

УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХРЕЗОНАТОРНОГО КВАНТОВОГО УСИЛИТЕЛЯ ПУТЕМ МОДУЛЯЦИИ ЧАСТОТЫ НАКАЧКИ

Л. Э. АБРАМЯН, Р. М. МАРТИРОСЯН, Е. Г. СТЕПАНЯН

Приводятся экспериментальные результаты измерений характеристик двухрезонаторного квантового усилителя с модулированной по частоте накачкой. Показано, что модуляция частоты накачки приводит к улучшению статических и динамических характеристик усилителя.

Высокая регенеративность резонаторных квантовых парамагнитных усилителей (КПУ) приводит к появлению ряда нестабильностей в них.

Относительные нестабильности коэффициента усиления $\frac{\delta G_0}{G_0}$ с флуктуациями добротности активного вещества (которые, в свою очередь, связаны с флуктуациями магнитного поля, частоты и мощности накачки и температурой образца) для однорезонаторного усилителя и для двухконтурного усилителя со входным пассивным резонатором даются [1] выражением

$$\frac{\delta G_0}{G_0} = G_0^{1/2} \left[\frac{\delta Q_b^0}{Q_b^0} + \frac{\delta Q_{cb}}{Q_{cb}} \right], \quad (1)$$

где G_0 — коэффициент усиления по мощности,

Q_b^0 — добротность активного вещества,

Q_{cb} — добротность связи резонатора с входной линией.

Видно, что малые флуктуации добротности δQ_b^0 и δQ_{cb} приводят к существенно большему флуктуациям усиления.

Так как изменения добротности связи можно свести к минимуму, применив достаточно жесткие конструкции, то флуктуации усиления квантовых усилителей определяются флуктуациями добротности активного вещества.

Слабая регенерация при взаимодействии излучения с веществом в режиме бегущей волны приводит к большой стабильности усилителей бегущей волны. В этом случае относительные нестабильности коэффициента усиления даются выражением

$$\frac{\delta G_0}{G_0} = \frac{\delta Q_b^0}{Q_b^0} \ln G_0. \quad (2)$$

Сравнение формул (1) и (2) показывает, что небольшие флуктуации добротности активного вещества в резонаторных квантовых усилителях приводят к сравнительно большим нестабильностям, чем в квантовых усилителях бегущей волны.

В работе [2] был предложен метод улучшения характеристик квантового усилителя бегущей волны путем модуляции частоты накачки

ки. Сущность предложенного метода заключается в том, что если частоту накачки модулировать со скоростью, превышающей скорость релаксации $1/T$, то этим можно исключить влияние флуктуации частоты накачки на разность населенностей сигнального перехода.

В настоящей работе экспериментально был проверен предложенный метод на двухрезонаторном квантовом усилителе на рубине сантиметрового диапазона.

Усилитель представлял двухрезонаторную систему с входным пассивным контуром. Конструкция входного контура позволяла перестройку резонансной частоты контура в широких пределах. Активный контур представлял из себя посеребренный рубиновый параллелепипед с размерами $16,5 \times 11, 4 \times 6,25$ мм. Размеры были выбраны так, чтобы в резонаторе возбуждался низкий тип колебания H_{011} с учетом анизотропии диэлектрической постоянной рубина. Кристалл использовался в совмещенном варианте (угол между постоянным магнитным полем и осью кристалла $54,74^\circ$).

В качестве источника сигнала накачки использовался клистронный генератор; частота сигнала накачки составляла ~ 23000 МГц, мощность изменялась от 2 мвт до 300 мвт.

Диапазон электронной перестройки клистрона составлял порядка 180—200 МГц. При модуляции дрейф частоты клистрона находился в пределах ± 100 МГц.

Модуляция частоты клистрона осуществлялась подачей пилообразного напряжения на отражатель клистрона от генератора, частота которого изменялась от нескольких десятков герц до 20 КГц. Время релаксации T в рубине составляет примерно $10^{-1}—10^{-3}$ сек, соответственно частота модуляции выбиралась в пределах 10—20 КГц.

Измерения относительной нестабильности коэффициента усиления проводились в двух режимах работы накачки—при модуляции частоты и при постоянном значении частоты накачки. При модуляции частоты накачки с частотой 15 КГц нестабильность коэффициента усиления составляла примерно 0,15 дБ при коэффициенте усиления 18 дБ. При том же усилении, но с постоянной накачкой нестабильность составляла примерно 0,6—0,8 дБ.

Сравнение этих результатов показывает, что модуляция частоты накачки приводит к заметному улучшению стабильности коэффициента усиления двухрезонаторного квантового усилителя. При измерениях генератор накачки питался от обычных блоков питания, выпускаемых промышленностью. Специальных мер по стабилизации частоты не принималось.

Модуляция частоты накачки, кроме улучшения динамических характеристик, может привести также к улучшению статических характеристик КПУ—к расширению полосы пропускания и увеличению коэффициента инверсии. Последнее обстоятельство можно объяснить следующим образом. В работах [3, 4, 5] указывалось на то, что полоса пропускания двухрезонаторных КПУ сильно зависит от соотноше-

ния разности нормальных частот резонаторов и ширины линии сигнального перехода. Оптимальное значение полосы пропускания получилось при определенном значении параметра α , характеризующего соотношение

$$\alpha = \frac{f_1 - f_2}{\Delta f_L}, \quad (3)$$

где f_1, f_2 — соответствующие нормальные частоты связанных резонаторов,

Δf_L — ширина линии сигнального перехода.

(α одновременно характеризует степень связи между резонаторами).

При больших значениях α усиление резко падает вследствие того, что на краях линии разность населенностей резко падает и соответственно уменьшается коэффициент инверсии. Последнее обстоятельство связано с тем, что при монохроматической накачке не удается равномерно насыщать линию перехода накачки. Насыщение перехода накачки происходит по закону

$$\Delta n = \Delta n_0 \frac{1}{1 + kP}, \quad (4)$$

где Δn_0 — начальная разность населенностей перехода накачки,

P — мощность накачки,

k — коэффициент, определяющийся шириной линии, вероятностью перехода и т. д.

Как видно из (4), при постоянной мощности накачки на разных участках линии сигнального перехода избыток населенностей на верхнем уровне различен, т. е. коэффициент инверсии различен на различных участках линии сигнального перехода. Этот эффект особенно сильно должен проявляться, если линии имеют неоднородное уширение. Если функцию формы резонансной линии $g(f)$ определить как сумму всех функций формы отдельных спиновых пакетов, то известно, что при неоднородном уширении возбуждение отдельного спина, имеющего определенную резонансную частоту, не передается другим спинам, имеющим несколько иные резонансные частоты, лежащие в пределах ширины линии. Отметим, что часто для достижения широкополосности КПУ преднамеренно расширяют линию ЭПР введением некоторой неоднородности во внешнее постоянное магнитное поле.

При модуляции частоты накачки в пределах, больших ширины линии, возбуждение передается всем спиновым пакетам равномерно за время меньшее, чем время спин-решеточной релаксации, и соответственно линия насыщается равномерно и коэффициент инверсии в пределах ширины линии остается почти постоянным.

Изменяя величину α , получали различные значения полосы пропускания усилителя. При изменении полосы пропускания изменяется коэффициент усиления. Параметр α в экспериментах изменялся от 0,4

до 1,5, т. е. нормальные частоты были разнесены больше, чем на ширину линии. Если при постоянной частоте накачки при больших значениях α усиление исчезало, то при модулированной подкачке усиление еще наблюдалось.

Значения параметра α определялись измерением нормальных частот контуров. Эти измерения проводились при помощи сигнального свипгенератора и точного волномера. Все экспериментальные измерения проводились при температуре образца 4,2°K.

В таблице приведены экспериментальные результаты измерений коэффициента усиления и полосы пропускания.

$f_1 - f_2$ (МГц)	α	Модуляция частоты накачки		Частота накачки постоянна	
		G_0 (дБ)	Δf (МГц)	G_0 (дБ)	Δf (МГц)
3,0	0,4	23	15	20	10
40	0,5	20	20	18	15
56	0,7	18	30	15	26
80	1	12	35	10	30
100	1,2	9	45	8	35
120	1,5	7	50	6	45

Из таблицы видно, что при модуляции частоты накачки имеет место увеличение как коэффициента усиления, так и полосы пропускания.

Институт радиопизики и электроники
АН АрмССР

Поступила 11.VII.1969

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Н. В. Карлов, А. А. Маненков, Квантовые усилители, ВИНТИ, Москва, 1966.
2. R. D. Ray, Proc. IEEE, 53, 318 (1965).
3. R. L. Kuhl, R. A. McFarlane, M. W. Strandberg, Proc. IRE, 50 1608 (1962).
4. A. W. Nagy, G. E. Friedman, Proc. IRE 50, 2505 (1962).
5. Р. М. Мартиросян, А. М. Прохоров, Радиотехника и электроника, 9, 2094 (1964)

ԵՐԿՈՒՆԶՈՆԱՏՈՐԱՅԻՆ ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ՈՒԺԵՂԱՑՈՒՑԻՉԻ ԲԵՆԻԹԱԳԾԵՐԻ
ԼԱՎԱՑՈՒՄԸ ՄԴՄԱՆ ՀԱՃԱԽԱՅԻՆ ՄՈՒՈՒՆՅԱՅԻՆ ՕԳԵՆՈՒԹՅԱՄԲ

Լ. Է. ԱՐԲԱՀԱՄՅԱՆ, Ե. Գ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ, Բ. Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

Կատարելով երկրորդ օրոգիական հետազոտությունները, համալրելով առկա տվյալները, լավացվել են ուժեղացուցիչի դինամիկ և ստատիկ բնութագրերը: Այդ ճանապարհով հաջողվել է ուժեղացման գործակցի կայունությունը մեծացնել մոտ երեք անգամ: Ստացվել է թողարկման շերտի լայնացում և ուժեղացման գործակցի մեծացում: Երևույթը բացատրված է կլանման դժի ոչ համասեռ լայնացմամբ, որը բերում է նրա անհամասեռ հազեցմանը մղման աղղանշանի աղղեցության տակ:

IMPROVED DOUBLE-CAVITY MASER PERFORMANCE THROUGH PUMPE MODULATION

L. E. ABRHAMIAN, R. M. MARTIROSIAN E. G. STEPANIAN

Double-cavity maser performance is investigated through pumpe modulation.

It is shown that pumpe modulation improves dynamical and statcal characteristics of a double-cavity maser.