

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОРИЕНТАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА РАБОТУ СВЧ СВЕТОДАЛЬНОМЕРА

К. С. ГЮНАШЯН, О. А. УНАНЯН

Рассмотрена зависимость влияния остаточной интенсивности света от погрешности ориентации оптических элементов и режима питания модулятора СВЧ светодалномера. В выбранном режиме питания модулятора света рассчитаны допуски на ориентацию оптических элементов, при которых влияние величины остаточной интенсивности света на точность измерения светодалномера несущественно.

Каждый элемент оптического тракта СВЧ светодалномера (кристаллический модулятор — демодулятор света, анализатор — фазовая пластинка) практически может быть ориентирован с некоторой ошибкой. В СВЧ светодалномерах точность определения фазы при работе компенсационным методом экстремума существенно зависит также от величины остаточной интенсивности света, возникающей из-за ошибок ориентации оптических элементов [1, 2]. Поэтому особенно в СВЧ светодалномерах должны быть изучены источники остаточной интенсивности света с тем, чтобы уменьшить их влияние на точность измерения светодалномера, работающего компенсационным методом экстремума. Экспериментальное исследование зависимости остаточного светового потока ΔI от ошибок ориентации элементов оптической схемы СВЧ дальномера затруднено многопараметрической зависимостью ΔI от углов ориентации. Для того, чтобы проанализировать эти зависимости, необходимо дать полное теоретическое описание работы оптических схем и выяснить, какие параметры и в какой степени влияют на ΔI .

Схема расположения и ориентация оптических элементов указанного светодалномера относительно координатных осей x и y приведены на рис. 1. Для определения на выходе этой системы относительной величины остаточной интенсивности света, вызванной ошибками ориентации: α_1 — модулятора, α_2 — демодулятора, γ — фазовой пластинки и β — анализатора, применяется матричный метод Джонса [3].

Матрица фазосдвигающего элемента (модулятора на кристалле KDP) с ориентацией, указанной на рис. 1, при малости угла α_1 записывается в виде

$$K_1(\alpha_1) \cong K_1(0) + \alpha_1 K'_1(0) = \begin{bmatrix} e^{i\frac{\Gamma_1}{2}} & 0 \\ 0 & e^{-i\frac{\Gamma_1}{2}} \end{bmatrix} + \alpha_1 \begin{bmatrix} 0 & 2i \sin \frac{\Gamma_1}{2} \\ 2i \sin \frac{\Gamma_1}{2} & 0 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Аналогичным образом для фазовой пластинки (демодулятора на кристалле KDP), повернутой вокруг оптической оси z на 90° , имеем.

$$K_2\left(\frac{\pi}{2} + \alpha_2\right) \cong K_2\left(\frac{\pi}{2}\right) + \alpha_2 K_2'\left(\frac{\pi}{2}\right) = \begin{bmatrix} e^{i\frac{\Gamma_2}{2}} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\Gamma_2}{2}} \end{bmatrix} + \alpha_2 \begin{bmatrix} 0 & 2i \sin \frac{\Gamma_2}{2} \\ 2i \sin \frac{\Gamma_2}{2} & 0 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

В выражениях (1) и (2) Γ_1 и Γ_2 — сдвиги фаз света в модуляторе и демодуляторе света при приложении напряжения на кристаллы, $K_1(0)$ — матрица элемента при безошибочной ориентации, $K_1'(0)$ — производная матрицы $K_1(0)$.

Если кристалл демодулятора не повернут на 90° , но разделен от кристалла модулятора, то матрица этого элемента будет иметь вид матрицы $K_1(0)$ с заменой в ней Γ_1 на Γ_2 и α_1 на α_2 .

Матрица четвертьволновой пластинки при малых ошибках ориентации γ с учетом того, что через пластинку с $\lambda/4$ свет проходит два раза подряд, записывается в виде

$$p^2\left(\frac{\pi}{4} + \gamma\right) \cong p^2\left(\frac{\pi}{4}\right) + (p')^2 \gamma \left(\frac{\pi}{4}\right) = i \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} + i\gamma \begin{bmatrix} -2 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Матрица анализатора при малых ошибках ориентации β следующая:

$$A\left(\frac{\pi}{4} + \beta\right) \cong A\left(\frac{\pi}{4}\right) + A'\beta \left(\frac{\pi}{4}\right) = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} + \beta \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Матрица всей системы (рис. 1) записывается в следующей последовательности:

$$M = A\left(\frac{\pi}{4} + \beta\right) \cdot K_2\left(\frac{\pi}{2} + \alpha_2\right) \cdot p^2\left(\frac{\pi}{4} + \gamma\right) \cdot K_1(\alpha_1). \quad (5)$$

После прохождения света, поляризованного под углом 45° , с интенсивностью I_0 через систему (рис. 1) составляющие поля E_x и E_y светового потока с точностью до величины второго порядка малости определяются выражением

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} \sqrt{I_0/2} \\ -\sqrt{I_0/2} \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{I_0}}{2} \left\{ \sin \frac{\Gamma_2 - \Gamma_1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} - 2i\alpha_1 \sin \frac{\Gamma_1}{2} \sin \frac{\Gamma_2}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} + \right. \quad (6)$$

$$\left. + 2i\alpha_2 \sin \frac{\Gamma_2}{2} \sin \frac{\Gamma_1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} + i\beta \begin{bmatrix} e^{i\frac{\Gamma_2 - \Gamma_1}{2}} \\ -e^{-i\frac{\Gamma_2 - \Gamma_1}{2}} \end{bmatrix} - 2i\gamma \cos \frac{\Gamma_2 - \Gamma_1}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \right\},$$

а интенсивность света на выходе системы определяется как абсолютное значение суммы квадратов E_x и E_y , $I = |E_x^2 + E_y^2|$.

Опуская промежуточные выкладки, для остаточной интенсивности света в положении минимума, когда $\Gamma_1 = \Gamma_2 = \Gamma$, получаем

$$\begin{aligned} \Delta I_1/I_0 = & \beta^2 + 4(\alpha_1 + \alpha_2)^2 \sin^4 \frac{\Gamma}{2} + 4\gamma^2 \cos^2 \Gamma + 8\gamma(\alpha_1 + \alpha_2) \times \\ & \times \cos \Gamma - 4(\alpha_1 + \alpha_2)\beta \sin^2 \frac{\Gamma}{2} - 4\beta\gamma \cos \Gamma. \end{aligned} \quad (7)$$

Полученное выражение для системы, приведенной на рис. 1, является общим решением, из которого следует ряд выводов.

1) На выходе оптической системы с фазовой пластинкой, установленной после модулятора света, ошибка ориентации модулятора—демодулятора света приводит к появлению остаточного света только при приложении напряжения на кристаллы.

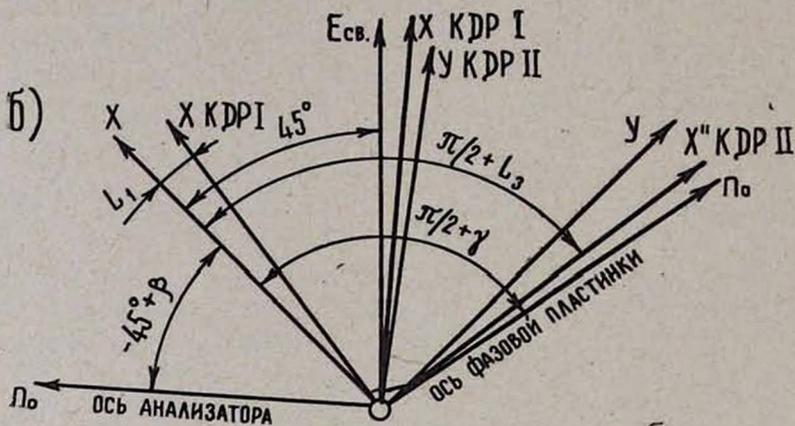
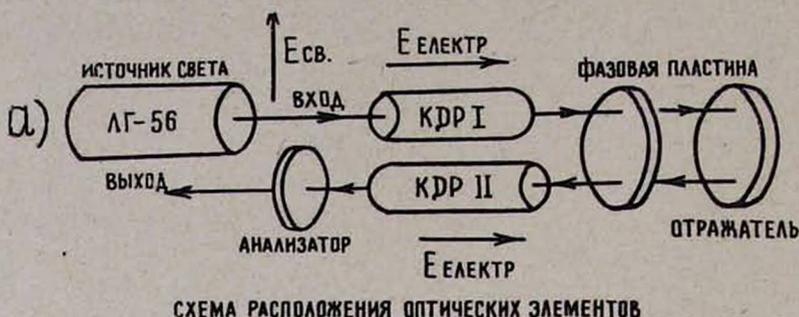


Рис. 1.

2) При отсутствии напряжения на кристаллах ошибка ориентации фазовой пластинки больше влияет на остаточный свет, чем ошибка установки анализатора.

3) Если в системе имеется фазовая пластинка, ориентированная безошибочно ($\gamma = 0$), то

$$\Delta I_2/I_0 = \beta^2 + 4(\alpha_1 + \alpha_2)^2 \sin^4 \frac{\Gamma}{2} - 4(\alpha_1 + \alpha_2) \beta \sin^2 \frac{\Gamma}{2}. \quad (8)$$

Остаточный свет зависит от ошибки ориентации модулятора — демодулятора света только при наличии напряжения на кристаллах. Использование

одного кристалла для модуляции — демодуляции света в этом случае не приводит к уменьшению остаточного света.

4) В системе не имеется фазовой пластинки — это равносильно рассмотренной системе, в которой фазовая пластинка ориентирована безошибочно и один из кристаллов повернут вокруг оси z на $\frac{\pi}{2} - \alpha$. Следовательно, подставляя в выражение (7) вместо α величину $(-\alpha)$, получим решение для системы без фазовой пластинки:

$$\Delta I_3/I_0 = \beta^2 + 4(\alpha_1 - \alpha_2)^2 \sin^4 \frac{\Gamma}{2} + 4\beta(\alpha_1 - \alpha_2) \sin^2 \frac{\Gamma}{2}, \quad (9)$$

из которого следует, что при применении одного кристалла для модуляции — демодуляции света ($\alpha_1 = \alpha_2$) исключается влияние ошибки ориентации кристалла на остаточный свет даже при наличии напряжения на нем.

В случае разделения кристаллов модулятора — демодулятора света остаточный свет зависит от разностной ошибки ориентации кристаллов при наличии напряжения на них.

Чтобы определить зависимость остаточной интенсивности света от режима работы модулятора — демодулятора света, рассмотрим интегральное значение выражения (7) за период частоты модуляции. Для системы с фазовой пластинкой при $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ и $\frac{\Delta I_1}{I_0} = F_1$ имеем

$$F_1 = \beta^2 + 8\alpha^2 \left[\frac{3}{4} + \frac{1}{4} J_0(2K) - J_0(K) \right] + 2\gamma^2 [1 + J_0(2K)] - 4\beta\gamma J_0(K) + 8\alpha\beta \left[J_0(K) - \frac{1}{2} - \frac{1}{2} J_0(K) \right] - 4\alpha\beta [1 - J_0(K)], \quad (10)$$

а для системы без фазовой пластинки при $\alpha_1 = -\alpha_2$ и $\frac{\Delta I_3}{I_0} = F_2$ получаем

$$F_2 = \beta^2 + 2\alpha^2 \left[\frac{3}{4} + \frac{1}{4} J_0(2K) - J_0(K) \right] + 2\alpha\beta [1 - J_0(K)], \quad (11)$$

где $J_n(K)$ — функция Бесселя первого рода n -го порядка, $K = \pi \frac{U}{U_\pi}$, U и U_π — соответственно питающее и полуволновое напряжения на кристаллах.

Из этих выражений можно сделать следующие заключения.

1. Если модулятор света и фазовая пластинка ориентированы относительно поляризации луча лазера с одинаковыми ошибками, то остаточный свет не зависит от режима питания модулятора света и определяется формулой $F_1 = (\beta - 2\gamma)^2$. Полагая $\beta = \gamma$, получаем, что при ориентации всей системы относительно луча лазера с некоторой ошибкой β ($\beta = \gamma = \alpha$) остаточный свет определяется только величиной ошибки, $F_1 = \beta^2$.

2. При отсутствии в системе ошибки ориентации анализатора ($\beta = 0$) остаточный свет зависит от ориентации фазовой пластинки. Из условия

определения экстремума функции (10) $\partial F_1 / \partial K = 0$ получаем уравнение вида

$$J_1(2K)(\alpha - \gamma) = J_1(K)(2\alpha - \beta),$$

из которого следует, что для ряда значений α , β и γ , удовлетворяющих условию $(2\alpha - \beta)/(\alpha - \gamma) = 1$, имеют место минимумы остаточного света при напряжениях на кристаллах, удовлетворяющих $U = 0,39 U_{\pi}$, и максимумы при напряжениях $U = 1,16 U_{\pi}$.

Кривые 1—3 на рис. 2, построенные для указанных случаев ($\alpha = 0$; $\beta = \gamma$; $\alpha = \beta$; $\gamma = 0$), показывают, что увеличение ошибок ориентаций элементов в n раз приводит к увеличению остаточного света в n^2 раз. В случаях $\alpha = -\beta$ и $\beta = 0$ остаточный свет по сравнению с соответствующими случаями кривых 1—3 увеличивается в 4 раза.

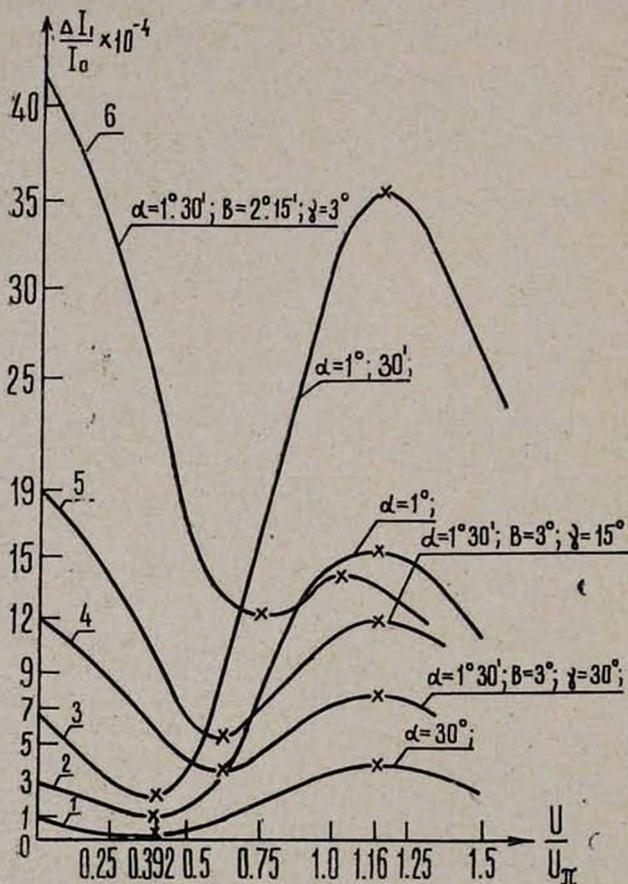


Рис. 2.

3. В тех случаях, когда ошибки ориентации элементов различны ($\alpha \neq \beta \neq \gamma$), но не превышают друг друга более, чем в 5, 6 раз, происходят наибольшие сдвиги экстремальных точек функции остаточного света.

Кривые 4 и 5 (рис. 2), построенные для случая $2\alpha = \beta \neq \gamma$ и имею-

щие экстремальные точки при напряжениях на кристаллах $U = 0,61 U_{\pi}$ и $U = 1,116 U_{\pi}$, показывают, что изменение ориентаций фазовой пластинки не сдвигает положения этих точек, которые были определены из условия $J_1(2K) = 0$.

4. В выбранном режиме $J_1(2K) = 0$ питания модулятора света изменением ориентации фазовой пластинки (при фиксированной ориентации модулятора и анализатора) можно добиться минимума остаточного света. Это следует из сопоставления кривых 4, 5 и 6, приведенных на рис. 2.

5. При работе без фазовой пластинки остаточный свет в зависимости от режима питания также имеет экстремальные значения, которые определяются из условий

$$\partial F_2 / \partial K = 0, \quad J_1(2K) \alpha = 2(\alpha + \beta) J_1(K).$$

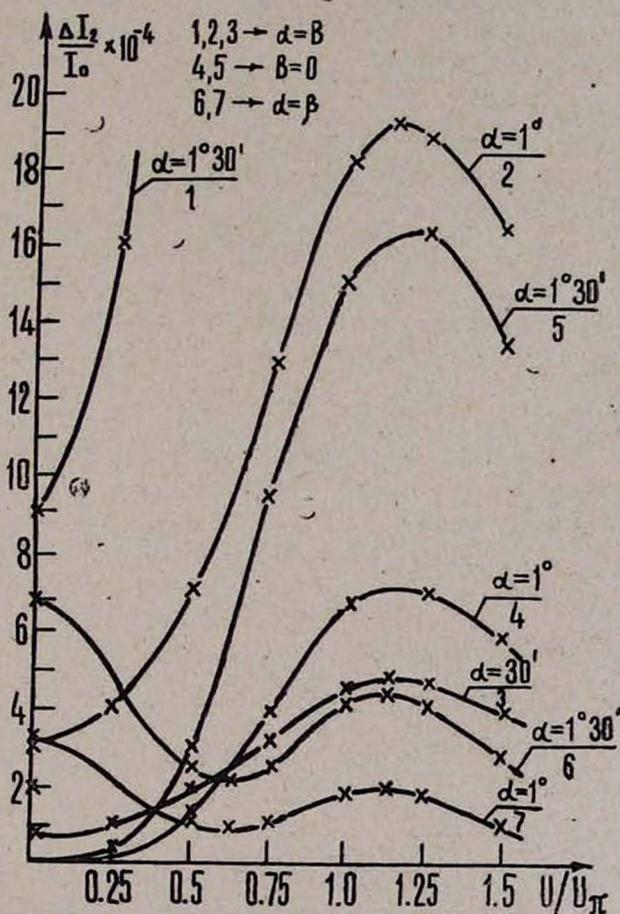


Рис. 3.

В данном случае величина остаточного света существенно зависит от знака ошибки ориентации анализатора относительно разностной ошибки ориентации кристаллов модулятора — демодулятора света. Если $\beta \geq 0$, то увеличение напряжения на кристаллах приводит к увеличению остаточного света. Кривые 1—5, построенные при $\beta = 0$ и $\beta = \alpha$ (рис. 3), имеют

экстремумы, когда $U = (1 \div 1,16)U_{\pi}$. В случае $\beta < 0$ (кривые 6 и 7 рис. 3) остаточный свет с увеличением напряжения уменьшается, достигая минимума при $U = (0,4 \div 0,6)U_{\pi}$, затем увеличивается, достигая максимума, когда $U = (1 \div 1,16)U_{\pi}$.

Таким образом, при работе компенсационным методом экстремума с применением фазовой пластинки на $\lambda/4$ или без пластинки остаточный свет в реальных системах минимален при напряжениях на кристаллах, удовлетворяющих $U = (0,4 \div 0,6)U_{\pi}$.

Указанный режим для компенсационного метода экстремума можно считать оптимальным, так как дальнейшее увеличение напряжения на кристаллах не приводит к заметным повышением точности фазовых измерений. Поэтому допуски погрешностей ориентации оптических элементов целесообразно определять для режима $U = 0,5 U_{\pi}$.

Подставляя в выражения (10) и (11) $K = 0,5 \pi$, получаем

$$F_1 = \beta^2 + 1,7\alpha^2 + 1,4\gamma^2 - \alpha\gamma - 2,1\alpha\beta - 1,9\beta\gamma, \quad (12)$$

$$F_2 = \beta^2 + 0,43\alpha^2 + 1,1\alpha\beta. \quad (13)$$

Из этих выражений видно, что ошибка ориентации модулятора с применением фазовой пластинки примерно в 4 раза сильнее влияет на остаточный свет, чем такая же ориентация модулятора без пластинки. Кроме того, величина остаточного света на выходе системы при работе с фазовой пластинкой примерно в 2 раза больше, чем в случае без пластинки.

Для определения допусков на погрешности ориентации элементов в выражениях (12) и (13) величины остаточных интенсивностей берутся ниже порога срабатывания фотоприемника; они были определены экспериментально для светодальномера ДВСД-1200 [4] и составляют $F_1 = F_2 = 1,2 \cdot 10^{-5}$. Полагая в выражении (12) $\alpha \approx \beta \approx \gamma$, получаем, что погрешности ориентации элементов не должны быть больше, чем $0,2^\circ$, а из (13) при условии $\alpha = -\beta$ получаем $0,3^\circ$.

Эти требования достаточно высокие, и поэтому все элементы в СВЧ светодальномере должны иметь плавные юстировочные узлы, а процесс юстировки необходимо выполнять в положении минимума демодулированного луча с оценкой величины остаточного света.

Ереванский политехнический
институт

Поступила 12.IV.1979

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. А. Мовсесян, Л. Е. Чирков. Межвузовский сборник научных трудов ЕрПИ, Строительство и архитектура, сер. XII, вып. 1, стр. 49 (1974).
2. Методы и приборы высокоточных геодезических измерений в строительстве, под ред. В. Д. Большакова, Изд. Недра, М., 1976, стр. 128.
3. У. Шерклифф. Поляризованный свет, Изд. Мир, М., 1965.
4. К. С. Гюняшян и др. Межвузовский сборник научных трудов ЕрПИ, Строительство и архитектура, сер. XII, вып. 2, стр. 304 (1976).

ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ԷԼԵՄԵՆՏՆԵՐԻ ՕՐԻԵՆՏԱՑԻԱՆԵՐԻ ՇԵՂՈՒՄՆԵՐԻ
ԱԶԳԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԳՔՀ ԼՈՒՅՍԱՀԵՌԱԶԱՓԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՎՐԱ

Կ. Ս. ԳՅՈՒՆԱՇՅԱՆ, Հ. Ա. ՀՈՒՆԱՆՅԱՆ

Դիտարկված է մնացորդային լույսի ինտենսիվության կախվածությունը ԳՔՀ լույսահեռաչափի օպտիկական էլեմենտների կողմնորոշումից և մոդուլյատորի սնման սեփմից: Լույսի մոդուլյատորի համար ընտրված սնման սեփմում որոշված են օպտիկական էլեմենտների օրինատացիաների շեղման սահմանները, որոնց տիրույթում մնացորդային լույսի ինտենսիվության ազդեցությունը լույսահեռաչափի շափման ճշտության վրա էական չէ:

THE INFLUENCE OF THE ORIENTATION ERRORS OF OPTICAL
ELEMENTS ON THE PERFORMANCE OF SHF
LIGHT-RANGE FINDER

K. S. GUNASHYAN, O. A. UNANYAN

The dependence of the residual light intensity on the orientation errors of optical elements and the supply conditions of a SHF modulator in the light-range finder is examined. For chosen conditions of the light modulator supply the deviation limits on the orientation of optical elements are defined at which the influence of the residual light intensity on the accuracy of light-range finder measurements is not essential.