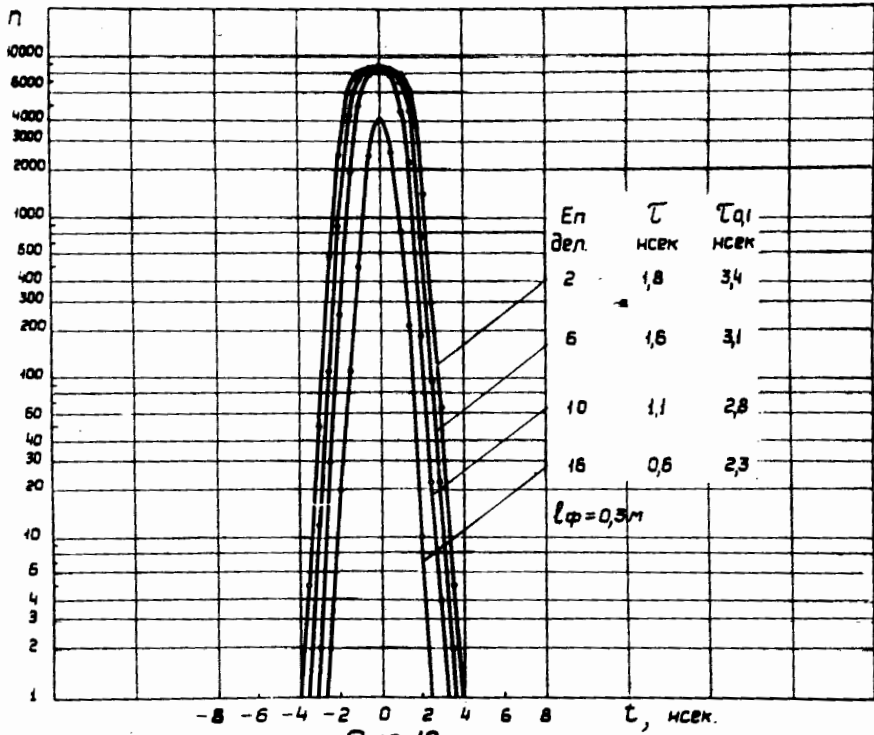


Рис. 10

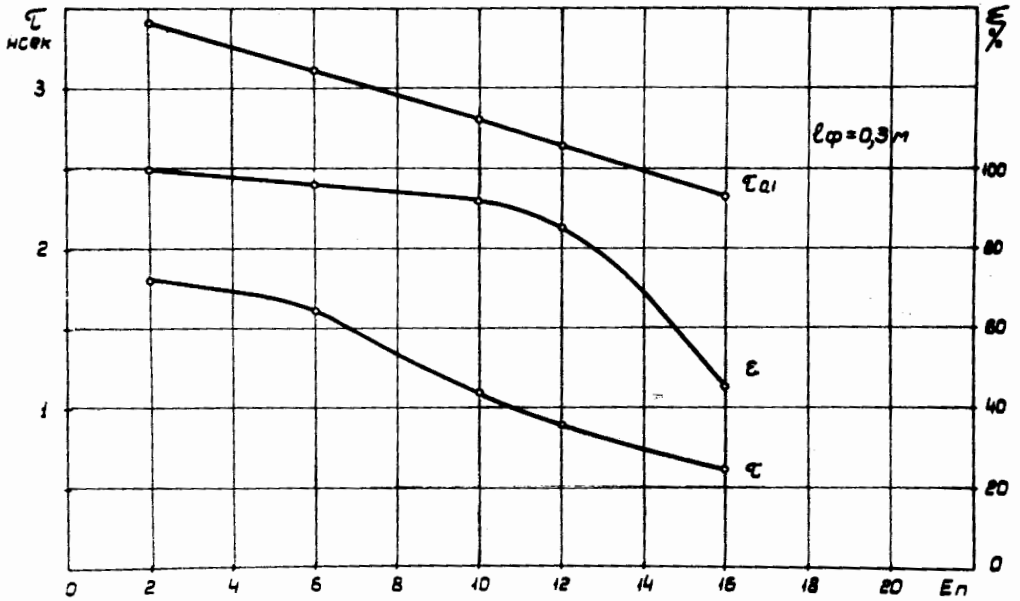


Рис. 11

Л и т е р а т у р а

1. А.А. Руденко. ПТЭ, 6, 60, 1958.
2. М.Н. Медведев, Л.Я. Жильцова, Е.Н. Матвеева. ПТЭ, 1, 55, 1957.
3. А.Г. Берковский, В.Г. Польский. Радиотехника и электроника. 9, 1475, 1960.
4. B. Collinge, A.W. Merrison, D. Eceleshall. J. Sci. Instrum., 32, 72 (1956).

Рукопись поступила в издательский отдел  
3 марта 1961 года.