

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ АТМОСФЕРЫ НА ФАЗУ СВЧ ПОДНЕСУЩЕЙ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ОТКРЫТОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

В некоторых областях измерительной техники для передачи опорного СВЧ-сигнала на фазометр используется оптическая линия связи (ОЛС) [1]. Если ОЛС является открытой, на параметры СВЧ поднесущей существенно влияют атмосферные явления. Так, например, турбулентность атмосферы приводит к случайным колебаниям коэффициента преломления воздуха n_v и, следовательно, к флуктуациям амплитуды и фазы не только оптического сигнала, но и его поднесущей. Аналогично расчету, проведенному в [2], можно показать, что даже в случае сильной турбулентности для ОЛС с протяженностью трассы $L=600$ м, внешним масштабом турбулентности $L_0=6,42$, длиной волны оптической несущей $\lambda_0=6328 \cdot 10^{-10}$ м и СВЧ поднесущей $\lambda_m=0,2$ м, среднее квадратическое отклонение флуктуаций фазы модулирующего колебания незначительно: $\sim 10^{-3}$ рад.

Наряду с быстрыми происходят и медленные вариации n_v , например, при суточном изменении температуры воздуха. Известно, что такое изменение температуры на 1 К вызывает изменение n_v на величину порядка 10^{-6} [3].

В настоящем сообщении сделана попытка оценить составляющую фазового сдвига СВЧ поднесущей, вызываемую медленным изменением температуры воздуха в открытой ОЛС с прямым детектированием. Экспериментальные исследования проведены в 1976 г. на трассе длиной 600 м, расположенной на территории НИИ ПФП при БГУ имени В. И. Ленина. Высота луча над подстилающей поверхностью в среднем составляла 10,3 м. Источник излучения — лазер ЛГ-38. Амплитудная модуляция лазерного излучения непрерывным СВЧ-сигналом на частоте 1,5 ГГц осуществлялась в электрооптическом модуляторе на основе LiNbO_3 . Луч диаметром 0,1 м формировался в коллиматоре теневого прибора ИАБ-455 ($F=1$ м). Приемная часть ОЛС состояла из объектива «Уран 16» ($F=0,75$ м; относительное отверстие 1:3,5) и фотодиода ЛФД-2. Измерение дифференциального фазового сдвига СВЧ-сигнала с точностью до 3° производилось установкой для калибровки аттенюаторов ДК1-5. Контроль температуры воздуха способом термометрического зондирования в пяти точках трассы позволил провести фазовые измерения в периоды квазипостоянного градиента данного термодинамического параметра по направлению лазерного луча.

Оптическая длина лазерного излучения в прозрачной среде с усредненным показателем преломления $\bar{n}$ на участке трассы длиной L записывается:

$$L \cdot \bar{n} = \lambda_0 \left(-\frac{\varphi - \varphi_0}{360^\circ} + k \right), \quad (1)$$

где $\bar{n} = \frac{1}{L} \int_0^L n(x) dx$; φ_0 — фаза при $L=0$; φ — фаза при включении атмосферного тракта в оптический канал ОЛС; $k=0, 1, 2, 3, \dots$

С учетом (1), для амплитудно-модулированного лазерного излучения, фаза продетектированного СВЧ-сигнала может быть представлена в аналитическом виде:

$$\Phi(T) = \varphi_0 \pm Q_0 + 360^\circ \left[\frac{L}{\lambda} \bar{n}(T) + k' \right] \text{ при } \lambda_m \gg \lambda_0, \quad (2)$$

где λ_m — длина волны СВЧ поднесущей; Q_0 — начальная фаза СВЧ-сигнала; $k' = 0, 1, 2, 3, \dots$ Показатель преломления воздуха для оптических частот видимого диапазона определяется [4]:

$$n_v = 77,6 \cdot 10^{-8} \cdot P \cdot T^{-1} (1 + 7,53 \cdot 10^{-15} \lambda_0^{-2}). \quad (3)$$

Далее, подставив (3) в (2), запишем:

$$\Phi(T) = \Phi_0 \pm Q_0 + \frac{L}{\lambda} P \cdot T^{-1} (1 + 7,53 \cdot 10^{-15} \lambda_0^{-2}) 77,6 \cdot 10^{-8} \cdot 360^\circ \quad (4)$$

С помощью (4) определим полный сдвиг фазы СВЧ поднесущей с изменением температуры воздуха от, например, T_1 до T_2 при $P = \text{const}$:

$$\Delta\Phi = -2,79 \cdot 10^{-4} (1 + 7,53 \cdot 10^{-15} \lambda_0^{-2}) (T_2 - T_1) \frac{P \cdot L}{\lambda T_1 T_2}. \quad (5)$$

Подстановкой в (5) $L = 600$ м, $P = 10^5$ Па, $\lambda = 2 \cdot 10^{-4}$ м, $T_1 = 275$ К и $T_2 = 280$ К определяем изменение фазы СВЧ-сигнала на $5,5^\circ$.

Действительно, экспериментально полученные нами значения для фазы СВЧ поднесущей лазерного излучения находятся в соответствии с рассчитанной величиной указанного диапазона колебаний температуры воздуха на трассе ОЛС (см. таблицу).

Следует отметить, что при расчете не учитывалась зависимость дифференциального сдвига фазы СВЧ-сигнала от температуры оптических элементов системы:

$$\Delta\Phi = \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} d\Phi = 360^\circ \lambda^{-1} \int_{T_1}^{T_2} \sum_{i=1}^m \alpha_i l_{0i} \left(n_i + T \frac{dn_i}{dT} \right) dT, \quad (6)$$

где l_{0i} — толщина i -го элемента в оптической системе при $T = 273$ К; α_i — коэффициент теплового расширения материала элемента.

При реальном ограничении суммарной толщины стеклянных элементов до 10^{-1} м, реализованной в данном эксперименте, с изменением температуры окружающей среды на 5 К в условиях теплового баланса «стекло — воздух» величина фазового сдвига определяется подстановкой в (6) значений соответствующих параметров: $\lambda_m = 2 \cdot 10^{-4}$ м, $\alpha_i = \alpha_m = 8,5 \cdot 10^{-6}$ К $^{-1}$, $n_i = n_m = 1,5$; $\frac{\Delta n_i}{n_i} \ll 1$; $l = \sum_{i=1}^m l_{0i} = 10^{-1}$ м; $\Delta T = 5$ К.

В результате вычислений $\Delta\Phi \approx 0,02^\circ$, что на два порядка меньше сдвига фазы СВЧ поднесущей, надбюдаемого при изменении температуры воздуха в открытой ОЛС.

Введением дополнительных прозрачных пластин в оптический канал можно добиться значительного изменения фазы СВЧ поднесущей. Например, введение нами пластины толщиной $0,01$ м при $T = \text{const}$ всей системы привело к сдвигу фазы на 27° , что соответствует результату расчета по (6).

Таким образом, при эксплуатации открытой ОЛС с прямым детектированием для передачи модулированного по амплитуде непрерывным СВЧ-сигналом лазерного излучения с достаточно высокой стабильностью по фазе поднесущей необходимо проводить коррекцию результатов измерений из-за долговременного ухода фазы сигнала при изменении температуры окружающей среды по формуле (5). В силу того, что экспериментальные исследования осуществлялись при температуре от 274 К до 290 К, этот вывод правомерен для данного температурного интервала. Следовательно, в дальнейших исследованиях представляет интерес экспериментальная проверка соотношения (5) между $\Delta\Phi$ и ΔT при $T < 274$ К и при $T > 290$ К.

Результаты измерений

Интервал времени проведенных измерений, мин	Интервал изменения температуры Δ , ТК	Изменение фазы СВЧ — сигнала $\Delta\phi^\circ$
160	6	—7
135	5	—5
190	6	—6
120	5	—5
90	2	—3
120	4	—5
120	0	0
130	—2	2
155	0	0
90	2	—3
120	—1	2
240	3	—4
125	2	—4
245	6	—8
175	4	—6
170	3	—4

Из (6) следует возможность компенсации сдвига фазы путем введения дополнительных стеклянных элементов, подобранных соответствующим образом при осуществлении контроля на фазометре или из расчетных данных, приведенных для заданного интервала ΔT .

ЛИТЕРАТУРА

1. Просин Б. В. — «Радиотехника и электроника», 1968, № 12, 2191.
2. Лукин В. П. и др. — «Радиотехника и электроника», 1973, № 3, 502.
3. Зуев В. Е., Кабанов М. В. Перенос оптических сигналов в земной атмосфере в условиях помех. М., 1977, 29.
4. Шереметьев А. Г., Толпарев Р. Г. Лазерная связь. М., 1974, 145.

Поступила в редакцию
20/VI 1977 г.

НИИ ПФП

УДК 621.375.82

Е. С. ВОРОПАЙ, А. М. САРЖЕВСКИЙ,
А. Н. СЕВЧЕНКО П. А. ТОРПАЧЕВ

ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЯ ДВУХФОТОННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ПРЯМЫМ МЕТОДОМ

Вероятность многофотонных процессов на несколько порядков меньше вероятности однофотонных, поэтому при исследованиях, в частности, двухфотонного поглощения (ДФП) обычно регистрируют следующий за поглощением вторичный процесс. В этом случае измеряются, строго говоря, спектры двухфотонного возбуждения, которые не всегда идентичны спектрам двухфотонного поглощения [1]. Кроме того, спектры ДФП являются более информативными, что и вызывает повышенный интерес к их исследованию.

Среди методов изучения ДФП следует выделить прежде всего внутрирезонаторные [2—4] и оптико-акустический [5, 6]. Общим недостатком этих методов является трудность градуировки, от качества которой