

ную структуру, необходимую для осуществления подобного рода деятельности, а также вовлечь население в этот процесс.

Все вышеперечисленные мероприятия уже много лет реализуются за рубежом. Наша задача - внедрить все это в нашей стране.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://brest.greenbelarus.info>
2. <http://www.belta.by/society/view/belarus-lidiruet-v-sng-po-razdelnomu-sboru-musora-261813-2017/>
3. bmpz.by/edinstvennyj-v-strane-kak-brestskij-zavod-prevrashhaet-produkty-iz-magazi

**Сычик В.А.¹, д.т.н., профессор, Русан В.И.², д.т.х.н., профессор,
Уласюк Н.Н.¹, PhD**

**¹Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь**

**²УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

СИНТЕЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПОЛУПРОВОД- НИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ИЗЛУЧЕНИЙ

Ключевые слова: Полупроводниковый преобразователь, электрическая модель, интегральная технология, характеристики, синтез, структура, источник тока.

В связи с эффективным внедрением интегральной технологии в производство многофункциональных измерительных преобразователей, сформированных на основе полупроводниковых приборных структур, резко возрастает количество пленочных компонентов. В процессе разработки измерительных преобразователей возрастает необходимость анализа и параметрической оптимизации переходных характеристик таких структур.

Решение данных вопросов при минимальных вычислительных затратах производим с помощью макромоделей полупроводниковых ИП, воспроизводящих с достаточной степенью адекватности поведение схемы ИП для входных, передаточных и выходных характеристик.

При формировании электрической модели ПИП тепловых излучений используем принципы упрощения, на основании которых синтезируем формальные и блочные их макромоделли.

Обобщенную схему формальной модели ПИП формируем из следующих блоков (рис. 1,а): входного, реализующего динамические входные характеристики и функцию преобразования; промежуточного, обеспечивающего заданные динамические характеристики и статическую передаточную характеристику; выходного, воспроизводящего выходную характеристику. При этом входные и выходные блоки представляют соответственно входные и выходные цепи моделируемых элементов базисов преобразователей, а промежуточный блок описывается аналитическими выражениями или эквивалентными схемами. Поскольку входные характеристики ИП имеют обычно нелинейный комплексный характер, то генератор тока с входным сопротивлением должен выражаться функцией вида $R_{вх} = f(U_{вх}, t)$.

Электрическую модель преобразователя тепловых излучений (ПТИ) (рис. 1,б) формируем в соответствии со структурной схемой (рис.1,а).

Схема входного блока ПТИ (рис.1,г) включает $R_{вх} = R_{вх н} + R_{вх у}$ и источник тока $I_{вх}$. Составляющая $R_{вх у}$ отражает характер изменения электрических свойств входного блока при воздействии преобразуемого теплового излучения $N_{Z(вх)}$, а $R_{вх н}$ - независимая от преобразуемого воздействия составляющая, учитывающая изменения параметров других элементов блока. Промежуточный блок (элементы E_1, R_1, C_1) реализует передаточную и переходную характеристики. Динамические свойства схемы ПТИ реализуются в блоке задержек макромоделли, который в соответствии со статической передаточной характеристикой определяет длительность задержки выходного сигнала ИП.

Выходной блок, основной функцией которого является воспроизведение статических выходных характеристик $I_{вых} = f(U_{вых})$, как обязательный элемент содержит источник тока $I_{вых}$, задающий соответственно выходной ток. В схему замещения также входит выходное сопротивление $R_{вых}$, изменение которого учитывается путем включения в выходную цепь зависимого источника напряжения E_2 .

Для создания макромоделей полупроводниковых измерительных преобразователей способом исключения отдельных компонен-

тов из схемы ИП в различных режимах работы используем теорию чувствительности [1]. При формировании макромодели ИП тепловых излучений интенсивности $N_{\text{вх}}$ (рис.1,б) производим сравнение чувствительности выходного напряжения со всеми параметрами элементов схемы ИП для 3-х участков статической передаточной характеристики $U_{\text{вых}} = f(N_{\text{вх}})$ (1,2,3). Для каждого участка выделяем главные элементы, чувствительность которых намного выше, чем других. Главные элементы затем включаем в макромодель, а вспомогательные не рассматриваются.

Формальную электрическую модель многовходового ПТИ с логической функцией преобразования описываем статической $I_{\text{вх } i}$ ($U_{\text{вх } i}$) и динамической $I_{\text{вх } i}(U_{\text{вх } i}, dU_{\text{вх } i} / dt)$ - входной характеристиками, статической передаточной характеристикой при холостом ходе на выходе

$$U_{\text{вых } j}(U_i) i = 1 \div m, j = 1 \div n.$$

Структура синтезированной формируемой макромодели многовходового ПТИ представляет эквивалентную схему m -входных и n -выходных блоков (рис.1,д). Источник тока $I_{\text{вх } i}$ моделирует статическую емкость $C_{\text{вх } i}$ - динамическую входную характеристику ИП. Источник напряжения E_i моделирует статическую передаточную характеристику $U_{\text{вых}}(U)$, где определяющее напряжение U есть функция входных переменных. С помощью выходной $R_j C_{\text{вых } j}$ - цепи моделируется переходная характеристика j -го выхода. Значение напряжения источника равно напряжению на емкости, а в статическом режиме – напряжению источника E_j . Источник тока $I_{\text{вых } j}$ позволяет учесть нагрузочную способность элемента.

Все блоки, моделирующие статические характеристики ПТИ, описываются кусочно-линейными функциями типа $y = a_k x + b_k$, $k = 1 \dots k$, где

y - любая из функций, описывающих $I_{\text{вх } i}$, E_j , $I_{\text{вых } j}$;

x – соответствующие им аргументы $U_{\text{вх } i}$, $U_{\text{вых } j}$, U .

Чтобы с достаточной степенью точности смоделировать переходную характеристику ИП выделяем на ней несколько характерных участков, в каждом из которых задаем свою постоянную времени $\tau_j = R_j C_{\text{вых } j}$, причем обычно $R_j = \text{const}$, $C_{\text{вых } j} = \text{var}$.

Если достигнутая с помощью формальных макромоделей точность расчета невысока, используем адекватные (блочные и схем-

ные) макромоделли, синтез которых в общем случае проводим на основе снижения порядка алгебродифференциальных уравнений, описывающих статику и динамику ИП.

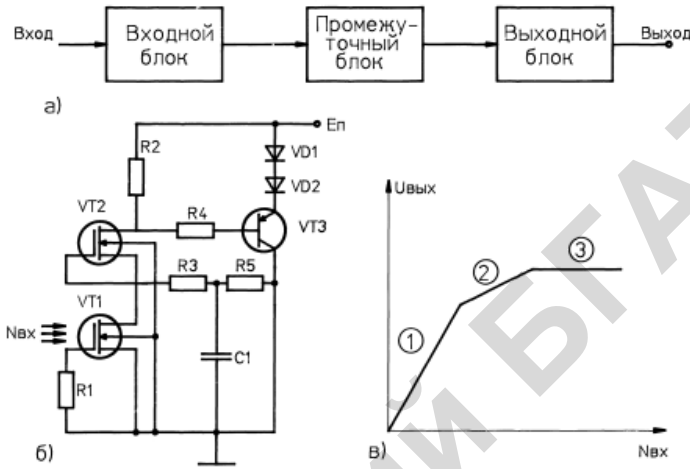


Рисунок 1. а) обобщенная структурная схема формальной модели ПИП;
 б) - электрическая схема формальной модели ППИ;
 в) - передаточная характеристика формальной модели ППИ;

Таким образом, электрические модели полупроводниковых преобразователей тепловых излучений позволяют эффективно использовать методики поэтапного проектирования, что обеспечивает объединение схмотехнического и логикофункционального этапов проектирования, причем необходимая часть структуры ИП может моделироваться на компонентном уровне, а другая – на уровне функциональных макромоделей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бубенников А.Н. Физическое моделирование и технология полупроводниковых приборов и интегральных схем. – М.: Высшая школа, 1989. – 360 с.
2. Сычик В.А. Измерительные преобразователи излучений на основе полупроводниковых приборных структур. – Мн.: Вышэйшая школа, 1991. – 179 с.