

ДК 681.327.68

И. В. Филимоненко

(Новосибирск)

КВАЗИОПТИМАЛЬНЫЙ ФИЛЬТР
ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ
ОТ МАГНИТООПТИЧЕСКОГО ДИСКА

Определены параметры квазиоптимального согласованного фильтра Бесселя второго порядка для выделения информационных сигналов при чтении данных с магнитооптического диска.

Вследствие небольших значений керровских углов вращения плоскости поляризации сигналы чтения данных с магнитооптического (МО) диска очень малы. В то же время общая засветка фотоприемников отраженным от диска лучом достаточно велика, и, следовательно, ощутимыми становятся дробовые и другие паразитные шумы в тракте чтения. Поэтому задачи оптимизации оптико-электронного тракта чтения устройств МО-памяти весьма актуальны [1—3]. Существенно ослабить компоненты шума, связанные с флуктуациями интенсивности излучения лазера и шероховатостью информационного слоя и покрытия диска, позволяет применение дифференциального фотоприемника. В предельном случае можно достичь уровня дробовых шумов.

Естественным способом уменьшения влияния этих шумов является оптимальный прием сигналов (в частности, согласованная фильтрация). Статья посвящена определению параметров оптимального согласованного фильтра по критерию максимума (на выходе фильтра) отношения пикового значения сигнала к среднеквадратичному значению помехи (см. рисунок). На вход фильтра поступает напряжение $U(t)$, равное сумме сигнала $U_c(t)$ и помехи $U_{ш}(t)$.

В [4] показано, что хорошей моделью МО-сигнала можно считать гауссов импульс:

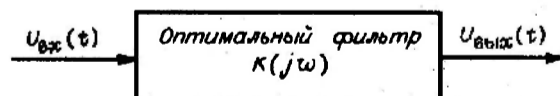
$$U_c(t) = U_0 e^{-2.8t^2/\tau^2} \quad (1)$$

где τ — длительность импульса на уровне $U_0/2$.

Как уже было показано выше, основной составляющей шума на входе является дробовой шум со спектральной плотностью $N_0/2 = \text{const}$.

Отношение сигнал/шум на входе фильтра равно

$$\frac{U_c(t)}{\sigma_{ш}} = \frac{U_0 e^{-2.8t^2/\tau^2}}{\sqrt{N_0 F}} \quad (2)$$



где F — полоса пропускания фотоприемника.

Из теории оптимальной фильтрации [5] известно, что выражение для АЧХ оптимального согласованного фильтра имеет вид

$$K_0(j\omega) = k |S^*(j\omega)| e^{-j\omega t_0}, \quad (3)$$

где k — некоторый коэффициент пропорциональности; $S^*(j\omega)$ — функция, комплексно сопряженная со спектром сигнала $S(t)$; ωt_0 — фазовая задержка.

Отношение сигнал/шум на выходе фильтра в некоторый момент времени t_0 равно [6]

$$\frac{U_{\text{вых}}(t_0)}{\sigma_{\text{вых}}} = \frac{\left| \int_{-\infty}^{+\infty} S(j\omega) K_0(j\omega) e^{j\omega t_0} d\omega \right|}{\left(\pi N_0 \int_{-\infty}^{+\infty} |K_0(j\omega)|^2 d\omega \right)^{1/2}}, \quad (4)$$

а его максимально возможное значение определяется величиной

$$Q = \left[\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|S(j\omega)|^2}{S_n(\omega)} d\omega \right]^{1/2}. \quad (5)$$

Спектр сигнала (1) равен

$$S(j\omega) = \frac{U_0 \tau}{2\pi} \sqrt{\pi/2,8} e^{-\tau^2 \omega^2 / 11,2}. \quad (6)$$

Из (3) и (6) получим окончательное выражение для передаточной характеристики оптимального фильтра:

$$K_0(j\omega) = k U_0 \sqrt{(\pi \tau^2)/2,8} e^{-\tau^2 \omega^2 / 11,2} e^{-j\omega t_0}. \quad (7)$$

Подставляя (6) в (5), для нашего случая будем иметь

$$Q = \left[\frac{2\sqrt{\pi} \tau U_0^2}{\sqrt{5,6} N_0} \right]^{1/2}. \quad (8)$$

Однако фильтр с частотной характеристикой, имеющей форму гауссоиды, как известно, практически не реализуем. Поэтому рассмотрим возможность применения в качестве квазиоптимального фильтра Бесселя фильтр второго порядка. Выбор фильтра именно этого класса определяется простотой практической реализации и пропорциональностью фазового сдвига выходного сигнала фильтра частоте входного сигнала, что, как известно, требуется от согласованного фильтра (см. последний сомножитель в (7)). Коэффициент передачи такого фильтра имеет вид [7]:

$$K_B(j\omega) = K_0 / (1 + ja_1\Omega - b_1\Omega) = K_0 \left[\frac{1 - b_1\Omega^2}{(1 - b_1\Omega^2)^2 + a_1^2\Omega^2} - j \frac{a_1\Omega}{(1 - b_1\Omega^2)^2 + a_1^2\Omega^2} \right], \quad (9)$$

где $\Omega = \omega RC$, $a_1 = 1,3617$ и $b_1 = 0,618$.

Теперь задача сводится к определению оптимального по критерию максимума отношения сигнал/шум значения RC для данного фильтра.

Для этого обозначим через ρ отношение максимального значения сигнала/шум по напряжению на выходе произвольного линейного фильтра (в данном случае фильтра Бесселя) к отношению сигнал/шум на выходе согласованного фильтра. Из (4), (6) и (9) получим

$$\rho = \frac{\frac{\tau\sqrt{\pi}}{2,8RC} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-((\omega\tau)^2/11,2)} [K_0/(1 + ja_1\Omega - b_1\Omega)] e^{j\omega t_0} d\omega}{\left[\frac{2\sqrt{\pi^3}\tau}{\sqrt{5,6RC}} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{1 + b_1^2\Omega^4 + (a_1 - 2b_1)\Omega^2} d\omega \right]^{1/2}}. \quad (10)$$

Здесь под t_0 понимается момент времени, когда сигнал на выходе фильтра с передаточной функцией $K(j\omega)$ достигает наибольшего значения.

Численными методами определен максимум выражения (10) по аргументу RC . В результате расчета получено оптимальное значение $RC_{\text{opt}} = \tau/1,8$. При этом величина $\rho = \rho_{\text{max}} = 0,66$, это означает, что максимальное значение отношения сигнал/шум, которого можно достичь при использовании этого квази-оптимального фильтра, всего на 34 % меньше отношения сигнал/шум, получаемого при использовании оптимального фильтра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jiu-Yao Tang, Jin-Fa Tang. Optimum design and preparation of multilayered magneto-optic recording media // Appl. Opt.—1990.—29, N 17.
2. Соболев В. С., Филимонов И. В. Оптимизация фотоприемного тракта магнитооптической памяти // Автометрия.—1989.—№ 2.
3. Соболев В. С., Филимонов И. В. Оптимизация тракта чтения магнитооптического накопителя по критерию максимума отношения сигнал/шум // Автометрия.—1991.—№ 5.
4. Соболев В. С., Кашеева Г. А. Анализ двух способов аналого-импульсного преобразования сигналов в магнитооптических накопителях информации // Автометрия.—1994.—№ 5.
5. Тихонов В. И. Оптимальный прием сигналов.—М.: Радио и связь, 1983.
6. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника.—М.: Сов. радио, 1966.
7. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника.—М.: Мир, 1982.

Поступила в редакцию 22 марта 1994 г.