

RS-ТРИГГЕР НА МОНОИММИТАНСНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ R-ЭЛЕМЕНТАХ «ИЛИ-НЕ»

Приведено обоснование схемы RS-триггера на моноиммитансных логических R-элементах «ИЛИ-НЕ» и разработана его математическая модель. Исследовано влияние на характеристики RS-триггера дестабилизирующих факторов: нестабильность волнового сопротивления линии передачи, добротности входных активных импедансов и нестабильность опорной частоты генератора.

Ключевые слова: триггер, логический элемент, иммитанс, дестабилизирующие факторы.

M.A. FILYNYUK, L.B. LISHCHYNSKA

Vinnitsia National Technical University

V.P. STAKHOV

Vinnitsia Institute of Trade and Economic of Kyiv National University of Trade and Economics

SR LATCH BASED ON THE LOGIC MONOIMMITTANCE R-ELEMENTS "NOR"

The paper describes foundation and mathematic model of the SR latch based on the monoimittance logical R-element "NOR". The effect on this RS-trigger characteristics of destabilizing factors: instability of the wave resistance of the transmission line segment, Q-factor and instability of generator's frequency is described. As a result of investigations are developed the application recommendations of SR latch based on the monoimittance logical R-element "NOR" for maximum interference immunity. To ensure high interference immunity of the circuit must be committed to a reduction of the reactance in the input active impedance. For correct operation of the circuit the quality factor in the input impedances shall not exceed 0.2, which corresponds to a relative error of the output active impedance in 4%.

Keywords: trigger, logic element, imittance, destabilizing factors.

Вступление

Триггер является одним из важнейших элементов вычислительной техники. Наиболее распространенным его видом является видеоимпульсный триггер, переключение состояний в котором достигается изменением уровня входного напряжения [1]. Существуют также триггеры, использующие другие физические явления в качестве информационного параметра, такие как оптические [2], пневматические [3], гидравлические [4], магнитные [5]. Такие триггеры служат для работы в специфических вычислительных машинах, в частности в тех случаях, где перевод какого-либо информационного параметра в видео-импульсные уровни напряжения не целесообразен.

Одним из таких видов триггера является радиочастотный иммитансный триггер, который может быть построен на иммитансных логических элементах [6]. Такой триггер использует в качестве информационного параметра иммитанс и способен осуществлять логические операции на несущей частоте сигнала [7]. Также преимуществами иммитансного триггера являются высокое быстродействие и малая потребляемая мощность. На сегодняшний день существует необходимая база логических моноиммитансных элементов [6], достаточная для того, чтобы на их основе построить иммитансный RS-триггер. Однако характеристики такого триггера до сих пор не исследованы, а также не проведена оценка их помехоустойчивости, что обуславливает актуальность данной работы.

Целью работы является разработка RS-триггера на моноиммитансных логических R-элементах «ИЛИ-НЕ». Для достижения этой цели решаются следующие задачи:

1. Обоснование схемы RS-триггера на моноиммитансных логических R-элементах «ИЛИ-НЕ» и разработка его математической модели.
2. Исследование влияния дестабилизирующих факторов на характеристики RS-триггера на моноиммитансных логических R-элементах «ИЛИ-НЕ» и оценка запаса его помехоустойчивости.

Обоснование схемы RS-триггера на моноиммитансных логических R-элементах «ИЛИ-НЕ» и разработка его математической модели

RS-триггер представляет собой логическую схему с двумя стабильными состояниями, которые могут сохраняться до тех пор, пока не изменятся соответственным образом входные информационные сигналы управления. При подаче логической единицы на вход S (от англ. Set) на выходе триггера Q будет появиться логическая единица, а на инверсном выходе триггера \bar{Q} появится логический ноль. При подаче логической единицы на вход R (от англ. Reset) на выходе триггера Q будет появиться логический ноль, а на инверсном выходе триггера \bar{Q} появится логическая единица. При подаче на оба входа R и S логического ноля на выходах триггера Q и \bar{Q} сохраняется предыдущее состояние. Подача на оба входа R и S логической единицы является запрещенным состоянием триггера. На рис. 1а, б представлена условное графическое обозначение RS-триггера и его таблица истинности. Одним из возможных вариантов реализации RS-

триггера является схема построения на 2 логических элементах «ИЛИ-НЕ» (рис. 1в) [1].

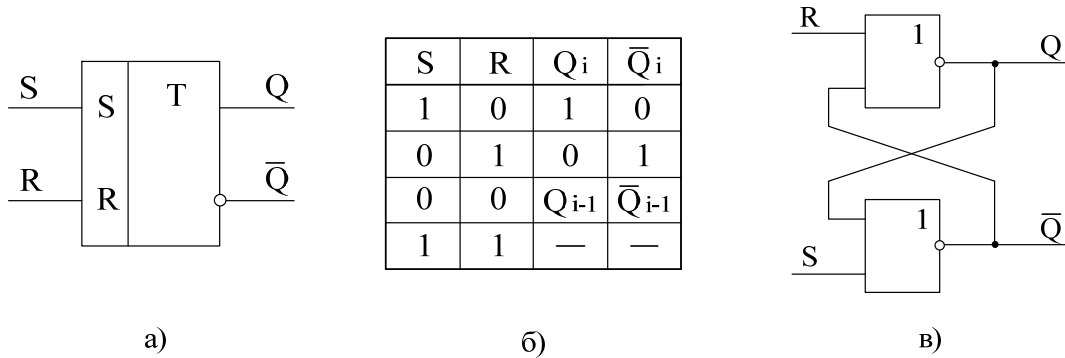


Рис. 1. Условное графическое обозначение (а), таблица истинности (б), структурная схема RS-триггера на 2 логических элементах ИЛИ-НЕ (в).

Одним из вариантов реализации моноиммитансных логических элементов является построение их на отрезках линии передачи, обладающих в СВЧ диапазоне свойствами обобщенных преобразователей иммитанса. Учитывая, что логический элемент «ИЛИ-НЕ» состоит из двух элементов – «ИЛИ» и «НЕ», используем моноиммитансные логические R-элементы «ИЛИ» и «НЕ» (рис. 2а), в результате получаем новый моноиммитансный логический R-элемент «ИЛИ-НЕ» (рис. 2б) [6].

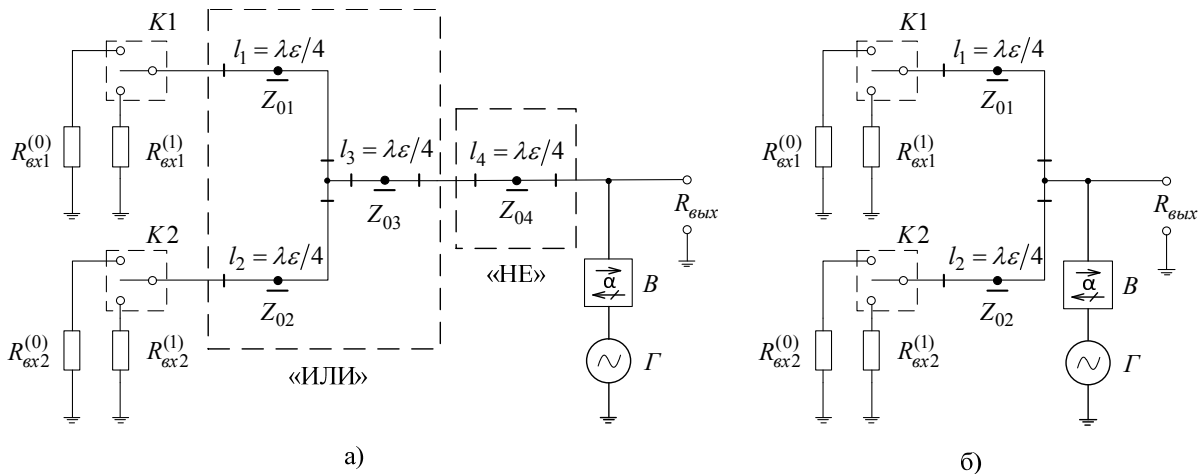


Рис. 2. Электрическая схема моноиммитансного логического R-элемента «ИЛИ-НЕ» (а) и ее оптимизированный вариант (б)

На схеме $l_1 - l_3$ – длина отрезков линии передачи; $Z_{01} - Z_{03}$ – волновые сопротивления отрезков линии передачи; $R_{ex1}^{(0)}$, $R_{ex1}^{(1)}$ и $R_{ex2}^{(0)}$, $R_{ex2}^{(1)}$ – входные иммитансы, обозначающие логический уровень «0» или «1» соответственно на первом или втором входе схемы; $K1$ и $K2$ – переключатели входных логических состояний; B – развязывающий вентиль, Γ – опорный СВЧ генератор.

Основой математической модели такого логического элемента является его передаточная характеристика $R_{вых} = F(R_{ex1}, R_{ex2})$. При ее описании учитываем трансформирующие свойства четвертьволновых отрезков линии передачи l_1 и l_2 , имеющих соответственно волновые сопротивления Z_{01} и Z_{02} :

$$R_{вых} = \frac{Z_{01}^2/R_{ex1} \cdot Z_{02}^2/R_{ex2}}{Z_{01}^2/R_{ex1} + Z_{02}^2/R_{ex2}} \tag{1}$$

Считая, что входные каналы логического элемента идентичны, т.е. $Z_{01} = Z_{02}$, из (1) находим:

$$R_{вых} = \frac{Z_{01}^4/R_{ex1} \cdot R_{ex2}}{Z_{01}^2/R_{ex1} + Z_{01}^2/R_{ex2}} \tag{2}$$

Электрическая схема RS-триггера на 2 моноиммитансных логических R-элементах «ИЛИ-НЕ», согласно рис. 1в, будет иметь вид, представленный на рис. 3:

Согласно (2) и исходя из рис. 3, а также считая, что волновые сопротивления отрезков $l_1 - l_4$ линии передачи идентичны и равны Z_{01} , находим выходное активное сопротивление на выходе Q :

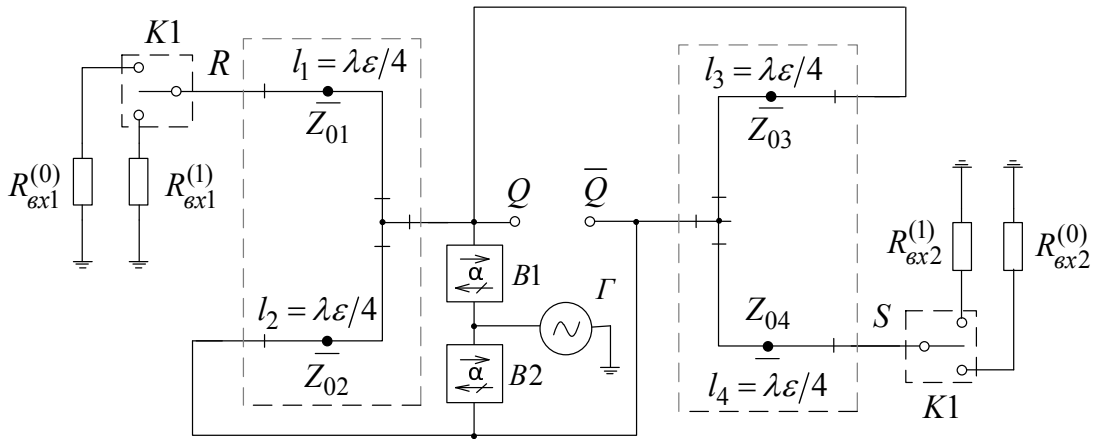


Рис. 3. Схема RS-триггера на 2 моноиммитансных логических R-элементах «ИЛИ-НЕ»

$$R_{\text{вых}Q} = \frac{Z_{01}^4 / R_{\text{ex}1} \cdot R_{\text{вых}\bar{Q}}}{Z_{01}^2 / R_{\text{ex}1} + Z_{01}^2 / R_{\text{вых}\bar{Q}}}, \tag{3}$$

где $R_{\text{вых}\bar{Q}}$ – выходное активное сопротивление на выходе \bar{Q} .

Аналогично, выходное активное сопротивление на выходе \bar{Q} будет равно:

$$R_{\text{вых}\bar{Q}} = \frac{Z_{01}^4 / R_{\text{ex}2} \cdot R_{\text{вых}Q}}{Z_{01}^2 / R_{\text{ex}2} + Z_{01}^2 / R_{\text{вых}Q}}. \tag{4}$$

Уравнения (3) и (4) описывают передаточную характеристику моноиммитансного RS-триггера на основе моноиммитансных логических R-элементов ИЛИ-НЕ, изображенную на рис. 4. Оси R и S обозначают соответственно входные сопротивления $R_{\text{ex}1}$ и $R_{\text{ex}2}$, а Q – выходное сопротивление на выходе Q .

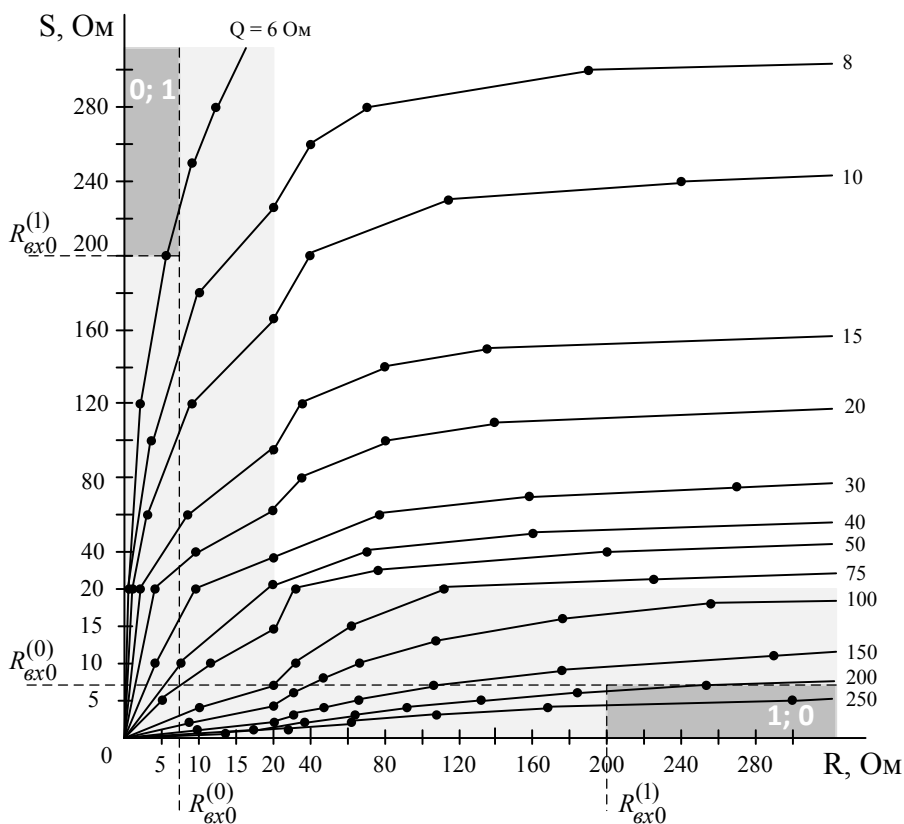


Рис. 4. Иммитансная передаточная характеристика RS-триггера по выходу Q на 2 моноиммитансных R-элементах «ИЛИ-НЕ»

Так как для RS-триггера на 2 моноиммитансных R-элементах «ИЛИ-НЕ» информационным параметром является активный импеданс «R», логические состояния триггера характеризуются диапазоном значений этого параметра. Логической единице "1" соответствует диапазон изменения $R_{\text{ex}}^{(1)} > R_{\text{ex}0}^{(1)}$, а

логическому нулю «0» соответствует диапазон изменения $R_{ex}^{(0)} < R_{ex0}^{(0)}$, где $R_{ex0}^{(1)}$ и $R_{ex0}^{(0)}$ - резистивная граница соответствующих логических уровней.

Исходя из рис. 4, работу RS-триггера на 2 моноиммитансных R-элементах «ИЛИ-НЕ» можно описать таблицей истинности, которая представлена на рис. 5.

R	S	Q_i	\bar{Q}_i
0 $R_{ex} < R_{ex0}^{(0)}$	0 $R_{ex} < R_{ex0}^{(0)}$	0 Q_{i-1}	0 \bar{Q}_{i-1}
1 $R_{ex} > R_{ex0}^{(1)}$	0 $R_{ex} < R_{ex0}^{(0)}$	1 $R_{ex} > R_{ex0}^{(1)}$	0 $R_{ex} < R_{ex0}^{(0)}$
0 $R_{ex} < R_{ex0}^{(0)}$	1 $R_{ex} > R_{ex0}^{(1)}$	0 $R_{ex} < R_{ex0}^{(0)}$	1 $R_{ex} > R_{ex0}^{(1)}$
1 $R_{ex} > R_{ex0}^{(1)}$	1 $R_{ex} > R_{ex0}^{(1)}$	—	—

Рис. 5. Таблица истинности RS-триггера на 2 моноиммитансных R-элементах «ИЛИ-НЕ»

На практике параметры реального RS-триггера на 2 моноиммитансных R-элементах «ИЛИ-НЕ» будут отличаться от параметров выше рассматриваемой «идеальной» схемы из-за влияния дестабилизирующих факторов.

В реальном RS-триггере на 2 моноиммитансных R-элементах «ИЛИ-НЕ» приведенный выходной импеданс используемых отрезков линии передачи равен [8]:

$$\bar{Z}_{вых} = \frac{\bar{Z}_{ex} + j \cdot tg \beta}{1 + j \cdot \bar{Z}_{ex} \cdot tg \beta} = Re \bar{Z}_{вых} + j \cdot Im \bar{Z}_{вых} \quad (5)$$

где:

$$Re \bar{Z}_{вых} = \bar{R}_{вых} = \frac{\bar{R}_{ex} \cdot (1 - \bar{X}_{ex} \cdot tg \beta) + \bar{R}_{ex} \cdot tg \beta \cdot (\bar{X}_{ex} + tg \beta)}{(1 - \bar{X}_{ex} \cdot tg \beta)^2 + (\bar{R}_{ex} \cdot tg \beta)^2} \quad (6)$$

$$Im \bar{Z}_{вых} = \bar{X}_{вых} = \frac{(1 - \bar{X}_{ex} \cdot tg \beta) \cdot (\bar{X}_{ex} + tg \beta) - \bar{R}_{ex}^2 \cdot tg \beta}{(1 - \bar{X}_{ex} \cdot tg \beta)^2 + (\bar{R}_{ex} \cdot tg \beta)^2} \quad (7)$$

$$\beta = 2\pi l / \lambda \text{ - фазовая постоянная; } \bar{R}_{вых} = \frac{R_{вых}}{Z_0}, \quad \bar{X}_{вых} = \frac{X_{вых}}{Z_0}, \quad \bar{R}_{ex} = \frac{Re Z_{ex}}{Z_0}, \quad \bar{X}_{ex} = \frac{Im Z_{ex}}{Z_0}$$

С учетом (5-7) следует, что выходные активные составляющие импеданса реального RS-триггера на 2 моноиммитансных R-элементах «ИЛИ-НЕ» описываются выражениями:

$$R_{выхQ} = \frac{R_{вых1} \cdot R_{вых2}}{R_{вых1} + R_{вых2}} \quad (8)$$

где:

$$R_{вых1} = Z_0 \cdot \frac{R_{ex1}/Z_0 \cdot (1 - X_{ex1}/Z_0 \cdot tg \beta) + R_{ex1}/Z_0 \cdot tg \beta \cdot (X_{ex1}/Z_0 + tg \beta)}{(1 - X_{ex1}/Z_0 \cdot tg \beta)^2 + (R_{ex1}/Z_0 \cdot tg \beta)^2} \quad (9)$$

$$R_{вых2} = Z_0 \cdot \frac{R_{выхQ}/Z_0 \cdot (1 - X_{выхQ}/Z_0 \cdot tg \beta) + R_{выхQ}/Z_0 \cdot tg \beta \cdot (X_{выхQ}/Z_0 + tg \beta)}{(1 - X_{выхQ}/Z_0 \cdot tg \beta)^2 + (R_{выхQ}/Z_0 \cdot tg \beta)^2} \quad (10)$$

$$R_{выхQ} = \frac{R_{вых3} \cdot R_{вых4}}{R_{вых3} + R_{вых4}} \quad (11)$$

где:

$$R_{вых3} = Z_0 \cdot \frac{R_{ex2}/Z_0 \cdot (1 - X_{ex2}/Z_0 \cdot tg \beta) + R_{ex2}/Z_0 \cdot tg \beta \cdot (X_{ex2}/Z_0 + tg \beta)}{(1 - X_{ex2}/Z_0 \cdot tg \beta)^2 + (R_{ex2}/Z_0 \cdot tg \beta)^2} \quad (12)$$

$$R_{вых4} = Z_0 \cdot \frac{R_{выхQ}/Z_0 \cdot (1 - X_{выхQ}/Z_0 \cdot tg \beta) + R_{выхQ}/Z_0 \cdot tg \beta \cdot (X_{выхQ}/Z_0 + tg \beta)}{(1 - X_{выхQ}/Z_0 \cdot tg \beta)^2 + (R_{выхQ}/Z_0 \cdot tg \beta)^2} \quad (13)$$

R_{ex1} и X_{ex1} - активное и реактивное сопротивления входа R , R_{ex2} и X_{ex2} - активное и реактивное сопротивления входа S , $R_{выхQ}$ и $X_{выхQ}$ - активное и реактивное сопротивления выхода Q , $R_{выхQ}$ и

$X_{\text{вых}\bar{Q}}$ - активное и реактивное сопротивления выхода \bar{Q} .

Аналогичным образом рассчитываются и реактивные составляющие выходных импедансов схемы:

$$X_{\text{вых}Q} = \frac{X_{\text{вых}1} \cdot X_{\text{вых}2}}{X_{\text{вых}1} + X_{\text{вых}2}}, \quad (14)$$

где:

$$X_{\text{вых}1} = Z_0 \cdot \frac{(1 - X_{\text{ex}1}/Z_0 \cdot \text{tg } \beta) \cdot (X_{\text{ex}1}/Z_0 + \text{tg } \beta) - R_{\text{ex}1}^2/Z_0 \cdot \text{tg } \beta}{(1 - X_{\text{ex}1}/Z_0 \cdot \text{tg } \beta)^2 + (R_{\text{ex}1}/Z_0 \cdot \text{tg } \beta)^2}; \quad (15)$$

$$X_{\text{вых}2} = Z_0 \cdot \frac{(1 - X_{\text{вых}\bar{Q}}/Z_0 \cdot \text{tg } \beta) \cdot (X_{\text{вых}\bar{Q}}/Z_0 + \text{tg } \beta) - R_{\text{вых}\bar{Q}}^2/Z_0 \cdot \text{tg } \beta}{(1 - X_{\text{вых}\bar{Q}}/Z_0 \cdot \text{tg } \beta)^2 + (R_{\text{вых}\bar{Q}}/Z_0 \cdot \text{tg } \beta)^2}. \quad (16)$$

$$X_{\text{вых}\bar{Q}} = \frac{X_{\text{вых}3} \cdot X_{\text{вых}4}}{X_{\text{вых}3} + X_{\text{вых}4}}, \quad (17)$$

где:

$$X_{\text{вых}3} = Z_0 \cdot \frac{(1 - X_{\text{ex}2}/Z_0 \cdot \text{tg } \beta) \cdot (X_{\text{ex}2}/Z_0 + \text{tg } \beta) - R_{\text{ex}2}^2/Z_0 \cdot \text{tg } \beta}{(1 - X_{\text{ex}2}/Z_0 \cdot \text{tg } \beta)^2 + (R_{\text{ex}2}/Z_0 \cdot \text{tg } \beta)^2}; \quad (18)$$

$$X_{\text{вых}4} = Z_0 \cdot \frac{(1 - X_{\text{вых}Q}/Z_0 \cdot \text{tg } \beta) \cdot (X_{\text{вых}Q}/Z_0 + \text{tg } \beta) - R_{\text{вых}Q}^2/Z_0 \cdot \text{tg } \beta}{(1 - X_{\text{вых}Q}/Z_0 \cdot \text{tg } \beta)^2 + (R_{\text{вых}Q}/Z_0 \cdot \text{tg } \beta)^2}. \quad (19)$$

Выражения (8-19) являются математической моделью реального RS-триггера на 2 моноиммитансных R-элементах «ИЛИ-НЕ», использующих отрезки линии передачи, что позволяет провести с их помощью исследование разработанного триггера.

Исследование влияния дестабилизирующих факторов на характеристики RS-триггера и оценка запаса его помехоустойчивости

Из анализа выражений (8-19) следует, что основными дестабилизирующими факторами, которые влияют на работу RS-триггера, являются:

- нестабильность волнового сопротивления Z_0 отрезков линии передачи;
- нестабильность фазовой постоянной β ;
- добротность входных импедансов $Q = X_{\text{ex}}/R_{\text{ex}}$.

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

Для моделирования работы схемы в условиях, приближенных к реальным, зададимся значениями параметров волнового сопротивления Z_0 отрезков линии передачи, фазовой постоянной β и добротности входных активных импедансов Q с учетом погрешности технологического процесса. Считаем, что волновое сопротивление отрезков линии передачи $Z_0 = 50 \pm 0,5 \text{ Ом}$, допустимую нестабильность фазовой постоянной выражаем через нестабильность частоты сигнала опорного генератора $\Delta f = \pm 1\%$ (что аналогично погрешности длины отрезка линии передачи $\Delta l = \pm 0,1 \text{ мм}$), и добротность входных активных импедансов $Q = 0 \div 1$. Моделирование проведено для состояний переключения триггера – для входных логических уровней (0;1) и (1;0), где, согласно рис. 4, входной логический уровень «0» подразумевает собою наличие входного активного импеданса $R_{\text{ex}} < 7 \text{ Ом}$, а входной логический уровень «1» - входного активного импеданса $R_{\text{ex}} > 200 \text{ Ом}$. Частота опорного сигнала $f = 10 \text{ ГГц}$.

Для сравнительной оценки помехоустойчивости RS-триггера на основе 2-х моноиммитансных R-элементах «ИЛИ-НЕ» рассчитаем относительную погрешность реализации выходного активного импеданса $R_{\text{вых}Q}$ при изменении каждого из выше перечисленных дестабилизирующих факторов:

$$\gamma = 100 \cdot \frac{R_{\text{вых}Q} - R'_{\text{вых}Q}}{R'_{\text{вых}Q}} \%, \text{ где } R_{\text{вых}Q} - \text{значение выходного активного импеданса с учётом влияния}$$

дестабилизирующего фактора, $R'_{\text{вых}Q}$ - значение выходного активного импеданса в идеальном случае.

Так как RS-триггер является симметричным элементом, выходные активные импедансы $R_{\text{вых}Q}$ и $R_{\text{вых}\bar{Q}}$ рассчитываются аналогично. Поэтому для сокращения объёма работы приведены расчеты только для $R_{\text{вых}Q}$. Результаты численного моделирования представлены на рис. 6-8.

Оценено влияние нестабильности волнового сопротивления Z_0 линии передачи на выходной

активный импеданс $R_{\text{вых}Q}$ при разных вариантах входного логического состояния: (0;1) (рис. 6а) и (1;0) (рис. 6б), при $\Delta f = 0$ и $Q = 0$, а также рассчитана относительная погрешность изменения выходного активного импеданса $R_{\text{вых}Q}$ от влияния нестабильности волнового сопротивления Z_0 линии передачи (рис. 6в).

Из графика на рис. 6а следует, что при изменении волнового сопротивления Z_0 отрезков линии передачи в пределах $50 \pm 0,5 \text{ Ом}$ и диапазоне входных сопротивлений $R_{\text{вх}1} = 200 \div 250 \text{ Ом}$, $R_{\text{вх}2} = 5 \div 7 \text{ Ом}$ значение выходного сопротивления $R_{\text{вых}Q}$ находится в диапазоне $5,4 \div 6,7 \text{ Ом}$. При диапазоне входных сопротивлений $R_{\text{вх}1} = 5 \div 7 \text{ Ом}$, $R_{\text{вх}2} = 200 \div 250 \text{ Ом}$ значение выходного сопротивления $R_{\text{вых}Q}$ находится в диапазоне $196 \div 254 \text{ Ом}$ (рис. 6б). В обоих случаях при волновом сопротивлении $Z_0 > 50 \text{ Ом}$ выходное сопротивление $R_{\text{вых}Q}$ растет, а при $Z_0 < 50 \text{ Ом}$ - падает. Погрешность выходного активного сопротивления $R_{\text{вых}Q}$ составляет не более чем 1,17 % (рис. 6в) для всех состояний входных логических уровней (1;0) и (0;1). Из этого следует, что изменение волнового сопротивления Z_0 отрезков линии передач в заданном диапазоне незначительно влияет на работу RS-триггера.

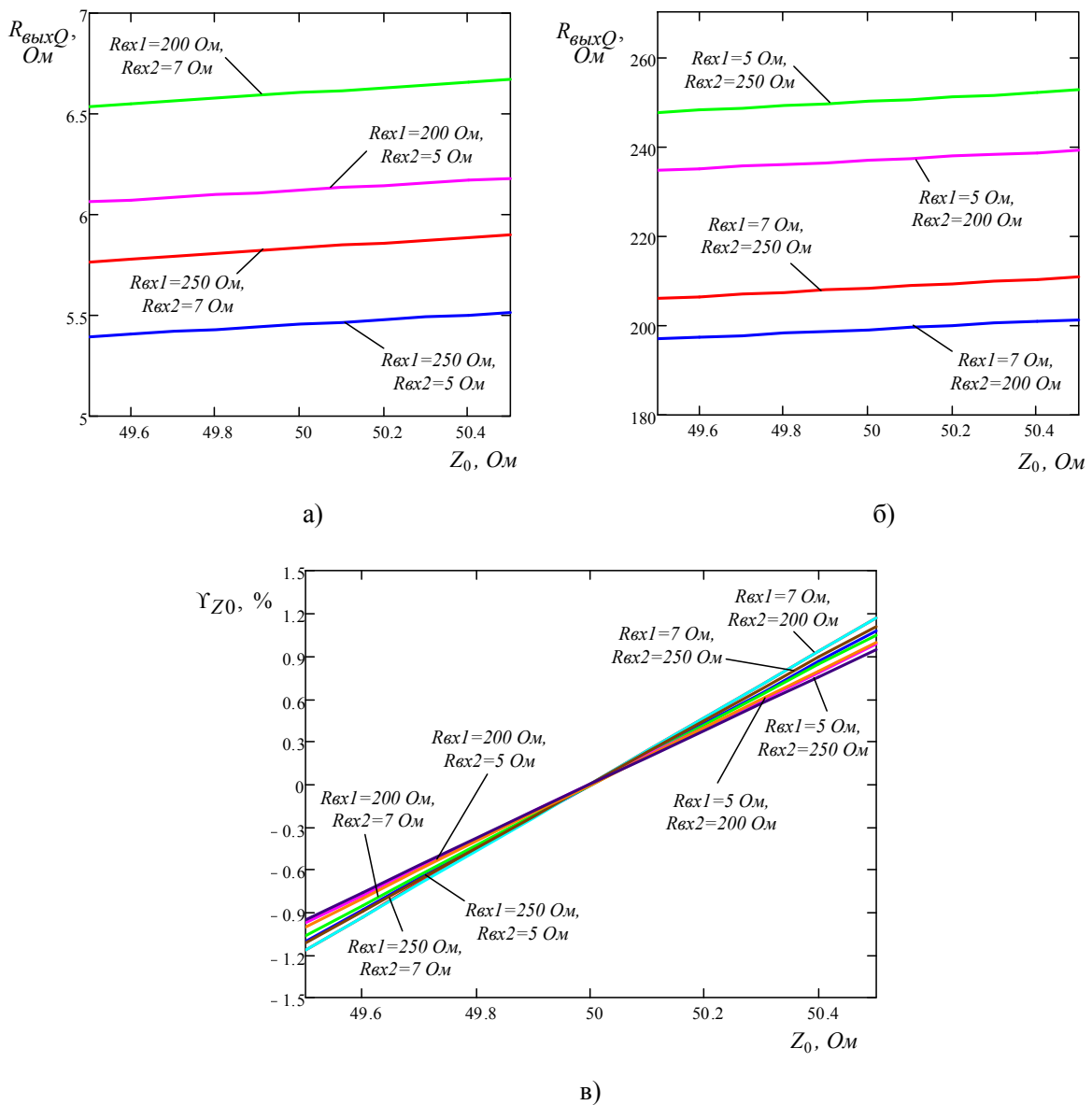


Рис. 6. Графики зависимости выходного активного сопротивления $R_{\text{вых}Q}$ от изменения волнового сопротивления Z_0 линии передачи при входных логических уровнях (1;0) (а) и (0;1) (б), относительной погрешности выходного активного импеданса $R_{\text{вых}Q}$ от влияния нестабильности волнового сопротивления Z_0 линии передачи (в).

Для оценки чувствительности выходного активного сопротивления $R_{\text{вых}Q}$ к изменению добротностей Q входных активных сопротивлений будем считать, что $Z_0 = 50 \text{ Ом}$ и $\Delta f = 0$. На рис. 7 приведены графики влияния изменения добротностей Q входных активных сопротивлений на выходной активный импеданс $R_{\text{вых}Q}$ при различных вариантах входного логического состояния (0;1) (рис. 7а) и (1;0) (рис. 7б), а также график относительной погрешности выходного активного импеданса $R_{\text{вых}Q}$ от влияния изменения добротностей Q входных активных сопротивлений (рис. 7в):

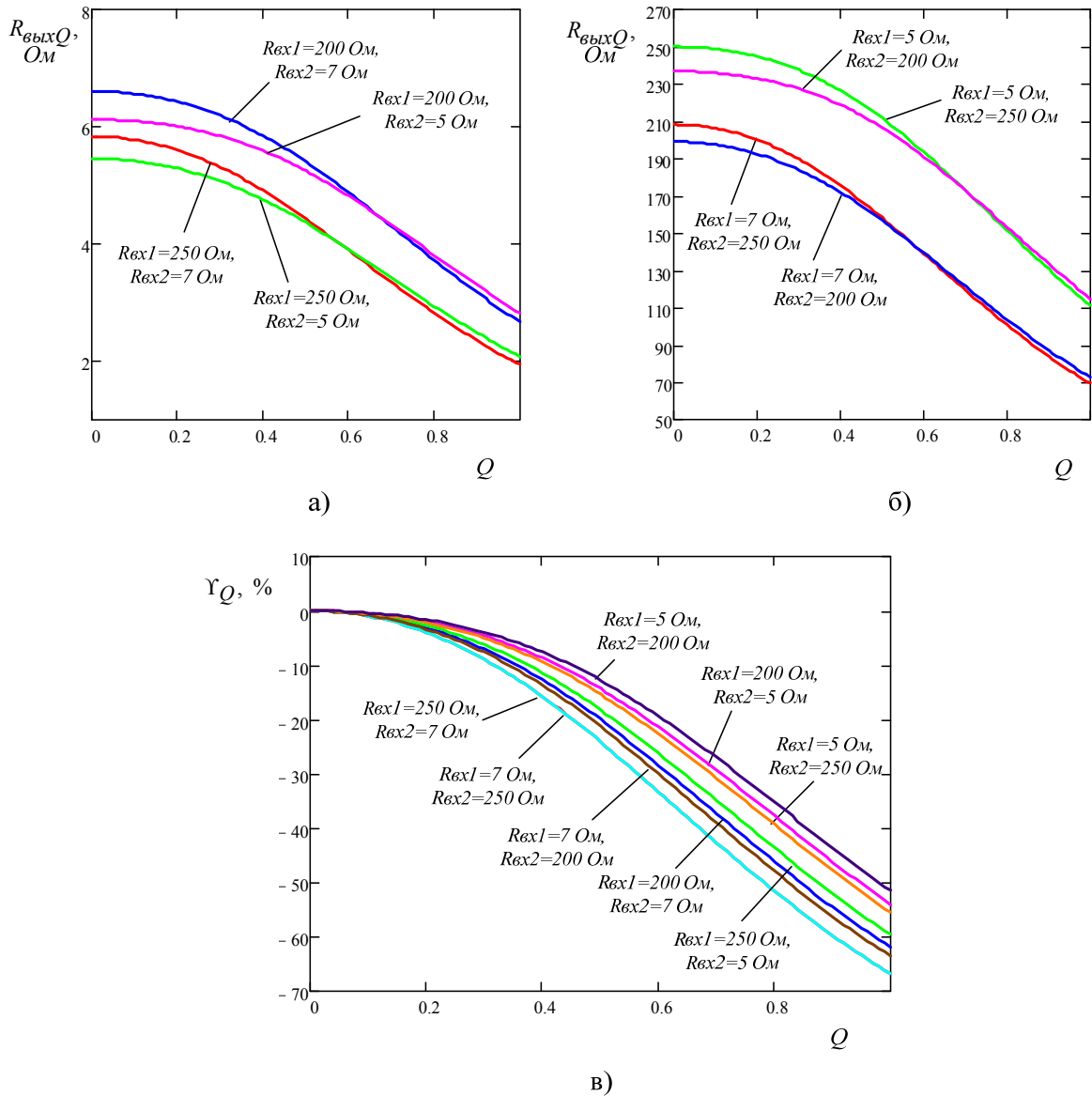


Рис. 7. Графики зависимости выходного активного сопротивления $R_{\text{вых}Q}$ от изменения добротности Q входных активных импедансов при входных логических уровнях (1;0) (а) и (0;1) (б), относительной погрешности выходного активного импеданса $R_{\text{вых}Q}$ от изменения добротности Q входных активных импедансов (в).

Из графиков на рис.7а,б следует, что при добротности $Q = 0 \div 1$ следует, что изменение добротности входных сопротивлений значительно влияет на выходное сопротивление $R_{\text{вых}Q}$, причем при росте добротности Q выходное сопротивление $R_{\text{вых}Q}$ падает. При $Q = 1$ относительная погрешность выходного активного импеданса $R_{\text{вых}Q}$ равна 68 %, что является значительной помехой для работоспособности схемы. Для увеличения помехозащищенности триггера следует стремиться к наименьшей паразитной составляющей входных активных импедансов: например, при добротности $Q = 0.2$ значение относительной погрешности уменьшается до 4 % (рис. 7в). При этом значение выходного сопротивления $R_{\text{вых}Q}$ будет находиться в диапазоне $5,3 \div 6,4 \text{ Ом}$ при логическом «0» на выходе триггера, и в диапазоне $192 \div 245 \text{ Ом}$ при логической

«1» на выходе триггера.

Для оценки чувствительности выходного активного сопротивления $R_{выхQ}$ к изменению частоты опорного сигнала f будем считать, что $Z_0 = 50 \text{ Ом}$ и $Q = 0$. На рис. 8 приведены графики влияния изменения частоты опорного сигнала f на выходной активный импеданс $R_{выхQ}$ при различных вариантах входного логического состояния (0;1) (рис. 8а) и (1;0) (рис. 8б), а также график относительной погрешности выходного активного импеданса $R_{выхQ}$ от влияния изменения частоты опорного сигнала f (рис. 8в):

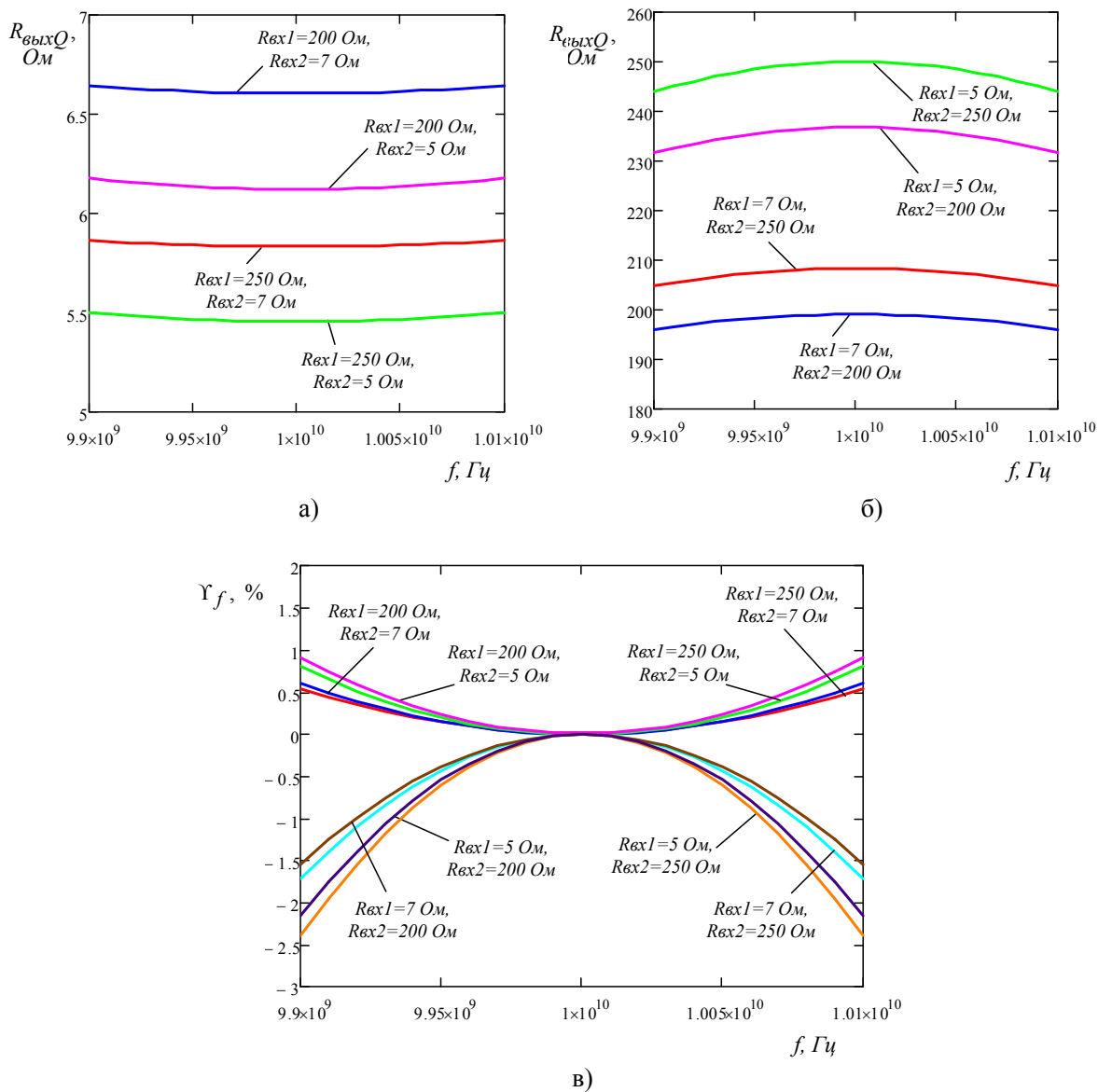


Рис. 8. Графики зависимости выходного активного сопротивления $R_{выхQ}$ от изменения опорной частоты генератора f при входных логических уровнях (1;0) (а) и (0;1) (б), относительной погрешности выходного активного импеданса $R_{выхQ}$ от изменения опорной частоты генератора f (в).

Из графика на рис. 8а следует, что при отклонении опорной частоты генератора $f = 10 \text{ ГГц}$ на $\pm 1\%$ в диапазоне входных сопротивлений $R_{ex1} = 200 \div 250 \text{ Ом}$, $R_{ex2} = 5 \div 7 \text{ Ом}$ значение выходного сопротивления $R_{выхQ}$ увеличивается по сравнению с номинальным значением. В диапазоне входных сопротивлений $R_{ex1} = 5 \div 7 \text{ Ом}$, $R_{ex2} = 200 \div 250 \text{ Ом}$ значение выходного сопротивления уменьшается (рис. 8б). Общая относительная погрешность выходного активного импеданса $R_{выхQ}$ при отклонении опорной частоты на 1% составляет не более 2,4% (рис. 8в).

Выводы

Приведено обоснование схемы RS-триггера, построенного на двух моноиммитансных логических

R-элементах «ИЛИ-НЕ», использующие трансформирующие свойства отрезков линии передачи, а также разработана его математическая модель.

Исследовано влияние дестабилизирующих факторов (изменения волнового сопротивления Z_0 линии передачи, нестабильность опорной частоты генератора Δf , добротности входных активных импедансов Q) на передаточную характеристику RS-триггера на 2 моноиммитансных R-элементах «ИЛИ-НЕ», которые показали, что изменение величины волнового сопротивления Z_0 в диапазоне $50 \pm 0,5$ Ом практически не влияет на выходной активный импеданс схемы, величина относительной погрешности в этом случае не превышает 1,17%. Изменение добротности входных активных импедансов Q в диапазоне $0 \div 1$ приводит к относительной погрешности выходного активного импеданса $R_{вых}Q$ до 68%. При уменьшении добротности Q относительная погрешность выходного активного импеданса $R_{вых}Q$ также уменьшается. При нестабильности опорной частоты генератора $\Delta f = 1\%$ относительная погрешность выходного активного импеданса $R_{вых}Q$ составляет не более чем 2,4 %.

Таким образом следует, что для обеспечения высокой помехоустойчивости схемы необходимо стремиться к уменьшению значения реактивного сопротивления во входных активных импедансах. Для корректной работы схемы величина добротности входных активных импедансов должна не превышать 0,2, что соответствует относительной погрешности выходного активного импеданса в 4%.

Литература

1. Жан М. Рабаи Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования / Жан М. Рабаи, Ананта Чандракасан, Боривож Николич // Digital Integrated Circuits. — 2-ое изд. — М. : «Вильямс», 2007. — С. 912. — ISBN 0-13-090996-3.
2. Семенов А.С. Интегральная оптика для систем передачи и обработки информации / А. С. Семенов, В. Л. Смирнов, А. В. Шмалько. — М. : Радио и связь, 1990. — 224 с. — ISBN 5-256-00738-6.
3. Юдицкий С.А. Пневматические системы управления приводом машин-автоматов / С. А. Юдицкий. — М. : Энергия, 1968. — 88 с.
4. Темный В. П. Основы гидроавтоматики / В. П. Темный. — М. : Наука, 1972. — 173 с.
5. Билик Р. В. Бесконтактные элементы и системы телемеханики с временным разделением сигналов / Р. В. Билик, Е. С. Соцков. — М. : Наука, 1964. — 415 с.
6. Филинюк Н.А. Моноиммитансные логические RLC-элементы / Н.А. Филинюк, Л.Б. Лищинская, Е.В. Войцеховская, В.П. Стахов // Вісник Хмельницького національного університету. — 2015. — № 3. — С. 117–121.
7. Microwave immittance logical elements / L.B. Lishchynska, N.A. Filinyuk, R.Y. Chekhmestrouk, Y.S. Rozhkova – 22st International Crimean Conference: Microwave and Telecommunication Technology, CriMiCo 2012. – Sevastopol, Ukraine. – 10–14 September 2012. – P. 137–138.
8. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ : учебное пособие. Том 1 / Лебедев И. В. — М. : Высшая школа, 1970. — 439 с.

Рецензія/Peer review : 27.10.2016 р.

Надрукована/Printed : 14.12.2016 р.

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