

А.А. Майер, Г.С. Хулап, С.Д. Бушуев

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СВЕРХБЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ОПТИЧЕСКИХ ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИХ УСТРОЙСТВ СВЕТА

Предложены новые принципы построения сверхбыстродействующих устройств. Изложена физическая сущность нового явления переключения. Показана перспектива использования предложенных оптических транзисторов в различных радиоэлектронных и вычислительных устройствах для сверхбыстрой обработки и передачи информации в широкополосных оптических линиях связи и сетях.

Ключевые слова: *сверхбыстродействующие устройства, оптические линии связи, электронные транзисторы, модуляторы*

Постановка проблемы

Увеличение скорости и качества обработки информации в настоящее время является ключевым, и оно резко стимулируется развитием интернета. Наибольшая скорость информации достигается в оптических линиях связи. [3] Это вызвано рядом причин.

– Во-первых, все возрастающими потребностями в сверхбыстрой обработке больших объемов информации в сочетании с необходимостью ее передачи по оптическим линиям связи, а также потребностями в создании суперкомпьютеров.

– Во-вторых, бурным развитием интегральной, волоконной и нелинейной оптики, которое, с одной стороны, ставит перед исследователями задачу создания принципиально новых сверхбыстродействующих чисто оптических приборов и устройств (в частности, оптических транзисторов), а с другой стороны, создает технологическую базу, необходимую для их решения.

– В-третьих, принципиальным ограничением на быстродействие электрических и электрооптических переключателей; оно обусловлено тем, что минимальное время переключения электрических переключателей и транзисторов в реальных сетях не может быть существенно меньше, чем 10^{-9} - 10^{-10} с. Переключение в них ограничено индуктивностью,

ПРИНЦИПЫ ПОБУДОВИ НАДШВИДКОДІЮЩИХ ОПТИЧНИХ ПЕРЕМІКАЮЩИХ ПРИСТРОЇВ СВІТЛА

Запропоновано нові принципи побудови надшвидкодійючих пристроїв. Викладена фізична сутність нового явища перемикання. Показана перспектива використання запропонованих оптичних транзисторів в різних радіоелектронних та обчислювальних пристроях для надшвидкої обробки і передачі інформації в широкополосових оптичних лініях зв'язку і мережах.

ORGANIZATIONAL PROJECT MANAGEMENT PATHOLOGY

Proposed new principles of ultrafast devices. Described the physical nature of the new phenomenon of switching. The prospects for the use of the proposed optical transistors in various electronic and computing devices for ultra-fast processing and transmission in broadband

емкостью, сопротивлением в электрических щелях. Кроме этого возможности электронных транзисторов и модуляторов не соответствуют возможностям оптической линии связи. Иными словами, амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) электронных транзисторов и модуляторов не отвечает АЧХ оптических линий связи. В решении этих проблем и достижении указанной глобальной цели может помочь оптический транзистор. АЧХ оптического транзистора соответствует АЧХ оптических линий связи.

В работе рассматривается изобретенный новый класс полностью оптических транзисторов.[1]. Он функционально аналогичен электронному транзистору, но превосходит его по быстродействию в 10000 раз и открывает принципиально новые возможности для повышения эффективности, быстродействия систем оптической связи, локации и других оптоэлектронных систем. В оптическом транзисторе слабый свет управляем сильным светом, переключая его за рекордно короткое время. При этом полезный оптический сигнал может усиливаться в сотни, тысячи, миллионы и более раз без искажения формы сигнала. Большое усиление полезного переменного оптического сигнала возможно без помощи электроники.

Нам удалось обнаружить чрезвычайно интересное ранее неизвестное нелинейно-оптическое явление [1], которое мы назвали самопереключением оптических однонаправленных распределенных связанных волн (ОРСВ). Оно заключается в том, что

при определенных условиях малая вариация входной интенсивности одной из ОРСВ вызывает резкое изменение соотношения ОРСВ на выходе системы. Изменение мощности каждой волны на выходе может в десятки сотни, тысячи, миллионы (!) и более раз превышать изменение входной мощности. На основе этого явления нами был предложен ранее неизвестный класс оптических транзисторов ОРСВ - целый класс волн. Они играют важную роль в оптике, особенно в интегральной, волоконной и нелинейной, хотя их линейная теория впервые развита для рентгеновского и СВЧ-диапазонов.

К ОРСВ относятся: волны в туннельно-связанных оптических волноводах, т.е. двух параллельных, близко расположенных оптических волноводах; волны различных поляризаций в двулучепреломляющем или магнитоактивном волноводе; однонаправленные волны при брэгговской дифракции в периодической структуре; различные моды в оптическом волноводе; волны различных частот в квадратично-нелинейном кристалле или волноводе, и т.д. На базе любой из этих систем можно создать оптический транзистор ρ .

На рис.1 показаны зависимости выходных интенсивностей двух оптических ОРСВ (нулевой 0 и первой 1) от входной интенсивности света. На рис. 1 видно явление самопереключения ОРСВ. При определенной входной интенсивности, называемой критической интенсивностью или интенсивностью в средней точке переключения М, малое изменение входной интенсивности света (на доли процента) вызывает переключение света на выходе системы из волны 1 в волну 0 или наоборот (рис. 1). Отрезок вертикальной линии показывает пороговую интенсивность. Если входная интенсивность выше пороговой интенсивности, то коэффициент дифференциального усиления повышает единицу (хотя бы для одной из ОРСВ на выходе оптического транзистора). Максимальный дифференциальный коэффициент усиления достигается в средней точке переключения М, вблизи которой существует линейный участок характеристики, причем в средней точке переключения интенсивности выходных волн 0 и 1 примерно равны. Если входная интенсивность чуть меньше критической интенсивности, то на выходе системы почти весь свет сосредоточен в волне 1, а если входная интенсивность чуть больше критической интенсивности, то на входе почти весь свет сосредоточен в волне 0 (рис 1).

Рис.1 показывает принцип действия оптического транзистора.

ОРСВ [2] можно разделить на две группы: с независимым и зависящим от амплитуд волн коэффициентом связи.

К первой группе ОРСВ с независимым от амплитуд волн коэффициентом связи (более

обширной) можно отнести: волны в туннельно-связанных волноводах, в частности, в туннельно-связанных оптических волноводах (ТСОВ), т.е. двух параллельных, близко расположенных (на расстоянии $\sim 1-10$ мкм) оптических волноводах; волны различных поляризаций в одиночном волноводе с двулучепреломлением или в двулучепреломляющем кристалле; проходящую и дифрагированную волны в периодической структуре; две моды в неоднородном оптическом волноводе и др.

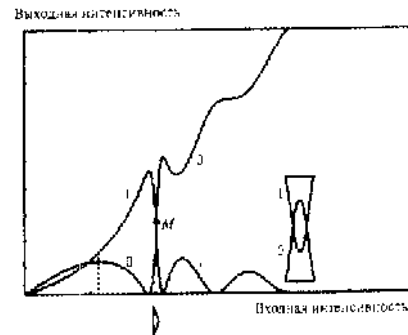


Рис.1. Самопереключение света между однонаправленными распределенно-связанными волнами (ОРСВ) и принцип усиления слабого сигнала в оптическом транзисторе на основе этого явления

В линейном режиме, когда интенсивности волн малы и нелинейностью среды можно пренебречь, между такими волнами, по мере их распространения, происходит периодический (синусоидальный) обмен энергией (рис. 2.). Так, если на вход системы подать одну из волн (назовем ее нулевой), то на некотором расстоянии от входа энергия перекачается в другую волну (назовем ее первой), затем может снова вернуться в нулевую, затем перекачаться в первую и т.д.

Если волны идентичны, т.е. их эффективные показатели преломления одинаковы, то перекачка полная; если же волны не идентичны, т.е. имеют разные эффективные показатели преломления, то перекачка не полная (см. рис. 2.). Таким образом, коэффициент передачи мощности каждой волны зависит от разности эффективных показателей преломления волн.

Это наводит на мысль о том, что в нелинейном режиме, когда показатель преломления зависит от интенсивности волны, коэффициент передачи мощности каждой волной должен зависеть от входной интенсивности, т.е. возможна нелинейная передача мощности или нелинейная перекачка. Эти соображения и стимулировали наш интерес к изучению нелинейного взаимодействия таких волн.

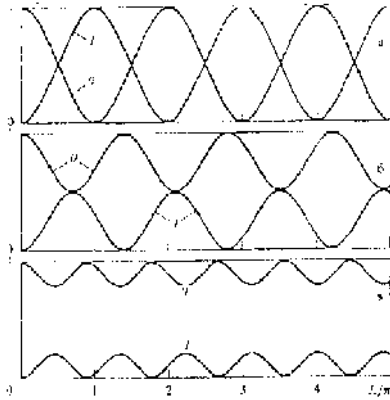


Рис. 2. Зависимость мощности (нормированной на входную

$$T_j = I_{jt} / I_{00}, j = 0, 1)$$

двух ОРСВ (0 и 1) от нормированной длины связи $L = 2\pi KI / \lambda\beta$ в линейном режиме; K — коэффициент связи волн,

L — длина системы, $\beta = (\beta_1 + \beta_0) / 2$, β_j —

эффективный показатель преломления j -й волны;

$\xi = 0$ (а), $\xi = \alpha\beta / K$ (б), $\xi = 2$ (в);

$\alpha = \beta_1 - \beta_0$. В систему вводится одна из волн

— нулевая: $I_{00} \neq 0, I_{10} = 0$

Ко второй группе ОРСВ можно отнести волны, коэффициент связи которых зависит от их амплитуд. Это, прежде всего, волны на двух или трех различных частотах в квадратично-нелинейной среде; в частности — волны на частотах ω . К ним относятся и волны при попутном ВКР. Взаимодействие таких волн, по самой своей сути, нелинейно.

Явление самопереключения ОРСВ весьма сложно и многообразно. Существуют различные режимы этого явления, оно может происходить по-разному, иметь различную глубину и направление, а крутизна его может отличаться в сотни и тысячи раз (при одной и той же длине системы) в зависимости

от начальных условий и параметров системы. Например, можно осуществить полное самопереключение неидентичных волн (хотя в линейном режиме полная перекачка таких волн принципиально невозможна (см. рис. 2.); с другой стороны самопереключение идентичных волн может быть не полным; возможны: режим оптического транзистора, режим гигантского усиления, двойное самопереключение и т.д. Нами найдены простые аналитические формулы, описывающие самопереключение: условия его возникновения, его крутизну, его глубину, характерные точки и т.д. Для создания того или иного устройства (оптического транзистора, усилителя, ограничителя, мультивибратора, логического элемента и т.д.) следует выбрать соответствующий этому устройству режим явления самопереключения. Самопереключение ОРСВ сопровождается их автосинхронизацией. На рис. 3 представлены возможные типы оптических транзисторов.

Оптический транзистор не вносит квантовые шумы в усиливаемый оптический сигнал в отличие от известного эрбиевого усилителя (ЕВРА). Он имеет меньшую стоимость, чем ЕЭРА.

Оптический транзистор обладает широкими функциональными возможностями: 1) усилитель малого полезного оптического сигнала; 2) селектор оптических импульсов; 3) подавитель шумов; 4) может работать как полностью оптический логический элемент; 5) формирователь или трансформатор формы оптических импульсов; 6) устройство, переносящее полезный оптический сигнал с одной несущей частоты на другую; и т.д. Оптический транзистор может существенно расширить частотную полосу линий связи и оптических сетей.

Поэтому можно говорить о принципиально новой основе и устройствах широкополосных сетей, систем оптической связи, локации, навигации, обработки информации, оптических компьютерах [3].

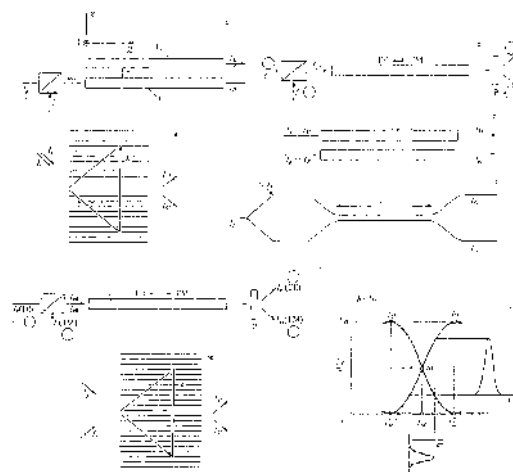


Рис.3. Типы схем оптических транзистор

Примеры схем оптических транзисторов, переключателей и усилителей на основе нелинейных системы ОРСВ: ТСОВ (а, г, д), волновода с ОРСВ различных поляризацій (б, е), периодической структуры (в, ж). I_p — интенсивность накачки, I_s — интенсивность сигнала, $I_p \geq I_s$ рисунок взят из [33;32]. Для схем а-г, ж и схемы е с циркулярными поляризациями $I_p \approx I_M, I_M$ — критическая интенсивность, для схемы д, $I_p > I_M / 2$ для схемы е с ТЕ-, ТМ-поляризациями и $K = 0, I_p > 3|\alpha|/|\theta|$; з — принцип действия схем а-в.

Рассмотренный оптический транзистор можно изготовить и применить для любого диапазона длин волн: видимого, ближнего инфракрасного, далекого инфракрасного и терагерцевого диапазона, а также ультрафиолетового. В принципе, аналогичное устройство может быть изготовлено и для СВЧ диапазона.

Оптический транзистор может использоваться в : широкополосной связи и сетях; оптических волоконных линиях связи; воздушных и космических линиях связи; оптической локации; оптоэлектронных системах сверхбыстрой обработки информации; компьютерных устройствах, например, оптических модемах. Применение оптического транзистора позволяет:

1. Достигнуть сверхвысоких скоростей передачи информации на одной длине волны (в тысячи раз более высоких, чем в существующих линиях оптической связи) 10^{14} Гц (что соответствует быстродействию 10 фемтосекунд) при минимальной стоимости электронной аппаратуры.

2. Значительно повысить качество передаваемой информации, т.е. отношение сигнал/шум.

3. Значительно снизить стоимость электронной аппаратуры в оптических линиях связи и сетях.

4. Создать сверхбыстродействующие, сверхмалозащумящие оптические линии связи с отстройкой от помех и шумов.

5. Обеспечить дополнительную скрытность передаваемой информации.

Оценки показывают, что реализация данного устройства может принести прибыль порядка 1 млрд. дол. и сделать революцию в широкополосной связи, оптической связи и обработке информации и создании сверхбыстродействующего компьютера.

Список литературы

1. Майер А.А. Оптическое самопереключение однонаправленных распределенно-связанных волн // УФН, 1995.-Т.165.- № 9. С.1037-1075.

2. Майер А.А. Экспериментальное наблюдение явления самопереключения однонаправленных распределенно-связанных волн // УФН, 1996.-Т.166 -№ 11. - С.1171-1196.

3. G.S. Khulap, A.A. Tretyakov A Model of Computer structure Organization for Solving Global Optimization Problems with Algorithmic Complexity That is Independent of the Problem Size, journal of Computer and systems Science International. 2012. Voe 5. №2. Pp282-290.

Статья поступила в редколлегию 20.05.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф., С.В. Цюцора, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев.