Высокочастотные фильтры для

прецизионных измерений

гальваномагнитных свойств

наноструктур при сверхнизких

температурах

Черняев С.А. (БИТ 153)

Содержание

1 Введение 3

2 Технический эксперимент 3

2.1 RC-фильтр . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 4

2.2 Полосковый фильтр . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 9

3 Расчет теоретической кривой 10

4 Заключение 10

2

1 Введение

Многие эксперименты в криогенике подразумевают измерения электронной

проводимости, что означает подключение образца к измерительным при-

борам, которые находятся при комнатной температуре. Без соответству-

ющей фильтрации электронные соединения будут передавать паразитные

сигналы на образец. Измерительная цепь очень чувствительна к таким па-

разитным наводкам, особенно когда энергетические масштабы находятся

в области милликельвинов и сами объекты исследования достаточно ма-

лы. Эффект внешнего шума, который может быть либо антропогенным,

либо термическим из-за источников более высоких температур, нагревает

электроны выше температуры кристаллической решётки. Из-за малости

размеров наноструктуры очень чувствительны даже к малым изменениям

энергии[1]. Следовательно, при любых измерениях при сверхнизких темпе-

ратурах надо минимизировать приток энергии.

Чтобы уменьшить нежелательные эффекты, встает острая необходимость

фильтрования электрических соединений с образцом[2]. В научном сообще-

стве нет единого мнения и наиболее оптимального рецепта для изготовле-

ния таких фильтров. Было предложено несколько решений [1−4]. Моим на-

учным руководителем была поставлена задача изучить соответствующую

литературу, изготовить фильтры и измерить их характеристики. Поэтому

мною были созданы соответствующие рассредоточенные полосковые и дис-

кретные RC-фильтры, рассчитаны и измерены их амплитудно-частотные

характеристики (АЧХ).

2 Технический эксперимент

В то время как наши эксперименты проводятся при низких температурах

( 50mK), электронная температура устройств оказывается существенно

выше, чем температура термостата, как результат неконтролированного

электромагнитного шума, который проходит в систему, распространяясь

по корпусу криостата и подводящим проводам. Часто предполагают, что

главным источником шума для измерений при температуре 300K являет-

ся Джонсоновский (тепловой) шум, который имеет белый спектр доходя-

6ТГц. Поэтому эффективный криогенный фильтр долженщий до kB T

отражать шумы в пределах от 6TГц до 200МГц, последний относится к

температуре 10мК, и должен быть установлен на соответствующем темпе-

ратурном уровне, чтобы уменьшить полосу пропускания и интенсивность

3

собственного Джонсоновского шума.

Помимо Джонсоновского шума, нежелательным (и неизбежным в реаль-

ных лабораторных условиях ) источником электромагнитного шума явля-

ется радио, ТВ, мобильная связь и всевозможные источники пtременных

электрических и магнитных полей. На практике оказывается, что необходи-

мо сделать несколько каскадов фильтрации для обеспечения эффективной

защиты измерительного тракта как от электромагнитных наводок, так и

для термолизации объектов исследования при сверхнизких температурах.

2.1 RC-фильтр

Рис. 1: Наш фильтр состоящий из 4х четырехполюсников

Традиционные RC фильтры поглощают нежелательный ВЧ сигнал за-

короткой (по высокой частоте) на землю. Соответствующая частота от-

мы использовали дифференциальную цепь для каждой пары контактов:

коммерческие интегрированные компоненты, из которых создали 4 линии,

каждая из которых состоит из 4х резисторов (1kΩ) и одного конденсато-

ра (1µF) в форме H-конфигурации (Рис. 2). - так называемый, двойной

Т-фильтр.

4

(a) Симуляция цепи (b) Схема для тестирования

Рис. 2: Четрехполюсник

Мы смонтировали каждую из линий в одним из отсеков в медной короб-

ке (Рис. 1). Чтобы протестировать наш фильтр низких частот мы припаяли

две SMA фишки для подачи сгенерированного сигнала и снятия показаний.

Для соединения с измерительным прибором использовался 50-Омный ко-

аксиальный кабель, преимущество которого является более однородное в

направление продольной оси сечение и и применение более качественных

материалов для электропроводников и изоляции в сравнении с обычным

экранированным проводом. Его длина обеспечивает возможность погру-

жения в дюар с гелием или азотом для проведения экспериментов при

сверхнизких температурах. Нам потребовалось получить примерную кри-

вую обсчета. Для этого был сделан макро-прототип (Рис. 2 (b)) с таким же

параметрами как и у четырехполюсника и с выходным сопротивлением в

0.82 kΩ, на котором и измеряилась амплитудно-частотная характеристика

(АЧХ)выходного напряжения от частоты.

Для этого мы использовали Agilent 33220A Waveform Generator и Keithley

2000 Digital Multimeter. ДДля общения с приборами была создана програм-

ма при помощи коммерческого пакета National Instruments Labview.

Прилагаю код программы и некотрые пояснения ниже :

Сначала была произведена конфигурация приборов и создана отдель-

ная subVi для записи в файл результатов измерений с датой, временем

каждого измерения, столбцов значений выходного напряжения и столбцом

значений частоты. Agilent 33220A был настроен на High Impedance, будто

5

мы делаем бесконечное сопротивление, иначе приходилось бы учитывать

его внутреннее сопротивление и входное сопротивление схемы. Также мы

указали, что будем использовать сигнал типа синус, начальная частота бы-

ла 1Hz, Амплитуда 1V. Keithley 2000 был настроен на переменное напря-

жения и седьмой канал для измерений. Проблема была в выборе диапазона

промера. Так как Aglient работал от 0Hz до 20MHz, а Keithley от 3Hz до

500kHz, то диапазон был выбран от 3Hz до 20MHz для более ясной карти-

ны корреляции измерений и прощупывания всех контрольных точек. Offset

равнялся 20kHz.

Рис. 3: Настройка начальных параметров вне цикла

6

Рис. 4: Основной цикл для измерений и записью в файл

После этого был произведен upgrade программы, где предлагалась ис-

пользовать несколько каналов Keithley 2000 для измерений как выходного

так и входного напряжения и построения графиков сразу в Labview, а не

отдельно в Gnuplot.

7

Рис. 5: Блок-схема

Рис. 6: Лицевая панель

8

2.2 Полосковый фильтр

Рис. 7: Полосковый фильтр

В качестве еще одного каскада ВЧ фильтрации был выбран полосковый

RC фильтр на базе витых пар из манганиновых проводов с диаметром 80

мкм в лаковой изоляции и шелковой оплетке. Пять витых пар приклеива-

лись клеем БФ-4 к полоске из свинцовой фольги с толщиной 65 мкм (Рис.

7). Далее полоска сворачивалась и пропаивалвсь до длине низкоплавким

припоем. Результирующий элемент представлял из себя рассредоточенный

RC фильтр. В качестве внешнего экрана («земли») был выбран свинец

т.к. этот материал переходит при Т=7.2 К в сверхпроводящее состояние.

Т.е. в рабочем диапазоне наших низкотемпературных измерений тепловой

поток по экрану описываемого рассредоточенного RC фильтра будет ми-

нимальным: сверхпроводники являются идеальными проводниками элек-

тричества, но исключительно плохими проводниками тепла.

9

3 Расчет теоретической кривой

По полученным результатам был построен график зависимости выходного

напряжения от частоты (АЧХ) для дальнейшего сравнения с теоретиче-

скими и экспериментальными данными.

видно из графика (Рис. 8) практически соотносится с экспериментальной

частотой среза.

Рис. 8: Был применен logscale по x и y

4 Заключение

Были изготовлены два типа RC фильтров для подавления нежелательного

влияния внешнего электромагнитного фона при прецизионных измерениях

в области температур вплоть до 10 мК. Измеренные амплитудно-частотные

характеристики находятся в разумном согласии с теоретическими расчета-

ми.

10

Список литературы

[1] R. L. Kautz, G. Zimmerli, and J. M. Martinis, J. Appl. Phys. 73, 2386 1993.

[2] K. Bladh, D. Gunnarsson, E. Hurfeld, S. Devi, C. Kristoffersson, B.

Smalander, S. Pehrson, T. Claeson, P. Delsing, and M. Taslakov, Rev. Sci.

Instrum. 74, 1323 2003.

[3] J. M. Martinis, M. H. Devoret and J. Clarke, Phys. Rev. B 35, 4682 (1987).

[4] F. P. Milliken, J. R. Rozen, G. A. Keefe and R. H. Koch, Rev. Sci. Instrum.

78, 024701 (2007).

11