

С 345 л 1

Г-121

Габанец И. и др.

3143/74



Б 2-9-8010.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б 2-9-8010<sup>и</sup>

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 1974

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ОТДЕЛ НОВЫХ МЕТОДОВ УСКОРЕНИЯ

Б2-9-8010

И. Габанец, Х. Гурач, И. Н. Иванов, В. И. Миронов, В. П. Рашевский,  
А. П. Сергеев, С. Н. Тютюнников, В. П. Фартушный

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОДАВЛЕНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ  
В КАМЕРЕ АДГЕЗАТОРА МОДЕЛИ КОЛЛЕКТИВНОГО УСКОРТЕЛЯ.

Рукопись поступила  
в издательский отдел  
12.10.74 495 г.

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БНБЛ-107/1А

Дубна, 1974 г.

В данной работе исследовалось влияние фронта импульса тока в витках первой ступени скатин адгезатора на магнитное поле. Мы ожидали появления высокочастотных колебаний в магнитном поле, связанных с возбуждением различных контуров и линий внутри адгезатора этим фронтом. Исходя из крутизны нарастания тока в первой ступени, мы ограничились на этом этапе исследования колебаний с частотой меньше или порядка 60 Мгц.

В процессе измерений мы обнаружили высокочастотные колебания в импульсном магнитном поле камеры адгезатора. Они могут повлиять на динамику пучка, а также быть помехами при чувствительных методах диагностики.

Предварительные измерения и поиски способов подавления этих ВЧ колебаний проводились на стенде, а затем были осуществлены на действующей установке адгезатора.

### I. Измерения на стенде.

Модель адгезатора представляла из себя камеру из дюралюминия, внутри которой были укреплены два витка (концентрически с осью камеры). Схема импульсного питания витков и её конструкция были аналогичны системе питания витков быстрого поля адгезатора (см. рис. I). На данной модели были обнаружены следующие виды колебаний:

#### I.1 Линия виток-камеры.

Линия возникает между витком и образующей камеры. Проверка существования линии показала, что в указанной области между витком и камерой обнаружены:

а) косинусоидальное распределение напряженности магнитного поля;

б) синусоидальное распределение электрического поля вдоль линии.

Распределение магнитного поля вдоль линии изучалось индукционным методом (катушкой), как показано на рис.2а.

Пучности электрического поля были обнаружены прибором ИЧХ, нагружая линию резистором; при этом получалось резкое уменьшение амплитуд колебаний в линии в местах нахождения пучности.

Уравнение линии можно представить в следующем виде:

$$U_x = U_0 \cos j\alpha x + J_0 Z_0 j \sin j\alpha x$$
$$J_x = J_0 \cos j\alpha x + \frac{U_0}{Z_0} j \sin j\alpha x.$$

В нашем случае можно пренебречь нагрузкой линии, тогда напряжение в точке начала "0"  $U = 0$ , и уравнения линии будут более простыми:

$$U_x = Z_0 J_0 \sin \alpha x$$
$$J_x = J_0 \cos \alpha x.$$

Линия начинает возбуждаться импульсами электрического тока с момента срабатывания тиратрона. Ток в линии нарастает с возрастанием тока тиратрона, напряжение опережает его по фазе на  $\varphi = 90^\circ$ . Сигнал измерительной катушки дает дифференциальную форму магнитного поля.

Перемичка в точке "0" представляет собой индуктивность:

$$L = 4 \ell \ln \frac{a}{r} \text{ (см)},$$

где

$a$  — расстояние между подводами витнов,

$r$  — радиус сечения провода,

$\ell$  — его длина

( $a \gg r$ ),

В общем виде импеданс линии в точке "x" будет:

$$Z_x = \frac{U_x}{I_x} = j Z_0 \operatorname{tg} x,$$

где

$$Z_0 = \frac{188}{\sqrt{\epsilon}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{d}{D} + \frac{1}{\pi} \frac{a}{D} [1 + \ln(1 + \frac{D}{a})]} \approx 188 \text{ ом}$$

представляет волновое сопротивление линии, показанной на рис.

26.

Для эффективного затухания колебаний в линии необходимо использовать сопротивление величиной  $R_0 \approx 95 \text{ ом} = \frac{Z_0}{2}$ , которое должно быть включено параллельно вводу на витки. Экспериментально было подобрано сопротивление  $R_0 = 75 \text{ ом}$ , существенно понизившее добротность линии.

При устранении контакта витков с камерой волна этой частоты может еще существовать, но с гораздо меньшей амплитудой. Длина этой резонансной волны определяется в этом случае отражениями на концах витков. Подключение сопротивления между камерой и заземленным концом витка, оторванного от камеры, вносит затухание в контур генератора-камера. Максимальное затухание вносит резистор, величина которого, определенная экспериментальным путем, в пределах 25-50 ом.

### 1.2 Колебания, возбуждаемые генератором импульсов.

В понятие генератора импульсов входит вся система питания витков. За счет собственных реактивных параметров тиратрона, индуктивностей подводов и паразитных емкостей, могут возникать ВЧ колебания, модулирующие основной электрический ток. Для исследования колебаний генератора импульсов был замкнут накоротко в месте вводов на витки. Вблизи образованной перемычки проводились измерения катушкой. В результате были обнаружены колебания с частотой  $f \approx 20 \text{ Мгц}$ , совпадающие с частотой линии.

Крутизну нарастания электрического тока в витке в определенных пределах можно регулировать изменением давления газа в тиратроне. Для работы системы быстрого поля желательно работать в режиме максимальной крутизны, поэтому путь подавления колебаний за счет понижения давления газа исключен.

С целью устранения колебаний предпринимались меры по уменьшению индуктивностей и емкостей:

а) путем сокращения взаимного разнесения всех подводов, но это не привело к достаточно положительному результату;

б) по исполнению всей схемы генератора в коаксиальном варианте с максимально достижимой степенью согласования волнового сопротивления схемы с сопротивлением нагрузки.

Отработка генератора на стенде проводилась путем изменений согласно пункту "б" с дополнительным согласованием системы запуска тиратрона и её экранировкой. Сравнение рис. 3(а) и 3(б) показывает достаточно удовлетворительное подавление обнаруженных колебаний.

### 1.3 Измерения на модели намотки.

На стендовой модели намотки проводились следующие измерения:

а) Измерения ИЧХ (XI-30, XI-27). При измерениях были предприняты меры по исключению влияния подводящих кабелей. Измерения проводились с одним витком и с двумя запитываемыми в параллель витками. Результаты измерений представлены в таблице.

Подключена только камера:

	I виток		2 витка		
		I измерение	II измерение		
$l/2$	$f(\text{МГц})$	$f(\text{МГц})$	$Q$	$f(\text{МГц})$	$Q$
1/4	20,8	22,8	53	22	80
3/4	57,0	58,5	70	59	
5/4	102,6	105,8		103,0	
				104,0	

б) Измерения с помощью индукционных катушек.

Измерения проводились двумя катушками с параметрами:

большая катушка -  $L_1 = 1,64$  , 6 витков,  $\varnothing$  5 см

малая катушка -  $L_2 = 0,31$  , 4 витка,  $\varnothing$  2 см

Имеющиеся осциллографы (ТЕКТРОНИК 519 , С1-10,У2-7) обладали хорошими частотными характеристиками, но вследствие недостаточной чувствительности не позволяли наблюдать сигналы с катушек с интеграторами (без широкополосных усилителей). Был выбран путь графического интегрирования сигналов по фотографиям осциллограмм.

Предварительно были измерены частотные свойства самих катушек, чтобы исключить внесение ошибки в достоверность информации. По ИЧХ были определены их собственные резонансы:

для большой катушки на  $f > 80$  МГц

для малой катушки на  $f > 150$  МГц .

Собственные емкости катушек, как видно из этих данных, были достаточно малы.

Эквивалентная схема измерений показана на рис.5.

Согласно этой схеме измерений амплитуда дифференциального сигнала определяется зависимостью:

$$u = U \frac{R}{j\omega L + R}.$$

После интегрирования получается выражение

$$\int U dt = \int u dt + u \cdot \frac{L}{R},$$

использованное при обработке полученных результатов.

При измерениях на стенде варьировались радиусы и азимуты. В качестве примера приведена фотография колебаний на рис.6 ( $\varphi = 180^\circ$ ,  $R = 33$  см, развертка  $100 \frac{\text{мксек}}{\text{дел.}}$ ). После интегрирования получена кривая рис.6(а), согласно которой глубина модуляции ВЧ сигналом достигает в некоторых точках 30%.

На рис.7 и 8 показаны осциллограммы во  $R = 51$  см в пучности тока ( $\varphi = 10^\circ$ ) и в пучности направления линии. Схематически точки измерений показаны на рис.9. Зависимость амплитуды ВЧ колебаний от радиуса дана на рис.10.

На рис.11 показана схема подавления колебаний. В случае заземления иверы для этого нужно было соединить сопротивления по  $R = 51 \text{ Ом}$  параллельно. В отсутствие заземления - одно -  $R = 51 \text{ Ом}$ .

В качестве возможного варианта можно использовать для передачи энергии от генератора на зитки кабель с волновым сопротивлением  $\rho = 75 \text{ Ом}$ , на входе которого для согласования волнового сопротивления использовалось  $R_{\text{ген.}} = 150 \text{ Ом}$ , а на выходе  $R_{\text{ген}} = 75 \text{ Ом}$ . Длина кабеля  $\sim 2,4$  метра.



В качестве примера подавления колебаний представлены осциллограммы (без интегрирования), снятые на  $R = 33 \text{ см}$ ,  $\varphi = 180^\circ$ :

а) по схеме рис. II — кривая импульса: рис. I2 и I3 (с четкими временными  $20 \frac{\text{мсек}}{\text{дел.}}$ ), камера не заземлена, и рис. I4 в случае заземления камеры.

б) результат подавления колебаний по схеме с кабелем — рис. I5

Вариант "а" оказался наиболее приемлемым для наших условий.

## II. РАБОТА НА АДГЕЗАТОРЕ.

Камера адгезатора представляет более сложную систему по сравнению со стендовой установкой. Существует сильная связь витков второй и третьей ступеней скатия (с подводными фидерами) с возбуждающей колебания системой быстрого поля. Индуктивности витков этих ступеней вместе с емкостями (и индуктивностями) подводных кабелей образуют дополнительные контуры.

Эквивалентная схема всех систем представлена на рис. I6.

На данной схеме  $R_r$  — сопротивление тиратрона,  $R_o$  — рабочее сопротивление быстрого поля,  $R_1$  — демпфирующее сопротивление, подключенное в параллель к виткам быстрого поля,  $C_1$  — емкость фидера быстрого поля,  $M_2$  — взаимная индуктивность между витками первой и второй ступеней,  $L_1$  — индуктивность витков быстрого поля.

Аналогично обозначены параметры второй и третьей ступеней.

В схему введены упрощения:

1) параметры ступельных витков (третьей ступени) приведены с учетом трансформации на контур витков быстрого поля;

2) " $R_2$ " и " $R_3$ " скорректированы с учетом собственного сопротивления разрядника.

Сопротивления, включенные параллельно контурам всех ступеней, определяют затухание возникающих колебаний. Влияние на фронт нарастания импульса тона быстрого поля определяется, в основном, шунтирующим действием емкости подводов (фидеров, кабелей).

### П.1 Собственные колебания генератора импульсов.

Измерения проводились при коротком замыкании выхода генератора. Колебания с  $T = 30$  нсек формировались контуром из индуктивностей подводов и тиратрона с паразитными емкостями схемы. Амплитуда их была мала ( $\ll 1\%$  от амплитуды основного импульса) и не представляла опасности, поэтому генератор оставили без изменений.

### П.2 Колебания в камере.

Измерения проводились малой катушкой. Предварительно были предприняты измерения фона путем экранирования катушки алюминиевой фольгой, толщина которой превышала глубину скин-слоя для частоты быстрого поля. Наводка на измерительный кабель составляла менее  $1\%$  от амплитуды импульса быстрого поля. На вход осциллографа подавался сигнал Э.Д.С. с  $u = -n \frac{d\phi}{dt}$ , где  $n$  - число витков катушки. Осциллограммы колебаний на  $R = 30$  см представлены на рис.17,18. Эти измерения проводились без системы витков II ступени. Колебания с  $T = 67$  нсек отвечают колебаниям линии витков-намера первой и второй системы скатия, а колебания с  $T = 140$  нсек формирует контур II ступени скатия (витки - емкость подводов).

На рис.19 представлен интегрированный импульс, отвечающий рис.17, с относительным значением амплитуды.

С установкой третьей ступени скатия обнаружилось колебание с периодом  $T = 250$  нсек с относительно малым затуханием, возникающее в контуре индуктивность витков - емкость фидера.

а) Линия витки-камеры адгезатора.

При измерениях в месте подсоединения витков быстрого поля к камере была обнаружена пучность магнитного поля (осциллограмма рис.20). а в районе ввода к виткам - узел магнитного поля (импульс на рис.21).

Данные измерений свидетельствуют о наличии линии между витками и образующей камеры адгезатора. Линия с периодом  $T = 67$  нсек образуется как витками первой ступени скатня, так и витками второй ступени скатня, радиусы которых довольно близки. Для измерений колебаний в этих линиях характерны короткие времена нарастания до большой амплитуды и затухания. Устранение колебаний в линии можно осуществить путем разрыва контакта витков с камерой и подсоединения параллельно к виткам резисторов. Таким образом, в районе пучности магнитного поля происходит разрыв. Контакт витков с камерой осуществляется через резистор, выполняющий роль демпфирующего элемента.

б) Контур колебаний системы больших витков.

Как отмечалось выше, в системе второй ступени скатня имеется  $L_2 C_2$  - контур с периодом колебаний  $T = 140$  нсек. При данном периоде с учетом индуктивности витков  $L_2 \approx 1 \text{ мкГ}$  величину емкости подводов можно оценить в  $500 \text{ пф}$ . Необходимое сопротивление, включенное параллельно большим виткам для подавления колебаний, составляет тогда  $R \approx 2\sqrt{\frac{L}{C}} \approx 250 \text{ ом}$ . Экспериментально подбиралась наибольшая величина сопротивления, вносящая в контур практически достаточное затухание с тем, чтобы свести к минимуму влияние на фронт и амплитуду полезного импульса. Оптимальным значением сопротивления была величина  $R \approx 100 \text{ ом}$ .

Вследствие взаимодействия между всеми витками катушки, включенно подавляющих колебания сопротивлений в контуре оказывает влияние на все системы адгезатора в целом.

Следует отметить, что включение разрядных больших витков оказывало также подавляющее влияние на амплитуду колебаний в LC-контуре (рис.22 сравнить с рис.19)

в) Колебания в системе витков третьей ступени сватия.

Индуктивности витков и емкости подводных фидеров создавали колебательный контур с периодом  $T = 250$  нсек,  $L \approx 1,5$  мкГ и  $C \approx 10000$  пф величина необходимого (критического) сопротивления составляла  $R \approx 20$  ом. Параллельно к виткам были подключены сопротивления  $R = 27$  ом.

Если исходить из предположения, что для витков третьей ступени сватия существует линия, то собственные частоты линии будут высокими ( $T < 20$  нсек) и вероятность возбуждения фронтом быстрого поля будет малой. Сопротивления  $R = 27$  ом, внесенные в контур, будут подавлять колебания как в контуре, так и в линии.

II.3 Подключительные схемы контуров с подавлением ВЧ колебаний.

- а) Система первой ступени сватия - рис.23;
- б) система витков второй ступени - рис.24;
- в) система витков третьей ступени - рис.25.

После конструкторских изменений некоторых ступеней сватия адгезатора и устранения контакта витков с катушкой без подключения сопротивлений была получена форма импульса на  $R = 40$  ом (рис.26). Пронтегрированный импульс этот показан на рис.27.

При устранении контакта витков с измерой адгезатора амплитуда колебаний линии с  $\tau = 67$  нсек уменьшилась. Колебания LC - контуров остаются. Их подавление было осуществлено с помощью сопротивлений, включенных в схему как на рис.23,24,25.

При измерениях катушкой на  $R = 30$  см получили осциллограмму импульса на рис.28 (включено только быстрое поле) и на рис.29 (работают быстрое поле и поле больших витков). Кривые напряженности магнитного поля показаны на рис.30 и 31.

Измерения проводились и на  $R = 40$  см (осциллограмма рис.32). На  $R = 40$  см формы импульсов э.д.с. в пучности и узле магнитного поля линии показаны на фото рис.33,34. Эти измерения проводились в точке максимальной амплитуды колебаний с  $\tau = 67$  нсек в линии больших витков. Амплитуда ВЧ колебаний после интегрирования составляла менее 1% от амплитуды основного импульса.

#### II.4 Фронт импульса витков первой ступени.

Влияние отдельных элементов на фронт импульса можно определить по схеме рис.18. Элементы, которые уменьшают тон высоких частот через витки, ухудшают также фронт из обших соображений фронт импульса витков первой ступени. Такими элементами являются, в основном, емкости подводов ( $C_1, C_2, C_3$ ). Фронт ухудшается, если внутреннее сопротивление источника нельзя считать малым по сравнению с импедансом нагрузки. Влияние на фронт тока уменьшается, если  $R$  и  $\frac{1}{\omega C_i}$  всех ступеней гораздо больше, чем индуктивное сопротивление витков.

Влияние работы системы витков второй ступени скатия на фронт быстрого поля показано на рис.19 и 22. (Витки третьей ступени отсутствуют).

## II. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Таким образом, с точки зрения минимальных ВЧ колебаний и крутого фронта импульса, нужно соблюдать следующие условия:

1. Учитывать, что все контура в камере имеют сильную индуктивную связь. Импульсы быстрого поля возбуждают колебания во всех витках и/контурах камеры. Для исключения возникновения колебаний необходимо предпринимать меры по экранированию от действия быстрого поля или демпфированию колебаний в контурах.

2. Для исключения лишней необходимо устранить контакты витков с камерой и подводы выбрать по возможности так, чтобы их волновые сопротивления изменялись плавно.

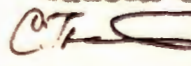
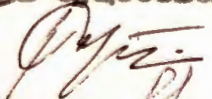
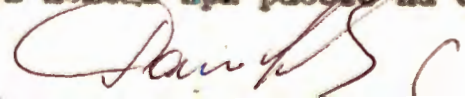
3. Индуктивности и емкость контуров выбирать всячески малыми так, чтобы их периоды  $T = 2\pi\sqrt{LC}$  были также малы. Тогда амплитуда гармонических составляющих импульса быстрого поля будет недостаточна для возбуждения колебаний в контурах.

4. Соблюдать условия согласования генератора импульсов с нагрузкой и добиваться плавности переходов волновых сопротивлений.

5. Для сохранения крутого фронта импульса необходимо:

- а) сделать минимальной емкость подводов;
- б) выбирать по возможности максимальную величину сопротивлений, подавляющих ВЧ колебания;
- в) по возможности производить экранировку контуров от контура быстрого поля;
- г) запуск разрядников второй и третьей ступеней снятия производить позднее запуска тиратрона быстрого поля, чтобы "не нагружался фронт быстрого поля".

Авторы выражают искреннюю благодарность В.А. Дроздину, который оказал весьма существенную помощь при работе на стенде.

С.Т.   
Гобан  

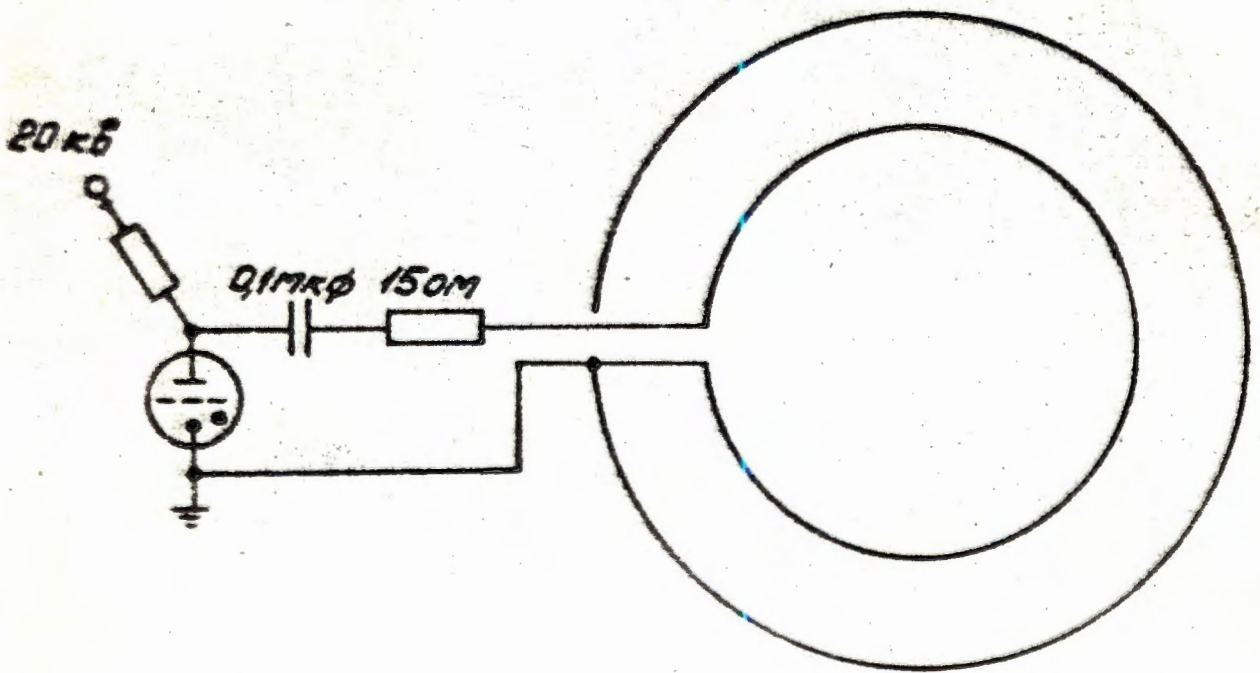
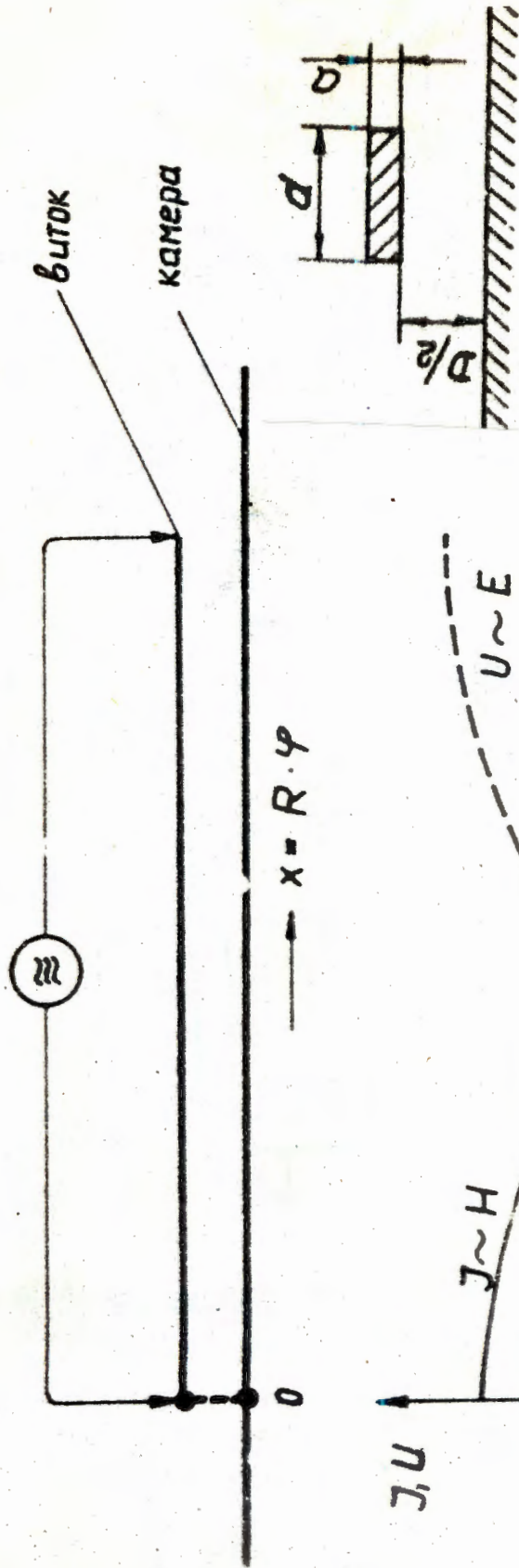


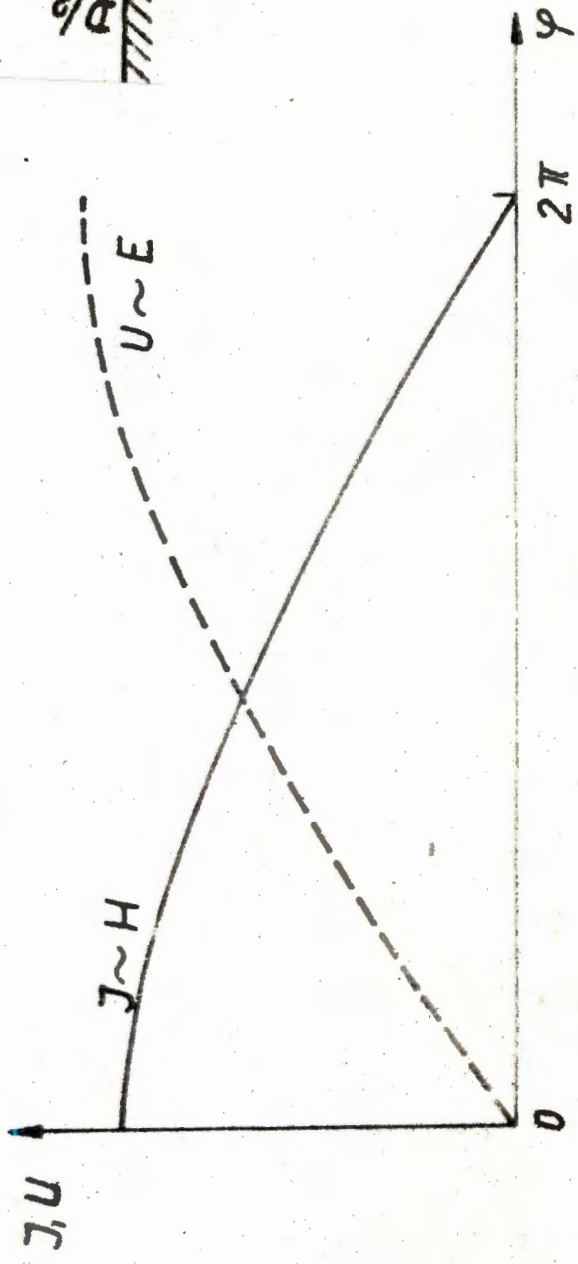
Рис. I

Рис. I Схема импульсного питания витков модели адгезива на стенде.

Рис.2(б) Линия, состоящая из витка (витка) и бесконечной пластины (камера), с характеристическими импедансом.



б)



а)

Рис. 2 Распределение магнитного поля вдоль линии виток-камера модели адгезатора на стенде.



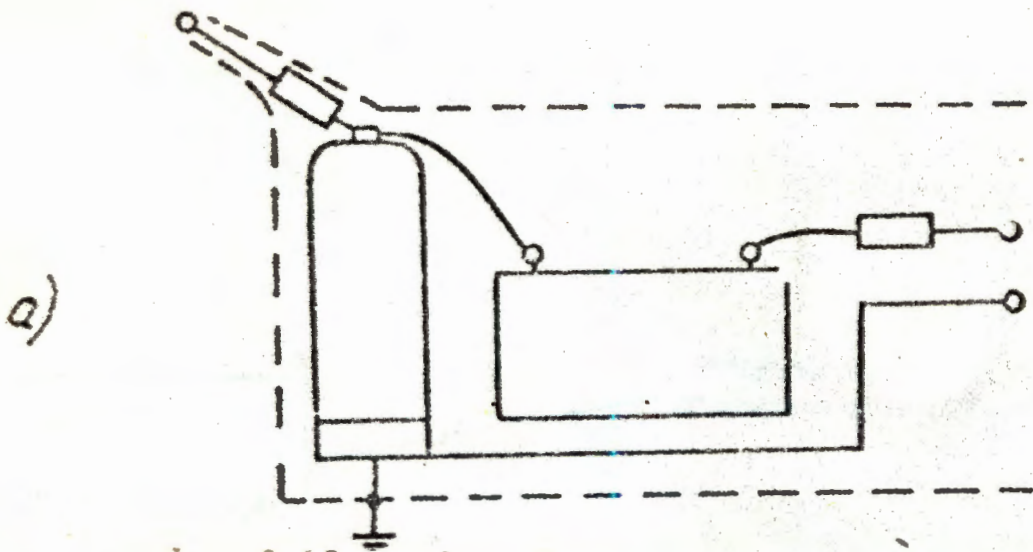


Рис. 3(а) Схема генератора импульсов до его отработки.

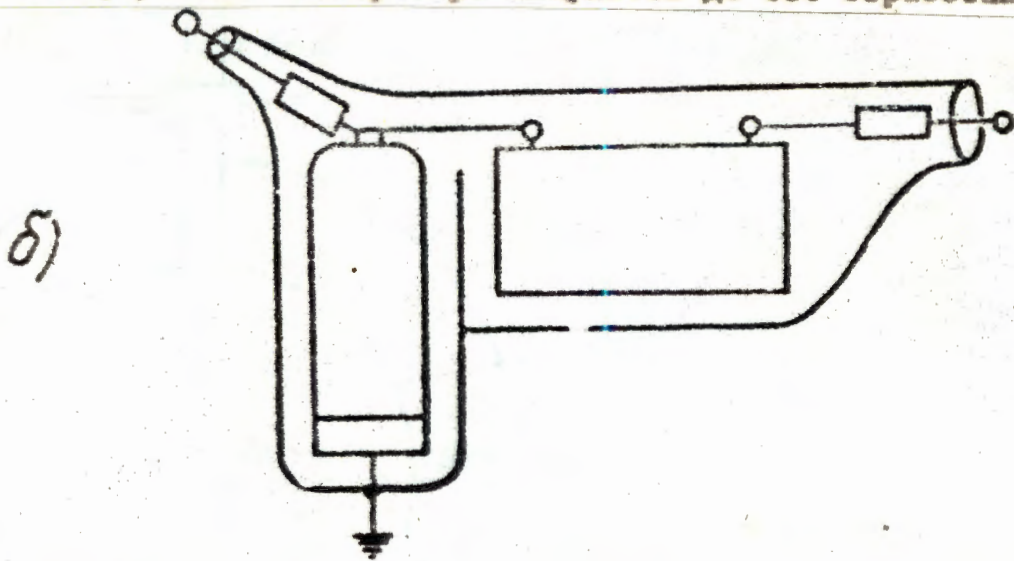


Рис. 3(б) Схема генератора импульсов после его отработки.

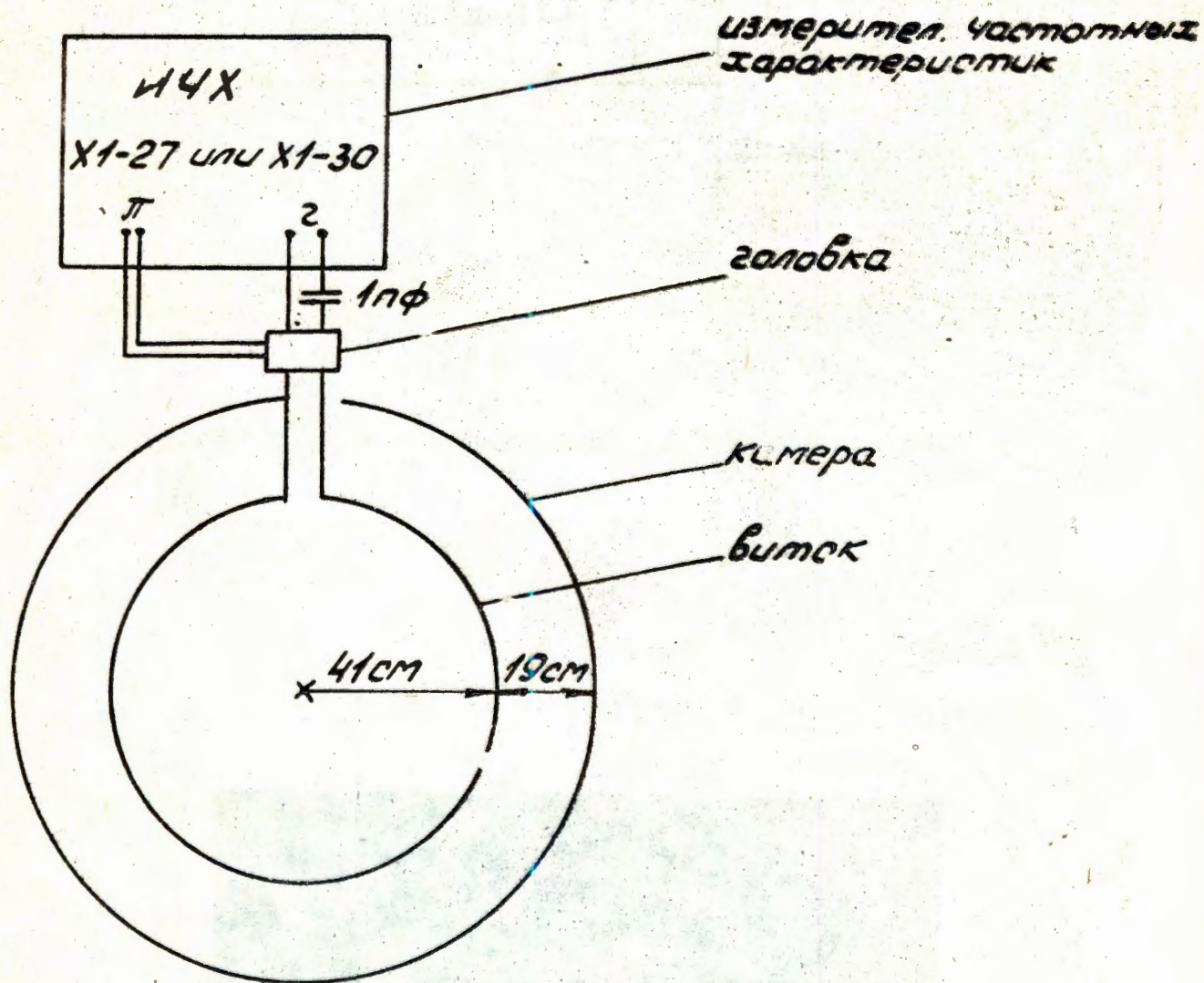


Рис. 4

Рис. 4. Схема подключения прибора ИЧХ при измерениях на модели вмеры на стенде.

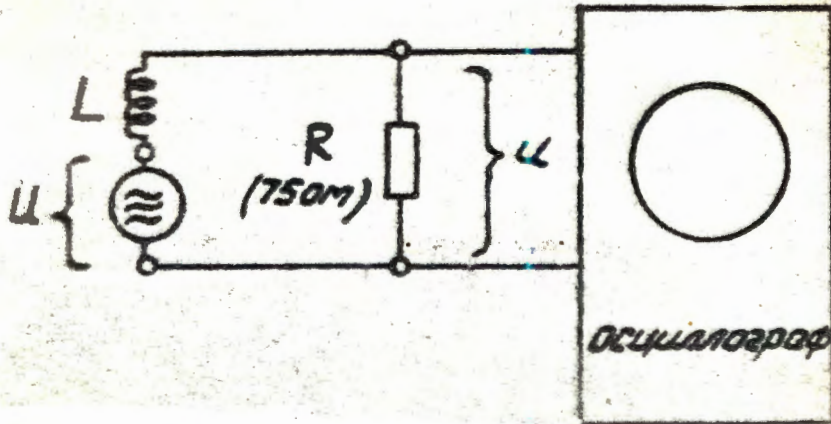


Рис. 5

Рис. 5 Эквивалентная схема измерений индукционным методом.

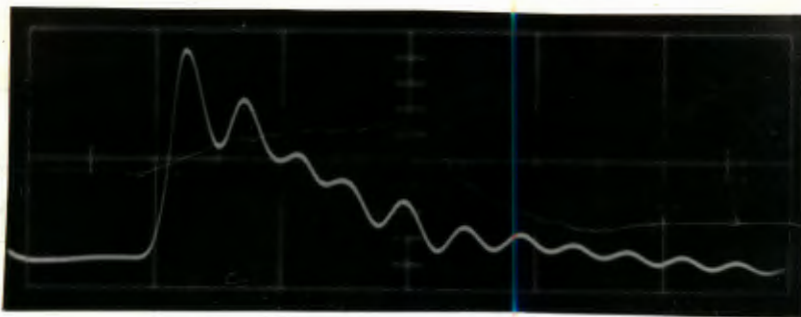


Рис. 6

Рис. 6 Осциллограмма сигнала с катушки на  $\varphi = 180^\circ$ ,  $R = 33$  см, полученная на модели намерь (100 нс/дел.).

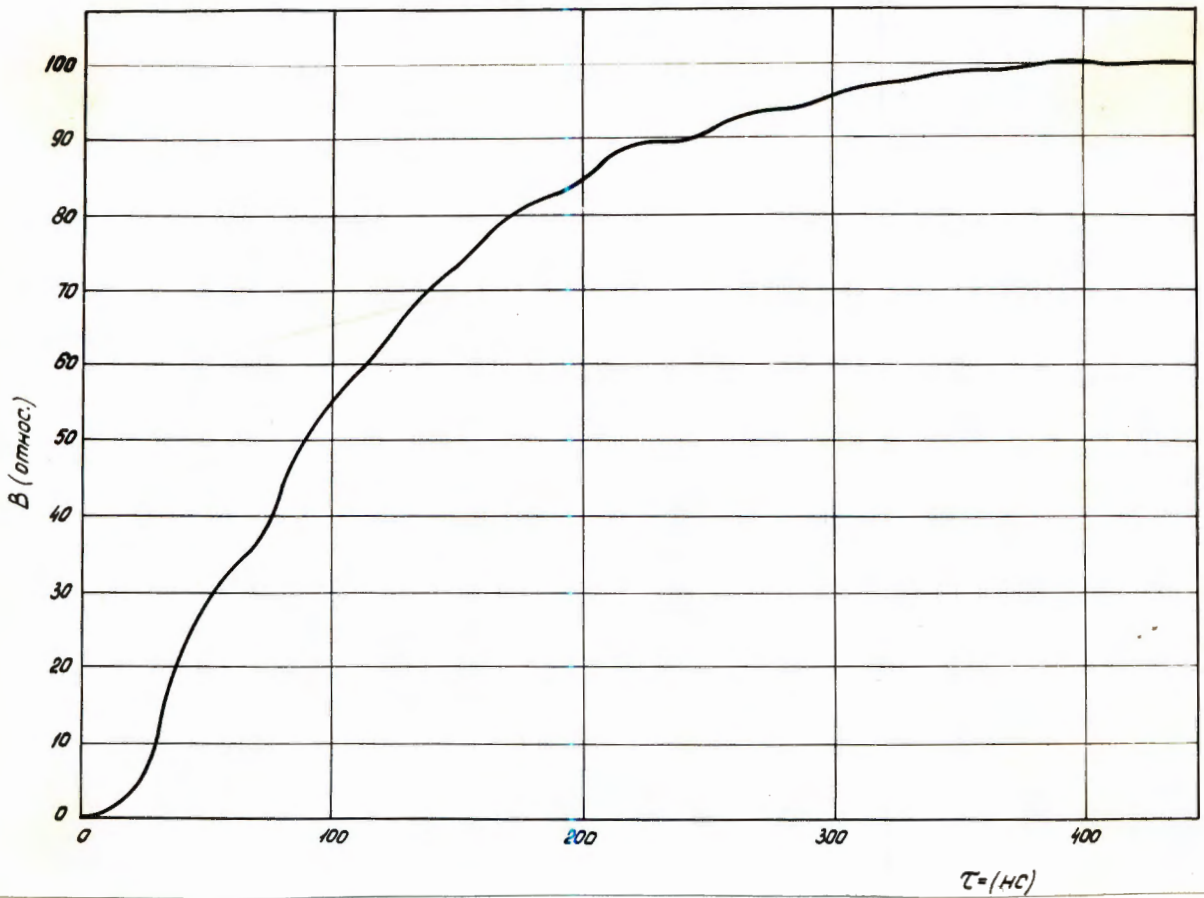


Рис. 6 (а)

Рис. 6(а) Кривая после интегрирования сигнала, показанного на рис. 6.

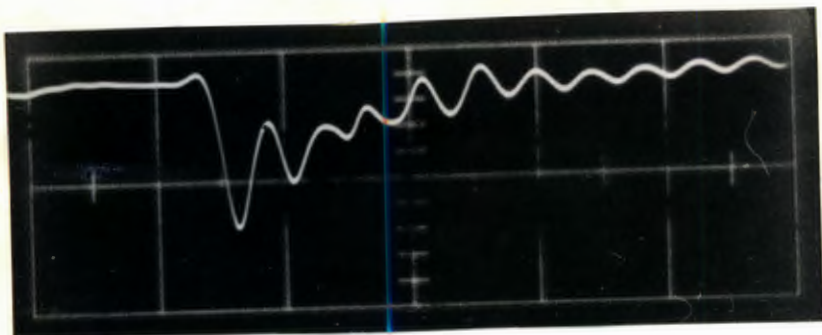


Рис. 7

Рис. 7 Сигнал на  $R = 5\Gamma$  см в гучности тока линии витон-сагера модели (100 нсек/дел).

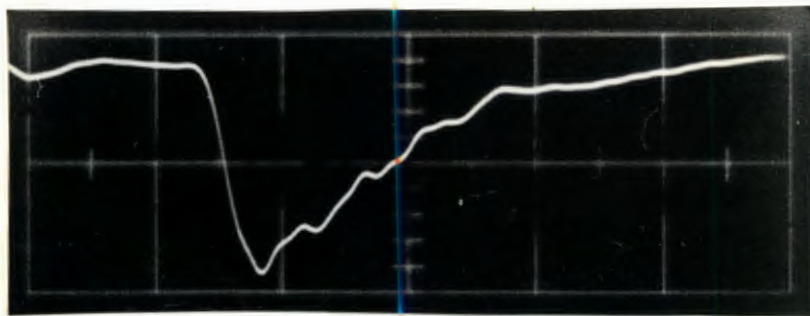


Рис. 8

Рис. 8 Сигнал на  $R = 5\Gamma$  см в узле тока линии. (100 нсек/дел).

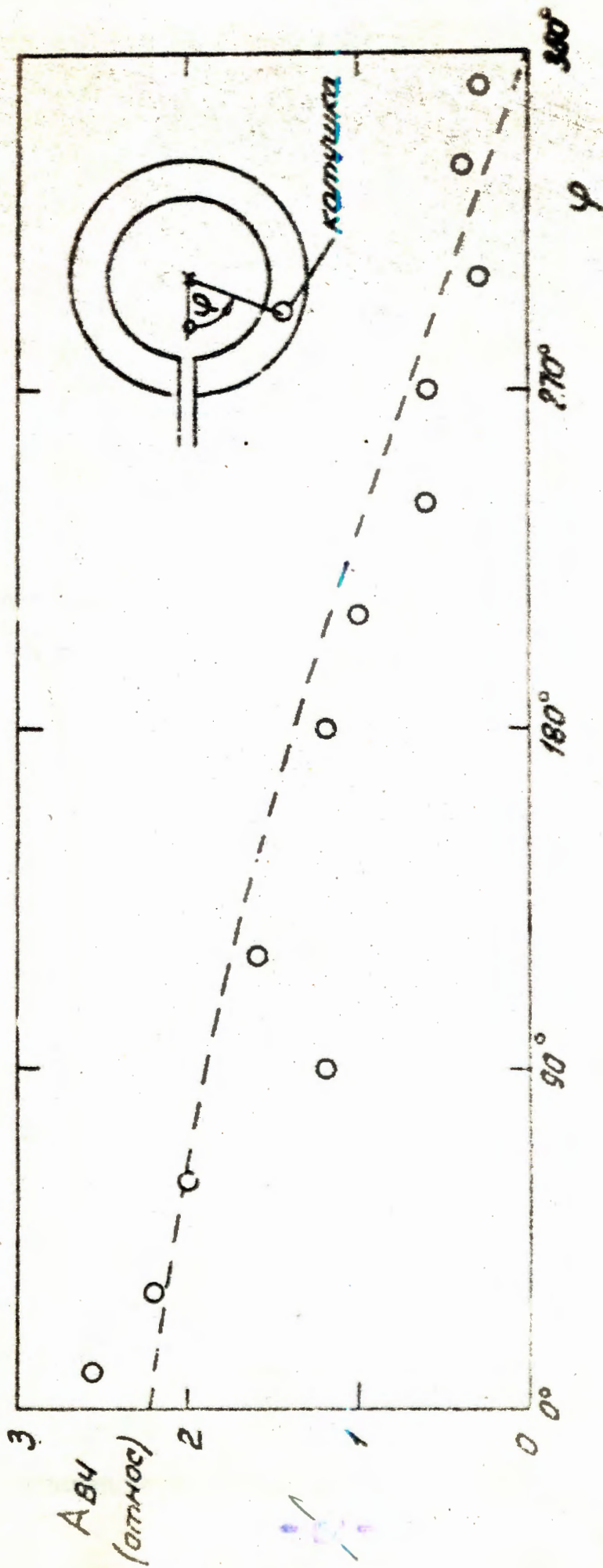


Рис. 9

Рис. 9. Зависимость амплитуды  $AB$  колебаний от азимута в линии витон-гайсера.

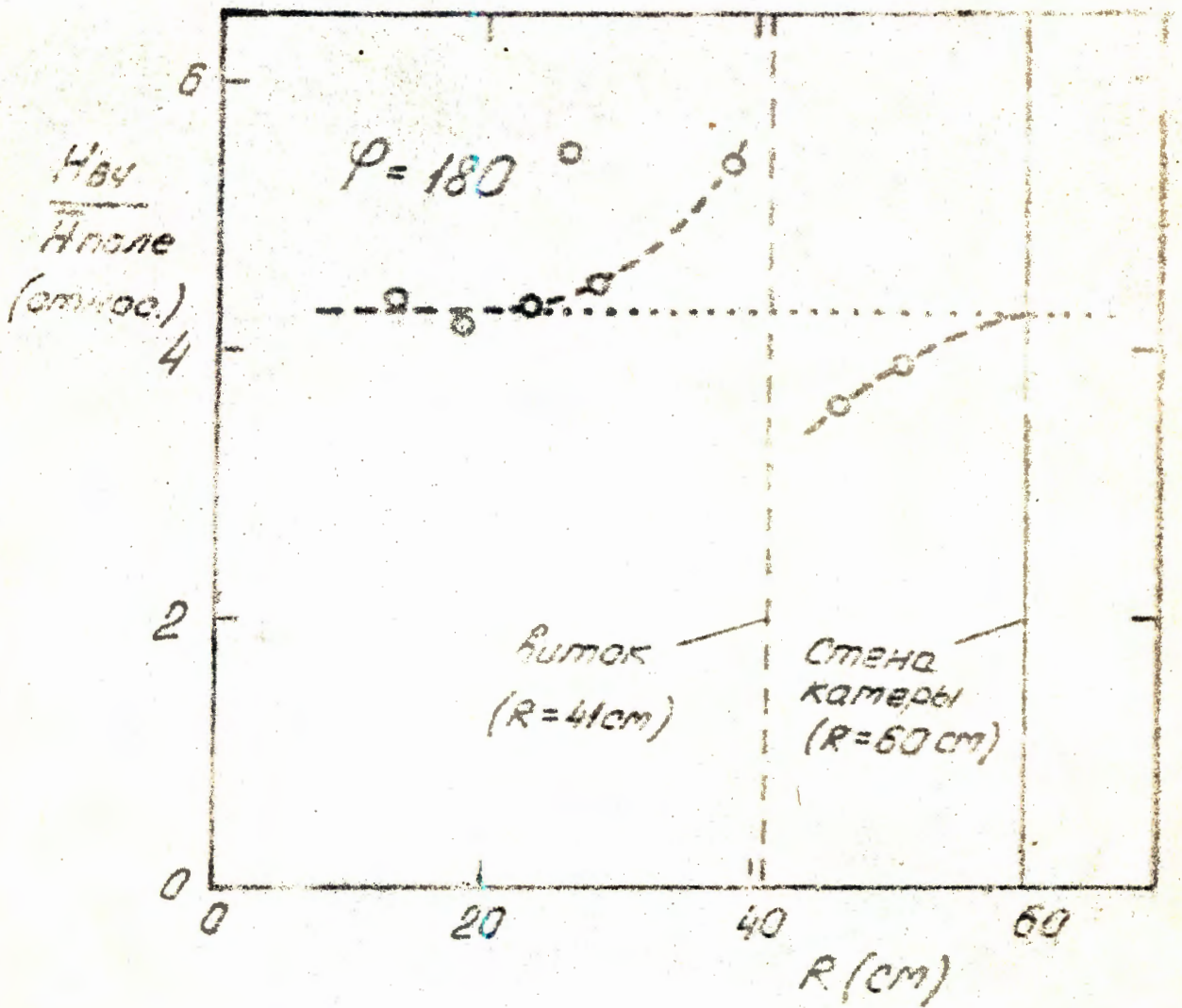


Рис. 10

Рис. 10 Зависимость амплитуды ВЧ колебаний от радиуса.

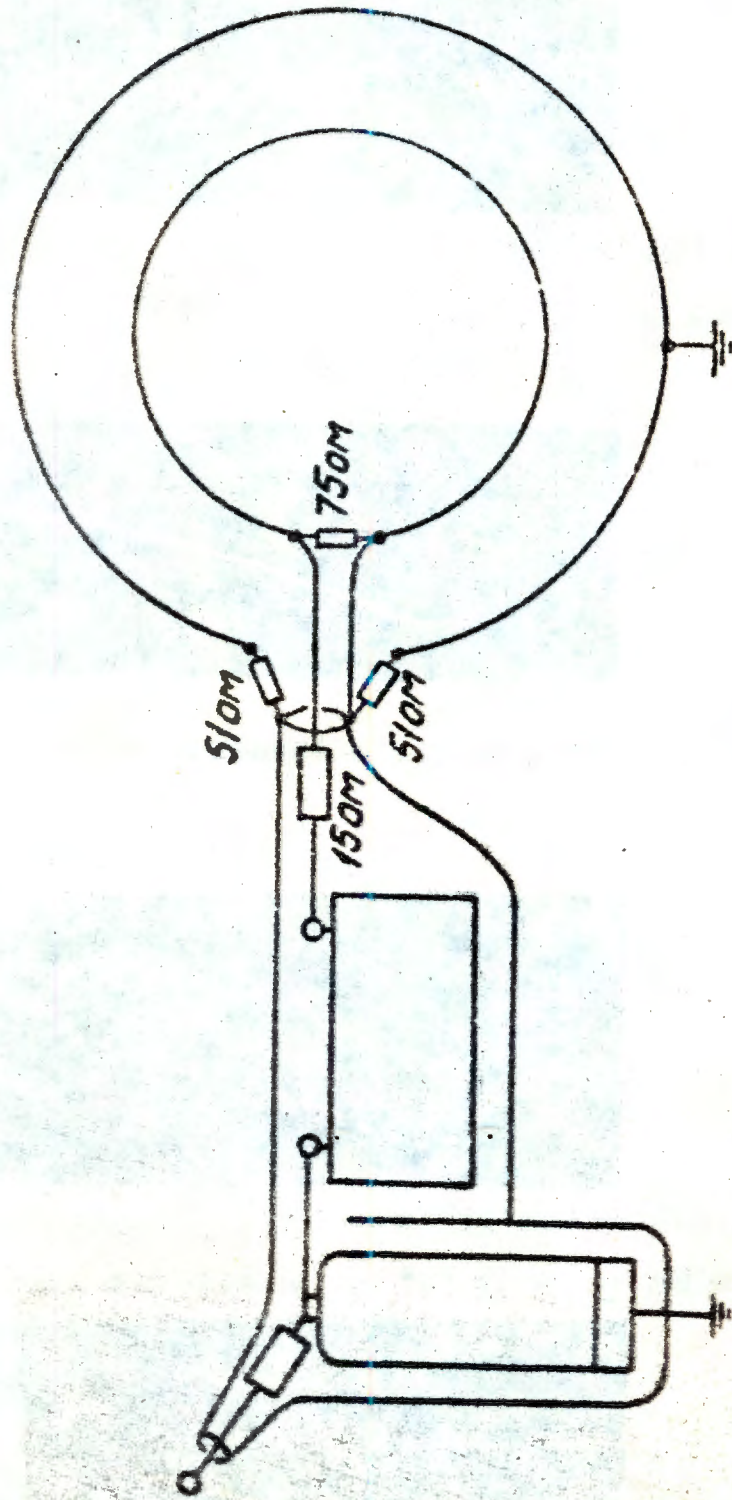


Рис. II



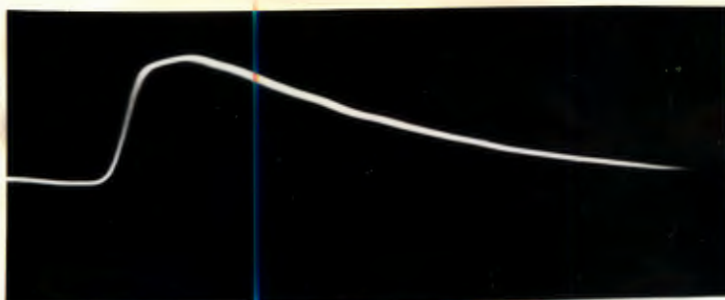


Рис. 12 Сигнал на  $R = 33$  см,  $\varphi = 180^\circ$  при схеме подавления колебаний по рис. 11, когда камера не заземлена.

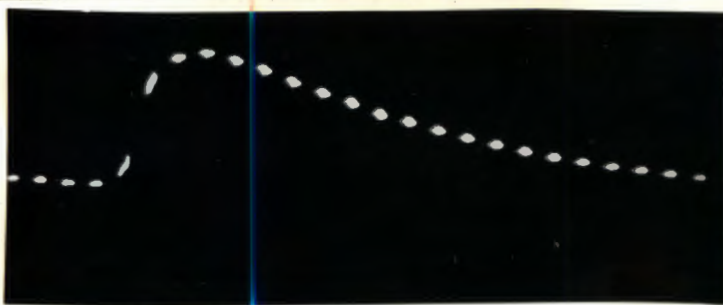


Рис. 13

Рис. 13 Сигнал при условиях аналогичных рис. 12.

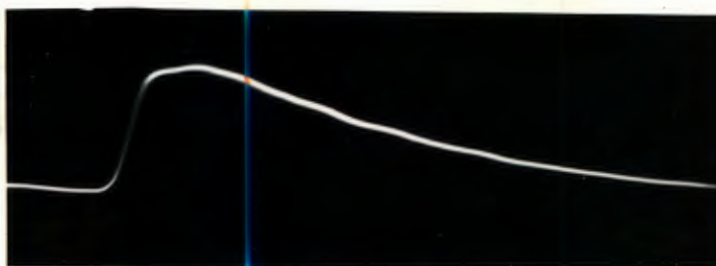


Рис. 14

Рис. 14 Сигнал на  $R = 33$  см,  $\varphi = 180^\circ$  в случае заземления камеры (20 нсек/дел).



Рис. 15

Рис. 15 Сигнал в результате подавления колебаний по схеме рис. 13 с кабелем на  $R = 33$  см,  $\varphi = 180^\circ$ , 20 нсек/дел.

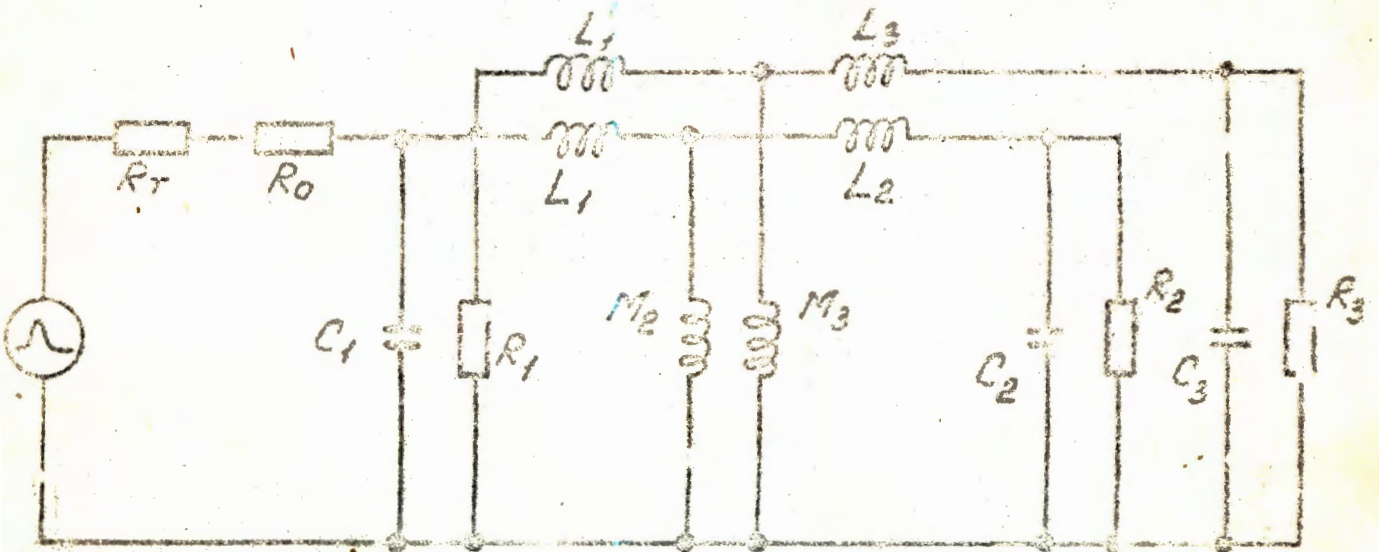


Рис. 16

Рис. 16 Эквивалентная схема систем трех ступеней скатия на одгезе-  
тоде.

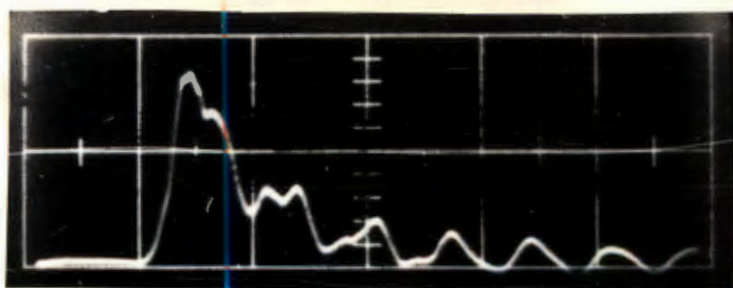


Рис. 17

Рис. 17 Осциллограмма колебаний на  $R = 30$  см без системы витков  
III ступени (200 нсек/дел).

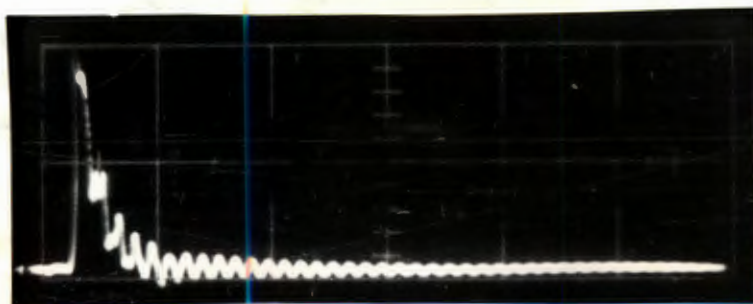


Рис. 18

Рис. 18 Осциллограмма колебаний на  $R = 30$  см без системы витков  
III ступени (100 нсек/дел).

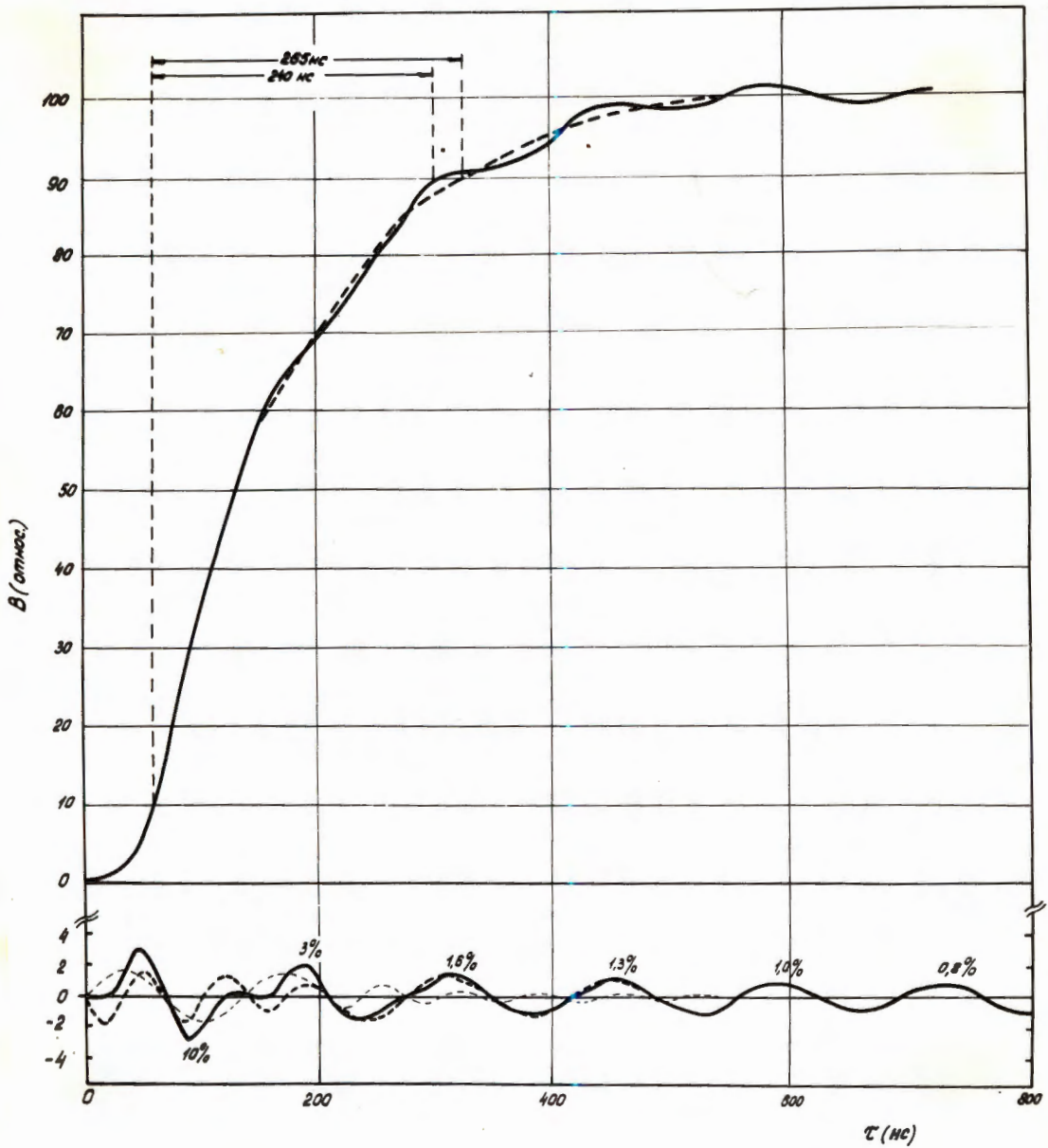


Рис. 19

Рис. 19 Кривая после интегрирования сигнала рис.17.

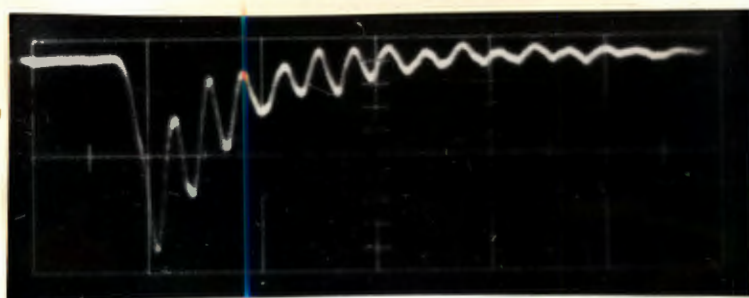


Рис. 20

Рис. 20 Сигнал в месте пучности магнитного поля линии витки-камера  
одгезатора (200 нсек/дел).

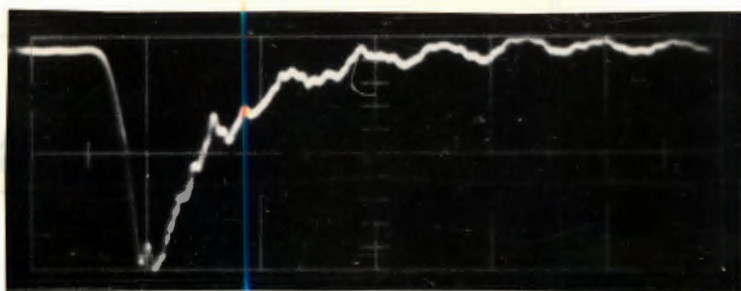


Рис. 21

Рис. 21 Сигнал в узле магнитного поля линии (развертка 200 нсек/дел)

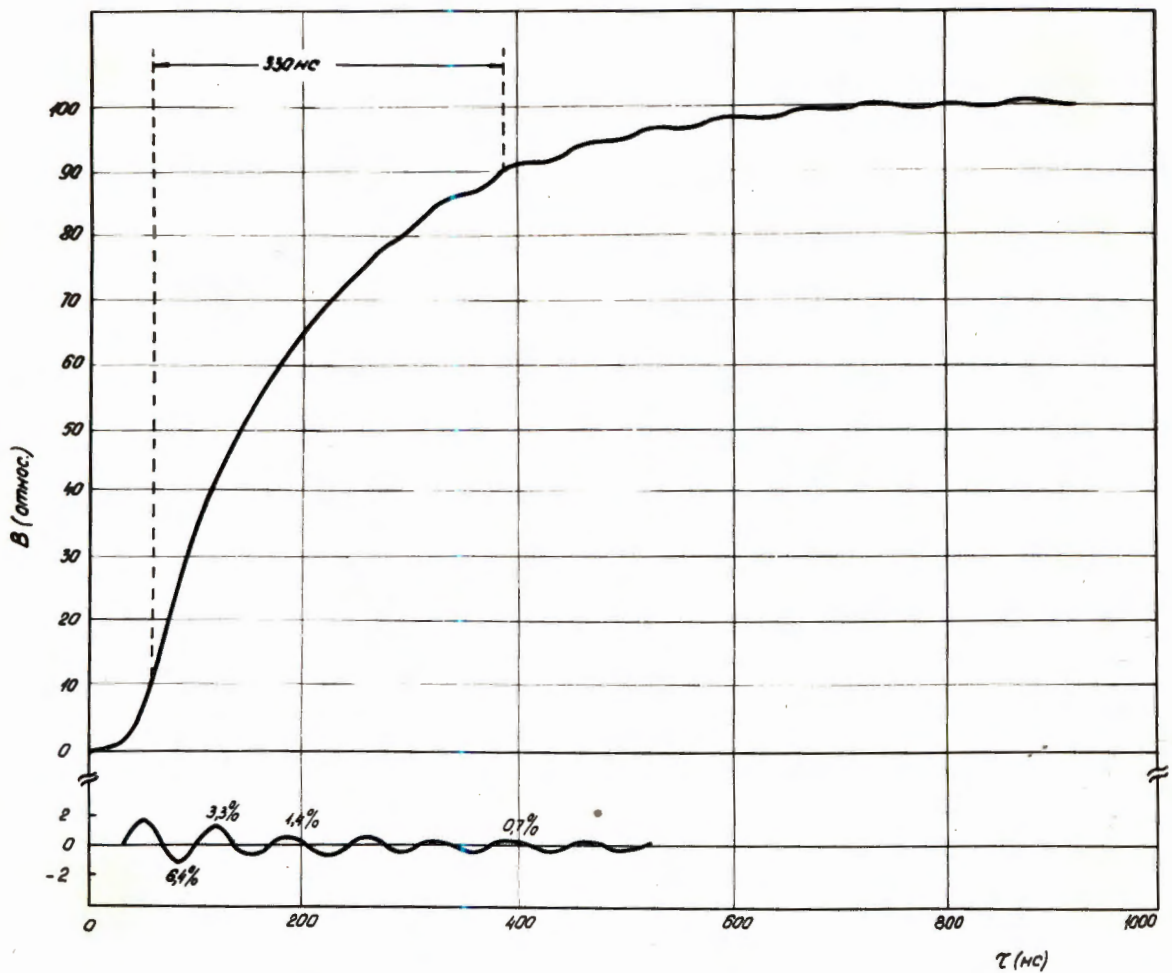


Рис. 22

Рис. 22 Интегрированный сигнал при выключении разрядника больших витков на  $R = 30$  см. (200 нс/дел).

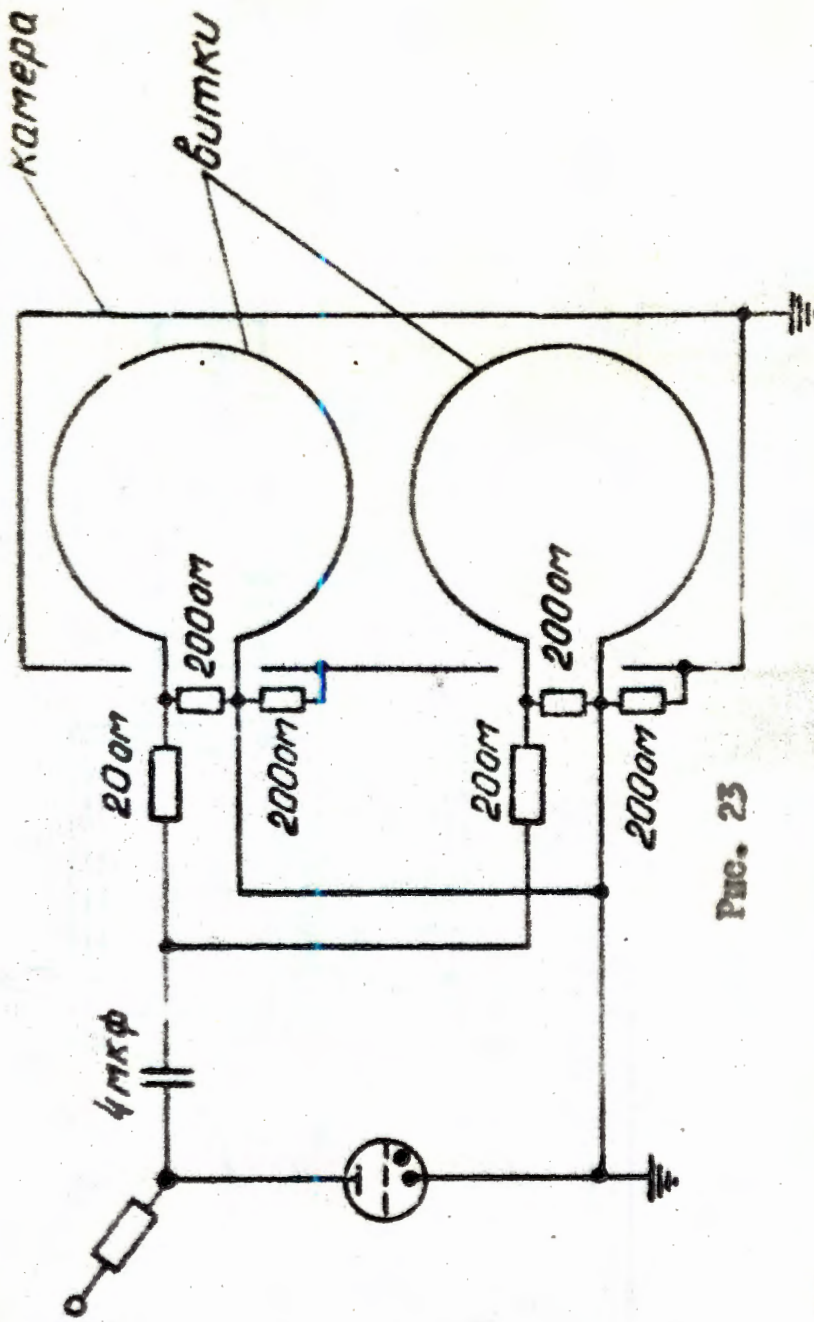
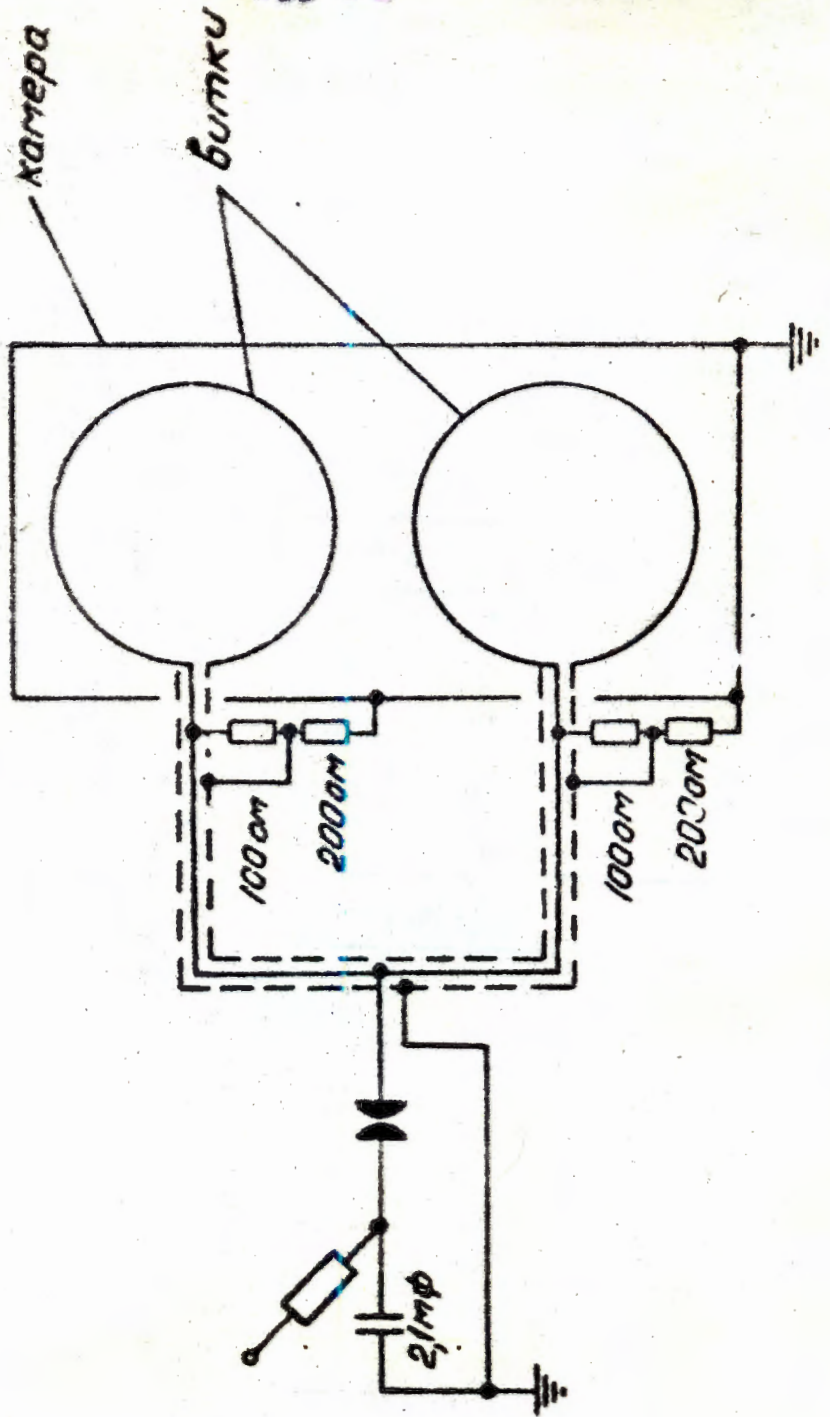


Рис. 23

Рис. 23 Схема конура первой ступени скотин с подвешенной В1 волно-  
баной.





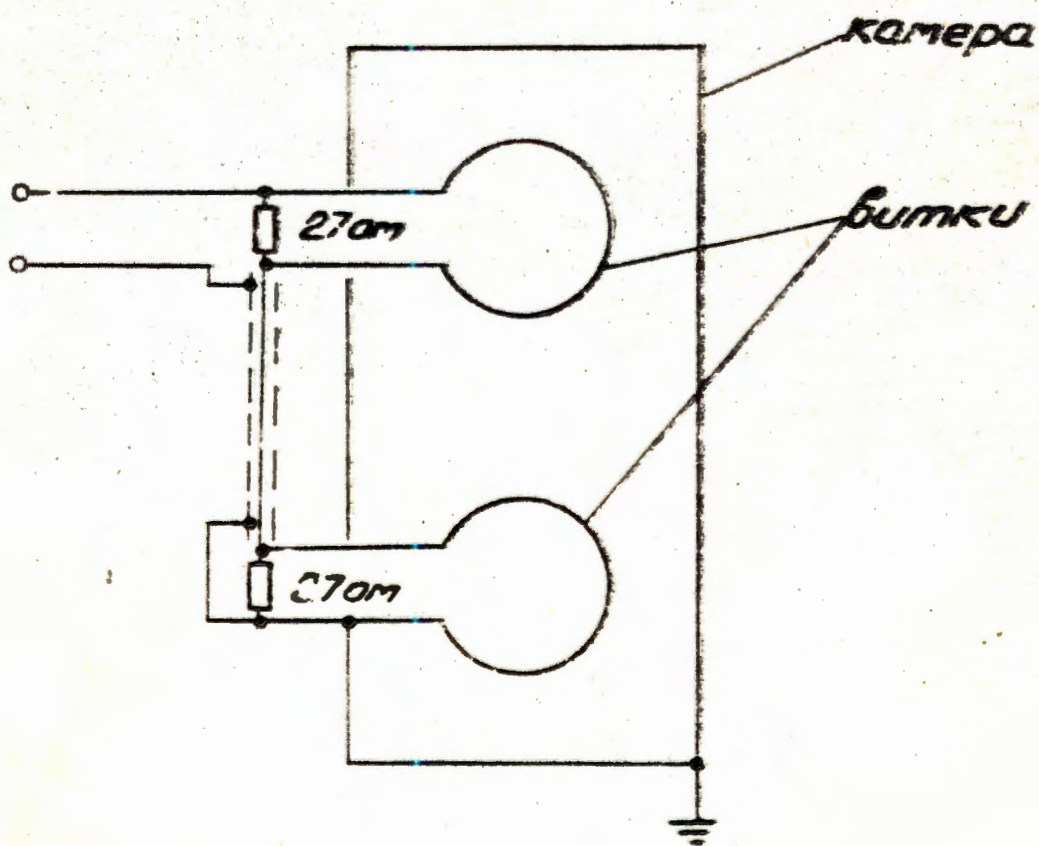


Рис. 25

Рис. 25 Схема контура третьей ступени скотин с подавлением ВЧ по-  
добаний.

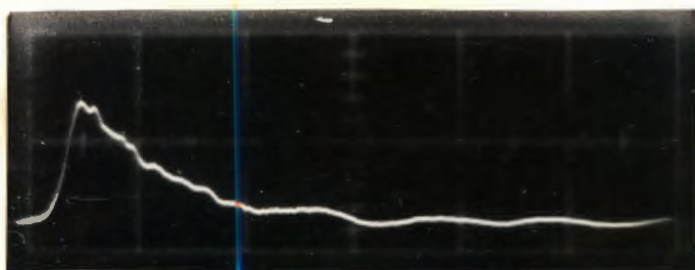


Рис. 26

Рис. 26 Сигнал на  $R = 40$  см, когда сопротивления не подсоединены и отсутствует контакт витков с камерой (200 нсек/дел).

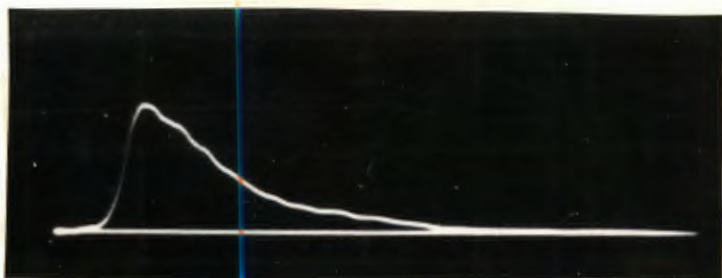


Рис. 28

Рис. 28 Сигнал на  $R = 30$  см при включенном быстром поле (200нсек/дел)

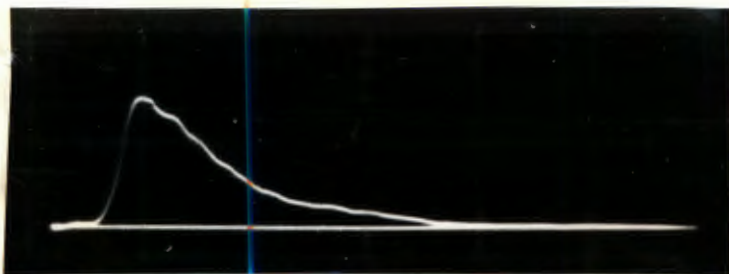


Рис. 29

Рис. 29 Сигнал на  $R = 30$  см, когда включены быстрое поле и большие витки (200 нсек/дел).

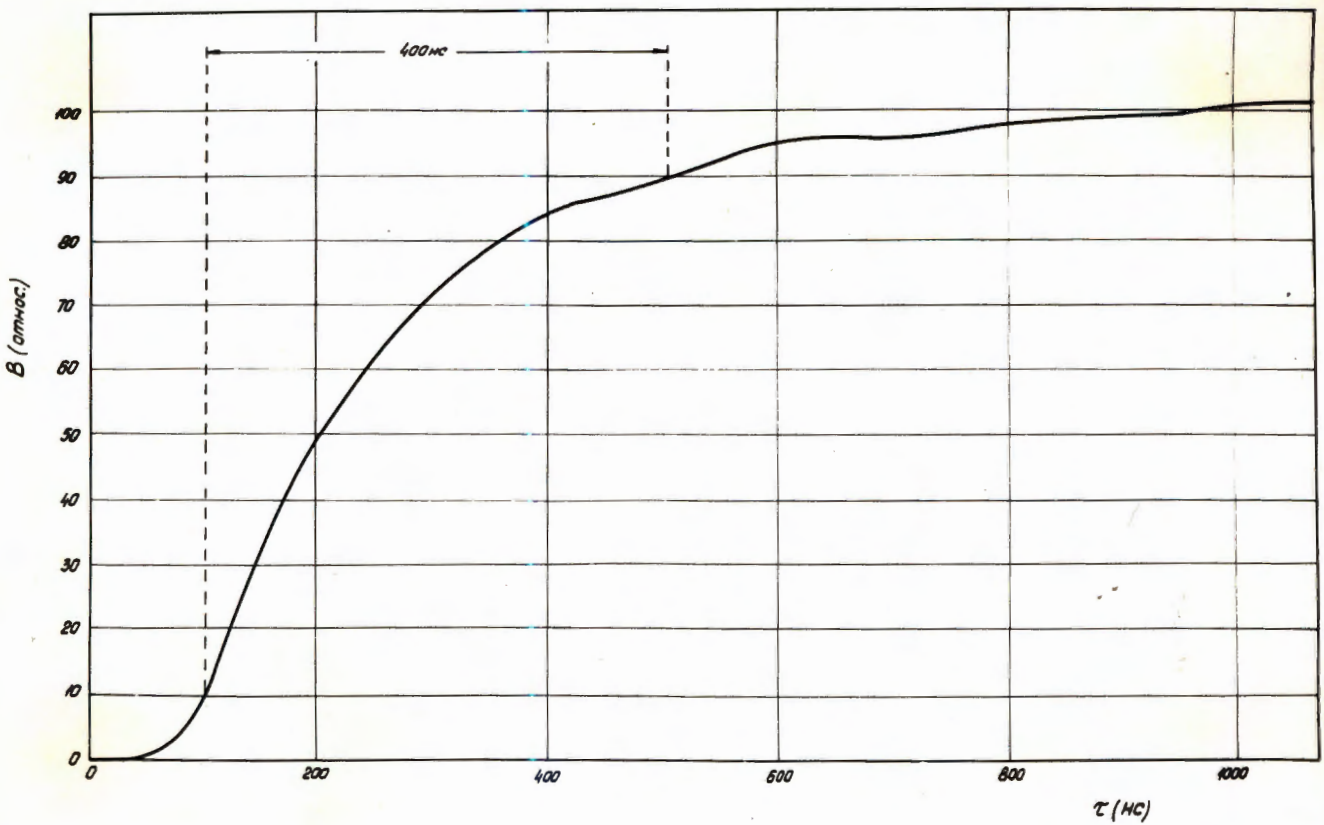


Рис. 27

Рис. 27 Импульс рис.26 после интегрирования.

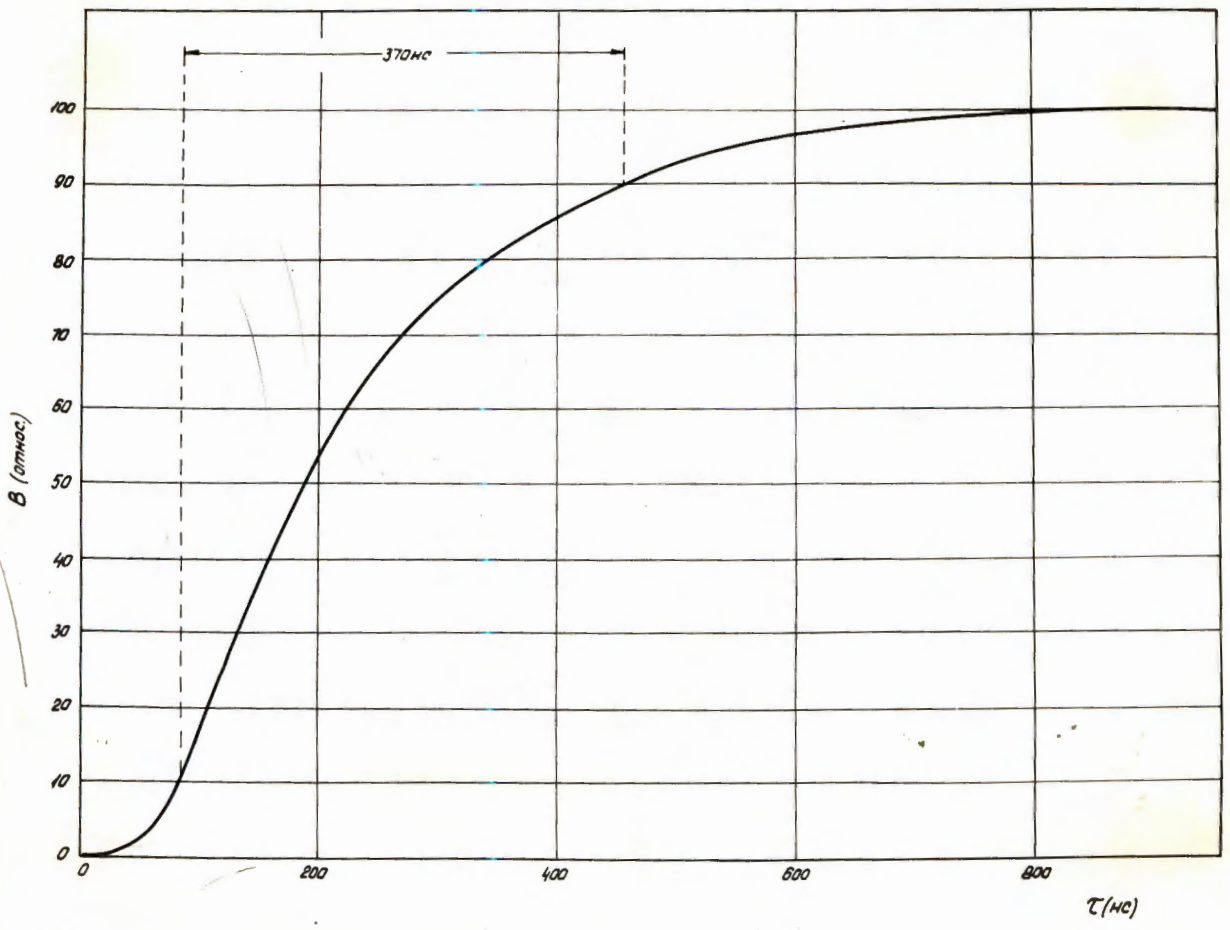


Рис. 30

Рис. 30 Кривая после интегрирования сигнала рис.28.

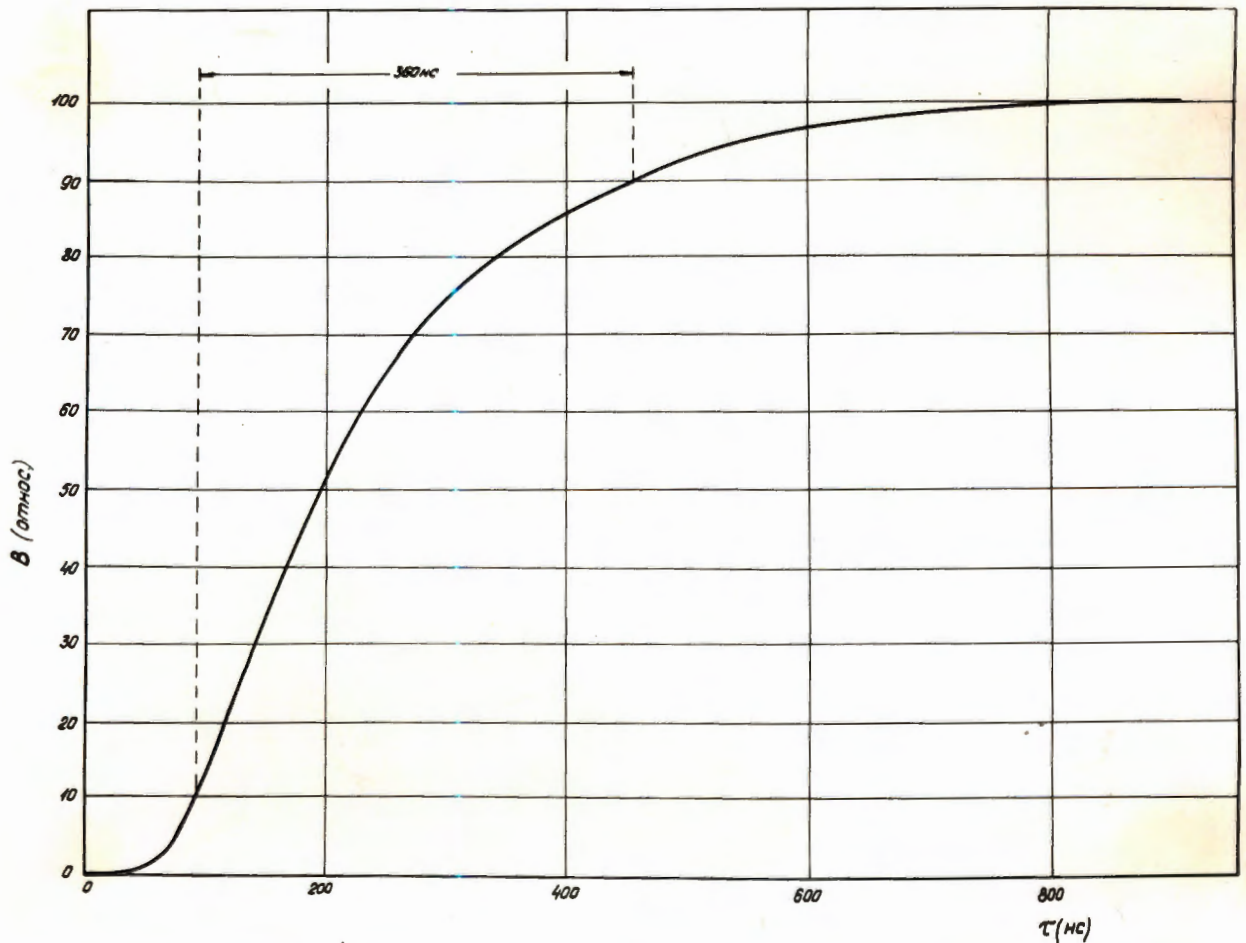


Рис. 31

Рис. 31 Кривая после интегрирования сигнала Рис.29.

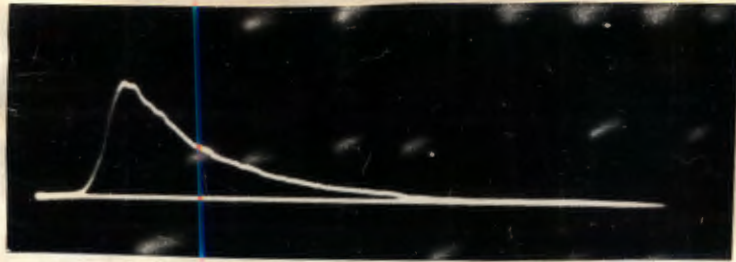


Рис. 32

Рис. 32 Сигнал на  $R = 40$  см (200 нсек/дел).



Рис. 33

Рис. 33 Сигнал в пучности магнитного поля в линии больших витков на  $R = 40$  см. (200 нсек/дел).

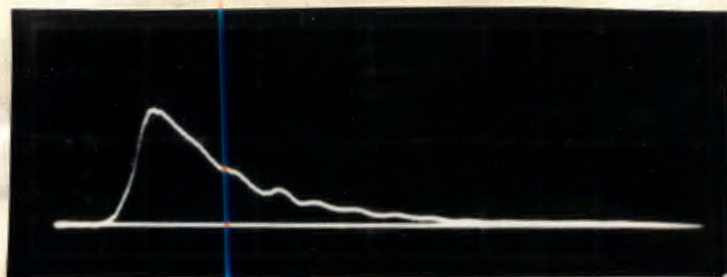


Рис. 34

Рис. 34 Сигнал в узле магнитного поля в линии больших витков на  $R = 40$  см (200 нсек/дел)