

ПРИСТАВКА К ЭЛЕКТРОННОМУ ОСЦИЛЛОГРАФУ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ РАЗВЕРТКИ

Ю. Д. Мазур-Джуриловский, В. К. Маригодов

Севастополь

Для регистрации быстро протекающих импульсных процессов сложной формы широко используются электронно-лучевые осциллографы со ждущей разверткой. Они не только обеспечивают удобную форму регистрации путем фотографирования кривой развертки на экране осциллографа, но и позволяют регистрировать импульсы, спектральный состав которых лежит в области, недоступной для шлейфовых осциллографов.

Однако применение электронно-лучевых осциллографов весьма затруднительно и практически невозможно в тех случаях, когда необходимо регистрировать процессы относительно большой длительности с высокими скоростями развертки (например, при моделировании действия взрыва на различные сооружения, исследования характера колебаний сложных механических систем, изучении динамических особенностей отраженных и преломленных волн при моделировании волновых процессов и т. д.).

Это требование обусловлено тем, что при исследовании указанных явлений важно получить достаточно достоверные данные об интенсивности и форме отдельных механических импульсов, а также проследить характер изменения и последовательность их во времени.

В осциллографах обычных конструкций увеличение длительности развертки электронного луча связано с необходимостью уменьшения ее скорости, так как максимальная величина горизонтального хода луча определяется размерами экрана. При этом оказываются недоступными для исследования важные моменты сложных неперiodических процессов, протекающих в относительно короткие промежутки времени.

Некоторые специальные конструкции позволяют записывать быстро протекающие процессы относительно большой длительности на движущуюся фотопленку. Однако они громоздки ввиду наличия специальных систем протяжки пленки. При использовании таких осциллографов расходуется значительное количество фотопленки высокой чувствительности, обработка ее усложняется. Более эффективны устройства, которые дают возможность увеличить общую длительность записи, регистрируя несколько последовательных циклов разверток на одном фотоснимке с экрана осциллографа. Для этого применяются различные электромеханические и электронные коммутаторы, при помощи которых на вертикально-отклоняющие пластины осциллографа синхронно с движением электронного луча подаются ступени постоянного напряжения. В результате циклы разверток располагаются на экране в определенной последовательности, благодаря чему достигается возможность расшифровывать получаемую на экране картину разверток.

Однако такие системы нужно дополнительно настраивать каждый раз, когда изменяется скорость разверток осциллографа. Это необходимо

для синхронизации пилообразного и ступенчатого напряжения. Поскольку обычно при работе с осциллографом приходится постоянно менять скорость разверток, то синхронизация обоих напряжений значительно осложняет проведение эксперимента. Следует отметить, что применение высокоскоростных электронных коммутаторов связано со значительными техническими трудностями.

Всесоюзным научно-исследовательским институтом горной геомеханики и маркшейдерского дела совместно с Севастопольским приборостроительным институтом разработана специальная приставка к электронно-лучевому осциллографу, обеспечивающая автоматическую синхронизацию момента подачи очередной ступени постоянного напряжения на вертикально-отклоняющие пластины с началом каждого цикла разверток луча трубки.

Приставка проста по конструкции и может использоваться со всеми наиболее распространенными типами электронно-лучевых осциллографов, ее применение не требует каких-либо изменений схемы осциллографа.

Схема приставки

Приставка разработана в двух вариантах по принципу формирования ступенчатого напряжения непосредственно от генератора развертки осциллографа.

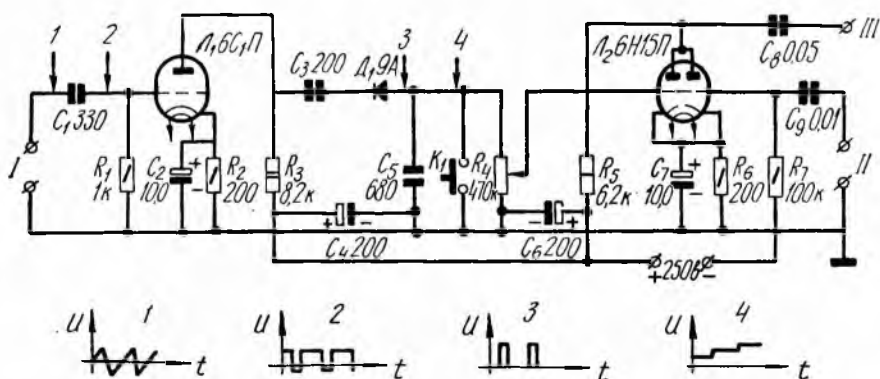


Рис. 1. Принципиальная схема упрощенной приставки.

Схема простейшей приставки приведена на рис. 1. Применение ее целесообразно в тех случаях, когда амплитуда исследуемого сигнала невелика и для его регистрации необходимо значительное усиление. Такая схема приставки позволяет использовать ее выходной каскад в режиме катодного повторителя, что обеспечивает согласование высокоомного входа осциллографа с низкоомной нагрузкой (например, при подключении тензодатчиков сопротивления, индуктивных датчиков и др.).

Пилообразное напряжение с выхода генератора ждущей горизонтальной развертки осциллографа I подается на дифференцирующую цепь C_1-R_1 и после усиления лампой L_1 (6C1П) — на кристаллический диод D_1 (Д9А), где отсекаются импульсы напряжения, соответствующие прямому ходу луча горизонтальной развертки осциллографа. На конденсатор C_5 , используемый как накопительная емкость, синхронно с обратным ходом луча подаются импульсы одного знака и величины, образующие после соответствующего заряда и разряда конденсатора C_5 ступенчатое

напряжение. Ступенчатое напряжение поступает на сетку суммирующего каскада, выполненного на лампе Λ_2 (6Н15П). На сетку правого триода этой лампы подается исследуемое напряжение II либо непосредственно, либо через вертикальный усилитель осциллографа.

В результате на выход устройства, соединенный с пластинами вертикального отклонения осциллографа, подается напряжение III, представляющее собой сумму ступенчатого и исследуемого напряжения. Благодаря этому в моменты, которые соответствуют обратному ходу горизонтальной развертки осциллографа, начало каждого последующего цикла развертки процесса оказывается сдвинутым по вертикали на величину, задаваемую значением переменного сопротивления R_4 . В качестве последнего в схеме применяется потенциометр типа СП-2-470-Б номиналом 470 ком.

Кнопка k_1 служит для быстрого возврата схемы в исходное состояние после запуска исследуемым сигналом или при настройке и регулировке приставки. При замыкании кнопки происходит разряд конденсатора C_5 и луч трубки возвращается в начальное положение на экране.

Перед регистрацией процесса на фотоснимке с экрана осциллографа получают последовательные положения «нулей» разверток при заданной величине скачка ступенчатого напряжения. Затем регистрируется исследуемый процесс. Зная положение «нулей» развертки, по величине и знаку отклонения луча от «нулевой» линии в конце каждого цикла можно определить начало следующего, являющегося его продолжением. При этом регистрация производится на одном кадре пленки обычным фотоаппаратом. Приведенная схема проста и надежна в эксплуатации.

Вместе с тем схеме присущи и недостатки, которые трудно устранить, не усложняя саму схему. Они заключаются в следующем.

1. При совместном усилении исследуемого и ступенчатого напряжений сложнее обеспечить достаточно малые амплитудно-фазовые искажения импульсов. Кроме того, затрудняется раздельная регулировка величины амплитуды обоих напряжений.

2. Схема рассчитана на работу осциллографа со ждущей разверткой, не предусмотрен автоматический перевод схемы после окончания исследуемого процесса в исходное состояние. Это осложняет визуальный контроль за расположением «нулевых» линий на экране электронно-лучевой трубки, а также затрудняет регистрацию процессов, следующих друг за другом через небольшие интервалы времени.

На рис. 2 приведена принципиальная схема приставки, которая свободна от перечисленных недостатков. Это достигается введением дополнительных элементов (катодный повторитель, делитель частоты и блокинг-генератор), а также специальной коррекцией фронта нарастания и плоской части отклоняющих импульсов. При использовании данной схемы последовательность циклов развертки можно фотографировать с экрана трубки или наблюдать визуально, если применяется трубка с достаточно большим временем послесвечения экрана.

Пилообразное напряжение генератора горизонтальной развертки осциллографа с выходных клемм пластин горизонтального отклонения $X-X$ через конденсатор C_2 и делитель R_1 и R_2 подается на дифференцирующую цепь C_3 и R_3 . Параметры этой цепи выбираются таким образом, чтобы в любом фиксированном положении диапазона разверток осциллографа было обеспечено наибольшее число последовательных горизонтальных циклов. Делитель R_1 , R_2 позволяет регулировать размах пилообразного напряжения горизонтальной развертки. Сопротивление R_2 этого делителя предотвращает шунтирование пилообразного напряжения на корпус. После дифференцирования отрицательные импульсы, соответствующие обратному ходу пилы, подаются на управляющую сетку лам-

пы L_1 (6Ж11П) и усиливаются. В каскаде осуществляется коррекция фронта нарастания и плоской части импульса.

Коррекция фронта импульса выполняется дросселем L_1 индуктивностью 36 мкГн плоской части импульсов — фильтром $C_1—R_6$.

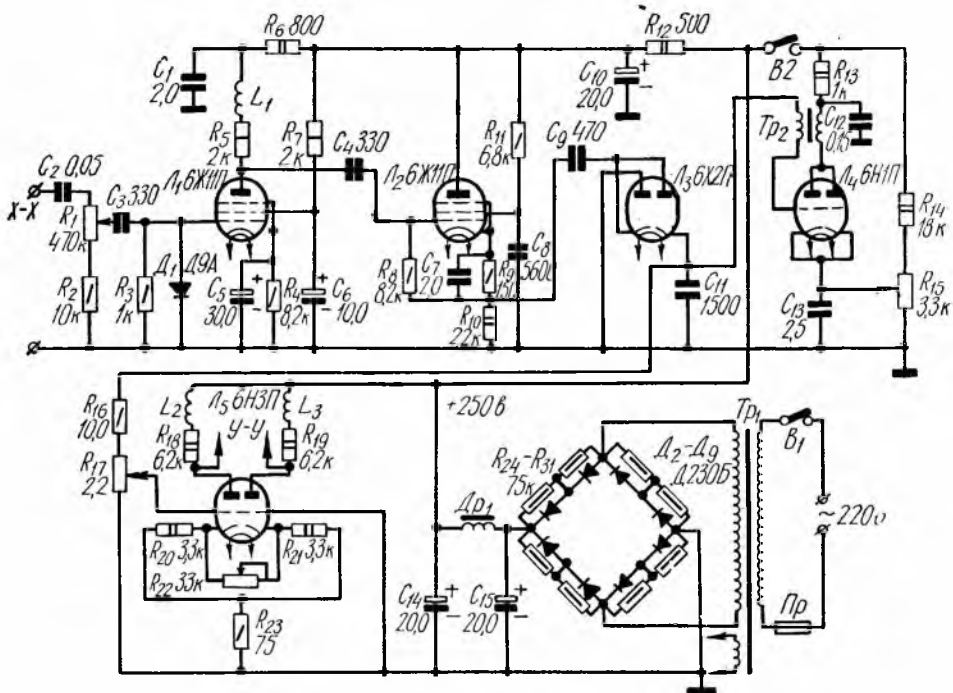


Рис. 2. Принципиальная схема приставки с автоматической подготовкой запуска осциллографа.

Положительные импульсы, соответствующие прямому ходу пилообразного напряжения, ограничиваются диодом D_1 (Д9А). Поданные на вход лампы L_1 отрицательные импульсы усиливаются и меняют полярность. Дифференцирующая цепь C_3, R_3 позволяет получить импульс до 10 в, если на ее вход подается пилообразное напряжение до 200 в. Коэффициент усиления каскада на L_1 около 40, так что на выходе легко можно получить импульсы положительной полярности до 150 в, которые с анода лампы L_1 через конденсатор C_4 подаются на вход катодного повторителя L_2 (6Ж11П). Режим катодного повторителя выбран таким, чтобы обеспечивался коэффициент передачи порядка 0,9. Значит, если на вход катодного повторителя подается сигнал размахом порядка 120 в, то на выходе получаем сигнал размахом около 100 в. Этот сигнал положительной полярности подается на делитель частоты.

Делитель частоты состоит из дозирующей емкости C_9 , двойного диода L_3 (6Х2П), накопительной емкости C_{11} и блокинг-генератора L_4 (6Н1П), который предназначен для разряда накопительной емкости.

Импульс положительной полярности, соответствующий обратному ходу горизонтальной развертки, через дозирующую емкость C_9 и правую половину диода 6Х2П попадает на накопительную емкость C_{11} и заряжает ее до определенного потенциала в соответствии с размахом импульса. В промежутке между импульсами (соответствует прямому ходу горизонтальной развертки) заряд от пришедшего импульса удерживается на нако-

питательной емкости. Одновременно зарядившаяся дозирующая емкость C_9 разряжается через левую часть диода $6Х2П$. Следующие импульсы дополнительно подзаряжают накопительную емкость. Процесс продолжается до тех пор, пока напряжение на накопительной емкости не достигнет такой величины, что сможет открыть лампу $6Н1П$ блокинг-генератора, который работает в заторможенном (ждушем) режиме. Лампа блокинг-генератора заперта выбранным напряжением на делителе R_{14} , R_{15} . При срабатывании блокинг-генератора происходит сброс напряжения и накопительная емкость C_{11} полностью разряжается. Регулируя смещение на сетке L_4 , можно изменять время срабатывания блокинг-генератора и, следовательно, максимальное напряжение на накопительной емкости. Тем самым можно регулировать число разверток, входящих в один цикл регистрации. Анодное напряжение от источника питания подается на лампу L_4 блокинг-генератора через тумблер $B2$. Наличие последнего позволяет перевести схему в режим однократной регистрации процесса. При режиме однократной регистрации тумблер $B2$ разрывает цепь анодного питания лампы блокинг-генератора. В этом случае работа схемы напоминает работу упрощенной приставки (рис. 1).

Все процессы, которые происходят на накопительной емкости C_{11} , воздействуют на управляющую сетку левого триода лампы L_5 ($6НЗП$) — усилителя постоянного тока (УПТ). Каскад УПТ выполнен по балансной схеме, что позволяет свести к минимуму дрейф нуля. Коэффициент усиления L_5 регулируется потенциометром R_{22} , а подаваемый сигнал — потенциометром R_{17} .

Напряжение с УПТ, соответствующее ступенчатому напряжению на накопительной емкости C_{11} , подается на вертикально отклоняющие пластины осциллографа $У-У$. Для предотвращения шунтирующего действия приставки на пластины выход усилителя постоянного тока подключается к ним через сопротивления порядка 1 Мом. Индуктивности L_2 и L_3 в анодных цепях УПТ служат для коррекции фронта импульса и имеют величину порядка 100 мкГн. Отсутствие коррекции приводит практически к тому, что на экране осциллографа наблюдается некоторый перекося горизонтальных линий развертки.

Регулировка усиления в каскадах УПТ должна осуществляться таким образом, чтобы не было смещения рабочей точки. В данном варианте схемы представлен способ плавной регулировки усиления. Между катодным сопротивлением R_{23} и катодами обеих ламп усилителя включены сопротивления R_{20} и R_{21} , на которых возникает напряжение обратной связи, пропорциональное протекающему току. С помощью переменного сопротивления R_{22} (СП-2-33 ком), включенного между катодами обеих триодов L_5 , можно плавно регулировать величину обратной связи и тем самым изменять коэффициент усиления каскада. При короткозамкнутом сопротивлении R_{22} (движок в левом положении) обратная связь отсутствует, при максимальном значении сопротивления она максимальна, а усиление каскада минимально. Регулировка усиления путем изменения коэффициента обратной связи имеет большое преимущество, так как с уменьшением усиления расширяется полоса пропускания и улучшается линейность.

Как было указано выше, ступенчатое напряжение с выхода УПТ подается на пластины вертикального отклонения осциллографа. При этом исследуемый сигнал (быстропеременный длительный процесс) подается, как обычно, на вход $У$ осциллографа.

Выпрямитель блока питания выполнен по мостовой схеме на кремниевых диодах D_2 ($D230B$), последовательно включенных по два в каждом плече. Мощность, потребляемая от сети, 85 ватт. С целью обеспече-

ния равномерного распределения обратного напряжения между последовательно соединенными диодами Д230Б, каждый из них шунтирован сопротивлением $R_{24}—R_{31}$ 75 ком (МЛТ—0,5—75 ком). На выходе выпрямителя используется П-образный фильтр с дросселем Др, индуктивностью 2 гн и конденсаторами C_{14} и C_{15} 20 мкф (КЭ-2-300-20). Выпрямленное напряжение составляет 250 в, а выпрямленный ток 200 ма. Карта режимов ламп $L_1—L_5$ представлена в таблице.

Наименование ламп	Тип лампы	Номера лепестков ламповых панелей									Примечание
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
L_1	6Ж11П	0,68	—0,5	0,7	0			32	0,7	120	Непрерывный режим
L_2	6Ж11П	46	—1,5	46	0			104	46	120	Непрерывный режим
L_4	6Н1П	250		69	0		250		69		Ждущий режим
L_5	6НЗП	0	—3,5	3,5	246		246	—3,5	3,5		Непрерывный режим

Некоторые особенности расчета и настройки элементов схемы приставки

При расчете дифференцирующей цепи необходимо учитывать, что сопротивление R_1 уменьшает размах пилообразного напряжения, подаваемого с выхода генератора горизонтального отклонения осциллографа, и влияет на параметры дифференцирующей цепи. Однако при $R_3 \gg R_1$ этим влиянием можно пренебречь. На работу дифференцирующей цепи оказывают влияние также паразитные емкости монтажа, диода D_1 и входной емкости лампы L_1 . Размах выходного импульса после дифференцирования уменьшается в

$$\frac{C_3}{C_3 + C_n}$$

раз, где C_n — суммарная паразитная емкость.

Для уменьшения влияния паразитных емкостей на нестабильность переднего фронта дифференцированного импульса целесообразно емкость дифференцирующей цепи C_3 выбирать в пределах

$$C_3 = (3 \div 4) C_n.$$

Чем больше C_3 , тем меньше сказывается влияние паразитных емкостей.

Делитель частоты на емкостном накопителе работает по принципу счета импульсов и при правильном выборе емкости накопителя C_{11} , реагирует не на длительность периода следования импульсов, а на число импульсов и их размах. При делении импульсов с постоянным размахом кратность деления определяется только числом импульсов, необходимых для срабатывания блокинг-генератора на выходе счетчика. В состав каскада деления входят заторможенный блокинг-генератор на лампе L_4 и накопительная цепь, состоящая из конденсаторов C_9 , C_{11} и двойного диода L_3 .

Блокинг-генератор запирается положительным напряжением на катоде. При поступлении на вход схемы импульса на конденсаторе C_{11} возникает напряжение

$$U_C = \frac{C_9}{C_9 + C_{11}} U_{вх} = CU_{вх}.$$

После окончания импульса емкость C_9 разряжается через левую половину лампы L_3 , тогда как емкость C_{11} разряжается только через со-

противление утечки самого конденсатора или схемы. Можно полагать, что в паузах между импульсами заряд на конденсаторе C_{11} остается неизменным. Последующие импульсы вызывают увеличение заряда на емкости C_{11} , причем каждая последующая ступень подзаряда меньше предыдущей. В пределе напряжение заряда на емкости C_{11} стремится к амплитуде входных импульсов. В режиме деления частоты рост напряжения на конденсаторе C_{11} ограничивается задаваемой величиной управляющего напряжения на катode блокинг-генератора. Это напряжение необходимо выбрать таким образом, чтобы при определенной ступени напряжения на емкости C_{11} , вызванного последовательностью входных импульсов с 1-го по k -й, последний производил запуск блокинг-генератора. При выбранной кратности деления (определенном числе горизонтальных циклов развертки на экране осциллографа) запуск блокинг-генератора сопровождается разрядом конденсатора C_{11} через сеточную цепь лампы L_4 .

Работа блокинг-генератора устойчива, если напряжение между его катодом и анодом в начале запуска не меньше 100—150 в. Это условие при выбранном источнике анодного напряжения 250 в ограничивает как амплитуду входных импульсов, так и кратность деления схемы. На кратность устойчивого деления частоты влияет также соотношение емкостей C_9 и C_{11} .

При расчете режима деления частоты следует исходить из следующих соотношений, описывающих процесс накопления заряда:*

1. Накопление на емкости C_{11} после ее последовательного подзаряда N импульсами

$$U_{C_{11}}^N = U_{\text{вх}} [1 - (1 - C)^N];$$

2. Величина N -й степени подзаряда на накопительной емкости

$$\Delta U_{C_{11}}^N = U_{\text{вх}} (1 - C)^{N-1}.$$

Согласно условию получения максимальной величины напряжения на выбранной ступени должно выполняться равенство

$$c = \frac{1}{N},$$

откуда оптимальное отношение емкостей в зарядной цепи при заданной кратности деления частоты k составляет

$$\frac{C_{11}}{C_9} = k - 1.$$

При отсутствии стабилизации источника питания можно оценить величину ступени при максимальной кратности деления как

$$\Delta U_{C_{11}, \min}^k = |e_{g_{\min}} + 2(n_{\text{вх}} + n_y) U_{\text{вх}}|,$$

где $n_{\text{вх}}$ — нестабильность размаха входных импульсов;

n_y — нестабильность управляющего напряжения;

$e_{g_{\min}}$ — минимальная разность напряжений, которая запирает блокинг-генератор перед k -м импульсом.

Обычно на практике очень трудно осуществить кратность деления более 5—8 (на один каскад).

Оптимальное соотношение емкостей конденсаторов в зарядной цепи определяется однозначно. При выборе абсолютного значения емкостей C_9 и C_{11} следует исходить из требований к накопительной емкости C_{11} . Минимальная величина конденсатора C_{11} ограничена требованием сохра-

* В. Ф. Самойлов. Импульсная техника. Изд-во «Связь», 1964.

нения заряда в период паузы. Максимальное значение емкости C_{11} ограничено требованием полного разряда ее через сеточную цепь блокинг-генератора L_4 во время импульса. При оптимальном соотношении емкостей напряжение на накопительном конденсаторе C_{11} к концу цикла накопления составляет $0,6 \div 0,7$ амплитуды импульсов. Управляющее напряжение можно определить с учетом этого из условия

$$E_y = E_{g_0} + (0,6 \div 0,7) U_{вх},$$

где E_{g_0} — напряжение запирающего блокинг-генератора.

Блокинг-генератор в ждущем режиме используется только как ключ для разряда накопительной емкости, в связи с чем к выходным импульсам не предъявляется особых требований. В момент генерации импульса блокинг-генератора источник анодного питания должен обеспечить отдачу большого импульса тока. Так как источник анодного напряжения имеет внутреннее сопротивление, то при протекании по нему импульсного тока происходит падение напряжения источника. Это приводит к появлению на анодах остальных ламп схемы дополнительных перепадов напряжения, нарушающих работу этих каскадов. Для устранения такого явления питание анода лампы блокинг-генератора осуществляется через фильтр (R_{13} , C_{12}), наличие которого также уменьшает нагрузку на источник анодного напряжения.

Практически настройка схемы приставки несложна. При некоторых положениях переключателя диапазона частот развертки генератора горизонтального отклонения осциллографа необходимо подбирать параметры дифференцирующей цепи (C_3 , R_2). В случае дальнейшей модернизации схемы целесообразно ввести переключатель, который коммутирует отдельные дифференцирующие цепи в соответствии с диапазоном частот разверток. Потенциометром R_{15} можно подобрать режим блокинг-генератора таким образом, чтобы получить необходимое число последовательных горизонтальных циклов развертки на экране трубки. Иногда для этого необходимо изменять величину корректирующего дросселя L_1 . Синхронизация исследуемого процесса, развернутого по отдельным циклам, осуществляется органами управления осциллографа.

Особенности конструкции и технологии изготовления отдельных узлов и деталей схемы

Корректирующие дроссели L_1 , L_2 и L_3 намотаны на сопротивлениях ВС-0,5-100 *ком* проводом ПЭЛШО $\varnothing 0,31$ (намотка «Универсаль»).

Импульсный трансформатор T_{p_2} блокинг-генератора выполнен на спиральном ленточном *О*-образном сердечнике из кремнистой холоднокатаной электротехнической стали марки Э-310. Наименьшее значение межвитковой емкости обеспечивается при правовинтовом направлении обмоток, причем анодная обмотка расположена снаружи, так как имеет больший потенциал. При коэффициенте трансформации $n = 1$ число витков каждой обмотки равно 50 (провод ПЭЛ $\varnothing 0,14$). Для изготовления импульсного трансформатора использована лента из стали Э-310 стандартной ширины 0,6 *см*. Ширина окна, толщина пакета и толщина проката 0,6 *см*, длина окна 1,2 *см*. Между обмотками проложены три слоя лакоткани ЛХ1 толщиной 0,2 *мм*.

Силовой трансформатор T_p выполнен на броневом сердечнике типа УШ 35 $\times$ 35. Сетевая обмотка содержит 1000 витков провода ПЭЛ $\varnothing 0,52$ *см*, анодная обмотка — 1000 витков провода ПЭЛ $\varnothing 0,39$ *мм* и накальная обмотка — 280 витков провода ПЭЛ $\varnothing 1,07$ *мм*. Число слоев первичной обмотки 11, анодной — 8, накальной — 7. Между слоями обмоток проло-

жено по два слоя парафинированной бумаги. Приставка успешно прошла лабораторные испытания, была надежна и устойчива в работе.

На рис. 3 и 4 приведены фотографии с экрана осциллографа С-1-5, полученные с помощью описанной приставки и фотоаппарата «Зенит-ЗС» при подаче на вход вертикального усилителя осциллографа синусоидального напряжения от генератора ГЗ-33 частотой 16000 гц.

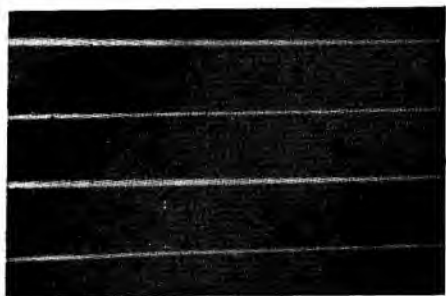


Рис. 3. Осциллограмма «нулевых» линий разверток.

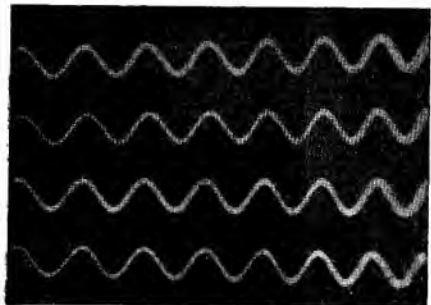


Рис. 4. Осциллограмма переменного напряжения с частотой 16000 гц.

Как видно из рисунков, приставка обеспечивает необходимую горизонтальность линий разверток и достаточно близкие значения их вертикального смещения.