

Теоретическое исследование автоколебаний в RFTES-детекторе

Л. С. Соломатов¹, С. В. Шитов^{1,2}

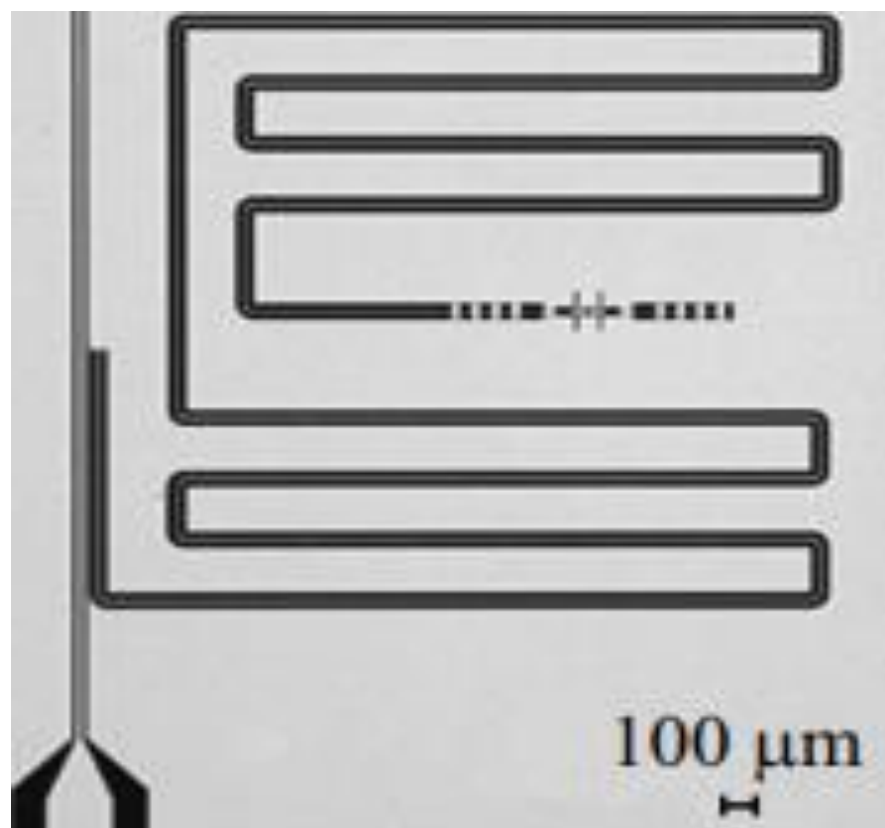
¹ Национальный исследовательский технологический университет МИСИС, Ленинский проспект 4, Москва 119049.

² Институт радиотехники и электроники им В. А. Котельникова РАН, ул. Моховая 11/7, Москва, 125009.

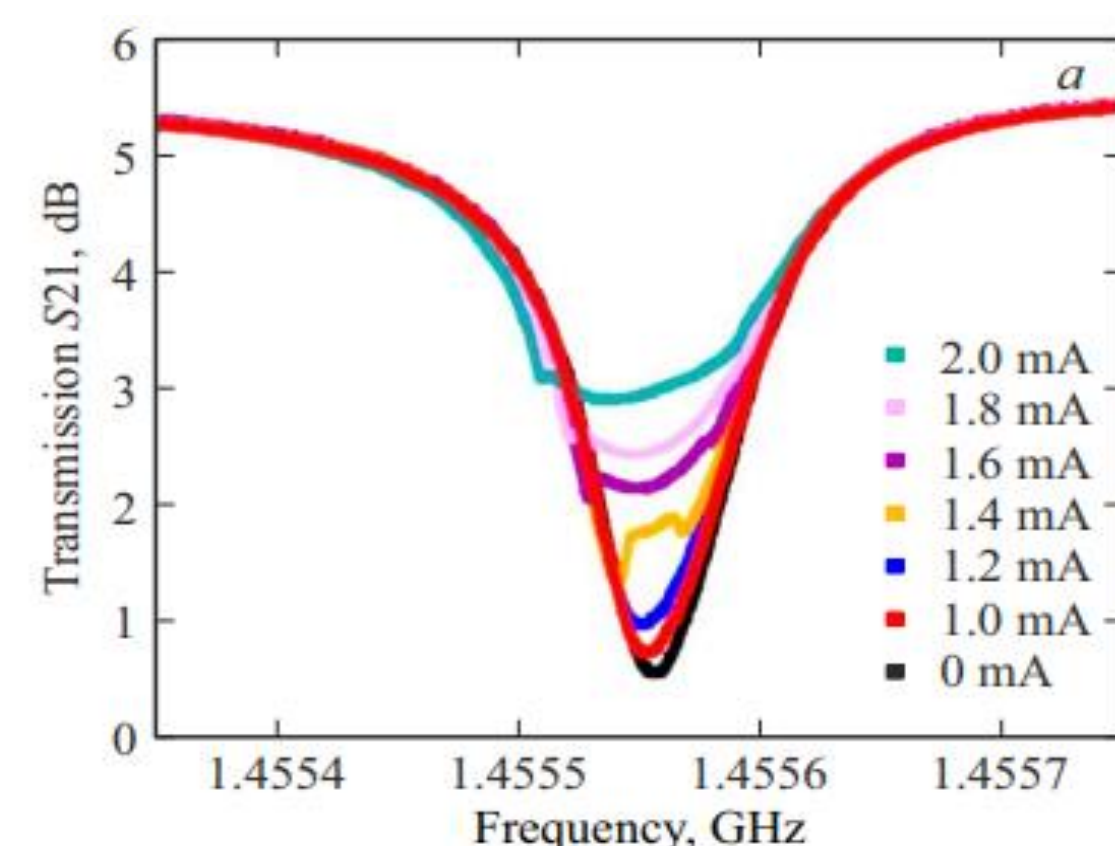
Предложены несколько моделей возникновения релаксационных колебаний в RFTES-детекторе. Продemonстрировано, что модель конкуренции тока разогрева и критического тока в пленочном микромостике в области интерфейса с электродами адекватна экспериментальным наблюдениям, а модель пульсаций горячего пятна целесообразна для дальнейшей разработки.

Сверхпроводящие детекторы. RFTES-болومتر

RFTES-болومتر [1] – синтез зрелых технологий: TES-детектора вблизи T_c , разогрева электронного газа в HEDD, СВЧ-считывания в MKID. Нагрев электронного газа в микромостике обусловлен двумя процессами: поглощением высокоэнергетичных фотонов, поступающих от ТГц-антенны и подогревом током на частоте резонатора.



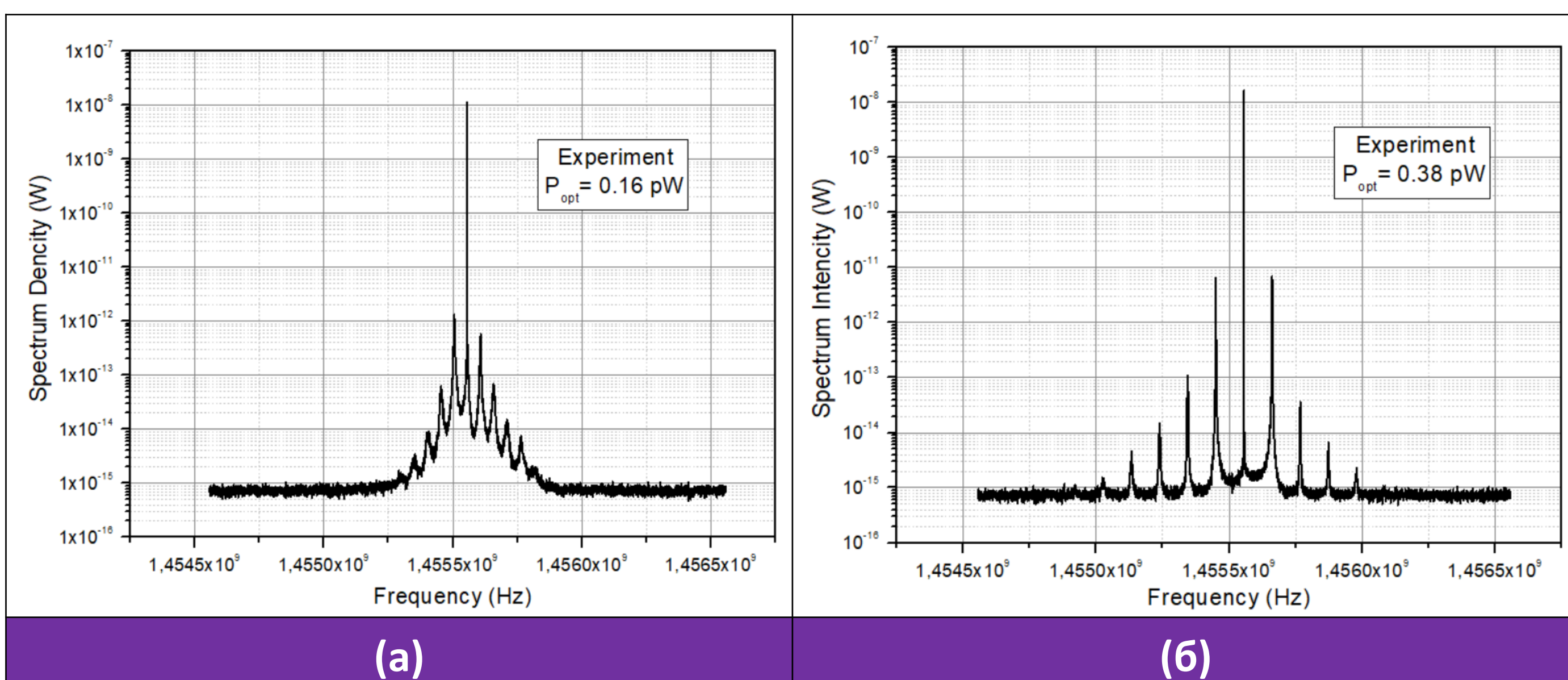
Структура чипа



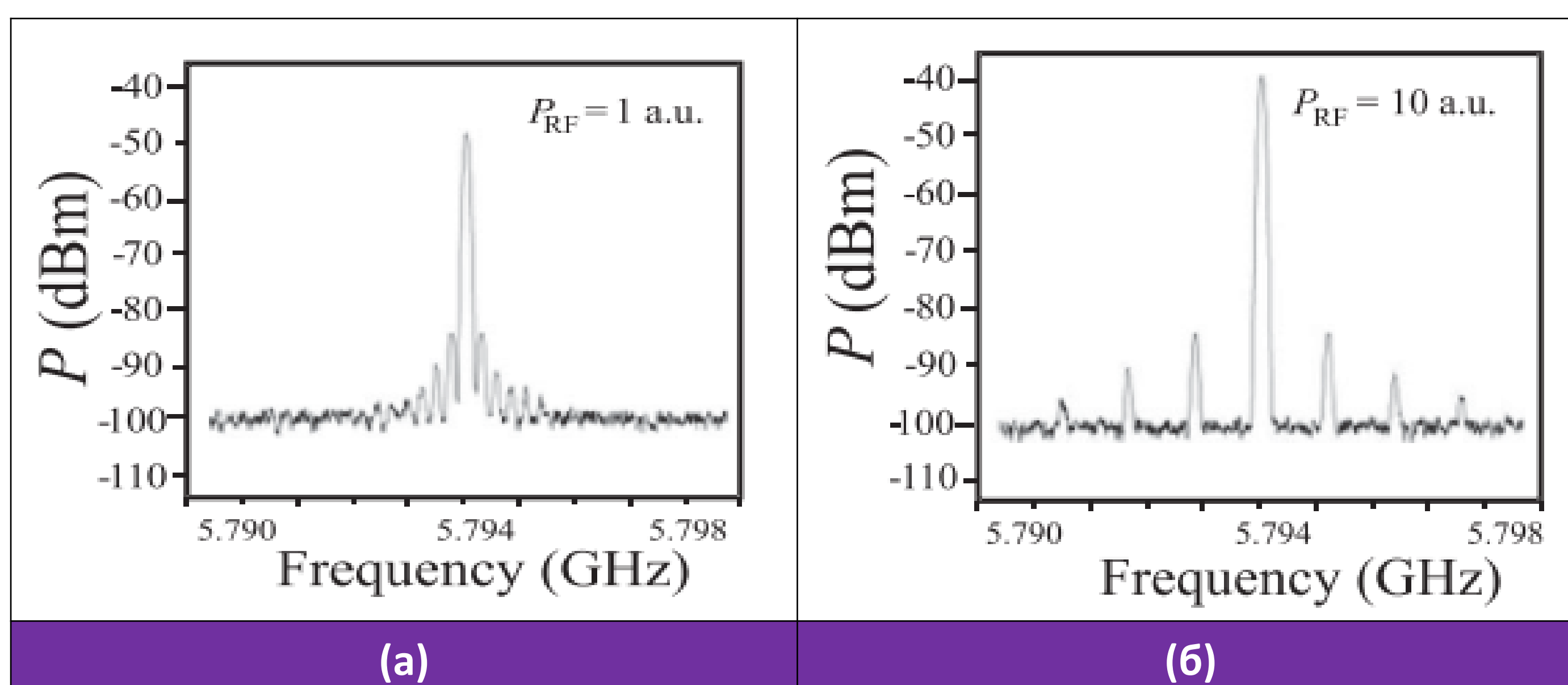
Резистивный отклик

Осцилляции в RFTES - эксперимент

Экспериментальные исследования показали, что в образцах из ниобия, а также для мостиков из гафния после длительного хранения на воздухе (после старения) в RFTES-детекторе [2] могут возникать автоколебания, проявляющиеся как модуляция СВЧ несущей с частотой ~ 10 kHz, которые зависят как от мощности несущей, так и от мощности ТГц излучения, подаваемого на антенный вход детектора.



Спектр осцилляций в RFTES для образцов с тонкопленочным микромостиком из сверхпроводящего гафния при различной оптической мощности P_{opt} (a) 0.16 pW (b) 0.38 pW



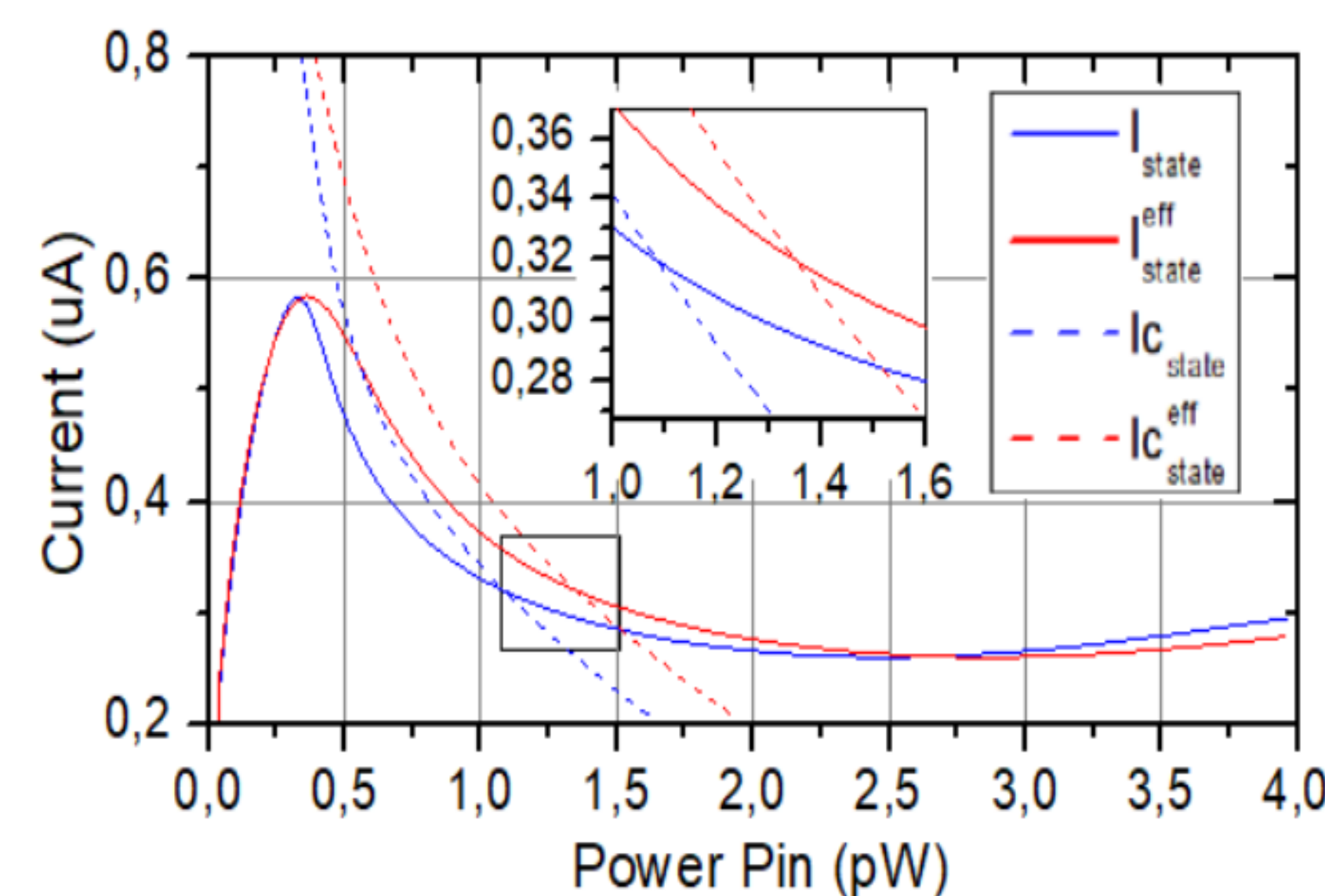
Спектр осцилляций для мостиков из сверхпроводящего ниобия при различной мощности накачки [2]

Заключение и выводы

Возможно обнаружено новое явление, позволяющее установить точное соответствие между детектируемой мощностью и частотой возникающих автоколебаний. В данной работе были предложены две различные модели возникновения колебаний. Было показано, что за счет уточнения параметров модель слабой связи на интерфейсе Nb-Hf может быть согласована с экспериментальными данными. Оценены подходы к объяснению колебаний с привлечением модели горячего пятна [3], которые будут развиты в ближайшем будущем. Эта модель может оказаться более релевантной случаю ниобиевых мостиков, и которая планируется к разработке в ближайшем будущем.

Модель слабой связи на интерфейсе

Предположим, что на месте контакта Nb-Hf имеется эффект близости, который несколько увеличивает щелевой потенциал (повышает его T_c) и образует слабую связь, которая, обладает собственным критическим током, зависящим от текущей температуры $I_c^{int}(T_e)$. В процессе установления рабочего режима амплитуда накачки сравнивается с критическим током интерфейса ($I_b \geq I_c^{int}$), и произойдет скачок сопротивления, что приведет к изменению стационарных значений температуры, тока и криттока на интерфейсе, которые затем могут релаксировать снова к сверхпроводящему состоянию.

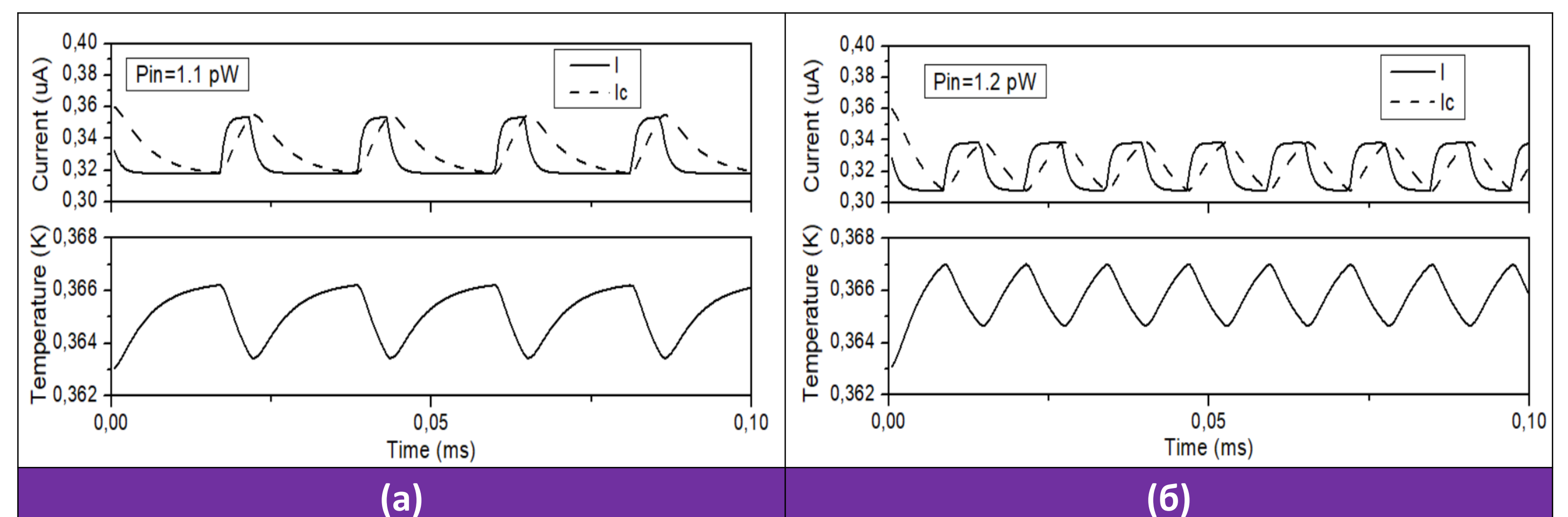


Стационарные решения для токов от мощности накачки P_{in}

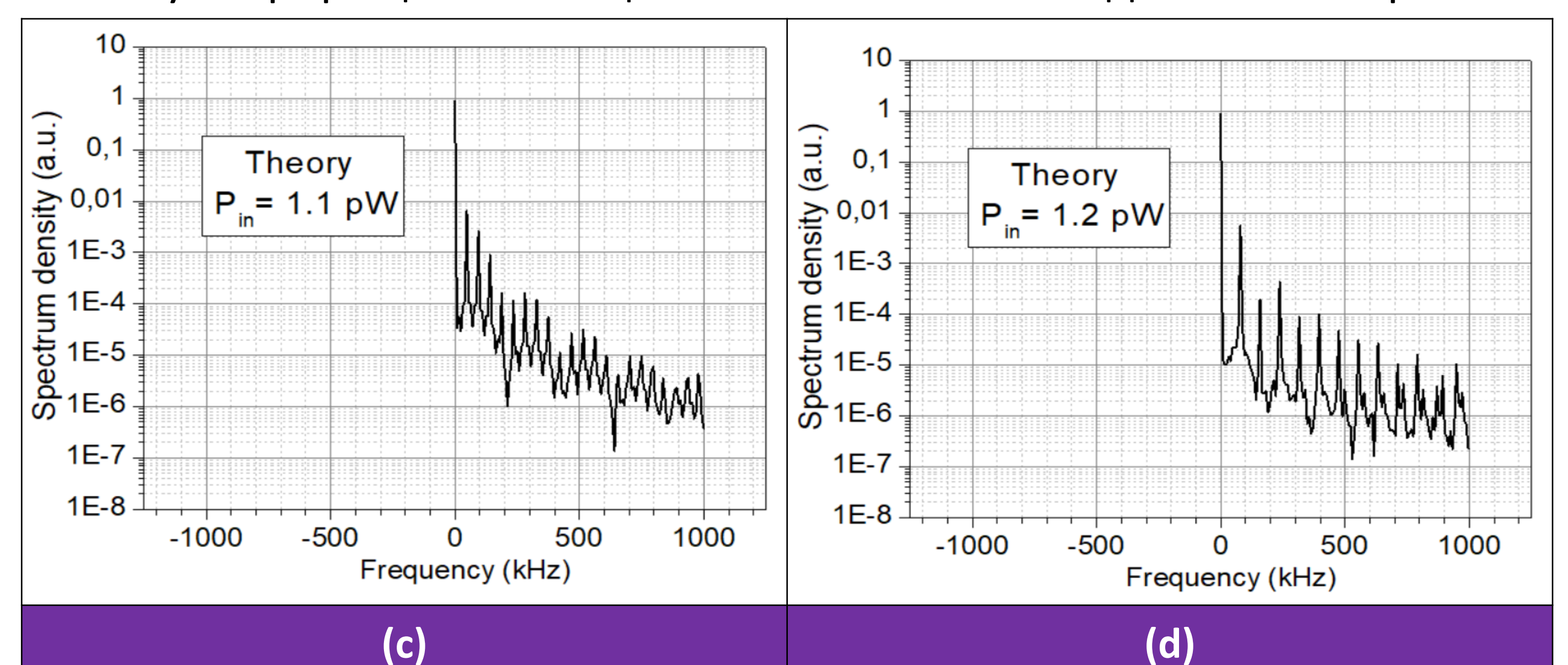
Системы дифференциальных уравнений, описывающих временную эволюцию тока и температуры, учитывающих критический ток

$$\begin{cases} \frac{dT_e}{dt} = \frac{1}{\tau_{rel}} (T_e(I(t)) - T_e(t)), \\ \frac{dI}{dt} = \frac{1}{\tau_{res}(T_e(t))} (I(T_{state}) - I(t)), \end{cases} \text{ if } I(t) < I_c(T_e(t))$$
$$\begin{cases} \frac{dT_e}{dt} = \frac{1}{\tau_{rel}} (T_e(I(t)) - T_e(t)) + \frac{1}{\tau_{i-m}} I^2(t) \Delta R_n, \\ \frac{dI}{dt} = \frac{1}{\tau_{res}(T_e(t))} (I(T_{state}^{eff}) - I(t)). \end{cases} \text{ if } I(t) \geq I_c(T_e(t))$$

Результаты



Временная эволюция тока (сплошная), криттока интерфейса (пунктир) и температуры при различных уровнях накачки P_{in} : (a) 1.1 pW (b) 1.2 pW, что соответствует приращению мощности оптического воздействия 0.1 pW.



Спектры, рассчитанные при уровнях накачки P_{in} : (c) 1.1 pW (d) 1.2 pW

Финансирование

Исследование поддерживалось грантом K2-2022-029 в рамках Стратегического проекта «Квантовый интернет» Программы Стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» и грантом РФФ 24-29-20298 «Активный терагерцовый RFTES детектор».

Литература

1. A. V. Merenkov, V. I. Chichkov, A. B. Ermakov, A. V. Ustinov, S. V. Shitov // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. 2017, V. 27(4), pp. 1-5 DOI: 10.1109/TASC.2017.2655507 (2017).
2. S. V. Shitov, A. A. Kuzmin, M. Merker, V. I. Chichkov, A. V. Merenkov, A. B. Ermakov, A. V. Ustinov, M. Siegel // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. 27, 4 (2017). DOI: 10.1109/tasc.2017.2655507.
3. A. Semenov, G. Gol'tsman, A. Korneev // Physica C. – 2001. - V. 351. - P. 349-356.