

УДК 681.34:519

Губенко Н.Е., Лисовая С.В.

ПРЕПРОЦЕССОР АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ  
ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ

Описываются структурно-функциональные особенности организации вычислительного процесса формирования аналого-цифровых моделей динамических систем переменной структуры, а также алгоритм осуществления цифрового способа моделирования, используемого на этапе вычисления масштабов для аналоговой части модели.

Решение ряда важных научно-технических задач приводит к необходимости моделирования все более сложных технических систем. Реально существующие системы представляют собой совокупность взаимосвязанных элементов, характеризующихся непрерывностью и параллельностью протекающих в них процессов. При этом сложность системы обуславливается как большим количеством параметров и структурных элементов, так и изменением во времени внутрисистемных связей. Реализация сложных динамических систем с переменной структурой приводит к необходимости создания для их исследования перестраиваемых моделей. Удобным инструментом для исследования этих моделей являются аналого-цифровые вычислительные системы четвертого поколения (АЦВС-4).

Аналоговый процессор таких систем обеспечивает полную автокоммутацию решающих блоков и процессорных стоек при программном управлении от цифровой части, что позволяет автоматизировать процесс исследования перестраиваемых динамических моделей на всех этапах от ее описания до выполнения и регистрации результатов.

С  
описание  
процессор  
туры, и  
местно  
АЦВС).  
Фун  
вается  
гебра  
раторам  
Оп  
содерж  
об  
движен  
об  
фаз дв  
об  
интерва  
ЯП  
- д  
- а  
- л  
- о  
- с  
- с  
Фр

7\*

С этой целью был разработан проблемно-ориентированный язык описания перестраиваемых динамических моделей (ЯПМ) и препродессор формирования аналого-цифровых моделей переменной структуры, которые функционируют в операционной среде АЦВС-4 совместно с системой автоматизации составления программ (САСП АЦВС).

Функционирование исследуемой динамической системы описывается в виде совокупности обыкновенных дифференциальных и алгебраических уравнений с условиями изменения конфигурации и операторами сопряжения модели в моменты реконфигурации.

Описание модели на ЯПМ представляется в виде программы, содержащей три области:

область описания уравнений модели, общих для различных фаз движения;

область начальных значений и условий сопряжения отдельных фаз движения;

область описания законов изменения переменных для каждого интервала постоянства структуры модели.

ЯПМ содержит следующие типы инструкций:

- дифференциальное уравнение;
- алгебраическое уравнение;
- логическое уравнение;
- описание функций;
- оператор изменения структуры;
- список начальных значений.

Фрагмент описания модели на ЯПМ будет выглядеть так:

```

1      F(T)=EXP(T)
2      90  P*2*X=-A2*P*1*X-A3+A4*X
3      XF1=A*F(T)-A1*P*1*Y
4      F1Y(Z4,Z5)=F1B(Z4,Z5)
5      F2Y(Z4,Z5)=F2B(Z4,Z5)
6      F3Y(Z4,Z5)=UPAN(Z4,Z5)
7      X4=A*1*P*1*Y
8      X5=A*1*Y
9      Z1=F2Y(Z4,Z5)
10     Z2=F1Y(Z4,Z5)
11     Z3=F3Y(Z4,Z5)
12     L1=X5,GE,X
13     L15=X*1,LT,0
14     X7=P*1*X-X4
15     LD1=X7,LE,AEPS
16     LD2=P*1*X,GE,0,AND,X,LT,AKX
17     Z4=P*1*X
18     Z5=P*1*Y
19     НАЧАЛЬНЫЕ
20     10  P*1*Y=0
21     20  P*1*Y=Z1
22     30  Y=0
23     40  X=A*Y
24     50  P*1*Y=A*P*1*Y
25     60  P*1*X=Z2
26     70  P*1*X=Z3
27     КОНЕЦ
28     100 ГРУППА
29     XN=A51-F(T)
30     IF(XN,LT,0)GO TO 200НАЧ10,30,40,50
31     КОНЕЦ
32     200 ГРУППА
33     P*2*Y=XF1-A91*XN1
34     XN1=A6*XF1+A7*P*1*Y+A8+A9*Y
35     IF(XN1,LT,0)GO TO 300
36     IF(Y,GE,AYK)GO TO 400
37     КОНЕЦ

```

```

38 300 ГРУППА
39 P'2'Y=XF1
40 УРАВНЕНИЕ 80
41 IF(Y.GT.AYK) GO TO 400
42 IF(L1.AND.LD1) GO TO 200 НАЧ 40,50,20
43 IF(L1.AND..NOT.LD1) GO TO 300 НАЧ 20,60
44 КОНЕЦ
45 400 ГРУППА
46 УРАВНЕНИЕ 80
47 IF(LD2)STOP
48 IF(P'1'X.LE.0.AND.X.GT.AX1) GO TO 400 НАЧ 70
49 КОНЕЦ
50 КОНЕЦ

```

Для обеспечения концептуального единства ЯПМ и САСП АЦВС принята фортраноподобная форма записи уравнений, операторов изменения структуры и меток, а также использован принцип независимости этапов формирования схемы моделирования по исходному описанию и ее настройки на конкретную аппаратуру.

Преобразование предложений входного языка в предложения языка, описывающего модель динамической системы с переменной структурой (ДСПС) в абстрактной моделирующей среде, осуществляется препроцессором ЯПМ.

Под абстрактной моделирующей средой понимают бесконечное количество типовых элементов АВМ, инвариантных к способу реализации.

Для отображения любой модели ДСПС качественный состав типовых блоков абстрактной моделирующей среды должен удовлетворять требованию функциональной полноты. В соответствии с этим требованием и функциональными возможностями современных АЦВС определен состав типовых модулей абстрактной моделирующей среды.

Таким образом, отображение модели ДСПС в абстрактной моделирующей среде представляется совокупностью типовых элементов и связей между ними, образующих абстрактную схему моделирования (АСМ). В настоящее время для описания структурных схем широко используются Плекс-языки [1]. Плекс-элемент (П-элемент) представляет собой абстрактный символ  $B_i$  с любым числом контактов  $E_i$ . В языке допускается существование П-элементов с числом контактов, равным нулю. Множество П-элементов  $B_i$  образует алфавит  $B$ . Абстрагирование от функциональных характеристик П-элементов позволяет упростить процесс синтеза схем.

Структура схемы представляется конкатенацией П-элементов. Пусть  $E_i$  и  $E_j$  — множества контактов соответственно П-элементов  $B_i$  и  $B_j$ , тогда конкатенацией П-элементов  $B_i$  и  $B_j$  будет отношение  $\gamma \subseteq E_i \times E_j$ . Конкатенация указывает способ соединения контактов.

Результат конкатенации некоторого числа вхождений П-элементов, принадлежащих алфавиту  $B$ , называется плексом  $P$  над алфавитом  $B$ .

Для формирования АСМ ДСПС в структуре, задаваемой плексом, должны быть дополнительно определены характеристики элементов, соответствующие ее исходному описанию на входном языке. К таким характеристикам относятся:

коэффициенты на входах элементов, заданные числом либо именем;

номера (метки), идентифицирующие элементы плекса, которые отображают соответствующие уравнения в описании элементарной модели;

номера (метки), идентифицирующие группы элементов плекса, которые образуют структуры одной элементарной модели.

Таким образом, в процессе разбора входного текста описания модели каждое уравнение из описания модели заменяется некоторой плекс-структурой, представляемой интегрирующими цепочками либо обобщенными плексами АСМ. Число интегрирующих звеньев цепочки соответствует порядку решаемого уравнения. Процесс разбора базируется на использовании совмещенных таблиц переходов анализирующего автомата, функции выходов соответствуют новым семантическим процедурам, связанным с отображением входного языка в язык абстрактных схем моделирования. Алгоритм работы препротессора представлен на рис. 1.

В зависимости от типа входной инструкции происходит формирование соответствующего плекса АСМ. Появление во входном тексте описания модели буквы  $P$  свидетельствует о начале разбора дифференциального уравнения. Число, стоящее за буквой  $P$ , указывает порядок дифференциального уравнения; далее следует имя динамической переменной. На основе полученной информации препротессор строит интегрирующую цепочку и по левой части уравнения формирует суммирующий плекс. Признаком окончания инструкции является символ %.

Аналогичным образом появление во входном тексте букв  $X$  или  $Y$  сигнализирует о начале разбора алгебраического уравнения, а появление буквы  $L$  — логического. По левой части этих уравнений строится суммирующий или логический плекс соответственно.

При считывании слова "Начало" препротессор переходит к разбору списка начальных значений. Для каждого предложения, задающего начальные значения, формируется суммирующий плекс, выход которого будет в процессе моделирования подключен к соответствующей интегрирующей цепочке.

По полученному отображению плекса АСМ производится оценка его объема, что позволяет сопоставить требуемые технические ресурсы для реализации модели ДСПС с реальными возможностями конкретной АЦВС. При этом принимаются во внимание рекомендации пользователя по реализации цифровым способом отдельных фрагментов модели, формируемых в виде инструкции САСП: СПОСОБ РЕАЛИЗАЦИИ: ЦВМ (список меток), в которой перечисляются метки уравнений из описания модели ДСПС, реализуемые на ЦВМ.



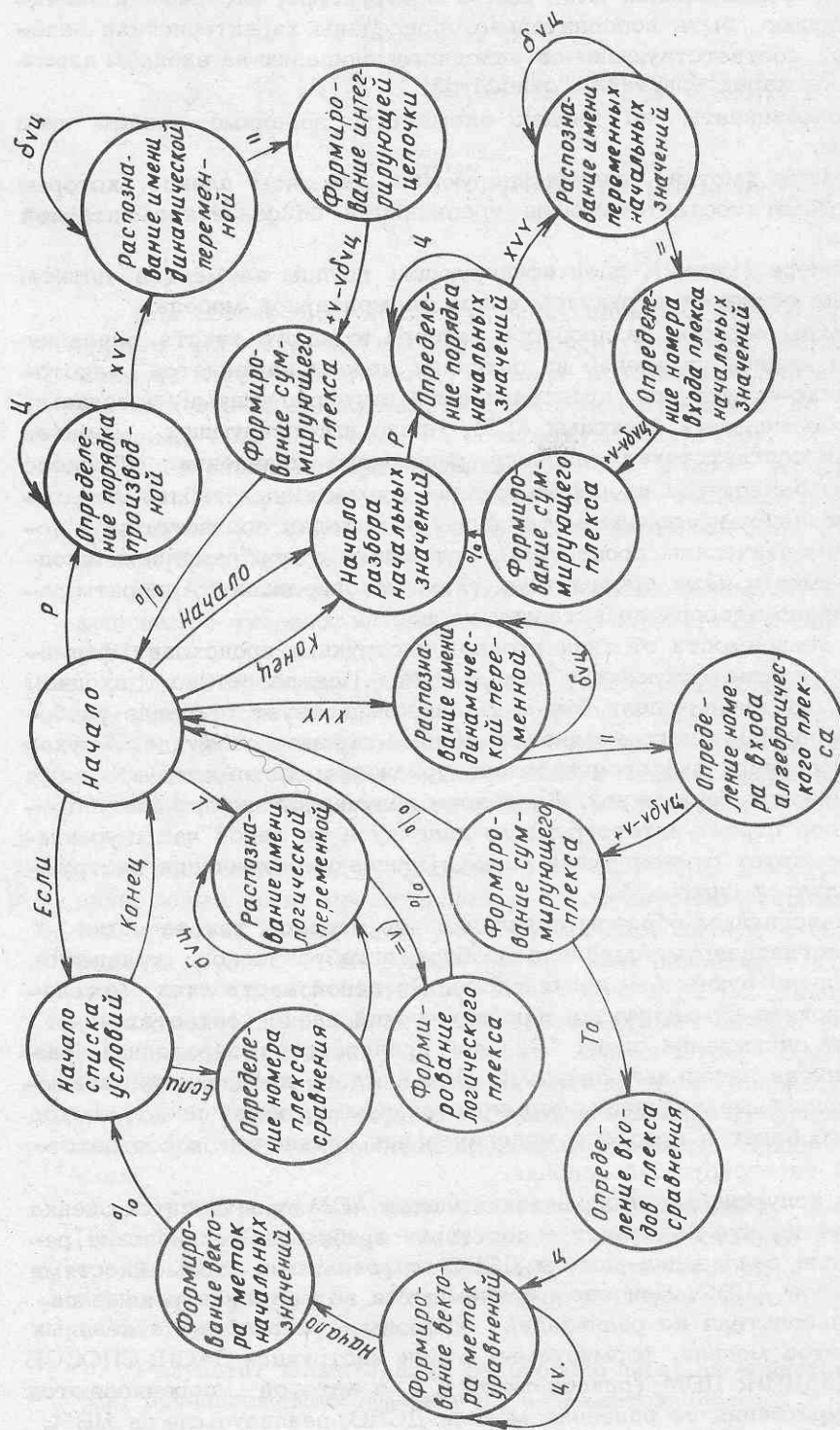


Рис. 1. Граф алгоритма препроцессора:  
 $\delta$  - любая буква;  $\zeta$  - любая цифра

мен  
 тура  
 ДСП  
 моде  
 [2]  
 стру

прив  
 ми  
 ред  
 UPRI  
 пара  
 управ  
 нию  
 Нача  
 ветст  
 гриро  
 зоват  
 П  
 разом  
 иници  
 состо  
 числу

А  
 нии ф  
 ответ  
 Налож  
 позвол  
 ленном  
 Пр  
 лическ  
 ДСПС  
 По  
 рашени  
 слежив  
 ловий  
 уравне  
 подмно  
 нием не  
 гично  
 В  
 в данно  
 значени  
 рашение

Для вычисления масштабов для каждой из динамических переменных препроцессор аналого-цифровых моделей переменной структуры производит отображение плекса АСМ в цифровую модель ДСПС. Разработанные методы и средства представления цифровой модели ДСПС являются развитием идей, предложенных в работе [2] и реализованных в САСП АЦВС для моделей с постоянной структурой.

Структурно-функциональная организация цифровой модели ДСПС приведена на рис. 2. Цифровая модель представлена двумя модулями (ЦМ1 и ЦМ2), связанными общим информационным полем. Перед началом цифрового моделирования управляющая программа UPR1 заносит в общее информационное поле значения постоянных параметров (векторы  $P_1$  и  $P_2$ ), номеров уравнений операционной и управляющей частей модели, соответствующих начальному состоянию (NUM1 и NUM2), и внутренний номер начального состояния  $\sigma_0$ . Начальные значения интегрируемых переменных заносятся в соответствии с вектором NUM1 в вектор  $X(t)$ . Шаг и алгоритм интегрирования задаются управляющей программой и инструкцией пользователя в программе исследования модели.

Процесс цифрового моделирования организован следующим образом. Ведущая программа UPR1 вызывает модуль ЦМ1, который инициализирует планировщик PRIOR1 процесса решения системы состояния модели вектором NUM1, имеющим длину, равную общему числу канонических уравнений в операционной части. При этом

$$NUM1(i) = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-е каноническое уравнение соответствует} \\ & \text{данному состоянию модели;} \\ 0 & \text{- в противном случае.} \end{cases}$$

Алгоритм работы планировщика PRIOR1 основан на вычислении функции готовности переменных правых частей уравнений, соответствующих данному состоянию, т.е. для случая  $NUM1(i) = 1$ . Наложение массива NUM1 на множество  $U$  всех уравнений модели позволяет выделить подмножество  $U' \in U$ , соответствующее определенному состоянию ДСПС.

Процесс вычисления вектора  $X(t+\Delta t)$  организуется путем циклического обращения к модулю канонических уравнений модели ДСПС в последовательности, определяемой вектором IPR1.

По завершении формирования вектора  $x(t+\Delta t)$  происходит обращение к модулю управления реконfigurацией ЦМ2, который отслеживает необходимость смены состояния в блоке дешифрации условий реконfigurации. Этот блок содержит описания логических уравнений и условий для всех состояний модели. Выделение из них подмножества, соответствующего данной фазе, выполняется наложением на вектор номеров вектора NUM2, определяемого аналогично вектору NUM1.

В случае выработки ложных значений всеми контролируемыми в данной фазе условиями происходит переопределение вектора  $x(t)$  значениями  $x(t+\Delta t)$ , новый цикл вычисления  $x(t+\Delta t)$  и новое обращение к ЦМ2.

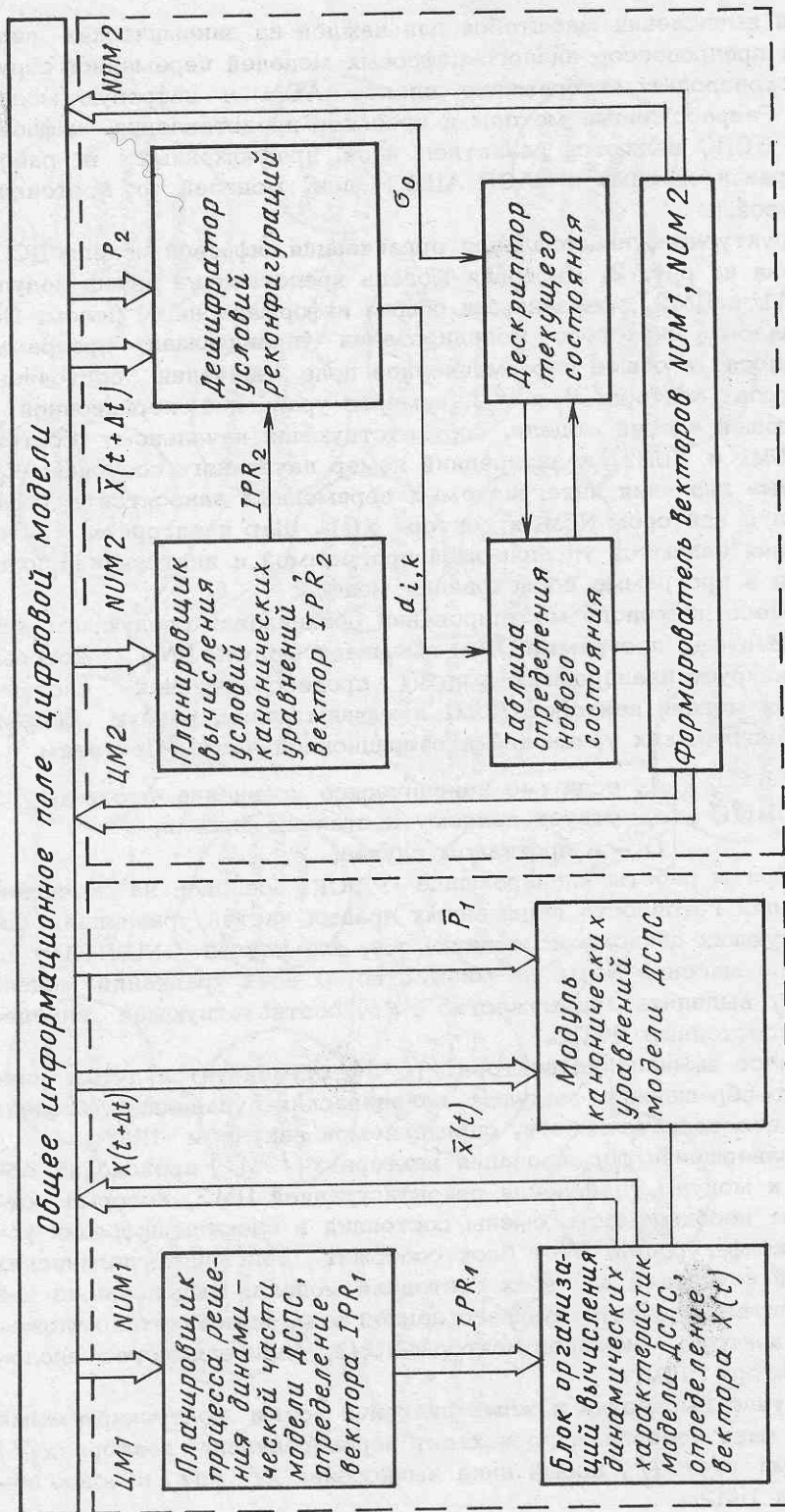


Рис. 2. Структурно-функциональная организация модулей цифровой модели ДСПС

СМЕ  
по  
ТОБ  
тек  
вал  
СПЕ  
ЮТ  
МАН  
рем  
НИМ  
ЩИ  
ТИК  
ров  
Авто  
цес

При выработке дешифратором сигнала  $\alpha_{ik}$ , соответствующего смене состояния  $i$  на состояние, определяемое  $k$ -м условием, по таблице переходов автомата определяется номер нового состояния. При этом учитывается номер, хранившийся в дескрипторе текущего состояния.

Для цифровых моделей ДСПС переход в новое состояние эквивалентен новой конфигурации канонической системы уравнений и списка условий.

Используемые алгоритмы цифрового моделирования позволяют определить на заданном временном интервале моделирования максимальные и минимальные значения величин динамических переменных, вычислить масштабы для аналоговой части модели и по ним реальные коэффициенты на входах суммирующих и интегрирующих плекс-элементов.

#### Л и т е р а т у р а

1. Анкудинов Г.И. Вопросы теории Плекс-языков// Кибернетика. - 1978. - № 3. - С. 44-49.

2. Бердяков Г.И., Витенберг И.М. Автоматизация программирования АЦВМ - основные результаты и направления развития// Автоматизация программирования аналого-цифровых и микропроцессорных систем. - М.: МДНТП, 1982. - С. 5-8.

Статья поступила в феврале 1988 г.



Аринчин С.А., Варфоломеев И.В., Раскин С.М. Исследование рассеяния магнитного поля печатной платы экраном конечных размеров ..... 88

### СРЕДСТВА АНАЛОГОВОЙ И АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Краснокутский В.А., Илларионова Н.Н., Белецкий О.В., Задверняк А.В. Аналого-цифровая вычислительная система на базе АЦВК-3 и СМ-2 .....	91
Губенко Н.Е., Лисовая С.В. Препроцессор аналого-цифровых моделей переменной структуры .....	98
Беляков В.Г., Дешин А.Н., Макаров Н.Н. Средства разработки прикладных программ для решения задач полунатурного моделирования на аналого-цифровой вычислительной системе .....	106
Козловских А.В. Интерполяция функций на аналого-цифровой вычислительной системе параболическими В-сплайнами .....	117

### ВОПРОСЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Электронная вычислительная техника, вып. 4, 1988 г.

---

Сдано в набор 5.09.88 г.	Подписано в печать 12.12.88 г.	
Печ. л. 8	Уч.-изд. л. 8	Формат 70x108/16
Индекс 3521	15 статей	Заказ № 4ДСП Цена 1 р. 60 к.

---