

РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКА ФЛИККЕР-ШУМА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

А.А. Шульгинов

Зарегистрирован фликкер-шум проводимости порошкового резистора. Спектральный анализ показал, что фликкер-шум проявляется на фоне белого шума на частотах ниже 10^{-3} Гц. Даны рекомендации для создания нового источника фликкер-шума для целей неразрушающего контроля.

Введение

Фликкер-шум это чрезвычайно распространённое явление. Он обнаружен в электронных лампах как флуктуация эмиссионной способности катода; в полупроводниках, угольных, плёночных резисторах, гранулированных средах, электролитах как флуктуация электрического сопротивления; в живой ткани как флуктуация разности потенциалов на мембране клетки. Целый ряд геофизических, астрофизических, биологических, социальных процессов имеют спектр флуктуаций $1/f$, известный под названием фликкер-шум. Причины возникновения фликкер-шума зависят от природы объекта. Однако, общее свойство всех объектов заключается в том, что фликкер-шум выступает как спутник необратимых процессов и несёт информацию о них. На эту тему за последние годы было опубликовано несколько обзорных статей [1–4]. Главная цель исследований фликкер-шума состояла в том, чтобы найти способы его подавления. Эта задача была успешно решена для полупроводниковых приборов. Однако, фликкер-шум может являться источником информации об объекте и о процессах происходящих в нём. Флуктуации, имеющие спектр $1/f$, обнаружены также в ферромагнетике как флуктуации магнитного поля (магнитный шум). Ферромагнетик вблизи температуры магнитного фазового перехода находится в неустойчивом состоянии. В нём непрерывно возникают и разрушаются доменные структуры, что порождает магнитный шум. Существует два типа фликкер-шума. Первый связан с внутренними причинами. Например, «звучание» отдельных зёрен металла. Это, так называемый, локальный фликкер-шум. Второй связан либо с внешними воздействиями, либо с глобальными процессами внутри объекта, например, рост дефектов или перестройка доменов ферромагнетика. Это нелокальный фликкер-шум. Именно нелокальный фликкер-шум может представлять интерес как источник информации для целей неразрушающего контроля источника этого шума, например, ферромагнитного образца.

Эксперимент

Для этих целей был создан детектор слабых полей, который подключён к измерительному комплексу на основе компьютера IBM. Создан пакет программ для обработки сигнала. Детектор представляет собой очень чувствительное нелинейное сопротивление на основе порошка графита в смеси с эпоксидной смолой. Он был помещён в металлический термостат для уменьшения влияния электромагнитных и тепловых полей. Цель исследования состояла в том, чтобы определить спектр флуктуаций детектора и другие параметры фликкер-шума без воздействия на него. По результатам исследований дать рекомендации для создания нового детектора слабых флуктуаций магнитного поля ферромагнетиков.

Измерения проводились круглосуточно с 31 июля по 17 августа 2000 г. В течение 1 с производилось 500 отсчётов сопротивления. Усреднённое значение и дисперсия записывались в файл. Эксперимент несколько раз прерывался в связи с необходимостью замены аккумулятора, питавшего цепь усилителя и моста Уитстона. Одно из плеч моста составляло флуктуирующее сопротивление. Разбалансировка моста усиливалась с помощью операционного усилителя с коэффициентом усиления 80. Аккумуляторы, усилитель и мост были также экранированы и помещены внутрь металлического термостата. Это было необходимо, чтобы изолировать их от внешних воздействий. В течение ~14 часов от начала эксперимента происходили резкие флуктуации сопротивления. По-видимому, это связано было с процессом релаксации. Эта часть записи не обрабатывалась. Период от установления относительно стабильных флуктуаций до разрядки аккумуля-

ляторов составлял около 3 суток. Самая длительная непрерывная запись с установившимися флуктуациями составила около 80 часов (от 20.00 31 июля 2000 г. до 4.00 4 августа GMT).

Спектральный анализ шума

Результаты измерения сопротивления детектора за 80 часов эксперимента представлены на рис. 1. По оси ординат отложена флуктуация сопротивления относительно среднего значения в условных единицах. Спектр сигнала получен методом быстрого Фурье-преобразования (рис. 2).

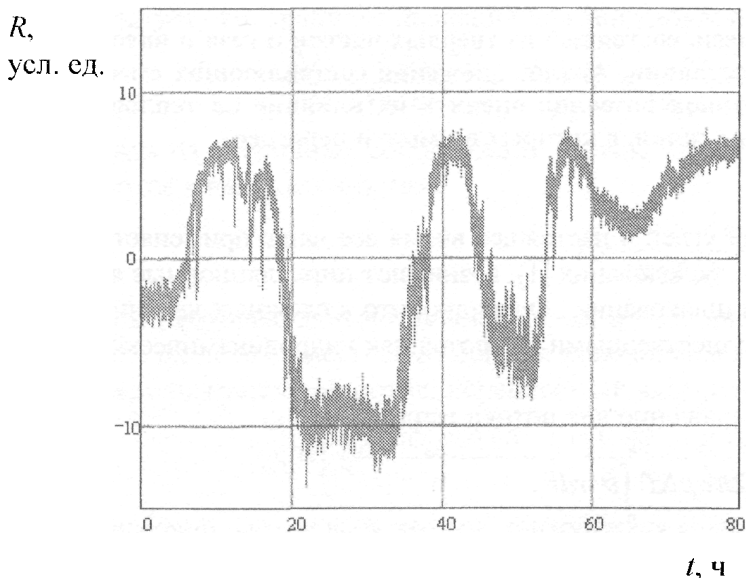


Рис. 1. Изменение сопротивления детектора во времени

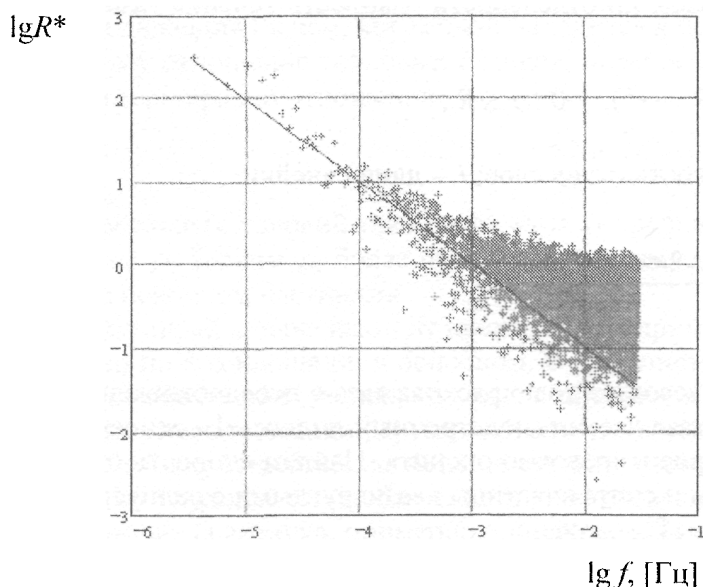


Рис. 2. Спектр флуктуаций сопротивления.
Сплошная линия – ожидаемый спектр фликкер-шума ($1/f$)

Спектральный анализ сигнала показал, что детектор даёт фликкер-шум, имеющий спектр $1/f$, в диапазоне частот от 10^6 до 10^{-3} Гц. На более высоких частотах фликкер-шум не обнаруживается на фоне белого шума. Время одного измерения с помощью детектора фликкер-шума не должно быть меньше нескольких периодов колебаний сопротивления на наивысшей частоте. Это означает, что время одного измерения с помощью такого детектора составит не менее 10^3 – 10^4 с. Необходимо создать новый источник, у которого уровень фликкер-шума был бы на несколько порядков выше. Таким источником мог бы стать угольный резистор или островковая плёнка металла. Флуктуации сопротивления проводника возрастают в тысячи раз в сильном магнитном поле (~ 20 кГс). Такие магнитные поля имеются внутри магнитных доменов ферромагнетиков. Поэтому сильные флуктуации проводимости могут давать сами ферромагнетики.

Автор выражает глубокую благодарность Подивилу О.М. за помощь в подготовке к эксперименту, а также Пархомову А.Г., Петрову Ю.В. и Прокопьеву К.В. за полезные замечания к работе.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №01-02-96469) и Минобразования РФ (грант № Е00-3.4-346).

Литература

1. Бочков Г.Н., Кузовлев Ю.Е. Новое в исследованиях $1/f$ -шума // *УФН.* – 1983. – Т. 141, вып. 1. – С. 151–176.
2. Коган Ш.М. Низкочастотный токовый шум со спектром типа $1/f$ в твёрдых телах // *УФН.* – 1985. – Т. 145, вып. 2. – С. 285–328.
3. Хаотические системы. (Тематический выпуск) // *ТИИЭР.* – 1987. – Т. 75, вып. 8. – 176 с.
4. Жигальский Г.П. Шум вида $1/f$ и нелинейные эффекты в тонких металлических плёнках // *УФН.* – 1997. – Т. 167, вып. 6. – С. 623–648.