

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ МОДУЛЯЦИИ СВЕТА НА КРИСТАЛЛАХ *KDP* В СВЧ СВЕТОДАЛЬНОМЕРАХ

К. С. ГЮНАШЯН, Р. Р. СИНАНЫАН, Ж. М. ОВСЕПЯН

Рассмотрена возможность получения общего выражения для оценки параметров модулированного в кристаллах *KDP* света в зависимости от ориентации оптических элементов, через которые проходит свет. Выполнен анализ общего выражения и установлено, что оно дает возможность определить оптимальные ориентации оптических элементов и сопоставить эффекты модуляции при различных ориентациях главных *X*-, *Y*-осей кристалла *KDP*.

Электрооптическая модуляция света на кристаллах *KDP* и *ADP* нашла широкое применение в современных высокоточных светодальномерах [1]. Этому способствовали малые потери мощности модуляции в СВЧ диапазоне, возможность использования по несущей почти всего видимого диапазона, простота конструкции модуляторов, небольшая стоимость кристаллов, линейная зависимость фазовой задержки Γ от модулирующего напряжения и малая инерционность.

Электрооптическая модуляция интенсивности луча, проходящего через кристалл, имеет место в том случае, когда после модулятора устанавливается анализатор, пропускающий свет определенной линейной поляризации. Если анализатор пропускает свет, поляризованный ортогонально поляризации света на входе, то интенсивность света на выходе модулятора описывается выражением [2]

$$I = I_0 \sin^2 \Gamma / 2, \quad (1)$$

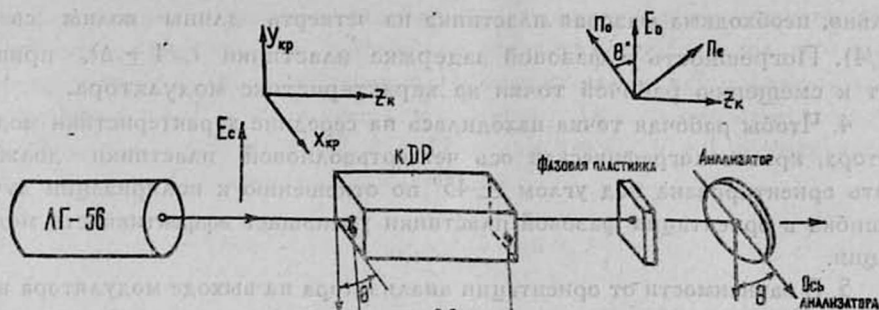
где I_0 — интенсивность света на входе модулятора. Выражение (1) характеризует систему только при определенном расположении в ней оптических элементов.

В настоящей работе дается решение, которое более подробно описывает систему, состоящую из фазосдвигающего кристалла *KDP*, фазовой пластинки и анализатора, и проводится исследование этой системы с целью использования ее в СВЧ светодальномерах.

Схема, поясняющая принцип работы модулятора на линейном электрооптическом эффекте, изображена на рисунке. Для определения величины пропускания света в оптической схеме удобно пользоваться методом Джонса [3]. Матричный метод Джонса связывает значения составляющих векторов электрического поля световой волны до прохождения оптического элемента и после него. При наличии нескольких оптических элементов, через которые последовательно проходит свет, результирующая матрица Джонса равна произведению элементарных матриц.

Для схемы, изображенной на рисунке, результирующая матрица Джонса M будет

$$M = M_a \cdot M_1 \cdot M_k \cdot M_c, \quad (2)$$



где

$$M_a = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & 1/2 \sin 2\theta \\ 1/2 \sin 2\theta & \sin^2 \theta \end{bmatrix} \quad (3)$$

есть матричный оператор анализатора,

$$M_\gamma = \begin{bmatrix} \exp(i\gamma) \cos \theta'' & -\exp(i\gamma) \sin \theta'' \\ \exp(-i\gamma) \sin \theta'' & \exp(-i\gamma) \cos \theta'' \end{bmatrix} \quad (4)$$

есть матрица фазовой пластинки,

$$M_k = \begin{bmatrix} \cos \Gamma/2 + i \cos 2\theta' \sin \Gamma/2 & i \sin 2\theta' \sin \Gamma/2 \\ i \sin 2\theta' \sin \Gamma/2 & \cos \Gamma/2 - i \cos 2\theta' \sin \Gamma/2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

есть матрица для фазосдвигающего кристалла,

$$M_c = \sqrt{\frac{I_0}{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

есть матрица поляризации луча лазера; θ — угол между главным направлением анализатора и поляризацией света, γ — разность фаз, вносимая фазовой пластинкой, θ'' — угол поворота фазовой пластинки, θ' — угол между поляризацией света и осью X кристалла.

После умножения матриц и преобразования с учетом того, что $I = E_x^2 + E_y^2$, для выходной интенсивности луча получаем выражение

$$I = \frac{I_0}{2} [1 + \cos 2(\theta + \theta'') \cos 2\theta' \cos \Gamma - \sin 2(\theta + \theta'') \cos 2\theta' \sin \Gamma]. \quad (7)$$

Полученное общее выражение характеризует систему при различных ориентациях оптических элементов.

1. Для получения максимальной модуляции ось X или Y кристалла должна быть параллельна направлению поляризации луча лазера ($\theta' = 0$ или 90°). Ошибка в ориентации осей приводит к уменьшению эффективности модуляции света.

2. Для исключения постоянной составляющей интенсивности света на выходе модулятора главное направление анализатора должно быть перпендикулярно к направлению поляризации света ($\theta = 90^\circ$).

3. Множитель $\sin \gamma$ содержится при компоненте сигнала основной частоты, и в случае $\gamma = 90^\circ$ сигнал основной частоты максимален. Следова-

тельно, необходима фазовая пластинка на четверть длины волны света ($\lambda_c/4$). Погрешность в фазовой задержке пластинки $\lambda_c/4 \pm \Delta\lambda_c$ приводит к смещению рабочей точки на характеристике модулятора.

4. Чтобы рабочая точка находилась на середине характеристики модулятора, кристаллографическая ось четвертьволновой пластинки должна быть ориентирована под углом $\pm 45^\circ$ по отношению к поляризации луча. Ошибка в ориентации фазовой пластинки уменьшает эффективность модуляции.

5. В зависимости от ориентации анализатора на выходе модулятора выделяется основная или удвоенная частота модуляции.

6. При ориентации анализатора и фазовой пластинки с $\theta = 90^\circ$ и $\theta'' = 0$, используемой в светодальнометрии, представляют интерес следующие ориентации осей фазосдвигающего кристалла:

а) в случае $\theta' = 0$ из общего выражения получается известное выражение (1);

б) в случае $\theta' = 90^\circ$ из выражения (7) получаем

$$I = I_0 \cos^2 \Gamma/2;$$

последнее выражение показывает, что при повороте кристалла на 90° вокруг оси Z фазовая задержка выходного сигнала сдвигается на 90° , т. е. на $\lambda_m/4$ (λ_m — длина волны модулирующего сигнала);

в) в случае $\theta' = 45^\circ$ наблюдается только фазовая модуляция (изменяется скорость распространения света в кристалле в соответствии с приложенным напряжением).

Для получения выражения, характеризующего систему при оптимальной ориентации оптических элементов, рассмотрим случай, когда модулирующее напряжение U синусоидальное. Для этого выразим фазовую задержку Γ через полуволновое напряжение U_π [3]:

$$\Gamma = \pi (U/U_\pi) \sin \omega_m t, \quad (8)$$

где ω_m — угловая частота модуляции.

Из выражения (7) с учетом (8) при $\theta' = \theta'' = \gamma = 0$ получаем следующую зависимость выходной интенсивности света от приложенного напряжения:

$$I = \frac{I_0}{2} \left\{ \left[1 + \left(1 - \frac{\pi^2 U^2}{4 U_\pi^2} \right) \cos \theta \right] + \frac{\pi^2 U^2}{4 U_\pi^2} \cos 2\theta \cos 2\omega_m t - \right. \\ \left. - \pi \frac{U}{U_\pi} \sin 2\theta \sin \omega_m t \right\}. \quad (9)$$

Из (9) следует, что при $\theta = 90^\circ$ постоянная составляющая света при отсутствии модулирующего напряжения равна нулю. Погрешность в ориентации анализатора приводит к появлению остаточной интенсивности света. Второй член характеризует компонент сигнала удвоенной частоты по отношению к частоте напряжения, подаваемого на кристалл; он максимален при $\theta = 90^\circ$ и мало изменяется вблизи этого значения. Третий член является компонентом сигнала основной частоты и максимален при $\theta = 45^\circ$.

Для работы на линейном участке характеристики можно использовать электрическое смещение, но практически более эффективным является применение четвертьволновой пластинки. Пластинку можно установить до кристалла модулятора и после него (см. рисунок). При правильной ориентации фазовой пластинки $\gamma = 90^\circ$, $\theta'' = 45^\circ$ и при $\theta = 90^\circ$, $\theta' = 0$ интенсивность света на выходе модулятора выражается так

$$I = \frac{I_0}{2} \left[1 + \sin \left(\pi \frac{U}{U_\pi} \sin \omega_m t \right) \right], \quad (10)$$

откуда следует, что при $U=0$ рабочая точка находится на середине прямолинейной части модуляционной характеристики.

Известно, что фазовая задержка в пластинке толщиной d_λ равна $\gamma = 2\pi d_\lambda (n_e - n_o)/\lambda_c$. Это выражение совпадает с постоянной фазовой задержкой, имеющей место при поперечном электрооптическом эффекте в кристаллах KDP. Данное обстоятельство свидетельствует о том, что применение фазовых пластинок в светодальномерах будет сопровождаться появлением новых источников ошибок.

В заключение следует отметить, что полученные выражения достаточно полно описывают процесс модуляции света при произвольной ориентации оптических элементов и дают возможность определить оптимальные ориентации этих элементов при модуляции света на различных участках модуляционной характеристики системы. Кроме того, они позволяют оценить влияние погрешностей в ориентации отдельных оптических элементов на эффективность работы системы.

Ереванский политехнический
институт

Поступила 3.X.1977

ЛИТЕРАТУРА

1. К. С. Гюнашян и др. Радиоволновое, 16, 92 (1973).
2. Е. Р. Мустель, В. Н. Парыгин. Методы модуляции и сканирования света, М., 1970.
3. У. Шерклиф. Поляризованный свет, М., 1965.

ԳԵՐԱՐՁՐ ՀԱՃԱԽՈՒԹՅԱՆ ԼՈՒՍԱԶԵՌԱԶՈՓԵՐՈՒՄ KDP ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐՈՎ ԼՈՒՅՍԻ ՄՈԴՈՒԼՅԱՑԻԱՅԻ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇ ՀԱՐՑԵՐ

Կ. Ս. ԳՅՈՒՆԱՇՅԱՆ, Ռ. Ռ. ՍԻՆԱՅԱՆ, Ժ. Մ. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ

Քննարկվում է KDP բյուրեղներում մոդուլացված լույսի պարամետրերի ուսումնասիրման համար ընդհանուր արտահայտության ստացման հնարավորությունը կախված օպտիկական էլեմենտների կողմնորոշումից, որոնց միջով անցնում է լույսը: Օպտիկական էլեմենտների օպտիմալ կողմնորոշման դեպքի համար ստացված և քննարկված է մոդուլատորի աշխատանքը լիարժեք բնութագրող բանաձև:

SOME ASPECTS OF THE THEORY OF LIGHT MODULATION ON KDP CRYSTALS IN MICROWAVE LIGHT-RANGE FINDER

K. S. GYUNASHYAN, R. R. SINANYAN, J. M. OVSEPYAN

The possibility of obtaining a general formula for the evaluation of parameters of KDP light modulated in crystals as dependent on the orientation of the optic elements through which the light passes is discussed. At optimal orientations of optic elements a more general formula for modulator description has been obtained and the formula analyzed.