

MathSpice – аналитический PSpice-движок для OrCAD и MicroCAP.

Расчёт функциональных схем в MathSpice

Олег Петраков (Москва)

Функциональными блоками можно описать практически любую задачу, в том числе и не электрического типа. Это позволяет использовать MathSpice для аналитического решения разнообразных задач по физике и теории систем автоматического управления.

Малевич поразил мир своим чёрным квадратом. Однако инженеры давным-давно знакомы с чёрным ящиком. Чёрный ящик имеет входы, выходы и передаточную функцию, при этом неважно, как, собственно, он устроен. Практически все электронные устройства являются для нас чёрными ящиками. Так, обозначение транзистора есть лишь мнемоническое изображение типа передаточной функции, в основе которой лежит физика твёрдого тела. Любую физическую систему, и не только электрическую, можно изобразить в виде комбинации чёрных ящиков и связей между ними. При формировании схемы для аналитического расчёта в MSpice вы можете использовать стандартные библиотеки функциональных блоков и математических функций OrCAD или MicroCAP. Это позволяет использовать одну и ту же схему и для симуляции и для получения аналитического решения.

Малосигнальная схема замещения операционного усилителя

Поддержка стандартных библиотек OrCAD и MicroCAP позволяет использовать те же самые методы разработки проектов, что и для PSpice. При этом можно получать либо аналитический результат (в MSpice), либо численный, запустив симуляцию в OrCAD или MicroCAP. Единственное условие: не надо без особой надобности нарушать правила PSpice при создании схемы проекта. Однако эти правила часто приходится нарушать. Если вы вместо номиналов и позиционных обозначений запишете символы и формулы, что допустимо для MSpice, то PSpice откажется что-либо считать, ему нужны только числа. По мере накопления опыта удастся так строить схемы, чтобы при не-

обходимости можно было «делать откат» и возвращаться к числам. Это можно сделать через блок ввода параметров – PARAMETERS. В основном это требуется, если вы хотите параллельно контролировать достоверность ваших аналитических расчётов при помощи PSpice, что весьма быстро и эффективно по сравнению с какими-либо другими способами. В этом случае вы можете быть достаточно уверены в правильности ваших расчётов.

Давайте проанализируем малосигнальную схему замещения ОУ (рис. 1). Это типовая структура, которая лежит в основе многих библиотечных макромоделей CMOS ОУ фирмы Simens. Моя личная потребность в изучении этой схемы была вызвана желанием использовать эту очень удачную макромодель для синтеза макромоделей ОУ других разработчиков, в том числе и отечественных, по их паспортным данным.

Составим и решим систему уравнений Кирхгофа:

```
> restart:read(`m:/PMAPLE/ESolver.m`);with(MSpice):
ESolve(Q,`LMC6484/CMOSOP-PSpice-Files/SCHEMATIC1/SCHEMATIC1.net`):
```

$$\begin{aligned} & \frac{V_{40}-V_{39}}{R_6}-(V_{39}-V_{29})sC3=0, \\ & -\frac{V_9}{RO}+0,044165V_6-0,044165V_5=0, \\ & (V_6-V_5)sC4-\frac{V_5-V_{101}}{R_3}+ \\ & +0,00177V_4-0,000177V_{104}=0, \\ & -0,000354V_4+0,000177V_{104}+ \\ & +0,000177V_7+I1=0, \\ & -(V_6-V_5)sC4-\frac{V_6+V_{101}}{R_4}+ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & +0,000177V_{104}-0,000177V_7=0, \\ & -\frac{V_{15}}{R_{12}}-V_{15}sC5+0,001V_9=0, \\ & (V_{39}-V_{29})sC3-\frac{V_{29}}{R_5}+ \\ & +0,5666710^{-5}V_{18}=0, \\ & \frac{V_4-V_{100}}{R_{16}}-\frac{V_4-V_{39}}{R_6}- \\ & -0,016667V_{29}=0, \\ & \frac{V_{17}-V_{16}}{R_1}+0,281210^{-7}V_{102}+ \\ & +0,281210^{-7}V_{104}=0, \\ & (V_{19}-V_{18})sC2-\frac{V_{18}}{R_{14}}+0,001V_{15}=0, \\ & -\frac{V_{19}}{R_{15}}-(V_{19}-V_{18})sC2=0, \\ & -\frac{V_{17}}{sL2}-\frac{V_{17}-V_{16}}{R_1}=0, \\ & V_7=V_{102}+0,00075+V_{16}, \\ & \{V_{16}, V_{17}, V_4, V_5, V_{15}, V_{18}, V_6, V_9, \\ & V_{29}, V_{40}, V_7, V_{39}, V_{19}\}. \end{aligned}$$

```
MSpice v8.52:
http://pspicelib.narod.ru
Заданы источники: [V100, V101,
I1, V102, V104]
Заданы узлы: {V2, V1, V50, V99}
Получены решения:
V_NET:=[V16, V40, V18, V29, V39,
V17, V15, V19, V9, V4, V5, V6, V7]:
J_NET:=[JR14, JR15, JR12, JV100,
JR16, JV104, JV102, JC3, JR5,
JC2, JR1, JV101, JL2, JR6, JC4,
J1, JR3, JR4, JRO, JC5]:
```

Выходным узлом схемы замещения ОУ является узел V40. Источник входного сигнала VINP. Тогда получим выражение для передаточной функции ОУ:

```
> H:=V40/VINP:
```

Для получения аналитических выражений нулей и полюсов функции VOUT вводим:

```
> PoleZero(VOUT, H):
```

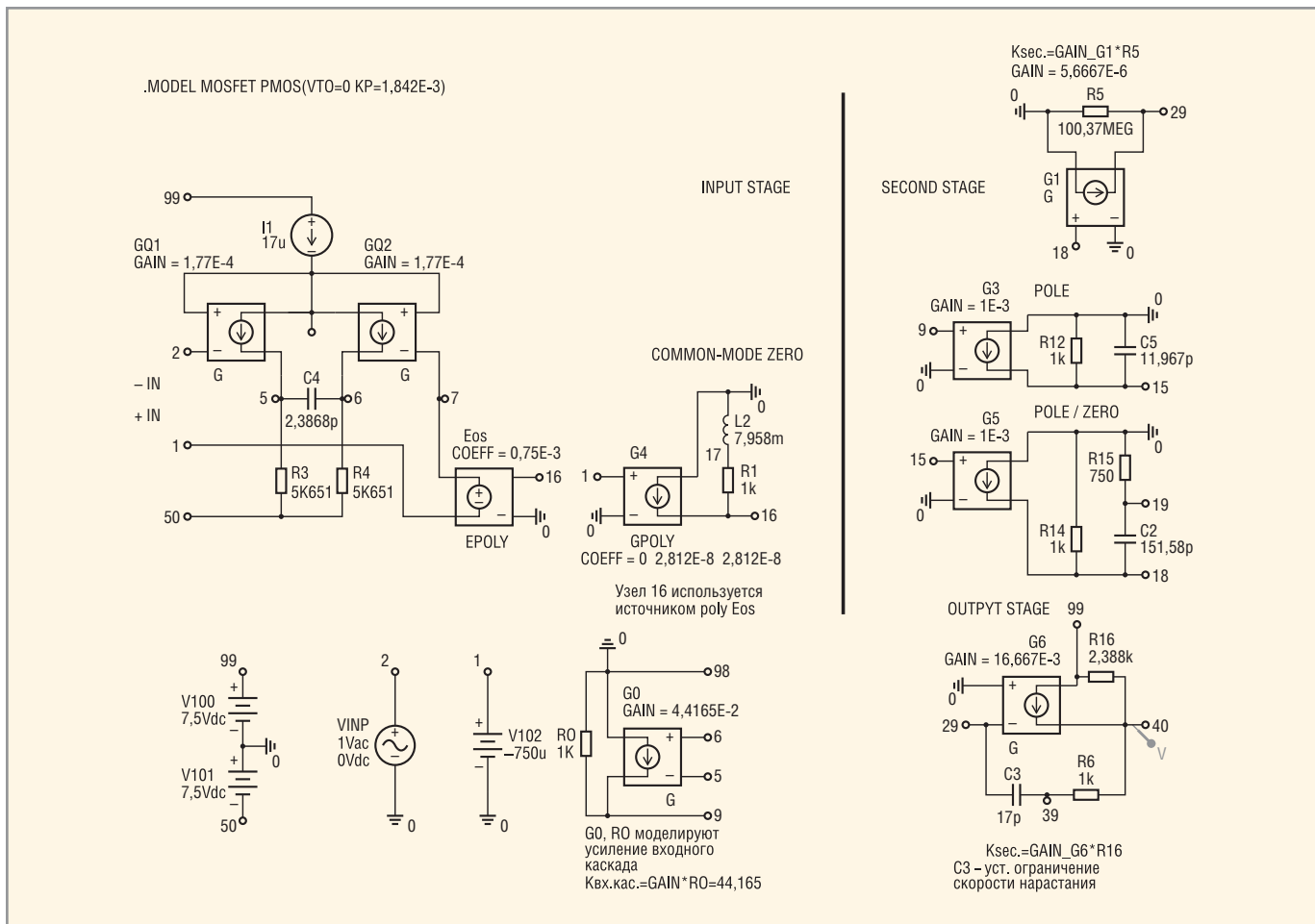


Рис. 1. Малосигнальная схема замещения операционного усилителя

Мы покажем только формулы для расчёта полюсов, поскольку формулы для нулей получились очень большими. Исходный листинг этого расчёта без сокращений можно скачать с сайта журнала.

$$F_Pole_1 = \frac{0,1591549430 I}{R12C5}$$

$$F_Pole_2 = \frac{0,1591549430 I}{C4(R3+R4)}$$

$$F_Pole_3 = \frac{0,1591549430 I}{C2(R14+R15)}$$

$$F_Pole_4 = 159154,9430I / (C3(0,1107R5 + 1667R5R16 + 0,1107R16 + 0,1107R6))$$

Вводим номиналы элементов:

```
> Values (AC,RLCVI, [ ] );
C3:=17e-12: [17p]
R5:=100.37e6: [100.37MEG]
R15:=750: [750]
R16:=2.388e3: [2.388k]
C2:=151.58e-12: [151.58p]
R1:=1e3: [1k]
L2:=7.958e-3: [7.958m]
R6:=1e3: [1K]
```

```
R12:=1e3: [1k]
C4:=2.3868e-12: [2.3868p]
R14:=1e3: [1k]
R3:=5.651e3: [5.651K]
R4:=5.651e3: [5.651K]
R0:=1e3: [1K]
```

```
C5:=11.967e-12: [11.967p]
DC источник: V102:=-750e-6: AC:
V102:=0:
DC источник: V101:=7.5: AC:
V101:=0:
AC источник: V104:=0: AC:
```

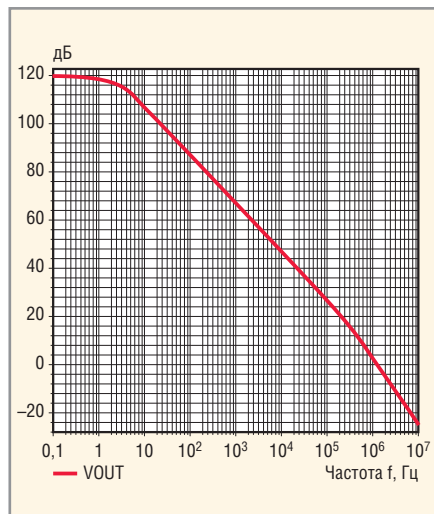


Рис. 2. АЧХ передаточной функции

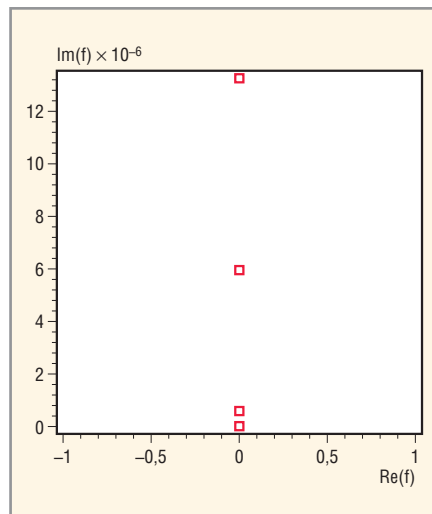


Рис. 3. Карта полюсов

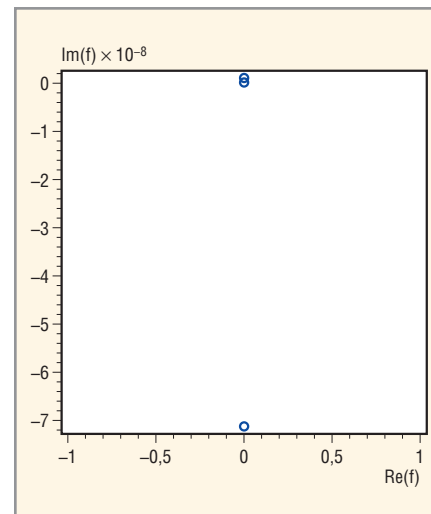


Рис. 4. Карта нулей

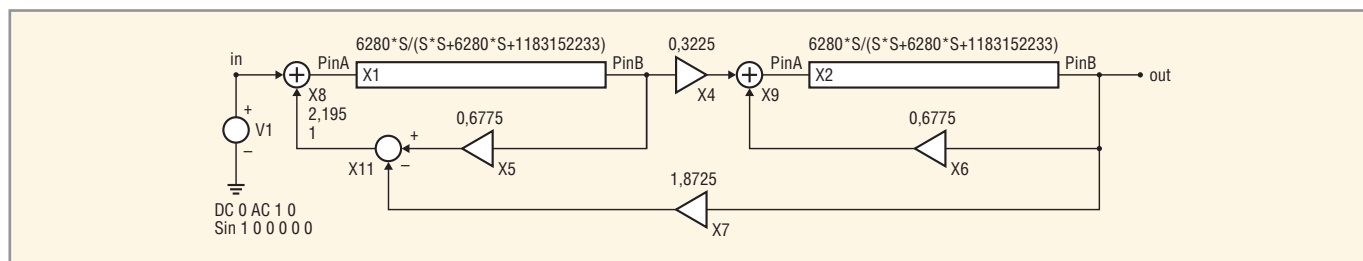


Рис. 5. Функциональная схема полосового фильтра

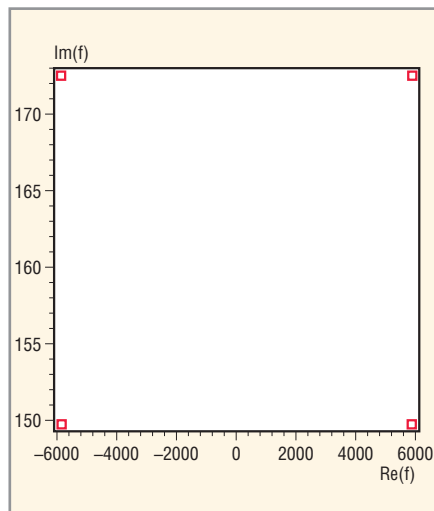


Рис. 6. Карта полюсов H(f)

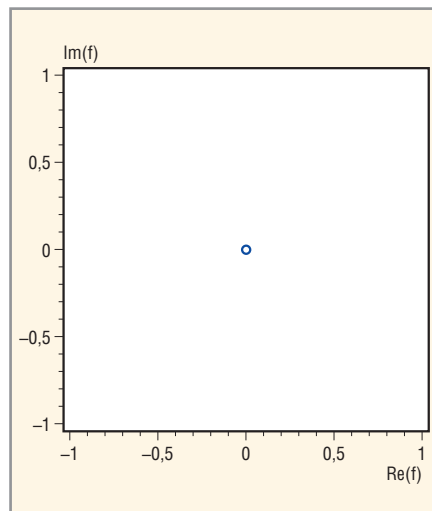


Рис. 7. Карта нулей H(f)

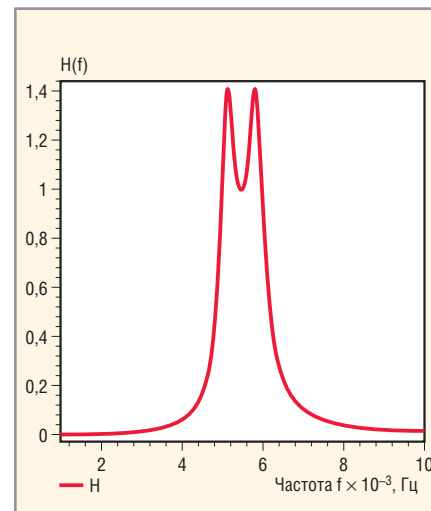


Рис. 8. АЧХ фильтра [H]

```
V104:=1: Pphase(degrees):=0:
DC источник: I1:=17e-6: AC:
I1:=0:
DC источник: V100:=7.5: AC:
V100:=0:
```

Теперь получим выражение для передаточной функции и значения нулей и полюсов в численном виде:

```
> H:=H; PoleZero(H, f):
```

```
> HSF([H], f=0.1..1e7, "Рис. 2 semi [H] dB ");
> PlotPZ(H, f, "3");
```

$$V_{OUT} := \frac{1,010^{-38} (-1,2910^{13} s - 9,9610^{19} - 1,7910^{35} s^2 + 4,0810^{25} s^3)}{(8,6110^{-23} s^3 + 1,0710^{-14} s^2 + 3,0510^{-7} s + 1)(69500s + 1,010^6)}$$

- $F_{Zero_1} = 9,906538455 \times 10^6 I,$
- $F_{Zero_2} = 1,400066200 \times 10^6 I,$
- $F_{Zero_3} = -7,095599087 \times 10^8 I,$
- $F_{Pole_1} = 5,983496802 \times 10^5 I,$
- $F_{Pole_2} = 1,329423664 \times 10^7 I,$
- $F_{Pole_3} = 2,2899991811,$

$$F_{Pole_4} = 5,886250964 \times 10^6 I.$$

Построим АЧХ передаточной функции (рис. 2), карту полюсов (рис. 3) и нулей (рис. 4), для чего вводим:

РАСЧЁТ ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА В MICROCAP

Рассмотрим типовую задачу синтеза фильтра (рис. 5). Лёгкость, с которой можно оперировать блоками схемы, формулами и графиками, способствует созданию самых сложных фильтров. Во главу угла теперь ставится понимание как универсальный ключ для любых задач. Грандиозная экономия времени на расчётных работах позволяет с головой погрузиться в изучение

фундаментальных проблем выбранной темы, что наверняка приведёт к синергетическим эффектам.

Составим и решим систему уравнений Кирхгофа:

```
> restart: with(MSpice):
ESolve(Q, `L1.СКТ`);
```

$$\begin{aligned} V_{10} &= V_6 - V_8, \\ V_5 &= 0,322V_2, \\ V_6 &= 0,6775V_2, \\ V_7 &= 0,6775V_{out}, \\ V_8 &= 1,8726V_{out}, \\ V_3 &= V_5 + V_7, \\ V_1 &= 2,195V_1_PULSE + V_{10}, \\ V_2 &= \frac{6280V_1s}{s^2 + 6280s + 1183152233}, \\ V_{out} &= \frac{6280V_3s}{s^2 + 6280s + 1183152233}, \end{aligned}$$

{V3, Vout, V1, V5, V2, V6, V7, V8, V10}.

MSpice v8.52:

http://pspicelib.narod.ru

Заданы источники: [V1_PULSE]

Заданы узлы: {Vin}

Получены решения:

V_NET:= [V10, V1, Vout, V3, V5, V2, V6, V7, V8];

J_NET:= [JV1_SIN];

Найдём операторную передаточную функцию в ноль-полосном виде:

H:=converth(Vout/Vin,s,FPP);

$$H := \frac{2,791810^7 s^2}{(s+1084,3-36909I)(s+940,96-32028I)(s+940,96+32028I)(s+1084,3+36909I)}$$

Найдём частотную передаточную функцию в ноль-полосном виде:

> K:=converth(converth(H,f),f,FPP);

$$K := \frac{-70723 f^2}{(f-5874-172,5I)(f-5097-150I)(f+5097-150I)(f+5874+172,5I)}$$

Построим карту частотных полюсов (рис. 6) и частотных нулей (рис. 7).

В заключение построим АЧХ передаточной функции (рис. 8), для чего вводим:

> PlotPZ(H,f,"6) H(f)");

> HSF([H],f=1e3..10e3,"Рис. 8. АЧХ фильтра, [H].");



Новости мира News of the World Новости мира

Начал работу завод Sharp по производству солнечных элементов

В начале недели компания Sharp запустила производство тонкоплёночных солнечных элементов на новом заводе, построенном в производственном комплексе Sharp Green Front Sakai.



Завод будет выпускать тонкоплёночные солнечные элементы со стеклянной подложкой размером 1000 × 1400 мм. Благодаря применению тонкоплёночных кремниевых слоёв, располагающихся на стеклянной подложке, расход кремния в выпускаемых панелях снижается в 100 раз по сравнению с традиционными солнечными панелями из кристаллического кремния. К тому же производство по новой технологии проще, что также положительно скажется на себестоимости производства.

Как отмечают аналитики, тонкоплёночные солнечные элементы пользуются устойчивым, постоянно растущим спросом по всему миру, в особенности для применения в крупных фотоэлектрических энергетических системах.

В пресс-релизе компании сказано, что новый завод должен стать эталоном для будущих заводов компании, которые будут строиться в разных регионах мира. Первоначально комплекс в Сакае ежегодно будет выпускать солнечные элементы общей мощностью 160 МВт.

Sharp

Планы Intel относительно литографии для 22-нм чипов

Аналитик компании Arete Research LLC Джагадиш Айер (Jagadish Iyer) раскрыл некоторые подробности, касающиеся планов Intel относительно литографии для 22-нм техпроцесса. По данным отраслевых источников, процессорный гигант уже определился с поставщиками литографических решений для своих 22-нм чипов – ими, вероятно, станут ASML и Nikon. Компания Intel воспользуется их технологиями иммерсионной литографии.

Интересно отметить, что Intel для 32-нм процессоров единственным поставщиком оборудования избрала компанию Nikon. При переходе на 32-нм техпроцесс Intel впервые задействовала иммерсионную литографию. Для производства 45-нм чипов использовалось оборудование Nikon и ASML. При переходе на 22-нм проектные нормы Intel продолжит использовать 193-нм иммерсионную литографию и теперь уже опять будет сотрудничать с двумя поставщиками.

По прогнозам аналитиков, к концу текущего года Intel выпустит всего около пяти тысяч пластин с 22-нм микросхемами. Это связано

с медленным принятием решений по закупке литографического оборудования. Высокие объёмы 22-нм производства ожидаются в 2011 и 2012 гг., когда оно будет запущено на четырёх заводах Intel (на каждый из них придётся около 45 тыс. пластин в месяц).

Как ожидается, ASML отгрузит для Intel 18 комплектов оборудования NXT 1950i. В свою очередь, Nikon поставит 25 комплектов NSR-S620D. В настоящее время на заводе Intel установлено три станка ASML NXT. Ещё два-три комплекта будет закуплено в ближайшие шесть месяцев.

Nikon NSR-S620D имеет несколько улучшений по сравнению с первой версией S620. Числовая апертура объектива составляет 1,35 вместо 1,30. Кроме того, модель NSR-S620D спроектирована на новой платформе Streamalign, а её производительность составляет 200 пластин/ч. Оборудование ASML TwinScan NXT 1950i предназначено для массового выпуска 300-мм пластин с микросхемами класса «32 нм и ниже». Числовая апертура NXT 1950i также составляет 1,35. По данным Джагадиша Айера, цена одного комплекта иммерсионного оборудования ASML составляет почти \$55 млн., а один аппарат Nikon стоит около \$30 млн.

Согласно отраслевым слухам, Intel планирует использовать 193-нм иммерсионную литографию также и при переходе на 11-нм проектные нормы. Так что приход EUV-литографии вновь откладывается на неопределённый срок.

EE Times