

5. Gudaev O. A., Malinovsky V. K., Paul E. E. The influence of photoexcitation level on the process of charge transfer in polycrystalline PbS films // Thin Solid Films.—1991.—198.—P. 35.

Поступила в редакцию 24 июня 1992 г.

УДК 681.142.67

В. П. Торчигин

(Москва)

НОВЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОПТИЧЕСКИХ ВЕНТИЛЕЙ

Рассматривается подход к проектированию полностью оптических логических вентилях для цифровых оптических систем обработки и передачи данных, основанный на введенных понятиях оптического тока и напряжения. Анализируются оптические аналоги электронного триггера, автогенератора и мультивибратора.

Введение. В настоящее время работы по созданию полностью оптических вентилях стимулируются перспективой непосредственной обработки передаваемых по оптическим линиям связи сигналов в темпе, который такие линии допускают, т. е. более 10^{12} бит/с, и который не может быть обеспечен электронными средствами.

Трудности создания высокоскоростных полностью оптических вентилях связаны с тем, что малоинерционные нелинейные оптические среды, которые необходимы для создания таких вентилях, имеют слабые нелинейности. Поэтому требуются чрезвычайно высокие интенсивности оптического излучения (до 10^9 Вт/см²), чтобы создать заметное изменение оптических свойств нелинейной среды.

Известны два подхода для уменьшения требуемых интенсивностей. Первый предполагает использование оптических резонаторов, в которых интенсивность поля может быть увеличена в Q^2 раз, где Q — добротность резонатора. Второй подход предполагает использование систем из распределенно связанных нелинейных световодов. Короткие оптические импульсы, одновременно распространяющиеся по параллельным световодам, взаимодействуют друг с другом, причем эффект от взаимодействия накапливается постепенно и пропорционален времени взаимодействия и, следовательно, длине световодов.

В работе [1] обоснован принцип дуальности, согласно которому каждому резонаторному оптическому вентилю может быть поставлен в соответствие волноводный и наоборот. Это позволило рассмотреть несколько типов новых волноводных вентилях, для которых известны резонансные аналоги. В настоящей работе, если не оговаривается особо, имеются в виду оба типа вентилях.

Условия проектирования оптических вентилях качественно отличаются от условий проектирования электронных. В последнем случае имеется возможность соединить линиями связи различные компоненты (транзисторы, резисторы) вентилях, а также объединить несколько вентилях в систему. В первом случае такие широкие возможности отсутствуют, можно лишь организовать слабую связь через поля рассеяния между соседними резонаторами или световодами. Кроме того, можно организовать взаимодействие между различными резонаторными или волноводными модами. Однако в любом случае непосредственная связь с помощью световодов между оптическими вентилями, расположенными в одной плоскости, трудноосуществима.

Практически во всех проектах оптических систем для цифровой обработки оптических сигналов сигналы от вентилях излучаются перпендикулярно плоскости, в которой они расположены, каким-то образом коммутируются и поступают на вентили, расположенные в этой же или другой плоскости. Известен

лишь один проект [2], где предполагается непосредственно передавать сигналы между вентилями в одной плоскости средствами интегральной оптики, как это делается в электронике.

При разработке и анализе различных типов вентиляей оказывается, что во всех типах используется достаточно ограниченное число приемов, различные комбинации которых приводят к различным типам вентиляей. При разработке некоторого конкретного типа возникает множество альтернатив. Все это ведет к ситуации, когда попытка рассмотреть некоторый конкретный тип вентиля порождает несколько новых.

Это свидетельствует о том, что назрела необходимость разработать методику проектирования вентиляей с тем, чтобы, как в электронике, на основе известных методов и приемов можно было проектировать вентиляи в соответствии с требуемыми свойствами.

Обобщенный закон Ома, последовательное и параллельное подключение нагрузок в оптической системе. Под оптической схемой будем иметь в виду систему из взаимно связанных волноводов или резонаторов, которые назовем элементами оптической схемы (ЭОС). Поскольку некоторый линейный волновод без потерь в волноводном варианте является аналогом внешнего возбуждающего источника [1], то для однотипности такие возбуждающие источники будем также изображать в виде ЭОС. Рассмотрение начнем с простейших ситуаций, постепенно переходя к более сложным.

Простейшая оптическая схема показана на рис. 1, *b*. Здесь ЭОС 1 — аналог источника возбуждения в виде линейного волновода без потерь, по которому распространяется волна амплитуды α_1 , или в виде линейного резонатора без потерь, в котором возбуждены колебания амплитуды α_1 ; ЭОС 2 — аналог нагрузки в виде линейного волновода или линейного резонатора с потерями, характеризуемыми коэффициентом затухания σ . Расстройка ЭОС 2 относительно ЭОС 1 характеризуется параметром d , а связь между ЭОС 1 и 2 — коэффициентом связи c . Уравнения, описывающие изменения амплитуд α_1, α_2 в ЭОС 1, 2, имеют следующий вид:

$$d\alpha_1/d\xi = -j c \alpha_2, \quad (1)$$

$$d\alpha_2/d\xi = -(\sigma + j d) \alpha_2 - j c \alpha_1. \quad (2)$$

Если $c \ll \sigma$, то при $\xi = (2 + 3)/\sigma$ в ЭОС 2 установятся стационарные состояния с амплитудой

$$\alpha_2 = E/\rho, \quad (3)$$

где

$$E = -j c \alpha_1(0), \quad (4)$$

$$\rho = \sigma + j d. \quad (5)$$

Электронный аналог рассматриваемой оптической схемы показан на рис. 1, *a*. Если наводимый в ЭОС 2 со стороны ЭОС 1 сигнал E отождествить с

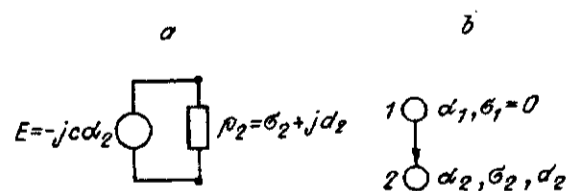


Рис. 1. Простейшая оптическая схема (*b*) и ее электронный аналог (*a*)

оптическим напряжением, а возбуждаемую им амплитуду α_2 в ЭОС 2 — с оптическим током, то выражение (3) соответствует оптическому варианту закона Ома.

Рассмотрим оптическую схему, показанную на рис. 2, б. Система уравнений для амплитуд α_2, α_3 в ЭОС 2, 3 имеет следующий вид:

$$d\alpha_2/d\xi = -\rho_2\alpha_2 - jc_{23}\alpha_3 + E, \quad (6)$$

Из этого выражения следует, что амплитуда в ЭОС 2 равна току в электронной схеме на рис. 2, а. Легко убедиться, что электронным аналогом оптической схемы на рис. 2, д является схема на рис. 2, с.

Таким образом, система из двух ЭОС, показанная на рис. 1, а, соответствует источнику с внутренним сопротивлением ρ_2 , а связанные с ЭОС 2 ЭОС 3—5 — последовательно подключенным к этому источнику напряжения сопротивлениям c_{2i}^2/ρ_i ($i = 3, 4, 5$). В отличие от электронного аналога введение сопротивления в последовательную цепь оптического тока можно осуществлять регулируемым образом, выбирая соответствующий коэффициент связи. Эквивалентная схема на рис. 2, с позволяет рассчитывать амплитуды и рассеиваемые мощности в каждом ЭОС по описанным в учебниках методикам для электрических цепей переменного тока.

Имеется также возможность добавлять ЭОС таким образом, чтобы результирующее оптическое сопротивление при этом уменьшалось, как это имеет место при параллельном подсоединении сопротивления в электронике. В качестве иллюстрации на рис. 3, б показана схема подключения ЭОС 4, при которой вносимое в ЭОС 2 оптическое сопротивление уменьшается.

Нетрудно убедиться, имея в виду (8), что вносимое в ЭОС 2 дополнительное сопротивление $\rho_{\text{вн}}$ определяется выражением

$$\rho_{\text{вн}} = c_{23}^2\rho_4/(\rho_3\rho_4 + c_{23}^2). \quad (9)$$

Если, например, $\rho_3^2 = c_{23}^2 = c_{34}^2/\rho_3$, то $\rho_{\text{вн}} = \rho_3\rho_4/(\rho_3 + \rho_4)$, т. е. результирующее оптическое сопротивление определяется такой же формулой, как параллельное соединение двух сопротивлений в электронике.

В общем случае из теории линейных систем следует, что любой схеме из n сопротивлений может быть поставлена в соответствие оптическая схема из n ЭОС, в которых амплитуды равны токам в каждом из сопротивлений.

Бистабильные оптические устройства. Возвращаясь к схеме на рис. 1, б, предположим, что ЭОС 2 имеет нулевую расстройку ($d = 0$) и абсорбционную

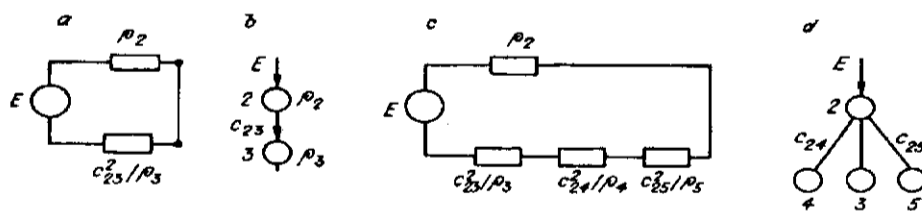


Рис. 2. Преобразование сопротивлений в оптической схеме:

а — электронный аналог оптической схемы (б) из трех связанных ЭОС, с — электронный аналог оптической схемы (д) из пяти ЭОС

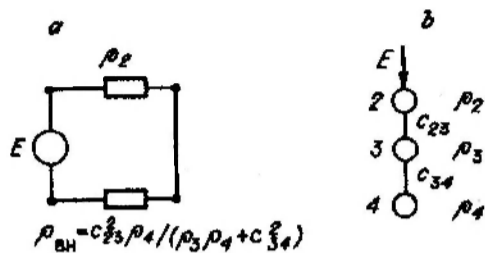


Рис. 3. Схема подключения параллельной нагрузки

просветляющуюся нелинейность. Это соответствует уменьшению r в некотором интервале токов $[i_1 - i_2]$ для эквивалентной схемы на рис. 1, а.

Известно, что если схема на рис. 1, а имеет S-образную вольт-амперную характеристику (рис. 4, а), то в интервале напряжений $[U_1 - U_2]$ система имеет три различных стационарных состояния. Стационарные состояния, соответствующие токам на отрицательном наклоне этой характеристики, нестабильны, и вся система имеет гистерезис.

Такая схема может быть использована в качестве порогового элемента. Действительно, если на схему поступает импульсное напряжение питания и импульсный логический сигнал, сумма которых превосходит порог U_2 , то схема переходит в состояние 2 с большим током.

Все изложенное в полной мере относится и к оптическому варианту рассматриваемой схемы (рис. 4, б). Отрицательное дифференциальное затухание имеют материалы с абсорбционной просветляющейся нелинейностью — так называемые насыщающиеся поглотители. Таким образом, простая аналогия с электронной схемой приводит к пороговому оптическому вентилю. Свойства этого вентиля в резонаторном варианте рассмотрены в [3], а в волноводном — в [4].

Известны также нелинейные колебательные системы, например ферромагнитные стабилизаторы напряжения, в которых расстройка зависит от амплитуды. При определенных условиях такие системы также имеют гистерезис и бистабильные состояния. Оптическим резонаторным аналогом таких систем является хорошо известный резонатор Фабри — Перо с дисперсионной нелинейностью [5]. Волноводный оптический аналог таких систем рассмотрен в [1].

Из вышеизложенного следует, что весьма продуктивным является введение понятий оптического напряжения E , оптического тока α и оптического сопротивления ρ . Переходя к соответствующей электронной схеме, можно анализировать оптические системы методами теории цепей переменного тока.

Однако совершенно намеренно будем говорить о постоянных оптическом напряжении e и тока i , характеризуемых целыми числами. Это связано с тем, что в рассматриваемых ниже схемах оптические E и α выступают в том же

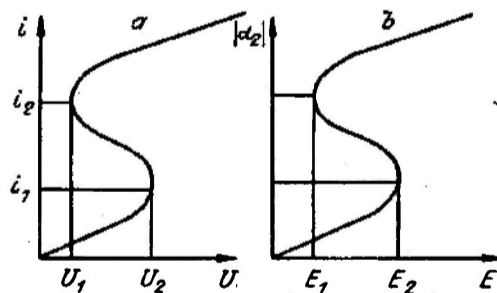


Рис. 4. Бистабильность в ЭОС с просветляющейся нелинейностью

качестве, в каком электрические e и i выступают в электронике, т. е. являются носителями информации и объектами преобразований. Кроме того, ниже дополнительно вводятся понятия оптического переменного напряжения и тока.

Оптический триггер. По аналогии с электронным триггером (рис. 5, *a*) можно рассмотреть оптический триггер, схема которого приведена на рис. 5, *b*. Схема симметрична относительно ЭОС 3, который используется в качестве источника оптического напряжения. Для существования в триггере двух устойчивых состояний должна быть положительная обратная связь, которая делает неустойчивым симметричное состояние триггера.

В электронном триггере такая положительная обратная связь обеспечивается с помощью проводниковых линий связи путем подачи с их помощью напряжений с выхода каждого инвертора на вход другого. В оптике такая возможность трудноосуществима. Однако положительную обратную связь можно организовать при использовании ЭОС 1, 2 с дисперсионной нелинейностью, если установить между ними дополнительную связь c_{12} .

Пусть ЭОС 1, 2 одинаковы и имеют одинаковую отрицательную начальную расстройку d_i относительно источника оптического питания, которая уменьшается по абсолютному значению при увеличении амплитуды в соответствии с выражением $d_i = d_0 + p|\alpha_i|^2$ ($i = 1, 2$). Если, например, интенсивность в ЭОС 1 больше, чем в ЭОС 2, то фаза колебаний в ЭОС 1 из-за его нелинейности будет отставать. Это способствует перекачке энергии из ЭОС 2 в ЭОС 1, и неравномерность интенсивностей в ЭОС 1, 2 усугубляется [6]. Оптический триггер для резонансных ЭОС рассматривается в [7].

На рис. 5, *c* приведены статические характеристики этого триггера, а на рис. 5, *d* показан процесс установления интенсивностей α_1^2, α_2^2 в ЭОС 1, 2, полученный путем численного решения уравнений (6), (7).

В работе [8] рассмотрены логический вентиль на основе такого триггера и примеры реализации более сложных логических схем на основе таких вентилях. Управляющие логические сигналы A, B вводятся соответственно в ЭОС 1, 2 для начального небольшого нарушения симметрии перед тем, как в ЭОС 3 подается сигнал оптического питания. Чтобы сигналы A, B не интерферировали с сигналами, наводимыми в ЭОС 3, они должны иметь различные частоты несущей и/или резонаторные (волноводные) моды. Различные конст-

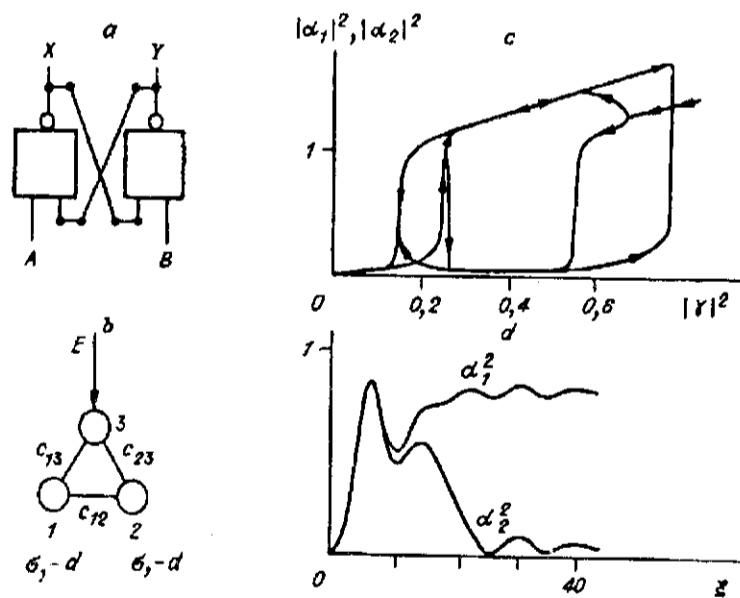


Рис. 5. Электронный аналог (*a*) оптического триггера (*b*); *c* — статические характеристики ($\sigma = 0,2, d_0 = -1, c = 0,3, p = 1$); *d* — процесс переключения

руктивные решения пороговых оптических элементов и основанных на них оптических триггеров рассмотрены в [9—21].

Оптический мультивибратор. Схема оптического мультивибратора показана на рис. 6, *b*, а его электронного аналога — на рис. 6, *a*. Здесь конденсатор *C* заряжается до тех пор, пока не загорится неоновая лампочка *N*. После этого он начинает разряжаться через эту лампочку, пока она не потухнет. Затем процесс повторяется.

Аналогичным образом можно объяснить возникновение релаксационных колебаний (рис. 6, *c*) в схеме оптического мультивибратора на рис. 6, *b*. Пусть ЭОС 1 линейный без затухания с нулевой расстройкой. По своим функциям он аналогичен емкости *C* в электронном аналоге (см. рис. 6, *a*). Пусть ЭОС 2 обладает дисперсионной нелинейностью и имеет начальную отрицательную расстройку $d_{20} = -2$, которая уменьшается по абсолютной величине при увеличении в нем α_2 в соответствии с выражением $d_2 = d_{20} + p|\alpha_2|^2$.

Зависимость стационарного значения α_2 от возбуждающего напряжения E_2 показана на рис. 6, *d*. Из этого рисунка видно, что оптический ток α_2 в ЭОС 2 может скачком увеличиваться при увеличении оптического напряжения E выше некоторого порога E_2 и скачком убывать при уменьшении E ниже порога E_1 , причем $E_1 < E_2$. По своим функциям ЭОС 2 аналогичен неоновой лампочке в электронном аналоге.

Рост колебаний в ЭОС 1 приводит к превышению порога возбуждения E_2 в ЭОС 2. Когда амплитуда в ЭОС 2 становится достаточно большой, в ЭОС 1 вносится достаточно большое затухание и колебания в нем начинают убывать. При этом соответственно убывает оптическое напряжение, которым возбуждается ЭОС 2. Когда это напряжение станет меньше левой границы возбуждения E_1 , колебания в ЭОС 2 срываются, амплитуда их убывает и создаются условия для роста колебаний в ЭОС 1. При этом процесс начинает повторяться.

Точно такое объяснение было дано 25 лет назад наблюдавшимся на практике автомодуляционным колебаниям в СВЧ-генераторах субгармоники с варикапом в качестве нелинейного энергоемкого параметра [22]. Резонатор накачки соответствовал ЭОС 1, резонатор субгармоники с отрицательной расстройкой — ЭОС 2. Связь между резонаторами осуществлялась путем преобразования частоты на нелинейной емкости.

В волноводном варианте ЭОС осцилляции α_1^2, α_2^2 , показанные на рис. 6, *c*, происходят не во времени, а вдоль волноводов. При некоторой фиксированной

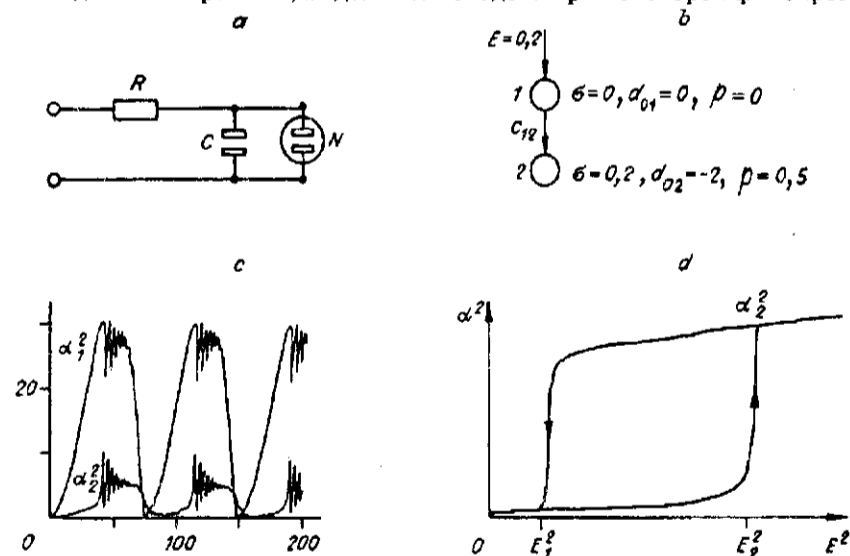


Рис. 6. Электронный аналог (а) оптического мультивибратора (b); *c* — форма колебаний ($E = 0,2, p = 0,5, d_{20} = -2, \sigma_2 = 0,2, d_1 = 0, p_1 = 0, \sigma_1 = 0$); *d* — статическая характеристика ЭОС 2

длине ξ , где заканчиваются волноводы, α_1^2, α_2^2 неизменны во времени при условии, что оптическое напряжение источника питания и параметры волноводов абсолютно неизменны.

Если по длине волноводов укладывается достаточно много периодов колебаний, то небольшие изменения указанных факторов приводят к небольшим изменениям периода колебаний. Но это небольшое изменение, умноженное на большое число периодов, приводит к тому, что фаза колебаний на выходе может изменяться в пределах периода.

Таким образом, небольшие флуктуации указанных факторов приводят к качественному изменению соотношения амплитуд на выходе волноводов. Это обстоятельство является еще одним простым объяснением оптического хаоса — часто наблюдаемого явления в нелинейных волноводных оптических системах.

Генератор переменного оптического напряжения. На рис. 7, а показан электронный автогенератор, а на рис. 7, б — его оптический аналог.

Если напряжение e выбрано таким образом, что протекающий через сопротивление $r_{\text{н}}$ ток соответствует отрицательному участку S-образной вольт-амперной характеристики сопротивления $r_{\text{н}}$, то в LC-колебательном контуре возникнут автоколебания с частотой Δ , приблизительно определяемой выражением $\Delta = (LC)^{-1/2}$.

Аналогичным образом, если постоянное оптическое напряжение E , определяемое выражением (4), выбрано так, что в ЭОС 1, 2 возбуждается оптический ток, который соответствует отрицательному участку оптической «вольт-амперной» S-образной характеристики для затухания с просветляющей нелинейностью σ , то в колебательной системе, образованной ЭОС 1, 2, возникнет переменный оптический ток, частота которого определяется собственной частотой колебательного контура, образованного реактивностями ЭОС 1 и 2.

На рис. 7, с в качестве примера показано изменение $|\alpha_1|^2, |\alpha_2|^2$, полученное путем численного интегрирования уравнений типа (6), (7). Принятая при этом зависимость σ от α^2 показана в рамке.

Для волноводного варианта ЭОС «генерация» сводится к тому, что показанное на рис. 7 изменение амплитуд происходит вдоль волноводов. На выходе этих волноводов амплитуды α_1^2, α_2^2 не зависят от времени, т. е. постоянны. Как и в случае оптического мультивибратора, незначительное изменение уровня возбуждающего оптического напряжения или параметров волноводов приводит к значительному сдвигу фазы колебаний на выходе, т. е. к значительному изменению оптических токов α_1^2, α_2^2 . Это обстоятельство может быть еще одной причиной возникновения оптического хаоса.

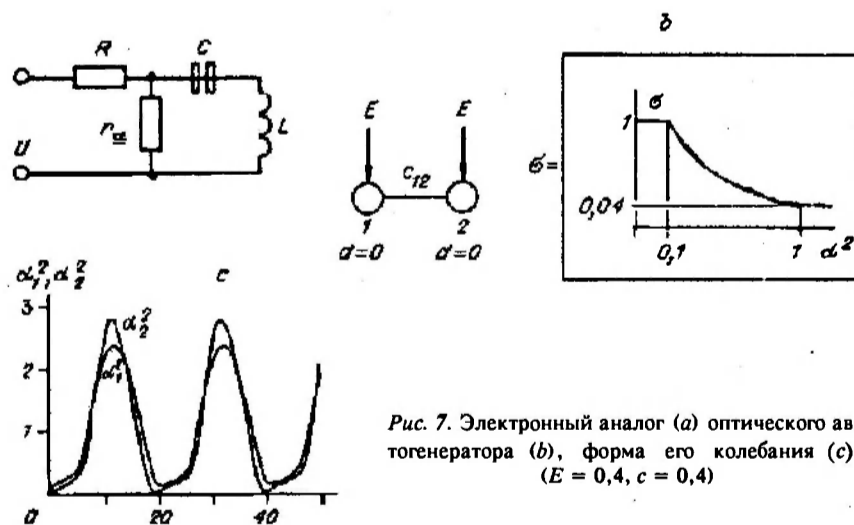


Рис. 7. Электронный аналог (а) оптического автогенератора (б), форма его колебания (с) ($E = 0,4, c = 0,4$)

Переменный оптический ток. Вообще говоря, ток, протекающий через сопротивление r_n на рис. 7, а, не является чисто переменным, так как он имеет отличную от нуля постоянную составляющую. Ток через емкость C является чисто переменным, так как постоянная составляющая для него равна нулю.

По аналогии оптический ток через затухание σ , т. е. амплитуда в ЭОС 2, также не является чисто переменным, так как тоже имеет постоянную составляющую. При синусоидальной огибающей выходной сигнал имеет три спектральные составляющие: $\omega - \Delta$, ω , $\omega + \Delta$. Постоянная составляющая соответствует центральной частоте. Если вместо емкости, которую применяют для фильтрации постоянной составляющей в электронике, поставить заграждающий фильтр в оптике, то на выходе такого фильтра будем иметь оптический переменный ток, состоящий из двух составляющих.

Складывая сигналы двух частот $\omega - \Delta$, $\omega + \Delta$, получим

$$\cos(\omega + \Delta)t + \cos(\omega - \Delta)t = 2\cos\Delta t \cdot \cos\omega t.$$

Забыв на время, что переменный оптический ток имеет множитель $\cos\omega t$ (как и постоянный оптический ток), и сосредоточив внимание на его амплитуде, получим, что эта амплитуда для переменного оптического тока изменяется по закону $\cos\Delta t$, т. е. совершенно так же, как мгновенное значение тока для переменного электрического тока.

Простота получения переменного оптического тока, наличие оптических реактивностей емкостного и индуктивного типа для переменного оптического тока открывают широкий простор для конструирования различных оптических приборов с применением такого тока. Если при использовании понятия постоянного оптического тока речь шла об электронных аналогах, то при использовании переменного оптического тока правильнее говорить о радиотехнических аналогах.

Отличие при практическом применении переменного оптического тока от переменного электрического состоит в абсолютных значениях частоты Δ . Для электрического тока Δ редко превосходит 10^9 Гц, для оптического — Δ может составлять 10^{13} Гц, т. е. на четыре порядка больше.

Поскольку время переходных процессов в системах, основанных на переменном токе, обычно выражается количеством периодов переменного тока, скорость переходных процессов для оптического переменного тока на четыре порядка выше, чем для электрического. Не менее важно и то, что в оптике уже существует много весьма широкополосных технических средств для передачи коротких пикосекундных оптических импульсов.

Резонаторы для оптического переменного тока. Рассмотрим оптическую схему, показанную на рис. 8, а. Для простоты рассмотрения будем предполагать, что затухания в ЭОС 2, 3 равны нулю. Согласно (8) амплитуда α_2 определяется выражением

$$\alpha_2 = Ed_3 / (c_{23}^2 - d_2d_3). \quad (10)$$

Пусть $d_2 = \omega - a$, $d_3 = \omega - b$, где a, b — частоты, при которых d_2 и d_3 соответственно обращаются в нули. График функции

$$F(\omega) = |c_{23}^2 - (\omega - a)(\omega - b)| \quad (11)$$

показан на рис. 8, б. Из этого рисунка следует, что если возбуждать ЭОС 2 переменным оптическим напряжением так, что $E = \cos\Delta t \cdot \cos\omega t$, и выбрать Δ равной $(a + b)/2$, то при изменении Δ от нуля до бесконечности выражение (10) увеличивается, становится равным бесконечности при $((a - b)^2/2 + c_{23}^2)^{1/2}$, а затем уменьшается (рис. 8, в). Таким образом, имеем типичную резонансную кривую. Если $a = b$, то резонансная частота $\Delta = c_{23}$.

Как обычно, при учете потерь амплитуда в резонаторе переменного оптического тока ограничена и определяется этими потерями.

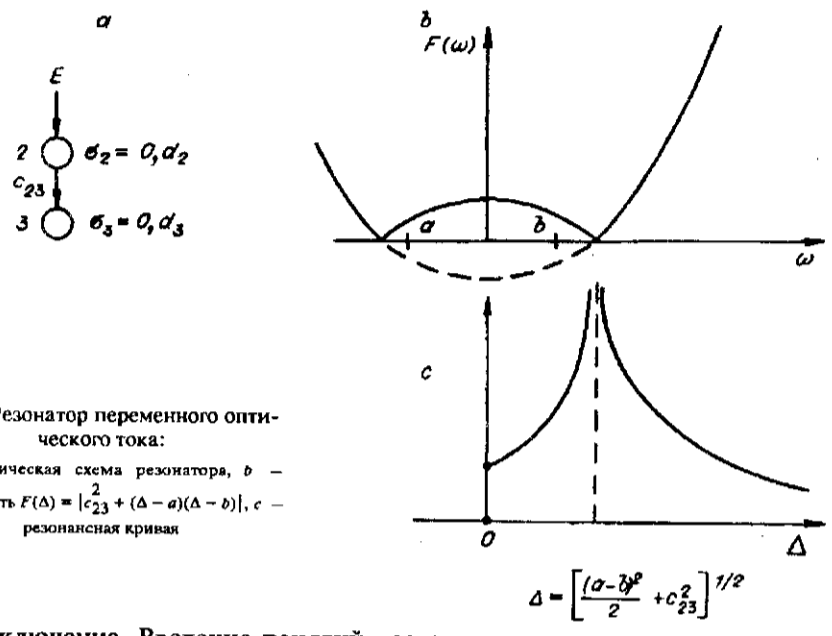


Рис. 8. Резонатор переменного оптического тока:
 а — оптическая схема резонатора, б — зависимость $F(\Delta) = |c_{23}^2 + (\Delta - a)(\Delta - b)|$, в — резонансная кривая

Заключение. Введение понятий постоянных оптического напряжения и тока, активных, реактивных и комплексных, линейных и нелинейных оптических сопротивлений, переменных оптического напряжения и тока оказалось весьма плодотворным, поскольку многие имеющиеся в электронике, радиотехнике и электротехнике методы и средства могут быть использованы при создании оптических аналогов электронных приборов.

Например, для автогенератора оптического переменного напряжения, построенного по аналогии с обычным электронным генератором с отрицательным дифференциальным сопротивлением, такие вопросы, как амплитуда генерации в установившемся режиме, механизмы ограничения этой амплитуды, влияние нагрузки на ее значение, анализ мягких и жестких режимов возбуждения, стабильность параметров генерации, механизмы синхронизации частоты автогенератора внешней силой, частота которой Δ_e слабо отличается от собственной частоты автогенератора Δ_s , а также синхронизация гармоникой или субгармоникой внешней силы, когда $m\Delta_e/n = \Delta_s$, где m, n — небольшие целые, могут быть взяты из учебников по электронным автогенераторам. Из этих же соображений следует, что в недовозбужденном режиме оптический автогенератор может быть использован как регенеративный усилитель оптических сигналов, несущей которых является введенное выше переменное оптическое напряжение. Аналогичная ситуация имеет место для мульти-вibrаторов.

Как уже отмечалось, оптические аналоги электронных приборов имеют два существенных достоинства, которые, несомненно, вызовут к ним интерес со стороны систем высокоскоростной обработки оптических сигналов. Во-первых, частота переменного оптического тока может быть более 10^{12} Гц, что позволяет иметь дело с достаточно короткими оптическими импульсами, и, во-вторых, в настоящее время в оптике уже существуют оптические средства, позволяющие передавать такие оптические токи на достаточно большие расстояния. Обычно упоминаемые достоинства оптической обработки, связанные с отсутствием паразитных индуктивностей, емкостей, перекрестных помех, омических контактов, при этом полностью сохраняются.

Область науки и техники, где используются разработанные в электронике методы для создания чисто оптических приборов, можно назвать оптикой. Эта область качественно отличается от оптоэлектроники, в которой электрические сигналы используются для изменения параметров оптической среды, как это имеет место, например, в модуляторах света, на выходах которых, в

терминах оптоэлектроники, получается модулированный постоянный оптический ток.

Как показано выше, оптоэлектроника располагает собственными средствами для получения такого тока, не прибегая к использованию других физических явлений, точно так же, как электроника располагает собственными средствами для получения постоянного модулированного электрического тока и может не использовать при этом, например, механические прерыватели, как это делалось в старых марках автомобилей, когда еще не существовало электроники и не было электронного зажигания.

В свое время при переходе от механических компьютеров к электронным существовали гибридные, в которых логическими вентилями служили электромагнитные реле, а сигналы передавались по проводам, т. е. электронными средствами. Переход к полностью электронным компьютерам, при котором электроника освободилась от сдерживающей ее скорости возможности механики, позволил резко повысить скорость обработки и привел к качественному скачку в развитии компьютеров.

Аналогичная ситуация имеет место в настоящее время. Оптические средства все шире внедряются для связи между различными компонентами электронного компьютера. Однако электроника не способна использовать в полной мере высокие пропускные способности оптических линий связи. Переход к полностью оптическим компьютерам, при котором оптоэлектроника освободилась бы от сдерживающей ее скорости возможности электроники, позволил бы также резко повысить скорость обработки. При этом также можно ожидать качественного скачка в развитии компьютеров, как это было в свое время при переходе к полностью электронным компьютерам.

Уже в настоящее время существуют нелинейные оптические материалы и технологические возможности для создания полностью оптических вентилях с приемлемыми для практического использования параметрами, способных составить конкуренцию существующим электронным вентилям. В качестве примера можно указать на рассматриваемый выше триггер с использованием постоянного оптического напряжения, который может быть выполнен как в резонансном, так и в волноводном варианте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Torchigin V. P. Wave propagation in nonlinear directionally coupled waveguides // *Opt. Comput. and Process.*—1991.—1, N 4.—P. 337.
2. West L. C. Picoseconds integrated optical logic // *Computer.*—1987.—20, N 12.—P. 34.
3. Pat. 3610731 US. Bistable optical circuit using saturable absorber within a resonant cavity /H. Seidel.—Filed May 19, 1969; Granted Oct. 5, 1971.
4. Торчигин В. П., Спорышев Е. В. Чисто оптические логические элементы на основе распределенно связанных световодов с нелинейным поглощением.—М., 1991.—(Препр. /АН СССР. ВЦКП; 15).
5. Gibbs H. M. *Optical Bistability: Controlling Light with Light.*—L.: Acad. Press, 1985.
6. Торчигин В. П., Кострюков В. А., Романова О. Б., Спорышев Е. В. Устойчивость собственных решений в нелинейном направленном ответвителе // *Квантовая электрон.*—1991.—18, № 10.
7. Торчигин В. П., Синелобов И. А., Стребезж Д. С. и др. Симметричные оптические переключатели на основе нелинейных резонаторов Фабри — Перо.—М., 1991.—(Препр. /АН СССР. ВЦКП; 16).
8. Торчигин В. П., Кострюков В. А., Романова О. Б., Спорышев Е. В. Логические элементы для компьютеров, управляемые оптическими сигналами // *Квантовая электрон.*—1991.—18, № 11.
9. Торчигин В. П. Оптические логические элементы на основе нелинейных интерференционных фильтров.—М., 1991.—(Препр. /АН СССР; 14).
10. Торчигин В. П., Спорышев Е. В. Чисто оптические логические элементы на основе распределенно связанных световодов с нелинейным поглощением // Там же; 15.
11. Torchigin V. P. Wave propagation in nonlinear directionally coupled waveguides // *Opt. Comput. and Process.*—1991.—1, N 4.—P. 337.
12. Торчигин В. П. Оптические вентили на основе поляризационных эффектов // *Квантовая электрон.*—1992.—19, № 4.

13. Торчигин В. П. Поляризационный аналог интерферометра Маха — Цандера в качестве полностью оптического вентиля // Там же.
14. Торчигин В. П. Распространение волн в системе из связанных нелинейных световодов // Там же.
15. Торчигин В. П. Волноводный аналог нелинейного резонатора Фабри — Перо // Там же.
16. Торчигин В. П., Синелобов И. А., Стребез Д. С. и др. Симметричные оптические переключатели на основе связанных резонаторов Фабри — Перо // Там же. — № 5.
17. Торчигин В. П., Синелобов И. А., Стребез Д. С. и др. Оптические логические элементы на основе трех взаимно связанных нелинейных световодов // Там же.
18. Торчигин В. П. Чисто оптические логические элементы на основе распределенно связанных световодов с нелинейным поглощением // Там же.
19. Торчигин В. П. Оптические логические элементы на основе нелинейных интерференционных фильтров // Там же.
20. Torchigin V. P. et al. Symmetrical all-optical gates based on coupled nonlinear Fabry — Perot resonators // ICO Intern. Topical Meeting on OPTICAL COMPUTING.—Minsk, 1992, June 29 — July 1.—P. 29E7.
21. Torchigin V. P. et al. Symmetrical all-optical gates based on coupled nonlinear Fabry — Perot resonators and coupled nonlinear waveguides // Ibid.
22. Торчигин В. П. О некоторых механизмах возникновения автомодуляционных колебаний в СВЧ-параметронах // Радиотехника и электроника.—1967.—13, № 6.

Поступила в редакцию 23 марта 1992 г.

УДК 621.376 : 537.84

И. Н. Кушнарев, С. Н. Шарангович

(Томск)

БИСТАБИЛЬНОСТЬ АКУСТОЭЛЕКТРООПТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ОПТОЭЛЕКТРОННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Рассмотрены бистабильные процессы при акустоэлектрооптическом взаимодействии с оптоэлектронной обратной связью. Определены условия получения оптической, расстройной и электрической бистабильности в условиях сильного акустоэлектрооптического взаимодействия.

Введение. В последнее время большой интерес привлекают исследования эффектов оптической бистабильности в различных нелинейных системах [1]. Это обусловлено тем, что на их основе возможно построение бистабильных оптических элементов, являющихся одними из основных компонентов для реализации логических, переключательных функций и элементов памяти в оптических цифровых системах обработки информации.

Использование акустооптического взаимодействия для реализации оптической бистабильности рассматривалось в [2], посвященной исследованию собственно оптической бистабильности в распределенном резонаторе, созданном звуковой волной в материале с нелинейным поглощением. В [3] сообщалось об исследовании различных бистабильных режимов акустооптической системы с оптоэлектронной обратной связью по акустическому входу. Однако быстродействие описанных в [2, 3] систем ограничено. Гораздо более высоким быстродействием обладают гибридные бистабильные устройства с электрооптической обратной связью [1]. В связи с проблемой создания быстродействующих, многофункциональных бистабильных устройств представляет интерес одновременное использование акусто- и электрооптических взаимодействий. Можно ожидать, что это даст возможность создать быстродействующие бистабильные устройства с перестраиваемыми в процессе работы параметрами.