

Если здесь принять  $D_0 = 1$ ,  $n = 0$ , то получим ранее выведенные формулы.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гидродинамические и физико-химические свойства горных пород. / Н. Н. Веригин, С. В. Васильев, В. С. Саркисян и др.— М.: Недра, 1977.— 271 с.
2. Методы прогноза солевого режима грунтов и грунтовых вод. / Н. Н. Веригин, С. В. Васильев, В. С. Саркисян и др.— М.: Колос, 1979.— 336 с.
3. Корслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел.— М.: Наука, 1964.— 488 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XL, № 4, 1987

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

К. С. ГЮНАШЯН, Е. А. АИРАПЕТЯН

РАБОТА СВЧ СВЕТОДАЛЬНОМЕРА В РЕЖИМЕ ФАМ

Известные СВЧ высокоточные светодальномеры [1] обеспечивают точность измерений порядка 0,3 мм. Однако принцип построения этих светодальномеров позволяет построить приборы с более высокой точностью измерения.

В компенсационных СВЧ светодальномерах отношение величины усредненного значения интенсивности  $\bar{I}$  света к интенсивности немодулированного света  $I_0$  во всех режимах питания кристаллического модулятора света меньше единицы:  $\bar{I}/I_0 < 1$ . При 100% модуляции, когда поворот поляризации света достигает  $90^\circ$ ,  $\bar{I}/I_0 = 0,65$ . В этом случае амплитудное напряжение  $U$  на кристалле равно полуволновому напряжению  $U_\pi$ , а поступающая в модулятор СВЧ мощность имеет величину  $P_\pi$ . При дальнейшем увеличении  $U$  ( $U/U_\pi > 1$ ) отношение  $\bar{I}/I_0$  увеличивается и достигает своего максимума (0,7), что следует из выражения для модулированного света, согласно которого построены графики (рис. 1):

$$\bar{I}/I_0 = \frac{1}{2} \left[ 1 - J_0 \left( \pi \frac{U}{U_\pi} \right) \right], \quad (1)$$

где  $J_0$  — функция Бесселя первого рода нулевого порядка.

Для СВЧ модуляторов света имеет место равенство  $(U/U_\pi)^2 = P/P_\pi$ , позволяющее определить величину мощности для данного режима работы модулятора света

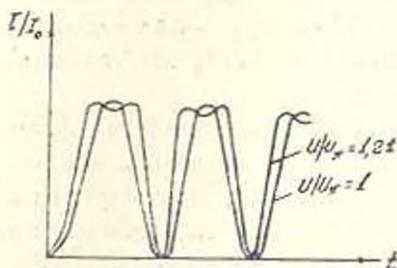


Рис. 1. Зависимость интенсивности света на выходе модулятора света при различных режимах питания.

$$P_{max} = P_\pi \left( \frac{U}{U_\pi} \right)^2 = 1,4884 P_\pi. \quad (2)$$

Вместо  $P_c$  в выражении (2) следует поставить реальную мощность  $P_p$ , определяемую экспериментальным путем. Для этого использованы модуляторы на кристаллах *KDP* в диапазоне частот 600—1200 МГц с добротностью  $Q = 1000$  (табл. 1).

Таблица 1

$f, \text{МГц}$	$d$	$D$	$H_p$	$l_{\text{кр}}$	$h_{\text{кр}}$	$P_{\text{ср}}, \text{вт}$	$P_p$	$P_{\text{max}}$	Схема
600	14	90	115	35	10	155	350	518	
800	14	80	76	35	10	235	265	392	
1200	14	65	63	35	10	500	510	755	

Как видно, модулятор на 600 МГц, у которого  $D/H_p < 1$ , в отличие от расчетного потребляет примерно в два раза больше мощности, чем модулятор на 1200 МГц ( $D/H_p > 1$ ). Размеры резонатора оптимального модулятора на частоте 800 МГц позволяют возбуждать в зоне установки кристалла волну  $E_{\text{кр}}$ , что приводит к уменьшению потребляемой мощности по сравнению с модулятором на частоте 600 МГц.

По сравнению с модулятором на 1200 МГц некоторое увеличение габаритов модулятора на 800 МГц компенсируется уменьшением мощности питания, примерно, в два раза, как следствие уменьшения частоты модуляции в 1,5 раза. В модуляторе на частоте 800 МГц при мощности питания, равной реальной мощности модулятора на 600 МГц, имеет место перемодуляция света, что приводит к такому сужению положения минимумов света, которому равносильна работа модулятора с частотой 1200 МГц при 100% модуляции света (рис. 2).

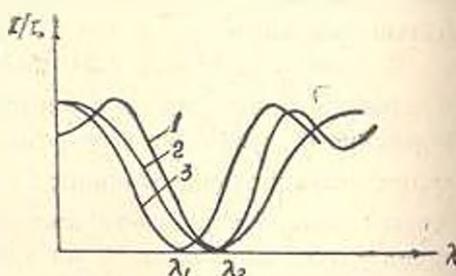


Рис. 2. Зависимость интенсивности света на выходе демодулятора при различных напряжениях и длинах волн модуляции: 1 —  $U/U_c = 1,4$ ,  $f = 800 \text{ МГц}$ ; 2 —  $U/U_c = 1$ ,  $f = 800 \text{ МГц}$ ; 3 —  $U/U_c = 1$ ,  $f = 1200 \text{ МГц}$ .

Поскольку в светодаљномерах через модулятор свет проходит дважды, то величины мощностей  $P_{\text{max}}$ , указанные в табл. 1, уменьшаются в 4 раза, что следует из выражения (1).

Из вышесказанного следует, что основными недостатками современных СВЧ светодаљномеров являются: а) большая потребляемая мощность модуляции; б) выделение и дальнейшее использование постоянной составляющей модулированного сигнала; в) низкий уровень и слабая зависимость постоянной составляющей от измеряемого расстояния.

В отличие от изложенного принципа работы СВЧ светодальномеров можно реализовать способ измерения расстояний, называемый ФАМ-фиксация амплитуды модуляции. При этом рабочая точка кристаллического модулятора света переносится на линейный участок модуляционной характеристики света, а фотоприемник ФЭУ работает в режиме преобразования частоты. Относительная интенсивность после анализатора на входе фотоприемника представляется выражением [2]:

$$\bar{I}/I_0 = \frac{1}{2} \left[ 1 + 2J_1 \left( 2\pi \frac{U}{U_n} \cos \frac{2\pi D}{\lambda_m} \right) \cos \left( \omega_m t + \frac{2\pi D}{\lambda_m} \right) \right], \quad (3)$$

где  $J_1$  — функция Бесселя первого рода первого порядка;  $D$  — измеряемое расстояние;  $\lambda_m$  — длина волны модуляции света.

Согласно выражению (3) на фотоприемник поступает свет, интенсивность которого изменяется с частотой модуляции  $\omega_m$ . Амплитуда этих колебаний зависит от измеряемого расстояния по закону функции  $J_1$ .

На линиях длиной  $D = N \frac{\lambda_m}{2} + \frac{\lambda_m}{4}$  колебание интенсивности света исчезает и на фотоприемник поступает постоянный свет с интенсивностью в два раза меньше  $I_0$ . При  $D = N \frac{\lambda_m}{2}$  амплитуда колебаний достигает своего максимума, определяемого максимумом функции  $J_1 \left( 2\pi \frac{U}{U_n} \right)$ . Поскольку фотоприемник не восстанавливает частоту модуляции  $\omega_m$ , то выходной сигнал ФЭУ не зависит от расстояния  $D$ . Чтобы перевести изменения амплитуды колебания света, на входе фотоприемника осуществляется преобразование частоты в катодной камере ФЭУ путем приложения на фотокатод ФЭУ электрического поля, частота которого отличается от частоты модуляции на величину  $\Delta f$ . При этом на выходе ФЭУ формируются низкочастотные колебания, амплитуда которых изменяется по закону изгиба  $\bar{I}/I_0$ . Из выражения (3) следует, что максимальное значение отношения  $\bar{I}/I_0 = 1$  и в 1,4 раза больше, чем отношение  $\bar{I}/I_0$ .

Для амплитудного значения отношения  $\bar{I}/I_0$  выражение (3) можно написать в виде

$$\bar{I}/I_0 = \frac{1}{2} \left[ 1 + 2J_1 \left( 2\pi \frac{U}{U_n} \right) \right] = 1, \quad (4)$$

которое имеет место при значении аргумента функции, равной  $2\pi \frac{U}{U_n} = 1,841$  или  $U/U_n = 0,3$ . Это отношение показывает, что при работе на линейном участке модуляционной характеристики криста-

лического модулятора света необходимая мощность для 100% модуляции света составляет  $P_A = 0,09P_p$ .

Для максимальных отношений  $\bar{I}/I_0$  и  $\bar{I}/I_0$  в табл. 2 приведены величины мощностей модуляции при двойном прохождении света через кристалл.

*Таблица 2*

$f, \text{МГц}$	$P_{\text{max}}$	$P_p$	$P_0$	$P_A$
600	518	350	130	32
800	392	265	98	24
1200	755	510	199	46

Работа СВЧ светодиодономеров в режиме ФАМ приводит к уменьшению мощности модуляции в 4 раза. Кроме уменьшения мощности модуляции повышается чувствительность светодиодомера.

Известно, что амплитуда сигнала формирования в процессе преобразования частоты прямо пропорциональна произведению амплитуд двух первоначальных сигналов, т. е.

$$U_{\text{пр}} = U_s \bar{I}/I_0 \eta \cos 2\pi \Delta f, \quad (5)$$

где  $\eta$  — коэффициент преобразования ФЭУ.

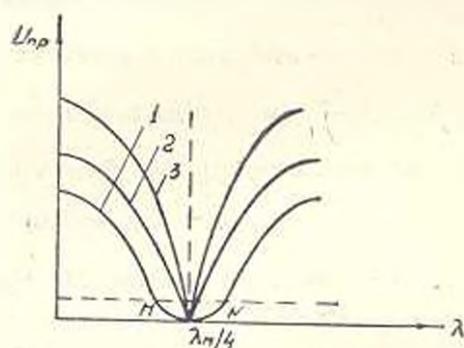


Рис. 3. Зависимость выходного сигнала ФЭУ при различных напряжениях в резонаторе ФЭУ: 1 — сигнал на выходе ФЭУ без резонатора; 2 — напряжение в резонаторе ФЭУ 200 В; 3 — напряжение в резонаторе ФЭУ 300 В.

Ход кривых зависимостей сигнала  $U_{\text{пр}}$  от измеряемого расстояния для рассматриваемых двух режимов работы светодиодомера показан на рис. 3. Там же показана работа светодиодомера, когда минимум света определяется путем фиксации приемных точек  $M$  и  $N$  на уровне  $U_p$  (кривая 1). Сравним ход кривых 2 и 3 (режим ФАМ) с кривой 1 (режим компенсационного экстремума), более точные результаты можно получить в режиме ФАМ при напряжениях  $U_r = 300$  В и больше.

Хотя расчетная точность фиксации фазы при работе светодиодомера способом ФАМ значительно повышается, однако на практике удается обеспечить повышение точности в 3—4 раза, что приводит к точности измерения фазы 0,03 мк. Учитывая ошибку определения постоянной поправки, равной половине ошибки определения фазы, получаем, что в СВЧ светодиодомерах ошибка измерения 0,05 мк — предельная величина.

ЕрПИ им. К. Маркса

19. IX. 1985

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Лабачев В. М. Радиозлектронная геодезия. — М.: Недра, 1980. — 326 с.
2. Мистель Е. Р., Парыгин В. Н. Методы модуляции и сканирования света. — М.: Наука, 1970. — 296 с.