

ДВУХРЕЗОНАТОРНЫЙ КВАНТОВЫЙ УСИЛИТЕЛЬ НА ВОЛНЕ 1,35 см ДЛЯ РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

А. Э. АБРАМЯН, Р. М. МАРТИРОСЯН, Э. А. САРКИСЯН

Приведены экспериментальные результаты по созданию двухрезонаторного квантового усилителя на волне $\lambda = 1,35$ см. В усилителе применен сверхпроводящий магнит. Получена полоса пропускания 13÷15 мГц при коэффициенте усиления 20÷23 дБ.

В квантовых усилителях миллиметрового и коротковолновой части сантиметрового диапазонов в качестве активного вещества применялись кристаллы рутила с примесью ионов Cr^{3+} и Fe^{3+} и вольфрамов с примесью ионов Cr^{3+} . Высокая диэлектрическая постоянная рутила создает значительные затруднения при использовании его в квантовых усилителях (КУ) в качестве активного вещества. Кроме указанных кристаллов рубин нашел наиболее широкое использование в квантовых усилителях. На нем реализованы и применяются во многих радиоприемных устройствах КУ дециметрового и сантиметрового диапазонов. Впервые в работе [1] было сообщено об успешном использовании рубина в квантовом усилителе бегущей волны на волне 8 мм. Использование рубина для создания усилителей на коротких волнах (< 3 см) затрудняется тем, что при требуемых для получения усиления на таких волнах напряженностях магнитного поля (> 4000 Гс) энергетические состояния становятся почти чистыми при любых ориентациях кристалла и в соответствии с этим становятся разрешенными индуцированные переходы лишь между соседними уровнями. Это приводит к тому, что сильно затрудняется получение инверсии населенностей уровней при не слишком больших мощностях источников накачки. Для иллюстрации на рис. 1 приведены зависимости величины вероятности индуцированных переходов от величины напряженности магнитного поля для двух ориентаций $\theta = 90^\circ$ и $\theta = 54^\circ 40'$. Как видно из рисунка, значения вероятностей при напряженности магнитного поля в 6000 Гс (что соответствует рабочему режиму на волне 1,35 см при $\theta = 90^\circ$ ориентации) резко уменьшаются. Это обстоятельство накладывает определенные требования при выборе конкретной конструкции усилителя с точки зрения эффективного взаимодействия полей усиливаемого сигнала и накачки с веществом.

Усилитель на волне $\lambda = 1,35$ см был осуществлен на двух активных резонаторах. Активные резонаторы были выполнены в виде прямоугольных кристаллов рубина $\theta = 90^\circ$ ориентации, покрытых тонким слоем серебра.

Преимущество 90° ориентации заключается в том, что в КУ с активными резонаторами на частотную характеристику усилителя не

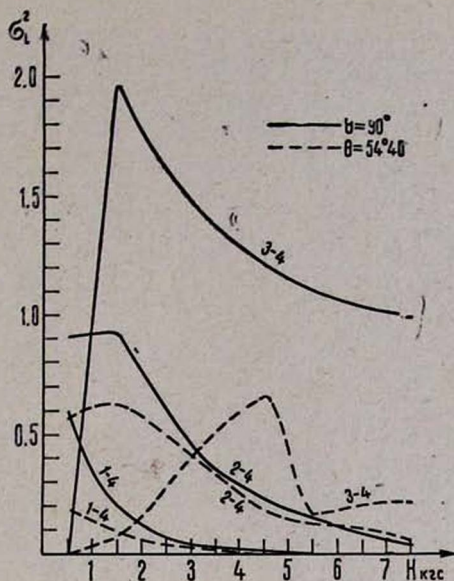


Рис. 1. Зависимости величины вероятности различных переходов от величины напряженности магнитного поля для ориентаций $\theta = 90^\circ$ и $\theta = 54^\circ 40'$.

сильно влияет положение линий поглощения ЭПР относительно резонансных частот активных резонаторов [2]. Кроме того, при $\theta = 90^\circ$ угловая зависимость спектра ЭПР минимальна и имеющийся в кристаллах рубина разброс направления оптической оси не приводит к заметному уширению линий ЭПР.

Размеры резонаторов с учетом диэлектрической постоянной рубина были определены при помощи уравнения [3]

$$K^4 - K^2 \left[\frac{K_y^2 + K_z^2}{\epsilon_{11}} + \frac{K_x^2 + K_z^2}{\epsilon_{22}} + \frac{K_x^2 + K_y^2}{\epsilon_{33}} \right] + K_0^2 \left[\frac{K_x^2}{\epsilon_{22}\epsilon_{33}} + \frac{K_y^2}{\epsilon_{11}\epsilon_{33}} + \frac{K_z^2}{\epsilon_{11}\epsilon_{22}} \right] = 0, \quad (1)$$

где $K_0^2 = K_x^2 + K_y^2 + K_z^2$, ϵ_{11} , ϵ_{22} , ϵ_{33} — главные диэлектрические проницаемости кристалла вдоль осей x , y , z соответственно,

$$K_x = \frac{m\pi}{a}, \quad K_y = \frac{n\pi}{b}, \quad K_z = \frac{l\pi}{c},$$

m , n , l — индексы колебаний, a , b , c — размеры резонатора, K — волновое число.

Размеры резонаторов рассчитывались из условия возбуждения в них колебания H_{101} по сигналу, а по накачке — более высокие типы колебаний.

Размеры резонаторов, рассчитанные по формуле (1), затем уточнялись с учетом изменения диэлектрических проницаемостей кристалла при охлаждении, а также влияния отверстий связи с волноводами по

сигналу и по накачке. При охлаждении резонансные частоты резонаторов систематически увеличивались на $150 - 200$ мГц.

В нашем случае сильное влияние на изменение резонансных частот оказывали отверстия связи, так как общая площадь резонаторов была достаточно малой. Поэтому для каждого резонатора размеры подгонялись отдельно с учетом элементов связи.

Окончательные размеры резонаторов на волне $\lambda = 1,35$ см в действующем усилителе составляли: для кристалла № 1 $a = 3,23$ мм, $b = 1,77$ мм, $c = 2,67$ мм; для кристалла № 2 $a = 3,23$ мм, $b = 1,77$ мм, $c = 2,66$ мм.

Резонаторы в тракт сигнала включались припаиванием на боковые стенки стандартного волновода $11 \times 5,5$ мм².

За плоскостью включения резонаторов стоял короткозамыкающий поршень, перемещением которого осуществлялось изменение связи резонаторов с трактом сигнала. Связь между резонаторами подбиралась небольшой расстройкой их резонансных частот, а затем регулировалась реактивными штырями, расположенными на широкой стенке волновода. Активные резонаторы по накачке питались отдельными волноводами через широкополосные согласованные переходы с малыми потерями, которые были заполнены сапфиром, имея в плоскости связи с резонаторами размеры $2 \times 1,8$ мм². Заполненные сапфиром переходы при помощи винтов согласовались с незаполненными волноводами. Такая конструкция тракта накачки обеспечила хорошее согласование резонаторов по накачке. Волноводы накачки над верхним фланцем криостата через волноводно-щелевой мост соединялись с генератором накачки.

Эскиз головки усилителя и схема включения резонаторов в тракт сигнала и накачки приведены на рис. 2.

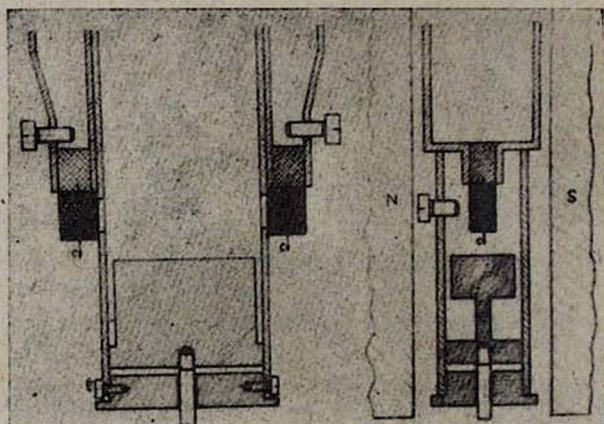
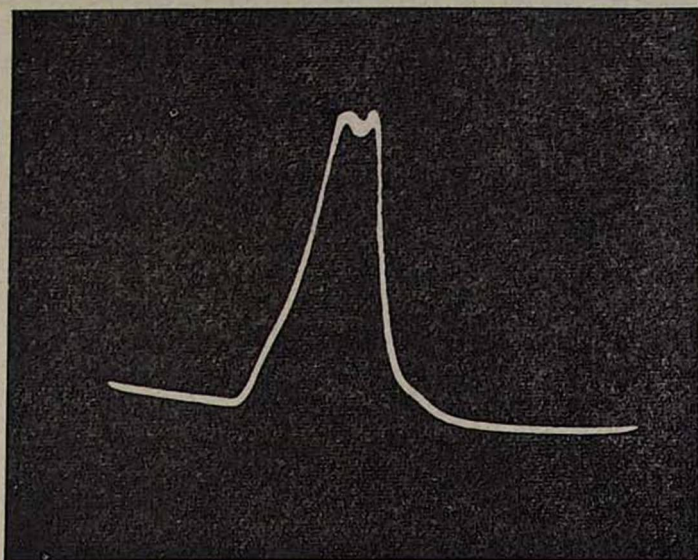
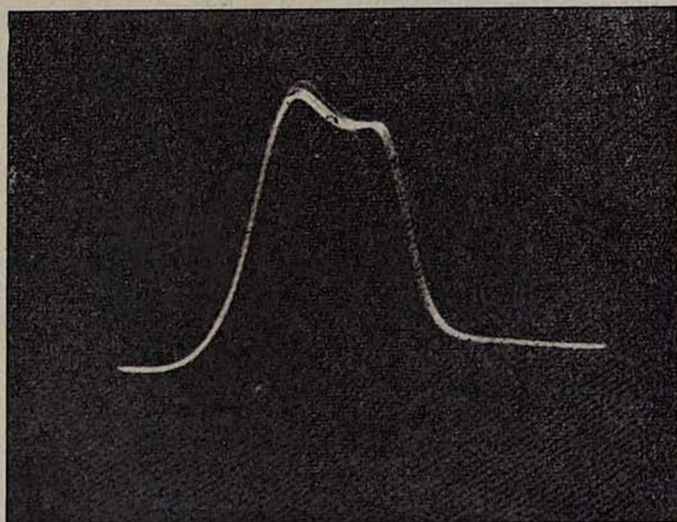


Рис. 2. Эскиз включения активных резонаторов в тракт сигнала и накачки.



а.



б.

Рис. 3. Частотные характеристики усилителя: а) коэффициент усиления $G=23$ дб, $\Delta f=13$ мГц; б) $G=20$ дб, $\Delta f=15$ мГц.

Рабочие режимы усилителя были отработаны на обычном электромагните. После определения этих параметров в усилителе был применен сверхпроводящий магнит типа использованного в работе [4], который по своим свойствам имитирует бесконечный соленоид. Для этого с торцов соленоидальной катушки перпендикулярно к ее оси устанавливались две пластины из низкоуглеродистой стали („армко“). Эти пластины обеспечивали зеркальное отображение силовых линий. При этом дости-

галась высокая однородность магнитного поля. Степень однородности зависит от реальной величины магнитной проницаемости, а также параллельности установки пластин. Поперечное сечение катушки составляло $30 \times 25 \text{ мм}^2$, которое можно еще уменьшить при более удачной компоновке головки КУ. Число витков из сверхпроводящей проволоки марки Т-60 составляло 980. Необходимое поле напряженностью в 6000 э на месте расположения резонаторов достигалось при токе 17,2 а. При этом мощность подогрева теплового ключа магнита составляла 450 мвт.

Характеристики усилителя измерялись при помощи обычного супергетеродинного приемника, УПЧ которого имел центральную частоту 80 мгу с полосой пропускания 25 мгу.

Полоса пропускания КУ измерялась частотной меткой от вспомогательного генератора промежуточной частоты, колебания которого вводились в тракт приемника.

Многократными измерениями значений полосы пропускания и коэффициента усиления были получены: коэффициент усиления 20–23 дб при полосе пропускания 13–15 мгу.

На рис. 3 приведены две различные частотные характеристики усилителя. Выбранная конструкция позволяет в дальнейшем путем добавления еще двух активных резонаторов получить для полосы пропускания значение 20–25 мгу при коэффициенте усиления не менее 20 дб.

Институт радиопизики и электроники
АН АрмССР

Поступила 8.VII.1972

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. И. Загати́н, Г. С. Мисежников, В. Б. Штейншле́гер. Радиотехника и электроника, 12, 539 (1967).
2. Р. М. Мартиросян, А. М. Прохоров. Радиотехника и электроника, 9, 2094 (1964).
3. В. В. Штейншле́гер, Г. С. Мисежников, П. С. Лифаков. Квантовые усилители СВЧ, Советское радио, 1971.
4. L. M. Troxel. IEEE Trans. Magn., 1, 378 (1965).

1,35 սմ ԱԼԻՔԻ ԵՐԿԱՐՈՒԹՅԱՆ ԵՐԿՈՒԵԶՈՆԱՏՈՐԱՅԻՆ ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ՈՒԺԵՂԱՑՈՒՅԻՉ ՌԱԴԻՈԱՍՏՂԱԳԻՏԱԿԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

Լ. Է. ԱՐԲԱՆՄՅԱՆ, Ռ. Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Է. Լ. ՍԱՐԿԻՍՅԱՆ

Աշխատանքում բերված են 1,35 սմ ալիքի երկարության քվանտային ուժեղացուցիչի ստեղծման փորձնական արդյունքները:

Ուժեղացուցիչը իրենից ներկայացնում է ռուբինի համակցված երկու ռեզոնատորներ, ծածկված արծաթի բարակ թաղանթով, որոնք ղողված են ալիքատարի նեղ պատերին:

Ուժեղացուցիչում օգտագործված է դերհալոդիլ մազնիս:

Ստացված է 13–15 մգեց թողարկման շերտ, 20–23 դբ ուժեղացման գործակցի դեպքում:

DOUBLE-CAVITY MASER ON WAVELENGTH 1,35 cm FOR RADIOASTRONOMICAL INVESTIGATIONS

L. E. ABRAHAMIAN, R. M. MARTIROSSIAN, E. L. SARKISSIAN

Experimental results on double-cavity maser development on wavelength 1,35 cm are given.

A superconducting magnet is applied in the maser.

Amplifier band-width of 13—15 *Mz* at the gain 20—12 *db* has been received.