

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ НА ЦИФРОВЫЕ МИКРОСХЕМЫ

<sup>1</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск, Республика Беларусь

При проектировании современной аппаратуры связи, работающей в сложной помеховой обстановке, необходимо рассматривать вопросы электромагнитной совместимости (ЭМС) уже на стадии выбора элементной базы. С этой целью разработаны критерии, методики и специализированная аппаратура для исследования восприимчивости полупроводниковых приборов, аналоговых и цифровых микросхем к воздействию ВЧ и СВЧ электромагнитных помех (ЭМП). Они позволяют выявить общие тенденции поведения различных элементов при воздействии радиопомех, накопить определенную справочную информацию. Однако для более детального исследования восприимчивости более сложных схем проведение натуральных экспериментов все более сдерживается их громоздкостью, высокой стоимостью. Именно поэтому исследователи все больше используют расчетный метод. Разработка точных моделей реакции простейших элементов на воздействие ЭМП позволяет в дальнейшем перейти к моделированию сложных схем и получить достоверные результаты, прибегая к натурным экспериментам только для подтверждения полученных в ходе расчетов выводов [1].

С целью подтверждения точности используемых моделей проведено сравнение результатов экспериментов, изложенных в [2] и расчетов воздействия ЭМП на логические элементы (ЛЭ) И-НЕ [3]. В расчетной части моделировалось воздействия радиопомех на ЛЭ И-НЕ серий 531 и 1533. Для анализа переходных процессов использовалась известная программа SPICE2. Модель базового ЛЭ микросхем представлялась эквивалентной электрической схемой самого элемента и элементами, моделирующими нагрузку, эквивалентную подключению к выходу исследуемого ЛЭ аналогичного элемента той же серии. Часто для расчетов очень сложно получить точные параметры моделируемых полупроводниковых элементов. Авторы благодарны специалистам СКБ «Немига» Минского НПО «Интеграл» и Фрязинского филиала ЦНИИ «Циклон», предоставивших точные значения параметров моделируемых ЛЭ, что во многом отразилось на качестве результатов. Входной двухэмиттерный транзистор представлен как одноэмиттерный, исходя из условий эксперимента, где входы соединялись между собой. Генератор помехи моделировался источником ВЧ напряжения  $U_{п}$ , подключенным через разделительную емкость к цепи воздействия ЭМП. Параметры входного импульсного сигнала и напряжение питания моделировались введением в модель соответствующих источников и выбирались типовыми для элементов данных серий.

В ходе расчетов анализировалось изменение под действие радиопомехи статических (уровней логического нуля  $U_{OL}$  и единицы  $U_{OH}$ ) и динамических (времени задержки распространения при включении  $t_{PHL}$  и выключении  $t_{PLH}$ ) параметров выходного импульса ЛЭ. Изменения времени  $t_{PHL}$  и  $t_{PLH}$ , а также среднего времени задержки распространения ЛЭ  $\Delta t_{зд\ p\ ср} = (t_{PHL} + t_{PLH})/2$ , определялись на уровне  $0,5(U_{OL}+U_{OH})$ . В правой части рисунка изображены входные сигналы ЛЭ и их изменение с учетом одновременного воздействия на вход радиопомехи, а также рассчитанные с помощью программы SPICE2 по описанным выше моделям выходные импульсы. В первом случае (а) помеха отсутствует. При ее воздействии происходит изменение параметров выходного импульса (б). На нижнем рисунке (в) под действием помехи происходит изменение выходного состояния исследуемого ЛЭ с единичного состояния на нулевое (явление константного сбоя).

Результаты экспериментов и моделирования показали, что ЛЭ серии 531 наиболее критичны к воздействию радиопомехи на выход и шину питания. Уровни  $U_{п}=5В$  с частотой  $f_{п}=200$  МГц вызывают увеличение среднего времени задержки распространения ЛЭ до 4 нс. Воздействие же ЭМП на вход может приводить даже к некоторому уменьшению  $\Delta t_{зд\ p\ ср}$

элемента. Микросхема же КР1533ЛА3 более критична к действию помехового сигнала на вход. Кроме того, здесь более вероятным является изменение выходного состояния ЛЭ с единичного на нулевое, которое происходит при  $U_n > 3В$  на частотах  $f_n$ , превышающих 150 МГц. У обоих типов микросхем наибольшим изменениям под действием ЭМП подвергается время задержки распространения при выключении  $t_{рЛН}$ . Так при воздействии  $U_n=5 В$  по цепи питания  $t_{рЛН}$  увеличивается на 5-6 нс, в то время как  $t_{рНЛ}$  только на 0,5-1 нс.

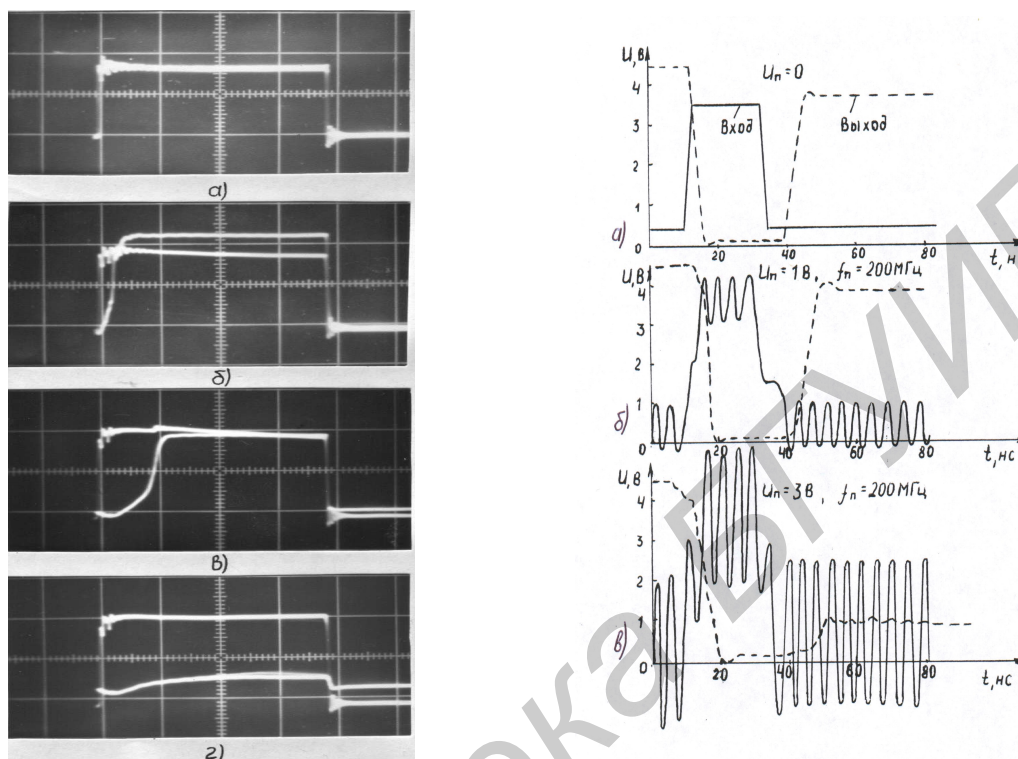


Рисунок 1 - Экспериментальные (а-г) и расчетные (а-в) эпюры изменения выходного сигнала логического элемента И-НЕ 531ЛА3 при воздействии на его вход ВЧ помехи с частотой 200 МГц.

Результаты, полученные при расчете влияния радиопомех на базовые ЛЭ, хорошее совпадение их с результатами экспериментов дают основание использовать данные модели при оценке восприимчивости к воздействию ЭМП более сложных микросхем. Очевидно, что такой подход предполагает тесное сотрудничество радиоинженеров, работающих в этой области, с разработчиками микросхем. Это позволит повысить достоверность моделирования. Предварительный анализ помеховой обстановки, определение путей наиболее вероятного проникновения ЭМП, их уровней являются также обязательным условием для составления точной модели анализа ЭМС радиоэлектронных устройств. Прибегать же к сложным и дорогим натурным экспериментам лучше только для проверки результатов моделирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бригидин А.М., Титович Н.А., Кириллов В.М., Юсов Ю.П., Листопад Н.И., Ясюля Г.И. Влияние электромагнитных помех на работоспособность полупроводниковых приборов и интегральных схем (обзор)// Электронная техника. Сер.8.Управление качеством, стандартизация метрология, испытания. Сер.6. Материалы. Вып.1(148), 1992. –С. 3-13.
2. Титович Н.А., Теслюк В.Н. Методика обучения разработчиков телекоммуникационных систем решению вопросов электромагнитной совместимости. Материалы XVIII Международной научно-технической конференции «Современные средства связи», г. Минск, 15 - 16.10.2013.
3. Титович Н.А. Моделирование воздействия радиопомех на логические элементы// 6-й международный симпозиум по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии: материалы симпозиума. 21-24 июня 2005 г. –Санкт-Петербург, 2005. –С.220-223.