

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 681.325 : 621.378

Э. Г. КОСЦОВ, А. Н. ПОТАПОВ

(Новосибирск)

ПОРОГОВЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ЛОГИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ

Одно из серьезных препятствий для развития средств цифровой оптической обработки информации — слабое развитие соответствующей элементной базы. Как известно, логический элемент цифрового вычислительного устройства должен не только выполнять функции алгебры логики, но и обладать такой конструкцией, которая обеспечивала бы разделение входных и выходных сигналов, распространение логического сигнала только в одном направлении и допускала возможность нагрузки одного элемента на несколько ему подобных при сохранении уровня сигнала [1].

Основным свойством логического элемента должна являться способность сохранения уровней логического сигнала «0» и «1» при многократных актах передачи информации от элемента к элементу. Эта способность описывается так называемой переходной характеристикой, которая дает возможность определить уровень сигнала на выходе логического элемента в зависимости от уровня сигнала на его входе. Особенности физической реализации оптического логического элемента обсуждаются в работах [2, 3].

Оптический логический элемент, в котором логические сигналы распространяются по оптическому каналу связи, а управление осуществляется с помощью электрического поля, описан в [2], там же приведены методики расчета динамических переходных характеристик элементов, состоящих из модулятора света, фотоэлектрического преобразователя и накопителя энергии.

Качество логического элемента, т. е. возможность сохранения им работоспособности при наличии разброса его основных параметров и определенного уровня помех, характеризуется площадью, ограниченной двумя кривыми, одна из которых  $V_{\text{вых}} = f(V_{\text{вх}})$  — переходная характеристика элемента, а вторая — обратная ей функция.

Из анализа переходных характеристик и общих физических соображений следует, что эти характеристики должны быть существенно нелинейными и участок  $bc$  должен быть возможно более крутым (идеальная переходная характеристика на рис. 1 обозначена пунктиром). Нелинейность переходной характеристики может достигаться либо за счет схемотехнического решения, например, как в работе [2], путем разряда емкости через фотоэлектрический преобразователь, сопротивление которого линейно изменяется от интенсивности падающего на него светового потока, либо за счет нелинейных физических эффектов, носящих пороговый характер в самом фотоэлектрическом преобразователе. В последнем случае элемент обладает существенно нелинейным участком переходной характеристики (пороговой характеристикой). Получение такого рода характеристики чисто схемотехническим путем практически невозможно без серьезного усложнения элемента.

В настоящей работе рассматривается оптический логический элемент, в котором в качестве порогового преобразователя применен пороговый фотоприем-

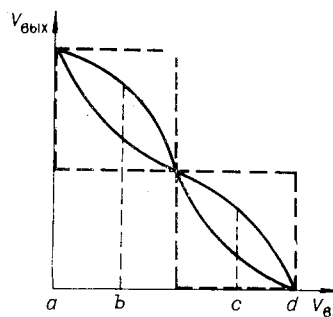


Рис. 1. Переходные характеристики оптического логического элемента.

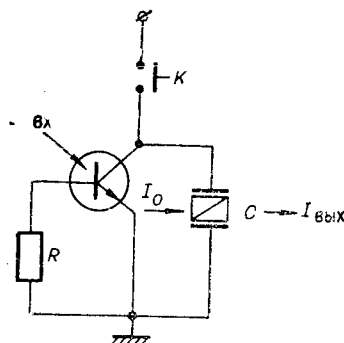


Рис. 2. Схема порогового оптического логического элемента.

ник. Схема такого элемента, состоящего из лавинного фототранзистора  $T$ , модулятора света на кристалле, обладающем линейным электрооптическим эффектом, емкости  $C$  — накопителя энергии, образованной электродами кристалла, и ключа  $K$ , приведена на рис. 2. Порядок функционирования подобного элемента (рабочий цикл) приведен в работе [3]. Вид логической функции, имеющей место на выходе элемента, определяется числом его входов и настройкой модулятора (увеличение пропускания светового потока при увеличении или, наоборот, при уменьшении напряжения на модуляторе). Очевидно, что элемент с одним входом может выполнять функции инвертора или повторителя, а многоходовой элемент — функции Пирса  $y = x_1 V x_2 V \dots V x_n$  или  $y = x_1 V x_2 V \dots V x_n$ . Будем для простоты считать, что элемент выполняет функцию  $y = \bar{x}$ , где  $y$  — световой сигнал на выходе модулятора, а  $x$  — световой сигнал на входе элемента. Введем следующие параметры элемента:  $R_T$  — темповое сопротивление транзистора;  $C$  — емкость, образуемая электродами модулятора;  $R_L$  — сопротивление открытого лавинного канала;  $V_{\lambda/2}$  — полуволновое напряжение модулятора;  $V_L$  — пробойное напряжение на коллекторе транзистора (на модуляторе);  $V_{ост}$  — остаточное напряжение на коллекторе после прекращения лавинного разряда;  $I_0$  — интенсивность светового сигнала считывания;  $I_{пор}$  — пороговая интенсивность входного светового сигнала, при котором возникает лавинный пробой;  $\tau$  — длительность такта считывания (длительность светового сигнала на входе модулятора). Предполагая далее, что  $R_T \gg R_L$  и до начала лавинного пробоя, а также после его окончания транзистор ведет себя как обычный фототранзистор с крутизной характеристики  $S$ , А/Вт, и введя безразмерные параметры  $a = (SR_T I_0)/V_0$ ;  $\alpha = V_{вх}/V_{\lambda/2}$ ;  $\beta = V_{вых}/V_{\lambda/2}$ ;  $t = \tau/(R_T C)$ ;  $\gamma = (I_{пор}/I_0)^{1/2}$ , выразим переходные характеристики такого элемента через напряжение на обкладках модуляторов

$$\left. \begin{aligned} V_{вых} &= V_0 \exp[-t(1 + a \sin(\alpha\pi/2))]; \\ V_{вх} &= V_0 \exp[-t(1 + a \sin(\beta\pi/2))], \end{aligned} \right\}$$

где

$$V_0 = \begin{cases} V_L & \text{при } V_{вх(вых)} \geq \frac{2}{\pi} V_{\lambda/2} \arcsin \gamma; \\ V_{ост} & \text{при } V_{вх(вых)} < \frac{2}{\pi} V_{\lambda/2} \arcsin \gamma. \end{cases}$$

Аналогичные уравнения можно написать, используя в качестве искомых величин интенсивности световых потоков на входе и выходе элемента.

В экспериментальной модели оптического логического элемента использовался кристалл  $\text{LiNbO}_3$   $C=10$  пФ и  $V_{\lambda/2}=600$  В, а в качестве порогового фотоприемника — транзистор КТ605Б, работающий в режиме лавинного пробоя. Транзистор имел следующие параметры:  $R_T/R_L=10^4$ ;  $(V_L - V_{ост})/V_L = 0,3$ . В качестве источника света применялся He-Ne лазер ЛГ-55, порог срабатывания достигался при плотности светового потока  $\approx 2 \div 3 \cdot 10^{-3}$  Вт/см<sup>2</sup>. Переходные характеристики, рассчитанные и проверенные экспериментально, для случая  $V_L=400$  В,  $V_{ост}=280$  В,  $S=0,1$  А/Вт и  $\tau=10^{-5}$  с приведены на рис. 3. Видно, что такой элемент работает при постоянной составляющей напряжения  $\approx 0,7 V_0$ , что резко снижает добротность элемента.

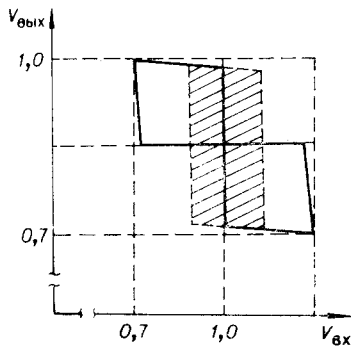


Рис. 3. Переходные характеристики порогового оптического логического элемента. (Штриховкой обозначена область допустимого разброса параметра.)

Можно отметить возможность значительного повышения быстродействия элемента до уровня, сравнимого с быстродействием лучших фотоприемников за счет применения лавинного фототранзистора с меньшей емкостью переходов, уменьшенным коэффициентом  $(V_L - V_{ост})/V_L$ , обладающим низким порогом по свету, а также используя модулятор с меньшим управляющим напряжением, например, модулятор на основе  $\text{Sr}_{0,25}\text{V}_{0,75}\text{Nb}_2\text{O}_6$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Лоу. Физическая реализация цифровых логических схем.— В кн.: Микромощная электроника. М., «Сов. радио», 1967.
2. Э. Г. Косцов, А. М. Мишин. Фотоэлектрические логические элементы.— «Автоматрица», 1976, № 4, с. 28—34.
3. Э. Г. Косцов, В. К. Малиновский, Ю. Е. Нестерихин, А. Н. Потапов. Особенности физической реализации оперативной оптической памяти.— «Автоматрица», 1976, № 4, с. 3—6.

Поступило в редакцию 2 февраля 1976 г.