Аналоговые и гибридные ЭВМ

С точки зрения отображения информации в ВС есть два способа:

а) цифровой – информация в цифровой форме (т.е. переменная представляется последовательностью отдельных дискретных значений);

б) аналоговый – в ВС непрерывные физические переменные (машинные переменные). При этом независимая математическая переменная – реальное время t-отображается соответственной независимой машинной переменной (маш. время ). А зависимая математическая переменная отображается в ВС непрерывной зависимой переменной .

В то же время в ВС два разных способа отображения информации:

1. цифровой (в основе численные методы и дискретная математика);
2. аналоговый (основан на математическом моделировании, которое имеет два вида:

2.1 на основе аналогий;

2.2 с помощью оперативных блоков.

Оперативный блок – это такой блок, который моделирует некоторую математическую операцию.

# Цифровой оперативный блок

# [A3]

#

#

[A2]

[A1]

Σ

**[A] –** математическая переменная, которая отображает математическую переменную А.

**А3 = А1 +А2**

**[A1]** отображается **U1( τ );**

**[A2]** отображается **U2( τ );**

**это уже:**

U2(τ)

U1(τ)

U3(τ)

Λ

Λ

Λ

Σ

**- аналоговый U3 ( τ )= U1 ( τ ) + U2( τ );**

#

Λ

Λ

X

**- гибридные U3 ( τ )= А2 + U1( τ )**

Пусть есть некоторый объект, описание которого задано математически:

f(t); 

Покажем, что такое моделирование с помощью аналоговых блоков. Воспользуемся понижением порядков производных: построим схему из ОБ для заданного описания



Eсли зададим начальные условия, обеспечивая внешнее возмущение f(t) и в момент времени τ=0 обеспечивая соединение ОБ в соответствии в соответствии со схемой, то с этого момента времени начнется процесс решения задачи. При этом подходе одновременно работают все ОБ. Это и есть аналоговый метод.

функция преобра-зования для sin



[c1]

[c2]

[ƒ(t)]

[y(t)]

[y(t)]



Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

Λ



∫

t

∑

∫

t

X

y

R

[2]

φ(x)

x

?

a(t)

[e-t]

K

[3]

1

Сравнительный анализ цифровых и аналоговых ЭВМ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ЦЭВМ | АЭВМ | |
| Способ представления информации | | |
| цифровой | аналоговый | |
| Точность | | |
| Зависит от точности выбранного числового метода и разрядной сетки. Можно получить ∀ точность. | Зависит от точности работы ОБ, т.е. качества оборудования. В аналоговых системах подняться выше, чем 0,01% практически невозможно. | |
| Быстродействие | | |
| Зависит от сложности задачи и определяется тактовой частотой | | Определяется полосой пропускания ОБ, от сложности не зависит. |
| Выполнение математических операций | | |
| Основная часть выполняется программно, т.е. ОБ мало. | | Все операции выполняются аппаратно. |
| Логические | | |
| Можно выполнять любые логические операции (цифровые), их количество можно просто изменять алгоритм в зависимости от результатов логических операций. Логических операций всего три:  И-или-не (остальные можно сделать с их помощью). | | И-или-не соответствуют частным случаям max, min и инверсия. Ограниченный набор логических операций. Сложно изменить алгоритм в зависимости от результата логических операций. |
| Хранение и задержка | | |
| Можно запоминать любое количество информации и задержать на ∀ время. | | ∀ Аналогичный сигнал можно хранить значением (хранит конденсатор). Время ограничено (время хранения), объем тоже ограничен. |
| Прогаммирование | | |
| Сложный процесс, требующий хорошей базовой подготовки, тоже ∃ проблема масштабирования (в формате с плавающей точкой). | | Проблема масштабирования, легко программировать |
| Итак, ∀ система является гибридной | | |

#### Классификация ЭВМ и т.зр. гибридных систем

##### ЭВМ

Чисто преимущ. Сбаланс. Преимущ.

цифровые ЦЭВМ системы аналоговые

цифровые с аналоговыми

методами

цифровые с аналоговым

оборудованием

с аналоговым оборудованием

и с аналоговыми методами

чисто аналоговые

аналоговые с цифровыми

методами

аналоговые с цифровым

оборудованием

аналоговые с цифровым методом

и с цифровым оборудованием

###### Состав аналоговых и гибридных ЭВМ

1. Аналоговый процессор (состоит из отдельных ОБ (как правило для универсальных ЭВМ), так же специализируется с жестким соединением блоков.
2. Устройство управления (УУ).
3. Устройство хранения информации.
4. Устройство сопряжения (для вв/вывода сигнала).
5. Устройство питания (высоко стабилиз.).

В ∀ унив. ЭВМ класс задач ограничен типом и количеством операционных блоков. Все операционные блоки делятся на группы:

1-ая – линейные (моделируют множество математических операций);

2-ая – нелинейные (моделируют нелинейные математические операции).

Единственный блок, который не относится ни к одной группе – это блок запаздывания. Практически все операционные блоки построены на основе операционных усилителей.

**Линейные ОБ**

Un(τ)

Ui(τ)

Δ ∞

∀ ОБ имеет следующий вид, где Ui(τ )– зависимые машинные переменные.

Усилитель и многополюсник соединен так, чтобы существовала глубокая отрицательная обратная связь (иначе это не ОБ).

В самом общем случае ОУ имеет два входа. В этом случае можно использовать два входа, либо один, но только инверсный.

Если в состав входят только линейные элементы (R,L,C) – линейный ОБ. Если в состав, кроме линейных входит хотя бы один нелинейный элемент, то НОБ.

∀ ОБ может быть обратимым (обладать естественной обратимостью) или необратимым. Блок обладает естественной обратимостью, если может обрабатывать операцию прямую и обратную (т.е. если на вход подаем информацию, а с выхода получаем результат, то обратная – когда на выход подаем информацию, а со входа снимаем результат).

Пример обратной операции: ln x ↔ ex; x2 ↔

По умолчанию будем говорить об ОБ без обратимости, у которого

U1 ( τ )…Un( τ ) – выходные. Выход ОУ есть выход ОБ. Входными сигналами могут быть не только напряжение, но и токи. Наиболее распространенной структурой ЛОБ является ЛОБ на основе ОУ с одноинверсным входом и М типа звезды из элементов:

Z0(p)

Σ

zn(p)

z2(p)

z1(p)

Un(τ)

U2(τ)

U1(τ)

* ∞

?

Uвых(τ)

Т.к. мы пренебрегаем Rвых, то Uвых(τ )= - Ку(р) UΣ (τ )

 т.е. сигнал передачи без задержки.

Ty – постоянная времени, стремящаяся к 0, т.е.

 для OY Кy → ∞, т.е. UΣ(τ) → 0, т.е. потенциал суммирующей точки пренебрежимо мал, т.е. фактически равен нулю. Поэтому эту точку называют потенциально заземленной (т.е. заземлена не физически, а стремится к нулю). В такой схеме всегда можно пренебречь потенциалом суммирующей точки и (τ ).

; UΣ(τ) → 0; Zвх → ∞; Т.е. iвх(τ) → 0.

Если на второй (прямой) вход подать не нулевой потенциал, а напряжение U +(τ), то

Uвх (τ ) = - Ку (р) [UΣ (τ ) – U + (τ )], тогда не потенциал суммирующей точки стремится к нулю, а разность стремиться к нулю. Отсюда следует, что можем пренебречь входными токами.

По закону Кирхгофа:



; 



 *(1)*

**!** Передаточные функции ОБ, в соответствии с последней формулой, не зависят от параметров ОУ, а определяются параметром М.

В рисунке от изображений можем перейти к оригиналам (S-оператор Лапласа), от этого ничего не изменится:

;



**Частные случаи схемы**

1. **Масштабный ОБ**

n=1(т.е. количество вх=1) + включаем два R

U1(τ)

R1

Uвых(τ)

R0

Δ ∞







Схема выполняет умножение на const и инвентирование. Если, то – получится чистый инвертор.

2) **Суммирующий ОБ**

R0

R2

R1

Δ∞

n=n, во входах включены R и в цепи образованы тоже R:

Zк(p)=Rк

Zо(p)=Rо

U(τ)= − 

Выполняет операции алгебраического суммирования (суммирование с домножением на постоянные коэффициенты) и инвертирование. Если, то (арифметическое суммирование).

1. **Масштабирование ОБ с запоминанием**

Пусть в определенный момент отключим входной конденсатор, какие пути разряда?

C0

Uвых(τ)

C1

U1(τ)

Δ∞

Т1 = Rутечки Cо =10 ÷ 10 с

Изобразим эквивалент этой схемы Т2≈Kу(Rвх+Rвых) Cо, таким образом – это аналогичный запоминающий элемент.

Uвых(τ)

+

-

Δ ∞

-

-

+

+

С0

Uвых(τ)

-

+

С0

Δ ∞

**4) Интегрирующий операционный блок**

Uвіх(τ)

C0

R1

U1(τ)

Δ ∞

n=1, в цепь ОС включен Zо(р)=  , а во входной цепи

Z1(р)= R1. Подставляя , получим Uвых(τ)= − Uвых(τ)=

= −+ Uвых(0)

**5)Интегросуммирующий блок**

Rn

R1

Δ ∞

n=n, в цепи ОС конденсатор, а во входных регистры.

Zо(р)=; Zк(р)= Rк (к=)

Uвых(τ)= − 

Uвых(τ)= − 

**6) Дифференцирующий блок**

Uвых(τ)

U1(τ)

C0

R0

Δ ∞

Во входной цепи конденсаторы в ОС – резистор.

Zо(р)=Rо; Zк(р)= 



Почему же его так редко используют? Интегрирующий блок по своей математической сути обладает свойством – сглаживанием шумов и помех. Так же могут работать вместе с ОБ в которых используют кусочно-линейные или другие виды аппроксимации (т.к. интегрирующий блок сглаживает ∀нерегулярности).

Дифференцирование высоко частот. помехи гораздо больше, чем производная от низкочастотного полезного сигнала (который без помех). Дифференцирующие блоки вообще не могут работать вместе с ОБ, использующими аппроксимацию. Поэтому, хотя теоретически можно построить дифференцирующий блок, но практически не используется. Поэтому все аналоговые ЭВМ на дифференцирующих ОБ, т.е. используют метод понижения порядка производных.

**7)**

Uвіх(τ)

L1

R0

U1(τ)

Δ ∞

n=1

Zo(p)=Ro

Z1(p)=pL1



****

Все математические операции, которые можно получить используя RC элементы многополюсника, можно получить и применяя RL элементы. Диапазон R є[ 1кОм; 1МОм], только если Rвых≈10 м ⇒ это касается всех ОБ.

Если нужно R1<1, то составим делитель; а если необходимо R1>1, то уменьшаем R1. Чтобы R1, т.е. то R1 =10Ом; Со = 10ф. При построенном ОБ вариант RL не используется, только RC или RLC. Кроме рассмотренной структуры используют и более сложные ОБ, моделирующие более сложные операции. Рассмотрим по возрастающей сложности:

1. **ЛОБ с многополюсниками типа звезды из двухполюсников**

Пример:

Uвых(S)

C0

R0

C1

R1

U1(S)

Δ ∞

****

****

****

 тогда передаточная функция:



1. **ЛОБ с многополюсником типа звезды из четырехполюсников**

I1

Uвых(S)

U1(S)

Δ ∞

1

0

Прошлые формулы справедливы, если вместо Z подставить какой-либо параметр четырех полюсника, который равен отношению Uвх четырех полюсника к iвых в режиме к.з.. Этот параметр называется **инпендансом к. з.:**



  

Разберем значения импендансов в звезде и в треугольнике.

Z23

Z13

Z12

Z3

Z2

Z1

**Погрешности ЛОБ**

Пусть ∀ ЛОБ разбивается на две части:

1. систематичная (методичная) погрешность;
2. случайная погрешность (вызвана либо случайным явлением, либо случайным моментом времени).

К случайностям (погрешностям) ЛОБ относят те погрешности, которые обусловлены случайными причинами, действующими в самом блоке (т.е. не на этапе изготовления, а на этапе эксплуатации). Случайная погрешность обуславливается дрейфом нуля ОУ. Причины **возникновения системных погрешностей** также разобъем:

1. погрешность обуславливается неидеальной ОУ, рассмотрим причины этой неидеальности:
   1. Ky ≠∞
   2. Ty ≠0 (fc ≠∞ )
   3. Rвых ≠ 0
   4. Rвх ≠∞ (iвх ≠0)
2. Неидеальность RC- многополюсника:

2.1) разброс параметров R, C ⇒ ϕ

2.2) для элементов возникает R-утечки

2.3) для R элементов – наличие паразитирующих, шунтирующих емкостей.

Для уменьшения погрешности, увеличиваем полосу пропускания, до min вход. так, и т.д.

**Погрешность случайная:**

iop

Lдрейф

Δ ∞

Причины, вызывающие дрейф ОУ:

1. температура;
2. временной (изменение параметров схемы с течением времени);
3. колебание источников питания ОУ (дрейф по питанию);
4. начальный дрейф (смещение нуля).
5. Подключим к ОУ многополюсник,

Uвых

Un

U2

U1

Zn

Z2

Z1

Z0

Δ ∞

тогда формула:

{}

При 

Что такое выходной дрейф ОУ? Это Uвых, если все входы подключены к земле, т.е. равны нулю. Пример: покажем, что дрейф физически ∃-ет при наличии ОС.

i

i

R

R

Δ ∞

Uдр = 2едр , дрейф нуля возникает в суммирующей точке, потенциал этой точки равен едр.

**Блоки ОУ (БОУ)**

Состав: 1) линейные ОБ, т.е. ОУ+М;

2)схема ручной или автоматической коммутации в цепи ЛОБ;

1. схема управления;

Типы: а) суммирующий – имеет только R элементов и служит основой для построения НОБ;

б) интегрирующий – RC многополюсник (практически универсальный блок).

У **а** и **б** отличие – схема управления (у суммирующих она элементарная, у дифференцирующих – очень сложная).

Рассмотрим режимы работы схемы управления. Все режимы делятся на:

1. подготовительные

а) установка (проверка) нуля

б) подготовка (настройка)

1. режимы рабочего цикла

а) исходное положение

б) пуск или интегрирование

в) остановка (фиксация решения).

**Установка нуля**

Все ОБ построены на основе ОУ, а т.к. последние обладают дрейфом нуля, то фактически имеем смещение. Устранение дрейфа: пусть имеем ιдр, тогда формируем дополнительный сигнал с обратным знаком, т.е. теперь дрейф стремится к нулю

(надо иметь возможность устанавливать ноль не только в начале работы, но и непосредственно во время выполнения). Схема управления внутри ОБ обеспечивает отключение вых. ОБ от соответствующих гнезд наборного поля (есть два гнезда от

-E0

+E0

которых никогда не отключается измерительное и дополнительное входное гнездо, используемое для подключения дополнительных внешних элементов в цепь обратной связи).

**Подготовка**

Как в суммирующем блоке осуществляется изменение K передачи? Нарисуем масштабный блок.

0≤α0≥1

0≤α1≥1

α0\*Uвых

R0

Uвых

α0

Σ

α1\*U1

α1

I0

i

Д0

Δ ∞

Д1





i1 +i o = 0 (т.к. входным током пренебрегаем)

где



Но реально делают главную регулировку (а не дискретную, как было показано выше) резисторов. Обычно Ro и R1

α

0…1

выбирают постоянными и приравнивают единицу. Т. е. Фактически, достаточно одной регулировки . Например Ro= R1 можем за счет менять коэффициент в диапазоне 0,1<R<1. Если в диапазоне 1<R<10, то тоже за счет такая связка

элементов называется регулировка резисторов (вернее регулируемый резистор). Установка Кпер осуществляется косвенным путем: на вход блока выбираем Uэтал., Ro и R1 уже подобрали ( по вышеописанному способу). Затем, рассчитываем, какое должно быть Uвых = RUэт. После чего регулируем  до тех пор, пока Uвых = Uвых. Точность схемы зависит от точности измерения Uвых, которое измеряется по компенсационному методу. Какие ограничения? Uэт выбираем так, чтобы ни Uэт, ни Uвых Uвых не выходило за линейный диапазон + Umax (пример: +100В; + 50В; + 10В).

Декодн. установка: декодн. – один из способов установления дискретного напряжения.

Всегда требуется как минимум два источника эталонных напряжений, в которых предусмотрена дискр. установка времени. Первый источник Uэт должен быть активным (т.е. фактически масштабирует блок с декадной установкой). Второй источник (Е этал. для сх. компенс. измерения). Может быть и активным и пассивным, но все равно с декадной установкой.

Все регулируемые входящие ОБ должны быть продублированы и выведены отдельно (с тем, чтобы можно было задать Uэт, не разбирая схему).

Для суммирующего аналога осуществляется настройка по всем входам.

Uвых

C0

R1

Σ

α1\*U1

α1

Д1

U1

Δ ∞



R=const, а изменяют. Но как настраивать?

Напомним для масштабного, обратим внимание на одинаковую зависимость. Если Сo= 1мкф, то эквивалентный резистор, т. е. в этом режиме настройки схема управления отключает все конденсаторы (дифференцирующий конденсатор) из цепей ОС и подключает примерные резервы. А дальше аналогично предыдущим. В этом режиме реальные выходы ОБ должны быть отключены от соответствующих гнезд, т. е. Схема должна быть разобщена .

R0

Σ

R1=const

-Е0

+Е0

Δ ∞



Соотношение между декадами равно десяти. Все декады имеют сопротивление 9Ом, а последняя 10 Ом.

-E0

+E0

α

Д

Рассмотрим пассивный источник Uэт. Фактически это декадный делитель напряжения

( первая декада по 0,1; а вторая по 0,01). Правильно работает только в режиме х х (без нагрузки), т. е. использовать для схемы компенсацию измерения.

Режим подготовки служит для ручной установки коэффициента передач линейных ОБ малых и средних ЭВМ. В мощных компьютерах предусмотрена автоматическая установка коэффициента передач (два варианта): 1) с помощью следящих систем; 2) установка цифровым кодом.

**Исходное положение**

Исходное положение – осуществляет задание начального условия на интегрирующие ОБ. Это значит, что на выходе интегрирующего блока, в момент времени t=0, должно быть не ноль, а Ui(0). Существует два основных способа задания начального условия:

1. начальный заряд емкости до значения Ui(0);
2. добавление в момент времени τ =0 к вык. напряжению интегрирующего блока скачка напряжения, равного Ui(0).

Рассмотрим 1) начальный заряд емкости: применяются две основных схемных реализации (если на вход подаем положительное напряжение, то на выходе U.

Ui

C0

R0

R

н.у.

-E0

+E0

Дну

Δ ∞

τ

Ui



Низкое быстродействие; R подключено к суммирующей точке только в режиме исходного положения, а в рабочем режиме нужно отключать. Т. е. коммутация у суммирующей точки (плохо для точности). Иногда для ускорения, параллельно первому R подключают Co, тогда получим безинерционный заряд емкости, т. е. не зависит от S:

; T1 = T0 при Т0>T1 – инерционное звено

Т1>T0 – формирующее звено.

Второй способ увеличения быстродействия – подключить Со к выходу блока, но без необходимых Rогр. т. к. переключатели схемы могут не выдержать большой скачок тока.

≈ 100 Ом

Rогр

Ui

R

Δ ∞

При желании получить высокую точность необходимо использовать способ задания н. у. Но его техническая реализация потребует суммирующий ОБ на два входа. Емкость при этом способе должна быть разряжена. При такой коммутации нет суммирующих точек, что и обеспечивает высокую точку.

**Пуск или интегрирование**

В момент времени τ=0 поступает сигнал. СУ отключает все дополнительные элементы и одновременно подключает все RС элементы ОУ и формирует заданную схему. После выходы ОБ подключаются к соответствующим гнездам наборного поля. С этого момента начинается решение задач.

**Останов**

Останов (фиксация решения) – чтобы измерить напряжения в момент времени.

СУ переводит интегрирующие ОБ из режима интегрирования в режим хранения информации. В интегрирующих ОБ при этом все R элементы отключаются от ОУ, т.е. остается усилитель, у которого в цепи обратной связи есть емкость.

В момент останова сигнал ост. подается на индикатор и развертка останавливается. Далее обеспечиваем повторный пуск и интегрирование продолжаем, начиная с этого момента. И так, чередуя пуск и останов, можно выполнить все требования, все измерения.

Из из этих режимов (интегрирования и останова) можно вернуться в исходное положение. Предусмотрена также и периодизация решения.

**Суммирующие блоки аналоговых и гибридных ЭВМ**

Будем рассматривать сумматоры напряжений и токов.

Сумматоры напряжений:

последовательного типа (отрицательные источники напряжений не заземляются, только арифметическое суммирование)

Un

Ui+1

Ui

U2

U1

Uвых

in

Rн

Rnн

n+1

Rn

Ri+1

Ri

R2

R1

практически не использует – параллельного типа.

В качестве выходных переменных снимается не Uвых, а iн (это когда нулевая точка подключена не к земле, а к суммирующей точке).

Uвых= - iн Ro

Кi – коэффициент передачи

по i-ому входу

Uвых

iн

Δ ∞

Кi = Ri

Ui 1/Ri

используя эту формулу можем выполнить анализ схемы, т.е. по заданным значениям Кi рассчитать Ri.

Для определенных значений сопротивлений по заданной Ri можно использовать обратную формулу, т.е. Ri ~ 1/Ri; iн = Uвых/ Rн

, здесь Кi - коэффициент пер. от вход. напряжения к Iвых .

Кроме сумматора напряжений параллельного типа могут использоваться и различные комбинационные структуры, которые подключаются за счет включения так называемых R- ов связи. Преобразование структуры должно быть постоянным (т.е. коэффициент передач у сумматора не должно изменяться).

Рассмотрим пунктирную часть. Это линейная схема. В соответствии с теоремой Тевинина ∀ линейная часть схемы может быть представлена постоянным генератором. В нашем случае это будет постоянным г-р напряжений.

Uэквi

i

Rэквi



тогда постоянное преобразование:

Rn+1/Ci

Ri-1,i

Rn/Ci

Ri+1/Ci

Ri/Ci

Uэквi

Ri-1,i

Rэквi









Rэквi для заданного сумматора можем рассчитать и выбрав Ci>1 можем определить Ri -1, i при котором преобразование будет эквивалентным.

Эквивалентные преобразования применяются для уменьшения разброса номиналов и их количества (разброс равен отношению Rmax/Rmin).

**Инверсное включение сумматора напряжений**

инверсная резистивная матрица – ИРМ;

линейная схема – ЛС.

U

b

a

i

b0

a

U

Л.С.

Принцип взаимности (т.е. линейная схема обладает прямой обратимостью, т.е. коэффициент передачи не изменяется).

**Прямое включение** 

E0

b

Rн

R1

a

Можем сделать инверсное включение и по (n+1) – входу. А также можно и на все выходы эта схема используется как формирование Iэтал.

**Инверсное включение**

сдел. инверсное включение по первому входу, а можно сделать и по др..

b

a

E0

iн2

a

b

Все выходы должны быть подключены к земле. Инверсное включение можно сделать для ∀ комбинированной структуры ( не только для параллельной структуры).

Если на входах не Ео, а меняющееся напряжение, то iн i = Ri Ux, т.е. все-таки будут меняться пропорционально Ux.

**Сумматоры тока**

Простейшая структура сумматора тока равна сумматор тока параллельного типа.

Все коэффициенты передачи равны единице, т.е. моделирует операцию арифметического суммирования – поэтому применение ограничено

Rн

Ун

У1



**AGND** аналоговая земля

**DGND** цифровая земля

Наиболее часто используют сумматор токов последовательного типа:

на вход подключены источники тока, точка ноль может быть подключена к суммирующей точке ОБ (т.е. не обязательно к земле). Расчет схемы удобно выполнять, используя метод наложения:

Rn,n+1

Rn-1,n

Ri+1,i+2

Ri,i+1

AGND

R23

R12

Rн

Iн

In

In-1

Ii+1

Ii

I2

I1

 (1)

 (2)

Подставим (2) в (1) и получим

(3)~, k+1

(4) формула используется для решения задачи анализа схемы (т.е. для определения коэффициента передач по заданным значениям сопротивлений).

~

~; (5) ~; (6)

~

Вычтем левую и правую части

(6) для решения задачи синтеза схемы (6) ⇒ каждый следующий коэффициент должен быть меньше или равен предыдущему. Т. е. необходимо располагать по убыванию.

Кроме чисто последовательной базовой структуры сумматора токов могут быть получены различные комбинации:

Rk – резисторы утечки, подключение которых и дает различные комбинации структуры. Подключение между точкой и землей, Rk (k = 1, n ).

а) Рассмотрим часть схемы, обведенной карандашом. Она равна:

Iэкв i – выходной ток в режиме к. з. (т. е. при Rn = 0)

Iэквi

Rэквi

i

 (7)

 (8)

6) Если подключить резистор утечки, то остальные R увеличатся в Сi раз. Тогда новый экв-нт.:

 (9)

Ri

Rэквi

Iэквi

 (10)

Rn,n+1\*Ci

Rn,n\*Ci

Ri,i+1\*Ci

Ri

In

In-1

Ii+1

Ii

Итак, условие эквивалентности а) и б):

 ;

(11)  –условие эквивалентности преобразования структуры

Определяем Rэквi, выбирая Сi (любое) и рассчитываем Ri.

Применение:

**Декодирующие сетки и цифро-аналоговые преобразователи**

Кодир.

Декод.

АЦП

A

a1,a2,…,an

Если А – напряжение, то ПКН (преобразователь кодового напряжения). Если А – ток, то ПКТ , где gi – вес, а аi – значение.

ЦАП

Основан. разрядов равно отношение двух соседних весов. В основе ∀ аналог. преобразований лежит (12) формула.

; х = mdA, md – масштаб декодирования.

Х~A

Полная математическая запись операции декодирования:

 (13)

**ПКН:** математическая переменная Х отображает напряжение Ud, т. е. Х ↔ Ud.

– математическое описание ПКМ (14)

Ud

Λ

n

[A]

Ud

Uєтал

A

[an]

[an-1]

[a1]

#

#

#

Λ

Д/Л

≈

≈

Однополярн. не могут менять знак.

Первый блок есть гибридный множительный блок (такой вариант называется **умножающий ПКН**).

Uэтал

Ud=md\*A\*Uy

[an]

[ai]

[a1]

Λ

Λ

x xy

y

md

Если оба сомножителя однополярны, то это одноквадратичный сомн. блок. Если одно- и биполярны, то это двухквадратный. Если оба сомножителя биполярны – то четырехквадратичный.

Применив эквивалентные преобразования вместо (14), получим:

 это есть тождеств.

 система(15)

Λ

Un-1

Un

U1

Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

Uэтал

[an]

[a1]

[an-1]

#

#

#

Λ

Ui= aiUэт



g1

mdΣ

gn-1

gn

Рассмотрим (15.1) – эта операция проще всего реализуется, если ai = 0;1 .

-Uэт

-Uэт

Uэт

Uэт

[ai]

[ai]

[ai]

#

Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

swt

swt

swt

а)

, 

, 

б)

;

в)

; - биполярный переключатель напряжения.

**ПКТ:** аналоговая математическая переменная Х ↔ Id мат. перемен.

 

[ai]

Iэт

#

Λ

swt

Источник тока должен работать либо нагретым, либо в режиме к. з..

В схеме ПКТ потребитель и источник тока (формирует эталон n-токов. ПКТ состоит:

1. формирователь Iэт;
2. переключатель токов;
3. сумматор токов.

**ПКТ**

**1)** 

**2)** 

Id

[an]

#

#



[a2]

[a1]

In

I2

I1

Iэт

swt

\*ст

д md

Σ

д

д дс

Iэт

Iэт

**3) **

Т. к. формирован. формирует n Iэт-ых, то не обязательно, чтобы они были одинаковы. Однако, отсюда, (2) можно представить и следующим образом:

**4)** 

AGND

Λ

Λ

Λ

Id

I2

I1

[an]

Iэт

[a1]

Iэт

E0

\*cт

1

n

swt

В этой схеме уже нет декодирующей сетки, плюс ко всему все источники тока, независимо от тока, работают в режиме к. з. А раз так, то в качестве формирователя тока можно использовать пассивный формирователь эталонных токов (напряжение ИРМ).

Если вместо Ео ⇒ аналоговое Uу и ИРМ, то Id~ UуA, т.е. получим **гибридный множительный блок, который называют умножающий ПКТ.**

Этот умножающий ПКТ двух квандрантный ( т. к. два кода: Iэт , которое всегда положительно и Uу (может быть и «+»; «-»)). Это ПКТ также называется **ПКТ со взаимным источником тока.**

Разобъем все на два сомножителя:  и b соответствии с этим:

**5) **

**Декодирующие сетки для ПКН**

- это такой сумматор, у которого Ki ~ gi . Для сумматоров напряжений параллельного типа Ri ~ 1/ Ri , тогда для ДС: Ri ~ 1/ gi. Рассмотрим ДС для ПКН в двоичной системе:

  ~  **(6)** ~ **(7)**

Rн

2n-1R

4R

2R

R

Un

U3

U2

U1

 **(8)**



 **(9)**

 ;

При ,то формирует масштаб декодирования:

 – не зависит от количества разрядов. Для уменьшения количества и разброса номиналов используют равные преобразовательные структуры (из равенства сумматора получим формулу **(11)** , а в нашей схеме:

(дополним числовым значением на R)=



При Сi =2 из (11) ⇒ , т. е. если включить между ∀ двумя точками резистор связи, то выбираем его в два раза меньше прошлого (прилегающего сверху), а все нижние уменьшаются в два раза.

При включении ∀ резистора связи исчезает старший номинал и пара примыкающих к резистеру связи становятся одинаковыми. Появляется ли новый номинал? Для всех резисторов, кроме R1,R2 новый номинал не появляется.

Если включить все резисторы, начиная с R2,3 и до Rn-1, n (их будет (n-2) по количеству)), то количество номиналов уменьшится на (n-2), т. е. останется два номинала. Нарисуем:

Ud

Rн=R

R/2

R/2

R

R

R

R

Un

U2

U1

От ∀ узла в ∀ из трех сторон Rэкв = R.

По ∀ входу эквивалентное динамическое Rвх = 1,5 R, а Rвых = R/3.

Иногда , R связи включают между тетрадами, тогда берут С=16.

**ДС для 2-10 системы исчесления 8421:**

0         =0,8; =0,4; =0,2; =0,1; =0,08; =0,04; =0,02; =0,01

Зарисуем схему:

8

3

2

1

Ud

10\*Rx

Rн=R

80R

8R

4R

8R

R

U8

U4

U3

U2

U1

4

Найдем Rх:



Rх = 4,8R

Rэкв= Rх = 4,8R

R45 = Rэкв 5 (1 – 1/Сi) = 4,32 R

Рассмотрим код Айкена (2421)

Ud

Rн=R

48R

2R

2R

R

R/2

R

2R

R

R/2

R

1/10R +1/5R +1/10R +1/20Rх = 1/ Rх; 9/20R = 0,9/ Rх= Rх=2 R

R45 =Rэкв 5 (1 – 1/Сi)= 2R 0,9 =1,8R

**ДС для ПКТ**

Для ДС: ~ ; ~; ~,



Рассмотрев данные формулы получим расчетные формулы для ДС для ПКТ:

 **~**

**~ (1)**

Пример: ДС для ПКТ с 2-ой системой исчисления

**(2)** 0  … ⇒ ~

** ~**

(т. е. каждое следущее должно быть в два раза меньше и только два последних одинаковые).

0

n+1

n

n-1

3

2

1

Rн

Id

In

I3

I2

I1

Пусть R первого разряда равно, тогда сопротивление следующего будет соответственно:





** (3)**

, тогда в нашем случае:

 (4)

1. Если Rн=0, то режим к. з. и md =2
2. Если Rн= R, md =2/3

Для уменьшения количества и разброса номиналов используют постоянные преобразовательные структуры, т. е. из чисто последней получают комбинированным включателем резистеров утечки (включается между ∀ i-ой точкой и полюсом). Чтобы выполнить эквивалентные преобразования необходимо найти Rэкв i:

**(5)**

При ⇒ = = , т. е., если в ∀ i-ой точке включен резистор, то он должен быть в два раза больше, чем резистор, примыкающий сверху. Сопротивление резистеров ниже места включения необходимо увеличить в два раза.

Для каких i включение резистора убирает младший номинал? Для Ri, где, а пара резервов, примыкающих к резистору связи, становятся одинаковыми.

Для каких i новый не появляется, а младший исчезает? Для

Ri, где. Таких Ri будет (n-3).

n-1

R

R

R

R

Rн

R

R/2

R/2

R/2

R/2

R/2

R/2

n

n+1

In

In-1

I4

I3

I2

I1

Rн

R\*2-1

R\*2-2

R\*2-2

R\*2-2

I3

I2

I1

R\*2-1

R\*2-2

R\*2-2

n

In

In-1

R\*2-1

0

Rн

R\*2-2

R\*2-2

R\*2-3

R\*2-2

R\*2-3

R\*2-3

R\*2-3

R\*2-3

R\*2-2

n

2

Id

n+1

In

In-1

I4

I3

I2

I1

R/2

R/2

R/2

R/2

Rн

R

R

R

R

Такой узел используется и для ПКТ и для ПКН ДС

**Декодирование биполярных кодов позицион. СИ**

И – инверсный, Д – дополнительный, СМК – смещенный код. Пусть имеем числа +0 а1 а2…аn и -0 а1 а2…аn, введем знаковый разряд 

1. A>0, 
2. A<0, 

Дополнительный код: A>0, 

A<0, 

Смещенный код: (отличается от дополнительного инверсией знаков разрядов), т. е. A>0, 

A<0, 

Найдем общую формулу, т. к., то подставив:

ИК A<0, 

ДК A<0, , а теперь, учитывая, что A>0, получим:

для ИК:  (3)

для ДК:  (4)

для СМК: (5)

 (6)

  (7)

 (8)

Подставим (7) и (8) в (3) – (5):







**Биполярные ПКМ**

;

 (1)

Представим (1) в виде постоянной системы:



 

 (2)

Построим в соответствии с (2) схему биполярного ПКН инверсного кода позиционной СИ.

В позиционной системы исчисления:



Это биполярный преобразователь с коммутируемым смещением.

Und1

U1

U0

Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

#

#

#

Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

[anu]

[a2u]

[a1u]

[a0u]

AGND

+Uэт

+Uэт

-Uэт

+Uэт

swt0

swt1

swt2

swtn

g01 mdΣ

g1

g2

gn

**дс**

U2

Un

Смещение – это “-Uэт”; “-”: нулевой переключатель отличен от остальных.

Подставим в (1) выражение, тогда в схеме вместо будет и снизу дополнительно сформировать Un+1 , а в системе (2) добавится еще одно выражение  (3)

Λ

Λ

Λ

Un+1

[a0n]

+Uэт

Дл

ДС

Swt n+1

Swt n+1

Дополнительный вход для ДС для получения дополнительного входа (n+1), который имеет такой же коэффициент передачи, как у n- входа. Мы можем использовать такой же резистор, как у n- входа.

Веса для второй сетки отличаются в два раза.

Для ДК: , тогда (4)

(5)



  (6)



А для смещения кода – отличие от ДК: инверсия знакового разряда.

 (7)

 (8)



 



Это БПКН с фиксированным смещением (этот вариант используется чаще):

Λ

Λ

Uud2

Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

#

#

#

Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

[anu]

[a2u]

[a1u]

[a0u]

AGND

+Uэт

-Uэт

-Uэт

+Uэт

swt0

swt1

swt2

swtn

g01

g01 mdΣ

g1

g2

gn

**дс**

U2

Un

U1

U0

-Uэт

# Сх 3

 (10)

1. 



 



 (12)

БПКН с биполярным переключателем.

Λ

Un+1

-Uэт

#

-Uэт

Λ

Λ

Uud3

Λ

Λ

Λ

Λ

#

#

#

Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

[anu]

[a2u]

[a1u]

[a0-u]

+Uэт

-Uэт

+Uэт

+Uэт

swt0

swt1

swt2

swtn

g0 1/2mdΣ

g1

gn

gn

**дс**

Un

U1

U0

# Сх 4

-Uэт

**Биполярные ПКТ.**

Если для построения БПКТ используют формулу А=…, т. е. структура к коммутации смещения, то для знакового разряда потребуется “-Uэт”, а для остальных - “+Uэт”. Но т. к. используются токи одной полярности, то такую структуру ( в смысле A1 =…) не используют практически. Поэтому сразу перейдем к A2:

 (13)

 (14)



 



  

 (15)

Добавляем осуществляется на выходе, т. е. добавляется к однополярному току (выходному ПКМ).

-Eэт

R



0



















Uэт n

Λ

Uэт0

Uэт2

Λ

Uэт n-1

Λ

Λ

Λ

[anu]

[a2u]

[a04]

\*cт 0

1

2

n-1

n



# Сх 5



Тут в качестве формирователя токов может использоваться инверсное резистивное напряжение, т. е. может быть построен четырех квадратный умножающий ПКТ.



(16)

R





Σ

R





Λ

Λ

Λ

Λ

Λ

#

#

#

[anu]

[a1u]

Λ

Uэт0

Uэт1

Λ

Uэт 1

Λ

Λ

Λ

[a2u]

[a0-u]

\*cт 0

1

2

n

n-1

















Δ∞

**Нелинейные операционные блоки**





Из всех операций выд. множ-но-делит., базов. из которых имеют вид:

;

Все множительно-делительные операции моделируют с помощью отдельных множительно-делительных блоков (МДБ).

**Функциональные преобразователи**

Рассмотрим те, которые моделируют функцию одной переменной, т. к. остальные (вернее их метод построен на основе апроксимации функций).

ФП: 1) универсальные;

2) специализированные.

Универсальная – позволяет моделировать широкий класс функций (но все равно ограниченный) и его моделирующая характеристика может быть изменена.

Большинство электронных ФП основано на принципе кусочно-линейной аппроксимации и состоит из линейных и нелинейных элементов. Хотя есть ФП, используют естественные нелинейные характеристики. Т. е. часто используют нелинейное сопротивление. Например: нелинейные карборундовые сопротивления, которые имеют нелинейную вольтамперную характеристику, по виду, похожую на кубическую параболу, но каждая ветвь напоминает квадратичную параболу:

i

U

R2

R1

Естественно, более узкий класс функций может быть воспроизведен таким образом.

Специализированные – моделируют конкретную нелинейную зависимость, и его моделирующая характеристика не может быть изменена за счет перестройки (т. е. жесткая внутренняя структура).

**Диодные ограничители**

Аналоговый нелинейный элемент, моделирующий элементарную нелинейную характеристику, т. е. линейную с ограничением.

Т. о. Характеристика представляет собой ломаную линию из вертикальных и горизонтальных участков.

Иногда используют ДО не из одного, а из двух ограничений (тогда три участка). Если уровень ограничения равен нулю, то такой частный случай ДО называют диодным элементом.

Наиболее часто используются диодные токовые ограничители с токовым входом:

(±E0)

E с м

Un

Σ

i

X

DO

Y

В состав ДО входят: диоды, резисторы, источник опорного напряжения (но, как правило, подключаются извне).

Рассмотрим базовую схему трех полюсного линейного элемента:

Ur

Z2±∞

-E0

+E0

iΨ

k

i↓

Σ

Z2

Z3

a

Z1

Ur

Eсм (±Е0)

 



где 

где 

если, то< 0– отложили на графике

если, то> 0– отложили на графике

Чтобы линия проходила через начало координат, необходимо, либо, либо. Обычно используют первый вариант, тогда элемент из трехполюсного становится двухполюсным.

Из линейного элемента различные ДО получается за счет подключения диода (-ов). Если подключить во вход цепь и-или выходы, то ДО – последственного типа.

Если подключить в цепь смещение, то ДО - параллельного типа. Если диод подключить во вх. или в цепь смещения, то подключаем вместо резистора. Если диод открыт, то пренебрегаем падением напряжения, т. е. считаем, что. Если закрыт, то , т. е. отличие реальных характеристик от идеальных обуславливает погрешность.

1) ДО с диодом во входной цепи

↕ iогр

Eогр

Ur

iψ



VD1

Σ

iψ

R3

R2

a

+E0

Ur

Eогр

↕ iогр

iψ

Ur



, получим ломанную из двух участков. Опорное напряжение отрицательно, тогда характеристика:

k

Eогр

Ur

iΨ

iогр

VД откр.;

VД закр..

А теперь диод в обратном направлении, а опорное напряжение положительно: Ео>0

↕ iогр

Ur

iψ

VD2

Σ

iψ

R3

R2

+E0

Ur

↕ iогр

iψ

Ur

**Правило:** если в ∀ схеме, которая состоит из линейных элементов и диодных ограничений, изменить одновременно напряжение включателя всех диодов на противоположные, и полярности всех опорных напряжений на противоположное, то характеристика может быть получена, из исходной характеристики зеркальным отображением относительно (0;0).

R1

VD3

Σ

iψ

R3

R2

a

+E0

Ur

1. ДО послед. типа с диодом в выходной цепи

При включении диода в выходную цепь в прямом направлении, характеристика, расположенная в верхнем полупроводнике, не изменится, а характеристика в нижней полуплоскости отсекается:

 



т. к. уровень ограничения равен нулю, то это диодный элемент. При такой вариант называется трехполюсным диодным элементом с потенциально заземленным диодом.

k

↔

Ex

Ur

iψ

При Ео = -Ео: При R2 → ∞ ; Ео = -Ео.

Ur

iψ

Ur

iψ

При обратном включении диода характеристика в нижнем полупроводнике не изменяется, а отсекает верхнюю полуплоскость.

Если диодный элемент используется в специализированном функциональном преобразовании, тогда для этого диодного элемента заданы значения =….. и =….. Обычно, в этом случае, тогда; 

Если ДО используется в универсальной ФП, то моделирующая характеристика ФП может быть изменена за счет перестройки →(необходимо иметь возможность изменять значения ****и ****у ДО, т. е. должны иметь две регулировки).

**Моделирование гистерезиса**

Характеристика

Ur

Uf

Uf

Uφ

φ(x)

x

ноб1

φ(x)

x

ноб2

К0

⊕

**Диодные универсальные функциональные преобразования**

Для, будут следующие элементы:

1. линейные элементы моделирующие начальное значение («F(0)»);
2. моделирование начал. наклон («»);
3. моделируемый элемент нелинейного характера;
4. сумматор на соответствующее число входов.

Раз это УФП его характеристика может перестраиваться, не только значение, но и знак, и квадрант.

U+

Σ

Rос

Δ∞

**Первый линейный**

“+”

П

“-”

α

R

Σ

-E0

+E0

**элемент:**

П меняет знак

α - плавно

R - скачками

R

“+”

П

“-”

α0

-Ur

+Ur

R

Σ

**Второй линейный элемент:**

В состав входит входной инвертор,

чтоб получить – Ur

**Третий линейный элемент:**

+E0

-Ur

+Ur

ПКі ДЭі

R

Σ

⊕

⊕

⊕

Теоретически, есть три способа изменения квадратных характеристик диодных элементов:

1. инвертор на входе зеркально ОУ;
2. инвертор на выходе зеркально ОХ;
3. одновременное изменение направлений диода и полярности опорного.

**Карта настройки диодного ограничительного функционального преобразвания**

4

5

3

2

1

3,3

6,6

10

-Uv

(Umax)

-10В

Uf

Uмах

Uv

10В

+10В

+10В

Uf

-10В

Вся ломанная линия, после аппроксимации масштабирования, должна находится внутри квадрата Umax Umax, с центром в начале координат .

**КМ**

**ДУФН**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вид функции F(x) | | “F(0)” | “k x” | ДЭ | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Знак от F(0) квандрант диодного элемента | | + | - | 1 | 1V | 1 | 111 |
| Ограничение (Еогр i ) | |  |  | 5,3 | 6,0 | 7,2 | -6,6 |
| Набор “F(0)” | Ur | +10B | +10B | +10B | +10B | +10B | -10B |
| Uf | +3B | -6,6B | +6,6B | +10B | +4,8 | 2,6 |

Предполагаем, что аппарат трехдекартный при шкале 10В окр. счет 0,001В.

При настройке контроль не характеристику настроенного элемента, а сумматоров предыдущего, включая рассматриваемый.

В момент настройки линейного участка, существует не только этот участок, но и его продолжение. Поэтому, мы можем указать координатные точки, не той точки на линейном участке, а координатные точки пересечения продолжения с одной из сторон квадрата.

Если, то в этом случае переключателей знака и квадрантов ДУФП нет.

**Настройка ()**

1) исходное положение не имеет значения.

элементы выведены на ноль 

> выведены за пределы должны быть максимум; угловой коэффициент должен быть максимальным для диодных элементов.

Установка знаков и квадратов.

Переключатель П (для), По (для ) и Пki квандрантов, установить в соответствующее значение первые строки нормы настройки.

1. установка ограничения по 

 

При настройке i-того элемента на вход ДУФП в т. ч. на вход диодного элемента, подаем.

Для того, чтобы точность была выше, чем угловых коэффициентов больше и чем меньше зная ΔU мы улавливаем. Поэтому, перед настройкой мы устанавливаем максимально возможные угловые коэффициенты, переходим на самую чувствительную шкалу. После настройки диодного элемента и углового коэффициента переводим на “0”, чтоб не

Ur

мешал настройки для следующих элементов. Так настраиваем последовательно.

1. набор функций

а) настройка F(0). Подаем на вход +10В, а на выходе +3В, с помощью регулирования α , R, мы добиваемся, чтобы ;

б) для κ⋅χ на вход подаем  для , используя α , R смотрим, чтоб;

в) последовательная настройка угловых коэффициентов диодных элементов использует регулировки по тому же принципу.

**Множительно-делительные блоки**

Это блоки, которые моделируют т. н. множительно-делительные операции. К базовым множительно-делительным операциям мы относим:

; 

; 

Все МДБ строятся на основе множительного элемента

Σ

im

⊕

Ue

Uv

x.y

i

bm



Uвых

R0

-im

∅

x.y

Δ∞





Учитывая, что максимальные сомножители могут не наступить в один и тот же момент времени, тогда недоиспользован выходной диапазон блока (потеря точности). Нужно предусмотреть измененные коэффициенты передачи в большую сторону. Мы можем менять только Ro. Подключаем делитель:

Д

α0

R0

R

x.y

i

bm

Δ∞





Для квадрата изменять коэффициент передачи не нужно. Операционный делитель по отношению к операционному умножению, является обратной. Следовательно, в соответствии с методами, искусственный обратный делительный блок, может быть, получится искусственной обратимостью множительного элемента ( в цепь обратной связи ОУ нужно включать множительный элемент).

Ur

Δ∞

R

R1

⊕

α1

x x.y

i i

y bm

Uc

±im

ooc

i0=±im







Если делитель положительный, то нелинейный элемент должен быть с прямым входом, а делительный блок с инверсным выходом – для положительного делителя.

– элемент с инверсным выходом, делитель с прямым выходом. В режиме деления должна меняться структура множительного элемента, в зависимости от полярности делителя, это и обеспечивает схему управления.

Этими возможностями схемы управления можно воспользоваться и в режиме умножения, для изменения множительного элемента, подавая, вместо  в режиме умножения.



Обычно, принимают, что делитель меняется . Если максимум делимого и минимум делителя, то недоиспользование вых. линейного диапазона, и коэффициент передачи придется уменьшать.



Перемножим: ,  Следовательно, для перехода из режима умножения, в режим деления, надо применять местами входную цепь и цепь обратной связи. При этом, сопротивление увеличивается в 10 раз



Р-м извлекаем квадратные корни:

Т. к. математическая операция извлечения корня является обратной по отношению к возведению в квадрат, то в обратную цепь вкл. 

Vdk

+in

ik

Uвых

x x.y

y i

bm

ooc

i0

i1

Ur

R1

Δ∞

ik

Uвых

Uвых

i0=im+ik

Uвых



-im

ik

VDK

x.y

i i

bm

ooc

i0

i1

Ur

R1

Δ∞

Uвых















ik

Uвых

Uвых

i0=im+ik

Uвых

**Классификация множительных блоков**

МБ прямого действия (умножение за счет):

1. физического закона
   1. на принципе управления коэффициентами передач масштабного блока;
   2. МБ на основе отклонения зарядов движения в ЭМ поле (эффект Холла);
   3. Времяимпульсные МБ;
2. МБ непрямого действия (заложен в нем метод тождественных операций);
   1. МБ на основе квадратичного преобразования;
   2. МБ на основе логарифмического преобразования;
   3. МБ на основе интегрального преобразования;
   4. МБ на принципе перемножения вероятностей независимых событий.
   5. 

U2

I0

I1

U1

Uвых

Δ∞

⊗

Характерность этого элемента должна меняться не только, но и относ..

Точность определяется линейностью. Линейность обеспечить можно, но такое прямое преобразование, практически, не используется. Обычно, используется компенсационный преобразователь, выигрываем в точности, а проигрываем в оборудовании.

Umax

I2

U2

I

I1

-E1

Uвых

Δ∞

⊗

Δ∞





 ~

На точность будет влиять идентичность характеристик двух проводимостей У1.

Следящая система отрабатывает такое значение управление сигнала (то есть такое значение У1) при котором ΔУ стремится к нулю.





Одно-квадратичный – два сомножителя не могут менять знак

Двух квадратичный – один меняет, другой – нет

Четырех квадратичный – два сомножителя не могут менять блок

Рассмотрим четырех квадратичный



U1

Uвых

Δ∞

Рис 1



Могут использоваться и гибридный вариант с двумя цифровыми проводимостями при этом следящая система должна иметь в цепи обратные связи цифровых элементов, чтобы управлять проводимостью.

* 1. МБ на основе отклонения зарядов движения в ЭМ поле

Ey=R\*I\*Hz

y

Ex

Ix

Hz

Магн. поле

Заряд отклонения не только по оси χ, , а еще отклонение и по 3 корд. 1 сист. Были основаны на электронно-лучевой трубке. Благодаря взаимодействию χ, Ζ, отклонение и по γ.

Та же самая идея может реализоваться и в полупроводнике, это т. к. эффект Холла.

U2

2

U1

Ey

Ix

Δ∞

Δ

Точность зависит от линейности преобразований. Очень трудно обеспечить линейные преобразования  в , т. к. от частоты меняется сопротивление катушки. Как обойти? Обеспечить компенсационные преобразования  в ;

1

U1

I0

Δ∞

Δ∞

Следящая система вырабатывает такой управленческий сигнал, при котором получается такое значение, при котором Δсводится к нулю. Получается множительный блок с прямым выходом.

Полоса пропускания всего блока ограничивается полосой пропускания канала преобразований  в .

1.3. Время-импульсные МБ

Tu

τu

An



АИМ – амплитудно-импульсный модуль;

Uср

G

АИМ

ШИМ

S

ШИМ – широкий импульсный модуль;

Баланс АИМ ; 

Баланс ШИМ 

Одно фаз. 



Если мы используем однофазный модулятор, математическая запись, соответственно, смещению нуля.

Гибридные времяимпульсные МБ

Uср

U2

-U1

#

Λ

Λ

Λ

S

ШИМ

Δ1

G

swt



если, то все лишнее сокращается. Была вторая разновидность гибридной времяимпульсной МБ, но они ,практически, не используются. А~ U1U2 формирует пилообразный блок. А для формирования пилообразного изображения, нужно чтобы К~U2, выходной сигнал должен быть пропорционален амплитуде.

МБ непрямого действия.

Операцию умножения заменим тождественными другими операциями.

МБ на основе квадратичного преобразования

, есть еще редкая функция преобразования:



Квадраторы поменять местами и будет инверсный выход, т. о. Никакого инвертора не надо.

Uх

ϕ(x)

x

Δ∞

**оу2**

ϕ(x)

x

Σ

Σ

1

**оу1**

R

Uy



Z

-|Z|

-Z2 ≡ - (-|Z| )2

Z

|Z|

Z2 ≡ ( |Z| )2

заменяем: 



6

5

4

3

2

1

Uвых

Δ∞

X

Y

X

Y

ϕ(x)

x

ϕ(x)

x

1 – x+y

2 – (x+y)

3 – разность

4- разн.

R/2

≡

½ (Ux+Uy)

R

R

Uy

Ux

≡

4

3

2

1

-Uy

Uy

-Ux

Ux

Σ

Σ

Σ

Д

Д1

Σ

4

3

2вх

1вх

R

R

1вх

2вх

R

R

Вместо 3 4

1

2

3

4

- 1/2 Ux+Uy

Uy

Ux

R/2

1/2Σ

1/2Σ

1/2Σ

½

Σ

½

R

2R

2R

а вместо 1

Окончательный рисунок:

6

5

4

3

2

R

Uy

Ux

R

½

Σ

½

2R

2R

R

R

R

Чтобы в верхнем канале вместо «-» был «+», а в нижнем «+» на «-».

-1/2 (x+y) + min (x,y) ≡ - (1/2 (x-y))

-E0

max

5

2

Uy

Ux

R

½

Σ

½

2R

2R

R

R



-Um

Uy

Ux

Φ(x)

Loga

Φ(x)

Loga

Φ(x)

Loga

Δ∞

2.3МБ на интегральном преобразовании

(основан на интегральном преобразовании сомножителей)





2.4.МБ на принципе перемножения вероятностей независимых событий



(основан на принципе перемножения вероятных независимых событий).

Нужно обеспечить: выбрать какие-то события, обеспечивающие независимость, а какие-то физические переменные отображать вероятность событий.

T1

τ1

u

Частоты не должны находиться в целочисленных отношениях, для того, чтобы обеспечить независимость событий.

U3

U2

U1

Uср

τ3~τ3

τ2~τ2

τ1~τ1

f3

f2

f1

G1

G2

G3

ШИМ

ШИМ

ШИМ

&

S

**Подготовка задач к набору. Набор и решение задач на аналоговые и гибридные ЭВМ.**

Следует помнить, что любая аналоговая или гибридная ЭВМ, это техническая реакция математической модели. И поэтому должны выполняться необходимые и достаточные условия математического моделирования: 1) тождественность описания оригинала и модели; 2) постоянство на всем интервале времени моделирования масштабов, т. е.. коэффициент, который связывает между собой переменные величины оригинала и модели.

Для того чтобы обеспечить тождественность описания оригинала и модели необходимо:

1. привести эти описания к одной и той же форме. (три варианта: оригинал, модель, что-то другое);
2. привести к одним и тем же переменным (либо пер. модели, то или другое, множество редко);
3. обеспечивает тождественность

3.1) приравниваем соответственно коэффициенты;

3.2) приравниваем соответственно нелинейные зависимости;

3.3) приравниваем соответственно НУ и постоянные внешние возможности.

Вся эта работа с любой задачи, может условно разбита на этапы:

1. составление формуляра условия задачи;
2. подготовка задачи к набору и решению;
   1. предварительная подготовка, которая выполняется независимо от особенностей ОБ конкретной ЭВМ;
   2. оформление рабочего документа, учитывая построение ОБ;
3. набор задачи на ЭВМ (включая пробные решения);
4. решение задачи и регистрация промежуточных и окончательных результатов;
5. обработка результатов.

**Формирование условия задачи:**

1.введение: постановка задачи, ссылки на принятые допущения;

2.математическое описание оригинала;

2.1. математическое уравнение (алгоритм);

2.2. начальные или граничные условия;

2.3. значение постоянного коэффициента и единицы измерения;

2.4. нелинейные зависимости;

3.требуем время решения ;

4.требуемая точность;

5варьируемые параметры (диапазон и шаг);

6.резисторы, ожидаемые от изменения параметров;

7.возможные проверочные решения или другие способы проверки правильности набора;

8.извест. предполаг. диапазоны изменения завис. элементов решений;

9.требуемая обработка резисторов и форма представления результатов;

10.конечная цель использования результатов.

2.2.Оформление рабочего документа.

1.Составляем схему принципиальную электрическую (т. к. схема набора) по схеме функциональной электрической, которая получена при предварительной подготовке. На принципиальной электрической схеме должны быть указаны: номера ОБ, номера ОУ, номера и номиналы R многополюсника, номиналы конденсаторов и N, N-ра потенциометр задан МУ. Иногда, на схеме указываются значения коэффициент передач и Uму и постоянных внешних возмущений.

2.Карта настройки коэффициент передач для НОБ.

3.Значения коэффициент передач множительно-делительных блоков.

4.Карты настройки диодных элементов для схемы, которые входят в состав схемы моделирующих типичных нелинейностей.

5.Карты настройки ДУФП.

*Примечание:* если в предварительной подготовке не была выполнена кусочно-линейная аппроксимация, то ее нужно выполнить перед составлением карты настройки.

3.Набор задач (включая пробные решения)

1.Осуществляется набор схемы из ОБ. В состав схемного набора рабочего документа рекомендуется собрать ОБ, подключить элементы и узлы к ОУ, а потом соединить их между собой.

2.Установить ноль на выходах ОБ.

3.Настраивать коэффициент передачи ЛОБ по данным кар. наст..

4.Установить коэффициент множительно-делительного блока.

5.Настраиваем диодные элементы схемы, моделируем тип по карте настройки диодных элементов.

6.Настраиваем диод. УФП по к наст. ДУФП.

7.Устанавливаем Uм.у. на интегрируемых блоках.

8.Устанавливаем напряжение постоянных внешних возмущений.

*Примечание:* при правильной подготовке все Uп. возм.

, а т. к. это всегда есть, то настройка не требуется.

9.Осуществляется пробный пуск и пробные решения.

10.Решение задачи.

11.Обработка результатов.

ИМО

ММО

Первоначальное строение схемы

ЭСМО

К общему виду

Обесп. тождеств.

Выбор масштаба

Расчет параметров

Все дальнейшее (конкретная методика) определяется тем, что выбирается в качестве общего вида, когда приводим масштаб МО и элемен. стро-ое в качестве общего вида.

МО – машинное описание.

1. Пусть в качестве общего вида выбираем ММО, тогда ЭСМО должны привести к форме ММО (если они не совпадают, при этом потребуется объединение некоторых уравнений). Получим объединенное стр-е МО, т. к. в схеме модели, а, следовательно, и в элементе строения МО, есть напряжения маш. перемен., которые отсутствуют в ММО. При этом преобразовываем количество уравнений и коэффициентов уменьшилось. В ЭСМ уравнении ∀ коэффициент уравнения зависел от одного коэффициента передачи, а в ОСМО некоторые коэффициенты зависят от нескольких.

Приравняв соответствующие коэффициенты: количество уравнений будет меньше, чем количество неизвестных коэффициентов.

Пусть есть m уравнений, n- неизвестных, n>m. Для решения (n-m) – выбрать, а , m – определить. Но как выбрать? Т. к. исключили некоторые U, которые были в схеме структурной, но отсутствовали в ММО, то для этих U не было аналогов среди исходных математических переменных, а значит, не было и масштабов. Выбирая (n-m) коэффициент передачи, мы тем самым косвенно задаем значения масштабов (однако мы их никак не контролируем).

1. Выбираем ЭСМО. Должны преобразовывать не ММО, а исходное (ИМО). Для преобразования ИМО: введение дополнительных переменных, разделение уравнений исходных на более простые. В качестве общей формы мы берем ЭСМО. Т. о. Мы должны преобразовать не ММО, а ИМО, т. к. ММО из него получится автоматом. Преобразование ИМО должно заключаться в введении дополнительных переменных и разделении исходных уравнений на более простые, т. е. на такие, каждое из которых моделирует так называемую элементарную аналоговую операцию, т. е. в дальнейшем моделируется одним аналоговым ОБ. При этом упрощается составление структурной схемы. Нет ситуации, при которой какая-то переменная не имеет аналога. В этом случае, количество уравнений эквивалентно количеству неизвестных коэффициентов передач. Кроме того, в каждое уравнение входит только один коэффициент (матрица диагональная), т. е. система выродилась в формулы для расчета коэффициентов передач.

Конкретная методика предварительной подготовки

1.Тождественные преобразования исходного математического описания.

1.1.Приведение ИМО к универсальному виду, т. е. к системе уравнений первого порядка.

1.2.Приведение универсального вида к виду удобному для моделирования.

2.Получение Масштабируемого Машинного описания.

3.Построение первоначальной структурной схемы.

4.Получение ЭСМО.

5.Проверка совпадения по форме ММО и ЭСМО. При получении ЭСМО должны (следить) смотреть на схему.

6.Обеспечение тождественности описания оригинала (ММО) и модели (ЭСМО).

6.1.Приравниваем соответствующие коэффициенты и получаем уравнение эквивалентности.

6.2.Приравниваем соответствующие нелинейные зависимости и получаем преобразования уравнений тождественности.

6.3.Приравниваем начальные условия и постоянные внешние возмущения.

7.Определение оптимальных значений масштабов и выбор пробных значений масштабов.

7.1.Выбор масштаба времени, т. е. представление независимых переменных.

7.2.Определение оптимальных или выбор пробных значений масштабов зависимых переменных.

8.Рассчет параметров схемы моделирования.

8.1.Определение оптимальных или пробных значений коэффициентов передач для линейных и множительных ОБ.

8.2.Определить нелинейный характер в машинных переменных для функциональных преобразований и для схем, моделирующих типичные нелинейности.

8.3.Определение оптимальных или пробных значений U начальных условий и оптимальных значений U постоянных внешних возмущений.

**1.2.**Варианты элементарных аналоговых операций.

1. (интегросуммирующий ОБ);



2) (суммирующий ОБ);

1. (МДБ);
2.  (ДУФП)
3.  (типичные нелинейности)
4.  (блок запаздывания)

Так как других элементарных операций нет, то все остальные операции должны быть сведены к данным элементарным.

При моделировании функции времени используют два метода:

Первый метод решения ОДУ, т. е. мы записываем ЛООДУ, затем приводим к универсальному виду. Рекомендуется, системы дополнительных уравнений записывать отдельно от остальных, и отдельно каждую систему для каждой функции времени.

Второй метод нелинейных блоков основан на тождественных преобразованиях.

нет решения ОУ  

 (ДУФП)→ 

Для моделирования любой функции, времени требуется один ФП и один интегральный блок. ФП для всех функций одинаков.

Делаем замену переменных:

Вместо  



После подстановки, все масштабы переносим из левой стороны в правую.

*Пример:* 1) 

2) 

1. 

**Общие принципы подготовки управления к набору и решению.**

Исходное математическое описание

**1**

замена переменных





Масштабирование, машинное описание

**2**

Переменная структурная схема из ОБ

**3**

описание модели

Элементарное структурное машинное описание

Приведения к одному и тому же виду

**1.**

а) опись оригинала;

б) переменные – исходные переменные;

в) коэффициент – исходный коэффициент;

г) НЗ ⇒ исход. НЗ;

д) МУ ⇒ исход. МУ;

е) ПВВ ⇒ исход. ПВВ.

**2.**

а) ⇒ оригинал;

б) ⇒ математическая переменная;

в) исходные коэффициенты и М;

г) исходные МЗ и М;

д) исходные МУ и М;

е) исходные ППВ и М.

**3.**

а) модель;

б) машинные переменные;

в) коэффициент передачи ОБ, нелинейная характеристика ФП;

г) направление МУ;

д) направление ПВВ.

Составляем первоначальную структурную схему. Замена переменных: вместо каждой математической переменной, подставляем машинную переменную.

Для каждого ОБ составляем уравнение описывающее его работу. Получаем элементарное структурное машинное описание.

МЗ зависят от нелинейных характеристик функциональных преобразований. Любой коэффициент полученного описания любого уравнения в этом описании, зависит только от одного коэффициента передачи.

Приводим уравнение оригинала: масштабирование и управление модели.

Определяем направление МУ и направление ПВВ.

Приводим уравнение оригинала и уравнение модели к общему виду.

Обеспечиваем тождественность:

* приравниваем соответствующие коэффициенты (получаем соотношение м-у коэффициента передачи ОБ и исходных коэффициентов масштабирования с другой стороны);
* приравниваем нелинейные зависимости;
* приравниваем начальные условия.

Определяем (выбираем) значения масштабов. Определяем (выбираем) значения параметров ОБ. Определяем (выбираем) значения коэффициента передач, нелинейный характер, направлений МУ и ПВВ.

При исполнении данной методики составление сводится к моделированию дифференциальных уравнений с помощью ОБ и их соединения.

Если знаки совпадают, то соединение непосредственное, с входа на выход. Если знаки не совпадают, то через инвертор.

Линейное уравнение: 



Номер блока должен соответствовать индексу на любом ОБ указываться К передач.

Для линейных – два индекса ( первый номер блока, индекс выходного напряжения и второй – индекс входного напряжения).

Signain

Signai1

Un

U2

U1

Kj1

Kj2

Kjn

ΔΣ

j

-Uj

Signain

Signai1

Ui(0)

Un

U2

U1

Ki1

Ki2

Kin

I

ΔSΣ

i

-Ui

≥ 0

Kd

-Ud

Ur

X x/y

Y d

Ul

≤ 0

Kd

-Ud

Ur

X x/y

Y d

Ul

≥ 0

Km

-Um

Ur

X x\*y

Y m

Ul

KF1

UF1

Ur

X x2

F1

KF2

-UF2

Ur

X √x

F2

KF2

UF2

-Ur

X √x

F2

Fs4

Uk

Ur

X ϕ(x)

F

**Правила изменения знаков**

На структурной схеме линейного интегросуммирующего блока можно изменить все знаки на противоположные – перед входом, перед выходом и МУ.

Линейное алгебраическое уравнение:



Если структурная схема состоит только из линейных ОБ, то можно одновременно изменить все знаки, т. к. любая дополнительная структурная схема, моделирующая функцию времени методом решения линейного определяющего ДУ состоит только из ЛОБ, то подключение любой дополнительной структурной схемы к основной, осуществляется без инвертора



*Правило:* мы можем изменить значения на противоположные перед ∀ первым напряжением. Но нужно изменить и на выходе.



*Правило:* на структурной схеме мы можем поменять одновременно знаки перед делительным и частным. При изменении знака перед делителем изменяется структура блока по выходу.





*Правило:* на структурной схеме ФП можно изменить знак ∀ напряжения, соответствующим образом скорректировав выход напряжения.

**Рекомендуемая методика составления любой структурной схемы**

При составлении и основной и дополнительной схемы, рекомендуется последовать:

1. составляется основная цепочка из интегрирующих блоков без инверторов, т. к. она разомкнута;
2. обеспечить действительное ∃ по всем входам интегро-суммирующих блоков, требуемые напряжения, используя остальные ОБ (замыкая обратные связи);
3. инвертируемые блоки, включить только в конце цепей обратной связи, в самом конце (максимум – столько, сколько цепей), инвертируемые блоки могут оказаться перед входами интегро-суммирующих блоков;
4. возможно упрощение структурной схемы, если перед входами какого-либо интегро-суммирующего блока окажется несколько инверторов, то их можно заменить одним суммирующим блоком, количество неизвестных коэффициентов передач изменится для каждого сумматора на единицу;
5. возможны и другие упрощения структурной схемы, что обусловлены знанием внутренней структурной схемы. ОБ можно сопрягать не обязательно по напряжению, это возможно, если два блока соединены последовательно и промежуточное напряжение больше нигде не используется, то первый блок имеет один выход, а второй – первый выход.

У интегро-суммирующего блока ∃ возможность использовать первые выходы, может быть вторым.

У суммирующего ОБ можно «превратить» в ОБ с одним входом и выходом, может быть один или два.

У множительного блока может быть токовым выход, используется в качестве первого, в режиме деления – МДБ по входу делимого допускается токовый вход; в режиме возведения в квадрат – только токовый выход, в режиме извлечения корня – токовый вход.

У ФП – токовый выход, в базовом включении у него есть токовый выход (может быть один), если в ФП нелинейные элементы включены в цепь о. с., то в этом случае есть возможность использовать первый выход.

ϕ(0)

X i

Δ∞

Для каждого ОБ, входящего в структурную схему, необходимо написать зависимость от входа, выхода.

Для суммирующего ОБ, получ. исходя из того Uвых равно инвертиров сумме входных напряжений соотв. коэффициентам передач.



**5.**Проверка совпадения по форме уравнений оригинала (масштабное машинное описание) и уравнение модели (элементное структурное машинное описание).

Если какие-то знаки и совпадают, или какое-то напряжение отсутствует, то это свидетельствует о том, что была допущена ошибка.

**6.Обеспечение тождественности**.

6.1. Получение уравнения эквивалентности, приравниваем соответственные коэффициенты линейных и множительно-делительных уравнений (одно из оригинала, другой из модели)













6.2. Получение уравнений тождественности.

Знаки в масштабном машинном уравнении должны привести в соответствии со структурным машинным описанием.

*Например: *

, тогда мы пишем



6.3. Приравниваем МУ и ПВВ.

Он был, практически, выполнен, когда масштабировали МУ и ПВВ.











**7.** Для подсчета нам не хватает только масштабов. Определение или выбор значения масштабов.

7.1. Выбор масштаба представления независимой переменной (т. е. выбор масштаба времени). 

t – реальное время;

τ - машинное время (время в модели).

Если модель сопрягается с реальной аппаратурой или в качестве ОБ – реальные блоки, то в этом случае масштаб времени равен еденице. Если же этих ограничений нет, то мы можем выбрать значение Мτ , но должны учитывать определенные ограничения, которые мы сейчас рассмотрим. Если Мτ увеличивается, то τ уменьшается, время решения ускоряется. М τ >1; τmax<t max

Частоты, при этом, как внутренние, так и внешние увеличиваются; ограничения обусловлены полосой пропускания ОБ и аппаратурой.

При изменении масштаба времени, изменяются только коэффициенты передач интегрирующих блоков. При увеличении коэффициента передач, увеличивается погрешность, благодаря сумме коэффициентов передач.

Если условие выполним, то частоты лежат внутри диапазона полосы пропускания.

Mτ <1 τmax>tmax; время решения увеличиваем. При увеличении времени решения, погрешность увеличивается, поэтому часто в ЭВМ задается то время, больше которого решать нельзя.

, будет обусловлена точность, если не превышать.

Значения в современной ЭВМ позволяет получать время до 10000 секунд.

Любое Uk(τ) –выходная переменная ОБ. Выходной диапазон ОБ + Umax.

-Umax ≤ Uk(τ)≤+ Umax;

Uk(τ) max≤ Umax; 

После выхода за предел – останов (но если вышли –работает формально). За счет перегрузки рабочая точка не на линейном участке насыщения. Когда точка на участке насыщения – перегрузка, неправильное моделирование.

Umin

Umax

 MK – масштаб.

При изменении масштаба, меняет диапазон выходной ОБ. При увеличении масштаба – диапазон уменьшается, при уменьшении масштаба – диапазон увеличивается.

желательно, чтобы было равенство (если MK уменьшается, то Uk что-то превысит). Масштаб увеличивается, диапазон полезного сигнала уменьшается.

 

Для расчета оптимального решения нужно знать диапазон изменения математических исходных переменных. Лучше идти путем проб и ошибок, или заранее выбирать большие значения масштабирования. В том случае, если не знаем диапазон исходных математических переменных:

 ↔ пробные решения → 

=(определение оптимального масштаба)= 

Пробное решение (окажется) потребуется только одно, если ни одно из напряжений не вышло за пределы диапазона. Возможно, если мы правильно выбрали пробные решения 

Существуют критерии для большинства (ОБ) переменных, которые позволяют правильно выбрать пробные значения масштабов.

**Выбор пробных значений масштабов.**

– пробное .

Выходные преобразования для интегро-суммирующего блока:

, тогда может и не сработать,  может оказаться и меньше, но это самый простой способ, другие требуют более сложные расчеты.



Равны, когда экстремумы совпадают в один и тот же момент времени, и кроме того, знаки коэффициента соответствующие.









Если, то⇒ правильно выбранные слагаемые,

– нет превышений линейного диапазона.

Множит-делит.

 



 (равны, когда максимум сомножителей совпадают в один и тот же момент напряжения).

Правильный выбор 

V 

Если правильно выбрали 

Режим деления: 

 (нужно ввести коэффициент Се, который показывает во сколько раз меняется делитель).

Делим правую и левую часть на Umax.



 и 

 

Возможно нарушение:



 других вариантов нет.

Нелинейная зависимость:





Вариант выбора масштабирования:

1. функция периодичная или не возрастающая

для 

делим на левую и правую часть:

 eсли мы пробное будем выщитывать по этой формуле, то за диапазон выхода не будет 

1. функция возрастающая:







Частные случаи:

Квадрат 



 

Для типичной нелинейности те же самые формулы. Проколы могут быть в интегрировании и по делительным блокам.

**8.**

**8.1. Определение коэффициента передач.**

Для определения коэффициента передач, мы должны в формулы (уравнения эквивалентности) подставить значения масштабов.

Если мы подставляем все оптимальные значения масштабов, то получаем оптимальные значения коэффициента передач, а если пробный, то – пробный.



 для пробного значения.

Для масштабного блока – коэффициент передач равен единице, и пробный, и оптимальный.

Р-м умножения



Р-м деления







Определение U и постоянных МУ (ПВВ)





ПВВ



