

ПРАКТИЧЕСКИ ПРИМЕНИМЫЙ АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ИЗМЕРЕНИЯ СПМ НЧ-ШУМА

© 2016 г. С.Е. РЕЗЧИКОВ

Ульяновский государственный технический университет

Низкочастотный (НЧ) шум (фликкер-шум, $1/f$ -шум) с частотной зависимостью спектральной плотности вида $1/f^\gamma$ присутствует во всех полупроводниковых приборах (ППП). Различные электронные процессы и особенности микроструктуры твёрдых тел отражаются на свойствах фликкер-шума [1]. Параметры НЧ-шума можно использовать в качестве информативных при оценке надёжности ППП и качества материалов [2-3]. Один из базовых информативных параметров шума – спектральная плотность мощности (СПМ) на некоторой частоте. Другой важный параметр – показатель формы спектра γ . Достоверность диагностики определяется точностью измерения характеристик шума. По этой причине вопрос повышения точности шумовых измерений является актуальным.

Известно, что при измерении СПМ существует оптимальное значение полосы пропускания (ПП) анализирующего фильтра, которое зависит, в том числе, от значения показателя степени γ [4]. Для нахождения этого значения, необходимо проведение предварительного измерения (ПИ), требуется специальный адаптивный алгоритм [5].

В [6] рассмотрен адаптивный метод измерения и сделан вывод о практической нецелесообразности применения адаптивного алгоритма. Это вывод относится к алгоритму по которому, половину времени измерения занимает предварительное измерение, результаты которого используются только для предварительной оценки γ .

В [7] показано, что если долю времени приходящегося на ПИ выбрать оптимальной, то при значительном отклонении реального значения γ от априорного данный алгоритм может позволить повысить точность измерений (если перестройку полосы осуществлять только в этом случае).

В данной работе мы рассмотрим другой путь совершенствования алгоритма из [6]. В этом способе результаты предварительного измерения будут использоваться не только для оценки γ , но и для вычисления итогового результата. В простейшем виде такая реализация будет подразумевать ПИ в течение $T_{общ}/2$ и основное измерение в течение $T_{общ}/2$. Однако, итоговый результат будет находиться, как среднее арифметическое

$$G_{итог} = \frac{G_{предв} + G_{осн}}{2},$$

где $G_{предв}$ – СПМ по результатам предварительного измерения, $G_{осн}$ – СПМ по результатам основного измерения.

При этом итоговая погрешность будет функцией исходных погрешностей:

$$\delta_{сл\ итог} = f(\delta_{сл\ предв}, \delta_{сл\ осн})$$

В частности, погрешность, получающаяся после нахождения среднего арифметического, можно определить через геометрическое суммирование оценок среднеквадратических значений исходных случайных погрешностей:

$$\delta_{сл\ итог} = \frac{\sqrt{\delta_{сл\ предв}^2 + \delta_{сл\ осн}^2}}{2},$$

где $\delta_{сл\ предв}$ – случайная погрешность измерения СПМ по результатам ПИ, $\delta_{сл\ осн}$ – по результатам основного измерения, соответственно.

Рассматриваемая нами математическая модель строится на основе ряда допущений: белый шум в измеряемом стохастическом сигнале отсутствует, измерение проводится на двух частотах, ПИ занимает половину общего времени измерения. Причём предполагается, что за это время будет найдено истинное значение γ . Выражения же для погрешности нахождения значения γ по двум точкам рассмотрены в [8-9]. За априорное значение γ для моделирования принято $\gamma = 2,15$. Известно, что оптимальное значение относительной ширины ПП анализирующего фильтра можно найти по формуле:

$$\Delta f_{опт\ отн} = \sqrt[5]{\frac{144 \cdot d}{\gamma^2 (\gamma + 1)^2 \cdot T \cdot f}},$$

где T – продолжительность интегрирования (время измерения), f – частота настройки фильтра, $d = 1$ – для идеальных ФНЧ.

Зависимости итоговой погрешности измерения СПМ от истинного значения γ для разных методов построены на рис. 1.

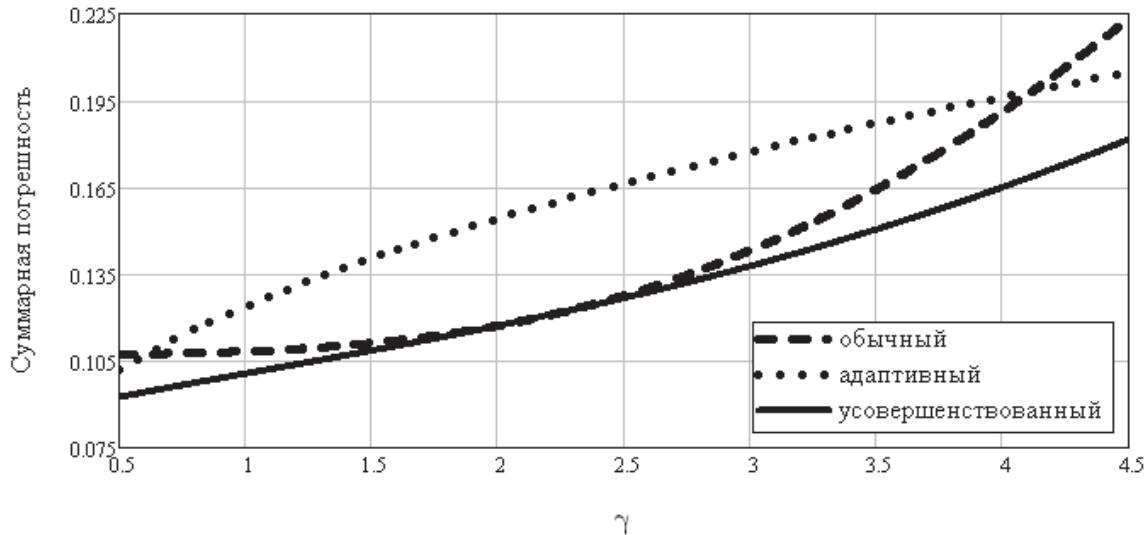


Рис. 1. Зависимость итоговой погрешности измерения СПМ от значения γ НЧ-шума.

Под «обычным» подразумевается алгоритм непрерывного измерения СПМ в течение всего заданного времени измерения. Ширина ПП анализирующего фильтра при этом адаптирована к $\gamma = 2,15$. При «адаптивном» алгоритме на итоговое измерение остаётся только половина отведённого времени. Однако, это измерение проводится при ПП оптимальной для истинного значения γ .

«Усовершенствованный» адаптивный алгоритм, предложенный нами в данной работе, подразумевает «обычное» измерение в течение половины заданного времени, «адаптивное» измерение в течение оставшегося времени и определение результата

измерения СПМ как среднего арифметического двух полученных значений. Квадрат погрешности измерения по «усовершенствованному» алгоритму, зависимость которой построена на рис. 1, можно найти по формуле:

$$\delta_{\text{сумм итог}}^2 = \frac{\sqrt[5]{\gamma_{\text{анп}}^2 (\gamma_{\text{анп}} + 1)^2} + \sqrt[5]{\gamma_{\text{ист}}^2 (\gamma_{\text{ист}} + 1)^2}}{2 \cdot \sqrt[5]{144 \cdot (T \cdot f)^4}} + \frac{\gamma_{\text{ист}}^2 (\gamma_{\text{ист}} + 1)^2}{2304 \cdot \sqrt[5]{(T \cdot f)^2}} \cdot \left(\left(\frac{\sqrt[5]{144}}{\sqrt[5]{\gamma_{\text{анп}}^2 (\gamma_{\text{анп}} + 1)^2}} \right)^2 + \left(\frac{\sqrt[5]{144}}{\sqrt[5]{\gamma_{\text{ист}}^2 (\gamma_{\text{ист}} + 1)^2}} \right)^2 \right)^2,$$

где T – полное время измерения, $\gamma_{\text{анп}}$, $\gamma_{\text{ист}}$ – априорное и истинные значения показателя формы спектра.

Сравнивая рис. 1 с графиками из [7], можно сделать вывод о преимуществе предлагаемого нами алгоритма над алгоритмом рассмотренным в [7]. Однако, нужно учесть, что в данной работе мы не учитываем погрешность, с которой во время ПИ оценивается значение γ .

Таким образом, алгоритм рассмотренный в данной работе, является применимым на практике. Он может обеспечить реальный выигрыш в соотношении время/точность. Возможно дальнейшее усовершенствование данного алгоритма путём использования нахождения среднего с применением весовых коэффициентов. Также возможно совмещение данного алгоритма с алгоритмом [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жигальский Г.П. Шум вида $1/f$ и нелинейные эффекты в тонких металлических плёнках // УФН. – 1997. – Т. 167. – №6. – с. 623–648.
2. Жигальский Г.П. Неразрушающий контроль качества интегральных микросхем по электрическим шумам и параметрам нелинейности // Радиотехника и электроника. – 2005. – Т. 50 – №5. – с. 517-551.
3. Zhigal'skii G.P., Kholomina T.A. Excess noise and deep levels in GaAs detectors of nuclear particles and ionizing radiation // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2015. – Vol. 60. – Issue 6. – p. 517-542.
4. Sergeev V.A., Dulov O.A. The systematic errors of the measurement of the parameters of low-frequency noise with a $1/f$ spectrum // Measurement Techniques. – 2008. – Vol. 51. – p. 1122-1127.
5. Резчиков С.Е., Сергеев В.А. Адаптивный алгоритм измерения спектральной плотности мощности низкочастотного шума полупроводниковых приборов // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2013. – Т. 13. – №3. – с. 168-169.
6. Резчиков С.Е. О целесообразности применения адаптивного алгоритма для измерения спектральной плотности мощности фликкер-шума // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2014. – Т. 14. – №5. – с. 158-160.
7. Резчиков С.Е. Об оптимальной длительности предварительного измерения для адаптивного алгоритма нахождения СПМ НЧ-шума // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2015. – Т. 15. – №5. – с. 189-191.
8. Резчиков С.Е., Сергеев В.А. Оценка погрешности определения показателя степени в спектре НЧ-шума // Радиоэлектронная техника. – 2015. – №1. – с. 94-98.
9. Сергеев В.А., Резчиков С.Е. Методическая погрешность измерений показателя степени частотной зависимости спектра низкочастотного шума // Измерительная техника. – 2015. – №10. – с. 55-59.