

УДК 621.396.6

Н.А. ФИЛИНЮК, Л.Б. ЛИЩИНСКАЯ, Е.В. ВОЙЦЕХОВСКАЯ, В.П. СТАХОВ

Винницкий национальный технический университет

МОНОИММИТАНСНЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ RLC-ЭЛЕМЕНТЫ

Обоснованы принципы построения моноиммитансных логических RLC-элементов. Разработаны электрические принципиальные схемы и дана аналитическая оценка быстродействия и потребляемой мощности моноиммитансных логических R-элементов «НЕ», «ИЛИ», «И».

Ключевые слова: логический элемент, иммитанс, иммитансный логический уровень.

N. A. FILINYUK, L.B. LISHCHYNSKAYA, O.V. VOYCEKHOVSKA, V. P. STAKHOV

Vinnytsia National Technical University

MONOIMMITTANCE LOGIC R-ELEMENTS

Abstract - The aim of the work is development and researching of monoimittance logical RLC-elements.

The possibility of processing of the information on carrier frequency of a signal, without its transformation to video pulse signals can be solved with using of imittance logic elements. As information parameter in imittance logic elements uses combinations of resistive, inductive and capacitor imittance. Such logic elements are imittance elements. Absence of researches for their realization and estimation of parameters defines relevance of the presented work.

The general principles of monoimittance logic elements and the design of schemes monoimittance logic elements using the resistance to implement logic functions "NOT", "AND" and "OR" are presented in the given article.

Keywords: logic gate, imittance, imittance logic level.

Введение

Современная вычислительная техника использует для передачи и обработки информации видеоимпульсные сигналы [1]. Одновременно, но в значительно меньшей степени, для передачи и обработки информации находят применение оптические [2], акустические [3], гидравлические [4], радиочастотные [5] и другие сигналы. В этих специфических случаях выбор вида сигнала определяется или физической природой обрабатываемого параметра, или улучшением каких либо параметров информационной системы. Например, улучшение помехозащищенности или повышение быстродействия за счет использования оптических сигналов [2]. Проигрывая по большинству показателей системам, использующим видеоимпульсные сигналы, тем не менее такие специфические логические элементы находят применение в специализированных системах, не требующих обработки больших объемов информации и решающих, например, задачи обработки информации на несущей частоте сигнала, без преобразования ее в видеоимпульсные сигналы. Такие задачи могут быть решены с использованием радиочастотных иммитансных логических элементов [6]. В качестве информационного параметра в иммитансных логических элементах используются комбинации резистивного, индуктивного и ёмкостного иммитансов и их можно рассматривать, как мультииммитансные логические элементы. Для практического использования более предпочтительны логические элементы, использующие один информационный параметр, например, только активное сопротивление – (R-элемент), ёмкостной иммитанс – X_C (C-элемент) или индуктивный иммитанс – X_L (L-элемент). Назовём такие логические элементы моноиммитансными элементами. Отсутствие исследований по их реализации и оценке параметров определяет актуальность представленной работы.

Целью работы является разработка и исследование моноиммитансных логических RLC-элементов.

Задачи исследований:

1. Обоснование принципов построения моноиммитансных логических элементов;
2. Разработка схем моноиммитансных логических элементов.
3. Оценка основных параметров.

Обоснование принципов построения моноиммитансных логических элементов

Логический уровень видеоимпульсного логического элемента определяется диапазоном значений напряжений или токов. Кроме напряжения и тока, состояние электрической цепи на переменном токе можно охарактеризовать дифференциальным активным R , ёмкостным X_C и индуктивным X_L сопротивлениями. Следовательно, логические состояния схемы можно характеризовать диапазоном значений этих параметров.

Например, логической единице – «1» соответствует диапазон изменения $R^{(1)} > R_0$, а логическому нулю – «0», соответствует диапазон изменения $R^{(0)} < R_0$ (моноиммитансный логический R-элемент), где R_0 – резистивная граница логического уровня. Аналогично: для ёмкостного сопротивления: «1» $\equiv X_C^{(1)} > X_{C0}$;

«0» $\equiv X_C^{(0)} < X_{C0}$ (моноиммитансный логический C-элемент); для индуктивного сопротивления:
 «1» $\equiv X_L^{(1)} > X_{L0}$; «0» $\equiv X_L^{(0)} < X_{L0}$ (моноиммитансный логический L-элемент).

С учетом данных определений, таблицы истинности моноиммитансных логических элементов, реализующих основные логические функции, можно представить в виде таблиц истинности (рис. 1, 2 и 3):

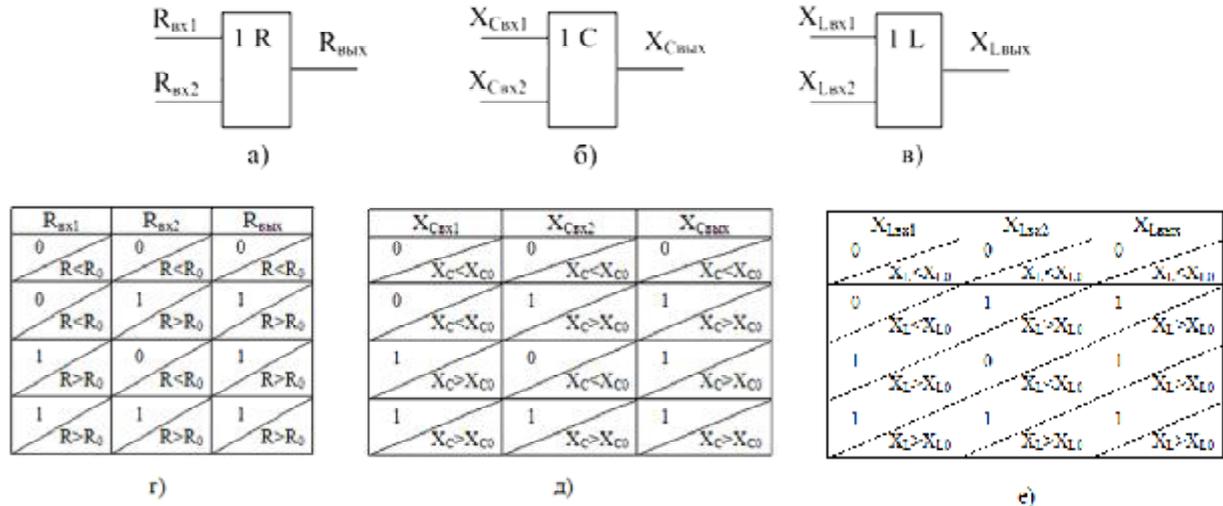


Рис. 1. Обозначение (а,б,в) и соответствующие таблицы истинности (г,д,е) моноиммитансных логических элементов "ИЛИ"

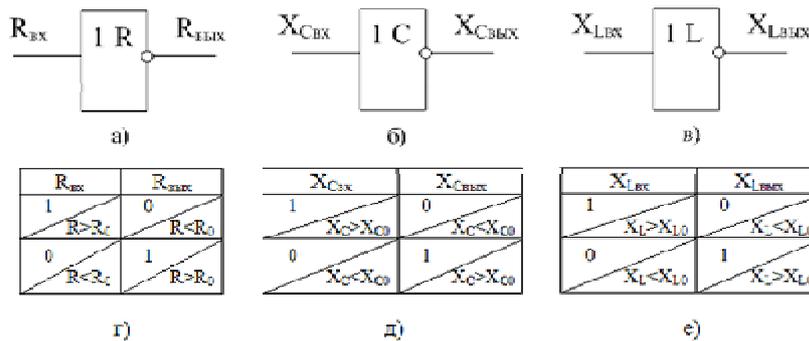


Рис. 2. Обозначение (а,б,в) и соответствующие таблицы истинности (г,д,е) моноиммитансных логических R-элементов "НЕ"

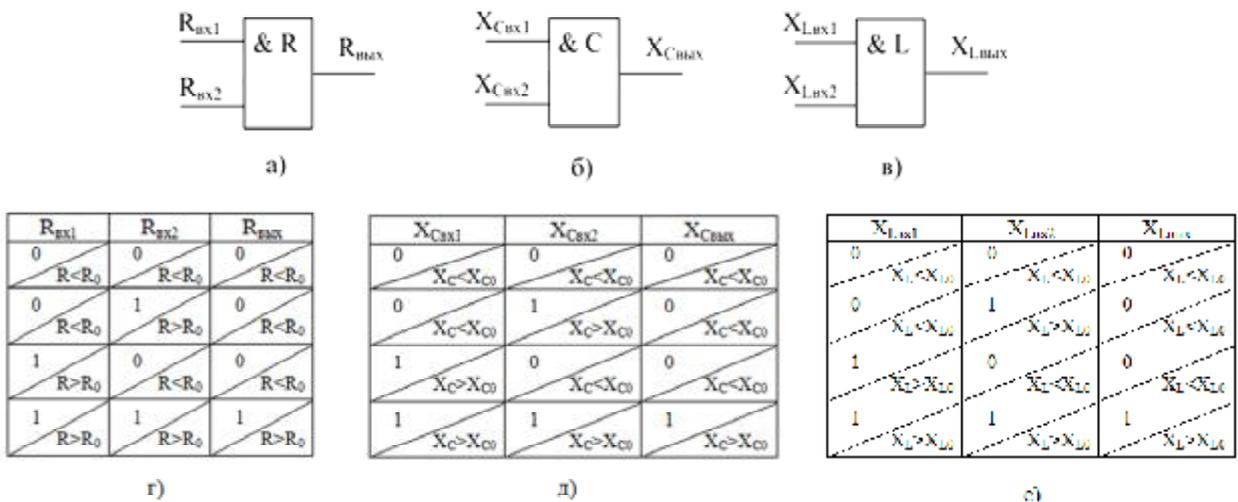


Рис. 3. Обозначение (а,б,в) и соответствующие таблицы истинности (г,д,е) моноиммитансных логических элементов "И"

Как и с видеоимпульсными логическими элементами, также возможно построение моноиммитансных логических R , L , C - элементов, реализующих «отрицательную логику»:
 «1» $\equiv R^{(1)} < R_0$, «0» $\equiv R^{(0)} > R_0$, «1» $\equiv X_C^{(1)} < X_{C0}$, «0» $\equiv X_C^{(0)} > X_{C0}$, «1» $\equiv X_L^{(1)} < X_{L0}$, «0» $\equiv X_L^{(0)} > X_{L0}$.

Учитывая ограниченный объём статьи, на данном этапе ограничимся разработкой и исследованием только моноиммитансных R-элементов.

Разработка схем моноиммитансных логических R-элементов

В качестве простейшего моноиммитансного логического R-элемента «HE» возможно использование свойства четвертьволнового отрезка линии передачи, реализующего «четвертьволновый трансформатор» (рис. 4) [7].

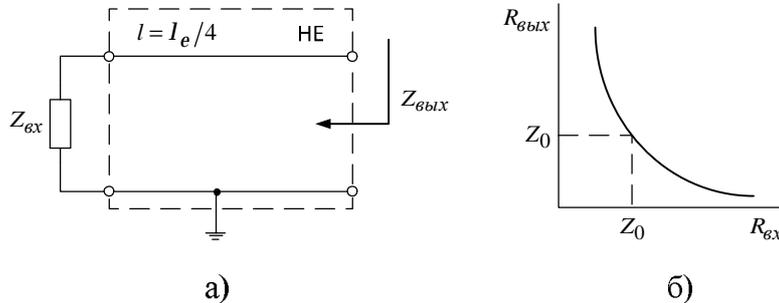


Рис. 4. "Четвертьволновый трансформатор" (а), реализующий моноиммитансный логический R-элемент "HE", и его передаточная характеристика (б)

Выходное сопротивление такого отрезка линии передачи зависит от сопротивления $Z_{вх}$, подключаемого на его входе:

$$Z_{вyx} = Z_0^2 / Z_{ex}, \tag{1}$$

где Z_0 – волновое сопротивление линии передачи.

Если $Z_{ex} = R_{ex}$, тогда $Z_{вyx} = R_{вyx} = Z_0^2 / R_{ex}$. Считая, что Z_0 имеет действительное фиксированное значение, передаточная характеристика такого элемента имеет вид, представлений на рис. 4б. Из графика видно, что при $R_{ex} > Z_0$, $R_{вyx} < Z_0$ и наоборот, что соответствует выше сформулированным условиям построения моноиммитансного логического R-элемента «HE».

Одним из возможных вариантов реализации моноиммитансного логического R-элемента «И» является схема, представленная на рис. 5.

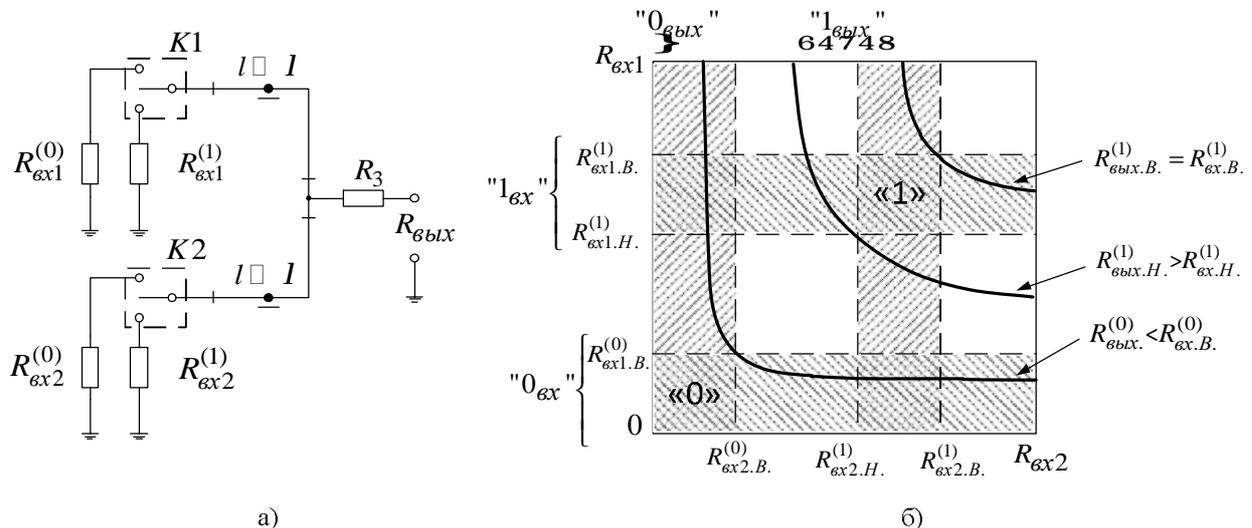


Рис. 5. Электрическая схема (а) и передаточная характеристика моноиммитансного логического R-элемента "И" (б) (на схеме K1 и K2 - условные коммутаторы)

Выходное активное сопротивление схемы при условии, что длина всех соединительных отрезков линии передачи $l \ll \lambda$, где λ – длина электромагнитной волны в линии передачи, равно

$$R_{вyx} = R_3 + \frac{R_{ex1}R_{ex2}}{R_{ex1} + R_{ex2}}. \tag{2}$$

Уравнение (2) описывает иммитансную передаточную характеристику схемы, представляющую в координатах R_{ex1} и R_{ex2} семейство равнобочных гипербол, положение которых может регулироваться величиной резистора R_3 .

Ограничим нулевой логический уровень диапазоном изменения входного сопротивления $(0 \div R_{ex}^{(0)})$, а единичный уровень – диапазоном $(R_{ex.H}^{(1)} \div R_{ex.B}^{(1)})$. Для обеспечения запаса схемы по помехоустойчивости, задаемся верхней границей нулевого логического уровня на выходе схемы из условия $R_{вых.B}^{(0)} < R_{ex.B}^{(0)}$. При этом нижняя граница этого уровня $R_{вых.H}^{(0)} = 0$. Исходя из требований помехоустойчивости границы единичного логического уровня на выходе схемы определяем из условий: $R_{вых.H}^{(1)} > R_{ex.H}^{(1)}$, $R_{вых.B}^{(1)} > R_{ex.B}^{(1)}$. С учётом введённых ограничений, области работы моноиммитансного логического R-элемента «И» определяются заштрихованными квадратами «0» и «1» на рис.5б, соответствующих таблице истинности, представленной на рис.3г.

Электрическая схема возможного варианта реализации моноиммитансного R-логического элемента «ИЛИ» представлено на рис.6а.

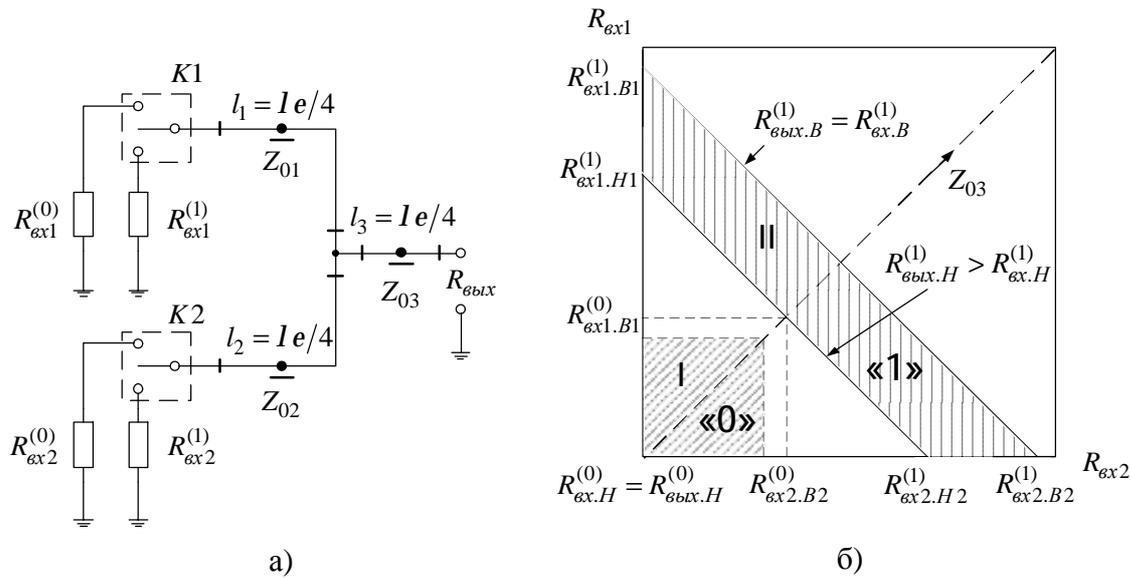


Рис. 6 - Электрическая схема (а) и иммитансная передаточная характеристика моноиммитансного R-логического элемента "ИЛИ" (б) (на схеме K1 и K2 - условные коммутаторы)

Рассчитаем иммитансную передаточную характеристику этого элемента. Учитывая трансформирующие свойства четвертьволновых отрезков линии передачи $l_1 - l_3$, имеющих соответственно волновые сопротивления $Z_{01} - Z_{03}$, находим

$$R_{вых} = \frac{Z_{03}^2 (Z_{01}^2 R_{ex2} + Z_{02}^2 R_{ex1})}{Z_{01}^2 Z_{02}^2}, \tag{3}$$

где Z_{01}, Z_{02}, Z_{03} – волновые сопротивления отрезков линии передачи l_1, l_2, l_3 соответственно. Считая, что входные каналы логического элемента идентичны, т.е. $Z_{01} = Z_{02}$, из (3) находим

$$R_{вых} = \frac{Z_{03}^2 (R_{ex1} + R_{ex2})}{Z_{01}^2}. \tag{4}$$

Из (4) следует, что иммитансная передаточная характеристика логического элемента на плоскости в координатах R_{ex1} и R_{ex2} представляет прямую линию (рис.6б) положение которой может регулироваться путем задания значений волновых сопротивлений Z_{01} и Z_{03} отрезков линии передачи.

Определим возможный диапазон изменения входных иммитансов, соответствующих логическим «нулю» и «единице». Как следует из рис.6б, если при $R_{ex1} = 0$, $R_{вых} = R_{ex2}$, тогда области, где обеспечивается выполнение условий таблицы истинности, будут соответственно для логического нуля на выходе – область «I», а для логической единицы – область «II». Для обеспечения запаса схемы по помехоустойчивости, необходимо ограничить диапазон изменения входных активных иммитансов условиями: $R_{вых.H}^{(1)} > R_{ex.H}^{(1)}$, $R_{вых.B}^{(1)} = R_{ex.B}^{(1)}$, $R_{вых.B}^{(0)} > R_{ex.B}^{(0)}$, $R_{вых.H}^{(0)} = R_{ex.H}^{(0)}$. Одним из возможных вариантов выполнения этих условий является выбор значений волновых сопротивлений Z_{01} и Z_{03} .

Оценка основных параметров

Важнейшими параметрами любого логического элемента являются его быстродействие и потребляемая мощность.

Быстродействие любого иммитансного логического элемента определяется задержкой установления иммитанса выхода логического элемента при изменении значения иммитанса цепи, подключенной к его входу. Для моноимпульсного иммитансного логического R-элемента «НЕ» эта задержка определяется временем прохождения электромагнитной волны от входа до выхода элемента и зависит от длины отрезка линии передачи l и скорости V электромагнитной волны в линии передачи.

$$t = l/V = \frac{l\sqrt{\epsilon m}}{c}, \quad (5)$$

где $V = c/\sqrt{\epsilon m}$ - скорость электромагнитной волны в линии передачи, c - скорость света в свободном пространстве, ϵ и m - соответственно относительные диэлектрическая и магнитная проницаемость диэлектрического материала, заполняющего линию передач между проводниками.

Для схемы моноиммитансного логического R-элемента «НЕ», представленного на рис.4, и реализуемого на основе микрополосковой линии с диэлектрическим заполнением, при $l = l/4$, $m = 1$ имеем:

$$t(HE) = \sqrt{\epsilon}/4f. \quad (6)$$

Например, при использовании в качестве диэлектрической подложки керамики с $\epsilon = 9$, на частоте 10 ГГц, имеем потенциальное значение времени задержки $t_1(HE) = 75$ пСек. При использовании воздушного диэлектрика имеем: $\epsilon = 1$, $t_2(HE) = 25$ пСек. Увеличение несущей частоты до 100 ГГц ведет к росту быстродействия моноиммитансного логического элемента, соответственно до $t'_1(HE) = 7,5$ пСек и $t'_2(HE) = 2,5$ пСек. Еще большее быстродействие можно достичь у моноиммитансного логического элемента «И», у которого длина отрезков линии передачи $l_1 \ll l$, $l_2 \ll l$. Потенциальное быстродействие моноиммитансного логического элемента «ИЛИ» (рис.6а), у которого длина отрезка линии передачи между входом и выходом равна $l = l_1 + l_2$, когда $l_1 = l_2$, составляет $t(ИЛИ) = \sqrt{\epsilon}/2f$, т.е. наблюдается двукратная задержка сигнала по сравнению с моноиммитансным логическим элементом «НЕ».

Вторым важнейшим параметром моноиммитансного логического элемента является величина потребляемой мощности. Учитывая, что рассматриваемые моноиммитансные логические элементы работают без использования постоянного источника питания ($P_0 = 0$), основные затраты энергии связаны с энергетическими потерями в отрезках линии передачи P_l или рассеянием сигнала P_R на омическом сопротивлении R_{ex} цепи, подключаемой ко входу моноиммитансного логического элемента. Вследствие малой длины используемых отрезков линии передачи и низком значении $tgd \leq 10^{-4}$ используемого диэлектрика подложки, потерями P_l в линии передачи можно пренебречь.

Мощность P_R сигнала рассеиваемая на сопротивлении R_{ex} зависит от мощности сигнала P_{\sim} несущей частоты. Её минимальное значение $P_{\sim \min}$ должно быть больше мощности шумов, создаваемых омическим сопротивлением R_{ex} [8]:

$$P_{ш} = 4kT\Delta f, \quad (7)$$

где k - постоянная Больцмана, Δf - полоса рабочих частот, T - абсолютная температура.

Минимальная полоса рабочих частот определяется стабильностью частоты опорного генератора. Например, при относительной стабильности частоты генератора $\Delta f/f = 10^{-6}$ и несущей частоте 1 ГГц, рабочая полоса частот логического элемента равна 1 кГц. В этом случае $P_{ш} = 4 \cdot 290 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 10^3 = 1,6 \cdot 10^{-17}$ Вт. Откуда $P_{ex} > 1,6 \cdot 10^{-17}$ Вт. С учетом необходимости обеспечения коэффициента разветвления по выходу $K_{раз}$ мощность сигнала, потребляемая моноиммитансным логическим элементом, будет равна $P_{\sim \min} = 4kT\Delta f K_{раз}$.

Выводы

1. Обоснованы принципы построения моноиммитансных логических элементов, использующих в качестве информационного параметра значение иммитанса одного характера: или активное, или емкостное, или индуктивное сопротивление, что обеспечивает по сравнению с мультииммитансными RLC-логическими элементами более высокие энергетические характеристики, так как они могут работать без внешнего источника постоянного тока.

2. Проведена численная оценка быстродействия и потребляемой мощности пассивных моноиммитансных логических R-элементов, которая показала, что время переключения таких элементов определяется скоростью распространения электромагнитной волны в линии передачи, частотой и

геометрической длиной линий передачи. Потенциальная оценка задержки сигнала в моноиммитансном логическом R-элементе на частоте 10 ГГц равна 75 пСек и уменьшается с ростом частоты. Энергетические потери в рассмотренных элементах в основном определяются диссипативными потерями на активных сопротивлениях электрических цепей, подключаемых к входам моноиммитансных логических элементов. При использовании опорного генератора с относительной стабильностью частоты 10^{-6} на несущей частоте 1 ГГц величина потребляемой мощности моноиммитансного логического элемента $P_{\sim} > 1,6 \cdot 10^{-17}$ и растет пропорционально коэффициенту разветвления по выходу.

Литература

1. Бабич Н.П. Компьютерная схемотехника. Методы построения и проектирования: Учебное пособие. / И.А. Жуков, Н.П. Бабич – К., «МК-Пресс», 2004. – 576с., илл. - ISBN 966-96415-2-7.
2. Торчигин В.П. Оптические логические элементы на основе нелинейных интерференционных фильтров / В.П. Торчигин - Квант. электрон., т. 19, № 6, 1992. - с. 525 - 624.
3. Pierre A. Deymier Acoustic Metamaterials and Phononic Crystals / A. Pierre - Springer Science & Business Media, 2013. - 392p.
4. Кичак В.М. Радіочастотні та широтно-імпульсні елементи цифрової техніки: Монографія. / В.М. Кичак, О.О. Семенова – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 163с. - ISBN 978-966-641-259-4.
5. Ліщинська Л.Б. Імітансна логіка. / Л.Б. Ліщинська, М.А. Філінюк. – Міжн. науково-технічний журнал “Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія”, №2(18), 2010. – с. 25-31.
6. Лепешкин А.В. Гидравлика и гидропневмопривод. В 2-х частях. Ч. 2: Гидравлические машины и гидропневмопривод: Учебник / А.В. Лепешкин, А. А. Михайлин, А. А. Шейпак. — 4-е изд., доп. и перераб. – М.: МГИУ, 2009. — 352 с. — ISBN 978-5-276-01019-9.
7. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. - М.:Высшая Школа, т.1, 1970 - 439с.
8. Борисов В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи: основы теории и принципы реализации. - М.: Наука, 2009. - 358 с. - ISBN 978-5-02-036943-6.

References

1. Babich N.P. Komp'yuternaya shemotekhnika. Metody postroeniya i proektirovaniya: Uchebnoe posobie. / I.A. Zhukov, N.P. Babich – K., «MK-Press», 2004. – 576s, ill. - ISBN 966-96415-2-7.
2. Torchigin V.P. Opticheskie logicheskie elementy na osnove nelineynykh interferenionnykh fil'trov - Kvant. elektron., t. 19, № 6, 1992, s. 525 - 624.
3. Pierre A. Deymier Acoustic Metamaterials and Phononic Crystals / A. Pierre - Springer Science & Business Media, 2013. - 392p.
4. Kichak V.M. Radiochastotni ta shirotno-impul'sni elementi cifrovoi tehniky: Monografiya. / V.M. Kichak, O.O. Semenova – Vinnicya: UNIVERSUM-Vinnicya, 2008. – 163s. - ISBN 978-966-641-259-4.
5. Lischins'ka L.B. Imitatsna logika. / L.B. Lischins'ka, M.A. Filinyuk. – Mizhn. naukovo-tehnichnyy zhurnal “Informaciyni tehnologii ta komp'yuterna inzheneriya”, №2(18), 2010. – s. 25-31.
6. Lepeshkin A.V. Gidravlika i gidropnevmoпривод. V 2-h chastyah. Ch. 2: Gidravlicheskie mashiny i gidropnevmoпривод: Uchebник / A.V. Lepeshkin, A. A. Mihaulin, A. A. Sheypak. — 4-e izd., dop. i pererab. – M.: MGIU, 2009. — 352 s. — ISBN 978-5-276-01019-9.
7. Lebedev I.V. Tehnika i pribory SVCh. - M.: Vysshaya Shkola, t.1, 1970 - 439s.
8. Borisov V.I. Pomехozaschishennost' sistem radiosvyazi: osnovy teorii i principy realizacii. - M.: Nauka, 2009. - 358 s. - ISBN 978-5-02-036943-6.

Рецензія/Peer review : 14.4.2015 р.

Надрукована/Printed : 13.5.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Перевозніков С.І.