

АНАЛИЗ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХКАСКАДНОГО ЛАЗЕРНОГО УСИЛИТЕЛЯ

П.Г. Елисеев, М.В. Цоцория

Показано, что в двухкаскадном усилителе бегущей волны на лазерных диодах возможно развязать усиление и набег фазы с целью амплитудного или фазового выравнивания или получения чистых амплитудной или фазовой модуляции сигнала. Необходимым условием является различие коэффициентов амплитудно-фазовой связи в каскадах.

При использовании лазерных диодов в устройствах оптической передачи и обработки информации часто возникает проблема развязки амплитудных и фазовых изменений сигнала в лазере-передатчике для подавления паразитной амплитудной модуляции или для подавления дрейфа частоты при амплитудной или импульсной модуляции сигнала [1-3]. Кроме того, часто возникает задача амплитудного и фазового выравнивания сигнала, например, в многоэлементном фазированном лазерном излучателе на инжекционных лазерах. Анализ схемы такого излучателя для межспутниковой связи выполнен в [4]. Предложенная схема является многоканальной, каждый из каналов содержит усилитель излучения (усилитель бегущей волны либо резонансный усилитель) и фазовращатель для фазирования излучения отдельных каналов.

В усилителе на основе полупроводникового диода наряду с усилением излучения возникает и нелинейный набег фазы. Это дает возможность использовать усилитель в качестве фазовращателя. Однако для практических применений необходимо одновременное управление как фазой, так и амплитудой сигнала. В настоящей работе рассмотрена возможность реализации этой задачи для двухкаскадного усилителя бегущей волны (УБВ).

Анализ проводился на основе теоретической модели для УБВ, предложенной в [5]. Модель основывается на приближении медленных амплитуд и учитывает зависимость показателя преломления от интенсивности света. Зависимости интенсивности волны и набег фазы от продольной координаты z описываются следующей системой уравнений:

$$\frac{u(z)}{|g/\alpha - 1 - u(z)|^{g/\alpha}} = \frac{u(0) \exp [(g - \alpha) z]}{|g/\alpha - 1 - u(0)|^{g/\alpha}}, \quad (1)$$

$$\Phi(z) = - (R/2)\alpha z - (R/2) \ln [u(z)/u(0)], \quad (2)$$

где $u(z)$ — нормированная интенсивность: $u(z) = J(z)/J_s$; J_s — интенсивность насыщения; $\Phi(z)$ — нелинейный набег фазы; g — коэффициент ненасыщенного усиления; α — коэффициент нерезонансных потерь; R — коэффициент амплитудно-фазовой связи (КАФС) (если поперечная структура поля определяется встроеным волноводом, то g и R необходимо заменить их волноводными значениями [6]).

Из формулы (2) видно, что фазовый набег в УБВ однозначно связан с усилением в каскаде, выраженным отношением $u(L)/u(0)$ (L — длина диода). Если R не зависит от z , как предположено при выводе формул (1), (2), то частичный переход усилителя из линейного режима в режим насыщения не меняет ситуацию и развязать амплитудные и фазовые характеристики не удастся. Более подходящими для развязки амплитудных и фазовых характеристик являются устройства с непостоянным R по длине усилителя, например, многокаскадные усилители, работающие в разных режимах настройки (R зависит от длины волны) или имеющие различающуюся конфигурацию активной области и, следовательно, различные значения КАФС [6, 7].

Система (1), (2) применялась для двухкаскадного УБВ. При этом выходное излучение первого усилителя служит (с учетом определенных потерь) входным излучением для второго усилителя. Нелинейный набег фазы Φ определяется суммой набега фаз в каждом каскаде: $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$. Усиление системы можно представить в виде $K = G_1 \kappa G_2 = u_2(L_2)/u_1(0)$, где $G_{1,2} = u_{1,2}(L_{1,2})/u_{1,2}(0)$ — усиления соответственно первого и второго диодов, κ — коэффициент связи первого усилителя со вторым. Если усилители представлены в модульном исполнении, то κ состоит из коэффициента связи активного элемента первого модуля со световодом η_1 и коэффициента связи световода с активным элементом второго модуля η_2 : $\kappa = \eta_1 \eta_2$. Параметры, входящие в уравнения (1), (2) для двух усилителей, в общем случае различны. Максимальные значения ненасыщенных коэффициентов усиления g_1 и g_2 определяются условиями реализации теплового режима диодов, мы полагали $g_{1 \max} = g_{2 \max} = 250 \text{ см}^{-1}$.

Построим кривые постоянного набега фазы (Φ) и постоянного усиления (K) в плоскости (g_1, g_2). Точка пересечения кривых постоянной фазы и постоянного усиления дает те значения g_1 и g_2 (или токов накачки, которым пропорциональны коэффициенты усиления), которые необходимы для одновременно-го получения данной фазы и данного усиления. А полученная таким образом "сетка" определяет область тех возможных значений фазы и усиления, которых в данном интервале изменения g_1 и g_2 можно реализовать одновременно.

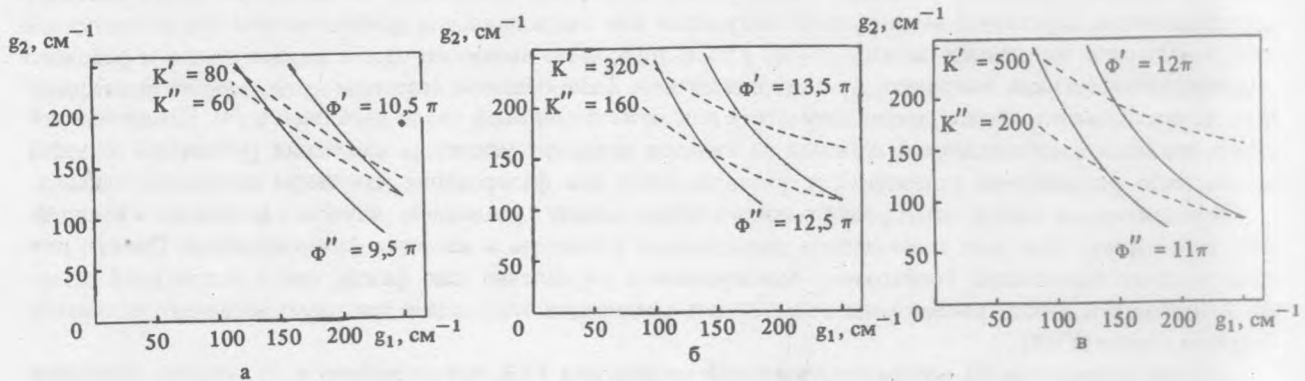


Рис. 1. Кривые постоянного набега фазы Φ (сплошные линии) и постоянного усиления K (пунктир) при следующих значениях параметров: $u_1(0) = 0,005$; $R_1 = 9$; $R_2 = 6$; $\kappa = 0,1225$; а) $L_1 = L_2 = 250 \text{ мкм}$; $\alpha_1 = \alpha_2 = 40 \text{ см}^{-1}$; б) $L_1 = L_2 = 400 \text{ мкм}$; $\alpha_1 = \alpha_2 = 40 \text{ см}^{-1}$; в) $L_1 = L_2 = 400 \text{ мкм}$; $\alpha_1 = \alpha_2 = 20 \text{ см}^{-1}$.

Необходимым условием для решения поставленной задачи является различие значений КАФС для двух усилителей: $R_1 \neq R_2$. В противном случае кривые постоянной фазы и постоянного усиления совпадают. На рис. 1 приведены результаты расчета для случая $R_1 = 9$, $R_2 = 6$. Значения остальных параметров указаны в подписи к рисунку. Из рис. 1а видно, что одновременно можно менять фазу на π ($\Delta\Phi = \Phi' - \Phi''$) и усиление от 60 до 80. Для практических целей представляет интерес изменение фазы на π и достижение максимально возможного усиления. Однако такая область пересечения кривых постоянного усиления и постоянной фазы на рис. 1а выходит за рамки допустимого интервала изменения g_1, g_2 . Достижить большего значения усиления и набега фазы при фиксированных значениях ненасыщенных коэффициентов усиления можно, если использовать диоды с большей длиной (рис. 1б) и меньшими коэффициентами нерезонансных потерь (рис. 1в). Поскольку параметрами уравнений (1), (2) являются αL и g/α , то уменьшение α эквивалентно увеличению длины диода L и одновременному сдвигу картины в сторону малых g . В самом благоприятном случае, когда взяты диоды с большой длиной и малыми коэффициентами нерезонансных потерь, возможно одновременное изменение фазы на π и усиления от 200 до 500 (рис. 1в).

Таким образом, в двухкаскадном (тем более в многокаскадном) усилителе оказывается возможным независимое управление усилением и набегом фазы, если каскады различаются коэффициентами амплитудно-фазовой связи. Такой же эффект может быть достигнут и в том случае, если R изменяется по длине

усилителя, однако, в однокаскадном варианте имеется только одна степень свободы для выбора режима, что существенно снижает область применения такого устройства. Для двухкаскадного УБВ с эмпирически доступным различием R в каскадах (например, 6 и 9) можно получить достаточные фазовые вариации при заданном усилении или вариации усиления при фиксированном набеге фазы. Такие устройства вполне решают задачу амплитудно-фазового выравнивания сигналов в мощных многоканальных излучателях, подобных, например, рассмотренному в /4/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nilsson O. et al. Appl. Phys. Lett., **46**, 223 (1985).
2. Nilsson O. et al. Electron. Lett., **23**, 1371 (1987).
3. Goobar E. et al. Electron. Lett., **25**, 304 (1989).
4. Елисеев П.Г. и др. Препринт ФИАН № 180, М., 1988.
5. Богатов А.П. Труды ФИАН, **166**, 68 (1986).
6. Богатов А.П. Квантовая электроника, **14**, 2190 (1987).
7. Furuya K. Electron. Lett., **21**, 200 (1985).

Поступила в редакцию 21 февраля 1990 г.