

06;07;09

Гетеродинное фотоэлектрическое преобразование сигналов в периодических линиях передачи на основе диодов Мотта

© Н.М. Ушаков

Институт радиотехники и электроники РАН, Саратовский филиал

Поступило в Редакцию 1 апреля 1998 г.

Описан принцип построения оптоэлектронных линий задержки в системах оптической обработки информации, который может быть реализован для ряда важных устройств.

В целом ряде устройств обработки информации необходима задержка СВЧ сигнала: линии задержки разного типа, конвольверы, корреляторы и т.д. В таких устройствах временная задержка сигнала должна осуществляться либо без изменения его амплитудного спектра, либо с таким его изменением, при котором происходит уменьшение длительности импульса (дисперсионная линия задержки). Из теории линейного отклика сигнала на основании теоремы сдвига известно, что временной сдвиг или задержка сигнала могут быть осуществлены, если все спектральные компоненты его приобретут соответствующий дополнительный фазовый сдвиг [1]. В планарных периодических линиях передачи на основе диодов Мотта, впервые предложенных в работе [2], необходимый фазовый сдвиг осуществляется автоматически и зависит от центральной частоты спектра СВЧ сигнала. Поэтому эти новые устройства могут стать базой для построения оптоэлектронных линий задержки различного назначения в системах оптической обработки информации.

В настоящей работе описаны наиболее общие закономерности гетеродинного фотоэлектрического возбуждения и задержки СВЧ сигналов в планарных периодических линиях передачи на основе диодов Мотта.

Метод гетеродинного детектирования сигналов фотодетектором, основанный на квадратичном преобразовании поля излучения, широко

применяется в оптической интерферометрии и спектроскопии [3], а также в системах оптической обработки информации [4]. Данный метод представляет интерес также для фотоэлектрического возбуждения СВЧ сигналов в периодических линиях передачи из-за независимого управления взаимодействующими оптическими полями. Поясним это на примере. Пусть имеем два взаимодействующих оптических сигнала, записанных в скалярной форме: $E_1(r, t) = E_{01}(r) \exp(j\omega t)$ и $E_2(r, t) = E_{02}(r) \exp(j(\omega \pm \Delta\Omega)t + \phi(r))$ с частотой ω и $\omega \pm \Delta\Omega$. В результате их сложения на фоточувствительной площадке блока фотодиодов (БФД) в электрической цепи появляется отклик в виде "полезной" составляющей фототока:

$$I_{ph}(r, V_0, t) = 2(\eta(V_0)q/h\nu)E_1^*E_2(r, t) \exp(j\Delta\Omega t + \phi(r)), \quad (1)$$

где E_1^* и $E_2(r, t)$ — комплексно-сопряженные амплитуды взаимодействующих оптических полей, $\phi(r)$ — разность фаз комплексных амплитуд, $\eta(V_0)$ — квантовая эффективность фотоэлектрического преобразования, q — заряд электрона, V_0 — напряжение смещения фотодиода, h — постоянная Планка, $\nu = \omega/2\pi$ — частота оптического сигнала.

Из соотношения (1) следует, что фотооткликом БФД в режиме гетеродинного детектирования можно управлять с помощью трех независимых параметров — $E_1(r, t)$, $E_2(r, t)$ и $\phi(r)$, характеризующих взаимодействующие оптические поля.

Известно, что периодические линии передачи (ПЛП), периодические волноведущие системы (ПВС), замедляющие системы (ЗС) — суть одни устройства, предназначенные для временной задержки сигнала и обеспечивающие его фазовый сдвиг, зависящий от частоты [5]. В квазистатическом приближении, когда длина волны сигнала много больше характерных размеров линии передачи, новые оптоэлектронные периодические линии передачи на основе диодов Мотта можно представить как многозвенные цепи идентичных четырехполосников. При этом каждое звено такой цепи в свою очередь представляет собой активный четырехполосник типа фильтр нижних частот (ФНЧ) (рис. 1, *a*), либо фильтр верхних частот (ФВЧ) (рис. 1, *b*). Эквивалентная схема двух встречно-включенных диодов Мотта в виде планарной многоэлементной периодической структуры с барьером Мотта (ПМПСБМ) встречно-штыревого или встречно-винтового типа [6] показана на рис. 1, *c*. Исходя из того, что активный четырехполосник может быть заменен пассивным

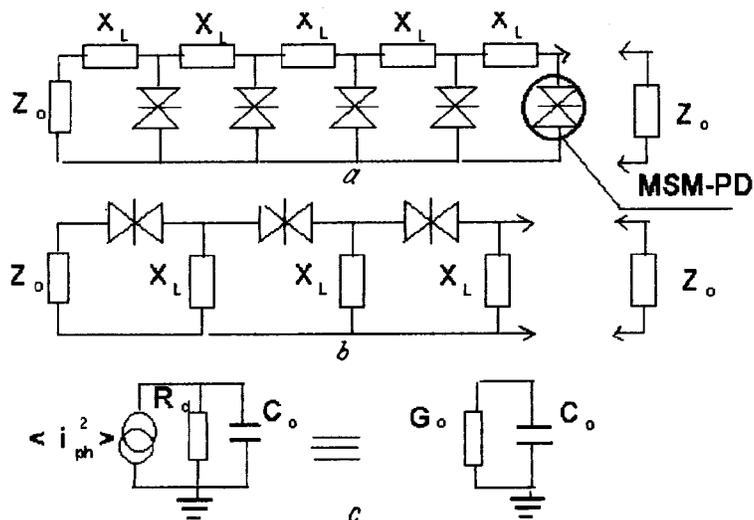


Рис. 1.

четырехполосником с дополнительными внешними источниками в первичной и вторичной цепях, э. д. с. которых равны напряжениям на разомкнутых зажимах активного четырехполосника [7], эквивалентная схема на рис. 1, *c* принимает более простой вид. В приведенных на этих рисунках эквивалентных схемах введены обозначения: $X_L = \hat{G}_L^{-1} = j\Omega L$ — индуктивный реактанс, $\hat{G}_c = X_c^{-1} = j\Omega C$ — емкостная проводимость. Поскольку $\hat{G}_0 = \dot{I}_{ph}/V_0$, то выражение для проводимости \hat{G}_0 с учетом соотношения (1) имеет вид

$$\hat{G}_0 = 2(\eta q/V_0 h\nu) E_1^* E_2(r, t) \exp(j\Delta\Omega t + \phi(r)). \quad (2)$$

В теории вакуумных СВЧ приборов *O*-типа широко применяется такое физическое понятие, как сопротивление или проводимость излучения, характеризующее эффективность возбуждения сигнала в ЗС в результате взаимодействия электронного пучка с полем замедленной электромагнитной волны. По аналогии с этим предлагаем проводимость \hat{G}_0 из (2) также называть проводимостью излучения оптоэлектронного взаимодействия.

Рассмотрим общий случай, когда на каждое звено ЗС поступает смешанный оптический сигнал в полосе модуляции $\Delta\Omega$ с фазовым сдвигом $\phi(r)$, равным фазовому сдвигу СВЧ сигнала на ячейку ЗС $-\Psi_0(\Omega)$. В результате гомодинного детектирования оптического сигнала в ПМПСБМ возбуждается СВЧ сигнал в пределах указанной полосы и распространяется в ЗС в режиме бегущей волны. На каждой ячейке линии передачи этот сигнал приобретает фазовый сдвиг $\Psi_0(\Omega) = \Omega t_{tr} + \theta_0(\Omega)$, где Ωt_{tr} — фазовый сдвиг, обусловленный конечным временем пролета основных носителей межштыревого зазора ПМПСБМ (t_{tr} — время пролета), $\theta_0(\Omega)$ — фазовый сдвиг на ячейку в ЗС. Дисперсионное соотношение для ФНЧ (ФВЧ) без потерь имеет вид

$$\theta_0 = 2 \arcsin(\Omega/\Omega_0)^m, \quad (3)$$

где $m = 1$ для ФНЧ и $m = -1$ для ФВЧ. Тогда, зная, что $\Omega t_{tr} = 2.4$ и $\arcsin(x) \approx x$ для фазовых сдвигов $f = \Omega/2\pi \leq 0.4f_0$ (ФНЧ) или $f \geq 2.5f_0$ для ФВЧ, получим приближенное условие фазового пространственного синхронизма:

$$\phi(r) = \Psi_0(\Omega) = 2.4 + 2(\Omega/\Omega_0)^m. \quad (4)$$

Время задержки СВЧ сигнала ЗС t_d с учетом (4) определяется как

$$t_d = Np/v_{ph} = N\Psi_0(\Omega)/\Omega, \quad (5)$$

где N — число ячеек ЗС, v_{ph} — фазовая скорость СВЧ сигнала в ЗС, p — шаг ЗС.

На рис. 2, *a*, *b* приведены зависимости времени задержки для частоты отсечки ЗС, равной 6 GHz, и диапазона частот $f = \Omega/2\pi \leq 2.4$ GHz для ФНЧ и $f = \Omega/2\pi \geq 15$ GHz для ФВЧ от приведенной частоты $a = \Omega/\Omega_0$. Полученные значения времени задержки свидетельствуют о том, что оптоэлектронные линии задержки хорошо дополняют акустические с традиционными временами задержки больше микросекунды. В отличие от [2], где процесс фотоэлектрического преобразования происходит последовательно от ячейки к ячейке ЗС, в настоящем случае этот процесс протекает параллельно, что повышает управляемость процессом гомодинного фотоэлектрического преобразования в ЗС. Меняя с помощью электромеханического сканера (например, на биморфном зеркале) пространственные координаты оптического сигнала, можно управлять временем задержки СВЧ сигнала в ЗС.

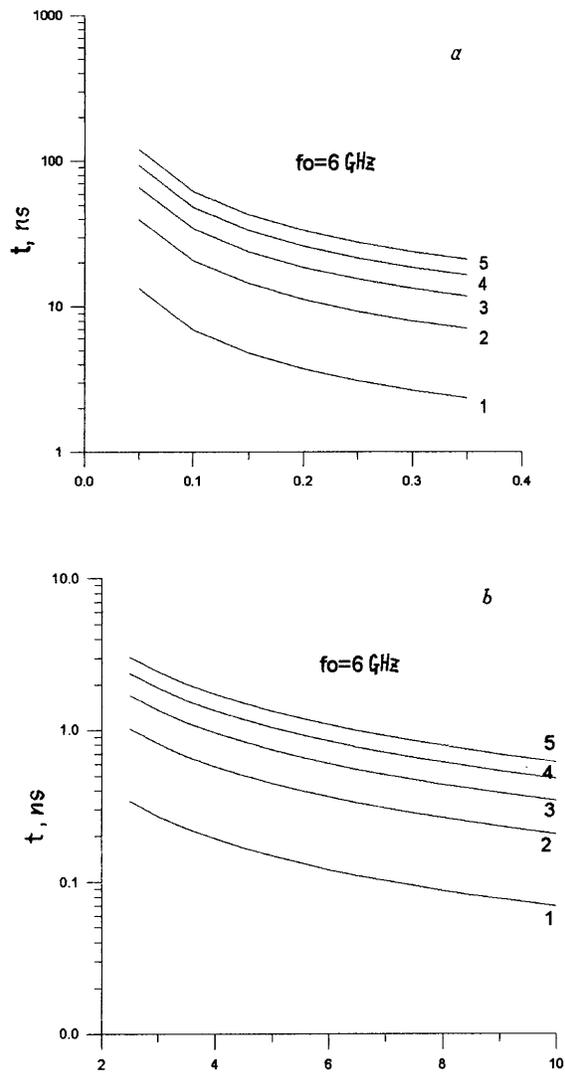


Рис. 2.

Таким образом, предлагаемый принцип фазового синхронизма оптического и возбужденного в ЗС СВЧ сигнала может быть реализован для ряда важных устройств оптической обработки информации, где требуется регулируемая временная задержка сигналов.

Список литературы

- [1] *Francis T.S.Yu.* Introduction to Diffraction, Information Processing, and Holography. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts, and London, England, 1973.
- [2] *Ушаков Н.М., Петросян В.И.* // Труды Межд. научно-техн. конф. "Актуальные проблемы электронного приборостроения". АПЭП-92. Новосибирск, Россия, 1992. Т. 6. С. 15–24.
- [3] *Лазерное гетеродинамирование* / Протопопов В.В., Устинов Н.Д. М.: 1985. 288 с.
- [4] *Терпин Т.М.* // ТИИЭР. 1981. Т. 69. С. 92.
- [5] *Элаши Ш.* // ТИИЭР. 1976. Т. 64. № 12. С. 22.
- [6] *Ушаков Н.М., Петросян В.И.* // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22. С. 60.
- [7] *Теоретические основы электротехники* / Нейман Л.Р., Демирчян К.С. В 2 т. Ч. 1. 1967. 522 с.