**Санкт-Петербургский государственный**

 **электротехнический университет**

 **Кафедра САПР**

Пояснительная записка

 **Курсовая работа**

на тему:

 **Проектирование активных**

 **RC-фильтров**

 **Преподаватель Хорьков Г. И.**

 **Студент гр. 5361 Трухин С. Н.**

**-1997-**

 **Введение**

 Активные RC-фильтры относятся к широко распространенному классу частотно избирательных цепей и , наряду с построенными на основе их использования генераторами синусоидальных колебаний , находят применение в системах передачи информации , автоматического управления и регулирования , технике измерения и различного рода функциональных преобразователях . Активные RC-фильтры (АФ) содержат пассивные избирательные RC-цепи и активные устройства (усилители , гираторы , конверторы отрицательного сопротивления) , при помощи которых получают требуемую добротность звеньев второго порядка .

 Основной задачей при проектировании АФ является получение заданной формы амплитудно-частотной характеристики .

 Цель курсового проекта состоит в практическом ознакомлении с основами синтеза активных RC-фильтров и генераторов синусоидальных сигналов , способами ручного и машинного анализа характеристик разработанного устройства .

  **Проектирование активных RC-фильтров**

  **Аппроксимация**

 Под электрическим фильтром понимается четырехполюсник , модуль передаточной функции которого остается практически постоянным в определенной области частот , называемой полосой пропускания , и достаточно резко падает с удалением от границ этой области . Границы области пропускания именуются граничными частотами . Область частот с достаточно большим подавлением амплитуды сигнала называется полосой заграждения . Между полосами пропускания и заграждения находится переходная область .

 Синтез частотно-избирательных цепей связан с решением двух задач **:**

—задачи образования функции , так называемой аппроксимации функции , по исходным данным ;

—задачи реализации найденной аппроксимирующей функции электрической цепью .

 В данной работе проектируется фильтр нижних частот (ФНЧ) и используется аппроксимация по Чебышеву .

 Исходными данными для проектирования фильтра на этапе аппроксимации обычно

 являются :

 d - определяет неравномерность коэффициента передачи фильтра в

 полосе пропускания;

ω1,ω2 - определяют ширину промежуточной зоны между полосой

 задерживания и полосой пропускания ;

⎢H(jω2) ⎢ - модуль коэффициента передачи фильтра на границе полосы

 задерживания .

 Техническое задание к курсовому проектированию

Вид аппроксимации - аппроксимация по Чебышеву

Входной сигнал - в цифровой форме

d<0.15

⎢H(jw2)⎪ <0.08

F1=0.50 kHz

F2=0.75 kHz

U*вх.макс* = 2.0 В

Uвых.макс = 12 В

D = 65 дБ

Rн = 10 кОм

Rг = 2 кОм

Температурный диапазон +5...+35 °C

 **Аппроксимация по Чебышеву.**

При аппроксимации по Чебышеву используется следующее выражение для H(jwн) :

где Un(wн) = cos (n arcos wн) — полином Чебышева .

Нахождение порядка полинома *n* при аппроксимации по Чебышеву производится следующим образом .

На границе полосы пропускания полагаем wн1 = 1, отсюда





 Т. к. H(jwн2) << 1 , то

Т. о. порядок *n* полинома находится из следующего выражения :

Т. к. wн2 = 1.46 ( f1 = 0.5 кГц , f2 = 0.73 кГц ) , то

Примем *n* = 3

Полюса передаточной функции H(pн) при аппроксимации по Чебышеву имеют вид





p1,2 = -0.235±j0.937

p3 = -0.470

Расположение корней на элипсе

Данные значения получены для pн

Аппроксимирующая функция имеет вид

 Расчет АЧХ и ФЧХ



**Графики амплитудно- и фазо- частотных характеристик передаточных функций первого и второго звеньев .**

**АЧХ первого звена**

**ФЧХ первого звена**

**АЧХ второго звена**

**ФЧХ второго звена**

**АЧХ двух звеньев в целом**

ФЧХ двух звеньев в целом

**Расчет схемы в системе Pspice .**

Графики АЧХ и ФЧХ для 1го звена

Графики АЧХ и ФЧХ для 2го звена .

Графики АЧХ , ФЧХ и статическая характеристика для системы в целом .

Расчет чувствительности схемы на наихудший случай .

Расчет чувствительности схемы при максимальном разбросе значений резисторов :

Амплитудно - частотная характеристика

Фазо - частотная характеристика

Расчет чувствительности схемы при максимальном разбросе значений конденсаторов :

Амплитудно - частотная характеристика

Фазо - частотная характеристика

Расчет чувствительности схемы при максимальном разбросе значений резисторов и конденсаторов .

Амплитудно - частотная характеристика

Фазо - частотная характеристика

Расчет динамического диапазона схемы

Выражение для расчета динамического диапазона :

D= 20 \* log (Uвых.макс / Uвых.0)

Uвых.макс = 12 В

Uвых0 возьмем из графика статической характеристики .

Uвых0 = 8\*(10^-6)

Полученное значение динамического диапазона :

D=123

На вход схемы ставится Цифро-аналоговый преобразователь (двенадцатиразрядный

ЦАП К572ПА2А ), так как в техническом задании указано условие цифровой формы входного сигнала .

Для согласования напряжения на выходе ЦАП и входе фильтра на выход ЦАП ставится ОУ с резистором в цепи обратной связи .

R=Uвх.фильтра / I вых.цап = 1/(0.0008)=1.25 Ком

**Схема фильтра**







|  |
| --- |
| Обозначение Наименование Количество РезисторыR1 МЛТ - 0.125 - 10к±5% 1R2 МЛТ - 0.125 - 87к±5% 1R3,R8,R9 МЛТ - 0.125 - 1к±5% 3R4 МЛТ - 0.125 - 1.3к±5% 1R5 МЛТ - 0.125 - 5к±5% 1R6 МЛТ - 0.125 -7к±5% 1  Конденсаторы С1 К10-50-75n-25В±10% 1  С2 К10-50-1.6n-25В±10% 1 С3 К10-50-100n-25В±10% 1  Операционные усилителиU1,...U3 LF 411 3  |

Выходной файл данных Pspice

\*\*\*\* 12/14/97 08:52:23 \*\*\*\*\*\*\*\*\* PSpice 5.1 (Jan 1992) \*\*\*\*\*\*\*\* ID# 62539 \*\*\*\*

 \* C:\PS-PICE\kurs\_pro.sch

 \*\*\*\* CIRCUIT DESCRIPTION

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

\* Schematics Version 5.1 - January 1992

\* Sun Dec 14 06:00:06 1997

\* From [SCHEMATICS NETLIST] section of msim.ini:

.lib

.INC "C:\PS-PICE\kurs\_pro.net"

\*\*\*\* INCLUDING C:\PS-PICE\kurs\_pro.net \*\*\*\*

\* Schematics Netlist \*

R\_R1 $N\_0003 $N\_0002 r 10k

R\_R2 $N\_0002 $N\_0004 r 87k

R\_R3 0 $N\_0005 r 1k

C\_C1 $N\_0002 $N\_0005 c 75n

C\_C2 0 $N\_0004 c 1.6n

R\_R4 $N\_0005 $N\_0007 r 1.3k

R\_R5 0 $N\_0008 r 6k

v\_V4 0 $N\_0009 dc 15

v\_V5 $N\_0010 0 dc 15

v\_V1 $N\_0011 0 dc 1 ac 1

v\_V2 $N\_0012 0 dc 15

v\_V3 0 $N\_0013 dc 15

C\_C3 0 $N\_0014 c 100n

R\_R6 $N\_0011 $N\_0014 r 7k

X\_U29 $N\_0014 $N\_0003 $N\_0012 $N\_0013 $N\_0003 LF411

X\_U42 $N\_0004 $N\_0005 $N\_0010 $N\_0009 $N\_0007 LF412

X\_U43 $N\_0008 out $N\_0017 $N\_0018 out LF411

v\_V7 0 $N\_0018 dc 15

v\_V8 $N\_0017 0 dc 15

R\_R8 0 out r 1k

R\_R9 $N\_0007 $N\_0008 r 1k

.model r res(r=1 dev=5%)

.model c cap(c=1 dev=10%)

.wcase ac V([out]) Ymax

\*\*\*\* RESUMING kurs\_pro.cir \*\*\*\*

.INC "C:\PS-PICE\kurs\_pro.als"

\*\*\*\* INCLUDING C:\PS-PICE\kurs\_pro.als \*\*\*\*

\* Schematics Aliases \*

.ALIASES

R\_R1 R1(1=$N\_0003 2=$N\_0002 )

R\_R2 R2(1=$N\_0002 2=$N\_0004 )

R\_R3 R3(1=0 2=$N\_0005 )

C\_C1 C1(1=$N\_0002 2=$N\_0005 )

C\_C2 C2(1=0 2=$N\_0004 )

R\_R4 R4(1=$N\_0005 2=$N\_0007 )

R\_R5 R5(1=0 2=$N\_0008 )

v\_V4 V4(+=0 -=$N\_0009 )

v\_V5 V5(+=$N\_0010 -=0 )

v\_V1 V1(+=$N\_0011 -=0 )

v\_V2 V2(+=$N\_0012 -=0 )

v\_V3 V3(+=0 -=$N\_0013 )

C\_C3 C3(1=0 2=$N\_0014 )

R\_R6 R6(1=$N\_0011 2=$N\_0014 )

X\_U29 U29(+=$N\_0014 -=$N\_0003 V+=$N\_0012 V-=$N\_0013 5=$N\_0003 )

X\_U42 U42(+=$N\_0004 -=$N\_0005 V+=$N\_0010 V-=$N\_0009 5=$N\_0007 )

X\_U43 U43(+=$N\_0008 -=out V+=$N\_0017 V-=$N\_0018 5=out )

v\_V7 V7(+=0 -=$N\_0018 )

v\_V8 V8(+=$N\_0017 -=0 )

R\_R8 R8(1=0 2=out )

R\_R9 R9(1=$N\_0007 2=$N\_0008 )

\_ \_(out=out)

.ENDALIASES

\*\*\*\* RESUMING kurs\_pro.cir \*\*\*\*

\*\* Analysis setup \*\*

.ac LIN 1000 1 1K

.DC LIN v\_V1 -10v 10v 1v

.END

\*\*\*\* 12/14/97 08:52:23 \*\*\*\*\*\*\*\*\* PSpice 5.1 (Jan 1992) \*\*\*\*\*\*\*\* ID# 62539 \*\*\*\*

 \* C:\PS-PICE\kurs\_pro.sch

 \*\*\*\* Diode MODEL PARAMETERS

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

 X\_U29.dx X\_U43.dx

 IS 800.000000E-18 800.000000E-18

 RS 1 1

 X\_U42.x\_lf412.dx

 IS 800.000000E-18

 RS 1

\*\*\*\* 12/14/97 08:52:23 \*\*\*\*\*\*\*\*\* PSpice 5.1 (Jan 1992) \*\*\*\*\*\*\*\* ID# 62539 \*\*\*\*

 \* C:\PS-PICE\kurs\_pro.sch

 \*\*\*\* Junction FET MODEL PARAMETERS

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

 X\_U29.jx X\_U43.jx

 NJF NJF

 VTO -1 -1

 BETA 743.300000E-06 743.300000E-06

 IS 12.500000E-12 12.500000E-12

 X\_U42.x\_lf412.jx

 NJF

 VTO -1

 BETA 743.300000E-06

 IS 12.500000E-12

\*\*\*\* 12/14/97 08:52:23 \*\*\*\*\*\*\*\*\* PSpice 5.1 (Jan 1992) \*\*\*\*\*\*\*\* ID# 62539 \*\*\*\*

 \* C:\PS-PICE\kurs\_pro.sch

 \*\*\*\* Resistor MODEL PARAMETERS

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

 r

 R 1

\*\*\*\* 12/14/97 08:52:23 \*\*\*\*\*\*\*\*\* PSpice 5.1 (Jan 1992) \*\*\*\*\*\*\*\* ID# 62539 \*\*\*\*

 \* C:\PS-PICE\kurs\_pro.sch

 \*\*\*\* Capacitor MODEL PARAMETERS

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

 c

 C 1

\*\*\*\* 12/14/97 08:52:23 \*\*\*\*\*\*\*\*\* PSpice 5.1 (Jan 1992) \*\*\*\*\*\*\*\* ID# 62539 \*\*\*\*

 \* C:\PS-PICE\kurs\_pro.sch

 \*\*\*\* SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

 SENSITIVITY NOMINAL

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

 NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE

( out) 1.9714 ($N\_0002) 1.0000 ($N\_0003) 1.0000

($N\_0004) 1.0000 ($N\_0005) 1.0000

($N\_0007) 2.3000 ($N\_0008) 1.9714

($N\_0009) -15.0000 ($N\_0010) 15.0000

($N\_0011) 1.0000 ($N\_0012) 15.0000

($N\_0013) -15.0000 ($N\_0014) 1.0000

($N\_0017) 15.0000 ($N\_0018) -15.0000

(X\_U29.6)-125.9E-06 (X\_U29.7) 1.0000

(X\_U29.8) 1.0000 (X\_U29.9) 0.0000

(X\_U43.6)-267.1E-06 (X\_U43.7) 2.0699

(X\_U43.8) 2.0699 (X\_U43.9) 0.0000

(X\_U29.10) 1.6604 (X\_U29.11) 14.6590

(X\_U29.12) 14.6590 (X\_U29.53) 13.5000

(X\_U29.54) -13.5000 (X\_U29.90)-76.64E-09

(X\_U29.91) 25.0000 (X\_U29.92) -25.0000

(X\_U29.99) 0.0000 (X\_U43.10) 2.6310

(X\_U43.11) 14.6570 (X\_U43.12) 14.6570

(X\_U43.53) 13.5000 (X\_U43.54) -13.5000

(X\_U43.90) 1.9714 (X\_U43.91) 25.0000

(X\_U43.92) -25.0000 (X\_U43.99) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.6)-302.2E-06 (X\_U42.x\_lf412.7) 2.3664

(X\_U42.x\_lf412.8) 2.3664 (X\_U42.x\_lf412.9) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.10) 1.6604 (X\_U42.x\_lf412.11) 14.6590

(X\_U42.x\_lf412.12) 14.6590 (X\_U42.x\_lf412.53) 13.5000

(X\_U42.x\_lf412.54) -13.5000 (X\_U42.x\_lf412.90) 1.3285

(X\_U42.x\_lf412.91) 25.0000 (X\_U42.x\_lf412.92) -25.0000

(X\_U42.x\_lf412.99) 0.0000

 VOLTAGE SOURCE CURRENTS

 NAME CURRENT

 v\_V4 -2.170E-03

 v\_V5 -2.171E-03

 v\_V1 3.932E-11

 v\_V2 -2.171E-03

 v\_V3 -2.170E-03

 v\_V7 -2.170E-03

 v\_V8 -2.172E-03

 X\_U29.vb -1.259E-09

 X\_U29.vc 1.250E-11

 X\_U29.ve 1.450E-11

 X\_U29.vlim -7.664E-11

 X\_U29.vlp -2.500E-11

 X\_U29.vln -2.500E-11

 X\_U43.vb -2.671E-09

 X\_U43.vc 1.153E-11

 X\_U43.ve 1.547E-11

 X\_U43.vlim 1.971E-03

 X\_U43.vlp -2.303E-11

 X\_U43.vln -2.697E-11

 X\_U42.x\_lf412.vb -3.022E-09

 X\_U42.x\_lf412.vc 1.120E-11

 X\_U42.x\_lf412.ve 1.580E-11

 X\_U42.x\_lf412.vlim 1.329E-03

 X\_U42.x\_lf412.vlp -2.367E-11

 X\_U42.x\_lf412.vln -2.633E-11

 TOTAL POWER DISSIPATION 1.95E-01 WATTS

 NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE

( out) 1.9714 ($N\_0002) 1.0000 ($N\_0003) 1.0000

($N\_0004) 1.0000 ($N\_0005) 1.0000

($N\_0007) 2.3000 ($N\_0008) 1.9714

($N\_0009) -15.0000 ($N\_0010) 15.0000

($N\_0011) 1.0000 ($N\_0012) 15.0000

($N\_0013) -15.0000 ($N\_0014) 1.0000

($N\_0017) 15.0000 ($N\_0018) -15.0000

(X\_U29.6)-125.9E-06 (X\_U29.7) 1.0000

(X\_U29.8) 1.0000 (X\_U29.9) 0.0000

(X\_U43.6)-267.1E-06 (X\_U43.7) 2.0699

(X\_U43.8) 2.0699 (X\_U43.9) 0.0000

(X\_U29.10) 1.6604 (X\_U29.11) 14.6590

(X\_U29.12) 14.6590 (X\_U29.53) 13.5000

(X\_U29.54) -13.5000 (X\_U29.90)-76.64E-09

(X\_U29.91) 25.0000 (X\_U29.92) -25.0000

(X\_U29.99) 0.0000 (X\_U43.10) 2.6310

(X\_U43.11) 14.6570 (X\_U43.12) 14.6570

(X\_U43.53) 13.5000 (X\_U43.54) -13.5000

(X\_U43.90) 1.9714 (X\_U43.91) 25.0000

(X\_U43.92) -25.0000 (X\_U43.99) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.6)-302.2E-06 (X\_U42.x\_lf412.7) 2.3664

(X\_U42.x\_lf412.8) 2.3664 (X\_U42.x\_lf412.9) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.10) 1.6604 (X\_U42.x\_lf412.11) 14.6590

(X\_U42.x\_lf412.12) 14.6590 (X\_U42.x\_lf412.53) 13.5000

(X\_U42.x\_lf412.54) -13.5000 (X\_U42.x\_lf412.90) 1.3285

(X\_U42.x\_lf412.91) 25.0000 (X\_U42.x\_lf412.92) -25.0000

(X\_U42.x\_lf412.99) 0.0000

 VOLTAGE SOURCE CURRENTS

 NAME CURRENT

 v\_V4 -2.170E-03

 v\_V5 -2.171E-03

 v\_V1 3.932E-11

 v\_V2 -2.171E-03

 v\_V3 -2.170E-03

 v\_V7 -2.170E-03

 v\_V8 -2.172E-03

 X\_U29.vb -1.259E-09

 X\_U29.vc 1.250E-11

 X\_U29.ve 1.450E-11

 X\_U29.vlim -7.664E-11

 X\_U29.vlp -2.500E-11

 X\_U29.vln -2.500E-11

 X\_U43.vb -2.671E-09

 X\_U43.vc 1.153E-11

 X\_U43.ve 1.547E-11

 X\_U43.vlim 1.971E-03

 X\_U43.vlp -2.303E-11

 X\_U43.vln -2.697E-11

 X\_U42.x\_lf412.vb -3.022E-09

 X\_U42.x\_lf412.vc 1.120E-11

 X\_U42.x\_lf412.ve 1.580E-11

 X\_U42.x\_lf412.vlim 1.329E-03

 X\_U42.x\_lf412.vlp -2.367E-11

 X\_U42.x\_lf412.vln -2.633E-11

 TOTAL POWER DISSIPATION 1.95E-01 WATTS

 NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE

( out) 1.9714 ($N\_0002) 1.0000 ($N\_0003) 1.0000

($N\_0004) 1.0000 ($N\_0005) 1.0000

($N\_0007) 2.3000 ($N\_0008) 1.9714

($N\_0009) -15.0000 ($N\_0010) 15.0000

($N\_0011) 1.0000 ($N\_0012) 15.0000

($N\_0013) -15.0000 ($N\_0014) 1.0000

($N\_0017) 15.0000 ($N\_0018) -15.0000

(X\_U29.6)-125.9E-06 (X\_U29.7) 1.0000

(X\_U29.8) 1.0000 (X\_U29.9) 0.0000

(X\_U43.6)-267.1E-06 (X\_U43.7) 2.0699

(X\_U43.8) 2.0699 (X\_U43.9) 0.0000

(X\_U29.10) 1.6604 (X\_U29.11) 14.6590

(X\_U29.12) 14.6590 (X\_U29.53) 13.5000

(X\_U29.54) -13.5000 (X\_U29.90)-76.64E-09

(X\_U29.91) 25.0000 (X\_U29.92) -25.0000

(X\_U29.99) 0.0000 (X\_U43.10) 2.6310

(X\_U43.11) 14.6570 (X\_U43.12) 14.6570

(X\_U43.53) 13.5000 (X\_U43.54) -13.5000

(X\_U43.90) 1.9714 (X\_U43.91) 25.0000

(X\_U43.92) -25.0000 (X\_U43.99) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.6)-302.2E-06 (X\_U42.x\_lf412.7) 2.3664

(X\_U42.x\_lf412.8) 2.3664 (X\_U42.x\_lf412.9) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.10) 1.6604 (X\_U42.x\_lf412.11) 14.6590

(X\_U42.x\_lf412.12) 14.6590 (X\_U42.x\_lf412.53) 13.5000

(X\_U42.x\_lf412.54) -13.5000 (X\_U42.x\_lf412.90) 1.3285

(X\_U42.x\_lf412.91) 25.0000 (X\_U42.x\_lf412.92) -25.0000

(X\_U42.x\_lf412.99) 0.0000

 VOLTAGE SOURCE CURRENTS

 NAME CURRENT

 v\_V4 -2.170E-03

 v\_V5 -2.171E-03

 v\_V1 3.932E-11

 v\_V2 -2.171E-03

 v\_V3 -2.170E-03

 v\_V7 -2.170E-03

 v\_V8 -2.172E-03

 X\_U29.vb -1.259E-09

 X\_U29.vc 1.250E-11

 X\_U29.ve 1.450E-11

 X\_U29.vlim -7.664E-11

 X\_U29.vlp -2.500E-11

 X\_U29.vln -2.500E-11

 X\_U43.vb -2.671E-09

 X\_U43.vc 1.153E-11

 X\_U43.ve 1.547E-11

 X\_U43.vlim 1.971E-03

 X\_U43.vlp -2.303E-11

 X\_U43.vln -2.697E-11

 X\_U42.x\_lf412.vb -3.022E-09

 X\_U42.x\_lf412.vc 1.120E-11

 X\_U42.x\_lf412.ve 1.580E-11

 X\_U42.x\_lf412.vlim 1.329E-03

 X\_U42.x\_lf412.vlp -2.367E-11

 X\_U42.x\_lf412.vln -2.633E-11

 TOTAL POWER DISSIPATION 1.95E-01 WATTS

 NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE

( out) 1.9714 ($N\_0002) 1.0000 ($N\_0003) 1.0000

($N\_0004) 1.0000 ($N\_0005) 1.0000

($N\_0007) 2.3000 ($N\_0008) 1.9714

($N\_0009) -15.0000 ($N\_0010) 15.0000

($N\_0011) 1.0000 ($N\_0012) 15.0000

($N\_0013) -15.0000 ($N\_0014) 1.0000

($N\_0017) 15.0000 ($N\_0018) -15.0000

(X\_U29.6)-125.9E-06 (X\_U29.7) 1.0000

(X\_U29.8) 1.0000 (X\_U29.9) 0.0000

(X\_U43.6)-267.1E-06 (X\_U43.7) 2.0699

(X\_U43.8) 2.0699 (X\_U43.9) 0.0000

(X\_U29.10) 1.6604 (X\_U29.11) 14.6590

(X\_U29.12) 14.6590 (X\_U29.53) 13.5000

(X\_U29.54) -13.5000 (X\_U29.90)-76.64E-09

(X\_U29.91) 25.0000 (X\_U29.92) -25.0000

(X\_U29.99) 0.0000 (X\_U43.10) 2.6310

(X\_U43.11) 14.6570 (X\_U43.12) 14.6570

(X\_U43.53) 13.5000 (X\_U43.54) -13.5000

(X\_U43.90) 1.9714 (X\_U43.91) 25.0000

(X\_U43.92) -25.0000 (X\_U43.99) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.6)-302.2E-06 (X\_U42.x\_lf412.7) 2.3664

(X\_U42.x\_lf412.8) 2.3664 (X\_U42.x\_lf412.9) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.10) 1.6604 (X\_U42.x\_lf412.11) 14.6590

(X\_U42.x\_lf412.12) 14.6590 (X\_U42.x\_lf412.53) 13.5000

(X\_U42.x\_lf412.54) -13.5000 (X\_U42.x\_lf412.90) 1.3285

(X\_U42.x\_lf412.91) 25.0000 (X\_U42.x\_lf412.92) -25.0000

(X\_U42.x\_lf412.99) 0.0000

 VOLTAGE SOURCE CURRENTS

 NAME CURRENT

 v\_V4 -2.170E-03

 v\_V5 -2.171E-03

 v\_V1 3.932E-11

 v\_V2 -2.171E-03

 v\_V3 -2.170E-03

 v\_V7 -2.170E-03

 v\_V8 -2.172E-03

 X\_U29.vb -1.259E-09

 X\_U29.vc 1.250E-11

 X\_U29.ve 1.450E-11

 X\_U29.vlim -7.664E-11

 X\_U29.vlp -2.500E-11

 X\_U29.vln -2.500E-11

 X\_U43.vb -2.671E-09

 X\_U43.vc 1.153E-11

 X\_U43.ve 1.547E-11

 X\_U43.vlim 1.971E-03

 X\_U43.vlp -2.303E-11

 X\_U43.vln -2.697E-11

 X\_U42.x\_lf412.vb -3.022E-09

 X\_U42.x\_lf412.vc 1.120E-11

 X\_U42.x\_lf412.ve 1.580E-11

 X\_U42.x\_lf412.vlim 1.329E-03

 X\_U42.x\_lf412.vlp -2.367E-11

 X\_U42.x\_lf412.vln -2.633E-11

 TOTAL POWER DISSIPATION 1.95E-01 WATTS

 NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE

( out) 1.9714 ($N\_0002) 1.0000 ($N\_0003) 1.0000

($N\_0004) 1.0000 ($N\_0005) 1.0000

($N\_0007) 2.3000 ($N\_0008) 1.9714

($N\_0009) -15.0000 ($N\_0010) 15.0000

($N\_0011) 1.0000 ($N\_0012) 15.0000

($N\_0013) -15.0000 ($N\_0014) 1.0000

($N\_0017) 15.0000 ($N\_0018) -15.0000

(X\_U29.6)-125.9E-06 (X\_U29.7) 1.0000

(X\_U29.8) 1.0000 (X\_U29.9) 0.0000

(X\_U43.6)-267.1E-06 (X\_U43.7) 2.0699

(X\_U43.8) 2.0699 (X\_U43.9) 0.0000

(X\_U29.10) 1.6604 (X\_U29.11) 14.6590

(X\_U29.12) 14.6590 (X\_U29.53) 13.5000

(X\_U29.54) -13.5000 (X\_U29.90)-76.64E-09

(X\_U29.91) 25.0000 (X\_U29.92) -25.0000

(X\_U29.99) 0.0000 (X\_U43.10) 2.6310

(X\_U43.11) 14.6570 (X\_U43.12) 14.6570

(X\_U43.53) 13.5000 (X\_U43.54) -13.5000

(X\_U43.90) 1.9714 (X\_U43.91) 25.0000

(X\_U43.92) -25.0000 (X\_U43.99) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.6)-302.2E-06 (X\_U42.x\_lf412.7) 2.3664

(X\_U42.x\_lf412.8) 2.3664 (X\_U42.x\_lf412.9) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.10) 1.6604 (X\_U42.x\_lf412.11) 14.6590

(X\_U42.x\_lf412.12) 14.6590 (X\_U42.x\_lf412.53) 13.5000

(X\_U42.x\_lf412.54) -13.5000 (X\_U42.x\_lf412.90) 1.3285

(X\_U42.x\_lf412.91) 25.0000 (X\_U42.x\_lf412.92) -25.0000

(X\_U42.x\_lf412.99) 0.0000

 VOLTAGE SOURCE CURRENTS

 NAME CURRENT

 v\_V4 -2.170E-03

 v\_V5 -2.171E-03

 v\_V1 3.932E-11

 v\_V2 -2.171E-03

 v\_V3 -2.170E-03

 v\_V7 -2.170E-03

 v\_V8 -2.172E-03

 X\_U29.vb -1.259E-09

 X\_U29.vc 1.250E-11

 X\_U29.ve 1.450E-11

 X\_U29.vlim -7.664E-11

 X\_U29.vlp -2.500E-11

 X\_U29.vln -2.500E-11

 X\_U43.vb -2.671E-09

 X\_U43.vc 1.153E-11

 X\_U43.ve 1.547E-11

 X\_U43.vlim 1.971E-03

 X\_U43.vlp -2.303E-11

 X\_U43.vln -2.697E-11

 X\_U42.x\_lf412.vb -3.022E-09

 X\_U42.x\_lf412.vc 1.120E-11

 X\_U42.x\_lf412.ve 1.580E-11

 X\_U42.x\_lf412.vlim 1.329E-03

 X\_U42.x\_lf412.vlp -2.367E-11

 X\_U42.x\_lf412.vln -2.633E-11

 TOTAL POWER DISSIPATION 1.95E-01 WATTS

 NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE

( out) 1.9714 ($N\_0002) 1.0000 ($N\_0003) 1.0000

($N\_0004) 1.0000 ($N\_0005) 1.0000

($N\_0007) 2.3000 ($N\_0008) 1.9714

($N\_0009) -15.0000 ($N\_0010) 15.0000

($N\_0011) 1.0000 ($N\_0012) 15.0000

($N\_0013) -15.0000 ($N\_0014) 1.0000

($N\_0017) 15.0000 ($N\_0018) -15.0000

(X\_U29.6)-125.9E-06 (X\_U29.7) 1.0000

(X\_U29.8) 1.0000 (X\_U29.9) 0.0000

(X\_U43.6)-267.1E-06 (X\_U43.7) 2.0699

(X\_U43.8) 2.0699 (X\_U43.9) 0.0000

(X\_U29.10) 1.6604 (X\_U29.11) 14.6590

(X\_U29.12) 14.6590 (X\_U29.53) 13.5000

(X\_U29.54) -13.5000 (X\_U29.90)-76.64E-09

(X\_U29.91) 25.0000 (X\_U29.92) -25.0000

(X\_U29.99) 0.0000 (X\_U43.10) 2.6310

(X\_U43.11) 14.6570 (X\_U43.12) 14.6570

(X\_U43.53) 13.5000 (X\_U43.54) -13.5000

(X\_U43.90) 1.9714 (X\_U43.91) 25.0000

(X\_U43.92) -25.0000 (X\_U43.99) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.6)-302.2E-06 (X\_U42.x\_lf412.7) 2.3664

(X\_U42.x\_lf412.8) 2.3664 (X\_U42.x\_lf412.9) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.10) 1.6604 (X\_U42.x\_lf412.11) 14.6590

(X\_U42.x\_lf412.12) 14.6590 (X\_U42.x\_lf412.53) 13.5000

(X\_U42.x\_lf412.54) -13.5000 (X\_U42.x\_lf412.90) 1.3285

(X\_U42.x\_lf412.91) 25.0000 (X\_U42.x\_lf412.92) -25.0000

(X\_U42.x\_lf412.99) 0.0000

 VOLTAGE SOURCE CURRENTS

 NAME CURRENT

 v\_V4 -2.170E-03

 v\_V5 -2.171E-03

 v\_V1 3.932E-11

 v\_V2 -2.171E-03

 v\_V3 -2.170E-03

 v\_V7 -2.170E-03

 v\_V8 -2.172E-03

 X\_U29.vb -1.259E-09

 X\_U29.vc 1.250E-11

 X\_U29.ve 1.450E-11

 X\_U29.vlim -7.664E-11

 X\_U29.vlp -2.500E-11

 X\_U29.vln -2.500E-11

 X\_U43.vb -2.671E-09

 X\_U43.vc 1.153E-11

 X\_U43.ve 1.547E-11

 X\_U43.vlim 1.971E-03

 X\_U43.vlp -2.303E-11

 X\_U43.vln -2.697E-11

 X\_U42.x\_lf412.vb -3.022E-09

 X\_U42.x\_lf412.vc 1.120E-11

 X\_U42.x\_lf412.ve 1.580E-11

 X\_U42.x\_lf412.vlim 1.329E-03

 X\_U42.x\_lf412.vlp -2.367E-11

 X\_U42.x\_lf412.vln -2.633E-11

 TOTAL POWER DISSIPATION 1.95E-01 WATTS

 NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE

( out) 1.9703 ($N\_0002) 1.0000 ($N\_0003) 1.0000

($N\_0004) 1.0000 ($N\_0005) 1.0000

($N\_0007) 2.2987 ($N\_0008) 1.9703

($N\_0009) -15.0000 ($N\_0010) 15.0000

($N\_0011) 1.0000 ($N\_0012) 15.0000

($N\_0013) -15.0000 ($N\_0014) 1.0000

($N\_0017) 15.0000 ($N\_0018) -15.0000

(X\_U29.6)-125.9E-06 (X\_U29.7) 1.0000

(X\_U29.8) 1.0000 (X\_U29.9) 0.0000

(X\_U43.6)-266.9E-06 (X\_U43.7) 2.0688

(X\_U43.8) 2.0688 (X\_U43.9) 0.0000

(X\_U29.10) 1.6604 (X\_U29.11) 14.6590

(X\_U29.12) 14.6590 (X\_U29.53) 13.5000

(X\_U29.54) -13.5000 (X\_U29.90)-76.64E-09

(X\_U29.91) 25.0000 (X\_U29.92) -25.0000

(X\_U29.99) 0.0000 (X\_U43.10) 2.6299

(X\_U43.11) 14.6570 (X\_U43.12) 14.6570

(X\_U43.53) 13.5000 (X\_U43.54) -13.5000

(X\_U43.90) 1.9703 (X\_U43.91) 25.0000

(X\_U43.92) -25.0000 (X\_U43.99) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.6)-302.1E-06 (X\_U42.x\_lf412.7) 2.3650

(X\_U42.x\_lf412.8) 2.3650 (X\_U42.x\_lf412.9) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.10) 1.6604 (X\_U42.x\_lf412.11) 14.6590

(X\_U42.x\_lf412.12) 14.6590 (X\_U42.x\_lf412.53) 13.5000

(X\_U42.x\_lf412.54) -13.5000 (X\_U42.x\_lf412.90) 1.3274

(X\_U42.x\_lf412.91) 25.0000 (X\_U42.x\_lf412.92) -25.0000

(X\_U42.x\_lf412.99) 0.0000

 VOLTAGE SOURCE CURRENTS

 NAME CURRENT

 v\_V4 -2.170E-03

 v\_V5 -2.171E-03

 v\_V1 3.932E-11

 v\_V2 -2.171E-03

 v\_V3 -2.170E-03

 v\_V7 -2.170E-03

 v\_V8 -2.172E-03

 X\_U29.vb -1.259E-09

 X\_U29.vc 1.250E-11

 X\_U29.ve 1.450E-11

 X\_U29.vlim -7.664E-11

 X\_U29.vlp -2.500E-11

 X\_U29.vln -2.500E-11

 X\_U43.vb -2.669E-09

 X\_U43.vc 1.153E-11

 X\_U43.ve 1.547E-11

 X\_U43.vlim 1.970E-03

 X\_U43.vlp -2.303E-11

 X\_U43.vln -2.697E-11

 X\_U42.x\_lf412.vb -3.021E-09

 X\_U42.x\_lf412.vc 1.120E-11

 X\_U42.x\_lf412.ve 1.580E-11

 X\_U42.x\_lf412.vlim 1.327E-03

 X\_U42.x\_lf412.vlp -2.367E-11

 X\_U42.x\_lf412.vln -2.633E-11

 TOTAL POWER DISSIPATION 1.95E-01 WATTS

 NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE

( out) 1.9725 ($N\_0002) 1.0000 ($N\_0003) 1.0000

($N\_0004) 1.0000 ($N\_0005) 1.0000

($N\_0007) 2.3013 ($N\_0008) 1.9725

($N\_0009) -15.0000 ($N\_0010) 15.0000

($N\_0011) 1.0000 ($N\_0012) 15.0000

($N\_0013) -15.0000 ($N\_0014) 1.0000

($N\_0017) 15.0000 ($N\_0018) -15.0000

(X\_U29.6)-125.9E-06 (X\_U29.7) 1.0000

(X\_U29.8) 1.0000 (X\_U29.9) 0.0000

(X\_U43.6)-267.2E-06 (X\_U43.7) 2.0711

(X\_U43.8) 2.0711 (X\_U43.9) 0.0000

(X\_U29.10) 1.6604 (X\_U29.11) 14.6590

(X\_U29.12) 14.6590 (X\_U29.53) 13.5000

(X\_U29.54) -13.5000 (X\_U29.90)-76.64E-09

(X\_U29.91) 25.0000 (X\_U29.92) -25.0000

(X\_U29.99) 0.0000 (X\_U43.10) 2.6321

(X\_U43.11) 14.6570 (X\_U43.12) 14.6570

(X\_U43.53) 13.5000 (X\_U43.54) -13.5000

(X\_U43.90) 1.9725 (X\_U43.91) 25.0000

(X\_U43.92) -25.0000 (X\_U43.99) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.6)-302.4E-06 (X\_U42.x\_lf412.7) 2.3677

(X\_U42.x\_lf412.8) 2.3677 (X\_U42.x\_lf412.9) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.10) 1.6604 (X\_U42.x\_lf412.11) 14.6590

(X\_U42.x\_lf412.12) 14.6590 (X\_U42.x\_lf412.53) 13.5000

(X\_U42.x\_lf412.54) -13.5000 (X\_U42.x\_lf412.90) 1.3287

(X\_U42.x\_lf412.91) 25.0000 (X\_U42.x\_lf412.92) -25.0000

(X\_U42.x\_lf412.99) 0.0000

 VOLTAGE SOURCE CURRENTS

 NAME CURRENT

 v\_V4 -2.170E-03

 v\_V5 -2.171E-03

 v\_V1 3.932E-11

 v\_V2 -2.171E-03

 v\_V3 -2.170E-03

 v\_V7 -2.170E-03

 v\_V8 -2.172E-03

 X\_U29.vb -1.259E-09

 X\_U29.vc 1.250E-11

 X\_U29.ve 1.450E-11

 X\_U29.vlim -7.664E-11

 X\_U29.vlp -2.500E-11

 X\_U29.vln -2.500E-11

 X\_U43.vb -2.672E-09

 X\_U43.vc 1.153E-11

 X\_U43.ve 1.547E-11

 X\_U43.vlim 1.972E-03

 X\_U43.vlp -2.303E-11

 X\_U43.vln -2.697E-11

 X\_U42.x\_lf412.vb -3.024E-09

 X\_U42.x\_lf412.vc 1.120E-11

 X\_U42.x\_lf412.ve 1.580E-11

 X\_U42.x\_lf412.vlim 1.329E-03

 X\_U42.x\_lf412.vlp -2.367E-11

 X\_U42.x\_lf412.vln -2.633E-11

 TOTAL POWER DISSIPATION 1.95E-01 WATTS

 NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE

( out) 1.9717 ($N\_0002) 1.0000 ($N\_0003) 1.0000

($N\_0004) 1.0000 ($N\_0005) 1.0000

($N\_0007) 2.3000 ($N\_0008) 1.9717

($N\_0009) -15.0000 ($N\_0010) 15.0000

($N\_0011) 1.0000 ($N\_0012) 15.0000

($N\_0013) -15.0000 ($N\_0014) 1.0000

($N\_0017) 15.0000 ($N\_0018) -15.0000

(X\_U29.6)-125.9E-06 (X\_U29.7) 1.0000

(X\_U29.8) 1.0000 (X\_U29.9) 0.0000

(X\_U43.6)-267.1E-06 (X\_U43.7) 2.0702

(X\_U43.8) 2.0702 (X\_U43.9) 0.0000

(X\_U29.10) 1.6604 (X\_U29.11) 14.6590

(X\_U29.12) 14.6590 (X\_U29.53) 13.5000

(X\_U29.54) -13.5000 (X\_U29.90)-76.64E-09

(X\_U29.91) 25.0000 (X\_U29.92) -25.0000

(X\_U29.99) 0.0000 (X\_U43.10) 2.6313

(X\_U43.11) 14.6570 (X\_U43.12) 14.6570

(X\_U43.53) 13.5000 (X\_U43.54) -13.5000

(X\_U43.90) 1.9717 (X\_U43.91) 25.0000

(X\_U43.92) -25.0000 (X\_U43.99) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.6)-302.2E-06 (X\_U42.x\_lf412.7) 2.3664

(X\_U42.x\_lf412.8) 2.3664 (X\_U42.x\_lf412.9) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.10) 1.6604 (X\_U42.x\_lf412.11) 14.6590

(X\_U42.x\_lf412.12) 14.6590 (X\_U42.x\_lf412.53) 13.5000

(X\_U42.x\_lf412.54) -13.5000 (X\_U42.x\_lf412.90) 1.3283

(X\_U42.x\_lf412.91) 25.0000 (X\_U42.x\_lf412.92) -25.0000

(X\_U42.x\_lf412.99) 0.0000

 VOLTAGE SOURCE CURRENTS

 NAME CURRENT

 v\_V4 -2.170E-03

 v\_V5 -2.171E-03

 v\_V1 3.932E-11

 v\_V2 -2.171E-03

 v\_V3 -2.170E-03

 v\_V7 -2.170E-03

 v\_V8 -2.172E-03

 X\_U29.vb -1.259E-09

 X\_U29.vc 1.250E-11

 X\_U29.ve 1.450E-11

 X\_U29.vlim -7.664E-11

 X\_U29.vlp -2.500E-11

 X\_U29.vln -2.500E-11

 X\_U43.vb -2.671E-09

 X\_U43.vc 1.153E-11

 X\_U43.ve 1.547E-11

 X\_U43.vlim 1.972E-03

 X\_U43.vlp -2.303E-11

 X\_U43.vln -2.697E-11

 X\_U42.x\_lf412.vb -3.022E-09

 X\_U42.x\_lf412.vc 1.120E-11

 X\_U42.x\_lf412.ve 1.580E-11

 X\_U42.x\_lf412.vlim 1.328E-03

 X\_U42.x\_lf412.vlp -2.367E-11

 X\_U42.x\_lf412.vln -2.633E-11

 TOTAL POWER DISSIPATION 1.95E-01 WATTS

 NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE

( out) 1.9714 ($N\_0002) 1.0000 ($N\_0003) 1.0000

($N\_0004) 1.0000 ($N\_0005) 1.0000

($N\_0007) 2.3000 ($N\_0008) 1.9714

($N\_0009) -15.0000 ($N\_0010) 15.0000

($N\_0011) 1.0000 ($N\_0012) 15.0000

($N\_0013) -15.0000 ($N\_0014) 1.0000

($N\_0017) 15.0000 ($N\_0018) -15.0000

(X\_U29.6)-125.9E-06 (X\_U29.7) 1.0000

(X\_U29.8) 1.0000 (X\_U29.9) 0.0000

(X\_U43.6)-267.1E-06 (X\_U43.7) 2.0699

(X\_U43.8) 2.0699 (X\_U43.9) 0.0000

(X\_U29.10) 1.6604 (X\_U29.11) 14.6590

(X\_U29.12) 14.6590 (X\_U29.53) 13.5000

(X\_U29.54) -13.5000 (X\_U29.90)-76.64E-09

(X\_U29.91) 25.0000 (X\_U29.92) -25.0000

(X\_U29.99) 0.0000 (X\_U43.10) 2.6310

(X\_U43.11) 14.6570 (X\_U43.12) 14.6570

(X\_U43.53) 13.5000 (X\_U43.54) -13.5000

(X\_U43.90) 1.9714 (X\_U43.91) 25.0000

(X\_U43.92) -25.0000 (X\_U43.99) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.6)-302.2E-06 (X\_U42.x\_lf412.7) 2.3664

(X\_U42.x\_lf412.8) 2.3664 (X\_U42.x\_lf412.9) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.10) 1.6604 (X\_U42.x\_lf412.11) 14.6590

(X\_U42.x\_lf412.12) 14.6590 (X\_U42.x\_lf412.53) 13.5000

(X\_U42.x\_lf412.54) -13.5000 (X\_U42.x\_lf412.90) 1.3285

(X\_U42.x\_lf412.91) 25.0000 (X\_U42.x\_lf412.92) -25.0000

(X\_U42.x\_lf412.99) 0.0000

 VOLTAGE SOURCE CURRENTS

 NAME CURRENT

 v\_V4 -2.170E-03

 v\_V5 -2.171E-03

 v\_V1 3.932E-11

 v\_V2 -2.171E-03

 v\_V3 -2.170E-03

 v\_V7 -2.170E-03

 v\_V8 -2.172E-03

 X\_U29.vb -1.259E-09

 X\_U29.vc 1.250E-11

 X\_U29.ve 1.450E-11

 X\_U29.vlim -7.664E-11

 X\_U29.vlp -2.500E-11

 X\_U29.vln -2.500E-11

 X\_U43.vb -2.671E-09

 X\_U43.vc 1.153E-11

 X\_U43.ve 1.547E-11

 X\_U43.vlim 1.971E-03

 X\_U43.vlp -2.303E-11

 X\_U43.vln -2.697E-11

 X\_U42.x\_lf412.vb -3.022E-09

 X\_U42.x\_lf412.vc 1.120E-11

 X\_U42.x\_lf412.ve 1.580E-11

 X\_U42.x\_lf412.vlim 1.329E-03

 X\_U42.x\_lf412.vlp -2.367E-11

 X\_U42.x\_lf412.vln -2.633E-11

 TOTAL POWER DISSIPATION 1.95E-01 WATTS

 NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE

( out) 1.9714 ($N\_0002) 1.0000 ($N\_0003) 1.0000

($N\_0004) 1.0000 ($N\_0005) 1.0000

($N\_0007) 2.3000 ($N\_0008) 1.9714

($N\_0009) -15.0000 ($N\_0010) 15.0000

($N\_0011) 1.0000 ($N\_0012) 15.0000

($N\_0013) -15.0000 ($N\_0014) 1.0000

($N\_0017) 15.0000 ($N\_0018) -15.0000

(X\_U29.6)-125.9E-06 (X\_U29.7) 1.0000

(X\_U29.8) 1.0000 (X\_U29.9) 0.0000

(X\_U43.6)-267.0E-06 (X\_U43.7) 2.0698

(X\_U43.8) 2.0698 (X\_U43.9) 0.0000

(X\_U29.10) 1.6604 (X\_U29.11) 14.6590

(X\_U29.12) 14.6590 (X\_U29.53) 13.5000

(X\_U29.54) -13.5000 (X\_U29.90)-76.64E-09

(X\_U29.91) 25.0000 (X\_U29.92) -25.0000

(X\_U29.99) 0.0000 (X\_U43.10) 2.6310

(X\_U43.11) 14.6570 (X\_U43.12) 14.6570

(X\_U43.53) 13.5000 (X\_U43.54) -13.5000

(X\_U43.90) 1.9694 (X\_U43.91) 25.0000

(X\_U43.92) -25.0000 (X\_U43.99) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.6)-302.2E-06 (X\_U42.x\_lf412.7) 2.3664

(X\_U42.x\_lf412.8) 2.3664 (X\_U42.x\_lf412.9) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.10) 1.6604 (X\_U42.x\_lf412.11) 14.6590

(X\_U42.x\_lf412.12) 14.6590 (X\_U42.x\_lf412.53) 13.5000

(X\_U42.x\_lf412.54) -13.5000 (X\_U42.x\_lf412.90) 1.3285

(X\_U42.x\_lf412.91) 25.0000 (X\_U42.x\_lf412.92) -25.0000

(X\_U42.x\_lf412.99) 0.0000

 VOLTAGE SOURCE CURRENTS

 NAME CURRENT

 v\_V4 -2.170E-03

 v\_V5 -2.171E-03

 v\_V1 3.932E-11

 v\_V2 -2.171E-03

 v\_V3 -2.170E-03

 v\_V7 -2.170E-03

 v\_V8 -2.172E-03

 X\_U29.vb -1.259E-09

 X\_U29.vc 1.250E-11

 X\_U29.ve 1.450E-11

 X\_U29.vlim -7.664E-11

 X\_U29.vlp -2.500E-11

 X\_U29.vln -2.500E-11

 X\_U43.vb -2.670E-09

 X\_U43.vc 1.153E-11

 X\_U43.ve 1.547E-11

 X\_U43.vlim 1.969E-03

 X\_U43.vlp -2.303E-11

 X\_U43.vln -2.697E-11

 X\_U42.x\_lf412.vb -3.022E-09

 X\_U42.x\_lf412.vc 1.120E-11

 X\_U42.x\_lf412.ve 1.580E-11

 X\_U42.x\_lf412.vlim 1.329E-03

 X\_U42.x\_lf412.vlp -2.367E-11

 X\_U42.x\_lf412.vln -2.633E-11

 TOTAL POWER DISSIPATION 1.95E-01 WATTS

 NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE

( out) 1.9711 ($N\_0002) 1.0000 ($N\_0003) 1.0000

($N\_0004) 1.0000 ($N\_0005) 1.0000

($N\_0007) 2.3000 ($N\_0008) 1.9711

($N\_0009) -15.0000 ($N\_0010) 15.0000

($N\_0011) 1.0000 ($N\_0012) 15.0000

($N\_0013) -15.0000 ($N\_0014) 1.0000

($N\_0017) 15.0000 ($N\_0018) -15.0000

(X\_U29.6)-125.9E-06 (X\_U29.7) 1.0000

(X\_U29.8) 1.0000 (X\_U29.9) 0.0000

(X\_U43.6)-267.0E-06 (X\_U43.7) 2.0696

(X\_U43.8) 2.0696 (X\_U43.9) 0.0000

(X\_U29.10) 1.6604 (X\_U29.11) 14.6590

(X\_U29.12) 14.6590 (X\_U29.53) 13.5000

(X\_U29.54) -13.5000 (X\_U29.90)-76.64E-09

(X\_U29.91) 25.0000 (X\_U29.92) -25.0000

(X\_U29.99) 0.0000 (X\_U43.10) 2.6307

(X\_U43.11) 14.6570 (X\_U43.12) 14.6570

(X\_U43.53) 13.5000 (X\_U43.54) -13.5000

(X\_U43.90) 1.9711 (X\_U43.91) 25.0000

(X\_U43.92) -25.0000 (X\_U43.99) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.6)-302.2E-06 (X\_U42.x\_lf412.7) 2.3664

(X\_U42.x\_lf412.8) 2.3664 (X\_U42.x\_lf412.9) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.10) 1.6604 (X\_U42.x\_lf412.11) 14.6590

(X\_U42.x\_lf412.12) 14.6590 (X\_U42.x\_lf412.53) 13.5000

(X\_U42.x\_lf412.54) -13.5000 (X\_U42.x\_lf412.90) 1.3285

(X\_U42.x\_lf412.91) 25.0000 (X\_U42.x\_lf412.92) -25.0000

(X\_U42.x\_lf412.99) 0.0000

 VOLTAGE SOURCE CURRENTS

 NAME CURRENT

 v\_V4 -2.170E-03

 v\_V5 -2.171E-03

 v\_V1 3.932E-11

 v\_V2 -2.171E-03

 v\_V3 -2.170E-03

 v\_V7 -2.170E-03

 v\_V8 -2.172E-03

 X\_U29.vb -1.259E-09

 X\_U29.vc 1.250E-11

 X\_U29.ve 1.450E-11

 X\_U29.vlim -7.664E-11

 X\_U29.vlp -2.500E-11

 X\_U29.vln -2.500E-11

 X\_U43.vb -2.670E-09

 X\_U43.vc 1.153E-11

 X\_U43.ve 1.547E-11

 X\_U43.vlim 1.971E-03

 X\_U43.vlp -2.303E-11

 X\_U43.vln -2.697E-11

 X\_U42.x\_lf412.vb -3.022E-09

 X\_U42.x\_lf412.vc 1.120E-11

 X\_U42.x\_lf412.ve 1.580E-11

 X\_U42.x\_lf412.vlim 1.329E-03

 X\_U42.x\_lf412.vlp -2.367E-11

 X\_U42.x\_lf412.vln -2.633E-11

 TOTAL POWER DISSIPATION 1.95E-01 WATTS

\*\*\*\* 12/14/97 08:52:23 \*\*\*\*\*\*\*\*\* PSpice 5.1 (Jan 1992) \*\*\*\*\*\*\*\* ID# 62539 \*\*\*\*

 \* C:\PS-PICE\kurs\_pro.sch

 \*\*\*\* SORTED DEVIATIONS OF V(out) TEMPERATURE = 27.000 DEG C

 SENSITIVITY SUMMARY

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Mean Deviation = -389.2200E-06

Sigma = 1.3877E-03

 RUN MAX DEVIATION FROM NOMINAL

C\_C2 c C 2.2769E-03 (1.64 sigma) lower at F = 536

 ( 1.5366% change per 1% change in Model Parameter)

R\_R2 r R 2.1449E-03 (1.55 sigma) lower at F = 540

 ( 1.4811% change per 1% change in Model Parameter)

C\_C1 c C 1.7247E-03 (1.24 sigma) higher at F = 410

 ( .875 % change per 1% change in Model Parameter)

C\_C3 c C 1.5812E-03 (1.14 sigma) lower at F = 452

 ( .7976% change per 1% change in Model Parameter)

R\_R6 r R 1.5812E-03 (1.14 sigma) lower at F = 452

 ( .7976% change per 1% change in Model Parameter)

R\_R1 r R 1.5261E-03 (1.10 sigma) higher at F = 405

 ( .7778% change per 1% change in Model Parameter)

R\_R4 r R 1.1653E-03 ( .84 sigma) higher at F = 437

 ( .584 % change per 1% change in Model Parameter)

R\_R3 r R 1.1132E-03 ( .80 sigma) lower at F = 1

 ( .5647% change per 1% change in Model Parameter)

R\_R9 r R 285.1500E-06 ( .21 sigma) lower at F = 435

 ( .1429% change per 1% change in Model Parameter)

R\_R5 r R 284.9100E-06 ( .21 sigma) higher at F = 433

 ( .1428% change per 1% change in Model Parameter)

R\_R8 r R 119.2100E-09 ( .00 sigma) higher at F = 8

 ( 60.4920E-06% change per 1% change in Model Parameter)

\*\*\*\* 12/14/97 08:52:23 \*\*\*\*\*\*\*\*\* PSpice 5.1 (Jan 1992) \*\*\*\*\*\*\*\* ID# 62539 \*\*\*\*

 \* C:\PS-PICE\kurs\_pro.sch

 \*\*\*\* WORST CASE ANALYSIS TEMPERATURE = 27.000 DEG C

 WORST CASE ALL DEVICES

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

\*\*\*\* 12/14/97 08:52:23 \*\*\*\*\*\*\*\*\* PSpice 5.1 (Jan 1992) \*\*\*\*\*\*\*\* ID# 62539 \*\*\*\*

 \* C:\PS-PICE\kurs\_pro.sch

 \*\*\*\* UPDATED MODEL PARAMETERS TEMPERATURE = 27.000 DEG C

 WORST CASE ALL DEVICES

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

DEVICE MODEL PARAMETER NEW VALUE

C\_C1 c C 1.1 (Increased)

C\_C2 c C .9 (Decreased)

C\_C3 c C .9 (Decreased)

R\_R1 r R 1.05 (Increased)

R\_R2 r R .95 (Decreased)

R\_R3 r R .95 (Decreased)

R\_R4 r R 1.05 (Increased)

R\_R5 r R 1.05 (Increased)

R\_R6 r R .95 (Decreased)

R\_R8 r R 1.05 (Increased)

R\_R9 r R .95 (Decreased)

\*\*\*\* 12/14/97 08:52:23 \*\*\*\*\*\*\*\*\* PSpice 5.1 (Jan 1992) \*\*\*\*\*\*\*\* ID# 62539 \*\*\*\*

 \* C:\PS-PICE\kurs\_pro.sch

 \*\*\*\* SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

 WORST CASE ALL DEVICES

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

 NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE

( out) 2.1175 ($N\_0002) 1.0000 ($N\_0003) 1.0000

($N\_0004) 1.0000 ($N\_0005) 1.0000

($N\_0007) 2.4368 ($N\_0008) 2.1175

($N\_0009) -15.0000 ($N\_0010) 15.0000

($N\_0011) 1.0000 ($N\_0012) 15.0000

($N\_0013) -15.0000 ($N\_0014) 1.0000

($N\_0017) 15.0000 ($N\_0018) -15.0000

(X\_U29.6)-125.9E-06 (X\_U29.7) 1.0000

(X\_U29.8) 1.0000 (X\_U29.9) 0.0000

(X\_U43.6)-285.9E-06 (X\_U43.7) 2.2183

(X\_U43.8) 2.2183 (X\_U43.9) 0.0000

(X\_U29.10) 1.6604 (X\_U29.11) 14.6590

(X\_U29.12) 14.6590 (X\_U29.53) 13.5000

(X\_U29.54) -13.5000 (X\_U29.90)-76.64E-09

(X\_U29.91) 25.0000 (X\_U29.92) -25.0000

(X\_U29.99) 0.0000 (X\_U43.10) 2.7770

(X\_U43.11) 14.6570 (X\_U43.12) 14.6570

(X\_U43.53) 13.5000 (X\_U43.54) -13.5000

(X\_U43.90) 2.0166 (X\_U43.91) 25.0000

(X\_U43.92) -25.0000 (X\_U43.99) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.6)-320.0E-06 (X\_U42.x\_lf412.7) 2.5062

(X\_U42.x\_lf412.8) 2.5062 (X\_U42.x\_lf412.9) 0.0000

(X\_U42.x\_lf412.10) 1.6604 (X\_U42.x\_lf412.11) 14.6590

(X\_U42.x\_lf412.12) 14.6590 (X\_U42.x\_lf412.53) 13.5000

(X\_U42.x\_lf412.54) -13.5000 (X\_U42.x\_lf412.90) 1.3887

(X\_U42.x\_lf412.91) 25.0000 (X\_U42.x\_lf412.92) -25.0000

(X\_U42.x\_lf412.99) 0.0000

 VOLTAGE SOURCE CURRENTS

 NAME CURRENT

 v\_V4 -2.170E-03

 v\_V5 -2.171E-03

 v\_V1 3.932E-11

 v\_V2 -2.171E-03

 v\_V3 -2.170E-03

 v\_V7 -2.170E-03

 v\_V8 -2.172E-03

 X\_U29.vb -1.259E-09

 X\_U29.vc 1.250E-11

 X\_U29.ve 1.450E-11

 X\_U29.vlim -7.664E-11

 X\_U29.vlp -2.500E-11

 X\_U29.vln -2.500E-11

 X\_U43.vb -2.859E-09

 X\_U43.vc 1.138E-11

 X\_U43.ve 1.562E-11

 X\_U43.vlim 2.017E-03

 X\_U43.vlp -2.298E-11

 X\_U43.vln -2.702E-11

 X\_U42.x\_lf412.vb -3.200E-09

 X\_U42.x\_lf412.vc 1.106E-11

 X\_U42.x\_lf412.ve 1.594E-11

 X\_U42.x\_lf412.vlim 1.389E-03

 X\_U42.x\_lf412.vlp -2.361E-11

 X\_U42.x\_lf412.vln -2.639E-11

 TOTAL POWER DISSIPATION 1.95E-01 WATTS

\*\*\*\* 12/14/97 08:52:23 \*\*\*\*\*\*\*\*\* PSpice 5.1 (Jan 1992) \*\*\*\*\*\*\*\* ID# 62539 \*\*\*\*

 \* C:\PS-PICE\kurs\_pro.sch

 \*\*\*\* SORTED DEVIATIONS OF V(out) TEMPERATURE = 27.000 DEG C

 WORST CASE SUMMARY

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

 RUN MAX DEVIATION FROM NOMINAL

ALL DEVICES .7441 higher at F = 478

 ( 139.19% of Nominal)

 JOB CONCLUDED

 TOTAL JOB TIME 171.25

**Вывод.** Полученная схема активного RC фильтра соответствует техническому заданию.При Rn=10 kOm и Rг=2 кОм, а также в температурном диапазоне +5..+35 °С схема сохраняет свои характеристики.

Литература.

1. Л.П. Хьюлсман “Теория и расчет активных RC цепей” М.: “Связь” 1973г.

2. Конспект лекций по дисциплине “Микросхемотехника”.

 **Содержение**

Введение 1

**Проектирование активных RC-фильтров** 2

**Аппроксимация** 2

Техническое задание 3

Аппроксимация передаточной функции полиномом Чебышева 3

Реализация в системе Pspice 8

Расчет чувствительности схемы на наихудший случай . 11

Расчет динамического диапазона схемы 14

**Схема фильтра** 15

Перечень элементов 16

Выходной файл данных Pspice 17

Вывод 45

Литература 45