



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

СЗ45  
Т-472

**В.Г. Тишин**

1255

**ВОЗБУЖДЕНИЕ ЭВАКУИРОВАННЫХ РЕЗОНАТОРОВ**

Автореферат диссертации, представленной на соискание  
ученой степени кандидата технических наук.

Научный руководитель  
кандидат технических наук -

**Ф.А. Водольянов**

Дубна 1963 год

В.Г. Тишин

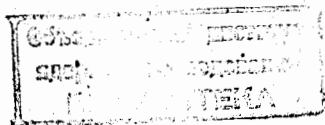
1255

С 345

T-472

ВОЗБУЖДЕНИЕ ЭВАКУИРОВАННЫХ РЕЗОНАТОРОВ

Автореферат диссертации, представленной на соискание  
ученой степени кандидата технических наук.



Научный руководитель  
кандидат технических наук -

Ф.А. Водопьянов

Для осуществления ускорения в циклических и резонансных ускорителях необходимо иметь большие значения ускоряющих высокочастотных напряжений. Однако при возбуждении электрического поля в вакуумных резонаторах часто приходится сталкиваться с некоторыми трудностями, обусловленными возникновением высокочастотных разрядов в полости резонатора. Ряд таких проблем встретился при запуске крупнейшего циклотрона многозарядных ионов ОИЯИ, что привело к необходимости изучения влияния высокочастотных разрядов на процесс возбуждения ускоряющего поля и на режим радиотехнической аппаратуры ускорителя. В диссертации излагаются результаты этих исследований. Экспериментальная проверка теоретических выводов производилась на 3-метровом и 1,5-метровом циклотронах ЛЯР ОИЯИ и на специально созданной установке. Основное внимание было обращено на изучение резонансного высокочастотного разряда (РВР), поскольку из практики отечественного и зарубежного опыта запуска и эксплуатации ускорителей было известно, что именно этот вид В.Ч. разряда оказывает большое влияние на возбуждение электрического поля в вакуумных резонаторах.

В настоящее время существует большое количество работ, посвященных исследованию этого явления <sup>1-3/</sup>. В диссертации приведен обзор основных теоретических и экспериментальных исследований, послуживших основой существующей теории разряда. Сущность механизма РВР сводится к следующему: если к двум электродам, находящимся в высоком вакууме, приложено высокочастотное напряжение достаточной амплитуды, то могут существовать такие условия, когда свободный электрон, находящийся на поверхности одного электрода, будет ускорен и пролетит расстояние между электродами за один полупериод или за несколько полупериодов колебаний ВЧ напряжения. Если при этом скорость электрона будет достаточной для создания вторичных электронов в количестве, превышающем число первичных, то аналогичное ускорение вторичных электронов приведет к возникновению лавины, нарастающей до тех пор, пока её росту не воспрепятствует объемный заряд возникшего электронного облака. По истечении некоторого времени между электродами будет существовать стационарный поток электронов, осциллирующий синхронно с частотой колебаний приложенного напряжения. Условия, необходимые для существования РВР, определяются из решения уравнения движения электронов в однородном электрическом поле, изменяющемся во времени по синусоидальному закону. Первый и второй интегралы уравнения движения в обобщенном виде могут быть записаны следующим образом:

$$\beta_x = \xi [\cos \phi - \cos(\phi + \theta)] + \beta_0, \quad (1)$$

$$\xi [\theta \cos \phi - \sin \phi - \sin(\phi + \theta)] + \beta_0 \theta = 1, \quad (2)$$

где  $\xi = \frac{U}{U_0}$  - обобщенная амплитуда, приложенного напряжения,  
 $U_0$  - абсолютная величина амплитуды приложенного напряжения,

$$U_0 [V] = \frac{d^2 4\pi^2 f^2}{e/m} = 2,26 \cdot 10^{-2} (f^2 d^2) [Mгц^2, см^2],$$

$d$  - межэлектродное расстояние,  
 $f$  - частота колебаний приложенного напряжения,  
 $e/m$  - отношение заряда к массе электрона,  
 $\beta_x$  - обобщенная конечная скорость вторичных электронов,  
 $\beta_0$  - обобщенная начальная скорость вторичных электронов,  
 $\theta$  - время пролета межэлектродного расстояния.

Решение уравнений (1) и (2) с учётом пролета межэлектродного расстояния за нечётное число полупериодов колебаний поля даёт соотношения, связывающие амплитуду приложенного напряжения, конечную скорость соударения и фазу вылета электронов. Из исследования полученных соотношений следует, что при возникновении разряда должны иметься верхняя и нижняя границы области напряжения, в которой возможно устойчивое существование процесса. Такой вывод совпадает с экспериментальными данными.

При расчётах значений границ обычно не учитывается наличие сплошного спектра распределения вторичных электронов по начальным скоростям и считается, что все электроны, для которых коэффициент вторичной эмиссии (КВЭ) превышает 1, имеют одинаковую начальную скорость.

Для объяснения поведения границ разряда при изменении  $fd$  некоторыми авторами вводится предположение о пропорциональности между начальной скоростью вторичных электронов и скоростью первичных. Эти предположения противоречат имеющимся данным о свойствах вторичной электронной эмиссии [1-3].

Для более полного объяснения механизма РВР в диссертации оценивается влияние реального распределения вторичных электронов по начальным скоростям и выводится условие существования разряда, имеющее следующий вид:

$$\sigma(\xi, \phi, v_0) \int_{v_{0H}}^{v_{0B}} w(v_0) dv_0 \geq 1, \quad (3)$$

где  $\sigma$  - зависимость КВЭ от энергии первичных электронов,  
 $v_0$  - начальная скорость,  
 $v_{0H}, v_{0B}$  - границы интервала начальных скоростей,  
 $w(v_0)$  - закон распределения относительного количества вторичных электронов, по начальным скоростям.

Для определения обобщенных границ разряда решение трансцендентных уравнений (1) и (2) было получено при помощи Э.С.М.

Результаты расчетов подтверждаются экспериментальными измерениями, проведенными автором на специальной установке и хорошо совпадают с экспериментами других исследователей. В диссертации проводится оценка развития разряда во времени. При этом считается, что ограничение лавины вторичных электронов целиком определяется объемным зарядом осциллирующего электронного облака. Полученные соотношения позволяют определить основные закономерности динамики разряда и оценить время развития РВР до его стационарного состояния. Теоретическое рассмотрение механизма разряда и сравнение с имеющимися экспериментальными данными позволяет сделать следующие выводы:

1. Если в эвакуированном до высокого вакуума объеме между электродами, имеющими КВЭ больше единицы, возбудить высокочастотное электрическое поле, то при определенных значениях напряжения, частоты колебаний и расстояния между электродами возможно возникновение электронного потока, осциллирующего синхронно с электрическим полем. Вылет электронов с электрода происходит в течение некоторого конечного интервала фаз и при этом в разряде участвуют вторичные электроны с непрерывным, но конечным спектром начальных скоростей.

2. При фиксированных значениях частоты и межэлектродного расстояния существуют нижняя и верхняя границы напряжения разрядной области, вне которой РВР не возбуждается. Можно считать, что для однородного поля обобщенные значения границ  $\xi_B$  и  $\xi_H$  при  $fd > 200$  Мгц.см равны  $\xi_B = 0,32$ ,  $\xi_H = 0,16$ . Значения абсолютной величины граничных напряжений для случая плоских электродов могут быть найдены из полученных соотношений.

3. Существует некоторое минимальное значение  $fd$ , соответствующее КВЭ = 1, ниже которого РВР не возбуждается. Результаты значительного числа экспериментальных работ дают основание считать это значение равным 80-90 Мгц.см.

4. Установление тока резонансного разряда описывается экспоненциальной зависимостью. При этом процесс характеризуется стационарным значением конвекционного тока, не зависящим от начальных условий. Если имеется инициирующее начало в виде излучения, электронной или ионной бомбардировки и т.д., то время развития разряда может значительно уменьшаться. В реальных конструкциях резонаторов ускорителей всегда существуют определенные неоднородности электрического поля, обусловленные влиянием краевого эффекта или специальной формой электродов. В диссертации производится оценка влияния неоднородности электрического поля на характеристики РВР для случая коаксиаль-

ных электродов. Показывается, что при коаксиальных электродах обобщенные уравнения, описывающие характеристики разряда, будут иметь тот же вид, что и для плоских электродов. Полученные соотношения позволяют приближенно определить границы разрядной области.

При возникновении РВР между электродами появляется активная составляющая тока и разряд потребляет определенную часть высокочастотной мощности, затрачиваемой на возбуждение поля. Это может рассматриваться как изменение эквивалентной добротности колебательного контура. В работе исследуется влияние разряда на колебательный контур для двух случаев:

1. Размер электродов много меньше длины волны возбуждаемых колебаний
2. Размеры электродов соизмеримы с длиной волны.

Если размеры электродов малы, то в результате влияния нелинейного сопротивления разряда и наличия верхней и нижней границ разрядной области получается гистерезисная зависимость напряжения на электродах от величины, подводимой к контуру высокочастотной мощности. Однако из-за того, что при малых электродах распределение напряжения по электроду постоянно, при достаточном запасе мощности можно возбудить напряжение, превышающее верхнюю границу разрядной области, и РВР в объеме не будет существовать.

Если размеры электродов сравнимы с длиной волны, то по длине электродов всегда имеется изменение напряжения, определяемое типом возбуждаемых колебаний (волной) и разряд может возникать лишь в части объема, в той области, где напряжение лежит между границами РВР. Это положение иллюстрируется рис. 1. Расположение области разряда определяется распределением напряжения и величиной возбуждающей мощности. Отсюда следует, что в системах со стоячей волной, т.е. в объемных резонаторах, возможно существование разряда при сколь угодно больших значениях мощности, вводимой в резонатор. В диссертации приводятся расчеты, позволяющие определить изменения добротности резонатора в зависимости от местонахождения разрядной области. Эти расчеты проводятся для цилиндрического и коаксиального резонаторов, т.е. для конструкций наиболее часто применяемых в технике ускорителей. РВР в резонаторе 3-метрового циклотрона У-300 наблюдался экспериментально, что подтверждает теоретические выводы о перемещении области разряда при изменении амплитуды напряжения.

Влияние нелинейного сопротивления разряда на процесс возбуждения электрического поля в резонаторах не может быть полностью учтено без рассмотрения реакции на действие разряда со стороны генератора, питающего резонатор.

Решение такой задачи должно полностью определить, как воздействует

РВР на режим радиоаппаратуры ускорителей при возбуждении ускоряющего напряжения. Однако до настоящего времени в литературе имелись только некоторые предварительные соображения <sup>1/4/</sup>, обычно не подтверждаемые сравнением теоретических расчетов с конкретными экспериментальными данными.

В третьей главе диссертации исследуется влияние РВР при независимом и автоколебательном возбуждении резонатора. Разделение способов возбуждения определяется тем, что при независимом возбуждении резонатор является нагрузкой автономного генератора и нелинейное сопротивление разряда не влияет на предельную величину в.ч. мощности генератора. При автоколебательном возбуждении нелинейность разряда, войдя в дифференциальное уравнение, описывающее автоколебательную систему, может определять величину предельного цикла, ограничивая, таким образом, предельную мощность генератора. Технико-экономические возможности того или иного метода возбуждения иллюстрируются в диссертации примерами существующих ускорителей.

Для анализа работы генераторов с независимым возбуждением используется схема, изображенная на рис. 2. При этом рассматриваются медленные системы, т.е. такие, в которых время установления напряжения в колебательном контуре больше времени развития разряда.

Уравнения, описывающие схему рис.2, имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} I_r R_r - Z_{ob} I_L &= E \\ Z_{ob} I_r - I_L Z_L - I_c Z_c &= 0 \\ I_r R_p - I_c Z_c &= 0 \\ I_L - I_c &= I_r, \end{aligned} \quad (4)$$

где:  $Z_L = j\omega L + r$ ,  $Z_{ob} = j\omega M$ ;  $Z_c = -j \frac{1}{\omega C}$  ;  
Привлекая при решении системы полученные выше соотношения, описывающие влияние разряда на добротность резонатора, можно получить основное условие возбуждения больших ускоряющих напряжений, которое гласит, что в случае независимого генератора для получения больших напряжений необходимо, чтобы максимальная мощность генератора, отдаваемая в резонатор в отсутствие разряда, была больше некоторой мощности  $P_0$ , определяемой выражением:

$$P_0 = \frac{\rho Q_0 U_c''^2 f^2 (U_c'')}{4}, \quad (5)$$

где  $\rho$  - характеристическое сопротивление контура;

$Q_0$  - добротность резонатора без разряда;

$U_c'' f(U_c')$  - величины, определяемые типом резонатора и характеристиками разряда.

В диссертации также рассматривается влияние степени согласования нагрузки с генератором и показывается, что изменение связи может быть полезно в тех случаях, когда мощности генератора недостаточно для перехода через область разряда. Небольшой проигрыш в максимальной величине ускоряющих напряжений при этом оправдывается использованием значительно меньшей мощности. Полученные соотношения подтверждаются измерениями, проведенными на 3-метровом и 1,5-метровом циклотронах ОИЯИ. В работе рассматривается также возбуждение напряжения в быстрых независимых системах и показывается, что увеличение скорости нарастания напряжения может облегчить переход через опасную область РВР. Для анализа автоколебательных систем используется схема, изображенная на рис. 3. Дифференциальное уравнение для такой схемы имеет вид:

$$\ddot{U}_c + \omega_0 [d(U_c) - M \omega_0 \beta f(\beta U_c)] \dot{U}_c + \omega_0^2 U_c = 0, \quad (6)$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}, \quad d = \frac{1}{Q} = \frac{R}{\omega_0 L},$$

$R$  — сопротивление потерь, учитывающее и потери от РВР. В результате исследования уравнения с привлечением нелинейного воздействия разряда на добротность найдено, что система может иметь три предельных цикла. Для получения больших ускоряющих напряжений необходимо, чтобы в системе существовали начальные условия, превышающие значение неустойчивого предельного цикла, определяемого нелинейностью разряда.

Такой вывод объясняет применение предвозбудителей в автоколебательных генераторах ускорителей.

В диссертации рассматривается влияние величины начальных условий на переходной процесс возбуждения, что важно для работы импульсных систем, в которых возможно появление запаздывания ускоряющего напряжения. Расчёты показывают, что оптимальной величиной начальных условий является значение, вдвое превышающее величину неустойчивого предельного цикла. Измерения, проведенные на циклотроне У-300, работавшем в автоколебательном режиме, хорошо подтверждают полученные данные.

Исследуется также влияние динамики развития разряда на возбуждение быстрой автоколебательной схемы и показывается, что при определенных условиях автоколебательная система с резонансом разрядом может возбуждаться до больших значений амплитуды колебаний, переходя через область максимального влияния РВР без образования неустойчивого предельного цикла. Проведенный теоретический анализ, подтверждаемый экспериментальными результатами, позволяет сделать выводы, которые могут использоваться при создании аппаратуры ускорителей.

1. В ускорителях, работающих с невысокими уровнями ускоряющих напряжений /фазотроны/, возникновение резонансного разряда может привести к полной невозможности возбуждения ускоряющего поля. Поэтому в таких установках следует применять методы, позволяющие ликвидировать РВР в резонаторе ускорителя.

2. В циклотронах с ускоряющими напряжениями, превышающими область разряда, работающих в непрерывном режиме и с редкими изменениями частоты ускоряющего поля /например, циклотроны с азимутальной вариацией магнитного поля, предназначенные для получения больших токов одного типа ускоряемых частиц/, выгодно применение малоламповых автоколебательных систем с возбудителем.

3. В ускорителях, рассчитанных на частые перестройки длины волны ускоряющего поля, работу и в импульсном и в непрерывном режимах, а также на изменение ускоряющего напряжения в широких пределах /таким типом ускорителей могут являться универсальные циклотроны физических лабораторий или циклотроны для ускорения многозарядных ионов/, следует применять многоламповые усилители с независимым возбуждением и с достаточным резервом выходной мощности.

4. В линейных ускорителях, где для генерирования ВЧ мощности используются приборы СВЧ диапазона, обычно работающие в импульсном режиме, возможно применение и усилителей с независимым возбуждением и автоколебательных систем. Выбор метода возбуждения в этом случае будет определяться величиной мощности генератора, возможностью параллельной и синхронной работы нескольких генераторов, обеспечением глубины обратной связи и мощности, необходимых для перехода через область РВР, и другими технико-экономическими факторами.

5. Во всех этих типах схем весьма полезным прибором может оказаться предвозбудитель, создающий ненулевые начальные условия при включении системы. Поэтому при разработке схемы генератора для ускорителя и конструкции резонатора в состав аппаратуры следует включать такое устройство и предусматривать ввод его мощности в резонатор.

Из опыта строительства и запуска циклических и резонансных ускорителей известно, что при определенных условиях возникновение РВР может привести даже к полной невозможности возбуждения необходимых ускоряющих напряжений. Поэтому задачей ускорительной электроники является разработка методов и средств, не допускающих возникновения разряда в резонаторах ускорителей. Наиболее радикальным способом являлось бы использование материалов и покрытий с КВЭ меньше 1. Применение для этой цели существующих

материалов представляется в настоящее время проблематичным из-за образования на поверхности окислов и масляных пленок. Некоторые возможности уменьшения влияния резонансного разряда может дать правильный выбор величины зазора между электродами, поскольку при значениях  $fd$  меньше 90 Мгп. см РВР не возникает.

Основным способом подавления разряда в настоящее время является подача на электроды постоянного смещения. Однако, несмотря на обширное применение этого метода в ускорительной технике, до настоящего времени не имеется удовлетворительного объяснения механизма подавления разряда при помощи смещения. Более того, отсутствуют инженерные критерии, позволяющие рассчитать необходимую величину постоянного напряжения. Для решения этих вопросов в диссертации производится исследование разряда при одновременном наличии на электродах постоянного и высокочастотного напряжения. Показывается, что при изменении смещения изменяются фазовые соотношения в разряде и вначале двухэлектродный разряд переходит в одноэлектродный, а затем происходит полное подавление резонансного разряда.

В результате решения графоаналитическим методом уравнения движения в плоском поле была определена обобщенная величина необходимого смещения, равная  $\gamma = 0,11$ . /Здесь  $\gamma = \frac{E}{U_0}$ , а  $E$  - абсолютная величина напряжения смещения,  $U_0$  - параметр разряда, равный  $2,28 \cdot 10^{-2} f^2 d^2 / \text{см}^2 \cdot \text{Мгп}^2$ .

Для экспериментального исследования подавления РВР была создана установка, состоящая из мощного генератора и вакуумного объема с электродами. Схема установки приведена на рис. 4. При индикации разряда и измерениях границ разрядной области использовался ток, появляющийся в цепи электродов из-за потерь вторичных электронов и попадания их на стенки объема.

Результаты измерений приведены на рис. 5. Из эксперимента следует, что при  $fd > 200$  Мгп.см. подавление разряда происходит при  $\gamma = 0,16$ .

Учитывая некоторые упрощения, введенные для облегчения расчетов, такое совпадение эксперимента с расчетом можно считать удовлетворительным и полученная величина  $\gamma$  может быть рекомендована для вычисления смещения при конструировании ускорителей. При проведении экспериментов было также найдено, что возможно подавление разряда при помощи электроотрицательных ионов. Однако практическое применение этого метода пока остается сомнительным из-за сложности и неустойчивости получения слоя ионов на поверхности электродов. Наличие в резонаторах поверхности электродов с КВЭ больше 1 может приводить не только к возникновению РВР. В некоторых случаях возможно появление нерезонансных вторично-эмиссионных разрядов. Примером процесса такого типа является рассмотренная в диссертации быстрая осцилляция вторичных электронов между кромками дуантов циклотрона. Высокочастотная

мощность, потребляемая этим разрядом в начальный период работы ускорителя, достигает 50% всей мощности, вводимой в резонатор, и уменьшается со временем. Эксперименты, проведенные на ускорителях У-300 и У-150 показали, что возникновение этого разряда определяется одновременным наличием магнитного поля, электрического поля, провисающего между кромками дуантов и вторичной эмиссией с кромок. На основании проведенных измерений делаются некоторые рекомендации, позволяющие уменьшить влияние разряда и сократить время тренировки ускорителя. В частности, конструкция дуантов циклотрона должна содержать минимальное количество щелей, допускающих возникновение осцилляций, обеспечивая при этом необходимую скорость от качки полости дуантов.

В начальный период работы ускорителя в резонаторе возможно возникновение плазменного разряда ударной ионизации. В диссертации показывается, что инициатором плазменного разряда может служить РВР. Образование плазмы при этом происходит путем ионизации газа, выделяющегося с поверхности электродов, а также образующегося при разложении пленок вакуумных масел. После некоторой "тренировки" газовыделение в объеме прекращается и разряд исчезает. Поэтому при эксплуатации ускорителей должно предусматриваться время, необходимое для тренировки. Измерения, проведенные на циклотроне У-300, показали, что в автоколебательных системах плазменный разряд может препятствовать возбуждению генератора, работающего на "нетренированный" объем, даже при включении подвозбудителя. Основные выводы диссертационной работы могут быть сформулированы следующим образом:

1. Наиболее сильно на процесс возбуждения ускоряющего напряжения влияет резонансный высокочастотный разряд. Анализ механизма РВР показывает, что в токе разряда участвуют вторичные электроны с некоторым непрерывным спектром начальных скоростей вылета. Это вполне соответствует имеющимся теоретическим и экспериментальным данным о вторичной электронной эмиссии.

2. Наличие границ разрядной области и создаваемое конвекционным током активное сопротивление приводят к появлению нелинейного затухания в резонансных цепях, содержащих электроды с разрядным промежутком. В объемных резонаторах величина этого затухания определяется амплитудой в пучности волны напряжения, а следовательно, и величиной высокочастотной мощности, вводимой в резонатор.

3. Сравнивая воздействие нелинейного сопротивления РВР на режим генератора, можно выделить медленные системы, в которых время установления ускоряющего напряжения больше времени развития разряда, и быстрые, т.е. те, где установление колебаний в резонаторе и развитие РВР происходит со сравнительно близкими скоростями. В быстрых системах влияние сопротивления

разряда не сказывается, поскольку наиболее опасная область малых ускоряющих напряжений, соответствующая значительному влиянию РВР, преодолевается в начале включения системы, когда ток разряда еще не успевает достаточно развиться.

4. Влияние разряда зависит от метода возбуждения. При питании резонатора от генератора с независимым возбуждением возможность получения больших ускоряющих напряжений определяется мощностью генератора.

5. В автоколебательных системах нелинейное сопротивление разряда приводит к образованию неустойчивого предельного цикла, что препятствует развитию колебаний с большой амплитудой. Основным методом, обеспечивающим возбуждение больших напряжений в автоколебательной системе, является введение начальных условий, превышающих значение неустойчивого предельного цикла. Эти начальные условия могут создаваться при помощи предвозбудителя. Оценка переходного процесса возбуждения автоколебательной системы позволяет определить оптимальную величину начальных условий, равную удвоенному значению неустойчивого предельного цикла.

6. Наиболее радикальной мерой, обеспечивающей возбуждение резонатора, явилось бы создание условий, не допускающих возникновения разряда. Одним из таких способов является выбор минимального значения параметра  $fd$  в вакуумных промежутках резонаторов.

7. При значениях  $fd$ , превышающих 80 Мгц.см, особенно в дуантных ускорителях, возникновение разряда может проявляться весьма сильно, и возбуждение сколько-нибудь большого напряжения окажется невозможным. Это особенно относится к циклотронам с переменной частотой, где схема генератора выполняется в виде автоколебательной системы.

В таких случаях подавление разряда может осуществляться путем подачи постоянного смещения на электроды резонатора. Проведенный анализ позволяет считать, что роль смещения сводится к нарушению фазовых условий вылета вторичных электронов.

8. Вторичная эмиссия с электродов резонатора проявляется не только при возникновении РВР. В циклотронах одновременное наличие высокочастотного электрического поля, провисающего между кромками дуантов, магнитного поля и вторичной эмиссии с кромок приводит к возникновению высокочастотного вторичноэмиссионного нерезонансного разряда, поглощающего значительную часть высокочастотной мощности. Проведенные исследования показывают, что возбуждение вакуумных полостей резонаторов значительно отличается от возбуждения неоткачанных объемных резонаторов. Специфика таких процессов и необходимость специальных мер для ликвидации их действия обязательно должны

учитываться при разработке радиотехнической части ускорителей, что несомненно должно облегчить запуск, наладку и эксплуатацию всей установки.

Материалы настоящей работы опубликованы в печати <sup>/5-7/</sup> и докладывались на семинарах ЛЯР и ЛЯП ОИЯИ.

#### Л и т е р а т у р а

1. E. W. Gill, A. von Engel Proceedings of the Royal Society Ser A, № 1030, Feb 1943, Vol 192, p.446.
2. A. Hatch, H. B. Williams Journ. Applied Physics 1954, 25, 417.
3. A. Hatch, H. B. Williams Phys. Rev. 1958, Vol 112, no 3, p.681.
4. Р. Бок, А. Деринг и др. Атомная техника за рубежом. 1952. № 2, стр. 49.
5. Б.А. Загер, В.Г. Тишин. Резонансный разряд в циклотроне. Препринт ОИЯИ Р-811, Дубна 1961; ЖТФ /в печати/.
6. Г. Индреаш, Б.А. Загер, В.Г. Тишин, И.А. Шелзев. Электронная нагрузка резонатора циклотрона". Препринт ОИЯИ. Р-982, Дубна 1962 г. ПТЭ /в печати/.
7. Б.А. Загер, В.Г. Тишин. Резонансный разряд и возможности его подавления". Препринт ОИЯИ, № 1058, Дубна 1962 г. ЖТФ /в печати/.

Рукопись поступила в издательский отдел  
6 апреля 1963 года.



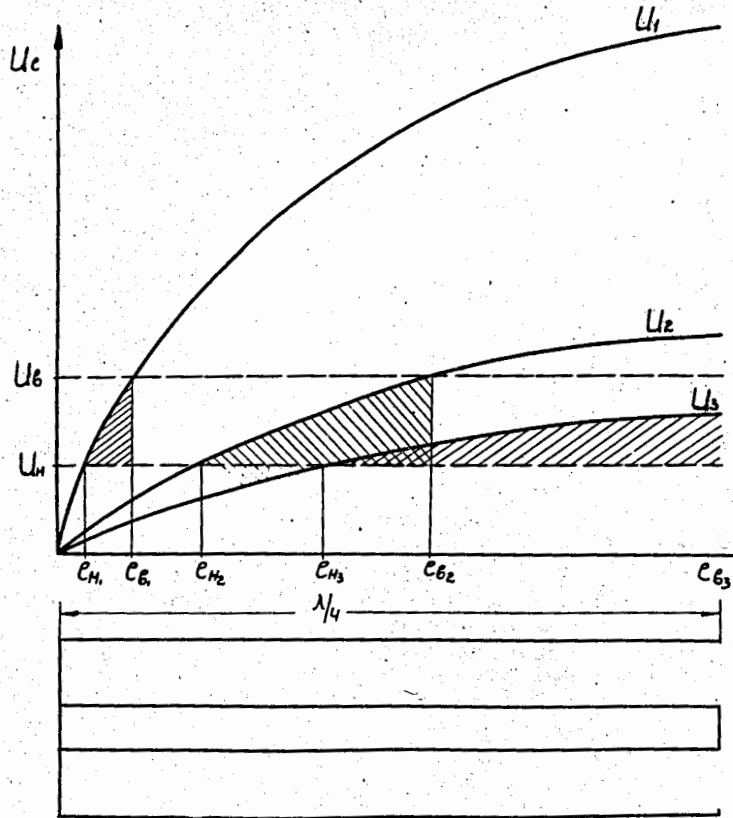


Рис. 1. Схематическое изображение зависимости области существования разряда в четвертьволновом коаксиальном резонаторе при изменении амплитуды напряжения.

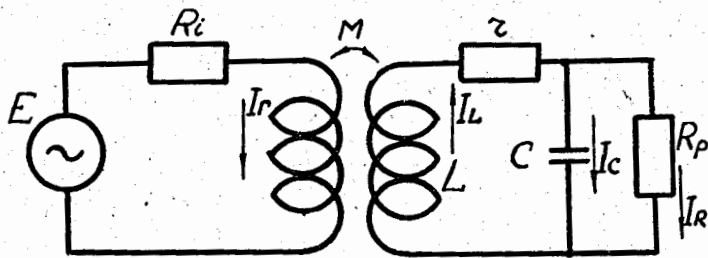
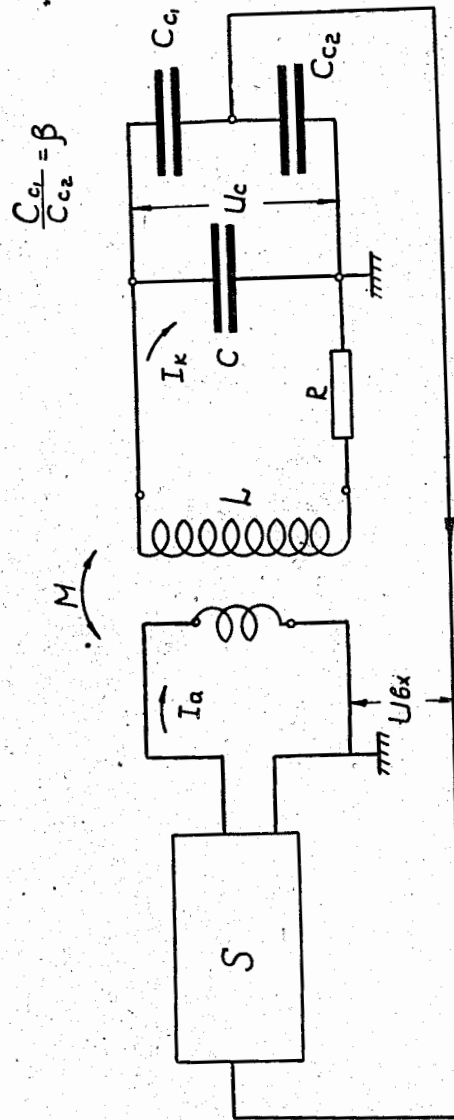


Рис. 2. Принципиальная схема генератора с независимым возбуждением.  
 $L, C, r$  - параметры резонатора;  
 $R_p$  - сопротивление разряда;  
 $R_i$  - внутреннее сопротивление генератора.



$$\frac{C_{c1}}{C_{c2}} = \beta$$

Рис. 3. Схема автоколебательной системы.  
 $L, C$  - параметры резонатора;  
 $S$  - усилитель;

$R$  - сопротивление потерь;  
 $\beta$  /включая сопротивление разряда/ -  
 $\beta$  - коэффициент обратной связи.

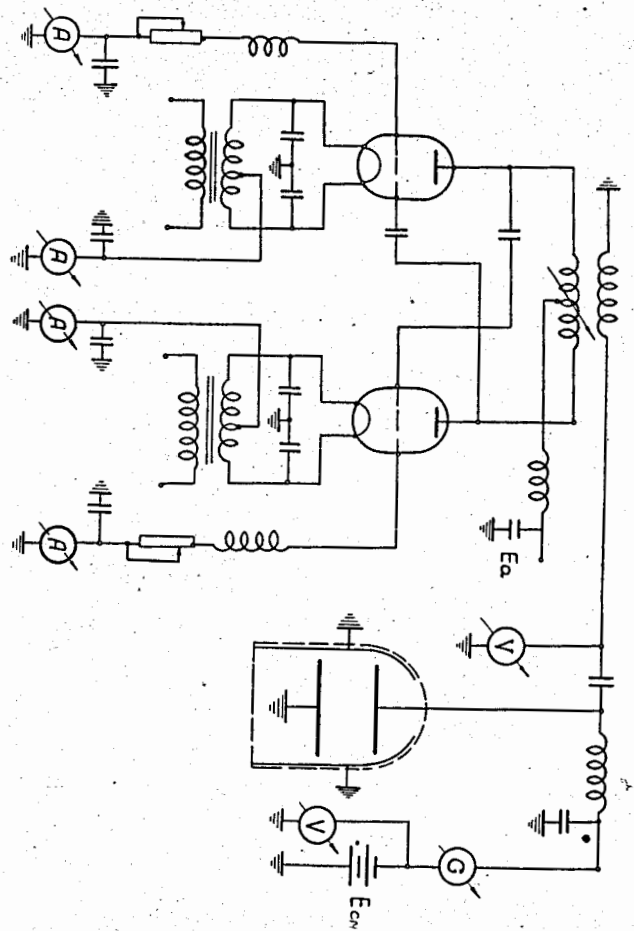


Рис. 4. Схема экспериментальной установки.

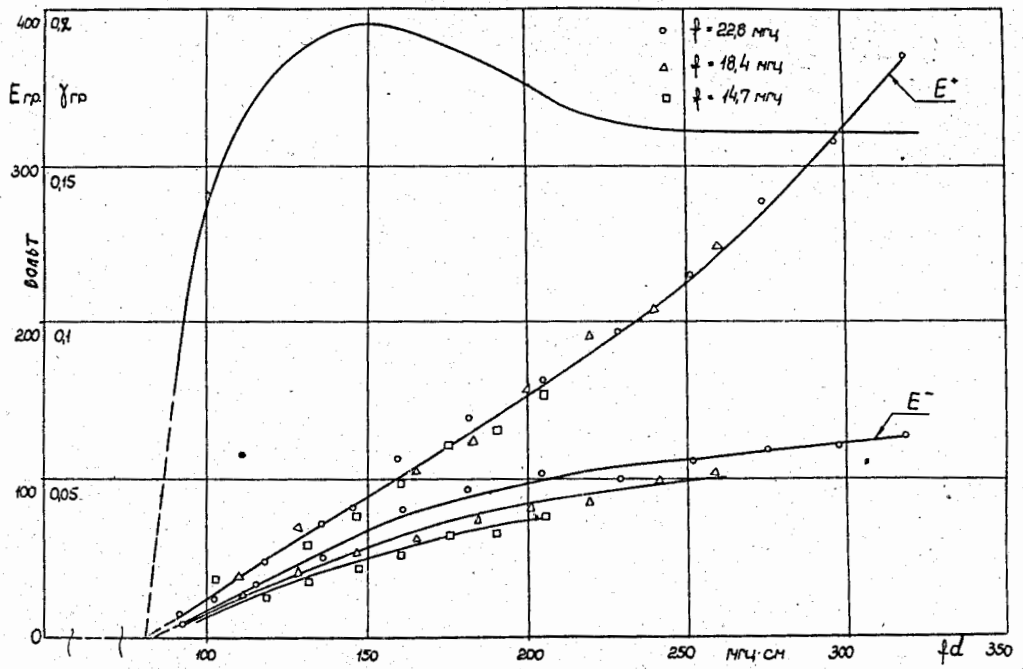


Рис. 5. Результаты экспериментальных измерений величины смещения необходимой для подавления РВР.