

3. Sagieva I.Y. The Influence of Temperature on Microstrip Transmission Line Characteristics / I.Y. Sagieva, A.V. Nosov, R.S. Surovtsev // XXI International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. – Altai, Russia, 29 June – 3 July 2020. – 4 p.

4. Nosov A.V. Propagation of UWB Pulse in Two Turns of Meander Microstrip Line Connected in Cascade / A.V. Nosov, R.S. Surovtsev, T.R. Gazizov // 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). – Tomsk, Russia, October 23–24, 2019. – P. 0288–0292.

УДК 621.391.825

### **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПАРАМЕТРЫ РЕЗЕРВИРОВАННОЙ ЦЕПИ**

*Р.Р. Газизов, аспирант НИУ ВШЭ, Москва;*

*А.Т. Газизов, аспирант каф. ТУ ТУСУРа, Томск;*

*М.Н. Калинина, студентка МГУ, Москва*

*gazizovtsk@yandex.ru*

Приведены принципиальная схема и поперечное сечение цепи с резервированием. Исследованы зависимости характеристик цепи от температуры в диапазоне от минус 50 до 150 °С. Получено, что характеристики цепи, максимальные и минимальные значения  $N$ -норм временного отклика на воздействие сверхкороткого импульса изменяются незначительно.

**Ключевые слова:** электромагнитная совместимость, моделирование, сверхкороткий импульс, изменение температуры,  $N$ -нормы.

Компьютерное моделирование является важнейшим этапом разработки радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) [1]. Из-за постоянно возрастающих требований к работе критической РЭА в экстремальных условиях перед их разработчиками стоит задача создавать все более сложные системы, в том числе с использованием модального резервирования. При моделировании экстремальных условий широко распространено исследование влияния температуры на электронные устройства для определения изменения химико-физических и механических свойств материалов. Для поиска уязвимых мест электронной аппаратуры выявляют максимумы напряжения. Для определения влияния различных импульсов на РЭА используют  $N$ -нормы [2]. Между тем исследования по воздействию температуры на различные параметры резервированных цепей, в том числе с модальным резервированием, авторам неизвестны.

Цель работы – оценить влияние температуры на параметры резервированной цепи с использованием  $N$ -норм.

В качестве исследуемой структуры выбрана резервированная цепь с лицевой связью и полигонами, поперечное сечение которой в системе TALGAT представлено на рис. 1, а, где  $w_1$  и  $w_2$  – ширина центральных проводников и полигонов соответственно;  $t_1$  – толщина центральных проводников;  $h$  – толщина подложки;  $t_2$  – толщина полигонов;  $f$  – ширина подложки;  $\epsilon_r$  – относительная диэлектрическая проницаемость подложки. Принципиальная схема приведена на рис. 1, б.

Используемое воздействие – помеховый трапециевидный импульс с ЭДС 1 В и длительностями фронта, спада и плоской вершины по 100 пс. Сопротивления  $R_1, R_2, R_3, R_4$  равны 68 Ом. За основу взяты температурные зависимости, реализованные в [3]. С их помощью вычислены зависимости геометрических параметров структуры от температуры ( $T$ ) (табл. 1).

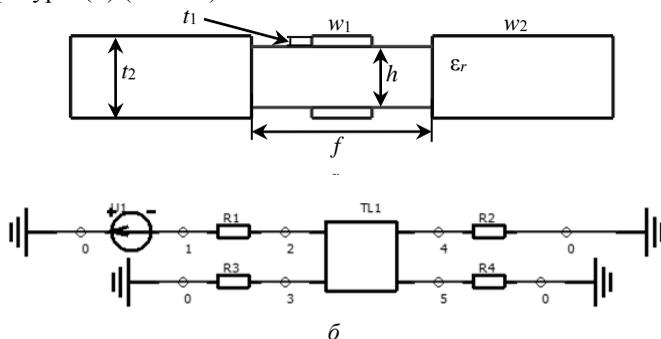


Рис. 1. Поперечное сечение (а) и принципиальная схема (б) структуры

Из табл. 1 видно, что с ростом  $T$ , значения параметров  $w_1, w_2, t_1, t_2, t_3, f$  и  $l$  увеличиваются незначительно. На рис. 2 приведены зависимости значений погонных задержек  $\tau_i$  и формы временного отклика при изменении  $T$ . Также получено, что при увеличении  $T$  от  $-50$  до  $+150$  °С значение  $\epsilon_r$  уменьшается от 4,58 до 4,11.

Таблица 1

Параметры структуры при изменении температуры							
$T, ^\circ\text{C}$	$w_1, \text{мкм}$	$w_2, \text{мкм}$	$t_1, \text{мкм}$	$t_2, \text{мкм}$	$h, \text{мкм}$	$f, \text{мкм}$	$l, \text{м}$
-50	199,74	599,23	34,95	234,7	198,95	599,23	0,4994
0	199,91	599,74	34,98	234,9	199,65	599,74	0,4997
25	200	600	35	235	200	600	0,5
75	200,17	600,51	35,02	235,2	200,7	600,51	0,5004
150	200,42	601,27	35,07	235,5	201,75	601,27	0,5011

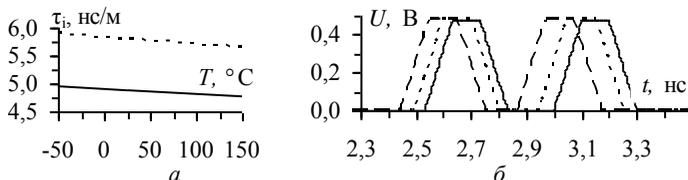


Рис. 2. Зависимости  $\tau_1$  (—) и  $\tau_2$  (---) от  $T$  (а) и формы временного отклика при  $T$ :  $-50$  (—);  $25$  (---);  $150$  (— · —) °C (б)

Из рис. 2, а видно, что  $\tau_i$  незначительно (до 1%) уменьшаются с ростом  $T$ . Максимальные значения выходного напряжения при крайних значениях  $T$  отличаются незначительно (0,481 В при  $-50$  °C и 0,482 В при  $+150$  °C). В табл. 2 и 3 приведены максимальные и минимальные значения норм  $N_1$ – $N_5$ .

Таблица 2

**Максимальные значения  $N$ -норм в зависимости от  $T$**

$T, ^\circ\text{C}$	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$
$-50$	1	$1,1 \cdot 10^{10}$	$2,05 \cdot 10^{-10}$	$2,52 \cdot 10^{-10}$	$1,29 \cdot 10^{-5}$
0	1	$1,07 \cdot 10^{10}$	$2,02 \cdot 10^{-10}$	$2,53 \cdot 10^{-10}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$
25	1	$1,11 \cdot 10^{10}$	$2,01 \cdot 10^{-10}$	$2,54 \cdot 10^{-10}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$
75	1,01	$1,12 \cdot 10^{10}$	$2,02 \cdot 10^{-10}$	$2,56 \cdot 10^{-10}$	$1,31 \cdot 10^{-5}$
150	1,02	$1,08 \cdot 10^{10}$	$2,03 \cdot 10^{-10}$	$2,57 \cdot 10^{-10}$	$1,32 \cdot 10^{-5}$

Таблица 3

**Минимальные значения  $N$ -норм в зависимости от  $T$**

$T, ^\circ\text{C}$	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$
$-50$	0,48	$5,56 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$8,75 \cdot 10^{-6}$
0	0,48	$5,56 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$8,75 \cdot 10^{-6}$
25	0,48	$5,09 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$8,75 \cdot 10^{-6}$
75	0,48	$5,33 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$8,76 \cdot 10^{-6}$
150	0,48	$5,22 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$8,76 \cdot 10^{-6}$

Из табл. 2 видно, что при увеличении  $T$  максимальные значения  $N_1$ – $N_5$  имеют тенденцию к увеличению, однако они изменяются незначительно. Из табл. 3 невозможно выявить какие-либо тенденции в минимальных значениях  $N_1$ – $N_4$ , тогда как  $N_5$  незначительно увеличивается при увеличении  $T$ .

Таким образом, получено, что изменение температуры, воздействующей на рассмотренную структуру, несущественно влияет на параметры цепи: погонные задержки, временной отклик,  $N$ -нормы. Данные результаты являются частью исследования цепей с модальным резервированием. Его проведение позволит получить комплекс-

ную информацию о характеристиках цепей с модальным резервированием.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-19-00424) в ТУСУРе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 51369–99. Методы испытаний на стойкость к климатическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие влажности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200006116>, свободный (дата обращения: 09.03.2021).

2. Study and classification of potential IEMI sources / N. Mora, F. Vega, G. Lugrin, F. Rachidi, M. Rubinstein // System and assessment notes. – Note 41. – July 8, 2014.

3. Sagiyeva I.Y. The influence of temperature on microstrip transmission line characteristics / I.Y. Sagiyeva, A.V. Nosov, R.S. Surovtsev // 21th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. – June 29 – July 3, 2020. – P. 1–4.

УДК 621.316.12

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗВЯЗЫВАЮЩИХ КОНДЕНСАТОРОВ НА ПОЛНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПИТАНИЯ**

***М.В. Храмов, аспирант каф. ТУ***

*Научный руководитель А.М. Заболоцкий, доцент каф. ТУ, д.т.н.  
г. Томск, ТУСУР, [khramtsovmaxim@yandex.ru](mailto:khramtsovmaxim@yandex.ru)*

Исследовано влияние развязывающих конденсаторов на профиль полного сопротивления системы распределения питания. Вычислены целевые значения частоты, полного сопротивления и минимальной эффективной емкости. Показаны явление антирезонанса и способ снижения этого эффекта.

**Ключевые слова:** целостность питания, развязывающий конденсатор, система распределения питания.

Современные микросхемы, работающие на высоких частотах, имеют времена переключения менее наносекунды и используют низкие напряжения питания с высокими переходными токами. Это вызывает помехи и нарушает целостность питания печатных плат (ПП), что может приводить к провалам напряжения питания, появлению помех в сигнальных цепях, наводимых со стороны системы распределения питания (СРП), и нарушению целостности сигналов. Для обеспечения качественной работы быстродействующих узлов важным параметром