

УВЕЛИЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ КМОП СХЕМ НА ОСНОВЕ ЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Кириенко Н. А.

Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси

Минск, Республика Беларусь

E-mail: kir@newman.bas-net.by

Рассматривается метод логического моделирования для оценки энергопотребления схем из КМОП элементов. Предлагается способ увеличения точности оценки энергопотребления путем использования характеристик элементов целевой библиотеки проектирования. Приводятся результаты экспериментального исследования.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс синтеза цифровых устройств с пониженным энергопотреблением включает этап оценки энергопотребления в процессе их проектирования. Оценка энергопотребления проектируемых устройств может быть выполнена с помощью различных программных комплексов. Наиболее точную оценку дает система схемотехнического моделирования Accusim II фирмы Mentor Graphics [1].

Она выполняет аналоговое (SPICE) моделирование схемы на транзисторном уровне, подавая аналоговые сигналы на входы всех элементов и вычисляя значения сигналов на выходах. В процессе моделирования определяются значения потребляемого тока на каждом входном наборе и среднее значение потребляемого схемой тока на заданной последовательности входных наборов. Существенной особенностью системы Accusim является достаточно большое время моделирования, что не позволяет выполнять его в процессе оптимизации исходного описания проектируемого устройства.

В настоящей работе представлен быстродействующий метод логического моделирования, который дает достаточно точную оценку энергопотребления КМОП схем за допустимое время.

I. МЕТОД ЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ SF-ОПИСАНИЙ СХЕМ ИЗ КМОП ЭЛЕМЕНТОВ

Метод логического моделирования схем из КМОП элементов [2] предполагает описание схемы на специализированном языке структурно-функционального описания SF [3]. В основе метода и алгоритма SF-моделирования лежит таблица оценки энергопотребления элементов целевой библиотеки проектирования.

Один из подходов, разработанных ранее, заключался в анализе электрической схемы каждого из элементов целевой библиотеки и подсчете числа переключений транзисторов при изменении сигнала на одном из его входов [2]. При этом значение переключательной активности s_{ij} для n -входного логического элемента вычислялось

по формуле

$$s_{ij} = d_f \text{weight} (Inp_i \oplus Inp_j), \quad (1)$$

где d_f - параметр элемента библиотеки; Inp_i , Inp_j - булевы векторы, представляющие i -й и j -й входные наборы; $\text{weight}(a)$ - число единиц в векторе a , символ \oplus обозначает операцию поразрядного сложения по модулю 2 двух векторов.

II. ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЦЕЛЕВОЙ КМОП БИБЛИОТЕКИ

Описанный подход к оценке энергопотребления имеет недостатки. В формуле 1 используется число входов элемента, на которых произошло изменение сигнала. Таким образом, усредняется энергопотребление при изменении сигнала на любом из входов, что на самом деле не позволяет получить более точную оценку.

В связи с этим был предложен новый подход к оценке энергопотребления элементов целевой библиотеки, позволяющий получить значения энергопотребления всех элементов библиотеки на всех возможных парах входных сигналов [4]. Процесс получения этих значений назван характеристикой элементов библиотеки проектирования.

Для характеристики каждого элемента была разработана его SPICE-модель, имитирующая подключение с заданным разветвлением по входу и выходу. Затем проводилось моделирование полученных описаний в программе AccuSim при всевозможных изменениях значений входных сигналов. В результате для всех элементов библиотеки получены таблицы средних значений потребляемых токов (Average), получаемых при последовательной подаче всех возможных пар входных наборов, - таблицы характеристики.

Таблица характеристики каждого элемента представляется индексированным массивом, например с именем wNA (для элемента NA). Величина потребляемого каждым элементом (в нашем случае NA) тока на паре смежных наборов i, j определяется выбором значения индексированного массива wNA .

Формирование индекса k_{ij} для выбора элемента массива происходит следующим образом.

Формируется двоичное число, состоящее из значений входов элемента на наборе i и наборе j . Например, значения входов элемента NA на наборе i равны 00, на наборе j 10. Этой ситуации соответствует двоичное число 0010. При переводе в десятичную систему получим индекс $k_{ij} = 2$. Следовательно, значение энергопотребления t_{ij} для элемента NA при данной смене значений входов равно значению элемента $wNA[2]$ и определяется по формуле:

$$t_{ij} = wNA[k_{ij}]. \quad (2)$$

III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

Для проверки точности предлагаемой оценки было проведено экспериментальное исследование. В качестве тестовых примеров использовались системы ДНФ из набора [5]. Система булевых функций, заданная каждым тестовым примером, подвергалась минимизации в классе ДНФ с помощью модифицированной программы Espresso, включенной в программный комплекс КМОП-ЛП. Сигнальные вероятности входных сигналов принимались равными 0,5. Далее для каждого примера по минимизированной системе ДНФ синтезировалась схема из элементов КМОП библиотеки.

Для синтезированной схемы выполнялась оценка энергопотребления следующими двумя способами: путем схемотехнического моделирования (SPICE-моделирования) с помощью программы Accusim II [1]; путем SF-моделирования [2]. Эксперимент проводился на случайных тестовых наборах размером 512.

Результаты эксперимента представлены в таблице 1. В столбце 1 таблицы представлено имя примера. В столбце 2 представлен средний ток в одном такте, определенный с помощью программы Accusim II. В столбце 3 представлен средний ток в одном такте, определенный с помощью программы SF-моделирования. В столбце 4 представлен максимальный ток, потребляемый схемой в одном такте, определенный с помощью программы SF-моделирования. Значения токов представлены в мкА. В столбце 6 представлено значение коэффициента p , равного отношению значения среднего потребляемого тока, определенного с помощью SF-моделирования, к значению среднего потребляемого тока, определенному с помощью SPICE-моделирования.

Как видно из таблицы, это значение колеблется в пределах 0,87 – 1,14, что является вполне приемлемой платой за значительное сокращение времени вычисления оценки энергопотребления при использовании SF-моделирования. Этим подтверждается возможность замены времязатратного SPICE-моделирования на быстродействующее SF-моделирование. Эксперимент пока-

зал, что время SPICE-моделирования на примере схемы dc2 равно 48 сек., а время SF-моделирования менее 1 сек.

Таблица 1 – Результаты экспериментального исследования по оценке энергопотребления схем из КМОП элементов

Имя схемы	Accusim	SF	SF макс	p
1	2	3	4	5
Add6	81.15	70.83	131.00	0.87
ADDM4	220.00	219.00	408.00	1.00
ALU1	11.30	12.70	22.70	1.12
B2	938.10	927.00	1470.00	0.99
B9	55.99	55.20	89.40	0.99
B12	44.03	44.20	75.70	1.00
Dc2	53.19	52.60	101.00	0.99
In0	219.91	231.00	396.00	1.05
In2	234.68	247.00	399.00	1.05
Intb	465.49	468.00	752.00	1.01
Life	47.86	44.00	76.30	0.92
Log8mod	49.65	49.30	92.40	0.99
M1	71.56	73.50	146.00	1.03
M181	42.42	42.40	73.30	1.00
M2	247.97	224.00	423.00	0.90
M3	342.01	301.00	555.00	0.88
Mlp4	182.07	168.00	311.00	0.92
Mp2d	50.91	57.90	113.00	1.14
newtpla	19.73	22.40	41.40	1.14
P82	48.15	53.10	104.00	1.10
Radd	28.42	25.90	48.70	0.91
Rd73	76.32	69.80	129.00	0.91
Root	74.18	77.20	148.00	1.04
Sex	25.39	28.10	55.40	1.11
Tms	181.58	166.00	303.00	0.91
Z5xp1	51.59	50.30	95.40	0.97
Z9sym	96.00	85.50	160.00	0.89

Можно утверждать, что предложенная характеристика элементов целевой библиотеки КМОП элементов позволяет получить достаточно адекватные оценки энергопотребления схем из КМОП элементов методом SF-моделирования.

1. Eldo User's Manual // – v. 6.5.1. – 2005.
2. Бибило, П. Н. Оценка энергопотребления комбинационных логических КМОП схем по их переключательной активности / П. Н. Бибило, Н. А. Кириенко // Мат. Седьмой междунар. конф. Автоматизация проектирования дискретных систем (CAD DD'10). – Минск : ОИПИ НАН Беларуси. – 2010. – С. 305 – 312.
3. Бибило, П. Н. Логическое проектирование дискретных устройств с использованием продукционно-фреймовой модели представления знаний / П. Н. Бибило, В. И. Романов // Минск : Белорусская наука. – 2011. – 279 с.
4. Бибило, П. Н. Оценка энергопотребления комбинационных КМОП схем на основе логического моделирования с учетом временных задержек элементов / П. Н. Бибило, А. Л. Соловьев // Управляющие системы и машины. – 2014. – № 6. – С. 34 – 41.
5. Berkeley PLA test set [Electronic resource] / Mode of access: <http://www1.cs.columbia.edu/cs6861/sis/espresso-examples/>. – Date of access: 29.06.2017.