БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Добкин Б.В., Полухин Ю.Н. Анализ резонансных характеристик отражения линии передачи с гиромагнитным резонатором и нерегулярностью. Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева. Серия: Актуальные проблемы радиоэлектроники. Выпуск 1. Самара, 1999.
2. Ю.Н. Полухин. Расчетная модель однозвенных гиромагнитных устройств СВЧ. Гиромагнитная электроника и электродинамика: тезисы докладов XVI Всесоюзного семинара, Куйбышев, 1990.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДИФРАКЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ НА МОДУЛЯЦИЮ ИЗЛУЧЕНИЯ В ВОЛС

Гречишников В.М., Конюхов Н.Е., Гречишников С.В.

Влияние дифракции излучения на характер модуляции излучения в волоконно-оптических системах (*ВОЛС*) считывания информации проявляется, в основном, по двум направлениям:

1. При значительных расстояниях между плоскостями считывающего и кодового дисков происходит нелинейное искажение формируемых сигналов, проявляющееся в сглаживании их вершин в точках перегиба (рис. 1). За счет этого форма сигнала может трансформироваться из треугольной в квазисинусоидальную, что существенно снижает возможности его обработки с помощью преобразователя напряжения в код (*ПНК*).

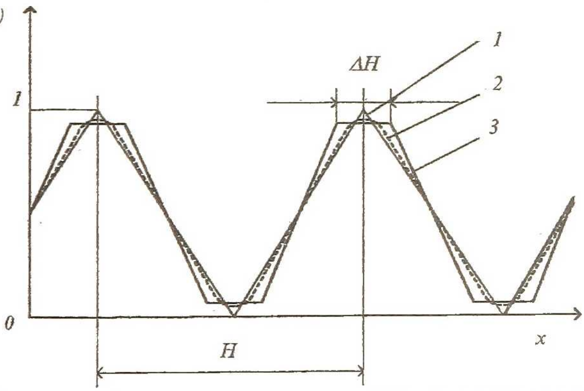

Рис. 1. Влияние дифракции излучения на характер модуляции оптических сигналов.

2. Наличие дифракционной освещенности в зоне геометрической тени (за пределами области считывающего элемента (*СЭ*)) снижает динамический диапазон сигнала, что эквивалентно уменьшению энергетического

к.п.д. волоконно-оптического тракта. Найдем количественные оценки двух этих факторов.

Оценка дифракционной нелинейности сигнала может быть выполнена, если известно дифракционное распределение освещенности излучения, которое для дифракции на краях экрана в виде бесконечной прямоугольной щели (рис. 2, *а*) имеет вид [1-3]:

$$f_Д(x) = \frac{f_0}{\sqrt{2}}\sqrt{(U_1 - U_2)^2 + (w_1 - w_2)^2}\,, \tag{1}$$

где:
$$\left.\begin{aligned} U_1 &= \int_0^{V_1} cos\frac{\pi\xi^2}{2}d\xi; \quad U_2 = \int_0^{V_2} cos\frac{\pi\xi^2}{2}d\xi; \\ w_1 &= \int_0^{V_1} sin\frac{\pi\xi^2}{2}d\xi; \quad w_1 = \int_0^{V_2} sin\frac{\pi\xi^2}{2}d\xi. \end{aligned}\right\}. \tag{2}$$

Выражения (2) представляют собой интегралы Френеля, в которых пределы интегрирования имеют вид:

$$V_1 = \sqrt{\frac{2}{\lambda L}}(X_Л - X); \; V_2 = \sqrt{\frac{2}{\lambda L}}(X_n - X)\,,$$

где λ — длина волны излучения, L — расстояние между плоскостями, $X_Л$, X_n — координаты левой и правой границы щели соответственно, x — текущая координата точки наблюдения, $H = X_n - X_Л$ — ширина щели.

Кривая (1) описывает дифракционное распределение облученности вдоль координаты x для одиночной щели. В случае использования многощелевого экрана функция $f_Д(x)$ становится периодической и для ее описания на последующих периодах целесообразно задать аргумент x в виде: $x = \Delta x(n - kM)$, де Δx— шаг приращения аргумента x, n — номер шага $n = \overline{0,M}$, M — число шагов приращения аргумента на одном периоде функции, $K = ent[n/M]$ — номер периода изменения функции.

При $\Delta x = const$ фактической переменной является параметр n. Точность задания функции определяется значением шага квантования Δx.

В более общем случае, когда щель имеет трапецеидальный характер (рис. 2, *б*), а плоскость наблюдения вследствие ее деформации вырождается в поверхность, определяемую зависимостью $L(x, y)$. Распределение освещенности на поверхности наблюдения (области СЭ) может быть описано выражениями (1) и (2), в которых пределы интегрирования являются функциями двух переменных:

$$V_1 = \sqrt{\frac{2}{\lambda L(x,y)}\left[X_Л(y) - x\right]}, \quad V_2 = \sqrt{\frac{2}{\lambda L(x,y)}\left[X_П(y) - x\right]}, \tag{3}$$

где $X_Л(y)$ и $X_П(y)$ — уравнения левой и правой границ КЭ.

Из теории дифракционных явлений известно, что с увеличением ширины щели относительное влияние дифракции уменьшается. Поэтому области трапецеидальной щели с большей шириной вносят меньший вклад в энергетические потери и нелинейность сигнала, чем области с меньшей шириной. Это позволяет при анализе энергетических и модуляционных характеристик ограничиться рассмотрением худшего случая, заменив трапецеидальную щель на прямоугольную, ширина H которой равна меньшему основанию трапеции (рис. 2, *б*). При этом двумерное распределение освещенности $f_Д(x,y)$ можно заменить на одномерное $f_Д(x)$. Получаемые при этом оценки коэффициента передачи и погрешности нелинейности будут отличаться от истинных на 5 — 10 %, что для рассматриваемой задачи не является существенной величиной.

Влияние дифракции на коэффициент передачи излучения в ВОЛС происходит за счет дифрагирования части излучения в область геометрической тени, т. е. за пределы считывающего элемента. Коэффициент передачи рассчитывается в точке оси x, в которой оси симметрии щелевой диафрагмы (КЭ) и СЭ совпадают (рис. 2, *а*). Для рассматриваемой оптической схемы коэффициент передачи можно записать в виде:

$$\eta_Д = 1 - \frac{P_Д}{P_0}\ , \tag{4}$$

где $P_Д$ — мощность излучения, дифрагировавшего за пределы СЭ (в область геометрической тени), P_0 — суммарная мощность, падающая на прозрачную область КЭ.

При известном нормированном распределении дифракционной освещенности $f_Д(x)$ выражение (4) можно переписать в виде:

$$\eta_Д = 1 - \frac{2\int\limits_{-X_1}^{X_Л=0} f_{ДТ}(x)dx}{\int\limits_{-X_0}^{X_0} f_C(x)dx}\ , \tag{5}$$

где коэффициент «2», учитывает симметричность дифракционной картины, $X_Л$ — координата левой границы СЭ, X_1 — значение координаты в области геометрической тени, при которой функция $f_{ДТ}(x)$ имеет пренебрежимо малые значения, $f_C(x)$ — нормированная функция распределения освещенности в плоскости КЭ.

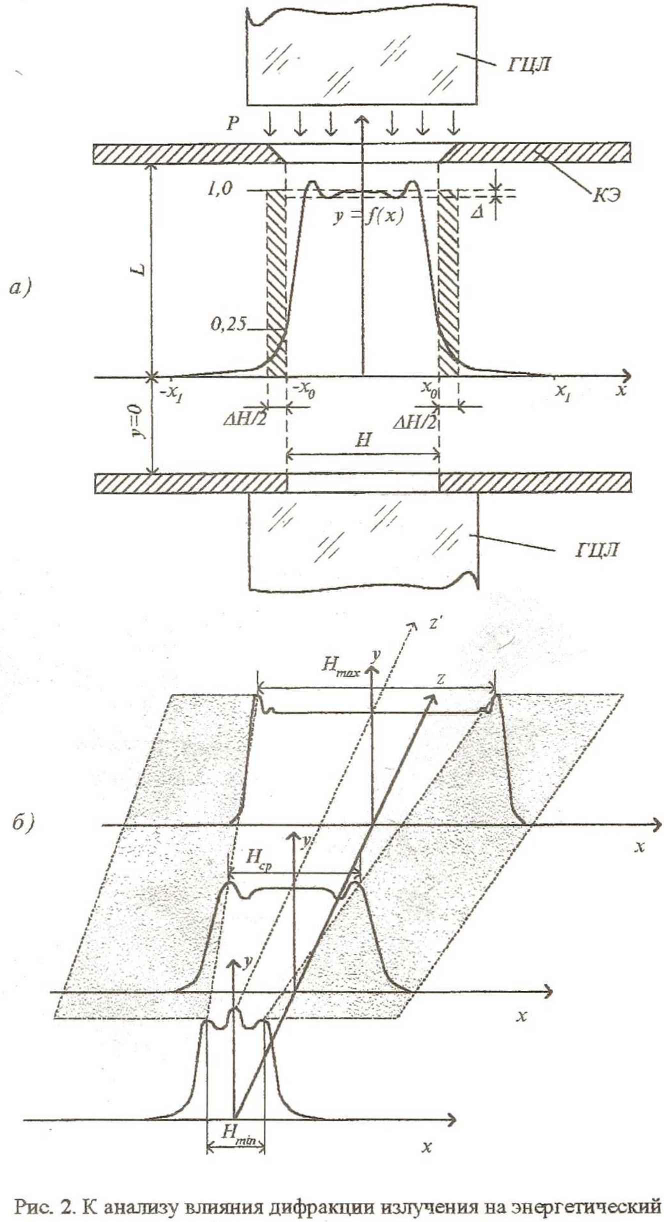

Рис. 2. К анализу влияния дифракции излучения на энергетический к.п.д. ВОЛС и функцию модуляции оптических сигналов

Из геометрического смысла интеграла в знаменателе выражения (5) ясно, что при $f_C(x) = 1$, получаем:

$$2\int_{-X_0}^{X_0} f_Д(x)dx = H \qquad (6)$$

Для упрощения дальнейших расчетов воспользуемся асимптотическим приближением Ландау [4, 5], описывающим дифракционное распределение интенсивности излучения в области геометрической тени, которое для рассматриваемого случая необходимо адаптировать следующим образом:

$$f_{ДТ}(x) = \lambda L \Bigg/ 8\left(x - \sqrt{\frac{\lambda L}{2}}\right)^2, \quad x < \frac{\lambda L}{2} \qquad (7)$$

Задавая требуемое соотношение $1/f_{ДТ}(x) = \eta_0$ и решая (7) относительно X_1, определяем предел интегрирования X_1:

$$X_1 \approx \frac{\lambda L}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\eta_0 \lambda L}{2}}\,. \qquad (8)$$

Учитывая, что $\eta_0 >> 1$, первым членом в (8) можно пренебречь. Отсюда:

$$X_1 \approx \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\eta_0 \lambda L}{2}} \qquad (9)$$

Пусть, например, $K_0 = 10^3$, $\lambda = 1$мкм, $L = 500$ мкм, тогда $x = 350$ мкм. Числитель выражения (5) представляет собой табличный интеграл:

$$I = \frac{\lambda L}{8}\int_{-X_1}^{0} \frac{dx}{\left(x_1 - \frac{\lambda L}{2}\right)^2} = \frac{\lambda L}{8\left(\frac{\lambda L}{2} - x_1\right)}\Bigg|_{X_1}^{0}, \qquad (10)$$

Учитывая малость значения функции при подстановке нижнего предела интегрирования (10), с достаточной для практики степенью точности можно получить:

$$\eta_Д \approx 1 - \frac{1}{H}\sqrt{\frac{\lambda L}{8}}\,. \qquad (11)$$

Графики, построенные по (11) для различных значений L и H, приведены на рис. 3. Приведенные зависимости показывают, что при достаточно широких КЭ ($H > 200$ мкм) и сравнительно малых зазорах между КЭ и СЭ ($L = 10 \div 50$ мкм), снижение коэффициента передачи не превышает 1 %, (0,05 дБ), что является несущественной величиной по сравнению с общими энергетическими потерями в ВОЛС, которые могут достигать $20 \div 30$ дБ.

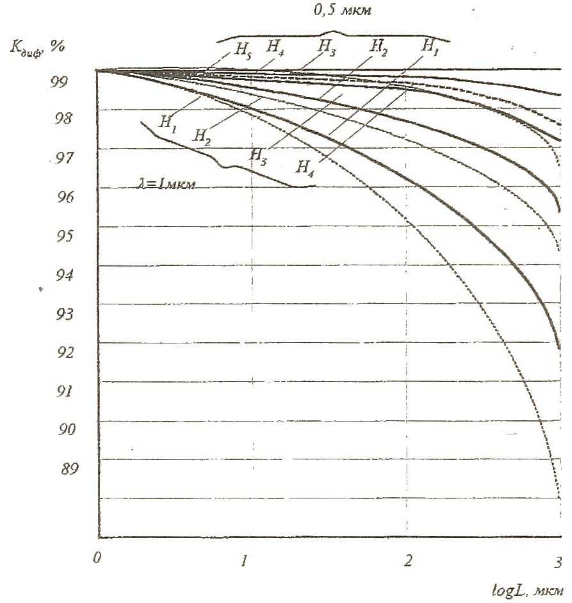

Рис. 3. Влияние дифракции на энергетический к.п.д. ВОЛС

Оценку влияния дифракции на нелинейность сигналов целесообразно производить для систем считывания, формирующих кусочно-линейные сигналы треугольной формы, которые используются в дальнейшем для обработки в ПНК. При формировании двоичных оптических сигналов, с помощью кодовых шкал нелинейность фронтов не имеет существенного значения, поэтому влиянием дифракции в данном случае можно пренебречь. Погрешность нелинейности формируемых сигналов может быть найдена по формуле:

$$\gamma_H = \frac{max\,[F_{mД}(x) - F_{m0}(x)]}{F_{m0}(x)\big|_{x=H/2}}, \qquad (12)$$

где $F_{mД}(x)$, $F_{m0}(x)$, — нормированные функции модуляции излучения при наличии дифракции и без нее соответственно, $F_{m0}(x)|_{x=0} = 1$ — значение функции модуляции в положении, при котором проекция КЭ на плоскость наблюдения полностью совпадает с СЭ, H — ширина щели.

Функция модуляции $F_{m0}(x)$ для прямоугольных КЭ и СЭ равна $F_{m0}(x) = |\,ax\,|$, где a — высота щели, определяющая чувствительность сопряжения к перемещению x.

При известной функции дифракционного распределения излучения $F_Д(x)$, выражение для $F_{mД}(x)$ может быть получено в виде:

$$F_{mД}(x) = \int\limits_{x}^{x+H} f_Д(x)\,dx\,. \qquad (13)$$

Графики зависимостей $F_{mД}(x)$, $F_{m0}(x)$ показаны на рис. 1. Из рисунка видно, что в районе точки перегиба идеального сигнала ($x = H/2$) в реальном сигнале имеется сглаженный участок, обусловленный наличием дифрагированного излучения в зоне геометрической тени. С учетом (13) погрешность нелинейности равна:

$$\gamma_H = \frac{2max\,[\,\int\limits_{x}^{x+H} f_Д(x) - |\,ax\,|\,]}{aH}\,. \qquad (14)$$

Графики погрешности $\gamma_H(L,\ H)$, вычисленные с использованием (1) представлены на рис. 4. Анализ полученных кривых показывает, что нелинейность сигналов тем меньше, чем шире щель и меньше величина зазора L между плоскостями КЭ и СЭ. Для реальных значений L = 30 … 50 мкм и H = 0,5 — 1 мм погрешность нелинейности может достигать значений (1 — 1,5 %), которые нельзя не учитывать при построении обобщенной математической модели. Прямое решение задачи, основанное на расчете дифракционной картины по (1) в каждой точке диапазона преобразования с последующим вычислением функции модуляции по (14) или (15) является неприемлемым из-за затрат машинного времени. Поэтому в данном случае целесообразно учесть влияние дифракции путем перехода к некоторой эквивалентной ширине КЭ, равной сумме номинальной ширины H и поправки $\pm\Delta H$ (знак «+» соответствует левой границе КЭ, знак «–» соответствует правой границе), которая может быть пересчитана в единицы измерения угла.

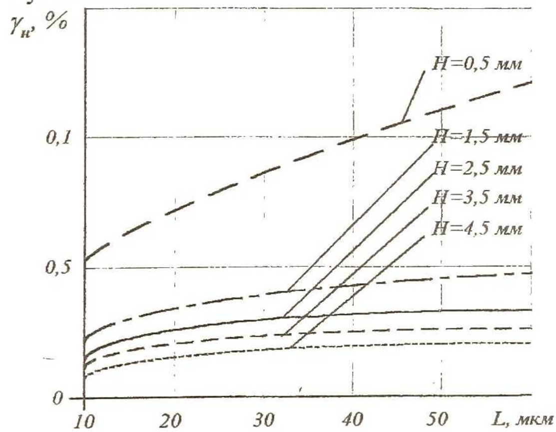

Рис. 4. График зависимости дифракционной погрешности нелинейности от параметров оптической схемы

Для схемы на рис. 2, *а*. справедливо следующее соотношение:

$$\frac{2}{H}\int\limits_{-x_0}^{0} f_Д(x)\,dx = \frac{2}{\Delta H}\int\limits_{-x_1}^{-x_0} f_{ДТ}(x)\,dx \text{, откуда:} \tag{15}$$

$$\Delta H = H\frac{\int\limits_{-x_1}^{x_0} f_{ДТ}(x)\,dx}{\int\limits_{-x_0}^{0} f_{ДТ}(x)\,dx}, \tag{16}$$

где $f_{ДТ}(x)$ определяется в соответствии с (7). Учитывая, что с погрешностью ≈ 0,1 % можно записать:

$$\frac{\int\limits_{-x_1}^{x_0} f_{ДТ}(x)\,dx}{\int\limits_{-x_0}^{0} f_Д(x)\,dx} \approx \frac{2\int\limits_{-X_1}^{X_\Lambda=0} f_{ДТ}(x)dx}{\int\limits_{-X_0}^{X_0} f_C(x)dx}, \tag{17}$$

можно записать:

$$\Delta H \approx H\,(1-\eta_Д), \tag{18}$$

или, с учетом (11) и (18):

$$\Delta H \approx \sqrt{\frac{\lambda L}{8}}. \tag{19}$$

Значение угловой поправки может быть получено из формулы для длины дуги с центральным углом $\Delta\varphi_Д$, соответствующем $\Delta H/2$ [6]:

$$\Delta\varphi_Д \approx \pm\frac{1}{2\rho_{ср}}\sqrt{\frac{\lambda L}{8}}, \tag{20}$$

где $\rho_{ср}$ — средний радиус кодовой дорожки.

Величина $\Delta\varphi_Д$ может быть учтена при задании начальной разметки кодового диска. При наличии неплоскостности и торцевых биений, расстояния между КЭ и СЭ является некоторой функцией угла поворота φ, например: $L = L_{ном} + \Delta L(\varphi)$, где $L_{ном}$ — номинальное значение зазора, $\Delta L(\varphi)$ — приращение зазора, вызванное неплоскостностью и торцевыми биениями КЭ. Тогда окончательное значение поправки при задании угловых координат границ КЭ примет вид:

$$\Delta\varphi_Д \approx \pm\frac{1}{2\rho_{ср}}\sqrt{\frac{\lambda\,(L_{ном}+\Delta L(\varphi)}{8}} \tag{21}$$

Таким образом, введение эквивалентной ширины КЭ позволяет учесть влияние дифракции на нелинейность преобразования и энергетический к.п.д. на каждом периоде формирования сигналов с использованием простых и достаточно корректных аналитических выражений, анализ которых не требует больших затрат машинного времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ратис Ю.Л., Леонович Г.И. Дифракция светового потока на чувствительных элементах волоконно-оптических и оптико-электронных датчиков механических перемещений // Компьютерная оптика, Вып. 16, 1996, с. 74 — 77.
2. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике для инженеров и студентов ВУЗов. — М.: Наука , 1974. — 944 с.
3. Born M., Wolf E. Principles of Optics. N. Y.: Pergamon Press, 1984. p. 855.
4. Борисюк Л.В. Расчет погрешности устройства контроля лимбов, кодовых дисков: Метрология, 1991, № 8, Издательство стандартов, с. 9 — 17.
5. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теоретическая физика. т. 2. Теория поля. — М.: Наука, 1967. — 460 с.
6. Букреев И.Н. и др. Микроэлектронные схемы цифровых устройств. 2-е изд., переработанное и дополненное. — М.: Советское радио, 1975. — 368 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВНЕШНЕЙ СИНХРОНИЗАЦИИ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ИХ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Кремнев А.Е.

Немодулированный радиочастотный (РЧ) сигнал сам по себе не несёт никакой информации. Для передачи телеграфного сообщения РЧ сигнал манипулируют в соответствии с кодом Морзе. Для передачи телефонного сообщения несущую необходимо промодулировать. Чисто угловая модуляция, угловая или фазовая, используется только на УКВ диапазонах, поскольку полоса частот, занимаемая радиостанцией в эфире, получается излишне широкой. На КВ используют однополосную модуляцию, причем однополосный сигнал формируют из амплитудно-модулированного (АМ) сигнала. Рассмотрим особенности известных способов модуляции.

При фазовой модуляции (ФМ) фаза радиочастотного колебания изменяется обычно пропорционально мгновенным значениям модулирующего аналогового сообщения, поэтому полезный ФМ радиосигнал может быть записан в следующем виде:

$$s(t, \lambda)=A_0\cos(\omega_0 t+M_\phi \lambda),$$

где A_0, ω_0 — априорно известные значения амплитуды и частоты радиосигнала; $\lambda(t)$— аналоговое сообщение; $M_\phi=\sigma_\phi/\sigma_\lambda$ — известная крутизна