

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
Харьковский национальный университет радиоэлектроники

**ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ  
СОВМЕСТИМОСТИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ  
БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ  
(ЭМС – 2015)**

Сборник научных трудов первой международной  
научно-технической конференции

**Харьков 27 мая 2015 г.**

Харьков 2015

УДК 621.37/.39

Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи (ЭМС-2015) : Сборник научных трудов первой международной научно-технической конференции, Харьков 27 мая 2015 г. / М-во образования и науки Украины, Харьковский национальный университет радиоэлектроники. – Харьков: ХНУРЭ, 2015. – 172 с.

В сборник включены научные доклады участников первой Международной научно-технической конференции «Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи» (ЭМС-2015).

Издание подготовлено кафедрой телекоммуникационных систем  
<http://tcs.kharkov.ua/>

61166, Украина, Харьков, просп. Ленина, 14.  
Тел./факс: +380 (57) 702-13-20,  
+380 (57) 702-55-92.

E-mail: [emc@picst.org](mailto:emc@picst.org)  
<http://emc-2015-ru.weebly.com/>

© Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники, 2015

## РАДИОЧАСТОТНЫЕ МОНОИММИТАНСНЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ R-ЭЛЕМЕНТЫ

Филинюк Н. А., Лищинская Л.Б., Войцеховская Е.В., Стахов В. П.

Винницкий национальный технический университет

21021, г.Винница, Хмельницкое шоссе, 95, Украина,

тел.: (+380432) 560848, E-mail: vntu@vntu.edu.ua

The given work presents the general principles of monoimmittance logic elements, designed schemes monoimmittance logic elements using the resistance to implement logic functions "NOT", "AND" and "OR". Also assessed the performance and power consumption of these elements.

### 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], радиочастотные [3] и другие сигналы. В этих специфических случаях выбор вида сигнала определяется или физической природой обрабатываемого параметра, или улучшением каких либо параметров информационной системы, что может быть достигнуто, например, возможностью обработки информации на несущей частоте сигнала, без преобразования ее в видеоимпульсные сигналы. Такие задачи могут быть решены с использованием иммитансных логических элементов [4]. 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). Такие логические элементы являются моноиммитансными логическими элементами (МИЛЭ). Отсутствие исследований по их реализации и оценке параметров определяет актуальность представленной работы.

### Основная часть

Известно, что логический уровень видеоимпульсного логического элемента определяется диапазоном значений напряжений или токов. Кроме напряжения и тока, состояние электрической цепи на переменном токе можно охарактеризовать дифференциальными активным R, ёмкостным  $X_C = 1/\omega C$  и индуктивным  $X_L = \omega L$  сопротивлениями. Следовательно, логические состояния схемы можно также 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). Учитывая ограниченный объём публикации, на данном этапе рассмотрим только моноиммитансные логические R-элементы (МИЛЭ-R).

В качестве простейшего МИЛЭ-R «НЕ» возможно использование свойства четвертьволнового отрезка линии передачи, реализующего «четвертьволновый трансформатор» (рис. 1) [5].

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

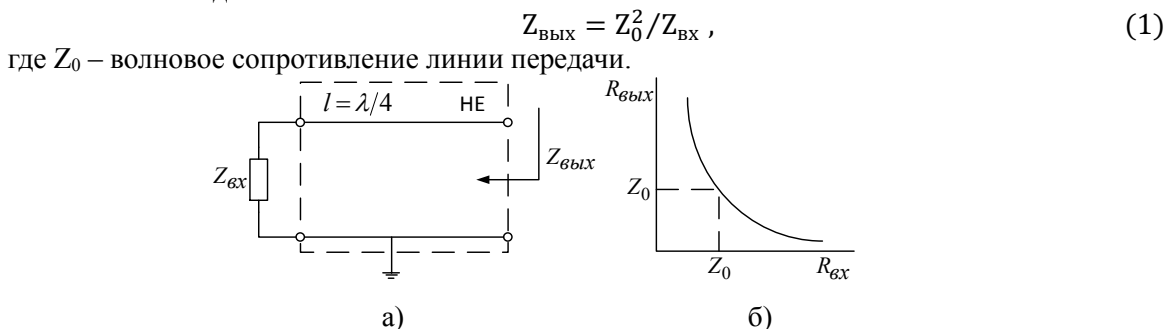


Рис. 1 - "Четвертьволновый трансформатор" (а), реализующий моноиммитансный логический R-элемент "НЕ", и его передаточная характеристика (б)

Если  $Z_{\text{вх}} = R_{\text{вх}}$ , тогда  $Z_{\text{вых}} = R_{\text{вых}} = Z_0^2 / R_{\text{вх}}$ . Считая, что  $Z_0$  имеет действительное фиксированное значение, передаточная характеристика такого элемента имеет вид, представлений на рис. 1б. Из графика видно, при  $R_{\text{вх}} > Z_0$ ,  $R_{\text{вых}} < Z_0$  и наоборот, что соответствует условиям построения МИЛС-Р «НЕ».

Одним из возможных вариантов реализации МИЛС-Р «И» является схема, представленная на рис. 2.

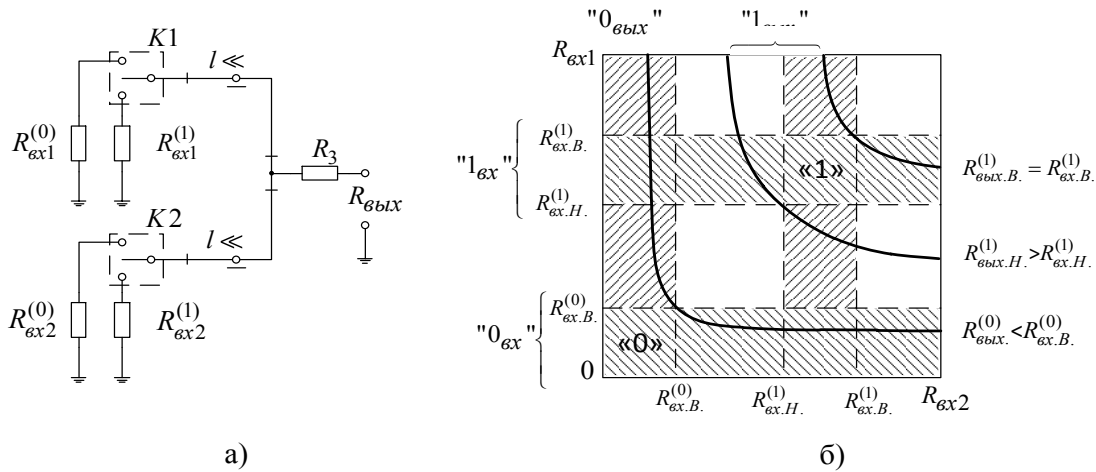


Рис. 2 - Электрическая схема (а) и иммитансная передаточная характеристика (б) МИЛС-Р "И" (на схеме K1 и K2 - условные коммутаторы)

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

$$R_{\text{вых}} = R_3 + \frac{R_{\text{вх1}} R_{\text{вх2}}}{R_{\text{вх1}} + R_{\text{вх2}}}. \quad (2)$$

Уравнение (2) описывает иммитансную передаточную характеристику схемы, представляющую в координатах  $R_{\text{вх.1}}$  и  $R_{\text{вх.2}}$  семейство равнобочных гипербол, положение которых может регулироваться величиной резистора  $R_3$ .

Ограничим нулевой логический уровень диапазоном изменения входного сопротивления ( $0 \div R_{\text{вх.0}}$ ), а единичный уровень – диапазоном ( $R_{\text{вх.1}}^{(1)} \div R_{\text{вх.2}}^{(1)}$ ). Для обеспечения запаса схемы по помехоустойчивости, задаемся верхней границей нулевого логического уровня на выходе схемы из условия  $R_{\text{вых.0}}^{(0)} < R_{\text{вх.0}}^{(0)}$ . При этом нижняя граница этого уровня  $R_{\text{вых.0}}^{(0)} = 0$ . Исходя из требований помехоустойчивости границы единичного логического уровня на выходе схемы определяем из условий:  $R_{\text{вых.1}}^{(1)} > R_{\text{вх.1}}^{(1)}$ ,  $R_{\text{вых.2}}^{(1)} = R_{\text{вх.2}}^{(1)}$ . С учётом введённых ограничений, области работы МИЛС-Р «И» определяются заштрихованными квадратами «0» и «1» на рис.2б.

Электрическая схема варианта реализации МИЛС-Р «ИЛИ» показана на рис.3а.

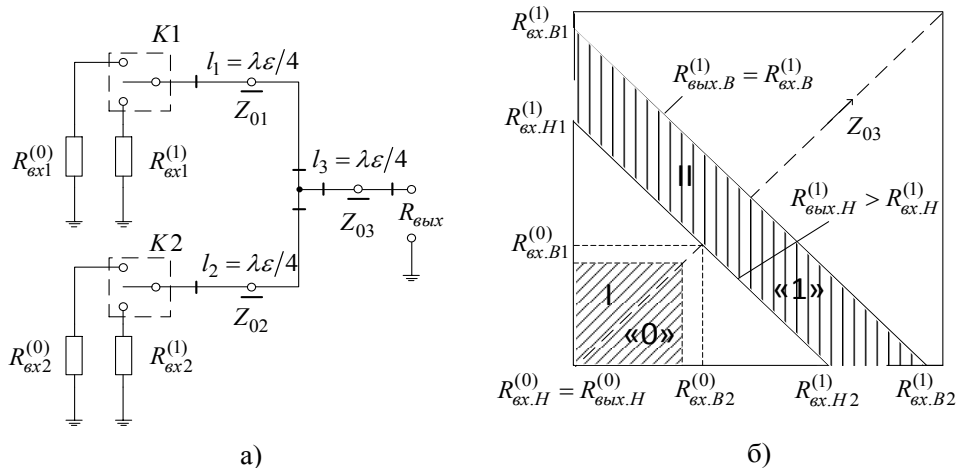


Рис. 3 - Электрическая схема (а) и иммитансная передаточная характеристика (б) моноиммитансного R-логического элемента "ИЛИ"

Учитывая трансформирующие свойства четвертьволновых отрезков линии передачи  $l_1 - l_3$ , имеющих соответственно волновые сопротивления  $Z_{01} - Z_{03}$ , находим

$$R_{\text{вых}} = \frac{Z_{03}^2 (Z_{01}^2 R_{\text{вх}2} + Z_{02}^2 R_{\text{вх}1})}{Z_{01}^2 Z_{02}^2}. \quad (3)$$

Считая, что входные каналы МИЛЭ идентичны, т.е.  $Z_{01} = Z_{02}$ , из (3) находим

$$R_{\text{вых}} = \frac{Z_{03}^2 (R_{\text{вх}1} + R_{\text{вх}2})}{Z_{01}^2}. \quad (4)$$

Из (4) следует, что иммитансная передаточная характеристика МИЛЭ на плоскости в координатах  $R_{\text{вх}1}$  и  $R_{\text{вх}2}$  представляет прямую линию (рис.3б) положение которой может регулироваться путем задания значений волновых сопротивлений  $Z_{01}$  и  $Z_{03}$  отрезков линии передачи. Для обеспечения запаса схемы по помехоустойчивости, необходимо ограничить диапазон изменения входных активных иммитансов условиями:  $R_{\text{вых}H}^{(1)} > R_{\text{вх}H}^{(1)}$ ,  $R_{\text{вых}B}^{(1)} = R_{\text{вх}B}^{(1)}$ ,  $R_{\text{вых}B}^{(0)} > R_{\text{вх}B}^{(0)}$ ,  $R_{\text{вых}H}^{(0)} = R_{\text{вх}H}^{(0)}$ . Выполнение этих условий может быть достигнуто выбором значений волновых сопротивлений  $Z_{01}$  и  $Z_{02}$ .

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

Быстродействие иммитансного логического элемента определяется задержкой установления иммитанса выхода ИЛЭ при изменении значения иммитанса цепи, подключенной к его входу. Для МИЛЭ-R «HE» эта задержка определяется временем прохождения электромагнитной волны от входа до выхода элемента:

$$\tau = l/\mathcal{V} = \frac{l\sqrt{\epsilon\mu}}{\lambda f}, \quad (5)$$

где  $\mathcal{V} = c/\sqrt{\epsilon\mu}$  - скорость электромагнитной волны в линии передачи,  $c$  - скорость света в свободном пространстве,  $\epsilon$  и  $\mu$  - соответственно относительные диэлектрическая и магнитная проницаемость диэлектрического материала, заполняющего линию передач между проводниками,  $f$  - частота сигнала. Для схемы МИЛЭ-R «HE», представленного на рис.1, реализуемой на основе микрополосковой линии с диэлектрическим заполнением, имеем:  $l = \lambda/4$ ,  $\mu = 1$ . Откуда

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

Например, при использовании в качестве диэлектрической подложки керамики с  $\epsilon = 9$ , на частоте 10 ГГц, имеем потенциальное значение задержки  $\tau_1(\text{HE}) = 75$  пСек. При использовании воздушного диэлектрика имеем:  $\epsilon = 1$ ,  $\tau_2(\text{HE}) = 25$  пСек. Увеличение несущей частоты до 100 ГГц также ведет к росту быстродействия МИЛЭ, соответственно до  $\tau_1'(\text{HE}) = 7,5$  пСек и  $\tau_2'(\text{HE}) = 2,5$  пСек. Еще большее быстродействие можно достичь у МИЛЭ «И», у которого длина отрезков линии передачи  $l_1 \ll \lambda$ ,  $l_2 \ll \lambda$ . А потенциальное быстродействие МИЛЭ «ИЛИ» (рис.3а), где длина отрезка линии передачи между входом и выходом равна  $l = l_1 + l_3$ , когда  $l_1 = l_2$ , составляет  $\tau(\text{ИЛИ}) = \sqrt{\epsilon}/2f$ , т.е. наблюдается двукратная задержка сигнала по сравнению с МИЛЭ «HE».

Вторым важнейшим параметром МИЛЭ является величина потребляемой мощности. Мощность  $P_R$  сигнала, рассеиваемая на сопротивлении  $R_{\text{вх}}$ , зависит от мощности сигнала  $P_{\sim}$  несущей частоты. Её минимальное значение  $P_{\sim \text{min}}$  должно быть больше мощности шумов, создаваемых омическим сопротивлением  $R_{\text{вх}}$ :

$$P_{\text{ш}} = 4kT\Delta f, \quad (7)$$

где:  $k$  - постоянная Больцмана,  $\Delta f$  - 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 1ГГц, рабочая полоса частот моноиммитансного логического элемента равна 1кГц. В этом случае  $P_{\text{ш}} = 4.290 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 10^3 = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Вт. Откуда  $P_{\text{вх}\sim} > 1.6 \cdot 10^{-19}$ Вт. С учетом необходимости обеспечения коэффициента разветвления по выходу  $K_{\text{раз}}$ , мощность сигнала, потребляемая МИЛЭ, будет равна  $P_{\sim \text{min}} > 4kT\Delta f K_{\text{раз}}$ .

## 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 распределения электромагнитной волны в линии передачи, частотой и геометрической длиной линии передачи. Потенциальная оценка задержки сигнала в рассмотренном 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 ко входам МИЛЭ. При использовании опорного генератора с относительной стабильностью частоты  $10^{-6}$  на несущей частоте 1 ГГц величина потребляемой мощности МИЛЭ  $P_{\sim} > 1,6 \cdot 10^{-19}$ Вт и растет пропорционально коэффициенту разветвления по выходу.

#### **ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК**

1. Бабич Н.П., Жуков И.А. Компьютерная схемотехника. Методы построения и проектирования: Учебное пособие. – К., «МК-Пресс», 2004. – 576с.
2. Торчигин В.П. Оптические логические элементы на основе нелинейных интерференционных фильтров - Квант. электрон., т. 19, № 6, 1992.
3. Кичак В.М., Семенова О.О. Радіочастотні та широтно-імпульсні елементи цифрової техніки: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 163с.
4. Ліщинська Л.Б., Філінюк М.А. Імітансна логіка. – Міжн. науково-технічний журнал “Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія”, №2(18), 2010.
5. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. - М.Высшая Школа, т.1, 1970 - 439с.