
ОПТИЧНА І КВАНТОВА ЕЛЕКТРОНІКА В КОМП'ЮТЕРНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

УДК 621.396.6

Л.Б. ЛИЩИНСКАЯ

ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ОПТОИММИТАНСКОЙ ЛОГИКИ

*Винницкий торгово-экономический институт КНТЭУ,
ул. Соборная, 87, г. Винница, Украина,
E-mail: L_FiL1@mail.ru*

Аннотация. Сформулированы основы построения оптоиммитансной логики, рассмотрены возможности реализации оптоиммитансных логических элементов, позволяющие расширить функциональные возможности и улучшить технические параметры различных информационных устройств.

Abstract. Bases of construction of optoimmitance logic are formulated, marketability's of optoimmitance logical elements are considered, that will allow extending functional possibilities and improving the technical parameters of different informative devices.

Анотація. Сформульовані основи побудови оптоімітансної логіки, розглянуті можливості реалізації оптоімітансних логічних елементів, які дозволяють розширити функціональні можливості і поліпшити технічні параметри різноманітних інформаційних пристроїв.

Ключевые слова: иммитанс, оптоиммитансная логика, оптоиммитансный логический элемент, обобщённый преобразователь иммитанса

ВВЕДЕНИЕ

Современная информационная техника в основном базируется на применении видеоимпульсных двоичных логических элементов с использованием, в качестве информационного параметра, дискретных значений постоянных тока или напряжения [1]. Наличие больших потоков видеоинформации, требующей соответствующей обработки, привело к появлению оптоэлектронных логических элементов [2]. Они, как правило, представляют собой комбинацию видеоимпульсных логических элементов и оптических излучателей и приемников. Такие логические элементы обладают двумя существенными недостатками. Во-первых, используемые в этих элементах видеоимпульсные ключи работают в нелинейном режиме, что ограничивает их быстродействие. Во-вторых, успешное взаимодействие оптических и видеоимпульсных элементов требует относительно больших энергетических затрат, связанных с необходимостью изменения рабочей точки ключевой схемы. В результате, добротность $Q = p\tau$ таких оптоэлектронных логических элементов остается невысокой.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Предложенная в [3] концепция иммитансной логики дает возможность создавать высокочастотные логические элементы на активных компонентах, работающих в квазилинейном режиме, что частично позволяет преодолеть вышеперечисленные недостатки. Исходя из этого, в работе поставлена задача разработки концепции построения логических схем, образованных комбинацией оптических приемников и излучателей, и обобщенных преобразователей иммитанса (ОПИ), лежащих в основе иммитансных логических элементов, – оптоиммитансных логических элементов (ОЛЭ).

ОБОСНОВАНИЕ ОПТОИММИТАНСКОЙ ЛОГИКИ

Исходя из определения, в оптоиммитансных логических элементах логический уровень задается наличием (отсутствием) оптического сигнала Φ (на входе или выходе схемы) и соответствующего характера иммитанса W , также на входе или выходе схемы.

Исходя из этого, базовые структуры оптоиммитансных логических элементов можно представить в виде рис. 1.

Оптоиммитансные ЛЭ, в зависимости от физического характера входного и выходного информационного параметра, можно разделить на 8 групп:

1. С оптическим входом и иммитансным выходом (рис. 1а).
2. С иммитансным входом и оптическим выходом (рис. 1б).
3. С оптическими входом и выходом (рис. 1в).
4. С комбинированным (оптическим и иммитансным) входом и иммитансным выходом (рис. 1г).
5. С комбинированным входом и оптическим выходом (рис. 1д).
6. С оптическим входом и комбинированным выходом (рис. 1е).
7. С иммитансным входом и комбинированным выходом (рис. 1ж).
8. С комбинированными входом и выходом (рис. 1з).

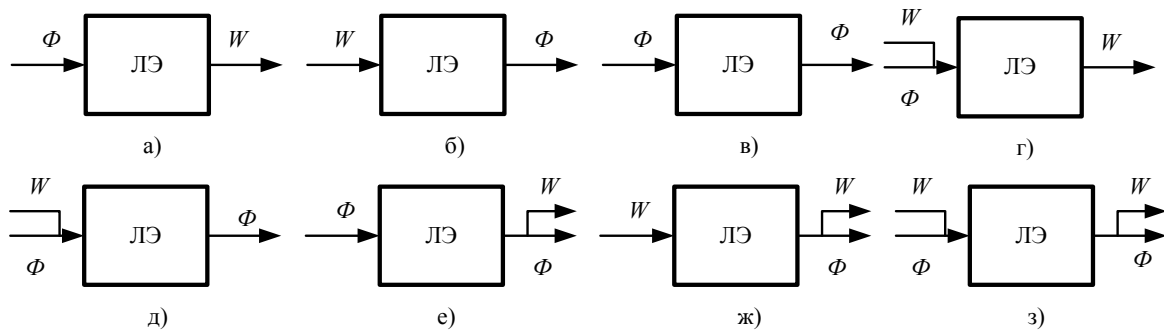


Рис. 1. Разновидности оптоиммитансных логических элементов в зависимости от характера информационного сигнала на его входе и выходе

У таких ЛЭ оптический сигнал – Φ может влиять непосредственно на ОПИ (рис. 2а) или на преобразуемый иммитанс $W_{\tilde{A}}$ (рис. 2б) или одновременно на ОПИ и $W_{\tilde{A}}$ (рис. 2в).

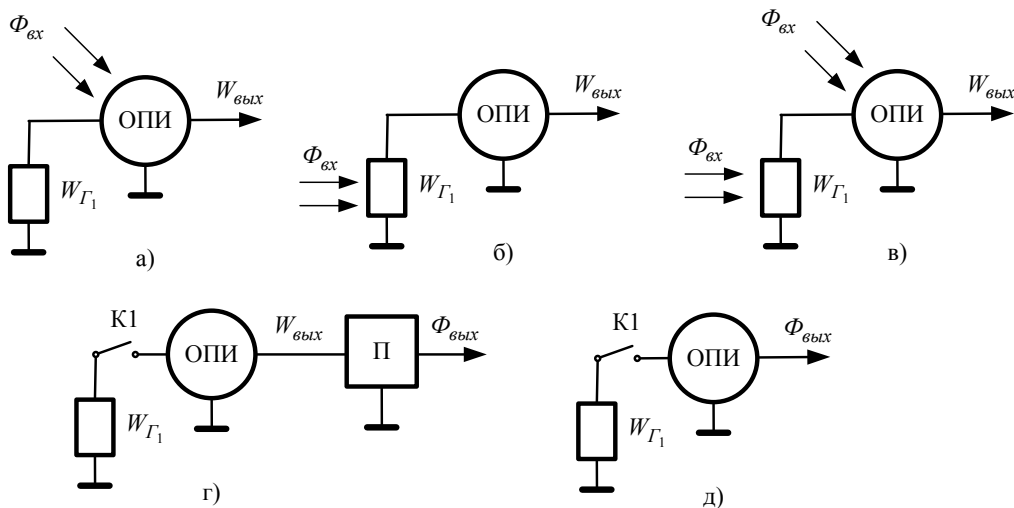


Рис. 2. Разновидности оптоиммитансных ЛЭ на основе однопараметрических ОПИ в зависимости от используемого фотоприёмника (а, б, в) и вида оптического преобразователя (г, д)

В оптоиммитансных ЛЭ с оптическим выходом иммитансный сигнал с выхода ОПИ поступает на преобразователь Π иммитанса в оптический сигнал (рис. 2г) или оптический сигнал поступает непосредственно с выхода ОПИ (рис. 2д), реализуемого на светотранзисторе [4].

Использование многопараметрических ОПИ_N [5] позволяет уменьшить число компонентов при реализации оптоиммитансных ЛЭ. Обобщенные структурные схемы таких ЛЭ с оптическим и комбинированным входами представлены на рис. 3.

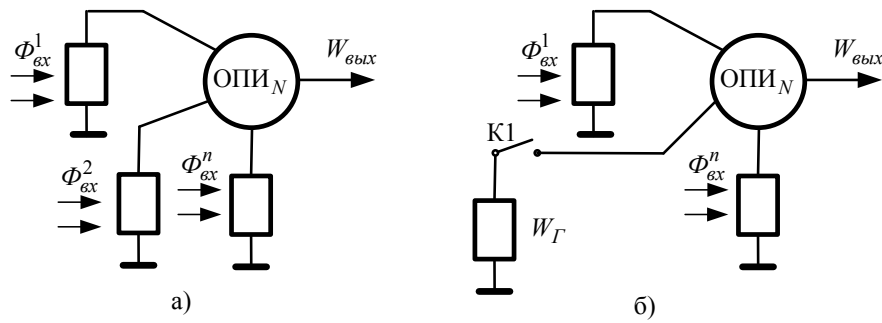


Рис. 3. Обобщенные структурные схемы оптоиммитансных ЛЭ на многопараметрических ОПИ_N

В оптоэлектронных ЛЭ логический уровень характеризуется наличием ($\hat{O} \neq 0$) или отсутствием ($\hat{O} = 0$) оптического сигнала (табл. 1).

Таблица 1

Варианты представления логических уровней оптическим сигналом

Положительная логика		Отрицательная логика	
Логический уровень	Оптический уровень	Логический уровень	Оптический уровень
0	$\hat{O} = 0$	0	$\hat{O} \neq 0$
1	$\hat{O} \neq 0$	1	$\hat{O} = 0$

Как следует из [3], при реализации иммитансных логических схем, возможно использование как положительных ($R^{(+)}, L^{(+)}, C^{(+)}$), так и отрицательных ($R^{(-)}, L^{(-)}, C^{(-)}$) иммитансов и их комбинации. В результате, предлагается восемь вариантов комбинаций таких иммитансов (табл. 2), которые могут быть использованы для отображения соответствующего логического уровня.

Таблица 2

Варианты иммитансного представления логических «0» и «1»

Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3		Вариант 4	
Логический уровень	Имиттансный уровень	Логический уровень	Имиттансный уровень	Логический уровень	Имиттансный уровень	Логический уровень	Имиттансный уровень
Положительная логика							
0	$R^{(-)}$	0	$C^{(-)}$	0	$C^{(+)}$	0	$C^{(+)}$
1	$R^{(+)}$	1	$C^{(+)}$	1	$L^{(+)}$	1	$L^{(-)}$
Отрицательная логика							
0	$R^{(+)}$	0	$C^{(+)}$	0	$L^{(+)}$	0	$L^{(-)}$
1	$R^{(-)}$	1	$C^{(-)}$	1	$C^{(+)}$	1	$C^{(+)}$
Вариант 5		Вариант 6		Вариант 7		Вариант 8	
Логический уровень	Имиттансный уровень	Логический уровень	Имиттансный уровень	Логический уровень	Имиттансный уровень	Логический уровень	Имиттансный уровень
Положительная логика							
0	$L^{(-)}$	0	$C^{(-)}$	0	$C^{(-)}$	0	$C^{(-)}$
1	$L^{(+)}$	1	$C^{(+)}$	1	$L^{(-)}$	1	$L^{(+)}$
Отрицательная логика							
0	$L^{(+)}$	0	$C^{(+)}$	0	$L^{(-)}$	0	$L^{(+)}$
1	$L^{(-)}$	1	$C^{(-)}$	1	$C^{(-)}$	1	$C^{(-)}$

Таким образом, комбинируя, для задания логического уровня, оптические и иммитансные параметры возможна реализация большого количества оптоиммитансных ЛЭ. Например, каждый из рассмотренных простейших ЛЭ (рис. 1а, б) имеет 32 варианта реализации комбинации логических уровней.

ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

В [3] показано, что наиболее перспективной является реализация иммитансных ЛЭ на основе однокристалльных ОПИ, использующих биполярные и полевые транзисторные структуры, способные работать на частотах в десятки и даже сотни ГГц [6]. Исходя из этого, реализацию оптоиммитансных ЛЭ также целесообразно осуществлять на основе таких ОПИ.

Например, для реализации логической функции «НЕ» в качестве входного информационного параметра используется световой поток Φ . Логической единице «1» соответствует наличие светового потока, т.е. $\hat{O} \neq 0$, логическому нулю «0» – отсутствие светового потока, $\hat{O} = 0$. В качестве выходного информационного параметра используются значения активной составляющей полного импеданса $Z_{\hat{a}i\hat{o}}$. Тогда положительное значение активной составляющей импеданса $\text{Re} Z_{\hat{a}i\hat{o}} > 0$ соответствует логической единице «1», а отрицательное значение $\text{Re} Z_{\hat{a}i\hat{o}} < 0$ – логическому нулю «0».

Для реализации ЛЭ используется ОПИ на биполярном транзисторе (рис. 4а), включенный по схеме с общим коллектором.

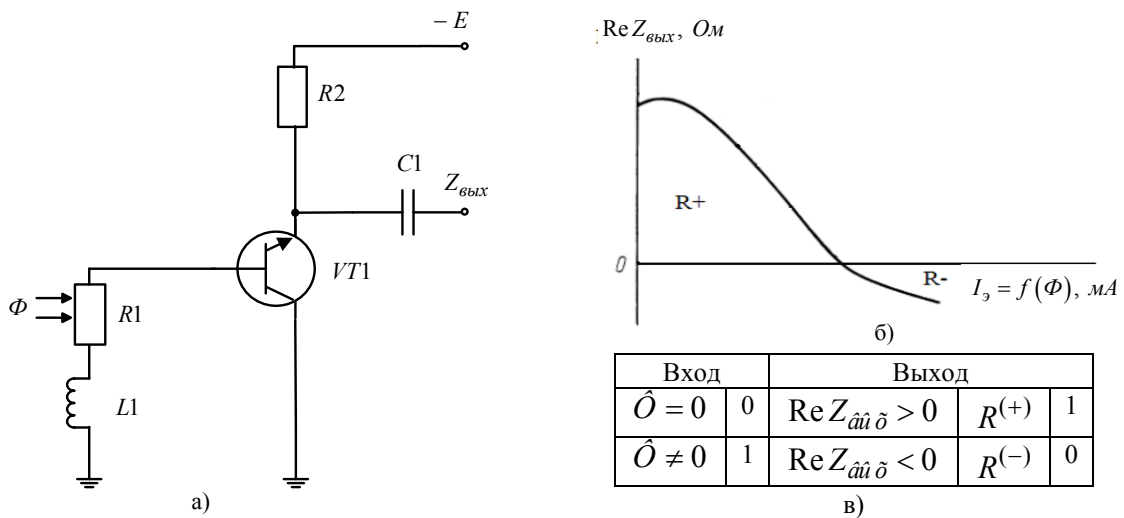


Рис. 4. Оптоиммитансный R-логический элемент «НЕ»: а) – принципиальная схема; б) – зависимость действительной составляющей преобразованного импеданса от интенсивности входного светового потока; в) – таблица истинности

Такой ОПИ является конвертором иммитанса [7]. Преобразуемым импедансом ОПИ служит последовательное соединение фоторезистора $R1$ и индуктивности $L1$. Преобразованный импеданс $Z_{\hat{a}i\hat{o}}$ зависит от наличия или отсутствия оптического сигнала Φ , поступающего на фоторезистор $R1$. Характер зависимости действительной составляющей $\text{Re} Z_{\hat{a}i\hat{o}}$ преобразованного импеданса от тока эмиттера транзистора, который пропорционален интенсивности оптического излучения, приведен на рис. 4б. Если на фоторезисторе $R1$ на входе устройства нет оптического сигнала ($\hat{O} = 0$), что соответствует логическому «0», то на выходе устройства будет положительное значение действительной составляющей преобразованного импеданса ($\text{Re} Z_{\hat{a}i\hat{o}} > 0$), которое соответствует логической «1». Если на фоторезистор $R1$ поступает оптический сигнал ($\hat{O} \neq 0$), что соответствует логической «1», на выходе устройства будет отрицательное значение действительной составляющей преобразованного импеданса ($\text{Re} Z_{\hat{a}i\hat{o}} < 0$), что соответствует логическому «0». Таким образом, реализуется функция «НЕ». Таблица истинности рассмотренного оптоиммитансного R-логического элемента «НЕ» имеет вид, представленный на рис. 4в.

Аналогично выше рассмотренному варианту реализуется LC-логический элемент «НЕ», электрическая схема которого представлена на рис. 5а.

В качестве выходного информационного параметра используется значение реактивной составляющей $\text{Im} Z_{\hat{a}i\hat{o}}$ преобразованного импеданса. Индуктивный характер реактивной составляющей импеданса $\text{Im} Z_{\hat{a}i\hat{o}} > 0$ соответствует логическому «0», а емкостный характер $\text{Im} Z_{\hat{a}i\hat{o}} < 0$ –

логической «1». Преобразуемым иммитансом ОПИ является сопротивление фоторезистора $R1$. Преобразованный иммитанс зависит от наличия или отсутствия оптического излучения на фоторезисторе $R1$. Если на фоторезистор $R1$ не действует излучение ($\hat{O} = 0$), что соответствует логическому «0», ток эмиттера $I_y = 0$ и на выходе устройства будет преобразованный импеданс с емкостным характером реактивной составляющей $\text{Im} Z_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}} < 0$, что соответствует логической «1».

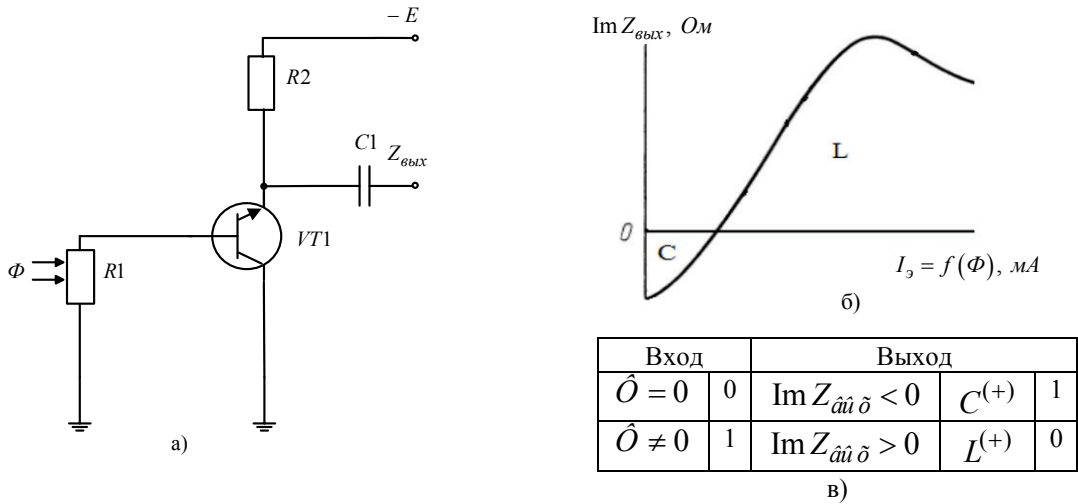


Рис. 5. Оптииммитансный LC-логический элемент «НЕ»: а) – принципиальная схема; б) – зависимость мнимой составляющей преобразованного импеданса от интенсивности входного светового потока; в) – таблица истинности

Если на фоторезистор $R1$ на входе устройства действует оптический сигнал ($\hat{O} \neq 0$), что соответствует логической «1», ток эмиттера $I_y > 0$ и на выходе ЛЭ будет преобразованный импеданс с индуктивным характером реактивной составляющей $\text{Im} Z_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}} > 0$, что соответствует логическому «0». Таким образом, реализуется функция «НЕ». Таблица истинности оптииммитансного LC-логического элемента «НЕ» имеет вид, представленный на рис. 5в.

При подключении нескольких логических элементов «НЕ» (рис. 5) по переменному току к общей нагрузке, реализуется LC-логический элемент «И-НЕ» (рис. 6).

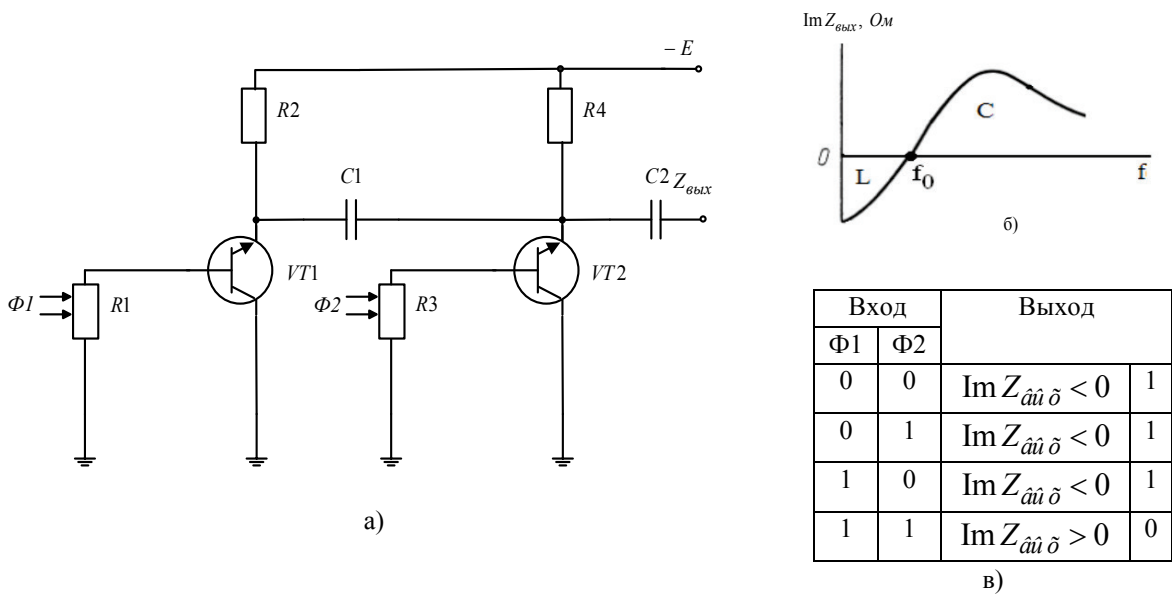


Рис. 6. Оптииммитансный LC-логический элемент «И-НЕ»: а) – принципиальная схема; б) – частотная зависимость преобразованного иммитанса при: $\hat{O}_1 \neq 0, \hat{O}_2 = 0; \hat{O}_1 = 0, \hat{O}_2 \neq 0$; в) – таблица истинности

В схеме индуктивный характер реактивной составляющей выходного импеданса $\text{Im} Z_{\hat{a}\hat{u}\hat{\delta}} > 0$ соответствует логическому «0», а емкостный характер $\text{Im} Z_{\hat{a}\hat{u}\hat{\delta}} < 0$ – логической «1». Схема работает на частоте выше f_0 , где f_0 – резонансная частота параллельного контура, образуемого емкостной и индуктивной составляющими преобразованного импеданса на выходе транзисторов VT1 и VT2. Преобразуемым импедансом ОПИ, реализованного на биполярных транзисторах VT1 и VT2, является сопротивление фоторезисторов R1 и R3. Преобразованный импеданс оптоиммитансного ЛЭ зависит от наличия или отсутствия оптического сигнала на фоторезисторах R1 и R3. Если на фоторезистор не действует оптический сигнал ($\hat{O} = 0$), что соответствует логическому «0», то между эмиттером и коллектором транзистора преобразованный импеданс будет иметь емкостной характер реактивной составляющей (рис. 5б), что соответствует логической «1». Если на фоторезистор воздействует оптический сигнал ($\hat{O} \neq 0$), что соответствует логической «1», растёт ток эмиттера $I_{\hat{e}}$ и между эмиттером и коллектором биполярного транзистора преобразованный импеданс становится индуктивным, что соответствует логическому «0». Каждый каскад отдельно реализует функцию «НЕ». Таким образом, возможна такая комбинация синхронного и раздельного облучения фоторезисторов R1 и R3, при котором реализуется функция «И-НЕ», которой соответствует таблица истинности (рис. 6в).

В рассмотренных оптоиммитансных ЛЭ транзистор, используемый в качестве ОПИ, работает в активном режиме, что обеспечивает высокое быстродействие схемы.

В общем случае, время переключения оптоиммитансного ЛЭ равно:

$$\tau_{\hat{I}\hat{E}} = \tau_{\hat{a}\hat{\delta}} + \tau_{\hat{I}\hat{I}\hat{E}} + \tau_{\hat{a}\hat{u}\hat{\delta}}, \quad (1)$$

где $\tau_{\hat{a}\hat{\delta}}$ – время преобразования оптического сигнала $\hat{O}_{\hat{a}\hat{\delta}}$ в преобразуемый иммитанс $W_{\hat{A}}$; $\tau_{\hat{I}\hat{I}\hat{E}}$ – время преобразования преобразуемого иммитанса $W_{\hat{A}}$ в преобразованный иммитанс $W_{\hat{a}\hat{u}\hat{\delta}}$; $\tau_{\hat{a}\hat{u}\hat{\delta}}$ – время преобразования иммитанса $W_{\hat{a}\hat{u}\hat{\delta}}$ в выходной оптический сигнал $\hat{O}_{\hat{a}\hat{u}\hat{\delta}}$.

В качестве входного преобразователя оптического сигнала в преобразуемый иммитанс возможно использование различных видов фотоприёмников, время преобразования которых представлено в табл. 3.

Таблица 3.

Основные виды фотоприёмников и их инерционность

№ п/п	Вид фотоприёмника	$\tau_{\hat{a}\hat{\delta}}, \text{c}$
1	Фоторезистор	$10^{-5} - 10^{-6}$
2	Кремниевый фотодиод	10^{-7}
3	p-i-n диод	$10^{-9} - 10^{-10}$
4	Диод Шоттки	$10^{-10} - 10^{-11}$
5	Биполярный фототранзистор	$10^{-7} - 10^{-8}$
6	Полевой фототранзистор с p-n переходом	$10^{-5} - 10^{-8}$
7	Тиристор	$10^{-5} - 10^{-8}$
8	Фототранзистор с переходом Шоттки	$10^{-10} - 10^{-11}$

Параметры таких фотоприёмников, применительно к оптоэлектронным ЛЭ, детально проанализированы в работе [2]. В оптоиммитансных ЛЭ, кроме быстродействия преобразования, важен характер иммитанса такого приёмника и его технологичность. Как следует из табл. 6., с точки зрения технологичности, для оптоиммитансных ЛЭ, работающих в диапазоне СВЧ, предпочтительнее использование фотоприёмников со структурой Шоттки, которые обеспечивают $\tau_{\hat{a}\hat{\delta}} \approx (10^{-10} - 10^{-11}) \text{н}$.

Время преобразования преобразуемого иммитанса $W_{\hat{A}}$ в преобразованный иммитанс $W_{\hat{a}\hat{u}\hat{\delta}}$ зависит от вида ОПИ. Наиболее быстродействующими являются однокристалльные ОПИ, реализуемые на биполярных и полевых транзисторных структурах. Минимальное время преобразования иммитанса

такими структурами равно

$$\tau_{\dot{f}} \dot{f} \dot{E} = 1/2\pi f_{\dot{\alpha}\dot{\delta}},$$

где $f_{\dot{\alpha}\dot{\delta}}$ – граничная частота транзисторной структуры.

Учитывая, что в настоящее время разработаны транзисторные структуры с граничной частотой более 100 ГГц, имеем $\tau_{\dot{f}} \dot{f} \dot{E}_{\min} \geq 10^{-12} \tilde{n}$.

Время преобразования преобразованного иммитанса $W_{\dot{\alpha}\dot{\delta}}$ в выходной оптический сигнал зависит от схемы преобразования Π (рис. 2). В предельном случае его минимальное значение определяется инерционностью источника светового потока. Разновидности и параметры таких источников детально рассмотрены в [2]. В оптоиммитансных ЛЭ целесообразно применение некогерентных полупроводниковых источников света – светодиодов, быстроедействие которых, при реализации на основе гетероструктур, составляет $\tau_{\dot{\alpha}\dot{\delta}} \approx (10^{-9} - 10^{-12}) \tilde{n}$.

С учётом проведенного анализа, на основании (1) можно предположить, что потенциальное быстроедействие оптоиммитансных ЛЭ будет составлять порядка $(10^{-10} - 10^{-11}) \tilde{n}$ и зависит от характера информационного сигнала на его входе и выходе.

ВЫВОДЫ

Сформулированные основы построения оптоиммитансной логики позволяют разработать логические схемы обработки оптических сигналов с быстроедействием $(10^{-10} - 10^{-11}) \tilde{n}$.

Оптоиммитансные схемы с оптическим входом являются основой устройств ввода оптической информации для информационных систем, использующих иммитансные ЛЭ, а оптоиммитансные схемы с оптическим выходом являются основой устройств визуализации результатов в таких системах.

При реализации оптоиммитансных ЛЭ целесообразно использование фотоприёмников на основе диодов Шоттки, однокристалльных ОПИ на основе биполярных и полевых транзисторных структур Шоттки, а в качестве фотоизлучателей – светодиоды на основе гетероструктур.

Оптоиммитансные ЛЭ частично обладают преимуществами и недостатками оптоэлектронных и радиочастотных логических схем, и их применение позволяет расширить функциональные возможности и улучшить технические параметры различных информационных устройств, что ставит задачу дальнейшего развития схмотехнического обеспечения этого направления информационной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Преснухин Л.Н. Цифровые вычислительные машины / Л.Н.Преснухин, П.В. Нестеров. – М.: Высш. Школа, 1981. – 511с.
2. Оптоэлектронная схмотехника / В.П. Кожемяко, О.Г. Натрошвили, Т.Б. Мартинюк, Л.Ш. Имнаишвили. – К.: УМК ВО, 1988. – 276с.
3. Ліщинська Л.Б. Імітансна логіка / Л.Б.Ліщинська, М.А. Філінюк // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2010. - № 2(18). – С. 25-31.
4. Feng M. Light-emitting transistor: light emission from InGaP/GaAs heterojunction bipolar transistors / M.Feng, N. Holonyak // Appl. Phys. Lett. – 2004. – Vol. 84. – №1. – pp.151.
5. Ліщинська Л.Б. Визначення, класифікація і параметри багатопараметричних узагальнених перетворювачів імітансу / Л.Б.Ліщинська // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 5. – С. 105–108.
6. Masataka W., Daiji F., Hiroshi Y., Shigeru N. 0.10 um Ion-Implanted GaAs MESFETs with Low Cost Production Process // IEICE Tech. Rep., vol. 107, no. 95, ED2007-31, pp. 1-5, June 2007.
7. Філінюк М. А. Активні УВЧ і НВЧ фільтри : монографія / М. А. Філінюк, Л. Б. Ліщинська. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 396 с. – ISBN 978-966-641-376-8.

Надійшла до редакції 02.09.2011г.

ЛИЩИНСКАЯ Л. Б. – к.т.н., доцент, Винницкий торгово-экономический институт Киевского национального торгово-экономического университета, г. Винница, Украина.