

ФЛИККЕР-ШУМОВАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ФЛУКТУАЦИИ ПРОВОДИМОСТИ ПЛЁНОК ПЛАТИНЫ И ПЕРМАЛЛОЯ

А.А. Шульгинов

Исследованы параметры фликкер-шума флуктуации проводимости металлических плёнок платины и пермаллоя. Выявлены особенности флуктуации проводимости этих плёнок. Анализ разностных моментов флуктуации оказался информативным для параметризации шумов и выявления их особенностей у различных образцов.

Ключевые слова: фликкер-шум, спектроскопия, металлические пленки.

Хаотические процессы, такие как флуктуации проводимости металлов, несут информацию о процессах, происходящих в них. Цель данного исследования состояла в том, чтобы выявить особенности флуктуации проводимости плёночных резисторов из платины и пермаллоя с применением новой методологии - фликкер-шумовой спектроскопии (ФШС), развитой С.Ф. Тимашевым [1]. Эти материалы были выбраны в качестве объектов исследования, поскольку платиновые резисторы используются для определения температуры, а пермаллоевые - для определения напряжённости магнитного поля. Образцы представляли собой тонкие плёнки, напылённые на диэлектрическую подложку и выполненные в форме меандра. Они были изготовлены на предприятиях фирмы «HONEYWELL». Сопrotivления образцов ~ 1 кОм.

Экспериментальная установка для исследования флуктуации проводимости металлических плёнок описана в работе [2]. Установка включала в себя компьютер, оснащённый платой сбора данных, контейнер с исследуемыми образцами, помещённый на дно шахты глубиной 2 м, и контейнер с аккумулятором. Глубина шахты достаточная, чтобы суточные температурные волны не достигали дна. Температура в течение суток изменялась не более чем на $0,3$ °С. Для защиты от электромагнитных помех стенки шахты и контейнер были сделаны из металлов (алюминий, медь). Начало экспериментов 12.04.2008 г., а окончание 15.04.2008 г. Общая длительность записей 63 ч. Средняя частота измерений 26,6 Гц. Флуктуации одновременно регистрировались с обоих образцов. Установка позволяла регистрировать минимальные относительные флуктуации проводимости плёнки $\sim 10^{-7}$.

На начальном этапе обработки были выделены «сингулярности» (скачки и всплески) с помощью критерия Роснера [3, 4]. Учитывались только те «сингулярности», вероятность проявления которых была больше 0,9999. Анализ периодичности появления «сингулярностей» проведён в работе [2]. В данной работе поставлена цель проанализировать мелкомасштабные флуктуации и поэтому эти «сингулярности» были исключены из массивов данных. Кроме того, медленные изменения сопротивления образцов, связанные с дрейфом температуры, также были вычтены.

Вся запись была разбита на массивы $V(t)$ с половинным перекрытием. Каждый такой массив рассматривался как отдельное измерение длительностью $T \approx 1,5$ ч. К дальнейшей обработке данных были применены принципы ФШС, сформулированные в работе [5]. Сущность ФШС состоит в придании информационной значимости корреляционным взаимосвязям, таким как разностные моменты $\Phi^{(p)}(\tau)$ различных порядков p ($p = 2, 3, \dots$):

$$\Phi^{(p)} = \left\langle [V(t) - V(t + \tau)]^p \right\rangle. \quad (1)$$

В работе для анализа применялись разностные моменты только второго порядка ($p = 2$), которые для стационарных процессов могут быть представлены в виде

$$\Phi^{(2)}(\tau) \rightarrow \begin{cases} A \cdot \tau^{2H}, & \text{если } \tau \ll T_1, \\ 2\sigma^2, & \text{если } \tau \gg T_1, \end{cases} \quad \sigma^2 = \langle V^2 \rangle - \langle V \rangle^2, \quad (2)$$

где T_c - определяемое из $\Phi^{(2)}(\tau)$ время корреляции, параметр H - показатель Хёрста, σ - средне-квадратичное отклонение величины $V(t)$.

На рис. 1 представлены экспериментальные зависимости усреднённого разностного момента $\Phi^{(2)}(\tau)$ от τ для обоих образцов, из которой следует, что для них время корреляции T_c составляет около 2000 с. Показатель Хёрста в наиболее линейной области графиков - от 10 до 100 с - для пермаллоя составляет 0,01, для платины - 0,13.

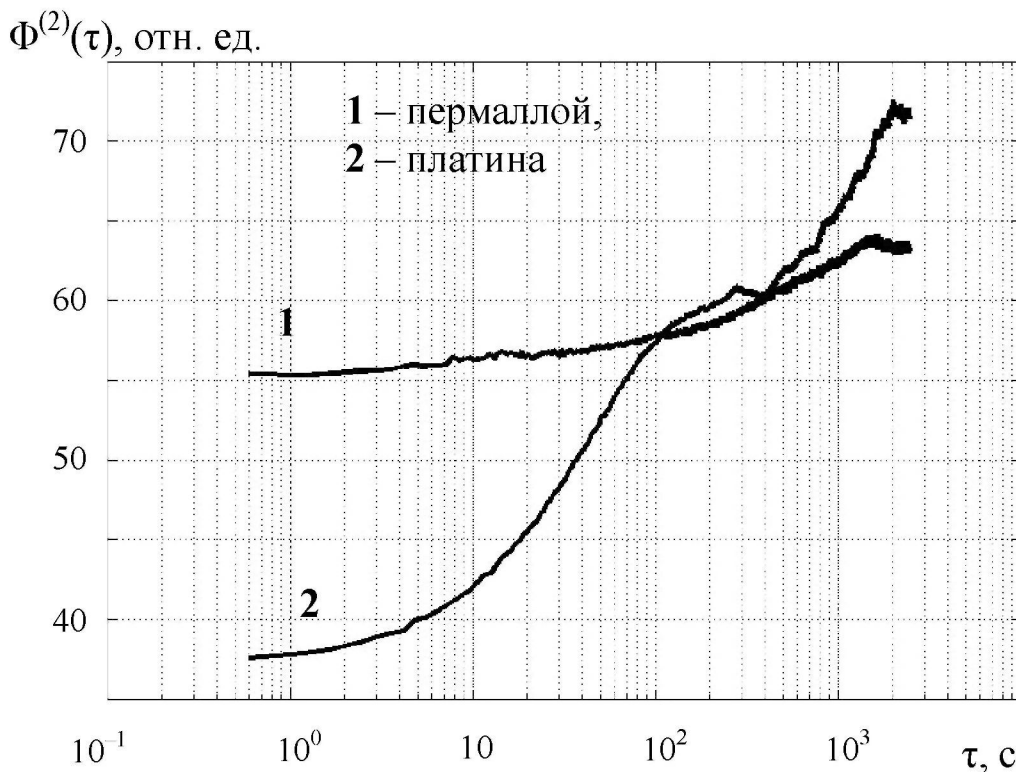


Рис. 1. Зависимость разностного момента $\Phi^{(2)}(\tau)$ для пермаллоя и платины

Кроме того, была определена средняя спектральная мощность флуктуации проводимости этих образцов (рис. 2). Те же самые массивы данных были подвергнуты Фурье-анализу с использованием сглаживающего окна Блэкмена, которое принимает нулевые значения на границах:

$$w(t) = 0,42 - 0,5 \cdot \cos(2\pi t/T) + 0,08 \cdot \cos(4\pi t/T). \tag{3}$$

Это было необходимо, чтобы разрывы случайных функций $V(t)$ на границах не влияли на спектр. Вид функций спектральной плотности мощности флуктуации $S(f)$, показанных на рис. 2, является общим для многих случайных процессов. Существует пограничная частота f_0 , свыше которой фиксируется найквистовский белый шум. Ниже этой границы наблюдается фликкер-шум. Для пермаллоя $f_0 = 0,01$ Гц, а для платины - 0,03 Гц. Также замечено различие в показателе γ для этих образцов ($S \sim 1/f^\gamma$). Для пермаллоя $\gamma = 1,22$, а для платины - 1,01 в диапазоне частот от 0,001 до 0,01 Гц.

Таким образом, выявлены особенности флуктуации проводимости пермаллоя и платины. Анализ разностных моментов флуктуации оказался более информативным для параметризации нестационарных шумов и выявления их особенностей у различных образцов. Методы ФШС могут быть использованы, наряду с Фурье- и вейвлет-анализом, для получения полезной информации об объекте исследования.

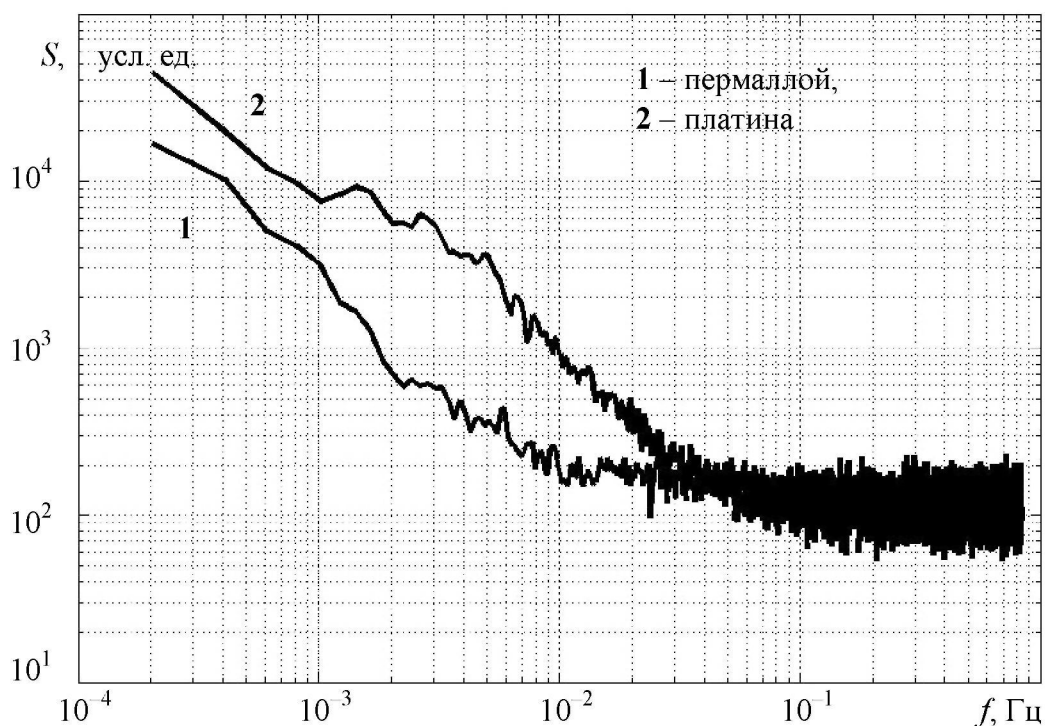


Рис. 2. Спектральная мощность флуктуаций проводимости пермаллоя и платины.

Литература

1. Тимашев, С.Ф. Фликкер-шумовая спектроскопия: информация в хаотических сигналах / С.Ф. Тимашев. - М.: Физматлит, 2007. - 248 с.
2. Шульгинов, А.А. Периодичность инфранизкочастотных флуктуации электропроводности металлических плёнок / А.А. Шульгинов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика, физика, химия». - 2006. - Вып. 7. - № 7(62). - 2006. - С. 184-186.
3. Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А.И. Кобзарь - М.: Физматлит, 2006. - 816 с.
4. Yu, R.C. Quality control of semicontinuous mobility size-fractionated particle number concentration data / R.C. Yu, H.W. Teh, P.A. Jaques, *et. al.* // Atmospheric Environment. - 2004. - V. 38. - P. 3341-3348.
5. Timashev, S.F. Review of flicker noise spectroscopy in electrochemistry / S.F. Timashev, Yu.S. Plyakov // Fluctuations and Noise Letters. - 2007. - V. 7, № 2. - P. R15-R47.

Поступила в редакцию 19 марта 2009 г.

FLICKER-NOISE SPECTROSCOPY OF FLUCTUATION OF PLATINUM FILMS AND PERMALLOY CONDUCTIVITY

The article studies the parameters of flicker-noise of fluctuation of conductivity of platinum metal films and permalloy. The peculiarities of the fluctuation of conductivity of the films are revealed. Analysis of different fluctuation moments proves to be more informative for parametrization of noises and reveal of peculiarities of different samples.

Key words: flicker-noise, spectroscopy, metal films

Shulginov Alexander Anatolievich - Cand.Sc. (Physics and Mathematics), Associate Professor, Common and Experimental Physics Department, South Ural State University.

Шульгинов Александр Анатольевич - кандидат физико-математических наук, доцент, кафедры общей и экспериментальной физики, Южно-Уральский государственный университет.

e-mail: saa@susu.ac.ru