

В результате аналогового моделирования установлены величины моментов сил сопротивления $M_{H1} = M_{H2} = 40 \text{ Н/см}$ по обеим осям и коэффициенты передач редукторов $K_{p1} = K_{p2} = 3024$, при которых обеспечивается устойчивая работа системы слежения при минимальных возможных нагрузках на исполнительные механизмы и электродвигатели. Полученная точность слежения меньше или равна 10 угловым минутам. Колебаний в процессе слежения почти не наблюдалось. Для регулирования величин моментов сопротивления M_{H1} и M_{H2} на обеих осях поворота платформы были дополнительно установлены тормозные устройства Д1 и Д2 (рис.1), обеспечивающие гашение автоколебаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красов В.И. Атмосферный контроль загрязнений атмосферы и его приборное обеспечение. Методы и аппаратура автоматизированного контроля атмосферных загрязнений. - Л.: Гидрометеоиздат, 1979. - 258 с.
2. Матевосян П.А., Саркисян М.А., Мнацаканян М.Г., Абгарян С.В. Автоматическое устройство наведения и слежения // Элементы и технические средства систем управления: Межвуз. сб. научн. тр. / ЕрПИ - Ереван, 1989. - С. 45-49.
3. Современные спектрометрические методы газового анализа / ВНИИКИ Государственный комитет стандартов - М., 1978.
4. Вечкасов И.А., Кручинин Н.А., Поляков А.И., Резинкин В.Ф. Приборы и методы анализа в ближней инфракрасной области - М.: Химия, 1977. - 303 с.
5. Лейте В. Определение загрязнений воздуха в атмосфере и на рабочем месте: Перевод с немецкого. - Л.: Химия, 1980. - 243 с.

ГИУА

07.03.1996

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), г. Л., № 3, 1997, с. 237-242.

УДК 681.3

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

В.Ш. МЕЛИКЯН, А.О. ВАГЯН, А.Ш. СИМОНЯН

МОДЕЛИ ЗАДЕРЖЕК МЕЖСОЕДИНЕНИЙ ЦИФРОВЫХ БИС

Առաջարկված են կապի գծերի ինտերֆեյսների մոդելներ մեծ ինտեգրացիոն սխեմաների (ՄԻՍ) ավտոմատացման ժամանակակից բոլոր հիմնարար տեխնոլոգիաների իսպառ շրջանում: Դրանք առաջարկված են մեքենայական փորձարկումների միջոցով ստացված կապի ժամանակակից տեխնոլոգիաների՝ նրանց երկարության անհետաքննելի մոտարկման միջոցով: Բերված են մոդելներ, կարող են օգտագործվել ՄԻՍ-ների տրանսպարենսնային կամ երկուրեք մոդելավորման համակարգերում:

Предложены модели задержек межсоединений цифровых схем для всех современных базовых технологий изготовления БИС, которые синтезируются

аппроксимацией зависимостей временных параметров межсоединений от длины линий связи, полученных на основе машинных экспериментов. Приведенные модели могут быть использованы в системах логического или смешанного анализа.

Ил.2. Табл.1. Библиогр.: 3 назв.

Models of digital circuit interconnection delays for all the modern basic technologies of VLSI production are suggested. They are synthesized by dependence approximation of interconnection time parameters on links obtained by machine experiments. Given models can be used in logical or mixed VLSI analysis.

Ил.2. Table 1. Ref.3.

Известно, что временные характеристики межсоединений в сверхбольших интегральных схемах (СБИС) играют решающую роль для быстродействия СБИС [1]. Причиной увеличения задержек на межсоединениях является возрастание длин связей. Отсюда следует, что в программные системы логического моделирования цифровых СБИС должны быть внесены средства, учитывающие неидеальность межсоединений с точки зрения распространения сигналов.

Наиболее простым методом учета задержек межсоединений является автоматическое добавление между двумя последовательно включенными логическими элементами (ЛЭ) логического повторителя (ЛП), который отражает опоздание сигнала на соответствующем межсоединении.

В существующих программах логического моделирования используются различные теоретические аналитические модели зависимости $t_d = f(l_{св})$ (t_d — задержка в межсоединении, $l_{св}$ — длина линии связи), значительно повышающие точность результатов анализа. Однако такая точность недостаточна для смешанного логико-электрического моделирования. В связи с этим:

1. Используются универсальные модели зависимостей $t_d = f(l_{св})$, не учитывающие специфику используемой базовой логической ячейки (ТТЛ, ЭСЛ, И²Л и т.д.).

2. Хотя межсоединения представляются как длинные линии с распределенными параметрами, однако как правило, используется только одна модель (чаще RC) линии связи. При этом более правильным подходом является применение такой распределенной модели (RC, RL или RLC), которая больше соответствовала бы специфике используемой техники изготовления данной СБИС.

Известно, что с целью повышения точности результатов моделирования цифровой части СБИС в существующих программах смешанного логико-электрического анализа [2, 3] применяют более точные асинхронные логические модели ЛЭ, использующие несколько интегрированных временных параметров ЛЭ ($t_{д}$) для детализации процесса переключения цифрового элемента. Например, в работе [2] использована модель ЛЭ, имеющая временные параметры: Δt_1 — интервал времени между моментами переключения входного сигнала и начала переключения выходного сигнала; Δt_2 — интервал времени между моментами переключения входного сигнала и установления выходного сигнала ЛЭ. Причем эти параметры для

переключения ЛЭ из состояния "0" в "1" и наоборот различны: $\Delta t_{\text{н}}^{01}$, $\Delta t_{\text{н}}^{10}$, $\Delta t_{\text{в}}^{01}$ и $\Delta t_{\text{в}}^{10}$.

В данной статье приведены полученные на основе проведенных машинных экспериментов аналитические модели (табл.) зависимостей $\Delta t_{\text{н}}^{01} = f(l_{\text{св}})$, $\Delta t_{\text{н}}^{10} = f(l_{\text{св}})$, $\Delta t_{\text{в}}^{01} = f(l_{\text{св}})$ и $\Delta t_{\text{в}}^{10} = f(l_{\text{св}})$ для различных базовых логических ячеек и способов представления линий связи. В приведенных выражениях коэффициенты при $l_{\text{св}}$ и свободные члены имеют размерность времени, выраженную в нс, а значения $l_{\text{св}}$ - в см. В случаях, когда не указано ограничение на величину $l_{\text{св}}$, она может меняться до значений, допустимых современными технологиями.

Таблица

Полумпирические аналитические модели зависимостей задержек междолинний от длины линий

Базовая логическая ячейка	Модель линии связи	Модель зависимости	
ТТЛ	RC	$\Delta t_{\text{н}}^{01} = f(l_{\text{св}})$	$1,15 l_{\text{св}}^2 - 0,14 l_{\text{св}} + 4,125$, если $0 < l_{\text{св}} \leq 0,35 \text{ см}$ $1,71104 l_{\text{св}}^2 + 0,6488 l_{\text{св}} + 4,363$; если $l_{\text{св}} > 0,35 \text{ см}$
		$\Delta t_{\text{н}}^{10} = f(l_{\text{св}})$	$3,084 l_{\text{св}}^2 - 0,5216 l_{\text{св}} + 10,71188$, если $0 < l_{\text{св}} \leq 0,35 \text{ см}$ $30,601 l_{\text{св}}^2 - 28,9702 l_{\text{св}} + 17,6142$; если $0,35 < l_{\text{св}} \leq 0,50 \text{ см}$ $14,902 l_{\text{св}}^2 - 19,975 l_{\text{св}} + 17,371$; если $l_{\text{св}} > 0,50 \text{ см}$
		$\Delta t_{\text{в}}^{01} = f(l_{\text{св}})$	$6,603 l_{\text{св}} + 2,99$; $l_{\text{св}} > 0$
		$\Delta t_{\text{в}}^{10} = f(l_{\text{св}})$	$54,44 l_{\text{св}} + 2,31033$; $l_{\text{св}} > 0$
ТТЛ	RL	$\Delta t_{\text{н}}^{01} = f(l_{\text{св}})$	$15,22 l_{\text{св}} + 9,481$; $l_{\text{св}} > 0$
		$\Delta t_{\text{н}}^{10} = f(l_{\text{св}})$	$18,4 l_{\text{св}} + 15,637$; $l_{\text{св}} > 0$
		$\Delta t_{\text{в}}^{01} = f(l_{\text{св}})$	$4,46 l_{\text{св}} + 1,141$; $l_{\text{св}} > 0$
		$\Delta t_{\text{в}}^{10} = f(l_{\text{св}})$	$12,16 l_{\text{св}} + 3,321$; $l_{\text{св}} > 0$
ТТЛ	RLC	$\Delta t_{\text{н}}^{01} = f(l_{\text{св}})$	$10,06 l_{\text{св}} + 12,249$; $l_{\text{св}} > 0$
		$\Delta t_{\text{н}}^{10} = f(l_{\text{св}})$	$19,1 l_{\text{св}} + 15,585$; $l_{\text{св}} > 0$
		$\Delta t_{\text{в}}^{01} = f(l_{\text{св}})$	$8,18 l_{\text{св}} + 0,849$; $l_{\text{св}} > 0$
		$\Delta t_{\text{в}}^{10} = f(l_{\text{св}})$	$14,62 l_{\text{св}} + 3,141$; $l_{\text{св}} > 0$

ЭСЛ	RC	$\Delta t_{\text{н}}^{\text{II}} = f(l_{\text{сн}})$	$5,66 l_{\text{сн}} + 0,137; l_{\text{сн}} > 0$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{II}} = f(l_{\text{сн}})$	$11,1 l_{\text{сн}} + 2,217$; если $0 < l_{\text{сн}} \leq 0,25\text{см}$ $30,58 l_{\text{в}} - 3,24216$; если $l_{\text{сн}} > 0,25\text{см}$
		$\Delta t_{\text{н}}^{\text{III}} = f(l_{\text{сн}})$	$15,26 l_{\text{сн}} - 0,6576$, если $0,042\text{см} < l_{\text{сн}} < 0,35\text{см}$ $28,832 l_{\text{сн}} - 5,2143$; если $l_{\text{сн}} \geq 0,35\text{см}$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{III}} = f(l_{\text{сн}})$	$65,57 l_{\text{сн}} - 2,93814$; если $l_{\text{сн}} > 0,045\text{см}$
ЭСЛ	RL	$\Delta t_{\text{н}}^{\text{II}} = f(l_{\text{сн}})$	$6,75 l_{\text{сн}} + 3,3245; l_{\text{сн}} > 0$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{II}} = f(l_{\text{сн}})$	$73,6 l_{\text{сн}} + 9,0237$; если $0 < l_{\text{сн}} \leq 0,20\text{см}$ $34,51 l_{\text{сн}} + 16,844$; если $l_{\text{сн}} > 0,20\text{см}$
		$\Delta t_{\text{н}}^{\text{III}} = f(l_{\text{сн}})$	$6,625 l_{\text{сн}} - 12,344; l_{\text{сн}} > 0$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{III}} = f(l_{\text{сн}})$	$31,912; l_{\text{сн}} + 13,5281; l_{\text{сн}} > 0$
ЭСЛ	RLC	$\Delta t_{\text{н}}^{\text{II}} = f(l_{\text{сн}})$	$5,185 l_{\text{сн}} - 0,15038; l_{\text{сн}} > 0,03\text{см}$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{II}} = f(l_{\text{сн}})$	$39,7 l_{\text{сн}} + 4,84737; l_{\text{сн}} > 0$
		$\Delta t_{\text{н}}^{\text{III}} = f(l_{\text{сн}})$	$5,5625 l_{\text{сн}} + 2,90315; l_{\text{сн}} > 0$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{III}} = f(l_{\text{сн}})$	$37,06 l_{\text{сн}} + 9,5419; l_{\text{сн}} > 0$
ИЭЛ	RC	$\Delta t_{\text{н}}^{\text{II}} = f(l_{\text{сн}})$	$14,886 l_{\text{сн}} - 0,5871; l_{\text{сн}} > 0,04\text{см}$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{II}} = f(l_{\text{сн}})$	$18,5876 l_{\text{сн}} - 0,8313; l_{\text{сн}} > 0,045\text{см}$
		$\Delta t_{\text{н}}^{\text{III}} = f(l_{\text{сн}})$	$4,754 l_{\text{сн}} + 0,1167; l_{\text{сн}} > 0$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{III}} = f(l_{\text{сн}})$	$29,81 l_{\text{сн}} - 0,2719; l_{\text{сн}} > 0,01\text{см}$
ИЭЛ	RL	$\Delta t_{\text{н}}^{\text{II}} = f(l_{\text{сн}})$	$17,02 l_{\text{сн}} + 1,7; l_{\text{сн}} > 0$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{II}} = f(l_{\text{сн}})$	$19,58 l_{\text{сн}} + 7,3085; l_{\text{сн}} > 0$
		$\Delta t_{\text{н}}^{\text{III}} = f(l_{\text{сн}})$	$-11,7 l_{\text{сн}}^2 + 10,75 l_{\text{сн}} + 0,250$; если $0 < l_{\text{сн}} \leq 0,45\text{см}$ $10,002 l_{\text{сн}} + 2,498 l_{\text{сн}}$; если $l_{\text{сн}} > 0,45\text{см}$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{III}} = f(l_{\text{сн}})$	$38,84 l_{\text{сн}} + 7,390; l_{\text{сн}} > 0$
ИЭЛ	RLC	$\Delta t_{\text{н}}^{\text{II}} = f(l_{\text{сн}})$	$17,58 l_{\text{сн}} + 1,257; l_{\text{сн}} > 0$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{II}} = f(l_{\text{сн}})$	$20,6 l_{\text{сн}} + 72,76; l_{\text{сн}} > 0$
		$\Delta t_{\text{н}}^{\text{III}} = f(l_{\text{сн}})$	$-15,88 l_{\text{сн}}^2 + 12,726 l_{\text{сн}} - 0,1714$; если $0 < l_{\text{сн}} \leq 0,30\text{см}$ $2,75 l_{\text{сн}} + 1,798$; если $l_{\text{сн}} > 0,30\text{см}$
		$\Delta t_{\text{в}}^{\text{III}} = f(l_{\text{сн}})$	$41,3 l_{\text{сн}} + 7,229$; если $l_{\text{сн}} > 0$

МДП	RC	$\Delta t_{\Sigma}^{01} = f(l_{\Sigma})$	$35,876 l_{\Sigma}^2 + 17,286 l_{\Sigma} - 0,145; l_{\Sigma} > 0,0005\text{см}$
		$\Delta t_{\Sigma}^{01} = f(l_{\Sigma})$	$64,68776 l_{\Sigma} - 2,6127; l_{\Sigma} > 0,041\text{см}$
		$\Delta t_{\Sigma}^{10} = f(l_{\Sigma})$	$30,4 l_{\Sigma} - 15,304 l_{\Sigma} - 0,232; l_{\Sigma} > 0,02\text{см}$
		$\Delta t_{\Sigma}^{10} = f(l_{\Sigma})$	$33,7446 l_{\Sigma} - 1,5268; l_{\Sigma} > 0,046\text{см}$
МДП	RL	$\Delta t_{\Sigma}^{01} = f(l_{\Sigma})$	$12,6 l_{\Sigma} - 0,14; l_{\Sigma} > 0,02\text{см}$
		$\Delta t_{\Sigma}^{01} = f(l_{\Sigma})$	$22,35; l_{\Sigma} > 0$
		$\Delta t_{\Sigma}^{10} = f(l_{\Sigma})$	$11 l_{\Sigma} - 0,25; l_{\Sigma} > 0,023\text{см}$
		$\Delta t_{\Sigma}^{10} = f(l_{\Sigma})$	$17,05; l_{\Sigma} > 0$
МДП	RLC	$\Delta t_{\Sigma}^{01} = f(l_{\Sigma})$	$35,908 l_{\Sigma}^2 + 17,416 l_{\Sigma} - 0,1466; l_{\Sigma} > 0,01\text{см}$
		$\Delta t_{\Sigma}^{01} = f(l_{\Sigma})$	$64,572 l_{\Sigma} - 2,4143; l_{\Sigma} > 0,04\text{см}$
		$\Delta t_{\Sigma}^{10} = f(l_{\Sigma})$	$30,544 l_{\Sigma} - 15,026 l_{\Sigma} - 0,151; l_{\Sigma} > 0,02\text{см}$
		$\Delta t_{\Sigma}^{10} = f(l_{\Sigma})$	$33,9606 l_{\Sigma} - 1,5550; l_{\Sigma} > 0,046\text{см}$

Предложена следующая методика получения моделей, приведенных в таблице.

Шаг А. Рассмотрена цепочка последовательно включенных ЛЭ. С помощью программы схемотехнического анализа MicroCap III получены временные диаграммы изменения напряжений в узлах соединения ЛЭ при изменении входного сигнала Q_{in} из состояния "0" в "1".

Шаг В. Определено количество ЛЭ(k), после которых форма сигнала на выходе очередного ЛЭ устанавливается с достаточной точностью.

Шаг С. Между ($k-1$)-ым и k -ым ЛЭ подключена n секционная R_{Σ} -модель линии связи. На основе сравнения сигналов на входе и выходе линий связи получены значения параметров Δt_{Σ}^{01} , Δt_{Σ}^{10} или Δt_{Σ}^{01} , Δt_{Σ}^{10} при данном n . Изменением n (т.е. l_{Σ}) получены табличные зависимости $\Delta t_{\Sigma}^{01} = f(l_{\Sigma})$, $\Delta t_{\Sigma}^{10} = f(l_{\Sigma})$, $M_{\Sigma}^{01} = f(l_{\Sigma})$ и $M_{\Sigma}^{10} = f(l_{\Sigma})$.

Шаг D. Аппроксимацией табличных зависимостей получены модели линий связи, включенные в таблицу.

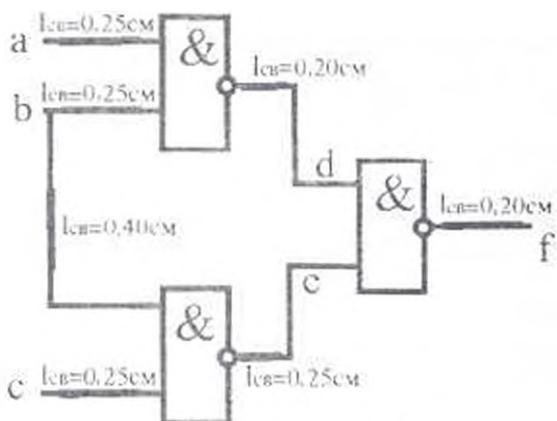


Рис. 1. Пример цифровой схемы

Приведенные в таблице модели могут быть использованы в произвольных системах логического моделирования цифровых СБИС или же смешанного анализа аналого-цифровых СБИС. Их внедрение в систему [2] позволило существенно повысить точность результатов расчетов.

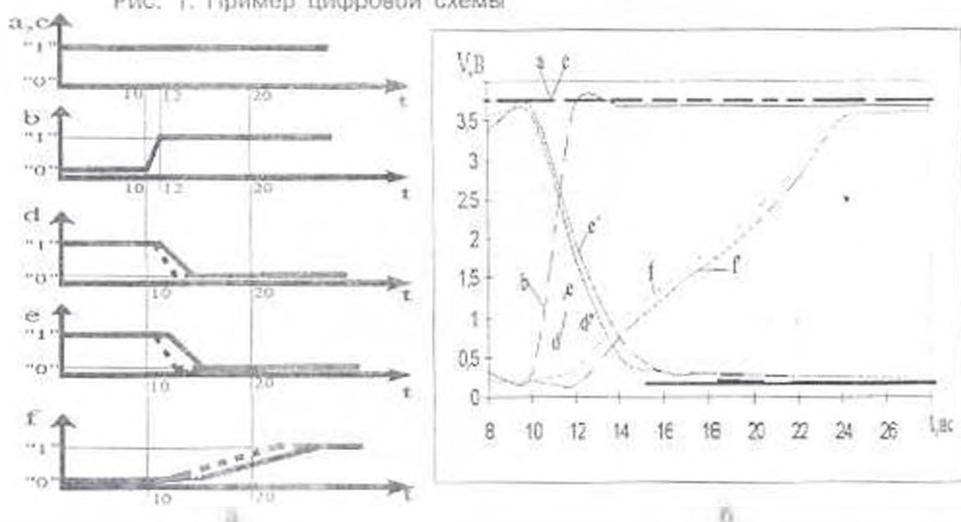


Рис. 2. Временные диаграммы изменения напряжений. а - моделирование на логическом уровне, б - моделирование на схемотехническом уровне

Приведены результаты моделирования схемы, показанной на рис. 1, с использованием (сплошные линии) и без использования (пунктирные линии) разработанных моделей линий связи (рис. 2). Как видно из графиков напряжений, точность расчетов существенно повышается при учете паразитных параметров линий связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Файзулаев Б.Н., Шагурин И.И., Карамзинский А.Н. и др. Быстродействующие матричные БИС и СБИС. - М.: Радио и связь, 1989. - 304 с.
2. Архангельский А.Я., Меликян В.Ш. Смешанное схемотехническое и функционально-логическое моделирование аналого-цифровых БИС // Электронное моделирование - 1984. - № 5. - С. 35-39.
3. Dyson C.M., Gray A.H. A pipelined event-driven mixed-mode simulator // IEEE Design & Test of computers. - 1987. V.1, №1. - February - P. 30-40.