

СТАБИЛИЗАЦИЯ ЧАСТОТЫ ГИРОТРОНА ПОД ВЛИЯНИЕМ ВНЕШНЕГО МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО СИГНАЛА ИЛИ ОТРАЖЕННОЙ ОТ НАГРУЗКИ ВОЛНЫ: ОБЗОР

*Ю. В. Новожилова¹, Г. Г. Денисов¹, М. Ю. Глявин¹, Н. М. Рыскин^{2,3},
В. Л. Бакунин¹, А. А. Богдашов¹, М. М. Мельникова², А. П. Фокин¹*

¹Институт прикладной физики РАН

Россия, 603950 Нижний Новгород, БОКС-120, ул. Ульянова, 46

²Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

Россия, 410012 Саратов, Астраханская, 83

³Саратовский филиал Института радиотехники и электроники РАН

Россия, 410019 Саратов, ул. Зеленая, 38

E-mail: julia.novozhilova2009@yandex.ru, den@appl.sci-nnov.ru,
mglyavin@gmail.com, ryskinm@info.sgu.ru, knightrider7@yandex.ru,
bogdash@appl.sci-nnov.ru, mafachu@mail.ru, ap.fokin@mail.ru

В работе исследована проблема захвата частоты гиротрона внешней монохроматической волной и стабилизация частоты гиротрона волной, отраженной от нерезонансной или резонансной нагрузки. Хотя в последние десятилетия воздействие внешнего монохроматического сигнала или отраженной волны на режим работы гиротрона исследовалось в ряде публикаций, конкретные схемы стабилизации частоты гиротрона не обсуждались. Задача стабилизации частоты сигналом, попадающим в резонатор из внешнего электродинамического тракта, стала особенно актуальной после разработки в Институте прикладной физики РАН квазиоптического преобразователя, который позволяет трансформировать большую часть поступающей из выходного тракта волны в рабочую моду мощного гиротрона.

В работе используется приближение фиксированной продольной структуры поля, справедливое при достаточно высокой добротности резонатора гиротрона. Указанное приближение позволяет получить аналитически ряд результатов для задачи о воздействии отраженной волны. При численном моделировании влияния внешнего монохроматического сигнала это приближение позволяет рассмотреть взаимодействие нескольких мод гиротрона, включая моды неэквидистантного спектра, частота которых существенно (вплоть до ширины полосы циклотронного резонанса) отличается от частоты рабочей моды. Численное моделирование воздействия внешнего сигнала и отраженной волны проведено на примере мегаваттного гиротрона с рабочей частотой 170 ГГц.

Построены области одномодовой одночастотной генерации на частоте внешнего сигнала (зоны захвата). Сценарий изменения во времени параметров электронного пучка на входе в пространство взаимодействия был близким к реально применяемому для достижения высоких КПД в данном гиротроне. В режиме захвата многомодового гиротрона могут достигаться более высокие значения КПД, а ширина полосы перестройки частоты генерации возрастает в несколько раз по сравнению с автономным режимом. Показано, что при воздействии отраженной волны на гиротрон частота генерации может удерживаться внутри узкой полосы, равной для нерезонансного отражателя расстоянию между модами длинной линии, а для резонансного – полосе внешнего резонатора. При этом автономная частота может варьировать в гораздо более широком интервале, в 5–6 раз превышающем интервал изменения частоты излучения.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что воздействие внешнего монохроматического сигнала или узкополосной отраженной волны является перспективным способом стабилизации частоты гиротрона.

Ключевые слова: Гиротрон, стабилизация частоты, запаздывающее отражение, захват частоты монохроматическим сигналом.

DOI: 10.18500/0869-6632-2017-25-1-5-34

Ссылка на статью: Новожилова Ю.В., Денисов Г.Г., Глявин М.Ю., Рыскин Н.М., Бакунин В.Л., Богдашов А.А., Мельникова М.М., Фокин А.П. Стабилизация частоты гиротрона под влиянием внешнего монохроматического сигнала или отраженной от нагрузки волны: Обзор // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2017. Т. 25, No 1. Р. 5–34.

GYROTRON FREQUENCY STABILIZATION UNDER THE INFLUENCE OF EXTERNAL MONOCHROMATIC SIGNAL OR WAVE REFLECTED FROM THE LOAD: REVIEW

*Yu. V. Novozhilova¹, G. G. Denisov¹, M. Yu. Glyavin¹, N. M. Ryskin^{2,3},
V. L. Bakunin¹, A. A. Bogdashov¹, M. M. Melnikova², A. P. Fokin¹*

¹Institute of Applied Physics RAS
Ul'yanov str., 46, 603950 Nizhny Novgorod, Russia

²Saratov State University

Astrakhanskaya str., 83, 410012 Saratov, Russia

³Saratov Branch of Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS
Zelyonaya str., 38, 410019 Saratov, Russia

E-mail: julia.novozhilova2009@yandex.ru, den@appl.sci-nnov.ru,
mglyavin@gmail.com, ryskinm@info.sgu.ru, knightrider7@yandex.ru,
bogdash@appl.sci-nnov.ru, mafachu@mail.ru, ap.fokin@mail.ru

We study gyrotron frequency locking by the external monochromatic wave and stabilization of gyrotron frequency by the wave reflected from the non-resonant or resonant load. Although in the last decades influence of the external monochromatic signal and the reflected wave at the gyrotron operation was studied in a number of publications, concrete schemes of gyrotron frequency stabilization weren't discussed. The study of frequency stabilization by the wave coming into the cavity from the external electrodynamic tract, has become particularly actual after the development in Institute of Applied Physics RAS (IAP RAS) the quasi-optical converter, which allows to transform a large part of wave coming from the output tract into the gyrotron operating mode.

We use the fixed field longitudinal structure approximation, which is correct at a sufficiently high Q-factor of gyrotron cavity. This approximation permits us to get analytically some results of influence of the reflected wave on gyrotron. In the numerical simulation of multimode gyrotron frequency locking by an external monochromatic signal, this approximation allows us to study several modes competition, including non-equidistant modes, the frequency distance between which can be comparable with the cyclotron absorption linewidth. Numerical simulation of the external signal and the reflected wave influence on gyrotron regime is carried out at the example megawatt gyrotron with an operating frequency 170 GHz.

The regions where the operating mode is generated at the frequency of the external signal (lock-in zones), for a multimode gyrotron were founded. It is shown, that in lock-in regime multi-mode gyrotron can achieve higher efficiencies and operation frequency tuning increases by several times compared to free gyrotron. The scenario of electron beam parameters variation was similar with the real one, used to build up the high-efficiency generation in the gyrotron. Under the influence of the reflected wave gyrotron oscillation frequency can be kept within a narrow band, equal for the non-resonant reflector to the distance between modes of long delay line, and for high-resonant reflector – band external cavity. The cavity eigen-frequency of gyrotron can be varied in a much wider range of 5–6 times the range of variation of the frequency of radiation.

The results permit us to conclude that the influence of external monochromatic or narrowband reflected wave is an attractive method for frequency stabilization of gyrotron.

Keywords: Gyrotron, frequency stabilization, delayed reflection, frequency locking by monochromatic signal.

DOI: 10.18500/0869-6632-2017-25-1-5-34

Paper reference: Novozhilova Yu.V., Denisov G.G., Glyavin M.Yu., Ryskin N.M., Bakunin V.L., Bogdashov A.A., Melnikova M.M., Fokin A.P. Gyrotron frequency stabilization under the influence of external monochromatic signal or wave reflected from the load: Review. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*. 2017. Vol. 25, Issue 1. P. 5–34.