



Шейн Кирилл Вячеславович БИТ 152  
Научный руководитель : д-р ф.-м. н, проф. Арутюнов К.Ю

# **ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ИЗМЕРЕНИЕ АМПЛИТУДНО- ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК RLC ФИЛЬТРА ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ СВЕРХНИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

Экспериментальная часть курсовой работы выполнялась в ИФП им. П Л Капицы РАН

# Постановка задачи и ее актуальность

- Актуальность данной задачи заключается в том , что нам надо построить установку для прецизионных измерений гальваномагнитных характеристик нанoeлектронных структур исключительно малых размеров. Для этого надо минимизировать помехи, связанные со внешними электромагнитными помехами.
- Была поставлена задача изготовить криогенные RLC – фильтры, эффективно подавляющие внешние электромагнитные наводки и измерить их амплитудно-частотные характеристики при комнатных и криогенных температурах.

# Фильтры низких частот

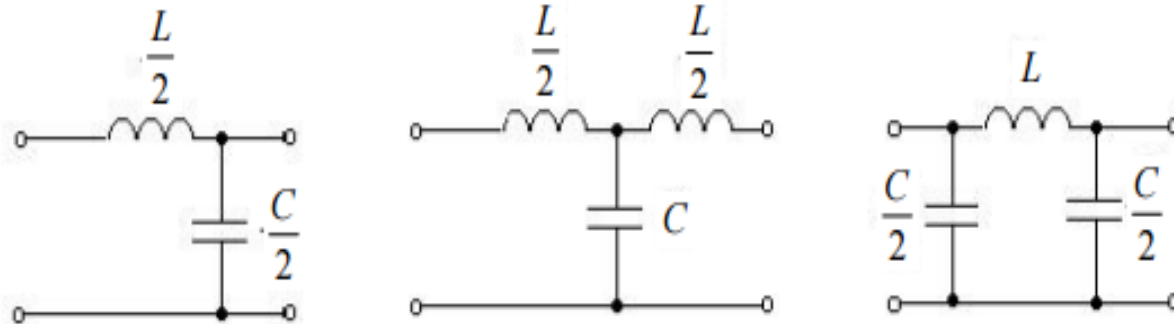
Фильтрами низких частот называют такие фильтры, у которых полоса пропускания изменяется от 0 (т.е. постоянный ток) до какой-то граничной частоты.

Физический смысл работы фильтров можно объяснить с помощью простых соотношений

$$Z_1 = j\omega L \quad (1)$$

$$Z_2 = 1/j\omega C \quad (2)$$

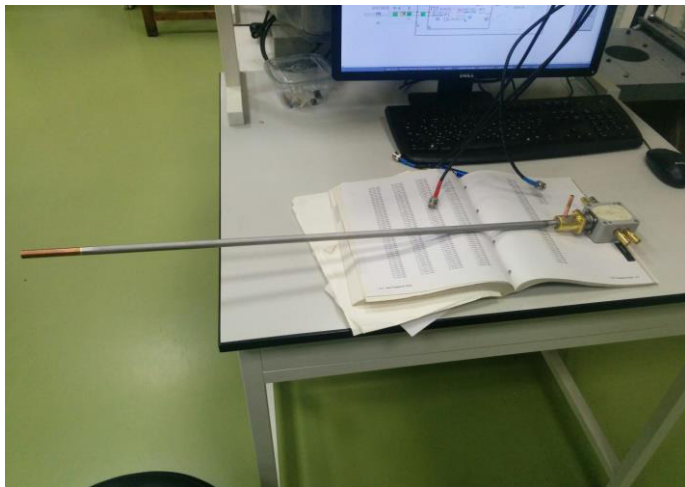
где  $j$  – мнимая единица,  $\omega$  – частота,  $L$  – индуктивность,  $C$  – емкость.



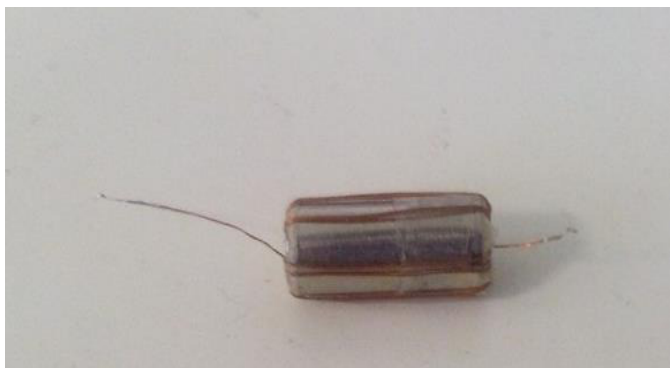
*Несколько примеров типичных фильтров низкой частоты.*

[ [http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/56/u\\_lectures.pdf](http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/56/u_lectures.pdf) ]

# Образцы RL фильтров



*Фотография 2. Вставка для проведения измерений при комнатной температуре и жидком гелии.*



*Фотография 5 . Катушка из необожженного пермаллоя*



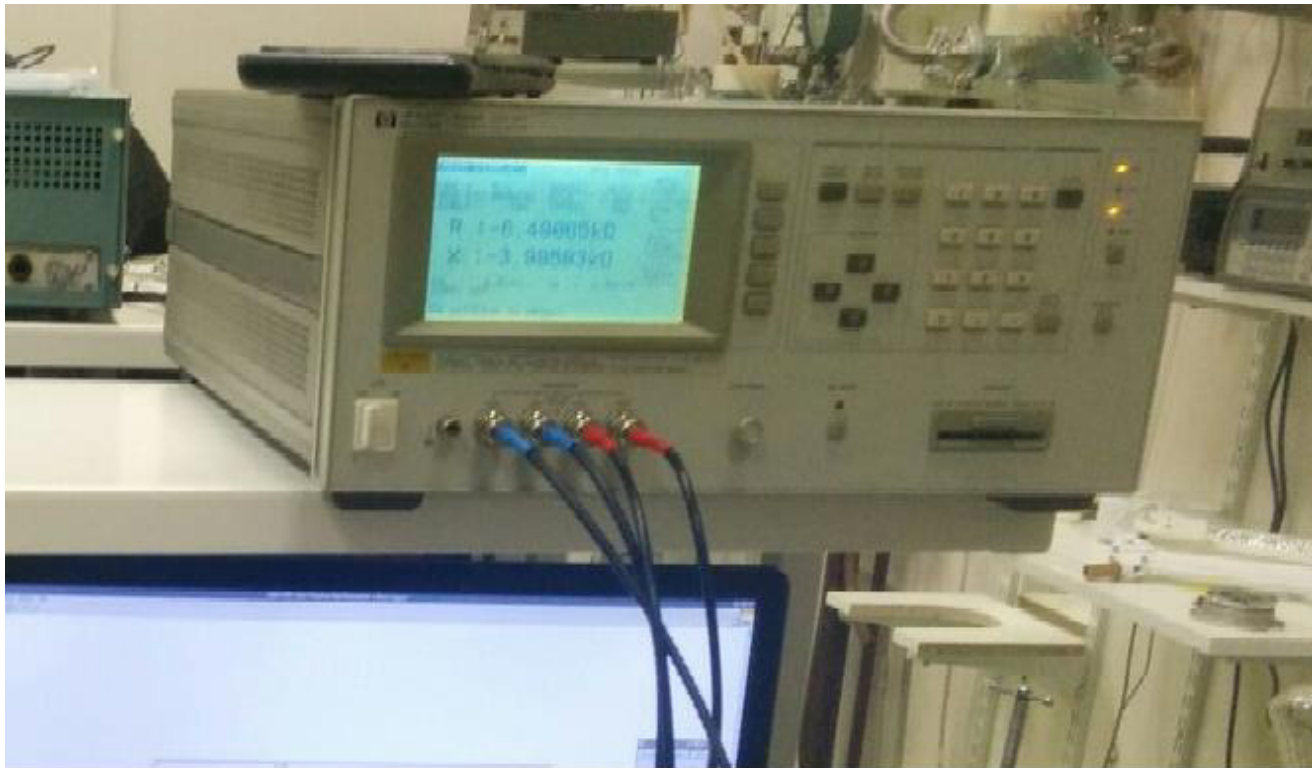
*Фотография 3 и 4. Катушка TOSHIBA AMOBEAD*



*Фотография 6 . Катушка из необожженного пермаллоя*

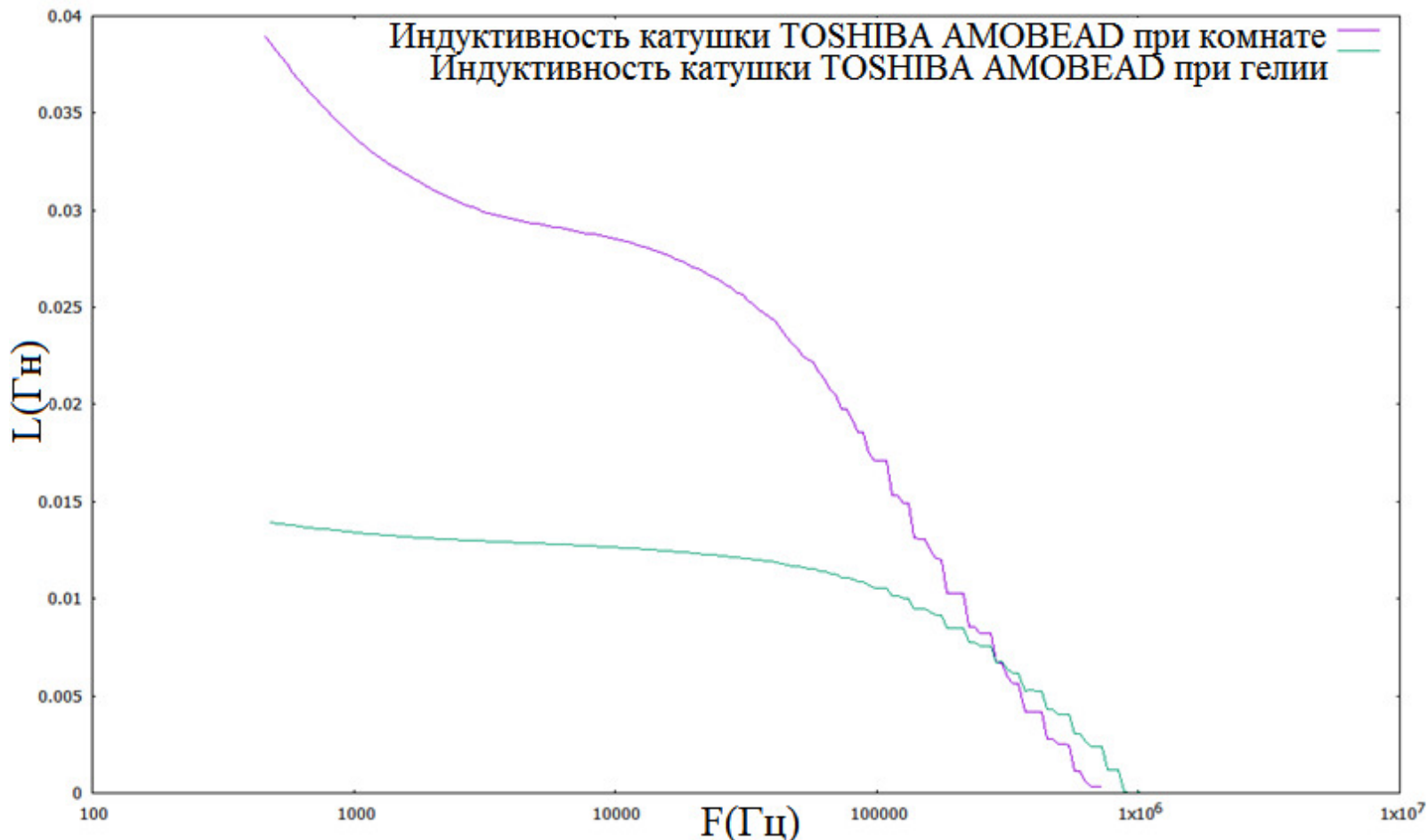
# Измерение индуктивности

Измерения индуктивности катушки проводились с помощью прибора HP 4284 А. Это RLC-метр с диапазоном частот от 20 Гц до 1 МГц



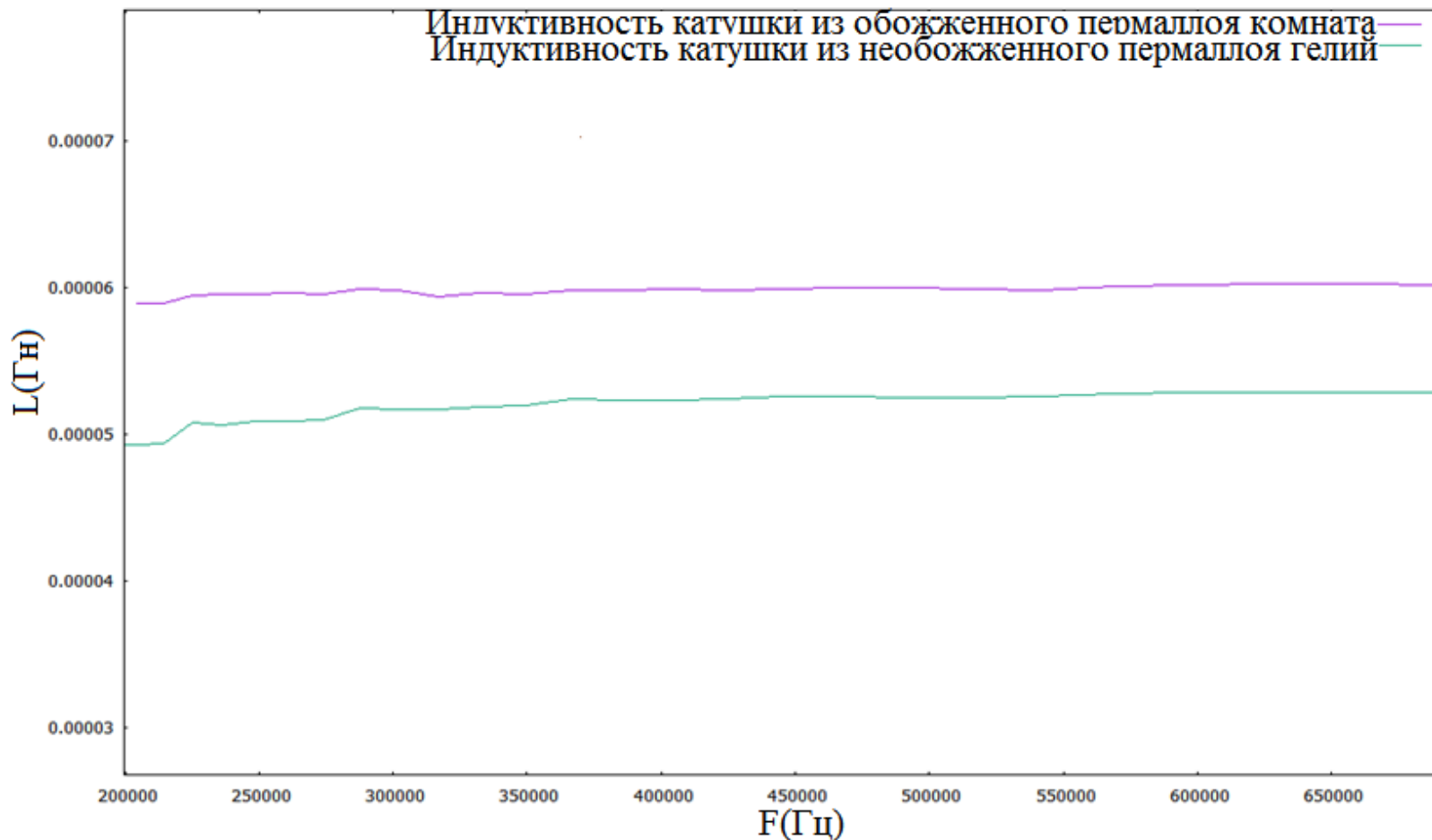
*Фотография 7. RLC -метр HP 4284 А с подключенным держателем образца с индуктивностью.*

## Катушки TOSHIBA AMOBЕAD при комнатной температуре и температуре жидкого гелия



*График зависимость индуктивности катушки TOSHIBA AMOBЕAD при комнатной температуре ~300 К и температуре жидкого гелия 4,2 К от частоты*

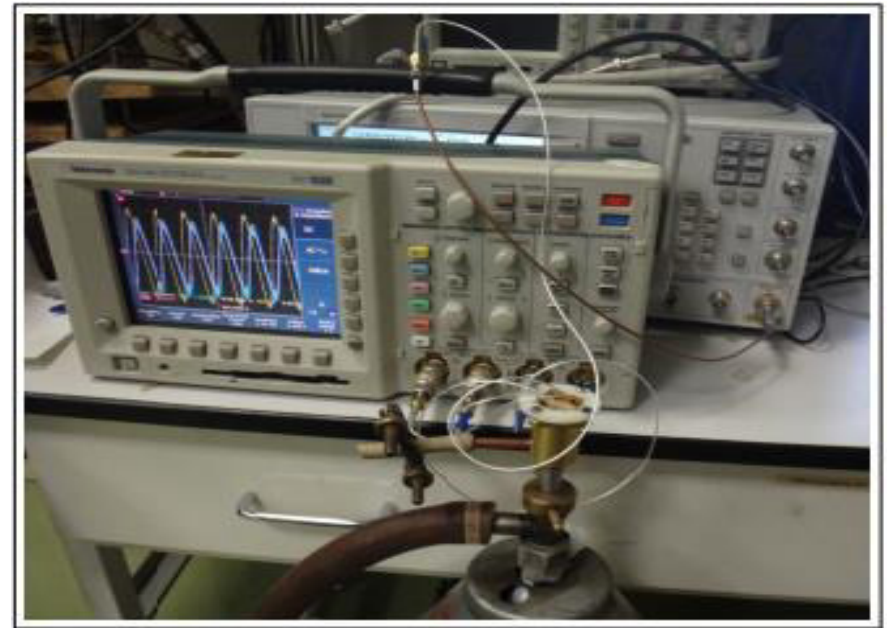
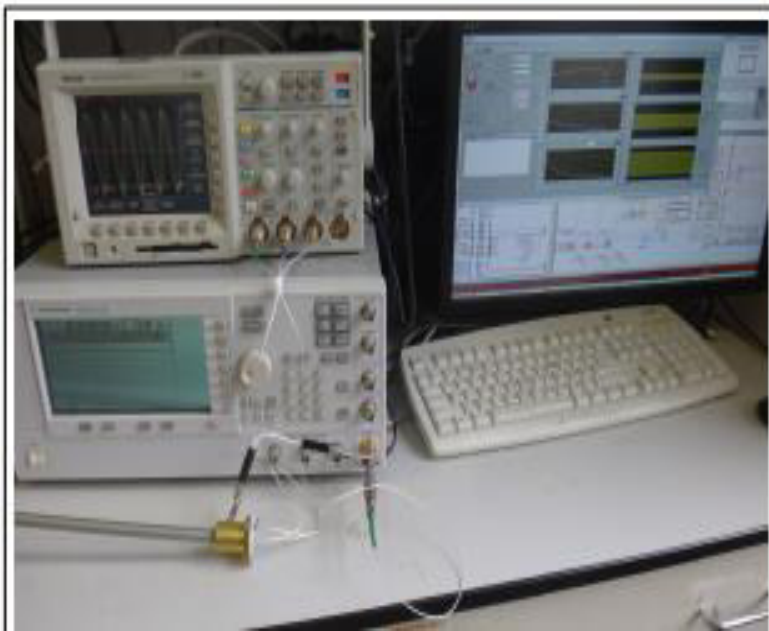
## Катушка из обожженного пермаллоя



*Зависимость индуктивности катушки из обожженного пермаллоя при комнатной температуре и температуре жидкого гелия от частоты*

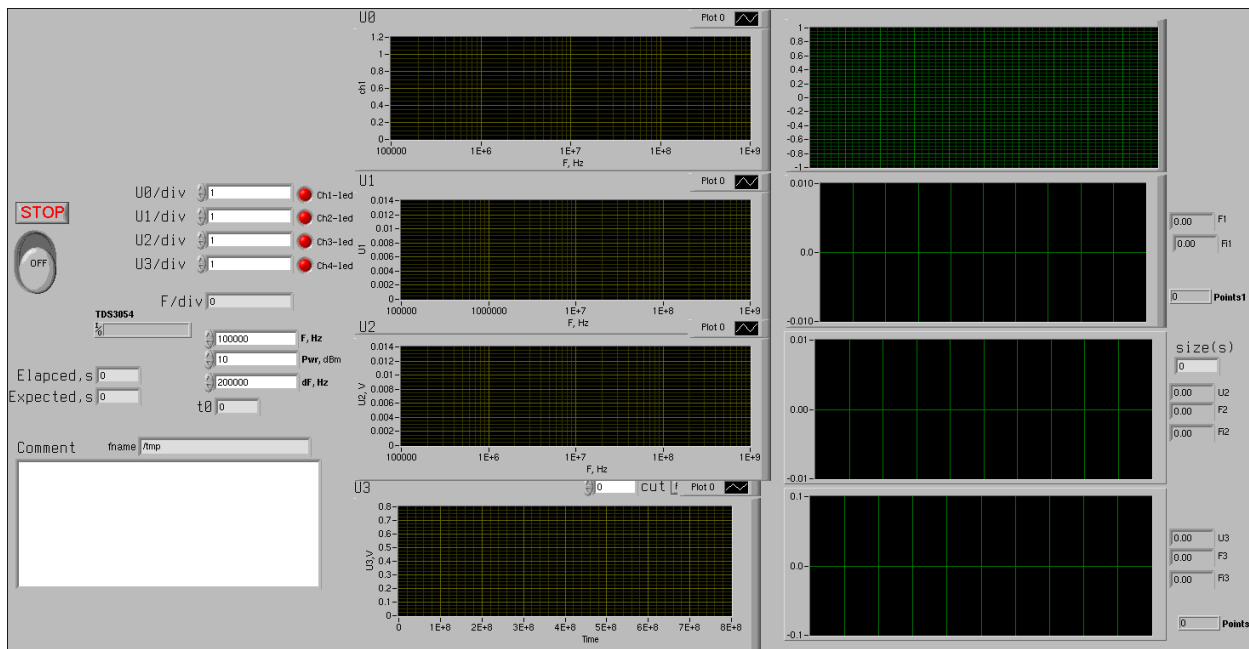
# Измерение импеданса

Использовался генератор высоких частот Agilent E8257D (0.1 – 20000 MHz, 12 dBm) и осциллограф Tektronix-3054 (с полосой 50 MHz и частотой выборки 5 Gs/s).

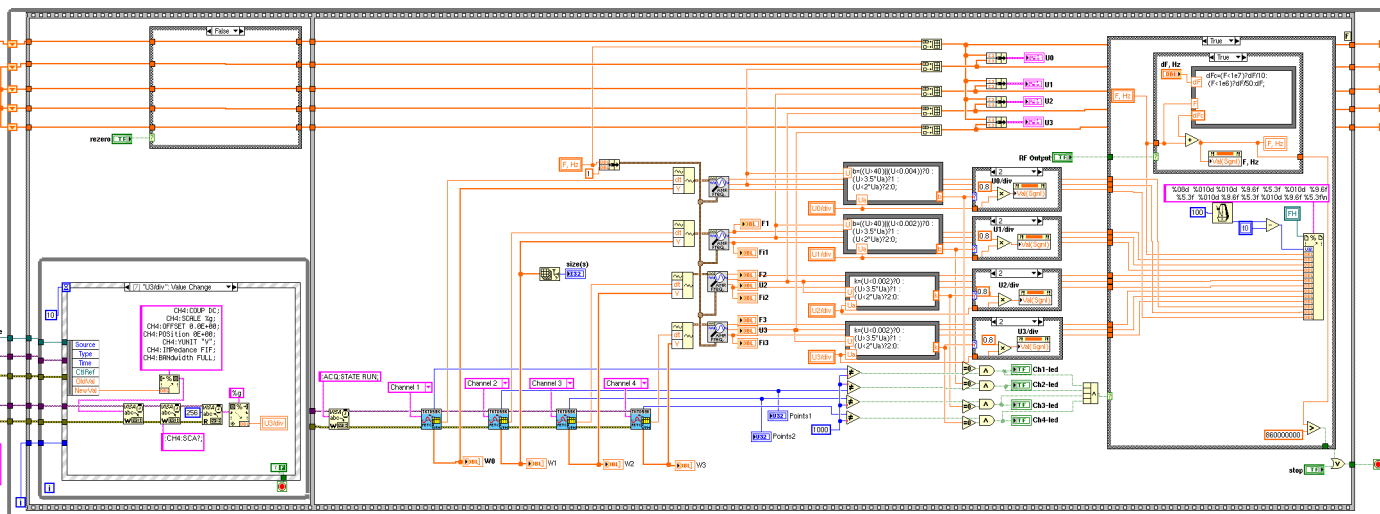


*Генератор высоких частот Agilent E8257D (0.1 – 20000 MHz, 12 dBm) и осциллограф Tektronix-3054*





*Интерфейс программы в Labview, которая обрабатывала полученные данные с осциллографа Tektronix-3054*



*Схема программы в Labview, которая обрабатывала полученные данные с осциллографа Tektronix-3054*

# Схема измерений

Для измерений использовалась четырехпроводная схема

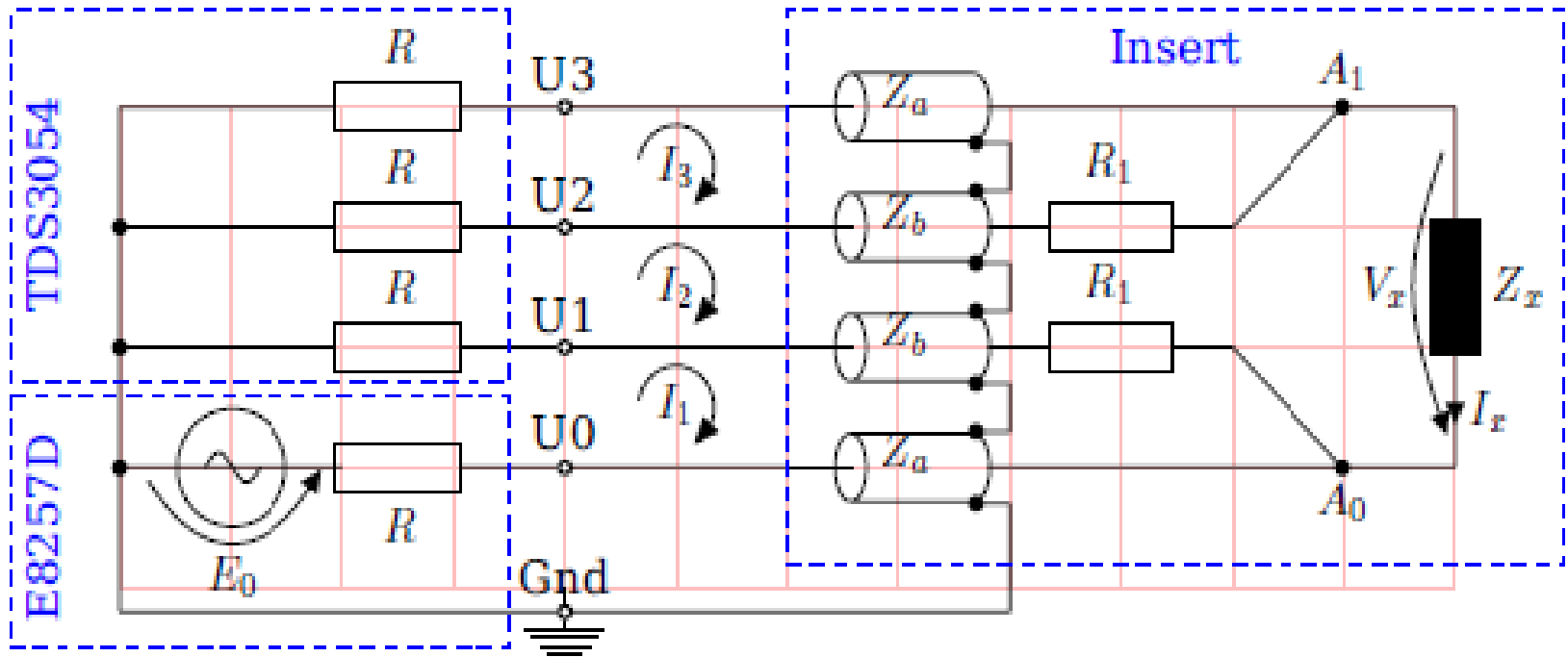


Схема подключения образца на криогенном держателе к генератору и осциллографу

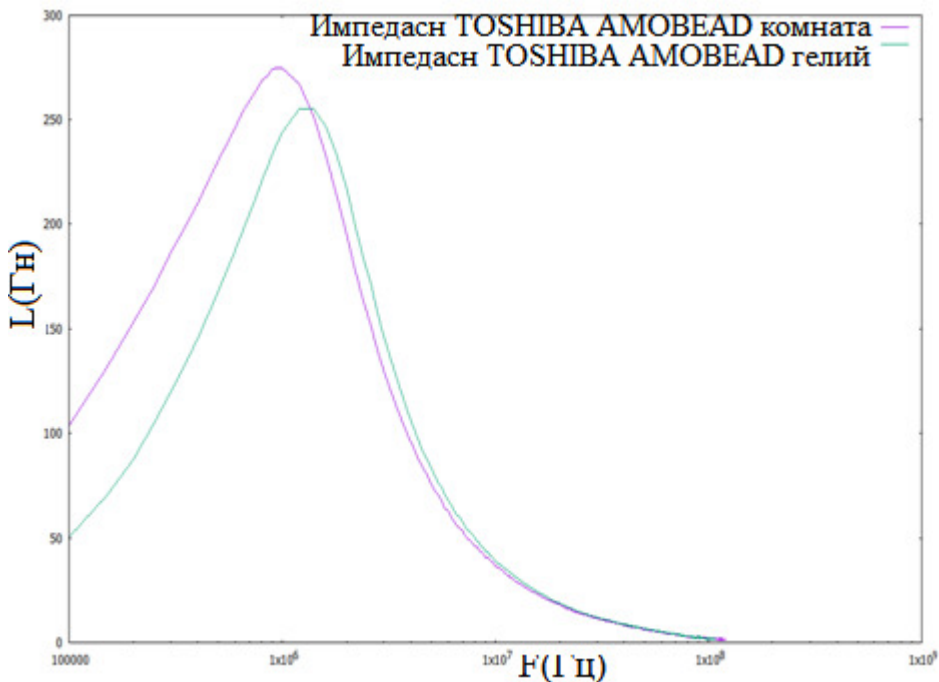
# Эквивалентная математическая модель

$$\left\{ \begin{array}{l} (I1 - I2) * (R + Zb + R1) + I1 * (R + Za) - E0 = 0 \\ (I2 - I3) * (R + Zb + R1) + I2 * Zx + (I2 - I1) * (R1 + Zb + R) = 0 \\ I3 * (R + Za) + (I3 - I2) * (R1 + Zb + R) = 0 \\ U0 = E0 - I1 * R \\ U1 = (I1 - I2) * R \\ U2 = (I2 - I3) * R \\ U3 = I3 * R \\ Za = Zb \end{array} \right.$$

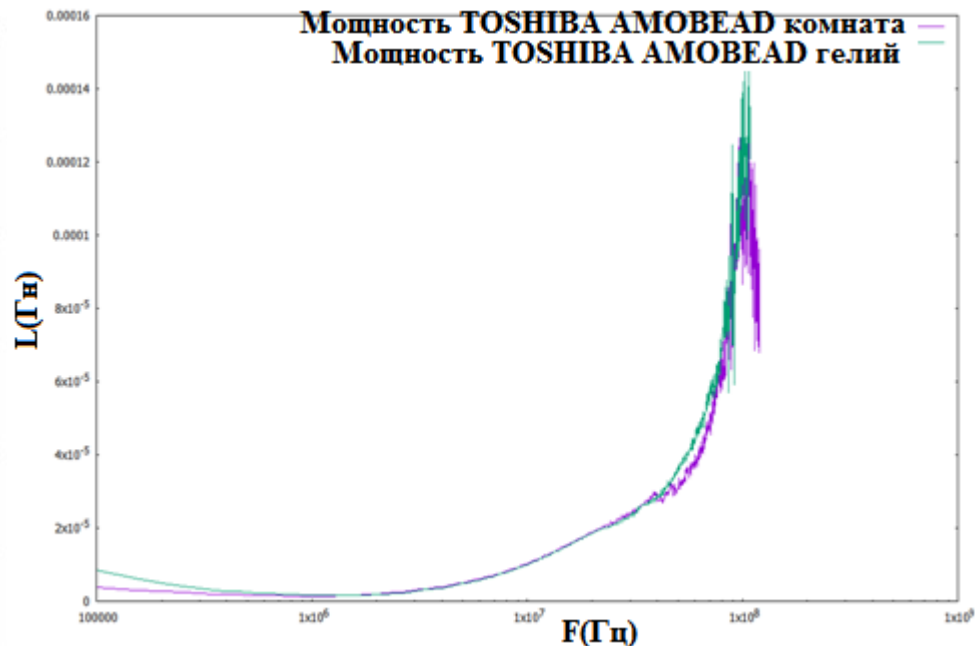
Решая данную систему уравнений получается следующее соотношение.

$$Z_x = \frac{-R1 * (U2 - U3) * U3}{(U3 - U2) * (U3 + U2)}$$

# Катушка *TOSHIBA AMOBEAD*: результаты

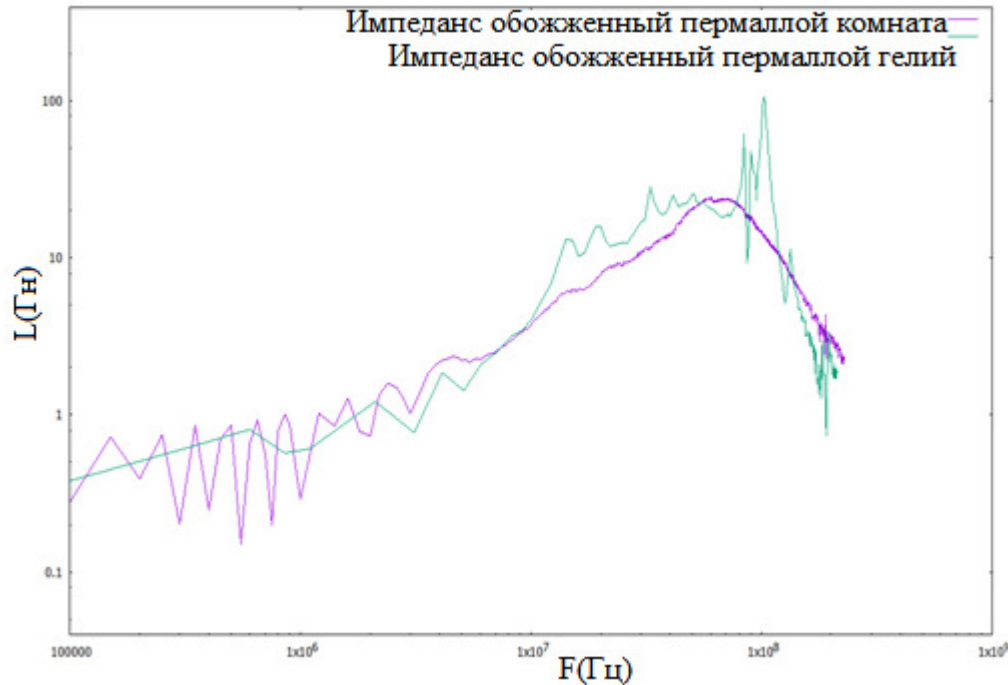


*Зависимости импеданса катушки TOSHIBA AMOBEAD при комнатной температуре и температуре жидкого гелия от частоты в логарифмическом масштабе.*

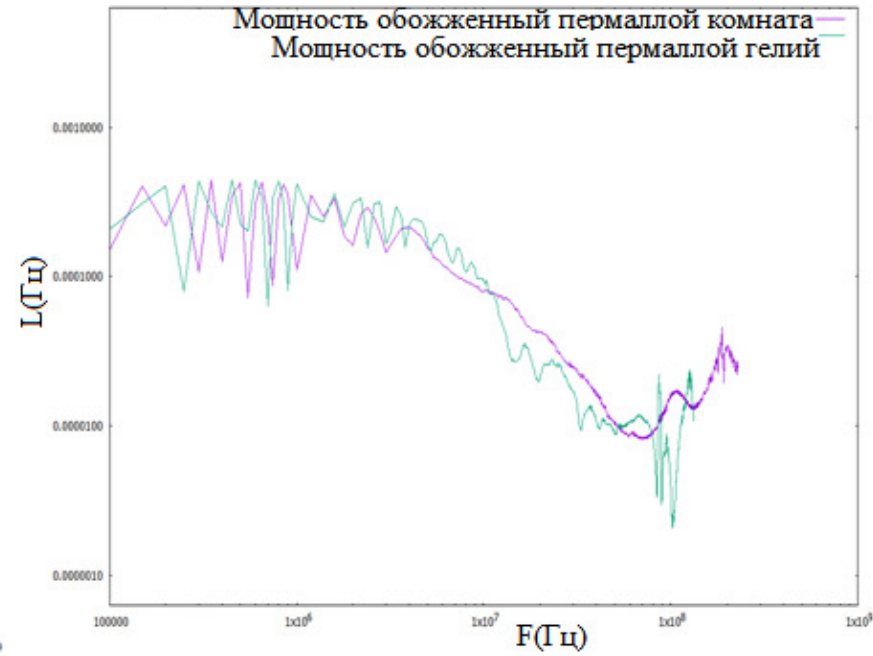


*Зависимости мощности, отражаемой на катушке TOSHIBA AMOBEAD, при комнатной температуре и температуре жидкого гелия от частоты в логарифмическом масштабе*

# Катушка из пермаллоя: результаты



*Зависимости импеданса катушки из обожженного пермаллоя при комнатной температуре и температуре жидкого гелия от частоты*



*Зависимости мощности, отражаемой на катушке из обожженного пермаллоя, при комнатной температуре и температуре жидкого гелия от частоты.*

# Выводы

- В ходе работы над МКР были получены навыки работа с различным измерительным оборудованием: RLC- метр, высокочастотный генератор сигналов и осциллограф; криогенные установки.
- Проведены эксперименты по измерению индуктивности, АЧХ, импеданса и поглощаемой мощности различных катушек индуктивностей при комнатной температуре и температуре жидкого гелия 4.2К.
- Проведены исследования частотных зависимостей трех типов катушек индуктивности, изготовленных из тонкого сверхпроводящего NbTi кабеля в мельхиоровой матрице с сердечниками из обожженного и необожженного пермаллоя, и магнитного материала TOSHIBA AMOBEAD.
- Экспериментально продемонстрировано, что все три типа индуктивностей могут быть использованы в качестве фильтров низкой частоты в криогенных установках с несколько различающимися частотными и температурными зависимостями. При частотах до  $\sim 1$  МГц наилучшими параметрами обладают сердечники из материала TOSHIBA AMOBEAD. Однако с увеличением частоты их параметры деградируют. В области частот от  $\sim 1$  МГц до  $\sim 100$  МГц сердечники из обожженного пермаллоя обеспечивают более высокое подавление ВЧ сигнала.
- В области частот более 100 МГц экспериментальные данные не однозначны, т.к. наблюдаются немонотонности АЧХ, связанные с размерными резонансами, специфическими для конкретного образца и измерительной установки.

# Список литературы

- 1. *Касаткин А. С.* Основы электротехники. М.: Высшая школа, 1986.
- 2. *Бессонов Л. А.* Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. М.: Высшая школа, 1978.
- 3. *Котенёв С. В., Евсеев А. Н.* Расчет и оптимизация тороидальных трансформаторов и дросселей. — М.: Горячая линия — Телеком, 2013. — 360 с. — 500 экз. — [ISBN 978-5-9912-0186-5](#).
- 4. *John C. Mallinson.* Magneto-resistive heads: fundamentals and applications. — Academic Press, 1996. — Vol. 1. — 133 p. — (Electromagnetism Series). — [ISBN 9780124666306](#)

**Благодарю за внимание!**