

Экз. 95

препринт

97

М.Ю.Гельцель, А.А.Тувик

**Некоторые особенности управляемого  
газоразрядного вентиля с вентильными  
свойствами в обоих направлениях**

г.Новосибирск 1967

Для служебного пользования  
Экз. № \_\_\_\_\_

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АН СССР

Препринт

М.Ю.Гельцель, А.А.Тувик

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЯЕМОГО ГАЗОРАЗРЯДНОГО ВЕНТИЛЯ  
С ВЕНТИЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ В ОБОИХ НАПРАВЛЕНИЯХ

г.Новосибирск

1967

## Аннотация

Приводятся некоторые данные об электрической прочности, вентильной прочности, движении дуги и нестационарных процессах при формировании дугового разряда в вентиле с твердым холодным катодом, предназначенном для коммутации тока в прямом и обратном направлениях.

## Введение

В /1/ кратко описаны этапы создания рассматриваемой ниже конструкции. Напомним здесь, что она оказалась удобной при исследовании нестационарных процессов в момент образования дуги в вентиле, описанном в /2/, а в дальнейшем, когда синхротрон Б-3М, работающий в установках встречных электрон-позитронных пучков /3/, начали готовить для посередного ускорения электронов и позитронов, эта конструкция приобрела самостоятельное значение, как коммутатор тока электромагнита в прямом и обратном направлениях <sup>1)</sup>.

В /1/ были приведены общие сведения о вентиле. Здесь описаны некоторые из опытов, касающихся его электрической и вентильной прочностей и поведения дуги. Кратко затронут вопрос о нестационарных процессах в коммутируемом токе при образовании дуги. В общих чертах рассмотрена конструкция вентиля и приведена схема генератора двухполярных импульсов тока, иллюстрирующая один из возможных вариантов применения его. Генератор такого типа предназначается для питания электромагнита электрон-позитронного синхротрона. Ток для питания обмотки синхротрона составляет величину до 120 кА. Предельный ток вентиля, позволяющий его устойчиво эксплуатировать при большой частоте повторения  $\sim 40$  кА /1/.

<sup>1)</sup> В настоящее время известно о новом газоразрядном приборе с твердым холодным катодом — артатроне, позволяющем коммутировать в одну сторону тока порядка 100 кА в импульсе 1 мсек с напряжением до 100 кв /4/.

Таким образом становится актуальным вопрос о параллельной работе нескольких (в данном случае трех) вентилях. Кроме того, дефорсировка поля в начале ускорения в синхротроне требует включения элементов, затягивающих процесс нарастания тока, например, дросселей насыщения. В решении этих вопросов нельзя в полной мере воспользоваться результатами многочисленных работ, касающихся вентилях с термокатодами и ртутными катодами. Исследования возможностей параллельной работы вентилях с твердым холодным катодом в режиме затянутого процесса нарастания тока представляют собой материал отдельной статьи и в настоящем препринте описываются весьма кратко в форме качественного изложения и постановки вопроса (Приложение стр.10).

#### I. Основные сведения о конструкции вентиля.

Генератор двухполярных импульсов тока для питания электромагнита электрон-позитронного синхротрона.

На рис.1 изображен иллюстрационный разрез опытного образца конструкции вентиля. Два охлаждаемых водой медных диска (1,2), снабженных поджигающими устройствами искрового типа (3,4), помещены в охлаждаемую вакуумную камеру из меди или нержавеющей стали (5,6). Через трубки в электродах поджига производится подача рабочего газа (водорода). Откачка вентиля и контроль давления производится через патрубки (7,8). Вентиль помещен в электромагнитный экран (9), напоминающий по форме беличье колесо и предназначенный для экранировки дуги от воздействия магнитных полей внешних контуров. Включение вентиля во внешнюю цепь производится посредством шин (10).

Рассмотрим далее схему генератора двухполярных импульсов тока, предназначенную для питания электромагнита электрон-позитронного синхротрона. Как упоминалось, в режим поочередного ускорения электронов и позитронов предполагается перевести синхротрон Б-3М, работающий в установках встречных электрон-позитронных пучков.

На рис.2 приведена известная схема генератора однополярных импульсов тока, которая может генерировать импульсы обеих полярностей при использовании коммутаторов тока, обладающих вентильными

свойствами в обоих направлениях. Принцип действия схемы в одном направлении описан в /5/ и в объяснениях не нуждается. На схеме обозначены: В — управляемый выпрямитель для подзаряда конденсаторной батареи. С — конденсаторная батарея,  $L_H$  — индуктивность электромагнита синхротрона и коммуникаций,  $B_1 - B_4$  — управляемые коммутаторы тока с вентильными свойствами в обоих направлениях, ПУ — поджигающие устройства.

#### II. Электрическая и вентильная прочность<sup>2)</sup>

Электрическая прочность вентиля определяется электрической прочностью разрядного промежутка при соответствующем давлении рабочего газа (водорода)<sup>3)</sup>

В вентиле с твердым холодным катодом практически бесполезны попытки увеличения электрической прочности с помощью разного рода запирающих устройств (сеток, диафрагм) и перегородок /6/. Каждое из них по своим эмиссионным способностям ничем не отличается от катода и может с успехом играть его роль. Это частично иллюстрируется описанными ниже экспериментами.

Электрическая прочность сначала измерялась на "холодном" вентиле без явлений, связанных с ионизацией, вызванной дуговым разрядом. Схема измерений изображена на рис.3. Регулируемый выпрямитель В питает вентиль  $B_1$  через большое сопротивление  $R$ . Напряжение пробоя фиксируется вольтметром  $V$  по падению напряжения на электродах вентиля и миллиамперметром  $mA$  по скачку тока. Перед измерениями электроды обрабатывались дуговым разрядом при импульсном токе около 30 ка. На рис.4 изображены схемы соединения электродов и вакуумной камеры. Результаты измерений введены в таблицу I.

2) см. также раздел III.

3) Давление газа выбирается оптимальным из условия инициирования дугового разряда при заданном типе поджигающего устройства, с одной стороны, и получения максимальной электрической прочности промежутка до подачи поджигающего импульса, с другой.

Таблица I

Схема включения электродов (рис. 4)	Напряжение пробоя (кв.)	Примечание
а	10,5	1. Все измерения велись при давлении водорода равном 6,5·10 <sup>-2</sup> мм.рт.ст.
б	10,5	
в	10,5	
г	6,5	2. Электрическая прочность промежутка для чистого водорода из кривых Пашена /7/ равняется 15 кв.
д	7,0	

Рассмотрим кратко практическую целесообразность того или иного случая соединения электродов.

Соединение электродов по схеме рис. 4 а (плавающий потенциал вакуумной камеры) является типичным при работе вентиля в обоих направлениях (см. раздел III). Случаи 4б и 4в представляют интерес при использовании корпуса (вакуумной камеры) для экранировки дуги от магнитных полей внешних цепей (см. раздел III). Наконец случаи 4г и 4д иллюстрируют действия положительного или отрицательного потенциала корпуса относительно катода на электрическую прочность разрядного промежутка.

Вентильная прочность (эл. прочность после дугового разряда), как и во всех других случаях, разумеется, зависит от величины коммутируемого тока и скорости его нарастания.

Один из опытов был сделан при схеме соединения электродов, соответствующей рис. 4 а) и длительности полупериода косинусоидального импульса тока равном  $\tau \sim 1$  мсек. Если амплитуда коммутируемого тока при этом составляет величину, близкую к 40 ка, то количество повторных зажиганий дуги (обратное напряжение равняется 2 кв) составляет 1 - 2 % от общего числа ( $10^5$ ) коммутируемых импульсов. Если амплитуда тока равняется 20 ка, то количество

повторных зажиганий в 10 раз меньше даже при обратном напряжении, равном 4 кв. При длительностях импульса  $\tau \leq 400$  мксек процент повторных зажиганий при указанных токах возрастает. Также резко возрастет число повторных зажиганий при соединении электродов по схеме 4б, когда вакуумная камера служит катодом.

В заключение заметим, что некоторые данные о вентильной прочности можно получить также из условий работы прибора в схеме модулятора в.ч. генератора импульсного высокочастотного инжектора (рис. 5) /8/. Схема включения электродов вентиля соответствует рис. 4а. Рабочее напряжение, до которого заряжается формирующая линия, равняется 10 кв. Длительность формируемого импульса 1 мсек. Амплитуда коммутируемого тока равняется 2,5 ка. При рассогласовании линии, которое имеет место во время тренировочных пробоев в генераторных лампах, обратная волна напряжения, появляющаяся через десятки микросекунд после нарастания фронта импульса основного тока, составляет примерно половину рабочего. Такой режим не приводит к потере электрической прочности вентиля.

### III. Некоторые особенности дугового разряда в вентиле

Развитие и протекание дугового разряда оказывает влияние на параметры вентиля, три из которых представляют интерес в рассматриваемом случае: скорость деионизации дуги, нестационарные процессы в коммутируемом токе и катодное распыление металла электродов /I/.

Рассмотрим некоторые эксперименты, проведенные при изучении дугового разряда в вентиле. Исследовалось распределение тока при разных схемах соединений электродов. В случае соединения электродов, изображенного на рис. 4а, использовалась схема измерения токов, приведенная на рис. 6а. Ток через вакуумную камеру (из нержавеющей стали) измерялся по падению напряжения на сопротивлении стенок камеры. Глубина проникновения тока в рассматриваемом случае велика (частота тока 500 гц) и, с достаточной точностью, распределение тока по сечению камеры можно считать равномерным. В этой измерительной цепи действует также ЭДС наводок от магнитного поля, создаваемого током электродов. Путем экранирования измерительной цепи от магнитных и электрических полей удалось достичь удовлетворительного

соотношения (5-6 раз) между амплитудами полезного сигнала и наводки. Кроме того, они хорошо разделяются во времени. Такая измерительная цепь дает возможность оценить качественную картину развития процесса. Количественную же оценку нельзя дать с достаточной точностью без дополнительных исследований, так как она зависит от места входа дуги в стенку и выхода из нее. Другая измерительная цепь определяет общий ток через вентиль с безындуктивного шунта  $\Pi_2$ . Сигналы с обеих цепей поступают на двухлучевой осциллограф. С помощью рамки, расположенной за экраном, была предварительно проверена эффективность защиты дуги от воздействия внешнего магнитного поля. Симметрия в движении дуги от центра (место расположения поджигающего устройства) к периферии в дальнейшем подтвердилась равномерной эрозией электродов. Осциллограммы токов даны на рис. 7а. Из осциллограмм видно, что ток через стенку вакуумной камеры идет только при спаде общего тока. Нестационарные процессы в основном сосредоточены в начале импульса.

Далее проводились измерения при соединении электродов, изображенном на рис. 4б. Схема измерений приведена на рис. 6б. В этом случае (осциллограмма рис. 7б) нестационарный процесс виден также в начале импульса (сигнал с шунта  $\Pi_1$ ). Спустя  $200 + 250$  мксек возникает дуговой разряд между стенками камеры и анодом (сигнал с  $\Pi_2$ ), ток с катода уменьшается, а ток со стенок камеры растет. Интегральная величина тока со стенок камеры велика. При возникновении дугового разряда со стенок камеры видна вторая группа нестационарных процессов, характеризующая начало дугового разряда между стенками камеры и анодом. Эта группа флуктуаций накладывается на общий ток, имеющий к тому времени значительную величину, и поэтому их относительный вклад в общий ток невелик.

Скорость движения плазмы в вентиле, определяемая расстоянием от центра до стенок камеры и временем задержки начала тока с них, составляет  $(0,5 + 1) 10^5$  см/сек, что совпадает с работой /9/.

Из изложенного видно, что от механизма развития дугового разряда зависит временное расположение нестационарных процессов (всплесков восстанавливающегося напряжения), а следовательно, и их вклад в общий ток вентиле. При распределенном поджиге с использованием рассеянного магнитного поля /2/ импульсы флуктуаций группируются в двух местах: первая группа - в начале импульса

и вторая группа с задержкой по времени (от нескольких микросекунд до нескольких десятков микросекунд) в зависимости от скорости нарастания тока. При изменении амплитуды тока в импульсе от 1 кА до 5 кА эта задержка составляет соответственно 20 и 10 мксек. Первая группа импульсов соответствует началу дугового разряда между стенками корпуса и анодом, вторая группа всплесков объясняется началом дугового разряда со дна корпуса, когда дуга сбрасывается со стенок, а ток и температура дуги еще не достигли своих максимальных значений. В случае же центрального поджига относительная величина второй группы флуктуаций невелика, так как ток и температура дуги достигнут к тому времени (200-300 мксек) величин близких к максимальным. Измерение падения напряжения в дуге показало полное соответствие временного расположения флуктуаций в токе с перенапряжением в дуге.

При проведении опытов представлялась возможность сравнить вентильную прочность прибора для двух описанных схем соединений электродов. Наблюдения показали, что в схеме (рис. 4а) при токе  $\sim 40$  кА и обратном напряжении 2 кв (раздел I) количество повторных зажигания дуги не превосходило  $(1 \div 5)$  %. При схеме соединений, соответствующей рис. 4б, вентильный эффект ухудшается и восстанавливается только при снижении амплитуды тока вдвое. Такое ухудшение вентильных свойств прибора можно объяснить резко возросшей величиной тока со стенок камеры. Процесс деионизации в этом случае тормозится встречными потоками паров металла. Конструкция, описанная в /2/, имеет вентильную прочность близкую к случаю соединения электродов по схеме рис. 4б.

В заключение рассмотрим кратко результаты катодного распыления металла электродов для двух разобранных выше случаев их соединения. При плавающем потенциале вакуумной камеры (рис. 4а), когда ток через нее проходит только во второй четверти полупериода, напыление металла катода на стенки вакуумной камеры сравнительно мало. Соответственно мало и распыление стенок камеры вокруг анода. Напыление металла катода идет в основном на периферийных участках анода. При работе вентиле в обоих направлениях происходит обмен материалами электродов, главным образом, между самими электродами /1/. Этому способствует и то обстоятельство, что в

разрядном промежутке эффективная поверхность электродов превосходит поверхность вакуумной камеры, ограниченную электродами. При соединении электродов по схеме 4б ток с вакуумной камеры быстро достигает своего максимального значения в первой четверти полупериода. Распыление вакуумной камеры и напыление ее материала на торцевые стенки электродов резко увеличивается и тем самым уменьшается срок службы вентиля до очередной профилактической разборки его.

Проведенные эксперименты позволяют сделать некоторые общие выводы.

1. Для уменьшения относительной величины второй группы нестационарных процессов в коммутируемом токе и локализации процесса в основном в начале импульса тока желательно иметь поджиг, расположенный в центральной области электродов.

2. Расположение поджига указанным образом при схеме соединения электродов, соответствующем случаю рис. 4б, приводит к значительному снижению вентиляционной прочности прибора. Для получения большой вентиляционной прочности в случае центрального расположения поджигающего устройства необходимо, чтобы камера была под плавающим потенциалом (рис. 4а).

3. Для уменьшения абсолютной величины нестационарных процессов при прочих равных условиях желательно выполнять катод из легко распыляемого материала, например, меди /1/.

4. Для уменьшения эрозии стенок вакуумной камеры схему соединения электродов целесообразно осуществлять также соответственно рис. 4а.

5. Следует отметить, что для электрической, а следовательно, и вентиляционной прочности принципиальное значение имеет очистка водорода. Нарушение работы генератора водорода (палладиевого натекателя) приводит к потере электрической прочности и вентиляционного эффекта уже при напряжении на электродах 200 - 300 в.

#### П р и л о ж е н и е

Как упоминалось во введении, не исключены случаи работы вентиля с твердым холодным катодом в режиме затянутого процесса нарастания тока (например при дефокусировке магнитного поля

в синхротроне). В этом случае, при переходе из тлеющего разряда в дуговой, в каждый момент времени существует вероятность возникновения критического состояния, при котором дуга может погаснуть. Скорость нарастания напряжения при обрыве или уменьшении тока зависит, как это показано в работах /10, 11, 12/, от параметров электрической цепи: индуктивности и сопротивления в цепи разрядного тока и емкости, шунтирующей разрядный промежуток. При более быстром нарастании напряжения восстановление дуги более вероятно. Увеличение индуктивности и уменьшение шунтирующей емкости увеличивают добротность внешнего контура (при одной и той же частоте его) и тем самым увеличивает амплитуду напряжения на электродах при восстановлении дуги.

Экспериментально установлено, что частота флуктуаций тока лежит в пределах  $10^5 - 10^6$  гц при индуктивности контура  $L = 10^{-5}$  гц и шунтирующей емкости  $C_{ш} = 2500$  пф (8а), что совпадает с работой /13/. При включении дополнительной емкости  $C_d = 1$  мкф, частота флуктуаций уменьшалась до 20 кгц. При этом не наблюдалось погасания дуги при поджиге. При включении в цепь дросселя насыщения (8б) вентиль работал четко, несмотря на затянутый (на  $\sim 100$  мксек) процесс нарастания коммутируемого тока при  $C_{ш} = 2500$  пф и не работал при увеличении ее в 5 - 10 раз. Вентиль не поджигался также в случае, когда последовательно с добавочной емкостью включалось сопротивление (порядка нескольких десятков ом) <sup>4)</sup>

4) При большом времени затягивания процесса нарастания тока возможна схема 9а, в которой частота и амплитуда флуктуаций восстанавливающегося напряжения задаются специальными элементами схемы ( $L_d, C_d$ ). Параллельное соединение вентиля в этом случае производится как показано на рис. 9б.

Таким образом ясно, что скорость нарастания восстанавливающегося напряжения и его амплитуда могут быть выбраны параметрами внешнего контура так, чтобы, с одной стороны, обеспечивали четкую работу вентиля при переходе тлеющего разряда в дуговой, а с другой стороны не создавали чрезмерных по амплитуде флуктуаций тока, препятствующих использованию вентиля.

Авторы выражают благодарность В.Б.Зусману за обсуждение некоторых из затронутых здесь вопросов и В.С.Панасюку за постановку работы, постоянный интерес к ней и ценные советы.

Подписи к рисункам.

Рис.1. Вентиль с двухсторонней проводимостью. 1,2 - коммутирующие электроды; 3,4 - поджигающие электроды; 5,6 - вакуумная камера; 7 - откачка; 8 - контроль давления; 9 - внешний экран; 10 - выводы для подключения шин; 11 - охлаждение камеры; 12 - изоляционные втулки.

Рис.2. Схема генератора двуполярных импульсов тока. В - выпрямитель, С - конденсаторная батарея;  $V_1 - V_4$  - вентили с двухсторонней проводимостью;  $LH$  - индуктивная нагрузка; ПУ - поджигающие устройства.

Рис.3. Схема измерения электрической прочности. Вып - регулируемый выпрямитель;  $R$  - ограничительное сопротивление;  $V_1$  - вентиль;  $mA$  - миллиамперметр;  $V$  - вольтметр.

Рис.4. Схемы соединения электродов и вакуумной камеры. а - вакуумная камера под плавающим потенциалом; б - вакуумная камера под потенциалом катода; в - вакуумная камера под потенциалом анода; г - вакуумная камера под положительным потенциалом ( $\sim 5$  кВ) по отношению к катоду; д - вакуумная камера под отрицательным потенциалом ( $\sim 5$  кВ) по отношению к катоду.

Рис.5. Схема модулятора высокочастотного генератора. Вып - выпрямитель; ЗД - зарядный дроссель; ФЛ - формирующая линия; ИТ - импульсный трансформатор; ПУ - поджигающее устройство;  $V_2$  - диод.

Рис.6. а) Схема измерения распределения токов в случае вакуумной камеры под плавающим потенциалом.  $Ш_2$  - измерительный безындуктивный шунт ( $Z = 10^{-3}$  ом); Тр - измерительный трансформатор с электростатическим экраном.



- б. Схема измерения распределения токов в случае вакуумной камеры под потенциалом катода.  
 $\text{III}_1$  и  $\text{III}_2$  - безындуктивные шунты.

- Рис. 7. а) Осциллограмма токов при схеме соединения электродов 4 а.  
 I канал - общий ток;  $u = 2,5$  в/см  
 II канал - ток через вакуумную камеру,  $u = 100$  мв/см.  
 Развертка 300 мксек/см.  
 б) Осциллограмма токов при схеме соединения электродов 4б.  
 I канал - ток с вакуумной камеры,  $u = 2,5$  в/см  
 II канал - ток катода;  $u = 2,5$  в/см.  
 Развертка 100 мксек/см.

- Рис. 8а, б. Схемы измерения частоты и амплитуды восстанавливающего напряжения на вентиле (одночастотная схема).  
 $C$  - конденсаторная батарея (3600 мкф);  $L$  - индуктивность ( $10^{-5}$  гн);  $C_{ш}$  - шунтирующая емкость (2500 пф);  $C_d$  - дополнительная емкость; Др.нас. - дроссель насыщения;  $R$  - дополнительное сопротивление;  $B$  - вентиль;  $R_1, R_2$  - делитель напряжения

- Рис. 9. а) Схема включения дополнительных элементов (двухчастотная схема).  
 $L_d$  - высокочастотная индуктивность.  
 $C_d$  - дополнительная емкость.  
 б) Схема параллельного соединения вентиля с дополнительными элементами в контуре.  
 $C$  - конденсаторная батарея;  $L_H$  - индуктивная нагрузка; Др1 и Др2 - дроссели насыщения;  $L_d$  - высокочастотные индуктивности;  $C_d$  - дополнительные емкости.

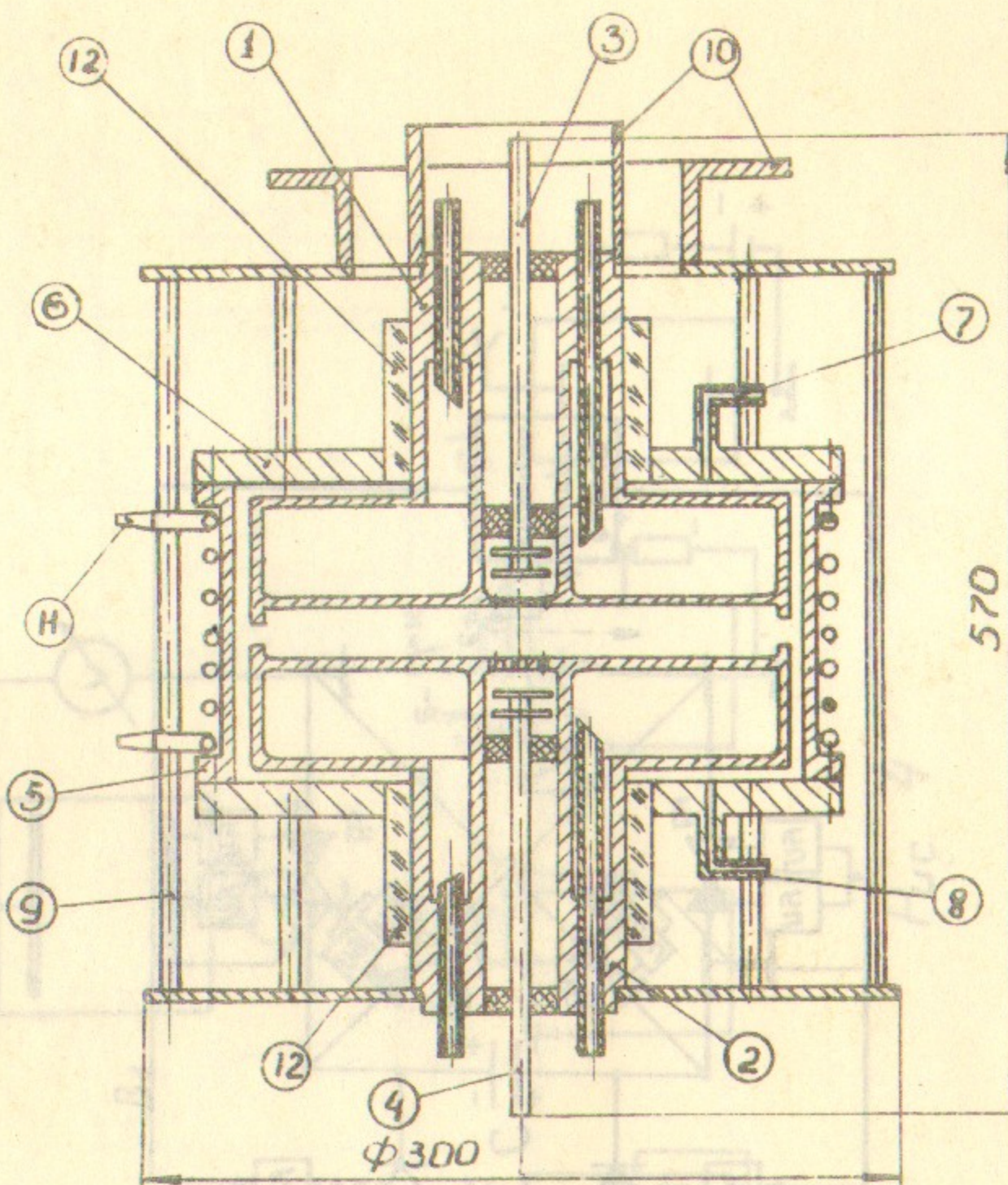


Рис. 1

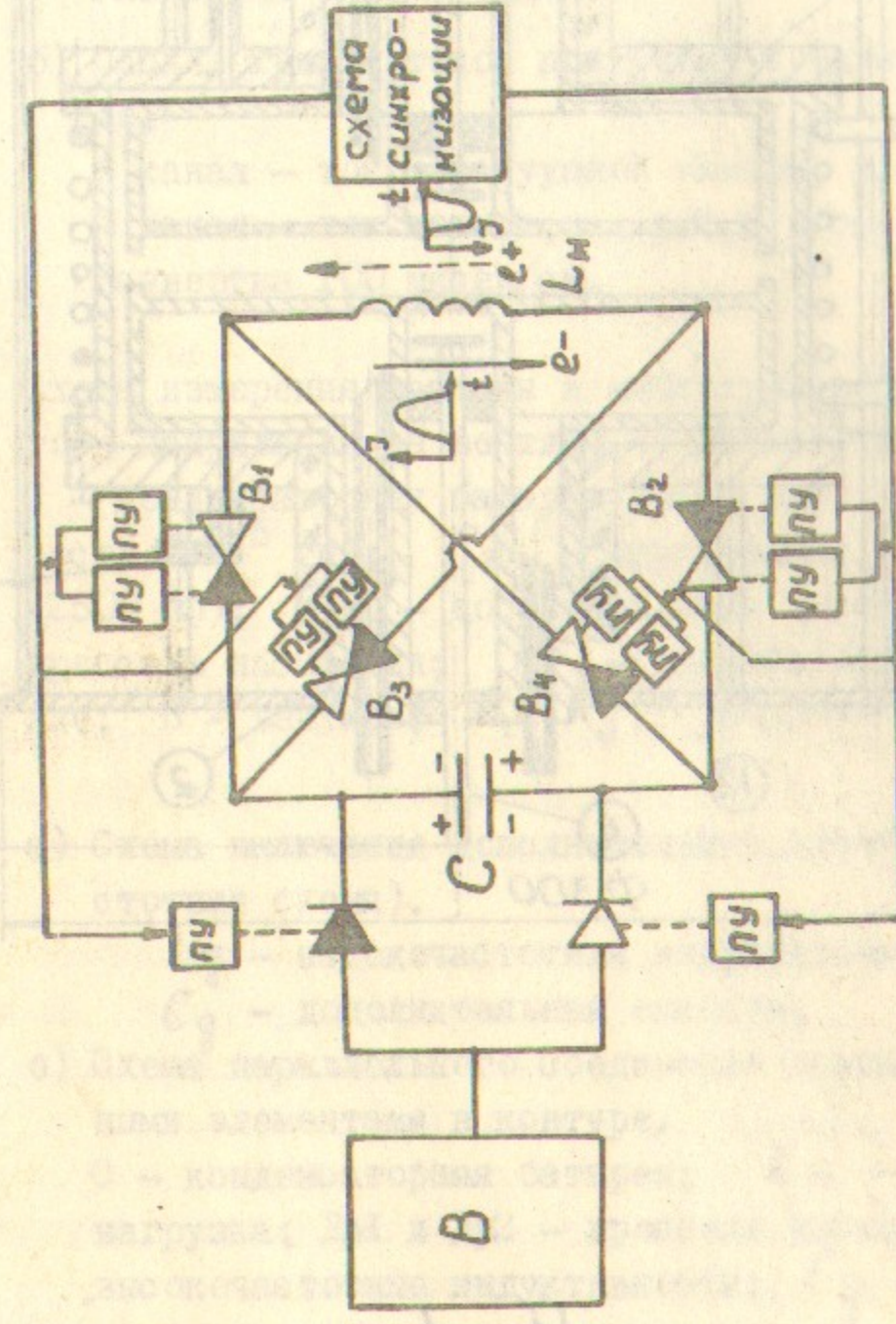


Рис. 2

Рис. 3

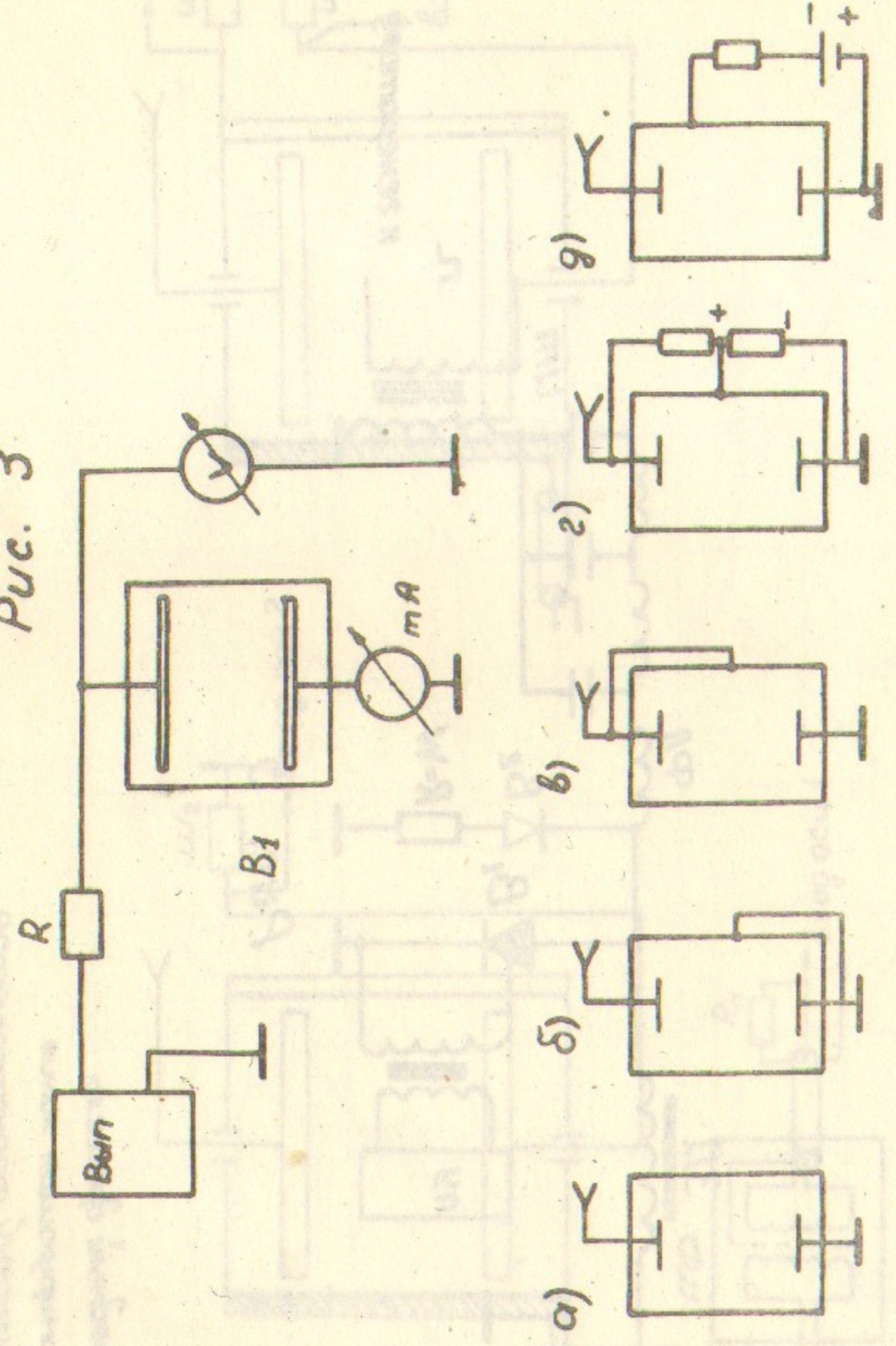


Рис. 4

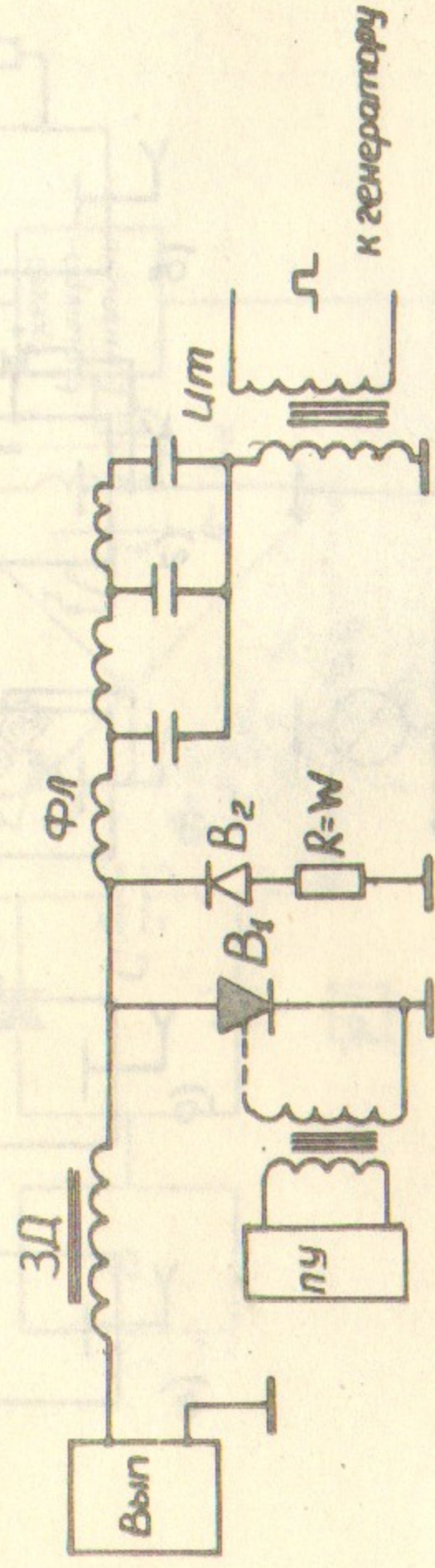


Рис. 5

ЗД - зарядный дроссель  
 ФЛ - формирующая линия  
 ЛУ - импульсный трансформатор  
 ПУ - поджигающее устройство

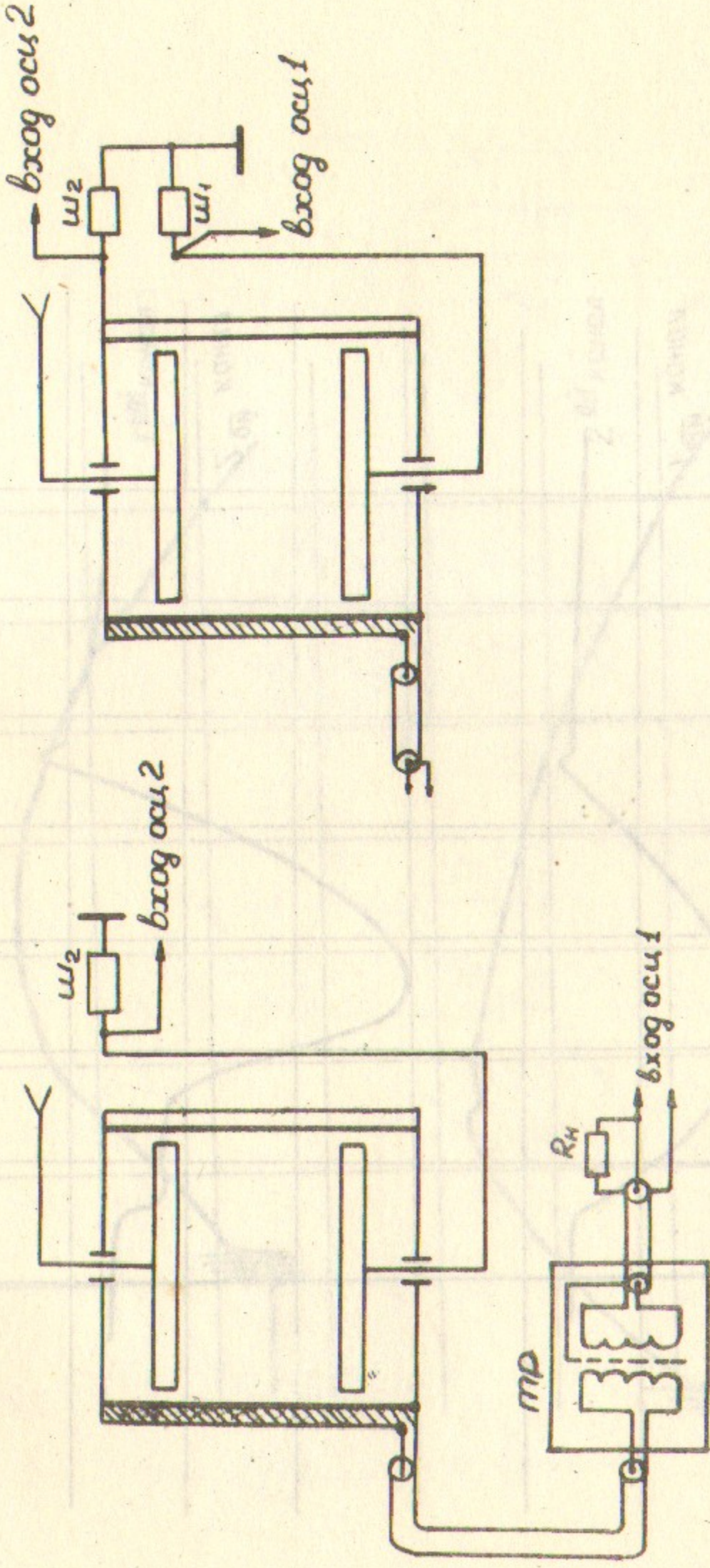


Рис. 6а

Рис. 6б

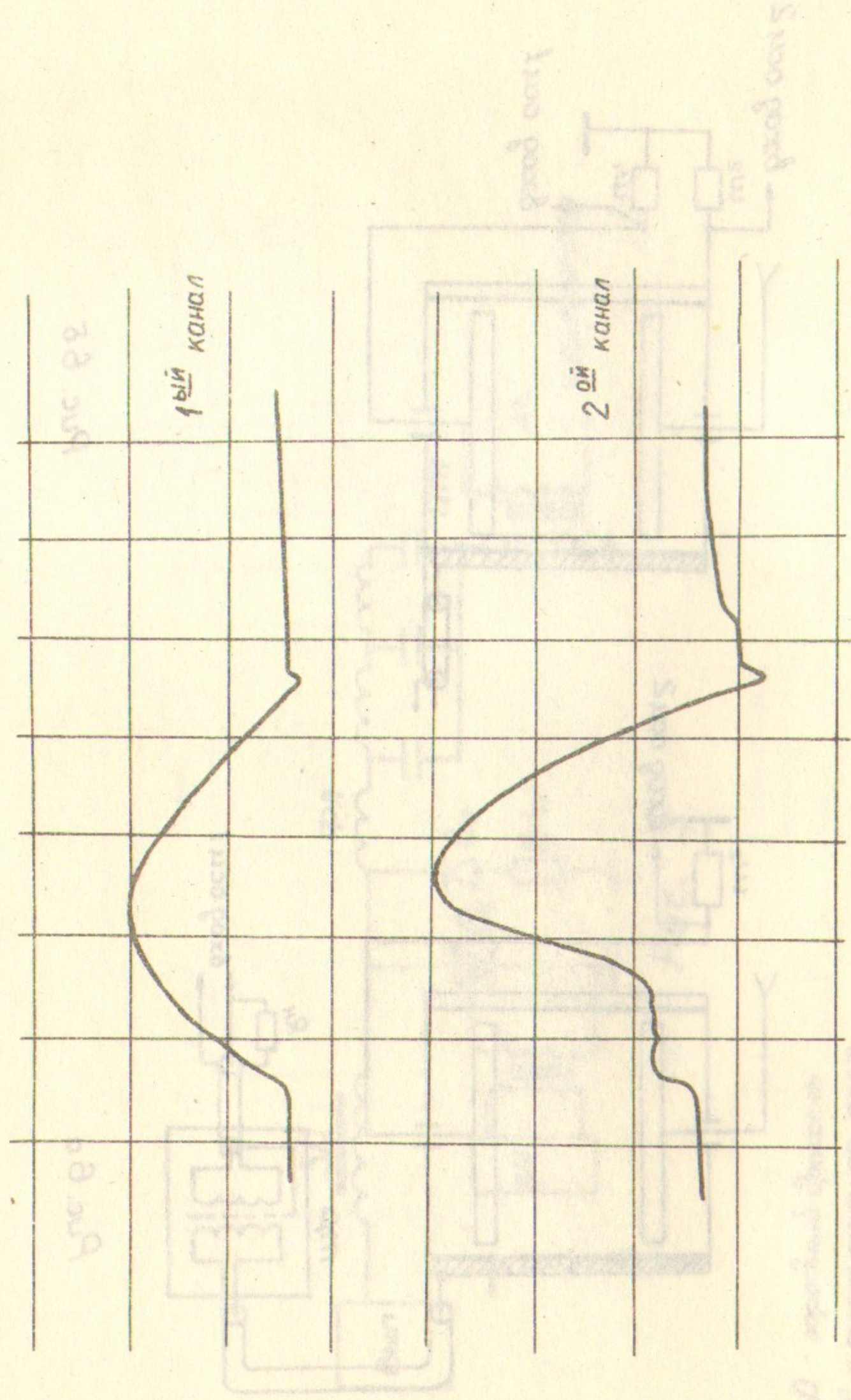


Рис. 7 а

30 - пробный импульс  
 50 - амплитудный масштаб  
 100 - длительность импульса  
 ПУ - подавление триггера

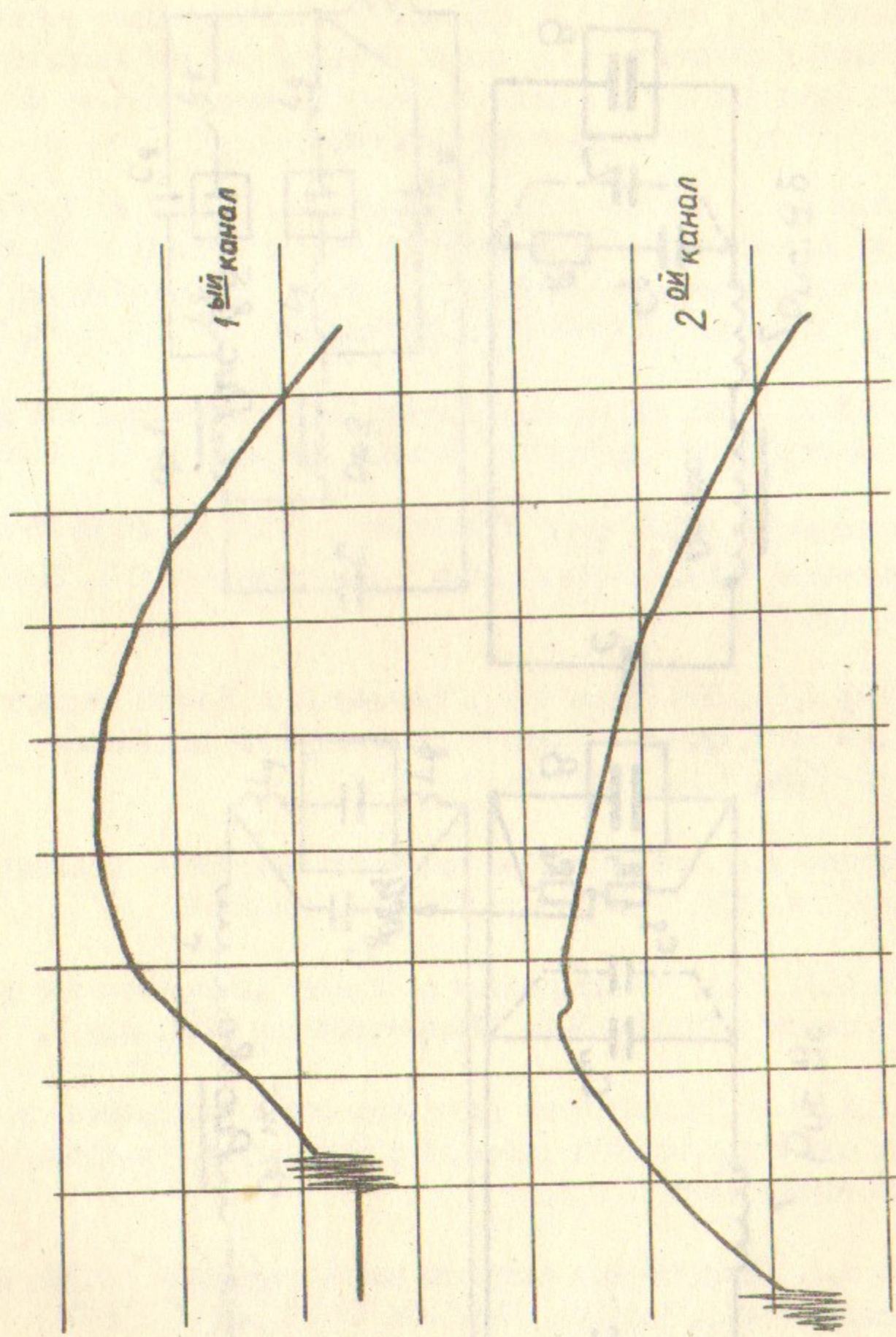


Рис. 7 б.

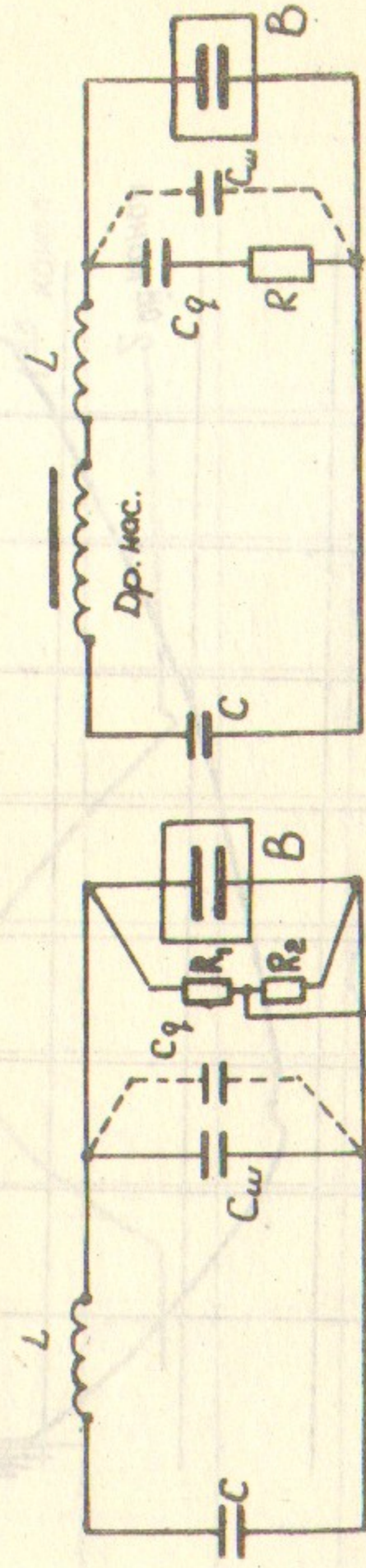


Рис. 8а

очч.

Рис. 8б

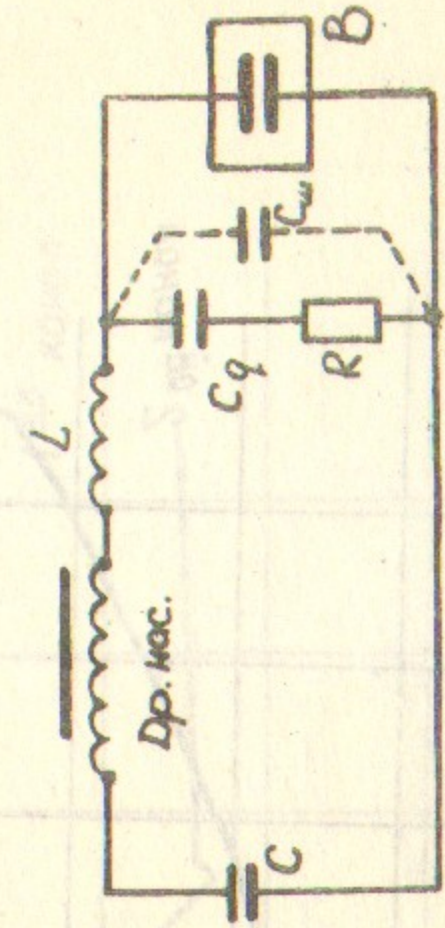


Рис. 8б

Рис. 7а

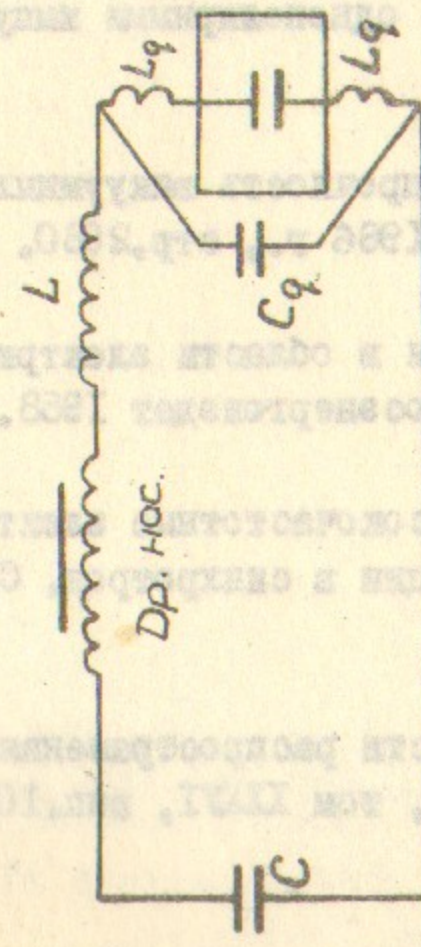


Рис. 9а

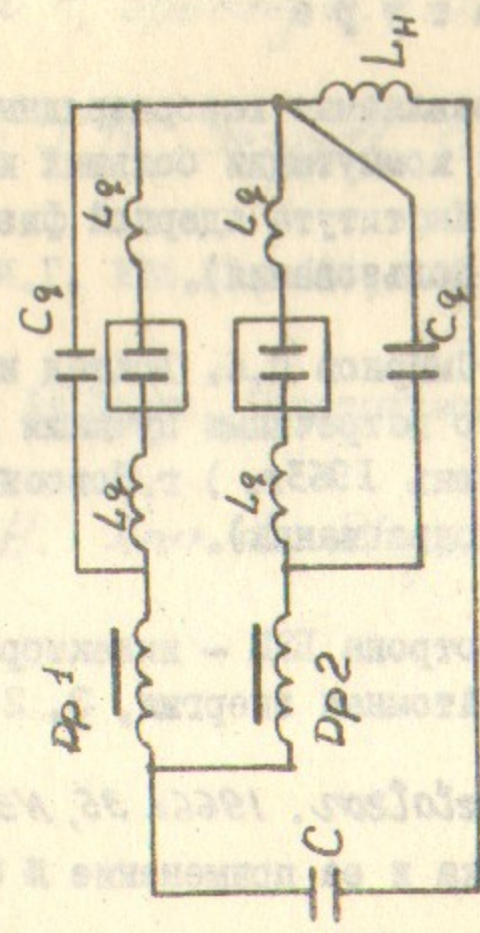


Рис. 9б

## Л и т е р а т у р а

1. Гельцель М.Ю., Зусман В.Б. Управляемые газоразрядные вентили с твердым холодным катодом для коммутации больших импульсных токов. Препринт № 87, издание Института ядерной физики СО АН СССР, 1966 г. (Для служебного пользования).
2. Колтыпин Е.А., Настиха А.И. и Смирнов П.А. Доклад на Всесоюзном совещании по ускорителям со встречными пучками и физике частиц сверхвысоких энергий (июнь 1963г.) г.Новосибирск, 1965г. ч.1. (Для служебного пользования).
3. Будкер Г.И. и др. Запуск синхротрона БЭМ - инжектора для позитрон-электронного накопителя, Атомная энергия, 3, 20, (1966 г.)
4. *Une nouvelle diode a'gaz l'arcstation. 1966г. 35, N358, 86-88(француз.)*  
Реферативный журнал. Электроника и ее применение № 8, 1966 г., 8A222, стр.31.
5. Кузнецов В.М., Кочегуров В.А., Чучалин И.П. Ионный переключатель для возбуждения а/магнита однополярными импульсами. Известия ТПИ, т.122, 1962 г.
6. Г.Н.Аретов и др. Электрическая прочность вакуумных дисковых выключателей. ЖТФ, № II ноябрь 1966 г., стр.2080.
7. Гусева Л.Г. В кн. "Исследования в области электрического разряда в газах". Труды ВЭИ.М., Госэнергоиздат 1958. стр.7.
8. Гриц Ю.А. и др. Сильноточные высокочастотные электронные ускорители для однооборотной инжекции в синхротрон. Сб. докладов, г.Новосибирск 1965 г. ч.1.
9. Тюлина М.А. Исследование скорости распространения плазмы при размыкании тока в вакууме. ЖТФ, том XXXVI, вып.10 (1966) стр.1905.

10. Copeland P, Spozing W. H. J. *Appl. Phys.*, 16, 302 (1945).
11. Cobine J. D., Fegoll G. A. *J. Appl. Phys.*, 31, 2296 (1960).
12. Кесаев И.Г. ЖТФ 33, 603, 616 (1963).
13. Дж.Мик, Дж.Крего. Электрический пробой в газах 1960 г., стр.559.  
*Plesse H. Ann. d. Phys.* 22, 473 (1935).

10. (1967) 508, 510, 512, 514, 516, 518, 520, 522, 524, 526, 528, 530, 532, 534, 536, 538, 540, 542, 544, 546, 548, 550, 552, 554, 556, 558, 560, 562, 564, 566, 568, 570, 572, 574, 576, 578, 580, 582, 584, 586, 588, 590, 592, 594, 596, 598, 600, 602, 604, 606, 608, 610, 612, 614, 616, 618, 620, 622, 624, 626, 628, 630, 632, 634, 636, 638, 640, 642, 644, 646, 648, 650, 652, 654, 656, 658, 660, 662, 664, 666, 668, 670, 672, 674, 676, 678, 680, 682, 684, 686, 688, 690, 692, 694, 696, 698, 700, 702, 704, 706, 708, 710, 712, 714, 716, 718, 720, 722, 724, 726, 728, 730, 732, 734, 736, 738, 740, 742, 744, 746, 748, 750, 752, 754, 756, 758, 760, 762, 764, 766, 768, 770, 772, 774, 776, 778, 780, 782, 784, 786, 788, 790, 792, 794, 796, 798, 800, 802, 804, 806, 808, 810, 812, 814, 816, 818, 820, 822, 824, 826, 828, 830, 832, 834, 836, 838, 840, 842, 844, 846, 848, 850, 852, 854, 856, 858, 860, 862, 864, 866, 868, 870, 872, 874, 876, 878, 880, 882, 884, 886, 888, 890, 892, 894, 896, 898, 900, 902, 904, 906, 908, 910, 912, 914, 916, 918, 920, 922, 924, 926, 928, 930, 932, 934, 936, 938, 940, 942, 944, 946, 948, 950, 952, 954, 956, 958, 960, 962, 964, 966, 968, 970, 972, 974, 976, 978, 980, 982, 984, 986, 988, 990, 992, 994, 996, 998, 1000.

1. Галкина М.И., Степан В.И. Исследование температурных характеристик диодов. Доклад на Всесоюзном симпозиуме по физике полупроводников. Доклад № 37, издан Институт физики СО АН СССР, 1966 г. (Для ссылки см. также Т.Н. Косов, СИ 1966 г.)
2. Коваленко Е.А., Васильев А.И. и Смирнов В.А. Диоды на Вентри-ном-электронном усилителе. Доклад на Всесоюзном симпозиуме по физике полупроводников. Доклад № 38, издан Институт физики СО АН СССР, 1966 г. (Для ссылки см. также Т.Н. Косов, СИ 1966 г.)
3. Булкин Г.М. и др. Зажигание электродов КИМ - индикатора для электрон-электронного усилителя. Доклад на симпозиуме, 2, 20, (1966 г.)
4. Une nouvelle diode d'apex. *Compt. Rend. Acad. Sci. Paris*, 1966, 263, 1048-1050 (французский).  
Реферативный журнал. Электроника и ее приложения 4 3, 1966 г., 34232, стр.31.
5. Кузнецов В.М., Кочетков В.А., Чучалов В.И. Новый вариант усилителя для возбуждения в/д волн однополосным методом. Известия ИИИ, 1, 122, 1966 г.
6. Г.М. Арестов и др. Экспериментальная проверка модифицированных диодов. ИИИ, 9 II декабрь 1966 г., стр. 2080.
7. Гусев Л.Г. В кн. "Исследования в области нелинейных процессов в лазерах". Труды ИИИ, Госиздат 1966, стр.7.
8. Грин В.А. и др. Связанные колебания в усилителе с обратной связью для симметричной системы в области СВЧ. Доклад, г. Новосибирск 1966 г. ч.1.
9. Толкин М.А. Исследования особенностей работы усилителя для размагничивания. **Ответственный за выпуск В.В. Антонов (1966)**  
стр. 190

Подписано к печати 14.02.1967г., заказ № 97,  
0,6 печ.л., тираж 100 экз., бесплатно.

Отпечатано на ротапринтере в ИЯФ СОАН СССР