

07;12

Повышение точности волоконных интерферометров при использовании в них ответвителей с большой спектральной силой или отсечкой антисимметричной супермоды

© Э.И. Алексеев, Е.Н. Базаров

Институт радиотехники и электроники РАН, Москва

Поступило в Редакцию 20 января 1997 г.

Показано, что в одномодовых волоконных направленных ответвителях типа 2×2 , работающих в режиме отсечки антисимметричной нормальной моды композитного волновода, дополнительный паразитный фазовый сдвиг волн в прямом и перекрестном каналах (имеющий место в обычных ответвителях) обращается в нуль. Поэтому, используя такие ответвители (вместо обычных) в различных интерферометрах, можно существенно повысить их точность. Показано также, что точность интерферометров с широкополосными источниками излучения (интерферометров белого света, волоконно-оптических гироскопов и т. п.) может быть повышена при замене в них обычных ответвителей ответвителями с большой спектральной силой, коэффициент деления которых успевает совершить большое количество осцилляций в пределах ширины линии излучения, благодаря чему упомянутый паразитный фазовый сдвиг эффективно усредняется.

1. Точность одномодовых волоконных интерферометров в значительной мере определяется характеристиками направленных ответвителей. В настоящее время в одномодовых волоконных интерферометрах применяются обычные 2×2 направленные ответвители с фазовым параметром $N \simeq 0.25$. Напомним, что N равно количеству осцилляций коэффициента деления в направленных ответвителях $N = \Delta\varphi/(2\pi)$, где $\Delta\varphi$ — разность фаз φ_1 и φ_2 симметричной и антисимметричной нормальных мод (супермод) композитного волновода [1]. Вследствие различия потерь α_1 и α_2 супермод в реальных направленных ответвителях относительный сдвиг фаз сигналов в прямом и перекрестном каналах (γ) отличается от величины $\pi/2$, имеющей место в идеальном направленном

ответвителе [2]. В результате в направленном ответвителе возникает паразитный сдвиг фаз интерферирующих волн δ , вариации которого приводят к дрейфу "нуля" одномодового волоконного интерферометра и, следовательно, к снижению их точности. Покажем, что применение в одномодовых волоконных интерферометрах направленных ответвителей с отсечкой антисимметричной супермоды или с достаточно большой спектральной силой $R = \eta V$ (η — коэффициент, лежащий для сплавных направленных ответвителей в интервале 2–5 [1]) позволяет устранить этот недостаток.

2. Передаточная матрица 2×2 направленных ответвителей на частоте ω , выраженная через коэффициенты передачи симметричной $V_1 = \exp(-\alpha_1 + i\varphi_1)$ и антисимметричной $V_2 = \exp(-\alpha_2 + i\varphi_2)$ супермод имеет вид

$$T = \|t_{ij}\| = \begin{vmatrix} V_1 + V_2 & V_1 - V_2 \\ V_1 - V_2 & V_1 + V_2 \end{vmatrix}, \quad i, j = 1, 2. \quad (1)$$

Используя (1), находим (см. также [2]):

$$\gamma = \arctg \left\{ 2 \sin(\Delta\varphi) \cdot \exp[-(\alpha_1 + \alpha_2)] \times [\exp(-2\alpha_1) - \exp(-2\alpha_2)]^{-1} \right\} = \arctg m. \quad (2)$$

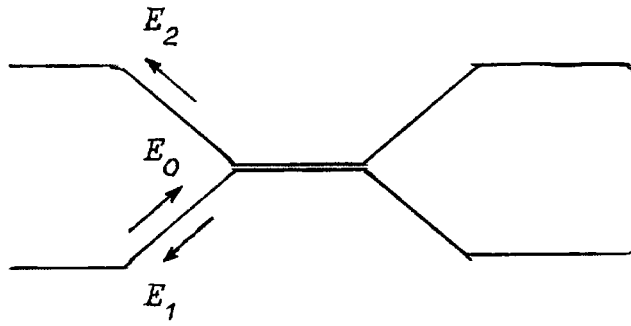
При отсечке антисимметричной супермоды $\alpha_2 \rightarrow \infty$, так что $\gamma \rightarrow 0$, и поэтому паразитный фазовый сдвиг $\delta \rightarrow 0$. Можно поэтому ожидать, что применение в одномодовых волоконных интерферометрах направленных ответвителей, работающих в режиме отсечки антисимметричной супермоды, будет приводить к улучшению их точностных характеристик. Обсудим это подробнее на примере волоконного кольцевого интерферометра (см. рисунок), считая источник излучения монохроматическим.

С учетом (1) сигналы на симметричном (E_1) и несимметричном (E_2) выходах волоконного кольцевого интерферометра имеют вид:

$$E_1 = 2E_0 \exp[-(\alpha + i\beta L)] \cdot t_{12} \cdot t_{22} \cdot \cos \theta, \quad (3)$$

$$E_2 = E_0 \exp[-(\alpha + i\beta L)] \cdot [\exp(i\theta)t_{12}t_{21} + \exp(-i\theta)t_{11}t_{22}].$$

Здесь α — потери в контуре длиной L , β — постоянная распространения, а θ — невзаимный сдвиг фаз встречных волн. Как и следовало ожидать, при использовании симметричного выхода волоконного



Схематическое изображение волоконного кольцевого интерферометра.

кольцевого интерферометра паразитный фазовый сдвиг отсутствует, в то время как на несимметричном выходе он имеется и определяется аргументом комплексной величины $t_{11}^* t_{22}^* t_{12} t_{21}$. Вычисления дают $\delta = 2\gamma$. При оценках можно положить $|\sin(\Delta\varphi)| = 1$. Тогда, считая величину $\exp(-\alpha_2)$ малой, находим, что $\delta \simeq 4 \exp(\alpha_1 - \alpha_2)$ и при $\alpha_2 \rightarrow \infty$, $\delta \rightarrow 0$, что и подтверждает сделанное выше предположение.

В настоящее время подробных экспериментальных данных о работе ответвителей в режиме отсечки антисимметричной супермоды не имеется. Тем не менее есть основания считать, что такие ответвители по комплексу свойств будут пригодны для использования в волоконных кольцевых интерферометрах и других типах одномодовых волоконных интерферометров. Так, в [3] показано, что они могут быть компактными (сравнимыми по размерам с "обычными" направленными ответвителями) и иметь практически не зависящий от длины волны излучения и изгибов коэффициент деления. Их недостатком являются относительно высокие потери (≥ 3 дБ), с которыми, однако, во многих случаях можно примириться, имея в виду повышение точности измерений.

3. При изготовлении сплавных ответвителей, с ростом длины перетяжки, в особенности при подходе к режиму работы с отсечкой антисимметричной супермоды, коэффициент деления весьма быстро осциллирует [1,3]. Аналогичные быстрые осцилляции имеют место и в зависимости коэффициента деления от длины волны излучения. Спектральный период этих осцилляций может быть сделан настолько малым, что в пределах ширины линии источника излучения одномодово-

го волоконного интерферометра будет укладываться большое их число. Такой режим работы направленного ответвителя (режим сверхсильной связи или весьма больших длин взаимодействия) также представляет интерес для одномодового волоконного интерферометра, поскольку в этом случае вносимый направленным ответвителем паразитный фазовый сдвиг усредняется и результирующая паразитная фазовая подставка может быть существенно уменьшена. В качестве примера снова рассмотрим случай ВКИ (см. рисунок).

При использовании в волоконных кольцевых интерферометрах широкополосного источника излучения с интенсивностью I_0 и нормированной на единицу формой линии $\Phi(\omega)$ ток фотоприемника на несимметричном выходе определяется выражением

$$i = I_0 \left\langle |t_{11}t_{22}|^2 + |t_{21}t_{12}|^2 + \exp(i2\theta)t_{12}t_{21}t_{11}^*t_{22}^* + \exp(-i2\theta)t_{12}^*t_{21}^*t_{11}t_{22} \right\rangle, \quad (4)$$

где угловыми скобками обозначено интегрирование по ω с весом $\Phi(\omega)$, а остальные обозначения имеют тот же смысл, что и выше.

В первом приближении можно считать θ , а также α_1 и α_2 не зависящими от ω . Далее, в режиме сверхсильной связи, но еще вдали от отсечки антисимметричной супермоды, у направленных ответвителей хорошего качества малы как потери нормальных мод, так и их (потерь) разность. При этом $m \simeq K \sin(\Delta\varphi)$, где K — величина, обратно пропорциональная разности потерь нормальных мод; у ответвителей хорошего качества $K \gg 1$. С учетом сказанного, а также принимая во внимание быстрые осцилляции (4) функции $\cos(2\Delta\varphi)$, находим, что, с точностью до множителя:

$$i \simeq I_0 \left[1 - \frac{1}{2} \cos(2\theta) \right]. \quad (5)$$

Отсюда следует, что в рассматриваемом случае паразитный фазовый сдвиг в первом приближении усредняется до нуля.

4. Таким образом, в настоящей работе показано, что в ряде случаев в одномодовых волоконных интерферометрах целесообразно использовать ответвители, работающие в режиме отсечки антисимметричной супермоды. Недостатком таких ответвителей являются относительно большие потери, а преимуществом — способность обеспечить более высокую точность одномодового волоконного интерферометра (в случае

волоконного кольцевого интерферометра — еще и упрощение оптической схемы благодаря возможности использования несимметричного выхода). Другими возможными режимами работы направленных ответвителей в одномодовых волоконных интерферометрах являются режимы сверхсильной связи или/и сверхбольшой длины взаимодействия, когда коэффициент деления быстро осциллирует в пределах ширины линии излучения источника. При этом паразитный фазовый сдвиг, вносимый реальными направленными ответвителями, эффективно усредняется, хотя одновременно несколько уменьшается и видность интерференционной картины.

Авторы признательны В.П. Губину и Н.И. Старостину за интерес к работе и полезные дискуссии.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант номер 96—02—18434.

Список литературы

- [1] *Bulushev A.G., Curov Yu.V., Dianov E.M. et al. // J. Lightwave Technol. 1994. V. LT-6. P. 1575–1585.*
- [2] *Youngquist R.C., Stokes L.F., Shaw H.J. // J. Quant. Electron. 1983. V. QE-19. P. 1886–1896.*
- [3] *Bilodeau F., Hill K.O., Johnson D.C., Faucher S. / Opt. Lett. 1987. V. 12. P. 614–616.*