

Схемы, методики и сценарии тестирования SPICE-совместимых макромоделей операционных усилителей

(часть 5)

Сергей Лозицкий (г. Брянск)

В пятой части статьи рассматривается тестирование ММ ОУ в составе схемы усилителя: анализ времени установления выходного напряжения с заданной погрешностью и величины переходных выбросов нарастающего и спадающего сигналов.

ТЕСТИРОВАНИЕ ММ ОУ В СОСТАВЕ СХЕМЫ УСИЛИТЕЛЯ

Ряд параметров ОУ изготовители нормируют косвенно – в том смысле, что нормируются, строго говоря, не параметры собственно ОУ, а параметры неинвертирующего и/или инвертирующего усилителя с оговорёнными номиналами цепи обратной связи, нагрузки и, в отдельных случаях, цепи частотной коррекции. Схема, изображённая на рис. 48, позволяет осуществить тестирование ММ ОУ как в составе инвертирующего, так и в составе неинвертирующего усилителя.

Часть схемы, в которую входят ОУ DA1, резисторы Rg, Rf, Ri, RL, конден-

саторы Ck, CL и источники входных сигналов Vi, Vn, отличается от соответствующей части рассмотренной выше схемы на рис. 41 только тем, что в схеме на рис. 48 условные операторы дополнительно используются для определения атрибутов VAC источников Vi и Vn. Указанная часть схемы (о назначении других компонентов схемы рис. 48 сказано ниже) используется для тестирования частотных параметров усилительных схем, а также для оценки (на качественном уровне) характера их переходных характеристик.

Рассмотрим несколько типичных примеров тестирования. На рис. 49, заимствованном из Datasheet

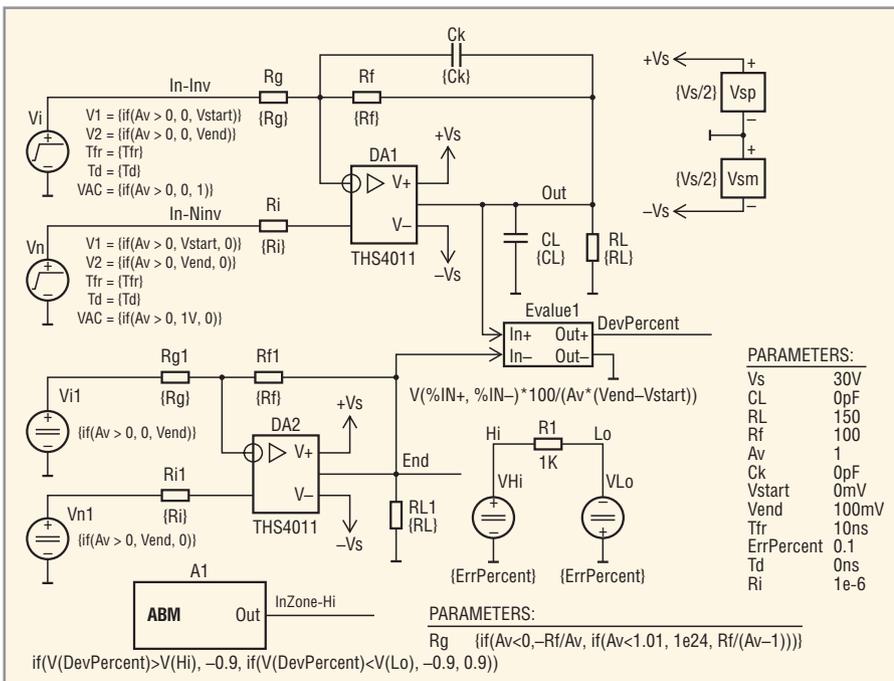


Рис. 48. Схема тестирования ММ ОУ в составе схемы усилителя

(www.ti.com), изображены две АЧХ повторителя напряжения, реализованного на ОУ THS4011, которые соответствуют величинам сопротивлений резистора Rf, равным 100 и 270 Ом.

Из надписей на рис. 49 следует, что повторитель нагружен на сопротивление 150 Ом и питается от источников с напряжением ±15 В. Как получить аналогичные АЧХ ММ ОУ THS4011 в схеме тестирования? Задайте численные величины глобальных параметров, которые указаны на рис. 48. Щелчком указателя мыши на пиктограмме Setup Analysis откройте окно Analysis Setup, а в нём – диалоговое окно AC Sweep, и задайте следующие параметры моделирования:

- AC Sweep type: Decade;
- Pts/Decade: 101;
- Start Freq.: 100K;
- End Freq.: 1G.

Закройте окно AC Sweep, откройте окно Parametric и задайте следующие параметры моделирования:

- Sweep Var. Type: Global Parameter;
- Name: Rf;
- Sweep type: Value List;
- Values: 100, 270.

Закройте открытые окна, осуществите прогон моделирования схемы и выведите на экран Probe трассу DB(V(Out)). Установите логарифмический масштаб оси X, а диапазон Y-переменной ограничьте величинами -25 и +5. В результате выполнения указанных действий на экран Probe выводятся графики (см. рис. 50), которые наглядно сопоставимы с графиками Datasheet (рис. 49) и позволяют оценить степень соответствия АЧХ моделируемого и реального повторителя напряжения.

Рассмотрим пример тестирования в режиме Transient. На рис. 51, заимствованном из Datasheet, изображены четыре переходные харак-

теристики повторителя напряжения на ОУ TMS4041, соответствующие различным величинам ёмкости нагрузки.

Задайте следующие величины глобальных параметров: $V_s = 30V$, $C_L = 10pF$, $R_L = 150$, $R_f = 200$, $A_v = 1$, $C_k = 0$, $V_{start} = 0$, $V_{end} = -1V$, $T_{fr} = 1ns$, $T_d = 50ns$. Последовательно открыв окна Analysis Setup и Transient, установите следующие параметры моделирования:

- Final Time: 300ns;
- Step Ceiling: 30ps.

Закройте окно Transient и откройте окно Parametric, в котором задайте параметры:

- Sweep Var. Type: Global Parameter;
- Name: CL;
- Sweep Type: Value List;
- Values: 10p, 100p, 1n, 0.01u.

Осуществите прогон моделирования и выведите на экран Probe трассы $V(Out)@1+1.5$, $V(Out)@2+3$, $V(Out)@3+4$, $V(Out)@4+4.5$. Цепочкой команд Plot → Axis Settings программы Probe откройте окно Axis Settings и, поочерёдно активизируя вкладки Y Axis, X Grid и Y Grid, выполните следующие действия:

1. Диапазон Y-переменной ограничьте величинами 0 и 5 В;
2. Задайте вывод сетки на поле графика с шагом 50 нс по оси X и с шагом 0,5 В – по оси Y;
3. Закройте диалоговые окна.

Вы должны увидеть на экране Probe графики, изображённые на рис. 52, которые наглядно сопоставимы с графиками Datasheet (рис. 51). Заметим, что сопоставимость результатов анализа с данными Datasheet достигается за счёт:

1. Задания величины атрибута Td (времени задержки скачка входного напряжения) источника V2 равным 50 нс;
2. Разнесения по оси Y графиков, соответствующих различным вариантам анализа схемы, путём добавления к выводимым на дисплей выходным переменным постоянных смещений: $V(Out)@1+1.5$, $V(Out)@2+3$, $V(Out)@3+4$, $V(Out)@4+4.5$.

Во временной области качество усилителя оценивают по искажениям его переходной характеристики (Step Response), которые обычно характеризуются двумя показателями – временем t_{ss} установления с заданной погрешностью δ [%] и макси-

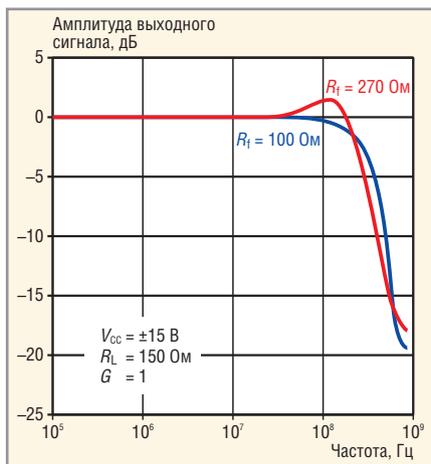


Рис. 49. АЧХ повторителя напряжения на ОУ TMS4011

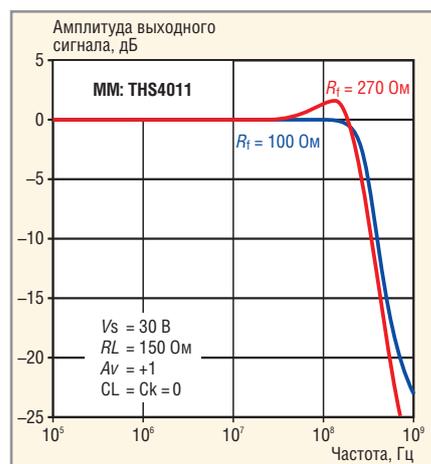


Рис. 50. Результаты тестирования АЧХ повторителя напряжения (ММ ОУ TMS4011)

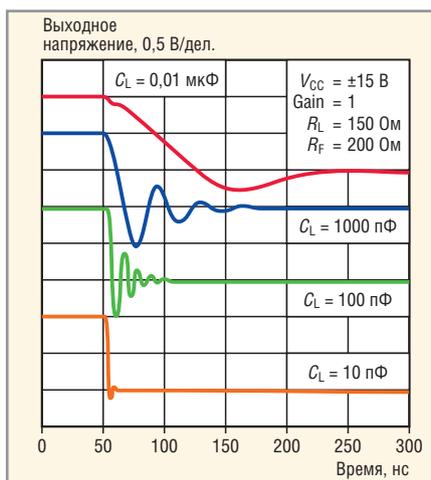


Рис. 51. Переходные характеристики повторителя напряжения на ОУ TMS4041

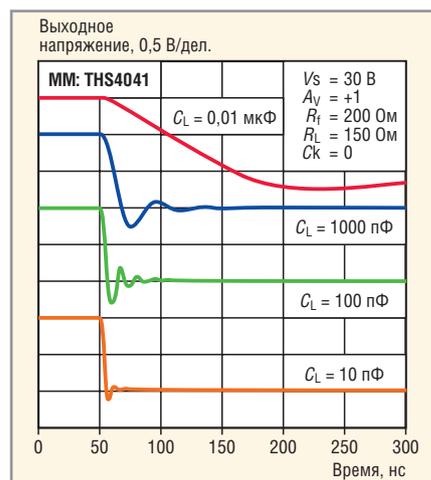


Рис. 52. Результаты тестирования ММ ОУ TMS4041 в схеме рис. 48

мальным выбросом $OvSh$ [%] переходной характеристики. На рис. 53 изображена типичная колебательная переходная характеристика усилителя, а также отмечены уровни напряжений, необходимых для определения величин t_{ss} и $OvSh$ [%]. На рис. 53 обозначено:

- $V_{O\ START}$ – начальная (стартовая) величина выходного напряжения усилителя;
- $V_{O\ END}$ – величина установившегося выходного напряжения;
- $V_{O\ MAX}$ – максимальная величина выходного напряжения;
- $\Delta V_O = V_{O\ END} - V_{O\ START}$ – перепад выходного напряжения усилителя.
- t_{ss} – время установления выходного напряжения с точностью (погрешностью) δ [%].

На рис. 53 горизонтальные линии с уровнями $V_{O\ END} \pm 0,01\delta$ [%] ΔV_O являются границами зоны установления переходной характеристики с погрешностью δ [%]. Время установления t_{ss} – это время с момента воздействия

на вход усилителя перепада напряжения до момента *последнего* вхождения его выходного напряжения в *зону погрешности* заданной величины δ [%].

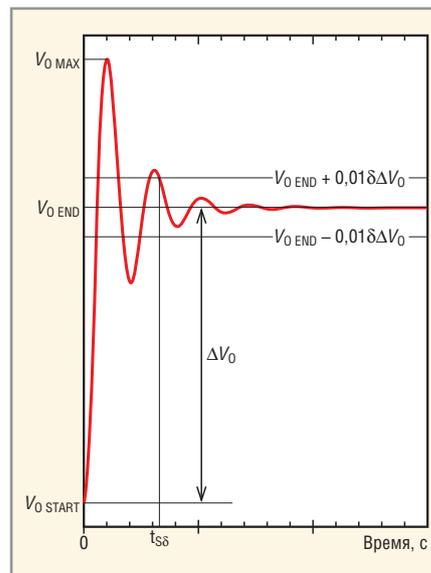


Рис. 53. Типичная колебательная переходная характеристика усилителя

Величина максимального выброса переходной характеристики рассчитывается по формуле:

$$\text{OvSh}[\%] = \frac{V_{O\text{MAX}} - V_{O\text{END}}}{V_{O\text{END}} - V_{O\text{START}}} \times 100 = \frac{V_{O\text{MAX}} - V_{O\text{END}}}{\Delta V_O} \times 100 \quad (8)$$

Строго говоря, формула (8) является приближённой, поскольку теоретически процесс установления схемы длится бесконечно долго. В реальной ситуации (при ограниченном времени анализа процесса установления переходной характеристики) величина напряжения $V_{O\text{END}}(t_{\text{END}})$, которую мы принимаем за установившееся значение, фактически отличается от истинной установившейся величины $V_{O(\infty)}$ на величину

$$V_{O\text{END ERR}}(t_{\text{END}}) = V_{O\text{END}}(t_{\text{END}}) - V_{O(\infty)}, \quad (9)$$

которая является ошибкой установления выходного напряжения, обусловленной конечным временем анализа. Совершенно очевидно, что ошибка установления уменьшается при увеличении времени анализа. Формула (8) даёт малую погрешность расчёта выброса переходной характеристики, если выполняется условие:

$$V_{O\text{END ERR}}(t_{\text{END}}) \ll V_{O\text{MAX}}$$

В файле `pspice.prb` стандартных шаблонов экрана Probe (Plot Window Templates), целевых функций (Goal Functions) и макросов (Macros) имеется описание целевой функции `Overshoot(Trace_Name)`, которая рассчитывает выброс трассы с именем `Trace_Name` в соответствии с формулой:

$$\text{OvSh}[\%] = \frac{Y_{\text{MAX}} - Y(t_{\text{END}})}{Y(t_{\text{END}})} \times 100. \quad (10)$$

Из сравнения формул (8) и (10) следует, что, к сожалению, целевая функция `Overshoot` может использоваться для расчёта выброса в схеме тестирования рис. 48 только в том случае, когда одновременно выполняются два следующих условия:

- величина параметра `Vstart` равна нулю;
- постоянная составляющая выходного напряжения схемы, обусловленная конечными величинами

напряжения смещения и входных токов ОУ, значительно меньше перепада ΔV_O выходного напряжения тестируемой схемы.

От указанных недостатков свободна модифицированная автором целевая функция `OvSh(Trace_Name)` для расчёта выброса, которая имеет следующее описание:

```
*****
* My Modification Goal Function
* Overshoot
*
OvSh(1) = (y2-y3)/(y3-y1)*100
*
* Find the overshoot of a step
* response curve.
*
* Usage: OvSh(<trace name>)
*
{
1|Search forward x value (0%) !1
  Search forward max !2
  Search forward x value + (100%)
+ !3;
}
*****
```

Целевая функция `OvSh(Trace_Name)` рассчитывает выброс трассы с именем `Trace_Name` в соответствии с формулой:

$$\text{OvSh}[\%] = \frac{Y_{\text{MAX}} - Y(t_{\text{END}})}{Y(t_{\text{END}}) - Y(0)} \times 100.$$

При использовании целевой функции `OvSh` не накладывается ограничений на величины параметра `Vstart` и постоянной составляющей выходного напряжения тестируемой схемы, которая обусловлена конечными величинами напряжения смещения и входных токов ОУ. Следует подчеркнуть, что целевые функции `Overshoot` и `OvSh` корректно «работают» только на нарастающем сигнале, то есть когда $V_{O\text{END}} > V_{O\text{START}}$.

Для определения величины выброса спадающего сигнала необходимо изменить знак аргумента целевой функции. Так, например, если в схеме рис. 48 выходное напряжение ОУ DA1 спадает, то для расчёта выброса этого напряжения необходимо вызвать целевую функцию `OvSh(-V(Out))`. Целевая функция `OvSh` унаследовала от целевой функции `Overshoot` единственный недостаток, который заключается в том, что погрешность расчёта величины выброса зависит от времени t_{END} анализа пере-

ходного процесса. Если величина выброса велика (больше 20...30%) и характер переходного процесса имеет ярко выраженный колебательный характер, то определить время t_{END} , обеспечивающее малую погрешность вычисления функции `OvSh`, можно по виду графика переходного процесса. Так, например, совершенно очевидно, что длительность фрагмента переходного процесса, изображённого на рис. 53, достаточна для расчёта целевой функции `OvSh` с пренебрежимо малой погрешностью. Однако если переходный процесс имеет малую величину выброса, то определение времени анализа схемы, гарантирующего малую погрешность расчёта целевой функции `OvSh`, становится весьма проблематичным.

В технической документации обычно нормируется время установления ОУ с погрешностью 0,1% и/или 0,01%. Каким должно быть время анализа схемы рис. 48, при котором гарантируется достоверное тестирование времени установления ОУ с погрешностью 0,01%? Простого ответа на этот вопрос нет. Все проблемы тестирования выброса переходной характеристики и времени установления схемы обусловлены тем, что нам неизвестна точная величина установившегося выходного напряжения $V_{O(\infty)}$. Можно ли в результате тестирования схемы рис. 48 получить величину напряжения $V_{O(\infty)}$ за конечное время анализа? К счастью, да. Для этого достаточно на соответствующий вход усилителя, реализованного на ОУ DA1, подать постоянное напряжение величиной `Vend` и проанализировать схему на постоянном токе. Очевидно, что при этом постоянное напряжение $V(\text{Out})$ на выходе ОУ DA1 в точности равно установившемуся напряжению $V_{O(\infty)}$. Мы близки к решению задачи, но имеется ещё одна проблема: величина напряжения $V(\text{Out}) = V_{O(\infty)}$ получена в процессе анализа схемы на постоянном токе, а требуется она в процессе тестирования схемы в режиме `Transient`. В схеме рис. 48 указанное противоречие разрешается за счёт использования второй копии тестируемого усилителя (DA2, Rg1, Rf1, Ri1, RL1), на соответствующий вход которого подаётся постоянное напряжение `Vend` от источников Vi1, Vn1. Заметим, что использование во втором усилителе емкостей не имеет смысла, поскольку он работает с неизменны-

УМЕНЬШЕНИЕ ОБЪЁМА, СОКРАЩЕНИЕ ЗАТРАТ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НОВЕЙШИХ ТЕХНОЛОГИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ



fleXPower конфигурируемый за короткий срок по заказу источник питания

- Выходные мощности 400-2200 Вт
- Для промышленных, телекоммуникационных и медицинских применений
- Соответствие требованиям SEMI F47
- Выходные напряжения 2-150 В постоянного тока
- Расширенный логический интерфейс



ECM100 Самый малогабаритный в мире 100-ваттный источник питания

- Габаритные размеры (Г×Ш×В): 114,3 × 63,5 × 30,5 мм
- Открытая конструкция с конвекционным отводом тепла
- Для промышленных, телекоммуникационных и медицинских применений
- Защита от поражения электрическим током: оборудование класса I и II (ГОСТ Р 50377-92, ГОСТ Р 50267.0-92)
- Один, два, три и четыре выхода питающих напряжений



RCL175 Любое стандартное или заказное выходное напряжение

- 175 Вт модифицируемой мощности в объёме 140 × 94,1 × 32,6 мм
- Один, два, три и четыре выхода питающих напряжений
- Для промышленных, телекоммуникационных и медицинских применений
- Защита от поражения электрическим током: оборудование класса I и II (ГОСТ Р 50377-92, ГОСТ Р 50267.0-92)

Каталог продукции фирмы XP Power POWER SUPPLY GUIDE 2005/06



Первое издание 240-страничного каталога продукции компании XP Power (XP Power Supply Guide) содержит подробную информацию о всех изделиях энергетической электроники, выпускаемых компанией. Каталог содержит информацию об источниках электропитания AC-DC, выносных источниках питания, DC/DC-преобразователях, источниках питания для монтажа на DIN-рейку, ИБП и источниках питания, выполненных с применением силовых модулей COTS.

PROSOFT[®]

Москва: тел./факс: (495) 234-0636/0640;
info@prosoft.ru • www.prosoft.ru
Петербург: тел./факс: (812) 448-0444/0339;
root@spb.prosoft.ru • www.prosoft.ru
Екатеринбург: тел./факс: (343) 376-2820/2830;
info@prosoftsystems.ru • www.prosoftsystems.ru
Самара: тел./факс: (846) 277-9165/9166;
info@prosoft.samara.ru



T H E X P E R T S I N P O W E R

www.xppower.com

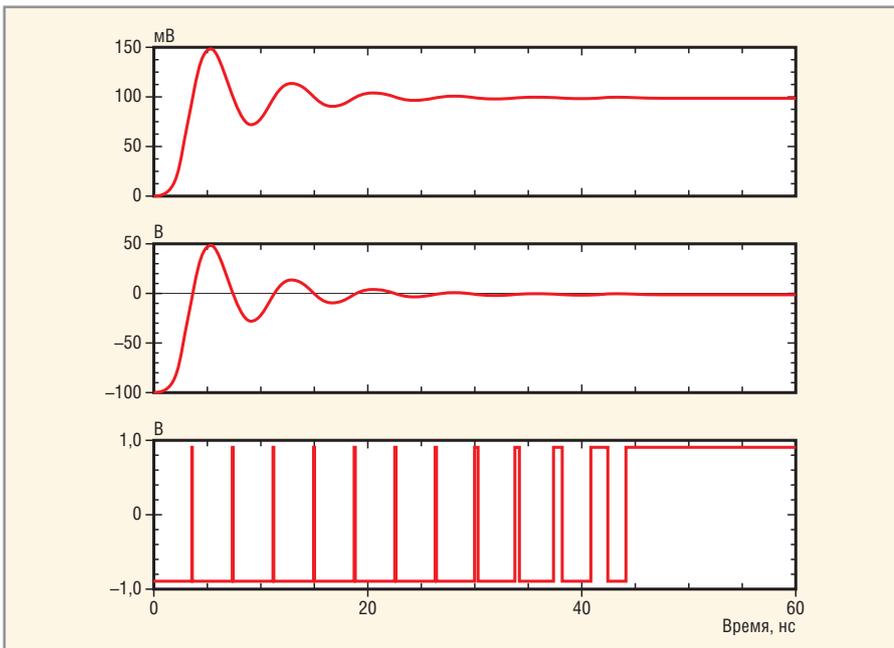


Рис. 54. Временные диаграммы, поясняющие работу схемы рис. 48

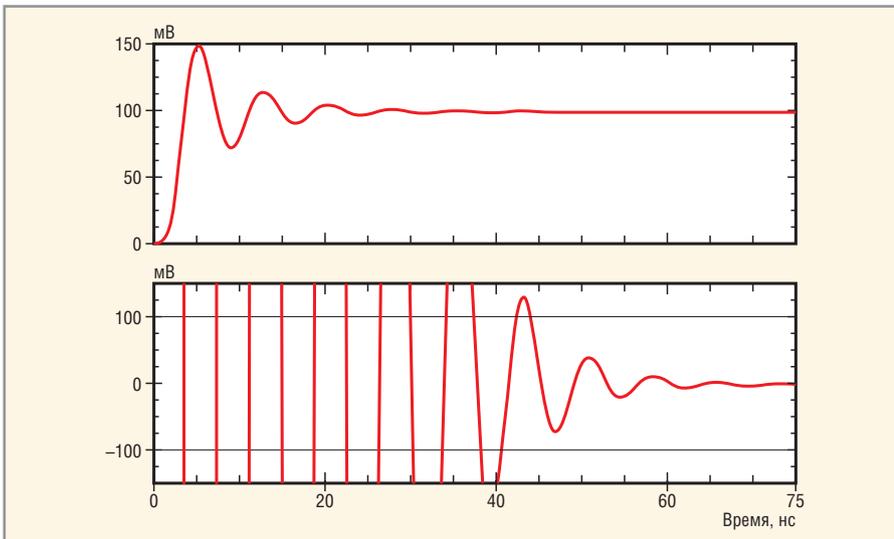


Рис. 55. Переходная характеристика повторителя напряжения (MM THS4011)

ми уровнями сигналов. Итак, напряжение $V(End)$ узла End в процессе Transient-анализа схемы тестирования неизменно и равно полностью установившейся величине узлового напряжения $V(Out)$. Текущая величина выходного напряжения управляемого источника Evalue1 (напряжение узла DevPercent) определяется формулой:

$$V(DevPercent) = \frac{V(Out) - V(End)}{Av(Vend - Vstart)} \times 100 = \frac{V(Out) - V(End)}{\Delta V_O} \times 100, (11)$$

где: $V(DevPercent)$, $V(End)$, $V(Out)$ – узловые напряжения схемы тестирования; Av , $Vend$, $Vstart$ – величины параметров, задаваемых пользователем;

ΔV_O – величина перепада выходного напряжения тестируемой схемы.

Из уравнения (11) следует, что узловое напряжение $V(DevPercent)$ численно равно отклонению выходного напряжения OУ DA1 от установившегося значения, выраженному в процентах. Узловые напряжения $V(Lo)$, $V(Hi)$ численно равны величинам нижней и верхней границ зоны установления, задаваемой в процентах с помощью параметра ErrPercent. Выполнение условия:

$$V(Lo) \leq V(DevPercent) \leq V(Hi) \quad (12)$$

означает, что выходное напряжение тестируемой схемы находится в зоне, ограниченной величинами $V_{O_END} \pm \pm 0,01\delta$ [%] ΔV_O (см. рис. 53). Момент,

когда напряжение $V(DevPercent)$ последний раз входит в зону, ограниченную напряжениями $V(Lo)$ и $V(Hi)$, является временем t_{SS} установления выходного напряжения тестируемой схемы с точностью (погрешностью) δ [%]. Аналоговый функциональный блок (АФБ) А1 осуществляет непрерывный контроль выполнения условия (12). Если это условие выполняется, то узловое напряжение $V(InZone-Hi)$ равно +0,9 В, а в противном случае –0,9 В.

На рис. 54 изображён вид экрана Probe после осуществления тестирования в схеме рис. 48 MM THS4011 при задании следующего набора параметров: $Vs = 30V$, $CL = 50pF$, $RL = 150$, $Rf = 100$, $Av = 1$, $Ck = 0pF$, $Vstart = 0$, $Vend = 100mV$, $Tfr = 1ns$, $ErrPercent = 0.1$, $Td = 0$, $Ri = 1e-6$.

На верхний график выведена трасса $V(Out)$ выходного напряжения OУ DA1. На второй график выведена трасса $V(DevPercent)$, а также трассы $V(Hi)$ и $V(Lo)$, которые при выбранном масштабе оси Y неразличимы. На третий график выведена трасса $V(InZone-Hi)$ выходного напряжения АФБ А1. Временные диаграммы, изображённые на рис. 54, иллюстрируют сказанное выше о работе схемы рис. 48, однако для практического тестирования времени установления и выброса переходной характеристики они не удобны. Обычно автор выводит на экран Probe временные диаграммы, изображённые на рис. 55.

Трасса $V(Out)$ верхнего графика даёт представление о характере переходного процесса, а трассы $V(DevPercent)$, $V(Hi)$, $V(Lo)$ нижнего графика наглядно показывают процесс установления переходной характеристики с заданной малой погрешностью (в нашем примере – с погрешностью 0,1%). Для определения количественных показателей качества переходного процесса необходимо:

- установить первый курсор на трассу $V(DevPercent)$;
- нажатием комбинации клавиш Ctrl + Shift + X позиционировать курсор в точку трассы $V(DevPercent)$ с максимальной ординатой и считать его координаты в окне Probe Cursor. Y-координата курсора численно равна выбросу переходной характеристики в процентах, а X-координата – времени достижения максимума;
- позиционировать курсор в точку *последнего* пересечения трасс

$V(\text{DevPercent})$, $V(\text{Hi})$ и считать его X-координату в окне Probe Cursor, которая численно равна времени установления переходного процесса с заданной точностью. Для точного позиционирования курсора в точку последнего пересечения трасс $V(\text{DevPercent})$ и $V(\text{Hi})$ необходимо сначала нажатием клавиши End установить курсор в конец трассы $V(\text{DevPercent})$, а затем выполнить команду «sble(0.1)» поиска в обратном направлении первой точки трассы с ординатой 0,1. Команда поиска задаётся в окне Search Command, которое открывается при нажатии комбинации клавиш Ctrl + Shift + S.

Если вы желаете определить длительность фронта нарастания переходной характеристики на относительных уровнях 10% и 90%, то установите оба курсора в начало трассы $V(\text{DevPercent})$, а затем позиционируйте первый курсор в точку трассы с ординатой -10, а второй – с ординатой -90. Величина dif разности X-координат первого и второго курсоров, индицируемая в окне Probe Cursor, численно равна длительности фронта нарастания переходной характеристики.

Иногда для быстросредействующих ОУ в Datasheet нормируется время задержки распространения (Propagation Delay) импульсного сигнала. Время распространения сигнала численно равно X-координате курсора, позиционированного в точку трассы $V(\text{DevPercent})$ с ординатой минус 50.

Окончание следует

ЛИТЕРАТУРА

1. Лозицкий С. Эволюция SPICE-совместимых макромоделей операционных усилителей. Современная электроника. 2005. №№ 4–6.
2. Лозицкий С. Методы анализа операционных схем в частотной области. Схемотехника. 2004. №№ 7–12; 2005. №№ 1–5.
3. Разевиг В.Д. Система сквозного проектирования электронных устройств DesignLab. М.: Солон, 1999.
4. Разевиг В.Д. Система проектирования OrCAD 9.2. М.: Солон, 2001.
5. Достал И. Операционные усилители: Пер. с англ. М.: Мир, 1982.
6. Jung W. LT1056 Improved JFET Op Amp Macromodel Slews Asymmetrically. Design Note DN43. Linear Technology Corporation, January 1991.



Новости мира News of the World

Touchscreen-технология акустического импульсного распознавания

Фирма Elo TouchSystems создала Touchscreen-технология акустического импульсного распознавания (Acoustic Pulse Recognition – APR). Речь идёт о способе распознавания прикосновений к дисплею. Технология APR фирмы Elo даёт ряд преимуществ, которые другими существующими Touch-технологиями до сих пор могли быть реализованы лишь частично. Акустическое импульсное распознавание сочетает в себе оптическое качество, сопротивляемость и надёжность поверхностно-волновой и инфракрасной технологий. Здесь сохраняются также преимущества резистивной технологии: активизация стержнем, перчатками и ногтем. Так APR функционирует при попадании на экран воды и других загрязнений, не подвергается влиянию окружающих металлов или недостаточного заземления, подходит как для размеров экранов наладонников, так и мониторов с размерами до 42" и допускает наложение ладони на экран во время регистрации почерка.



Касание экрана в любом месте вызывает необычный шум. Этот сигнал оцифровывается контроллером и сравнивается со списком прежде принятых образцов звуков. При совпадении курсор перемещается в место касания. Первый Touch-монитор с APR появится на рынке в сентябре 2006 г.

www.elotouch.de

Разработана альтернативная технология создания плоских видеопанелей

Специалисты канадской электронной компании iFire (Торонто) сообщили о создании действующего прототипа 37-дюймовой плоской HD-панели, построенной на базе собственной передовой технологии Thick-film Dielectric Electroluminescent Technology (TDEL).

По заявлениям разработчиков, изображение формируется специальной системой Color by Blue, основанной на ис-

пользовании тонкой прослойки из голубого люминофора, которая воздействует на флуоресцентные пигменты, заставляя их излучать зелёный и красный цвета. Посредством комбинирования голубого, зелёного и красного цветов обеспечивается качественная цветопередача всей палитры RGB.

Примечательно, что новая панель имеет толщину всего 20 мм, весит около 1 кг и в отличие от обычного жидкокристаллического дисплея не имеет подсветки.

Представители компании утверждают, что благодаря их технологии TDEL в самое ближайшее время можно будет с меньшими затратами выпускать более тонкие и лёгкие телевизоры, отличающиеся низким энергопотреблением и при этом обеспечивающие высокое качество отображаемой картинки.

Ожидается, что массовое производство новых TDEL-панелей будет налажено уже к началу следующего года.

www.hifinews.ru

Planar дополнила серию StereoMirror 20- и 23-дюймовыми стереодисплеями

Фирма Planar Systems, известная разработками в области систем плоских дисплеев, анонсировала выход двух широкоформатных стереоскопических мониторов StereoMirror. Модель SD2020 с размером диагонали 20 дюймов и 23-дюймовая SD2320W обеспечивают увеличенную площадь и улучшенное качество изображения по сравнению с представленной раньше SD1710.

Мониторы SD2020 и SD2320W позволяют просматривать стереоизображение, используя лёгкие поляризационные очки. При этом полностью сохраняются разрешение ЖК-панели и частота кадров, а глаза устают не больше, чем при работе с обычным монитором.

Технология StereoMirror обеспечивает формирование 3D-картинки с помощью двух ЖК-панелей, угол между которыми составляет 110°, и полупрозрачного зеркала, расположенного между ними. Конструкция стереомонитора позволяет, подняв зеркало, работать с ним как с традиционным 2D-дисплеем.

Новые устройства ориентированы на применение в фотограмметрии, 3D-моделировании, радиографических исследованиях и задачах комплексной визуализации.

www.planar.com/stereomirror