

УДК 621.38

Н.А. ФИЛИНЮК, д-р техн. наук, проф., зав. каф., ВНТУ, Винница,
С.Е. ФУРСА, канд. техн. наук, доц., ВНТУ, Винница,
В.П. СТАХОВ, асп., ВНТУ, Винница

ИССЛЕДОВАНИЕ МОНОИММИТАНСНОГО ЛОГИЧЕСКОГО R -ЭЛЕМЕНТА "ИЛИ"

Приведено обоснование схемы моноиммитансного логического R -элемента "ИЛИ". С помощью компьютерного моделирования исследовано влияние на характеристики логического элемента таких дестабилизирующих факторов, как нестабильность волнового сопротивления отрезка линии передачи, нестабильность фазовой постоянной и появление во входном иммитансе паразитной реактивной составляющей. Ил.: 4. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: моноиммитансный логический R -элемент, компьютерное моделирование, дестабилизирующие факторы.

Постановка проблемы. Развитие вычислительной техники достигло значительного уровня. Основное место в реализации ее технических средств занимают видеоимпульсные логические элементы. Также постоянно ведутся поиски новых принципов построения логических элементов, соответствующих определенным специфическим требованиям. Примером результатов таких исследований могут служить оптические [1], магнитные [2], а также иммитансные логические элементы [3], использующие в качестве информационного параметра характер или величину иммитанса. Благодаря использованию иммитанса становится возможным повысить помехозащищенность и энергетическую эффективность логического элемента [4]. Однако данное направление находится на начальной стадии развития, и поэтому требует дальнейших исследований.

Анализ литературы. Иммитансные логические элементы относятся к радиочастотным логическим элементам, способным осуществлять логические операции на несущей частоте сигнала [5 – 7]. В случае, когда в качестве информационного параметра в иммитансных логических элементах используются комбинации резистивного, индуктивного и емкостного иммитанса, их можно рассматривать как мультииммитансные логические элементы [8]. Для практического использования более целесообразны логические элементы, которые используют один информационный параметр, например, только активное сопротивление – (R -элемент), емкостной иммитанс – (C -элемент) или индуктивный иммитанс – (L -элемент). Такие логические элементы называют моноиммитансными логическими элементами [9]. Моноиммитансные

логические элементы имеют высокое быстродействие и энергетическую эффективность, но меньшую помехозащищенность, чем мультиимитансные логические элементы. Оценка их помехозащищенности и методы ее повышения требуют дополнительных исследований.

Цель работы – исследование моноиммитансного логического R -элемента "ИЛИ", использующего в качестве информационного параметра активное сопротивление, в диапазоне изменения дестабилизирующих факторов. Для достижения этой цели решается задача исследования влияния дестабилизирующих факторов на характеристики логического элемента.

Обоснование схемы моноиммитансного логического R -элемента "ИЛИ"

Для моноиммитансного логического R -элемента (рис. 1, а) информационным параметром является активный иммитанс " R ", а логическое состояние элемента характеризуется диапазоном значений этого параметра. Таким образом, логической единице "1" соответствует диапазон изменения $R^{(1)} > R_0$, а логическому нулю – "0" соответствует диапазон изменения $R^{(0)} < R_0$, где R_0 – резистивная граница логического уровня. Работу моноиммитансного логического R -элемента "ИЛИ" можно описать таблицей истинности, которая представлена на рис. 1, б.

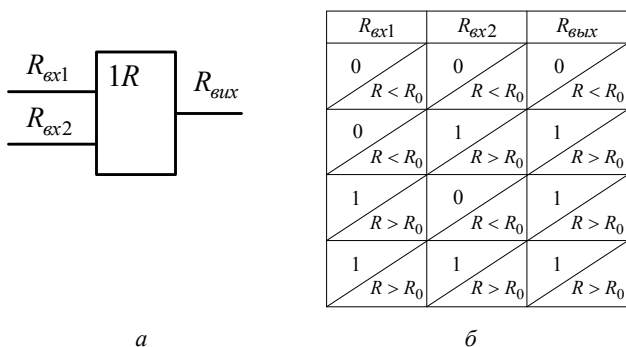


Рис. 1. Схематическое обозначение *a* и таблица истинности *б* моноиммитансного логического R -элемента "ИЛИ"

Электрическая схема возможного варианта реализации моноиммитансного логического R -элемента "ИЛИ" представлена на рис. 2. Логический элемент состоит из четвертьволновых отрезков l_1 , l_2 , l_3 линии передачи, с волновыми сопротивлениями соответственно Z_{01} , Z_{02} , Z_{03} . К входам логического элемента подключены активные сопротивления $R_{вх1}$ и $R_{вх2}$.

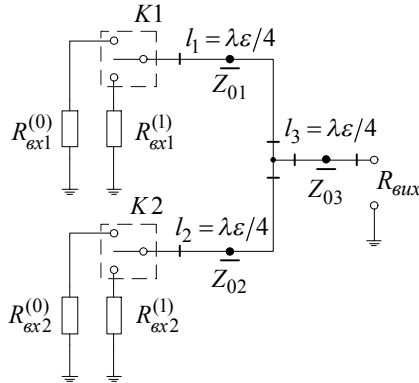


Рис. 2. Электрическая схема моноиммитансного логического R -элемента "ИЛИ" (на схеме $K1$ и $K2$ – условные переключатели)

Иммитансная передаточная характеристика этого элемента, учитывая трансформирующие свойства четвертьволновых отрезков линии передачи l_1 , l_2 , l_3 , описывается выражением

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

Если считать, что входные каналы логического элемента одинаковы, то есть $Z_{01} = Z_{02}$, тогда из (1) находим

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

Из (2) следует, что иммитансная передаточная характеристика логического элемента на плоскости в координатах $R_{\text{вх}1}$ и $R_{\text{вх}2}$ имеет вид прямой линии (рис. 3), положение которой может регулироваться путем

выбора значений волновых сопротивлений Z_{01} , Z_{02} , Z_{03} отрезков линий передачи l_1 , l_2 , l_3 .

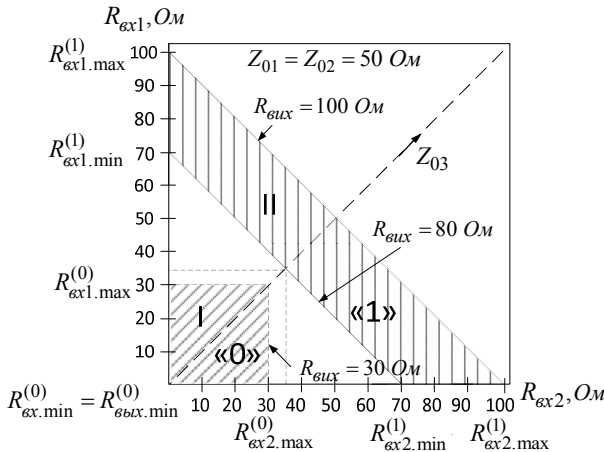


Рис. 3. Иммитансная передаточная характеристика моноиммитансного логического R -элемента "ИЛИ"

На практике параметры реального моноиммитансного логического R -элемента "ИЛИ" будут отличаться от параметров вышерассматриваемого "идеального" элемента из-за влияния дестабилизирующих факторов.

Для обеспечения помехоустойчивости в реальном элементе граница между логическим нулем и единицей определяется не Z_0 , а диапазоном значений $R_{вх}$ и $R_{вых}$ (рис. 3):

$$R_{вх.max}^{(0)} < R_{вх} < R_{вх.min}^{(1)} ; \quad (3)$$

$$R_{вых.max}^{(0)} < R_{вых} < R_{вых.min}^{(1)} . \quad (4)$$

Таким образом, диапазон возможных значений активного импеданса, соответствующий логическому "0" и "1", равен:

– для входного иммитанса

$$0 < R_{вх}^{(0)} < R_{вх.max}^{(0)} ; R_{вх.min}^{(1)} < R_{вх}^{(1)} < \infty ; \quad (5)$$

— для выходного иммитанса

$$0 < R_{\text{вых}}^{(0)} < R_{\text{вых, max}}^{(0)}; R_{\text{вых, min}}^{(1)} < R_{\text{вых}}^{(1)} < \infty. \quad (6)$$

Аналитическое обоснование иммитансной функции преобразования реального R -элемента "ИЛИ"

В реальном моноиммитансном логическом элементе выходной иммитанс $Z_{\text{вых}}$ связан с иммитансами отрезков l_1 , l_2 , l_3 линии передачи, причем, в общем виде приведенный выходной иммитанс отрезка линии передачи имеет вид [10]

$$\bar{Z}_{\text{вых}} = \frac{\bar{Z}_{\text{BX}} + j \cdot \text{tg}\beta}{1 + j \cdot \bar{Z}_{\text{BX}} \cdot \text{tg}\beta} = \text{Re } \bar{Z}_{\text{вых}} + j \cdot \text{Im } \bar{Z}_{\text{вых}}, \quad (7)$$

где

$$\text{Re } \bar{Z}_{\text{вых}} = \bar{R}_{\text{вых}} = \frac{\bar{R}_{\text{BX}} \cdot (1 - \bar{X}_{\text{BX}} \cdot \text{tg}\beta) + \bar{R}_{\text{BX}} \cdot \text{tg}\beta \cdot (\bar{X}_{\text{BX}} + \text{tg}\beta)}{(1 - \bar{X}_{\text{BX}} \cdot \text{tg}\beta)^2 + (\bar{R}_{\text{BX}} \cdot \text{tg}\beta)^2}; \quad (8)$$

$$\text{Im } \bar{Z}_{\text{вых}} = \bar{X}_{\text{вых}} = \frac{(1 - \bar{X}_{\text{BX}} \cdot \text{tg}\beta) \cdot (\bar{X}_{\text{BX}} + \text{tg}\beta) - \bar{R}_{\text{BX}}^2 \cdot \text{tg}\beta}{(1 - \bar{X}_{\text{BX}} \cdot \text{tg}\beta)^2 + (\bar{R}_{\text{BX}} \cdot \text{tg}\beta)^2}, \quad (9)$$

где $\beta = 2\pi \cdot l / \lambda$ – фазовая постоянная, l – длина отрезка линии передачи, λ – длина волны сигнала,

$$\bar{R}_{\text{вых}} = \frac{R_{\text{вых}}}{Z_0}, \quad \bar{X}_{\text{вых}} = \frac{X_{\text{вых}}}{Z_0}, \quad \bar{R}_{\text{BX}} = \frac{R_{\text{BX}}}{Z_0}, \quad \bar{X}_{\text{BX}} = \frac{X_{\text{BX}}}{Z_0}.$$

Так как информационным параметром данного логического элемента является активное сопротивление, следующие вычисления проводятся для активной составляющей иммитанса. Приведенные выходные активные сопротивления $R_{\text{вых1}}$ и $R_{\text{вых2}}$ отрезков l_1 , l_2 линии передачи описываются соответственно выражениями:

$$\bar{R}_{\text{вых1}} = \frac{\bar{R}_{\text{BX1}} \cdot (1 - \bar{X}_{\text{BX1}} \cdot \text{tg}\beta) + \bar{R}_{\text{BX1}} \cdot \text{tg}\beta \cdot (\bar{X}_{\text{BX1}} + \text{tg}\beta)}{(1 - \bar{X}_{\text{BX1}} \cdot \text{tg}\beta)^2 + (\bar{R}_{\text{BX1}} \cdot \text{tg}\beta)^2}; \quad (10)$$

$$\bar{R}_{\text{вых2}} = \frac{\bar{R}_{\text{BX2}} \cdot (1 - \bar{X}_{\text{BX2}} \cdot \text{tg}\beta) + \bar{R}_{\text{BX2}} \cdot \text{tg}\beta \cdot (\bar{X}_{\text{BX2}} + \text{tg}\beta)}{(1 - \bar{X}_{\text{BX2}} \cdot \text{tg}\beta)^2 + (\bar{R}_{\text{BX2}} \cdot \text{tg}\beta)^2}. \quad (11)$$

Входное активное сопротивление нагрузки $\bar{R}_{\text{вх}3}$ и выходное активное сопротивление $\bar{R}_{\text{вых}3}$ отрезка l_3 линии передачи описываются выражениями:

$$\bar{R}_{\text{вх}3} = \frac{\bar{R}_{\text{вых}1} \cdot \bar{R}_{\text{вых}2}}{\bar{R}_{\text{вых}1} + \bar{R}_{\text{вых}2}}; \quad (12)$$

$$\bar{R}_{\text{вых}3} = \frac{\bar{R}_{\text{вх}3} \cdot (1 - \bar{X}_{\text{вх}3} \cdot tg\beta) + \bar{R}_{\text{вх}3} \cdot tg\beta \cdot (\bar{X}_{\text{вх}3} + tg\beta)}{(1 - \bar{X}_{\text{вх}3} \cdot tg\beta)^2 + (\bar{R}_{\text{вх}3} \cdot tg\beta)^2}. \quad (13)$$

Так как выход отрезка l_3 линии передачи является выходом схемы, выходное сопротивление реального моноиммитансного логического R-элемента "ИЛИ" описывается выражением:

$$R_{\text{вых}} = \bar{R}_{\text{вых}3} \cdot Z_{03}. \quad (14)$$

Аналогичным образом рассчитывается и выходное реактивное сопротивление схемы.

Влияние дестабилизирующих факторов на характеристики логического элемента

Из анализа выражений (10) – (14) можно сделать вывод, что основными дестабилизирующими факторами, которые влияют на выполнение неравенств (5) и (6), являются:

1. Нестабильность волнового сопротивления Z_0 отрезка линии передачи.
2. Нестабильность фазовой постоянной β .
3. Появление в входном иммитансе паразитной реактивной составляющей $X_{\text{вх}}$.

Задачей исследования является оценка влияния данных дестабилизирующих факторов и поиск путей для их минимизации.

Оценим влияние неустойчивости волнового сопротивления Z_0 линии передачи на чувствительность выходного активного сопротивления логического элемента при условии, что все другие дестабилизирующие факторы отсутствуют. Чувствительность выходного активного сопротивления схемы от влияния волнового сопротивления отрезков линии передачи описывается выражением

$$S_{Z_0}^{R_{\text{вых}}} = \frac{dR_{\text{вых}}}{dZ_0} \bigg/ \frac{R_{\text{вых}}}{Z_0}. \quad (15)$$

На основе (7) и с учетом (15) с помощью компьютерного моделирования получены расчетные зависимости чувствительности $S_{Z_0}^{R_{\text{вых}}}$ от волнового сопротивления Z_0 при разных значениях приведенного входного активного сопротивления $\bar{R}_{\text{вх}}$ (рис. 4, а).

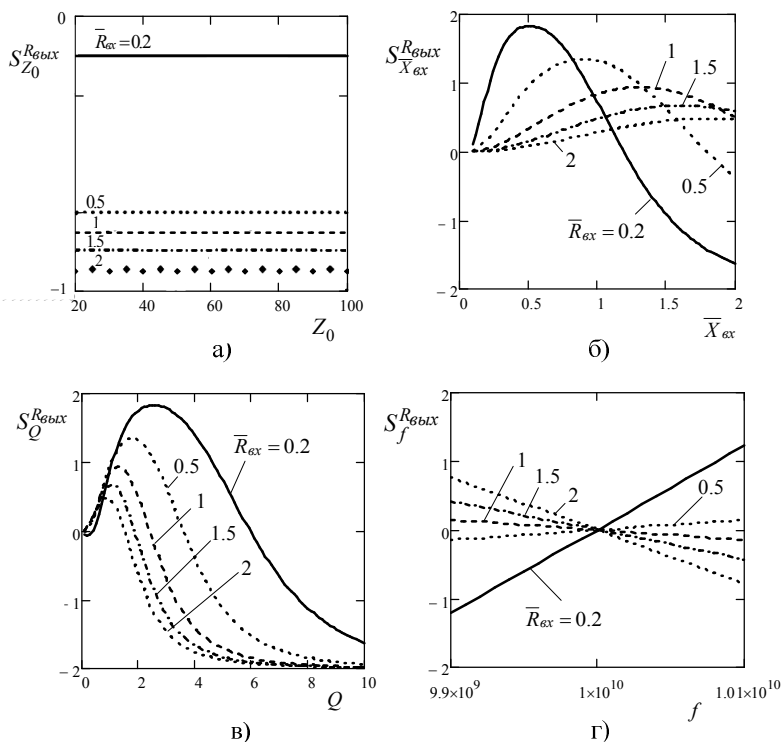


Рис. 4. Расчетные зависимости чувствительности $S_{Z_0}^{R_{\text{вых}}}$ от волнового сопротивления линии передачи (а), чувствительности $S_{\bar{X}_{\text{вх}}}^{R_{\text{вых}}}$ от входного реактивного сопротивления (б), чувствительности $S_Q^{R_{\text{вых}}}$ от добротности (в), чувствительности $S_f^{R_{\text{вых}}}$ от частоты сигнала (г) при разных значениях приведенного входного активного сопротивления $\bar{R}_{\text{вх}}$

Из рис. 4 видно, что чувствительность выходного активного сопротивления $R_{\text{вых}}$ от изменения волнового сопротивления отрезков линии передач Z_0 является постоянной величиной, причем величина чувствительности увеличивается при увеличении значения входного сопротивления $\bar{R}_{\text{вх}}$.

Для оценки чувствительности выходного активного сопротивления $R_{\text{вых}}$ логического элемента от воздействия паразитного реактивного сопротивления $X_{\text{вх}}$ будем считать, что Z_0 , f и l_0 соответствуют идеальному логическому элементу. Чувствительность выходного активного сопротивления $R_{\text{вых}}$ от влияния паразитного реактивного сопротивления $X_{\text{вх}}$ описывается выражением:

$$S_{X_{\text{вх}}}^{R_{\text{вых}}} = \frac{dR_{\text{вых}}}{dX_{\text{вх}}} / \frac{R_{\text{вых}}}{X_{\text{вх}}}. \quad (16)$$

На основе (16) получена зависимость чувствительности $S_{X_{\text{вх}}}^{R_{\text{вых}}}$ при разных значениях приведенного входного активного сопротивления $\bar{R}_{\text{вх}}$ (рис. 4, б), откуда следует, что чем больше значения $\bar{R}_{\text{вх}}$, тем меньше экстремальная величина $S_{X_{\text{вх}}}^{R_{\text{вых}}}$. В таком случае возможным путем уменьшения нестабильности является использование линии передачи с большим волновым сопротивлением Z_0 .

Исследована зависимость работы схемы от добротности $Q = X_{\text{вх}}/R_{\text{вх}}$. Зависимость чувствительности выходного сопротивления от добротности приведена на рис. 4, в, из которой видно, что для получения чувствительности $S_Q^{R_{\text{вых}}} < \pm 1$ нужно уменьшать значение добротности $Q < 1$. В этом случае паразитное реактивное входное сопротивление $X_{\text{вх}}$ практически не влияет на работу схемы.

Фазовая постоянная β зависит от опорной частоты сигнала f_0 . На рис. 4, г дана зависимость чувствительности $S_f^{R_{\text{вых}}}$ от изменения несущей частоты сигнала f при разных значениях приведенного входного сопротивления $\bar{R}_{\text{вх}}$. Из графика видно, что при изменении несущей частоты в диапазоне $\pm 1\%$ величина $S_f^{R_{\text{вых}}}$ не превышает ± 1 при

условии $\bar{R}_{\text{вх}} > 0,2$. Наибольшая стабильность выходного сопротивления $R_{\text{вых}}$ достигается при условии $0,5 < \bar{R}_{\text{вх}} < 1,5$.

Выводы. Проведенные исследования влияния паразитных факторов (изменения волнового сопротивления Z_0 линии передачи и опорной частоты f_0 сигнала, а также наличие паразитного входного иммитанса $X_{\text{вх}}$) на передаточную характеристику логического элемента показали, что изменение величины волнового сопротивления Z_0 линейно влияет на выходное активное сопротивление схемы $R_{\text{вых}}$, причем при увеличении значения входного сопротивления $R_{\text{вх}}$ увеличивается чувствительность $S_{Z_0}^{R_{\text{вых}}}$. Для уменьшения влияния f и $\bar{X}_{\text{вх}}$ рекомендуется использовать отрезок линии передачи с высоким значением Z_0 , а значение $R_{\text{вх}}$ выбирать в диапазоне $0,5 < \bar{R}_{\text{вх}} < 1,5$.

Список литературы: 1. *Arsenault H.* Optical processing and computing / *H. Arsenault*. – Elsevier, 2012. – 509 p. 2. *Sakhbetdinov M.A.* Schemes of effective magnetic and and xor logic elements / *M.A. Sakhbetdinov, P.F. Kartsev* // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2007. – Vol. 71. – №. 8. – P. 1115-1117. 3. *Ліщинська Л.Б.* Імітансна логіка / *Л.Б. Ліщинська, М.А. Філінюк* // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2010. – №. 2. – С. 25-31. 4. *Ліщинська Л.Б.* Оцінка основних параметрів імітансних логічних елементів / *Л.Б. Ліщинська* // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2011. – № 3. – С. 45-52. 5. Электронные радиоимпульсные вычислительные системы дискретного действия / Под ред. Неймана М.С. // Труды московского авиационного института. – Том 149. – М.: Оборонгиз, 1962. – 186 с. 6. *Кичак В.М.* Синтез частотно-импульсных элементов цифровой техники: монография. / *В.М. Кичак*. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 266 с. 7. *Кичак В.М.* Радиочастотні та широтно-імпульсні елементи цифрової техніки: монографія / *В.М. Кичак, О.О. Семенова*. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 163 с. 8. *Філінюк Н.А.* Моноімітанснє логіческє RLC-елементи / *Н.А. Філінюк, Л.Б. Ліщинська, Е.В. Войцеховська, В.П. Стахов* // Вістник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 3. – С. 117-121. 9. *Filinyuk N.A.* Monoimmittance logic R-elements / *N.A. Filinyuk, L.B. Lishchynskaya, O.V. Voycekhovska, V.P. Stakhov* // П'ята міжнародна науково-практична конференція "Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія". – Івано-Франківськ – Вінниця, 2015 р. 10. *Лебедев И.В.* Техника и приборы СВЧ: учебное пособие. Том 1 / *И.В. Лебедев*. – М.: Высшая школа, 1970. – 439 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Arsenault H.* Optical processing and computing / *H. Arsenault*. – Elsevier, 2012. – 509 p. 2. *Sakhbetdinov M.A.* Schemes of effective magnetic and and xor logic elements / *M.A. Sakhbetdinov, P.F. Kartsev* // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2007. – Vol. 71. – № 8. – P. 1115-1117. 3. *Lishchynska L.B.* Imityansna logika / *L.B. Lishchynska, M.A. Filinyuk* // Informacijni tehnologii ta komp'juterna inzhenerija. – 2010. – № 2. – S. 25-31. 4. *Lishchynska L.B.* Ocinka osnovnih parametrov imityansnih logichnih elementiv / *L.B. Lishchynska* // Informacijni tehnologii ta komp'juterna inzhenerija. – 2011. – № 3. – P. 45-52. 5. *Jelektronnye radioimpul'snye vychislitel'nye sistemy diskretnogo dejstvija* / *Pod red.*

Nejmana M.S. // Trudy moskovskogo aviacionnogo instituta. Tom 149. – M.: Oborongiz, 1962. – 186 p. **6.** *Kichak V.M.* Sintez chastotno-impul'snih elementiv cifrovoi tehniki. monografija / *V.M. Kichak.* – Vinnicja: UNIVERSUM-Vinnicja, 2005. – 266 p. **7.** *Kichak V.M.* Radiochastotni ta shirotno-impul'sni elementi cifrovoi tehniki: monografija / *V.M. Kichak, O.O. Semenova.* – Vinnicja: UNIVERSUM-Vinnicja, 2008. – 163 p. **8.** *Filinyuk N.A.* Monoimmitansnye logicheskie RLC-jelementy / *N.A. Filinyuk, L.B. Lishchinskaja, E.V. Voycehovskaja, V.P. Stahov* // Vistnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu. – 2015. – № 3. – P.117-121. **9.** *Filinyuk N.A.* Monoimittance logic R-elements / *Filinyuk N.A., Lishchynskaya L.B., Voycekhovska O.V., Stakhov V.P.* // P'jata mizhnarodna naukovo-praktichna konferencija "Informacijni tehnologii ta komp'juterna inzhenerija". – Ivano-Frankivs'k – Vinnicja, 2015. **10.** *Lebedev I.V.* Tehnika i pribory SVCh: uchebnoe posobie. Tom 1 / *Lebedev I.V.* – M.: Vysshaja shkola, 1970. – 439 p.

Поступила (received) 13.09.2015

Статью представил д.т.н., проф. ВНТУ Перевозников С.И.

Filinyuk Nikolaj, Dr.Sci.Tech, Professor
Vinnytsia National Technical University
95 Khmelnytske shose, Vinnytsia, Ukraine, 21021
tel./phone: (067) 171-22-97, e-mail: N_Fil_45@mail.ru
ORCID ID: 0000-0001-9600-9082

Fursa Svitlana, PhD Tech.
Vinnytsia National Technical University
95 Khmelnytske shose, Vinnytsia, Ukraine, 21021
tel./phone: 063 880 41 32, e-mail: pip_1@mail.ru
ORCID ID: 0000-0003-4678-1423

Stakhov Volodymyr, PhD-student
Vinnytsia National Technical University
95 Khmelnytske shose, Vinnytsia, Ukraine, 21021
tel./phone: (097) 840-29-97, e-mail: vladstakhov@mail.ru