

С 345Г
Г-524

Глазов А.А. и др.
Б1-9-80-50.

11.22/80



+

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б1-9-80-50

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 1980

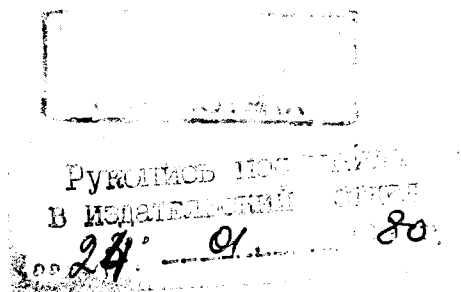
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

А.А.Глазов, Е.Н.Заплатин, В.А.Кочкин

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ МОДЕЛИ УСКОРЯЮЩЕГО РЕЗОНА-
ТОРА ЦИКЛОТРОНА В НЕСКОЛЬКИХ ТОЧКАХ ПРИ ИМИТАЦИИ НАГРУЗКИ
ВАКУУМНЫМИ ДИОДАМИ

Б1-9-80-50



Дубна, 1980 г.

В работе рассматриваются вопросы, связанные с возбуждением высокочастотного резонатора циклотрона при вводе мощности с помощью двух петель. На модели резонатора детально исследуются взаимовлияние систем возбуждения, фазовые и амплитудные характеристики протекающих процессов. Рассматриваются процессы, происходящие при появлении "токовой нагрузки", которая имитируется вакуумными диодами.

Работа проводилась в связи с разработкой ВЧ системы суперциклотрона, в которой требуется вводить 20 МВт колебательной мощности в один резонатор для создания необходимого ускоряющего напряжения в нем с нескольких петель.

Несогласование петли возбуждения резонатора приводит к появлению отраженной волны, направленной от нагрузки к генератору. Если сопротивление нагрузки имеет активную и реактивную составляющие, между напряжениями отраженной и падающей волн на нагрузке имеется сдвиг по фазе на угол φ_0 . Обозначив через ρ_0 модуль коэффициента отражения от нагрузки, равный отношению абсолютных величин этих напряжений, можно записать

$$\rho_0 = \sqrt{\frac{(R-w)^2 + X^2}{(R+w)^2 + X^2}}, \quad \varphi_0 = \arctg \frac{2wX}{R^2 - w^2 + X^2},$$

где w - волновое сопротивление линии; R, X - соответственно активная и реактивная составляющие сопротивления нагрузки. Графики этих функций в зависимости от X представлены на рис.1.

Измерения проводились на макете резонатора МЦ /1/. Блок-схема измерений представлена на рис.2. Здесь частотомер ЧЗ-24 служит для измерения частоты колебаний, установившихся в резонаторе; вольтметр ВК7-9 - для измерения напряжения на дуанте. Возбуждение осуществляется с помощью генератора Г4-116 через рефлектометр, который вместе с измерителем фазы ФК2-12 позволяет

измерять амплитуды падающей и отраженной волн, а также разность фаз между ними.

Снятые зависимости амплитуды отраженной волны и разности фаз между падающей и отраженной волнами от частоты при различных углах поворота петли относительно своего вертикального положения (рис.3, 4) хорошо подтверждают теоретические формулы. На обоих рисунках хорошо виден оптимальный угол поворота $\alpha = 20^\circ$. Проведено контрольное измерение амплитуды отраженной волны с помощью вольтметра 3406А. Получено хорошее совпадение с показаниями ФК2-12. Отсутствие точного совпадения кривых объясняется погрешностями приборов, несоответствием их, а также неточностью установки амплитуды падающей волны.

Были изготовлены две одинаковые петли возбуждения. Для каждой петли в отдельности найден "угол согласования", то есть угол поворота петли, при котором сопротивление нагрузки активно и равняется 50 Ом (при этом угле амплитуда отраженной волны минимальна, а напряжение на дуанте максимально (рис.5, пунктирные линии)). "Угол согласования" для обеих петель $\alpha \approx 17^\circ$. Если резонатор возбуждать одной из петель (А) и внести в эту систему вторую петлю (В), нагруженную на конце на 50 Ом, то часть мощности идет в петлю В и рассеивается на согласованной нагрузке. Поэтому для поддержания постоянства мощности в резонаторе (а, следовательно, и сопротивления нагрузки, которое зависит от мощности) необходимо увеличить площадь петли А, а, следовательно, изменить "угол согласования" (рис.6). При уменьшении петли В (повороте ее, то есть уменьшении эффективной площади этой петли) амплитуда отраженной волны петли А будет стремиться к виду, как на рис.5.

При возбуждении резонатора с двух петель сопротивление каждой из них должно быть ~ 25 Ом, то есть эффективная площадь пе-

тель должна быть уменьшена (что подтверждается рис.5, сплошные линии). "Угол согласования" в этом случае для обеих петель $\sim 43^\circ$.

Эксперимент возбуждения резонатора одновременно с двух петель проводился по блок-схеме, представленной на рис.7. Для развязки одной петли от другой в каждой ветви схемы возбуждения было поставлено по аттенкатору на 14 дБ. Измеритель фаз ФК2-12 здесь использовался для определения амплитуд отраженных волн обеих петель и разности фаз между ними. В зависимости от синхронного поворота обеих петель (то есть одновременного рассогласования) резонансное напряжение, амплитуды отраженных волн и разность фаз между отраженными волнами в зависимости от частоты ведут себя аналогично одиночным петлям (рис.8, 9, 10). Но следует отметить, что характер зависимостей для разности фаз имеет такой вид из-за неидентичности петель, поскольку максимальные значения фаз для каждой из петель в отдельности будут при согласовании. Поэтому кривая для $\alpha = 45^\circ$ (рис.10) соответствует согласованию.

Если же зафиксировать угол одной из петель (В), а вторую поворачивать (А), то характер поведения зависимостей напряжений от частоты каждой из петель будет различным (рис.11, 12). Амплитуда отраженной волны петли А будет изменяться значительно сильнее, нежели у петли В. Это объясняется тем, что рассогласование одной петли (А) влияет на другую (В) через вносимую мощность с петли А, а поскольку рассогласование вносит незначительное изменение *U_{рез}* (рис.11), то и влияние на петлю В по напряжению будет незначительно. То же самое можно видеть и из рис.13. Однако вследствие общего рассогласования системы частота минимума уходит от собственной частоты резонатора и, таким образом, на резонансной частоте амплитуда отраженной волны петли В становится тоже значительной (соизмеримой с отраженной волной петли А). Этот

факт необходимо иметь в виду при проведении экспериментов при больших уровнях мощности. Поскольку мы меряем разность фаз между отраженными волнами обеих петель, то по мере приближения значения угла α_A к $\alpha_B = 45^\circ$ фазовая характеристика изменит свой знак на обратный (рис.14). Тот факт, что момент изменения знака приходится на $\alpha_A \approx 43^\circ$, говорит о неполной идентичности петель.

Для имитации нагрузки резонатора пучком частиц между дуантом и камерой были поставлены 8 накальных диодов 6Д13Д, аноды которых контактировали с дуантом, а катоды — с камерой. Были проведены исследования, аналогичные предыдущим, при варьировании напряжения накала.

Присутствие в системе тока диодов аналогично добавлению в колебательный контур дополнительного активного сопротивления, что изменяет резонансную частоту. Это подтверждается рис.15, на котором приведены резонансные кривые напряжения в резонаторе при различных величинах напряжения накала, снятые при очень малой связи (чтобы исключить сдвиг по частоте из-за собственной индуктивности петель). Аналогичный сдвиг получается и при исследовании характеристик амплитуд отраженных волн в зависимости от частоты (рис.16). Появление тока привело к увеличению потребляемой мощности (часть мощности отбирается током), то есть к изменению "угла согласования", что приводит к необходимости поворота петель (рис.17). Поэтому для одного и того же угла поворота в зависимости от напряжения накала диодов возможны различные величины амплитуд отраженных волн (ближе или дальше эта точка находится от согласования) (рис.16, 18). В соответствии с этим изменяется и разность фаз (рис.19, 20). При нулевом напряжении накала имеет согласование в резонаторе при $\alpha_{AB} \approx 43^\circ$, при $U_H = 4,5$ В произошел сдвиг по углу к 35° .

Поскольку резонансная частота должна быть определенной и постоянной, возникает трудность такого рода. Из рис.16 видно, что, к примеру, на частоте 26,153 МГц при малом токе диодов амплитуда отраженных волн большая, а, следовательно, условия работы для генераторной лампы будут тяжелыми. Поэтому на начальном этапе ускорения напряжение возбуждения необходимо уменьшить, что приведет к уменьшению амплитуды отраженной волны. При дальнейшем ускорении величина отраженной волны будет уменьшаться, что позволит увеличить напряжение возбуждения. То есть необходимо создать систему такой перестройки напряжения.

Для повышения уровня напряжения в системе был смонтирован генератор возбуждения на двуханодной генераторной лампе ГУ-19. Схема генератора представлена на рис.21. Характер зависимостей $U_{отр}(f)$, $U_{отр}(\alpha)$ остался прежним, но недостаточная развязка каналов друг относительно друга привела к взаимовлиянию их. Поэтому резонансные частоты для отраженных волн оказались разными. Отсюда можно сделать вывод о необходимости создания отдельного генератора для каждой петли в отдельности. В соответствии с этим ведет себя и разность фаз (характер зависимостей более сложный). Прослеживается изменение "угла согласования" в зависимости от напряжения накала и переход реактивного сопротивления через нуль.

Л И Т Е Р А Т У Р А

Г. А.А.Глазов, В.А.Кочкин, Л.М.Онищенко, М.М.Семенов.

Расчет и моделирование элементов ускоряющей системы МЦ.

Материалы рабочего совещания по моноэнергетическому циклотрону, ИЗ - 4496, Дубна, 1969 г.

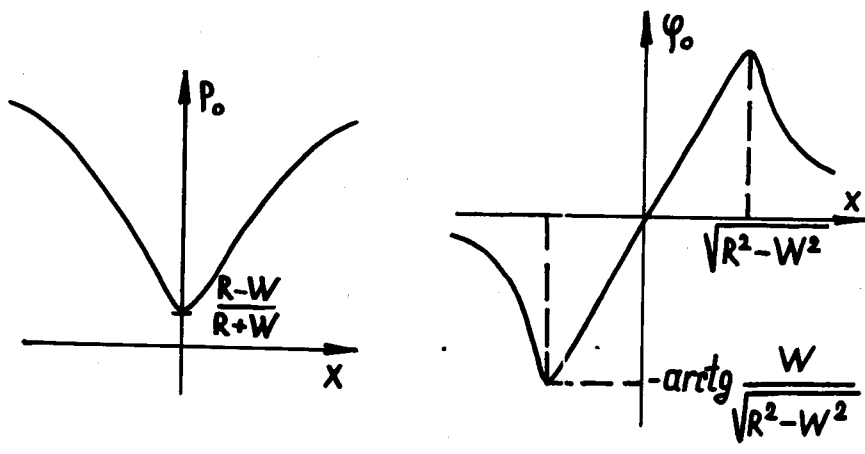


Рис. 1

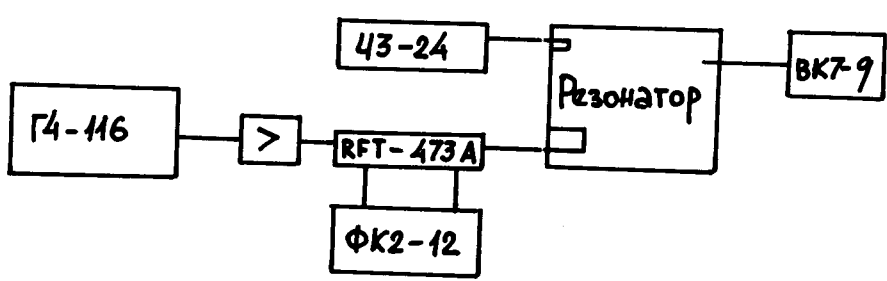


Рис. 2

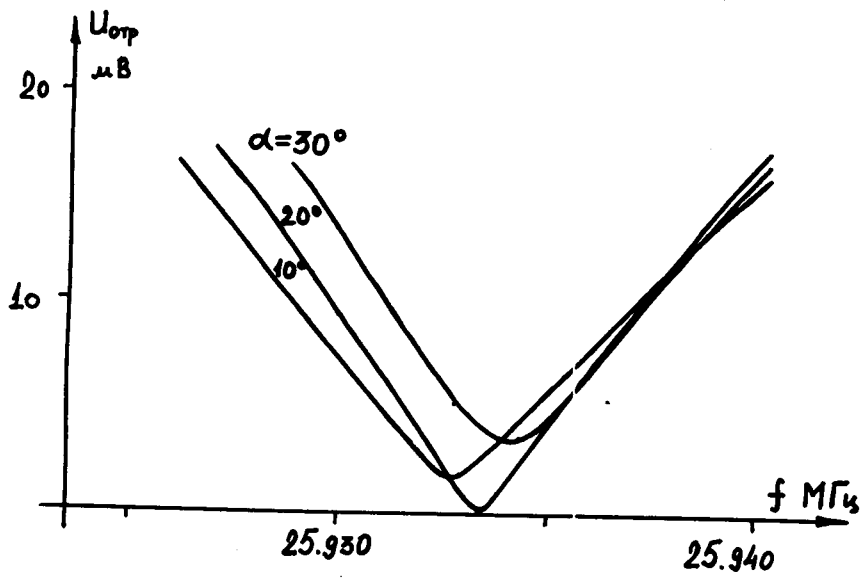


Рис. 3

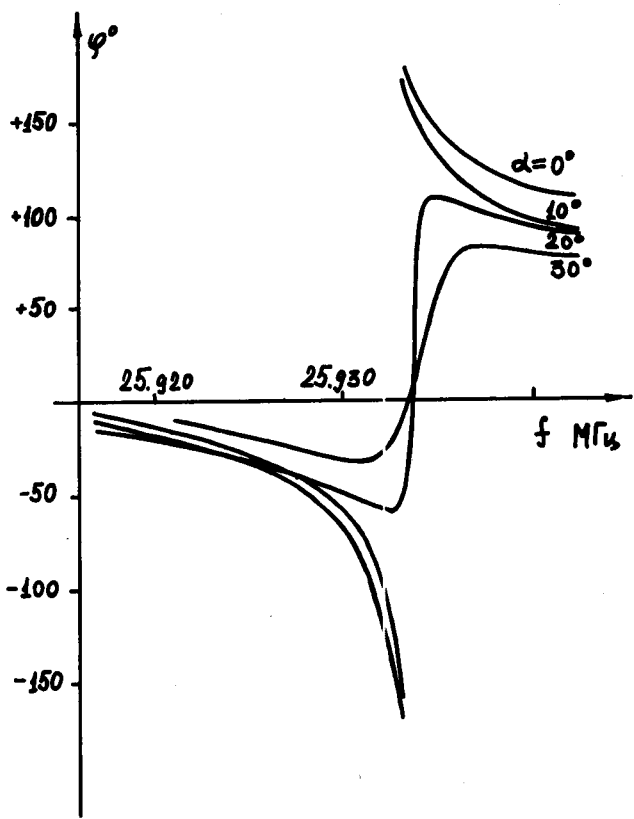


Рис. 4

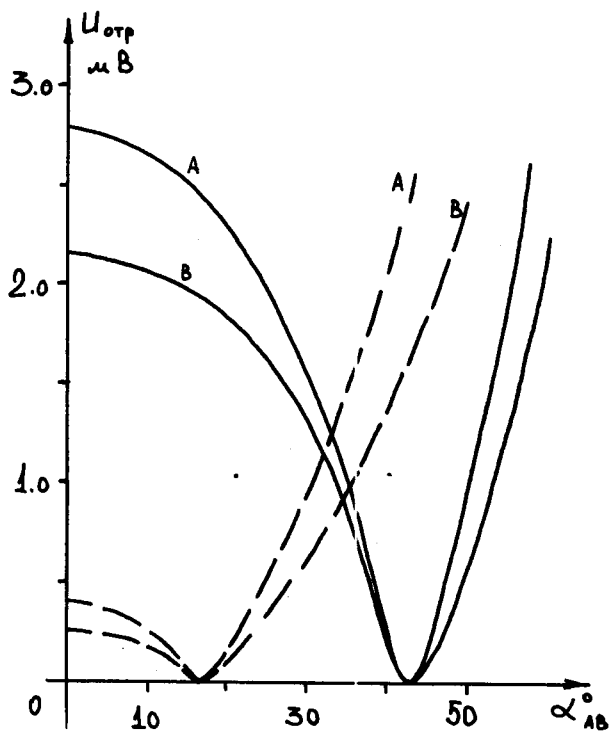


Рис. 5

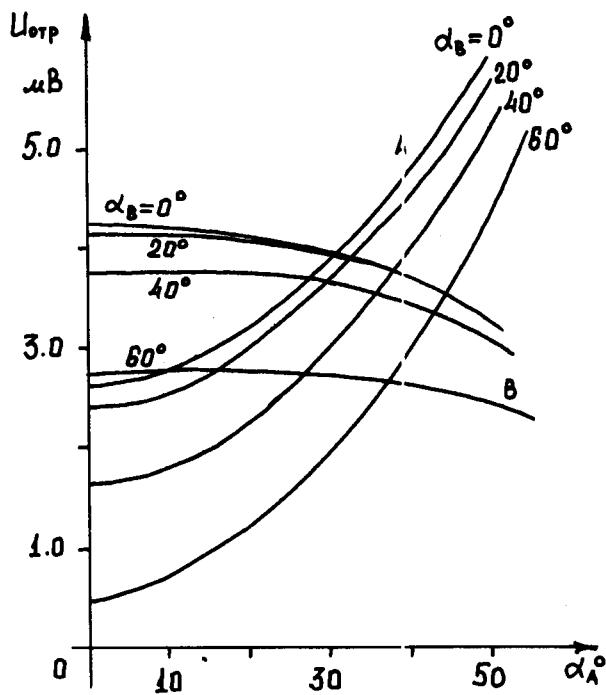


Рис. 6

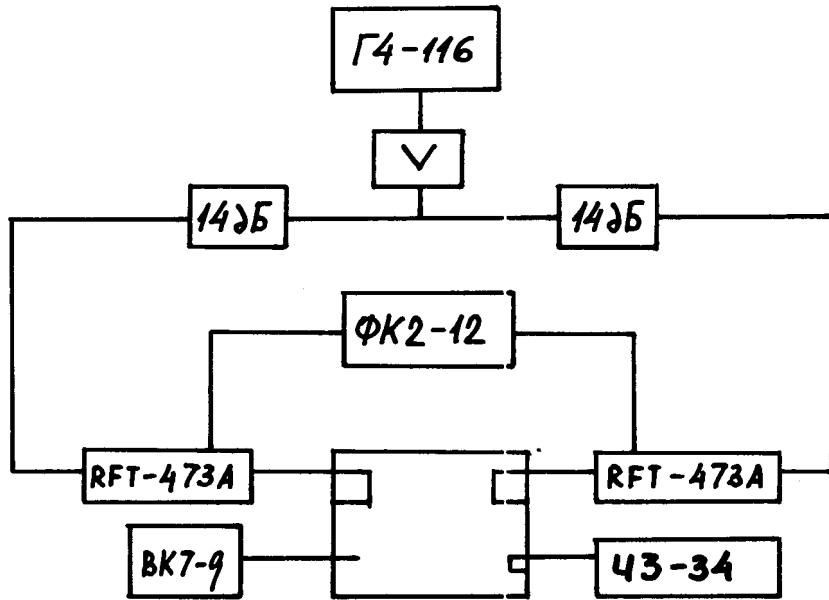


Рис. 7

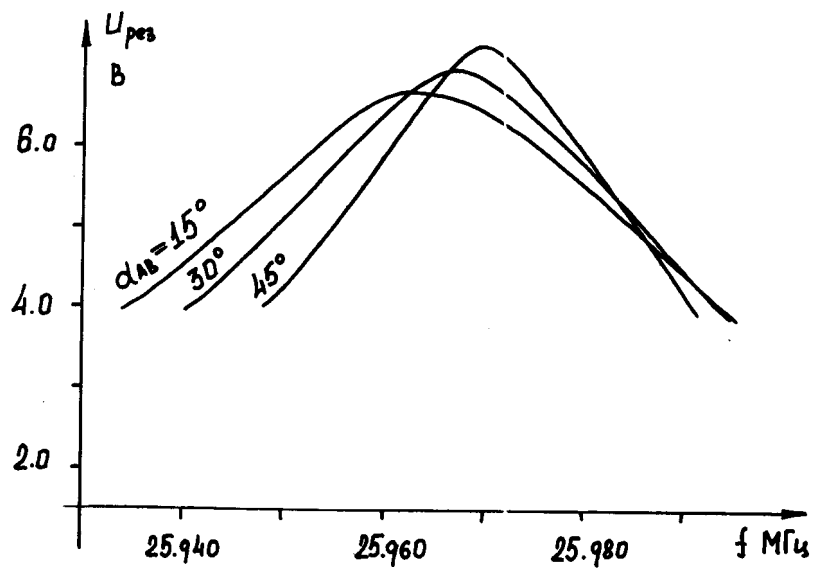


Рис. 8

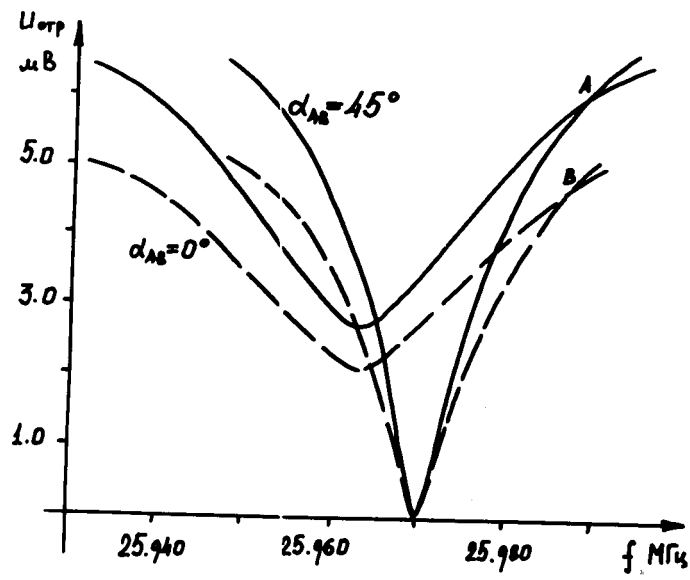


Рис.9

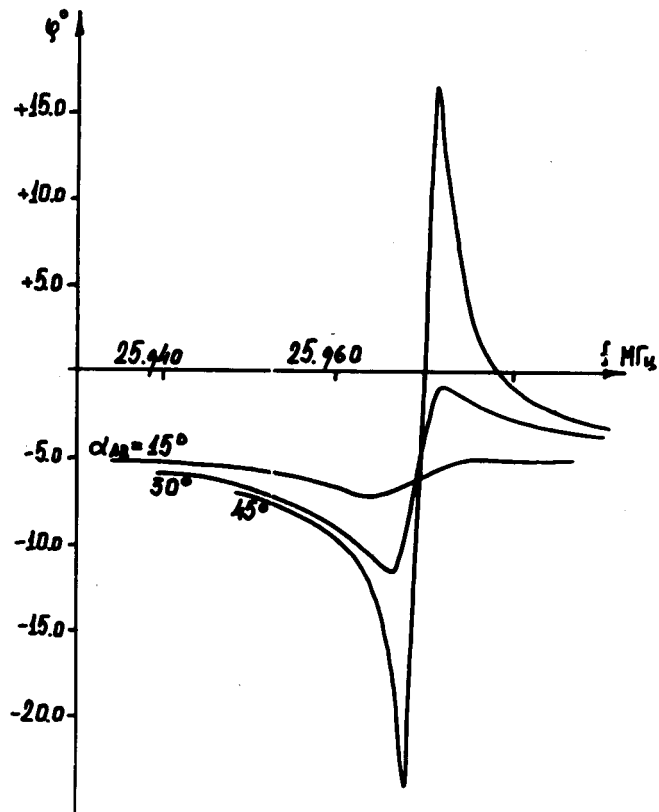


Рис.10

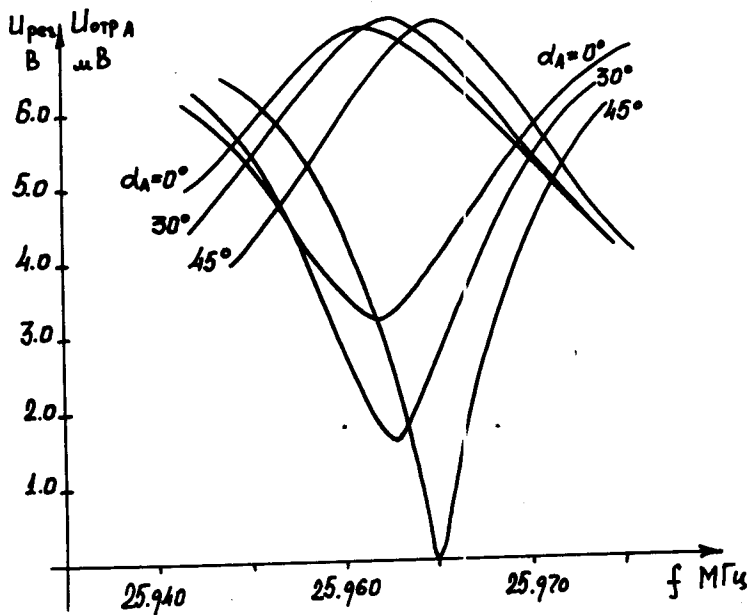


Рис. 11

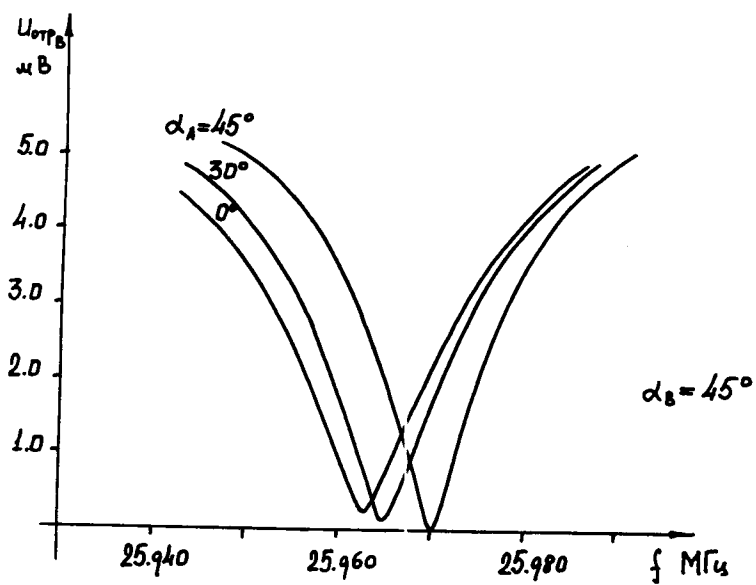


Рис. 12

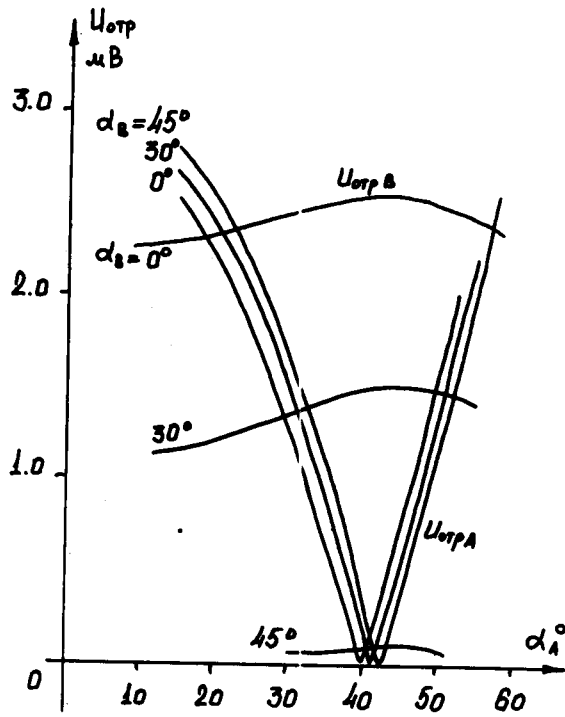


Рис. 13

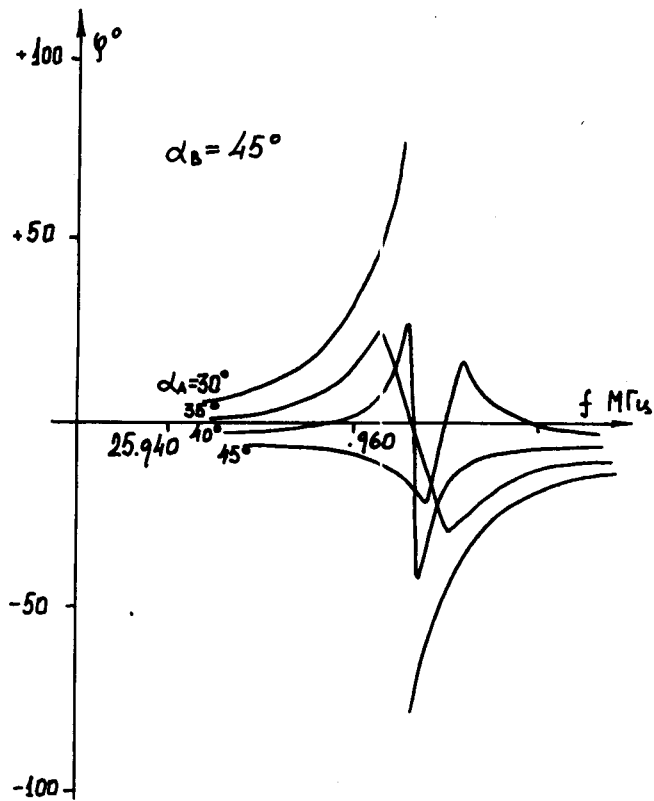


Рис. 14

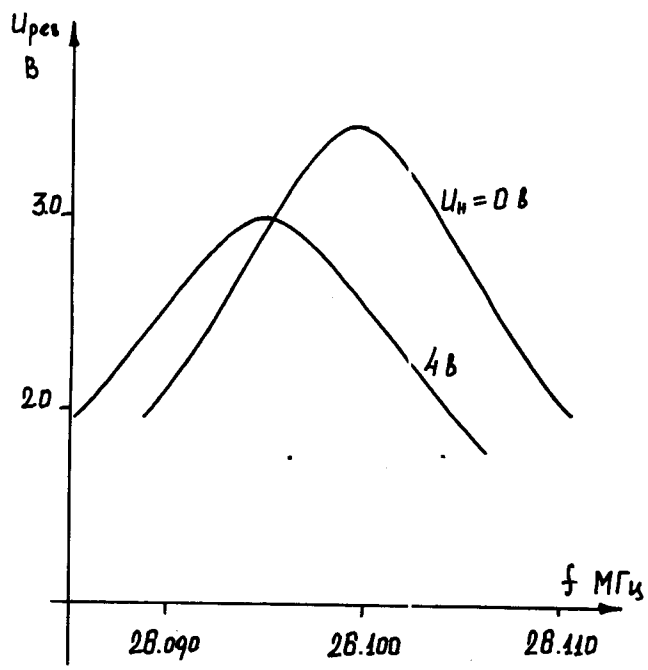


Рис. 15

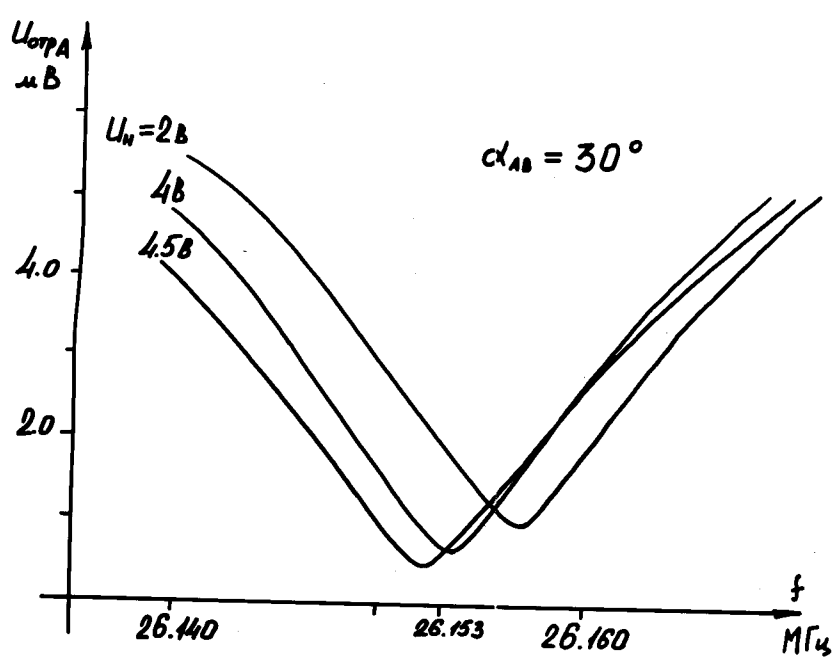


Рис. 16

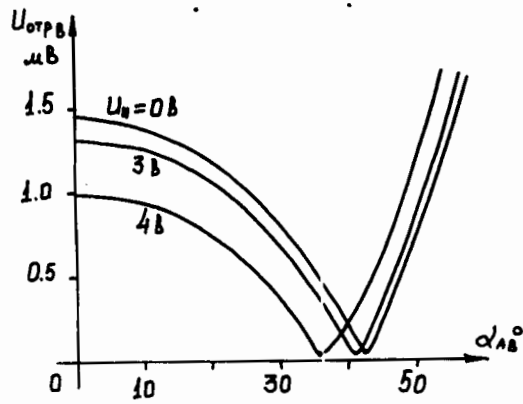
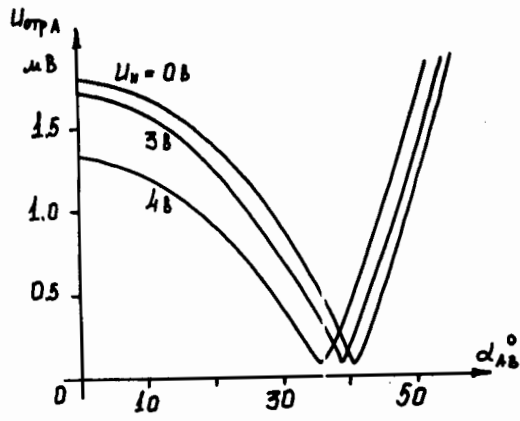


Рис. 17

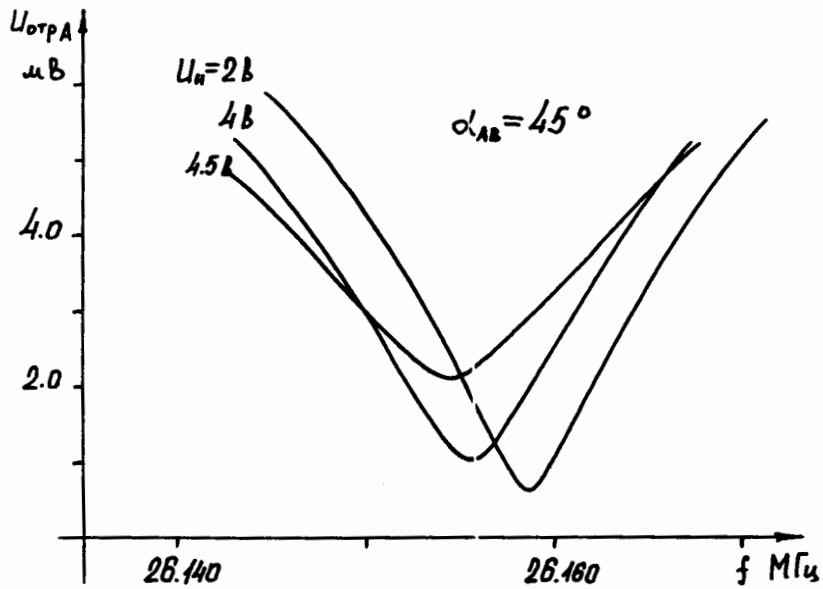


Рис. 18

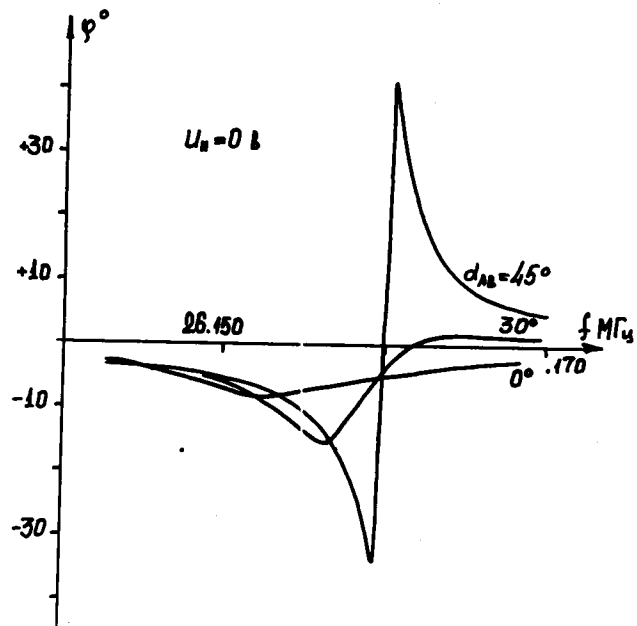


Рис. 19

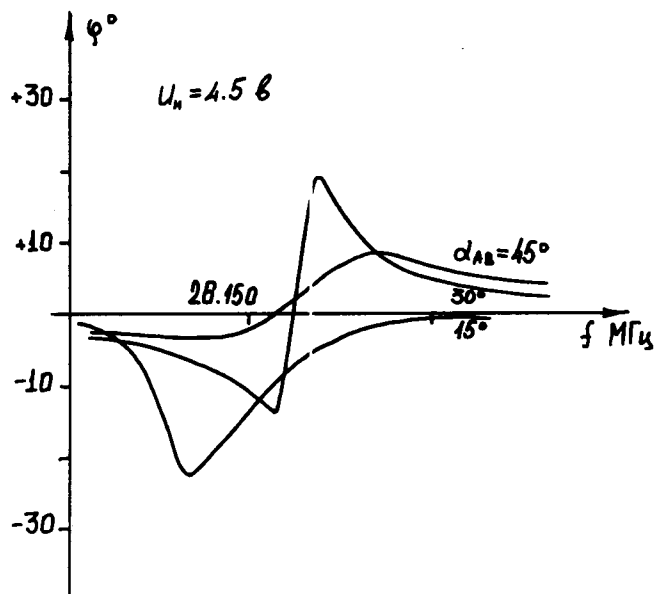


Рис. 20

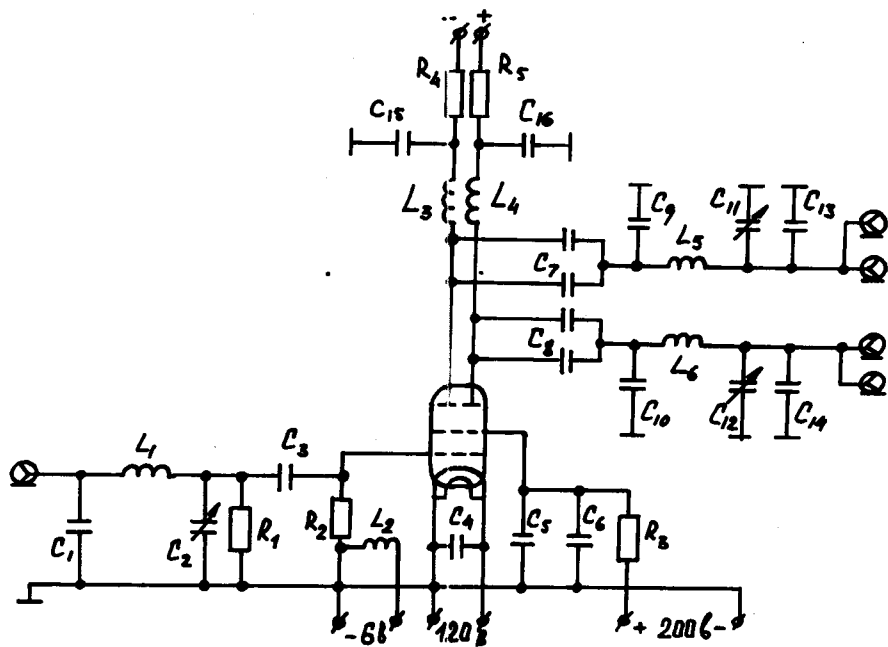


FIG. 21