

ОБ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ИСКАЖЕНИЯХ СИГНАЛОВ В СОЕДИНЕНИЯХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

Многолучевая интерференция, происходящая в зазорах соединений световодов в процессе многократных отражений от торцов, [1] является одной из причин искажений сигналов в волоконно-оптических системах передачи. При использовании полупроводниковых лазеров в качестве источника излучения возникают дополнительные искажения [2], вызванные изменением концентрации носителей, инжектируемых в активную область лазера, в результате изменения силы тока в соответствии с модуляцией сигнала. Это приводит к девиации эффективного значения коэффициента преломления среды резонатора, к появлению паразитной частотной модуляции, а в условиях многолучевой интерференции в зазорах соединений — высших гармонических составляющих в сигнале.

Ранее проведен анализ искажений сигналов для одномодового возбуждения при малых значениях отражающей способности торцов зазоров, характерных для соединений световодов между собой [2; 3]. В соединениях полупроводниковых лазеров и световодов, фотодиодов и световодов отражающая способность одного из торцов достигает значений примерно 0,4 и при многомодовом возбуждении зависит от модового распределения.

Рассмотрим искажения сигналов в соединениях для произвольного значения отражающей способности торцов при многомодовом возбуждении. Исходные предпосылки аналогичны принятым в работе [2]. Полагаем, что закон изменения длины волны излучения соответствует закону изменения модулирующего тока. Следовательно, если интенсивность излучения в соответствии с модуляцией определяется уравнением $J_{изл} = J_{ср} + \Delta J_m f(t)$ (1), то длина волны излучения $\lambda_{изл} = \lambda + \Delta\lambda f(t)$ (2), где $J_{ср}$, λ — средние значения интенсивности и длины волны; ΔJ_m , $\Delta\lambda_m$ — максимальные отклонения от средних значений; $f(t)$ — функция времени, определяемая модуляцией сигнала.

На рис. 1 показана многолучевая интерференция в зазоре некоторого обобщенного соединения, имеющегося в волоконно-оптических системах передачи. Здесь n_i — коэффициент преломления соответствующей среды, $i = 1, 2, 3$; h — ширина зазора; α — угол падения данной моды сигнала на входной торец зазора; γ — угол преломления на выходном торце. Коэффициент передачи зазора как отношение интенсивности прошедшего света к интенсивности падающего света в условиях многолучевой интерференции запишем в виде [4]

$$T = (1 + F \sin^2 \delta/2)^{-1} \quad (3); \quad F = 4R/(1 - R)^2. \quad (4)$$

Здесь δ — набег фаз, соответствующий двукратному прохождению сигнала в зазоре, $\delta = 4\pi n_2 h \cos \beta / \lambda$; λ — длина волны излучения; R — отражательная способность. Значение R связано с коэффициентами отражения от торцов, т. е. от границ сред с соответствующими значениями n_i . Обозначив через r_i эти коэффициенты ($R = -r_2 r_3$), получим

$$r_2 = \frac{n_1 \cos \alpha - n_2 \cos \beta}{n_1 \cos \alpha + n_2 \cos \beta} \quad (5); \quad r_3 = \frac{n_2 \cos \beta - n_3 \cos \gamma}{n_2 \cos \beta + n_3 \cos \gamma}. \quad (6)$$

В соотношениях (5), (6)

$$\gamma = \arcsin \left(\frac{n_2}{n_3} \sqrt{1 - \cos^2 \beta} \right); \quad \alpha = \arcsin \left(\frac{n_2}{n_1} \sqrt{1 - \cos^2 \beta} \right).$$

Так как распространение высших мод происходит под углом к оси линии передачи, не все лучи, вышедшие из излучающего торца или отраженные от него, попадут на приемный торец. Учитывая это, введем эффективное значение отражающей способности

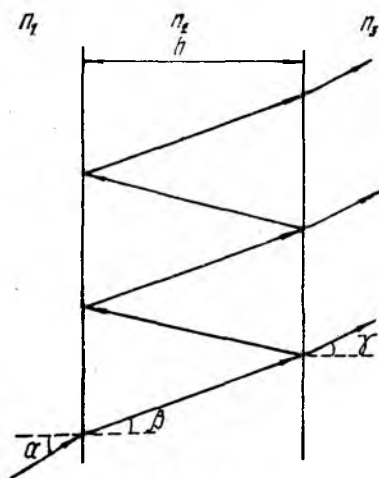


Рис. 1

$$R_{эф} = R \frac{a^2}{(a + h \operatorname{tg} \beta_{\max})^2}. \quad (7)$$

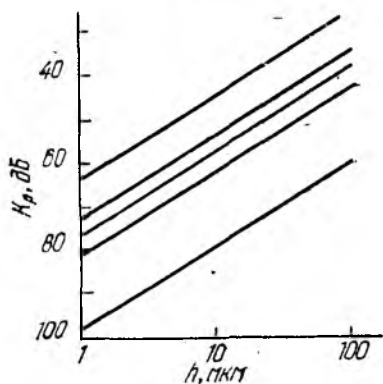


Рис. 2

Здесь a — радиус излучающего сечения; β_{\max} — максимальное значение угла преломления, определяемое числовой апертурой $\cos \beta_{\max} = \sqrt{1 - (NA/n_2)^2}$ (8). При изменении длины волны во времени коэффициент передачи также становится функцией времени $T = T_{\text{ср}} + \Delta T_m f(t)$ (9), где $T_{\text{ср}}$ — среднее значение; ΔT_m — максимальное отклонение от среднего значения. Интенсивность прошедшего зазор света в этом случае

$$J_{\text{прош}} = J_{\text{ср}} T_{\text{ср}} + (J_{\text{ср}} \Delta T_m + \Delta J_m T_{\text{ср}}) f(t) + \Delta J_m \Delta T_m (f(t))^2, \quad (10)$$

$J_{\text{ср}}$, ΔJ_m — коэффициенты ряда Фурье, $\Delta J_m = 4J_{\text{ср}}/\pi$. Квадратичный член свидетельствует о появлении высших гармоник модулирующего сигнала в оптическом излучении, прошедшем зазор.

Уравнение (10) позволяет вычислить относительные амплитуды гармоник. В частности, при 100 %-ной гармонической модуляции $f(t) = \cos \omega t$, а отношение амплитуд второй и первой гармоник $K_2 = 10 \lg [\Delta T_m / 2(T_{cp} + \Delta T_m)]^2$ (11). В случае 100 %-ной импульсной модуляции со скважностью, равной двум, $f(t) = \sum_p M_p \cos p\omega t$, где $p = 1, 3, 5, \dots$, $M_p = (-1)^{(3p+1)/2} / p$. Запишем отношение сумм амплитуд четных и нечетных гармоник:

$$\text{для } p \geq 3 \quad K_p = 10 \lg \left(\frac{4\Delta T_m \left(\frac{1}{2} \sum_p M_p^2 + 2 \sum_v \sum_l M_v M_l \right)^2}{\pi \Delta T_m + 4T_{cp} \sum_p M_p} \right); \quad (12)$$

$$\text{для } p = 1 \quad K_1 = 10 \lg (2\Delta T_m / \pi \Delta T_m + 4T_{cp})^2.$$

Для вычисления относительных амплитуд гармоник, найдем среднее значение коэффициента передачи зазора T_{cp} и максимальное отклонение от среднего значения ΔT_m . При многомодовой передаче сигналов в случае однородного модового распределения

$$T_{cp} = \frac{1}{\Delta \lambda} \frac{2}{\Delta (\cos \beta_{\max})} \int_{\lambda - \frac{\Delta \lambda}{2}}^{\lambda + \frac{\Delta \lambda}{2}} \int_{\cos \beta_{\max}}^1 \frac{d\lambda d \cos \beta}{1 + F \sin^2 \delta / 2}. \quad (13)$$

Переменные интегрирования в (13) независимы. Значение $\Delta (\cos \beta_{\max}) = 1 - \cos \beta_{\max}$ определяет пределы изменения косинуса угла преломления различных мод для сигнала данной длины волны.

Параметр ΔT_m получим как максимальное приращение функции, соответствующее приращению ее аргумента. Для данной моды сигнала с точностью до бесконечно малой

$$(\Delta T_m)_\beta = \left(\frac{F \sin \delta}{2(1 + F \sin^2 \delta / 2)^2} \right)_{\max} \delta \frac{\Delta \lambda}{\lambda}. \quad (14)$$

Усредняя по всем возможным значениям угла преломления мод, имеем

$$\Delta T_m = \frac{2}{\Delta \cos \beta_{\max}} \int_{\cos \beta_{\max}}^1 (\Delta T_m)_\beta d \cos \beta. \quad (15)$$

Расчет относительных амплитуд гармоник в соответствии с уравнениями (11) — (15) выполнялся численными методами на ЭВМ. Результаты расчета представлены на рис. 2, где кривые обозначены следующим образом: верхняя — $K_{1_{п-}}$, K_2 ; остальные в порядке следования $K_{5_{п-}}$, $K_{2'}$; $K_{2''}$; $K_{101\Omega}$. Символы при K_p определяют вид модуляции, цифровые индексы для импульсной модуляции — значение p . Кривая $K_{2'}$ построена для соединения. волокно — волокно при $n_1 = n_3 = 1,44$, $n_2 = 1$. Кривая $K_{2''}$ взята из работы [2] (одномодовое возбуждение). Остальные построены для соединения лазер — волокно при $n_1 = 3,6$, $n_2 = 1$, $n_3 = 1,44$. Для всех случаев длина волны излучения $\lambda = 0,86$ мкм; $\Delta \lambda / \lambda = 10^{-4}$, $a = 25$ мкм.

Приведенные данные подтверждают вывод о наличии гармонических искажений сигнала в соединениях волоконно-оптических систем передачи. Можно видеть, что амплитуды паразитных гармонических составляющих, возникающих в условиях многолучевой интерференции и девиации длины волны излучения лазера, при многомодовой передаче сигналов больше, чем при одномодовой.

Вместе с тем проведенный анализ не учитывает многообразия физических процессов, происходящих в соединениях волоконно-оптических систем передачи. Для их выяснения требуются дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования.

Список литературы: 1. *Wagner R. E., Sandahl C. R.* Interference effects in optical fiber connection // *Applied Optics*. — 1982. — 21, № 8. — P. 1381—1385. 2. *Kawahara H., Goto M.* Generation of harmonic distortion at fibre connectors // *Electron. Letters*. — 1981. — 17, № 18. — P. 626—627. 3. *Пикарников В. П., Скворцов Л. И., Смирнов В. М.* Гармонические искажения в соединителях оптических волокон при передаче цифровой информации // *Журн. техн. физики* — 1984. — 54, №1 — С. 107—109. 4. *Борн М., Вольф Э.* Основы оптики. — М.: Наука, 1973. — 719 с.

Поступила в редколлегию 03.07.86

УДК 681.3.621

А. М. ЛУГАНСКИЙ, В. М. ПИСАРЕНКО, канд. техн. наук,
Г. И. ЧУРЮМОВ, канд. техн. наук

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАМЕДЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ПО ЗАПРОСУ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВЧ-ПРИБОРОВ

Основные принципы построения системы машинного проектирования, ее возможная структура применительно к производству изделий электронной техники изложены в работах [1; 2]. Однако частные вопросы практической реализации отдельных функциональных составляющих создаваемой системы машинного проектирования здесь не уточнены. Нет информации об используемых лингвистических средствах взаимодействия человека с ЭВМ, составляющих основу функционирования автоматизированной системы и включающих возможные представления и обработку запросов в диалоговом режиме работы.

Кроме того, существующие системы машинного проектирования имеют, как правило, два уровня общения с системой. Нижний уровень — это уровень квалифицированных программистов, достаточно хорошо знакомых с системой, что позволяет им проводить расчеты, модернизировать, расширять и развивать информационное и математическое обеспечение системы. Верхний — это уровень непрограммирующих пользователей, которые эксплуатируют систему, практически не зная ее внутреннего содержания. Поскольку обычно система эксплуатируется именно данными пользователями, функции нижнего уровня