

Н. Г. БАСОВ, А. И. ОРАЕВСКИЙ

КВАНТОВАЯ РАДИОТЕХНИКА

Квантовая радиофизика и радиотехника возникли на базе развития радиоспектроскопии в связи с открытием нового метода генерации и усиления электромагнитных колебаний*. В основе этого метода лежит индуцированное испускание возбужденных систем (атомов, ионов, молекул). В отличие от методов генерации и усиления электромагнитных колебаний с помощью электронных приборов, в квантовых генераторах и усилителях используется не энергия поступательного движения электронов, а энергия, связанная с внутренним движением в молекулах, атомах или ионах. Так как внутренняя энергия микросистем обычно квантована, то последовательный анализ работы новых приборов требует применения квантовой теории.

Квантовые генераторы, в которых используется пучок возбужденных молекул (молекулярные генераторы), обладают чрезвычайно высокой стабильностью частоты и монохроматичностью излучения. Это связано с тем, что в молекулярном пучке, где молекулы практически не взаимодействуют друг с другом, удается получить весьма узкие спектральные линии, резонансная частота которых определяется в основном внутренними параметрами молекул. Поэтому на основе молекулярных генераторов могут быть разработаны стандарты частоты (времени) высокой точности.

Важнейшим свойством квантовых усилителей является весьма высокая чувствительность, так как такие усилители имеют шум-фактор, близкий к единице, и могут работать при низких температурах (температура жидкого гелия). Для конструирования квантовых усилителей удобно использовать явление электронного парамагнитного резонанса**, открытого Е. К. Завойским [1], поскольку частота их может легко перестраиваться путем изменения внешнего магнитного поля или ориентации парамагнитного кристалла относительно магнитного поля; большая ширина линий электронного парамагнитного резонанса обеспечивает достаточно большую полосу пропускания таких усилителей.

В настоящее время опубликовано около двухсот работ, посвященных теории, конструкции и применению квантовых генераторов и усилителей. Эти работы в основном и определяют содержание новых разделов науки и техники — квантовой радиофизики и квантовой радиотехники.

В нашей статье дан краткий обзор работ по квантовой радиофизике и радиотехнике. Основное внимание было уделено физическим основам новых методов генерации и усиления радиоволн. Детальное рассмотре-

* Новый метод генерации и усиления радиоволн был независимо предложен и развит в Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР (Н. Г. Басов и А. М. Прохоров) и Колумбийском университете США (Гордон, Цайгер, Таунс) [5, 6, 7, 8, 14, 18].

** Впервые использовать явление парамагнитного резонанса для конструирования квантовых усилителей предложил Бломберген [16].

ЛИТЕРАТУРА

1. Завойский Е. К. Парамагнитная абсорбция в перпендикулярных и параллельных полях для солей, растворов и металлов, Докт. диссертация, Казанск. гос. ун-т, 1944.
2. Carplus R., Schwinger J., Note on Saturation in Microwave Spectroscopy, Phys. Rev., 1948, 73, № 9, 1020.

3. Purcell E. M., Pound R. V., Nuclear Spin System at Negative Temperature, *Phys. Rev.*, 1951, **81**, № 2, 279.
4. Bleaney B., Stevens K. W. H., Paramagnetic resonance, *Reports on Progress in Physics*, 1953, **16**, 108.
5. Басов Н. Г., Прохоров А. М., Применение молекулярных пучков для радиоспектроскопического изучения вращательных спектров молекул, *ЖЭТФ*, 1954, **27**, вып. 4/10/, 431.
6. Gordon J. P., Zeiger H. J., Townes C. H., Molecular Microwave Oscillator and New Hyperfine structure in the Microwave Spectrum of NH_3 , *Phys. Rev.*, 1954, **95**, № 1, 282.
7. Басов Н. Г., Прохоров А. М., О возможных методах получения активных молекул для молекулярного генератора, *ЖЭТФ*, 1955, **28**, вып. 2, 249.
8. Gordon J. P., Zeiger H. J., Townes C. H., *Phys. Rev.*, 1955, **99**, № 4, 1264.
9. Bennewitz H. G., Paul W., Schlier Ch., Fokussierung polarer molekule, *Zs. für Phys.*, 1955, **141**, № 1 — 2, 6.
10. Басов Н. Г., Прохоров А. М., Теория молекулярного генератора и молекулярного усилителя мощности, *ДАН СССР*, 1955, **101**, *ЖЭТФ*, 1956, **30**, вып. 3, 560.
11. Басов Н. Г., Прохоров А. М., Молекулярный генератор и усилитель, *УФН*, 1956, **57**, вып. 3, 485. Басов Н. Г., Осипов Б. Д., Прохоров А. М., О молекулярном генераторе без использования молекулярного пучка, *УФН*, 1956, **59**, вып. 3, 375.
12. Shimoda K., Wang T. C., Townes C. H., Further Aspects of the Theory of the Maser, *Phys. Rev.*, 1956, **102**, № 5, 1308.
13. Gordon J. P., Hyperfine structure in the Inversion spectrum of $\text{N}^{14} \text{H}_3$ by New High-Resolution Microwave spectrometer, *Phys. Rev.*, 1955, **99**, 1253.
14. Басов Н. Г., Молекулярный генератор, Докт. диссертация, ФИАН, 1956.
15. Ораевский А. Н., Некоторые вопросы теории молекулярного генератора, Дипл. работа, МФТИ, 1956.
16. Bloembergen N., Proposal for a New Type Solid State Maser, *Phys. Rev.*, 1956, **104**, № 2, 324.
17. Scovil H. E. D., Feher G., Seidel H., Operation of a Solid State Maser, *Phys. Rev.*, 1956, **105**, № 2, 762.
18. Басов Н. Г., Молекулярный генератор, *Радиотехника и электроника*, 1956, **1**, 51.
19. Shimoda K., Characteristics of the Beam Typ Maser, I, *J. Phys. Soc. Japan*, 1957, **12**, № 326, 1006.
20. Конторович В. М., Прохоров А. М., О нелинейных эффектах взаимодействия резонансных полей в молекулярном генераторе и усилителе, *ЖЭТФ*, 1957, **33**, вып. 6/12/, 1428.
21. Ali Javan, Theory of a Three-Level Masers, *Phys. Rev.*, 1957, **107**, № 6, 1579.
22. Helmer J. C., Maser Oscillators, *J. Appl. Phys.*, 1957, **28**, 212; *Phys. Rev.*, 1957, **107**, № 3, 902.
23. Bonanomi J., de Prins J., Herrman J., Kartaschoff, Stabilité d'étalons de fréquence à NH_3 , *Helv. Phys. Acta*, 1957, **30**, № 4, 288, Microwellen spektroph hoher Auflösung, *Helv. Phys. Acta*, 1957, **30**, № 4, 290, Améliorations d'un maser à NH_3 , *Helv. Phys. Acta*, 1957, **30**, № 6, 492.
24. Климонтович Ю. Л., Хохлов Р. В., К теории молекулярного генератора, *ЖЭТФ*, 1957, **32**, вып. 5, 1150.
25. Никитин В. В., Аппаратура сравнения частот кварцевого и молекулярного генераторов, Дипл. работа, МЭИ, 1957.
26. Файн В. М., Об уравнениях колебаний молекулярного генератора, *ЖЭТФ*, 1957, **33**, вып. 4/10/, 945.
27. Davis E. F., Phase stabilization to microwave frequency standards, Western electronic show and convention, 1957.
28. Müller M. W., Noise in a Molecular amplifier, *Phys. Rev.*, 1957, **106**, № 1, 8.
29. Pound R. V., Spontaneous Emission and the Noise Figure of Maser amplifiers, *Ann. Phys.*, 1957, **1**, 1.
30. Shimoda K., Takahasi H., Townes C. H., Fluctuations in Amplification of Quanta with Application to Maser Amplifiers, *J. Phys. Soc. Japan*, 1957, **12**, № 314, 686.
31. Weber J., Maser Noise Considerations, *Phys. Rev.*, 1957, **108**, № 3, 537.
32. Strendberg M. W. P. Inherent Noise of Quantum-Mechanical Amplifiers, *Phys. Rev.*, 1957, **106**, 617; 1957, **108**, 1648.
33. Wittke J. P., Molecular amplification and Generation of Microwaves, *PIRE*, 1957, **46**, № 3, 291.
34. Alsop L. E., Giordmaine J. A., Townes C. H., Wang T. C., Measurement of Noise in a Maser Amplifier, *Phys. Rev.*, 1957, **107**, № 5, 1450.

35. Mcworter A. L., Meyer J. W., Strum P. D., Noise temperature measurement on a solid state maser, *Phys. Rev.*, 1957, **108**, № 6, 1642.
36. Mcworter A. L., Arais F. R. PIRE, 1958, **46**, № 5, 913.
37. Strandberg M. W. P., Spin-Lattice Relaxation, *Phys. Rev.*, 1958, **110**, № 1, 65.
38. Bloembergen N., Electron Spin and Phonon Equilibrium in Masers, *Phys. Rev.*, **109**, № 6, 2209.
39. Mcwhorter A. L., Meyer J. W., Solid-State Maser amplifiers, *Phys. Rev.*, 1958, **109**, № 2, 312.
40. Markhov G., Kikuchi C., Lambe J., Terhune R. W., Maser Action in Ruby, *Phys. Rev.*, 1958, **109**, № 4, 1399.
41. Strandberg M. W. P., Davis C. F., Faughman B. W., Kyhl R. L., Wolga G. J., Operation of a Solid-State Quantum-Mechanical Amplifier, *Phys. Rev.*, 1958, **109**, № 6, 1988.
42. Artman J. O., Bloembergen N., Shapiro S., Operation of a Three-Level Solid-State Maser at 21 см, *Phys. Rev.*, 1958, **109**, № 4, 1392.
43. Зверев Г. М., Корниенко Л. С., Маненков А. А., Прохоров А. М., Парамагнитный усилитель и генератор на хромовом корунде, *ЖЭТФ*, 1958, **34**, вып. 6, 1660.
44. Басов Н. Г., Об условии самовозбуждения молекулярного генератора без объемного резонатора, *Радиотехника и электроника*, 1958, **3**, № 2, 297.
45. Vonbun F. O., Analysis of a Multipole State Separator and Focuser for Polarizable Molecules, *JAP*, 1958, **29**, № 4, 632.
46. Басов Н. Г., Петров А. П., Об относительной стабильности частоты молекулярных генераторов, *Радиотехника и электроника*, 1958, **3**, № 2, 298.
47. Троицкий В. С., К теории молекулярного генератора и флуктуаций его колебаний, *ЖЭТФ*, 1958, **34**, вып. 2, 390.
48. Bonapomi J., Herrmann J., De Prins J., Kartaschoff P., Twin Cavity for NH_3 Masers, *Rev. Sci. Instr.*, 1957, **28**, № 11, 879.
49. Басов Н. Г., Свидзинский К. К., Расчет молекулярного генератора на пучке молекул ND_3 , *Изв. вузов МВО СССР — Радиофизика*, 1958, **1**, № 2, 89.
50. Басов Н. Г., Ораевский А. Н., О возможности создания отпаянного молекулярного генератора с использованием молекул ND_3 , NHD_2 и NH_2D , *Изв. вузов МВО СССР — Радиофизика*, 1958, **1**, № 4, 63.
51. Прохоров А. М., О молекулярном усилителе и генераторе на субмиллиметровых волнах, *ЖЭТФ*, 1958, **34**, вып. 34, 1658.
52. Bolef D. I., Chester P. F., *IRE, Trans.*, 1958, **MTT-6**, № 1, 47.

Рекомендована Физическим институтом
АН СССР им. Лебедева

Поступила в редакцию
20 IX 1958 г.