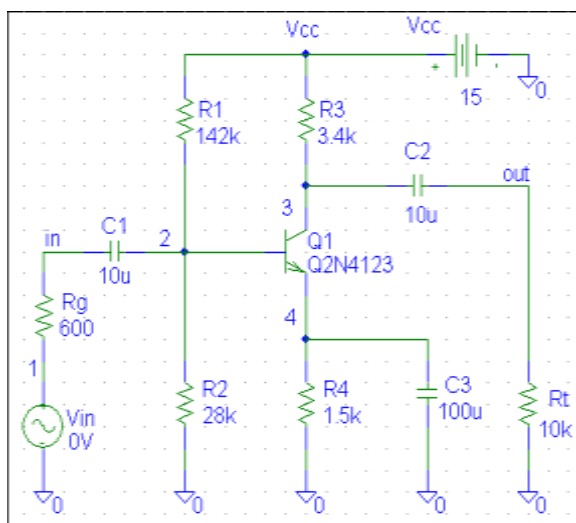


Демонстратор: Постояннотокови анализи и оптимизация на стъпало OE

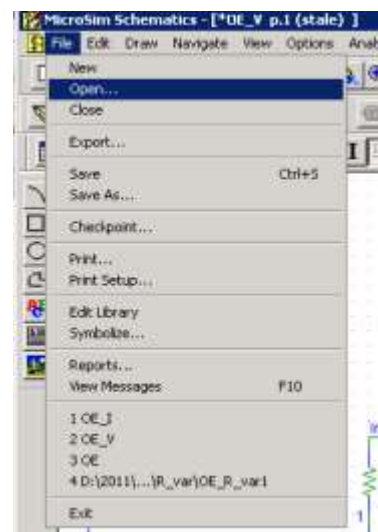
1. Цел:

Целта на демонстратора е да ви представи примерна процедура за анализ и оптимизация на постояннотоковия режим на транзисторен усилвател чрез анализ с PSpice. Това ще ви подпомогне при подготовката и изпълнението на лабораторно упражнение № 1, както и при самостоятелната ви работа със студентската версия на OrCAD.

Проследете демонстратора и изпълнете отделните етапи при изследването и оптимизирането на постояннотоковия режим на работа на транзисторния усилвател в схема OE от фиг. 1.



фигура 1



фигура 2

2. Визуализиране на файла със схемата


В средата на графичен редактор *Schematics* чрез командата *Get Open* от менюто *File* (фиг. 2) изберете файла с начертаната схема (.sch) на еднотранзисторния усилвател от фиг. 1.

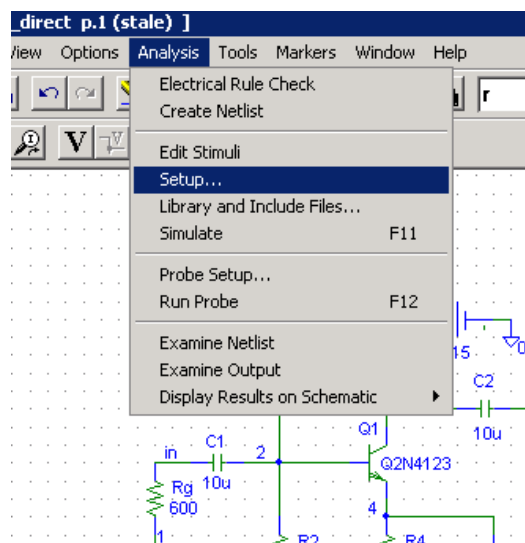
3. Анализ на постояннотоковия режим на работа на схемата

За да се извърши действително полезно и пълно оценяване на схемата, която проектирате, от съществено значение е да се познават и контролират напреженията във всеки възел и токовете във всеки клон. Ако се изследва физическия прототип на схемата, след включване на захранването схемата ще се установи в постояннотоковата си работна точка. За повечето схеми това е устойчиво състояние.

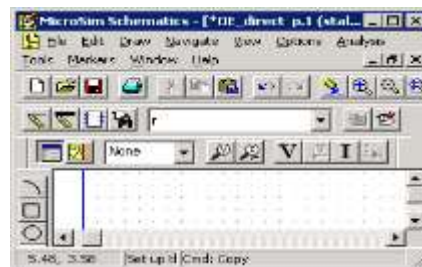


Работната точка се изчислява автоматично от PSpice, независимо дали е избран режим *Bias Point Detail* или не, но за да можете да **визуализирате резултатите** в изходния файл или върху схемата, е необходимо от менюто

Analysis чрез опцията *Setup* (фиг. 3) или чрез бутона  от фиг. 4, да се отвори диалоговия прозорец от фиг. 5 и да се избере *Bias point detail*.




фигура 3

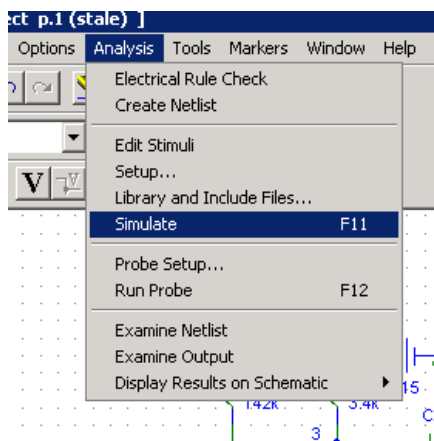


фигура 4

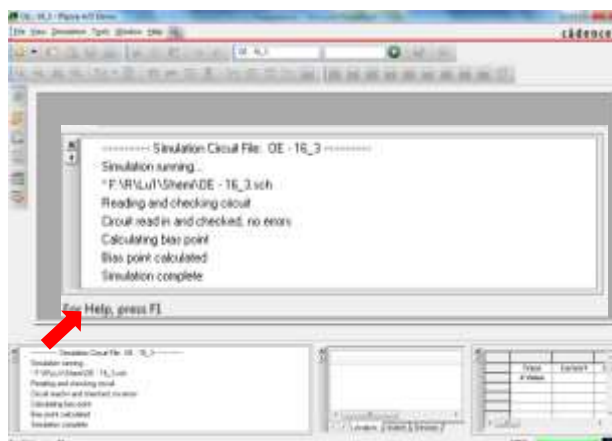


фигура 5

В средата на схемния редактор *Schematics* стартирайте зададеният анализ: чрез бутона  или с командата *Simulate* (функционалния бутон **F11**) от менюто *Analysis* (фиг. 6).




фигура 6



фигура 7

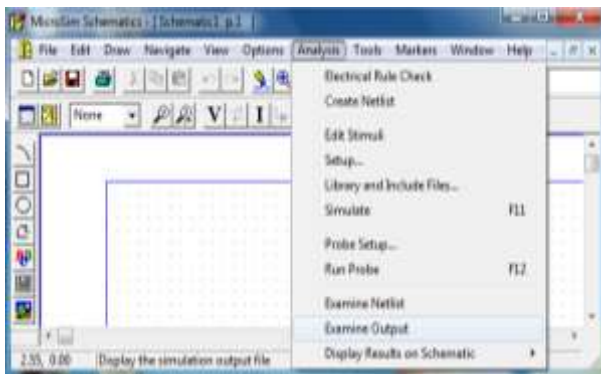
След завършване на анализа, автоматично се отваря прозореца с резултати и се появява съобщението от фиг. 7.

 Резултатите от *PSpice* анализите се записват в *ASCII* текстов файл с разширение *.out* (*Output file*). Съдържанието на *Output file* се определя от типовете анализи, които се изпълняват и от опциите, които се избират за стартиране на *PSpice A/D* и симулационните контролни символи (като *VPRINT1* и *VPLOT1*), които се поставят и свързват към веригите в принципната схема.

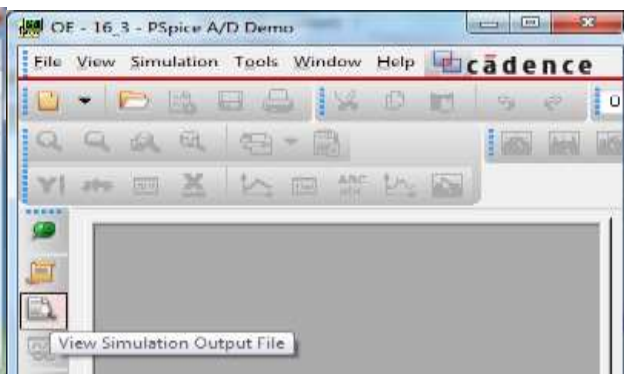
В резултат на анализа се изчислява и се извежда подробна информация за постояннотоковата работна точка и режимите на функциониране на елементите в схемата: възловите потенциали, токовете през източниците на напрежение,

пълната разсейвана мощност, токовете и/или напреженията в зависимите източници, работния режим и малосигналните параметри на транзисторите и др.

Отварянето на вече създадения изходен файл (*Output file*) на начертаната схема ще извършите чрез избиране на *Examine Output* от менюто *Analysis* (фиг. 8) или чрез иконата *View Simulation Output File* от прозореца с резултати (фиг. 9).



фигура 8



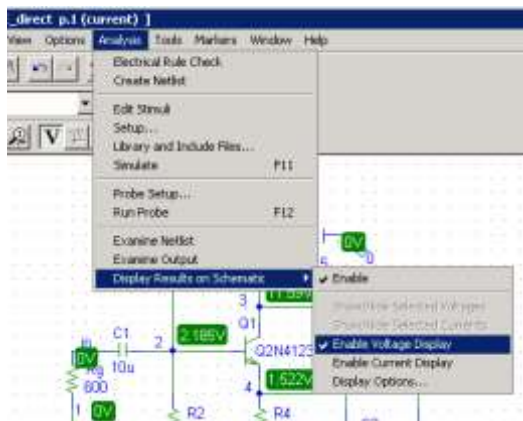
фигура 9

Изходният файл (*Output file*) представлява:

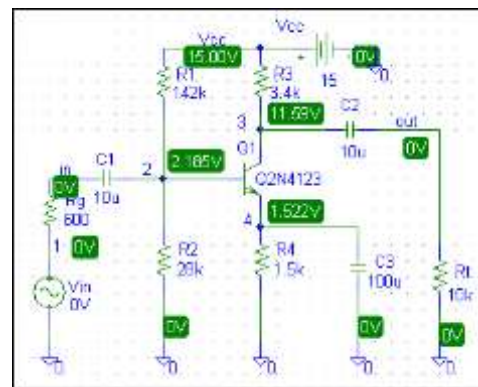
Съдържание на изходния файл	Описание
Подготовка на схемата за симулация и анализ	
<pre>**** 08/30/12 15:56:05 ***** PSpice Lite (June 2009) ***** ID# 10813 **** * F:\R\Lu1\Shemi\OE - 16_3.sch **** CIRCUIT DESCRIPTION ***** * Schematics Version 16.3.0 * Thu Aug 30 15:55:26 2012</pre>	Коментар
<pre>** Analysis setup ** .OP</pre>	Команда за анализ на постояннотоковия режим: 'Детайли на работната точка' (DC Bias Point Detail)
<pre>* From [PSPICE NETLIST] section of C:\Cadence\SPB_16.3\tools\PSpice\PSpice.ini: .lib "D:\Msim_8\UserLib\FILTERS.LIB" .lib "D:\Msim_8\UserLib\BB_new.lib" .lib "nom.lib"</pre>	Достъпни библиотеки в системата
<pre>.INC "OE - 16_3.net" **** INCLUDING "OE - 16_3.net" **** * Schematics Netlist * C_C1 in 2 10u V_Vin 1 0 DC 0V AC 0V R_Rg 1 in 600 V_Vcc Vcc 0 15 R_Rt 0 out 10k Q_Q1 3 2 4 Q2N4123 C_C2 3 out 10u C_C3 0 4 100u R_R1 2 Vcc 142k R_R2 0 2 28k R_R3 3 Vcc 3.4k R_R4 0 4 1.5k</pre>	Описание на изследваната схема
<pre>**** RESUMING "OE - 16_3.cir" **** .PROBE V(*) I(*) W(*) D(*) NOISE(*)</pre>	Команда за стартиране на графичния постпроцесор PROBE

.END	Край на задачата
Резултати от симулацията	
**** 08/30/12 15:56:05 ***** PSpice Lite (June 2009) ***** ID# 10813 **** * F:\R\Lu1\Shemi\OE - 16_3.sch	Коментар
**** BJT MODEL PARAMETERS ***** Q2N4123 NPN LEVEL 1 IS 6.734000E-15 BF 335.3 NF 1 VAF 74.03 IKF .06127 ISE 6.734000E-15 NE 1.216 BR .7925 NR 1 ISS 0 RB 10 RE 0 RC 1 CJE 4.493000E-12 VJE .75 MJE .2593 CJC 3.638000E-12 VJC .75 MJC .3085 XCJC 1 CJS 0 VJS .75 TF 300.800000E-12 XTF 2 VTF 4 ITF .4 TR 243.100000E-09 XTB 1.5 KF 0 AF 1 CN 2.42 D .87	Моделни параметри на транзисторите (параметри с които се описват транзисторите в PSpice)
**** 08/30/12 15:56:05 ***** PSpice Lite (June 2009) ***** ID# 10813 **** * F:\R\Lu1\Shemi\OE - 16_3.sch	Коментар
**** SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION TEMPERATURE = 27.000 DEG C ***** NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE (1) 0.0000 (2) 2.1849 (3) 11.5920 (4) 1.5221 (in) 0.0000 (out) 0.0000 (Vcc) 15.0000	Потенциалите на всички възли
VOLTAGE SOURCE CURRENTS NAME CURRENT V_Vin 0.000E+00 V_Vcc -1.093E-03 TOTAL POWER DISSIPATION 1.64E-02 WATTS	Токовете през източниците на напрежение и пълната консумирана енергия от схемата
**** 08/30/12 15:56:05 ***** PSpice Lite (June 2009) ***** ID# 10813 **** * F:\R\Lu1\Shemi\OE - 16_3.sch **** OPERATING POINT INFORMATION TEMPERATURE = 27.000 DEG C *****	Коментар
**** BIPOLAR JUNCTION TRANSISTORS NAME Q_Q1	Работния режим на транзисторите и

MODEL Q2N4123 IB 1.22E-05 IC 1.00E-03 VBE 6.63E-01 VBC -9.41E+00 VCE 1.01E+01 BETADC 8.21E+01 GM 3.82E-02 RPI 2.46E+03 RX 1.00E+01 RO 8.32E+04 CBE 1.79E-11 CBC 1.63E-12 CJS 0.00E+00 BETAAC 9.39E+01 CBX/CBX2 0.00E+00 FT/FT2 3.11E+08	малосигналните им параметри
JOB CONCLUDED **** 08/30/12 15:56:05 ***** PSpice Lite (June 2009) ***** ID# 10813 **** * F:\R\Lu1\Shemi\OE - 16_3.sch **** JOB STATISTICS SUMMARY ***** Total job time (using Solver 1) = .22	Коментар

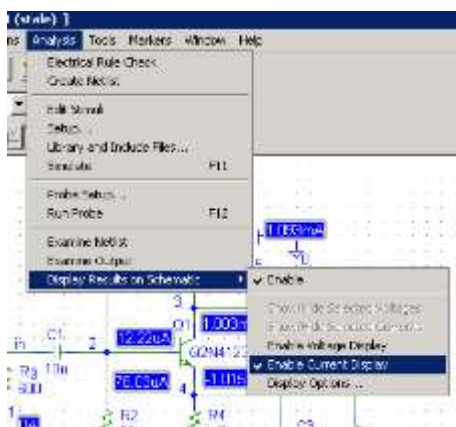


фигура 10

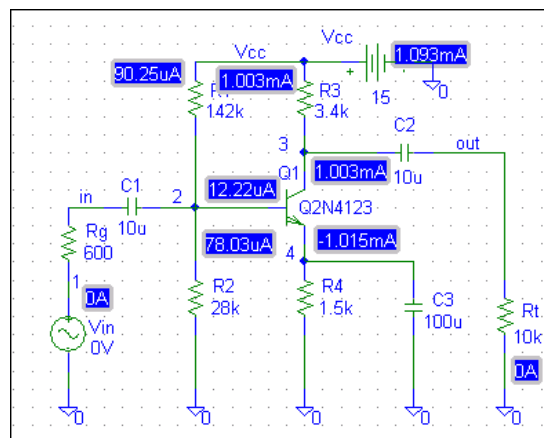


фигура 11

Output file също така, съдържа съобщения за грешки и предупреждения за проблеми при четенето на входния файл или при симулацията.



фигура 12



фигура 13

PSpice позволява визуализация на резултатите от извършените симулации

върху самата схема, а именно резултати за потенциалите на всички възли или за токовете във всички клони.

Потенциалите на възлите ще изобразите като от менюто *Analysis* изберете *Display Results on Schematics* и *Enable Voltage Display* (фиг. 10) или чрез бутона **V** (*Enable Bias Voltage Display*) (фиг. 11).

Токовете във всички клони ще изобразите като от от менюто *Analysis* изберете *Display Results on Schematics* и *Enable Current Display* (фиг. 12) или чрез бутона **I** (*Enable Bias Current Display*) (фиг. 13).

4. Оптимизация на постояннотоковия режим за постигане на максимален диапазон на изходните сигнали

При проектирането на схемата ние желаем максимален диапазон на изходните сигнали. Ако избраната работна точка е много близко до режима на отсечка или на насищане, то сигналът ще се ограничи в едната или другата посока до напрежението на захранване. Поради тази причина, работната точка се избира по средата. Тогава установената работна точка на транзистора е такава, че напрежението на колектора е приблизително равно на половината от напрежението между захранващото напрежение и потенциала на масата.

В този пример, прилагайки оптимизационната процедура посредством параметричен **PSpice** анализ, ние си поставяме за цел напрежението на колектора на транзистора да бъде $V(3)=7.5\text{ V}$, вместо $V(3)=11.59$. Това можем да постигнем, например, чрез оптимизация на стойността на резистора в базовия делител R_1 . За целта изследваме зависимостта $V(3)=f(R_1)$, т.е. построяваме графика, при която по абсцисната ос е развивката (промяната) на резистора R_1 , а по ординатната ос – $V(3)$. Следователно е необходимо да използваме параметричен анализ с параметър (променлива) R_1 и постояннотокова развивка *DC Sweep* с променлива глобалния параметър R_1 .

⚠️ Постояннотоковата развивка *DC Sweep* позволява да се определят напреженията, токовете и логическите състояния (при цифровите устройства) в схемата при поредица от стойности на източник на ток или на напрежение, на моделен параметър, на температура или на **глобален параметър**. Работната точка на схемата се изчислява за всяка стойност от развивката на входната променлива.

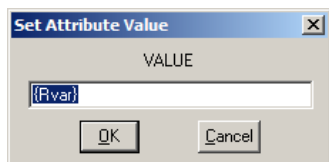
⚠️ По принцип *DC Sweep* се използва винаги, когато искаме да построим графика, при която по абсцисната ос се изобразява величина, различна от честота и време.

За да укажете, че даден елемент е параметър, т.е. стойността му ще се променя, е необходимо:

- в големи (фигурални) скоби да запишете име на параметъра (произволно име), в случая на мястото на стойността на резистора R_1 запишете например **{Rvar}** (фиг. 14);
- от символната библиотека *SPECIAL.slb* извикайте елемента с име

PARAMETERS и го разположете на произволно място в работната страница (фиг. 15);

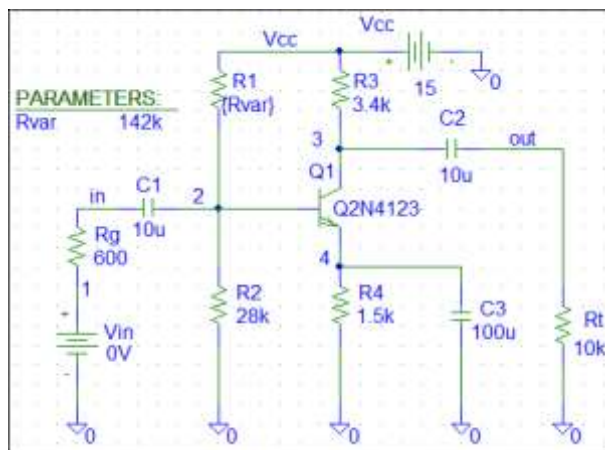
- задайте атрибутите на елемента **PARAMETERS** от диалоговия прозорец **PM4 PartName:param**, като за **NAME1** запишете името на параметъра **Rvar** (без скоби), а за **VALUE1** – стойността му **142k** (фиг. 16).




фигура 14



фигура 16



фигура 15

От менюто *Analysis* чрез опцията *Setup* (фиг. 3) или чрез бутона  от фиг.4, отворете диалоговия прозорец от фиг. 17 и изберете **DC Sweep**.

Избирайки **DC Sweep** (постояннотокова развивка) е необходимо да зададете параметрите на главната развивка (параметрите на изменение на величината изобразявана по оста **X**) (фиг. 18).



фигура 17



фигура 18

Типът на елемента, с който се задава променливата на развивката (**Swept Var. Type**) в разглеждания случай е глобалният параметър (**Global Parameter**), означен в схемата с **Rvar (Name)**.

Диапазонът за изследване задаваме, ако за начална стойност (**Start value**) запишем например **50k** ($R_{1start} \leq R_1/2$), а за крайна стойност (**End value**) - **80k** ($R_{1end} \geq R_1/2$).

Понеже зададеният диапазон е малък (тесен), подходящо е да използваме линеен (**Linear**) мащаб (тип) на развивката (**Sweep type**) с интервал на изменение (стъпка) (**Increment**) **30** (поне за 1000 точки в изследвания интервал).


По принцип, кадето се налага да се задава интервал на изменение

(*Increment*), се препоръчва, той да се изчисли по формулата $Inc = \frac{X_{end} - X_{start}}{1000}$.

Това осигурява изчислението за 1000 стойности на променливата, разположени равномерно в целия изследван интервал. Също така, има и лесен синтаксис за записване (променя се само буквеното означение на кратната на основната

измервателна величина на променливата). В случая $Inc = \frac{80 \cdot 10^3 - 50 \cdot 10^3}{1000} = 30 \Omega$,

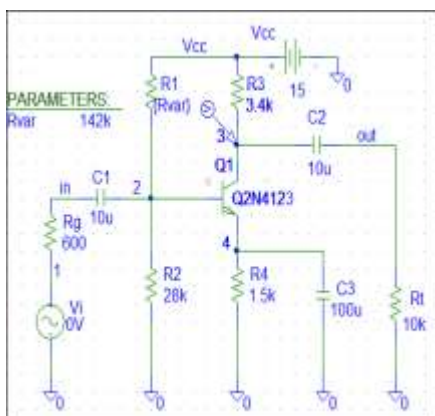
което означава, че за интервала на изменение на R_1 трябва да запишем само 30, променяйки измервателната единица от килоом на ом.

Чрез бутона  или с командата *Simulate* (функционалния бутон **F11**) от менюто *Analysis* (фиг. 6) стартирайте симулацията.

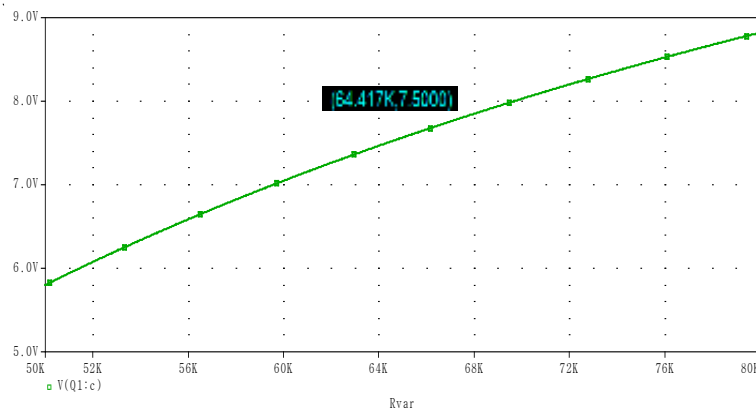
Netlist-a и командите за извършване на анализи (*Circuit file*) имат вида: съответно фиг. 19 и фиг. 20.

<pre>* Schematics Netlist * R_R2 0 2 28k R_Rg 1 in 600 R_R4 0 4 1.5k C_C3 0 4 100u Q_Q1 3 2 4 Q2N4123 R_Rt 0 out 10k R_R3 3 Vcc 3.4k V_Vcc Vcc 0 15 C_C1 in 2 10u C_C2 3 out 10u V_Vi 1 0 DC 0V AC 0V R_R1 2 Vcc {Rvar} - параметър</pre> <p>фигура 19</p>	<pre>.PARAM Rvar=142k - параметър с име Rvar и стойност 142K ** Analysis setup ** анализ 'постояннотокова развивка' мащаб променлива име на променливата .DC LIN PARAM Rvar 50k 80k 30 начална стойност крайна стойност интервал на изменение .OP - анализ 'детайли на работната точка'</pre> <p>фигура 20</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------


Резултатите от анализа *DC Sweep* са само в графичен вид. След завършване на изчислителните процеси, автоматично се отваря графичният постпроцесор *Probe* в прозореца с резултати.




фигура 21

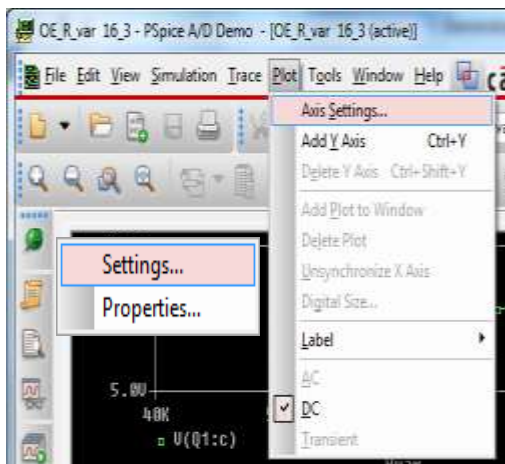


фигура 22

Поради това, че трябва да се изобрази само напрежението на колектора, е уместно върху схемата да се постави маркер за потенциал на възел  (фиг. 21), което ще осигури автоматично с отварянето на прозореца с резултати, построяването и на желаната графика (фиг.22).

 За да получите графиката във вида от фиг.22 е необходимо на промените някой настройки:

- променете мрежата (грида) на работната страница, като за целта от менюто *Plot* чрез опцията *Axis settings ...*, или след кликане на десния бутон на мишката в работната страница върху някоя от линиите на мрежата, изберете *Settings ...* (фиг. 23), след това въведете препоръчителните настройки за **XGrid** и **YGrid** предложени на фиг. 24 и фиг. 25;



фигура 23



фигура 24

- за да изобразите графиката на целия екран променете настройките и на оста X (**X Axis**), както е показано на фиг. 26 (зададеният по-рано интервал на променливата по оста **X** - от **50k** до **80k**);



фигура 25



фигура 26

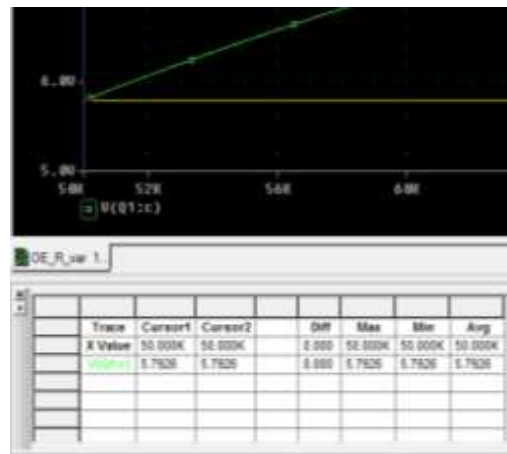
- Аналогично можете да промените и други настройки на осите и графиката (цвет, формат на текста, вид на фрафиката и др.);
- Когато на екрана са изведени една или повече развивки, с помощта на курсорите в *Probe* могат да се следят точните координати на две точки от една

крива или на точки от две различни криви. Освен това се показват и разликите между съответните координати на двата курсора.

Извеждането на курсорите ще извършите от менюто *Trace* чрез опцията *Cursor*, *Display* или след кликуване на бутона  *Toggle cursor* (фиг. 27).




фигура 27






фигура 28

В резултат на това, в началото на построената графика се позиционират два курсора, а в полето със стойности са посочени текущите координати на курсорите по x (първи ред – стойностите на R_1) и y (втори ред – стойностите на $V(3)$) (фиг. 28). В първата колона са дадени показанията за 1-ви курсор, който се управлявате с левия бутон на мишката с провлачване в ляво и дясно, или чрез няколкократно натискане на бутоните наляво и надясно на клавиатурата. Във втората колона - за 2-ри курсор, който ще управлявате с десния бутон.


 Първоначално използвайте показанията само на първия курсор!

Позиционирайте курсора на необходимата стойност $V(3)=7.5V$ или най-близката до нея. За по-голяма точност използвайте бутона *Zoom area* . При нея отчитаме $R_1=64.417k$.

За да запомните стойността на курсора в работното поле от менюто *Plot* изберете опцията *Label, Mark* или бутона  *Mark Label* (фиг. 29).

 Преди да поставите маркера чрез бутона *Zoom Fit*  възстановете първоначалния мащаб на работното поле.

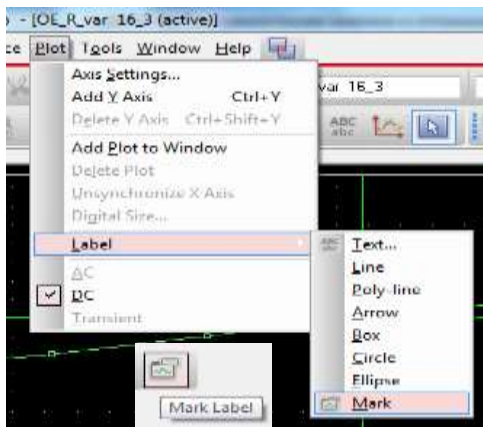
Определянето на точна стойност от графиката може да постигнете и чрез специалните функции (*Measurements*). В дадения случай е подходяща функцията $XatNthY(1, Y_value, n_occur)$ (търсене стойност по остта X при зададена стойност на величината от остта Y). За целта от менюто *Trace* изберете опцията *Evaluate Measurement ...* или кликнете бутона *Evaluate*

Measurement  (фиг. 30). Отваря се поле за задаване на търсената функция или на величината изобразявана по остта Y (фиг. 31).

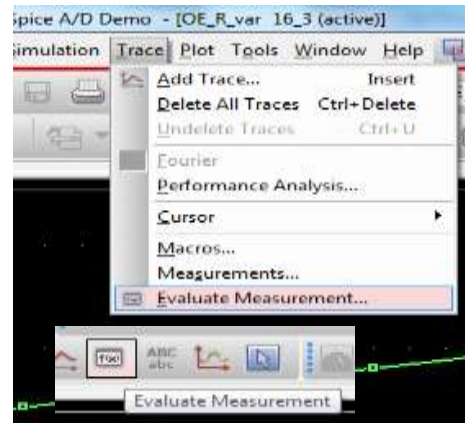
Това поле може да бъде разделено на 4 части.

В лявата страна са дадени изчислените величини след симулацията. Това са токовете в клоните, потенциалите на възлите и мощностите в схемата.

В средата чрез разрешение (чекване), се избира кои да са достъпните величини в дясната страна. За конкретния случай е достатъчно да са достъпни само потенциалите на възлите.



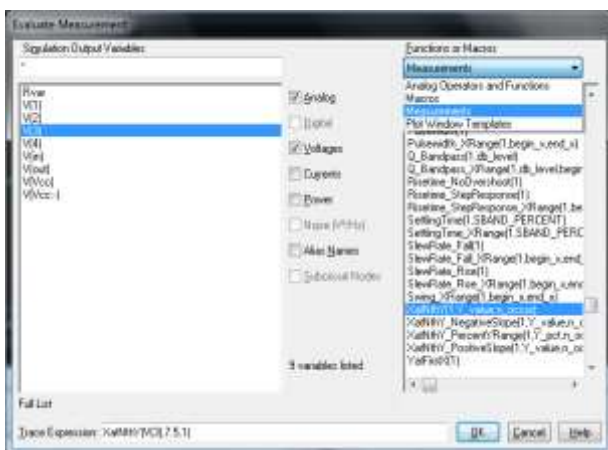
фигура 19



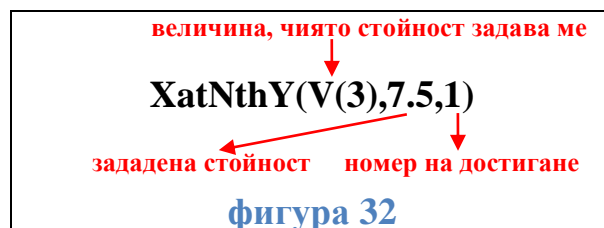
фигура 20

В дясната част са посочени специалните функции (ако е избрано *Measurements*) или математическите действия (ако е избрано *Analog Operators and Functions*), които могат да бъдат извършени с избраните величини преди изобразяването.

В долната част е полето в което се записва търсената функция или изобразяваната величина по оста **Y**. Полето се попълва чрез изписване от клавиатурата, или чрез кликуване върху величините от лявата и дясната. В разглеждания случай се изписва величината **XatNthY(V(3),7.5,1)** (фиг. 32), а резултатът с търсената стойност се получава в специално поле (фиг. 33).



фигура 21



фигура 32

Evaluate	Measurement	Value
<input checked="" type="checkbox"/>	XatNthY(V(3),7.5,1)	64.41681k

фигура 33

И така, в резултат на оптимизационната процедура, получихме, че **V(3)=7.5V** при **R₁=64.417k (64.4168k)**. Но това не е стандартна стойност на резистор. Поради тази причина избираме резисторът с най-близката стандартна стойност **R₁~64.9k** от $\pm 1\%$ ред (E96).

Проверката на достоверността на получения резултат ще осъществите, чрез

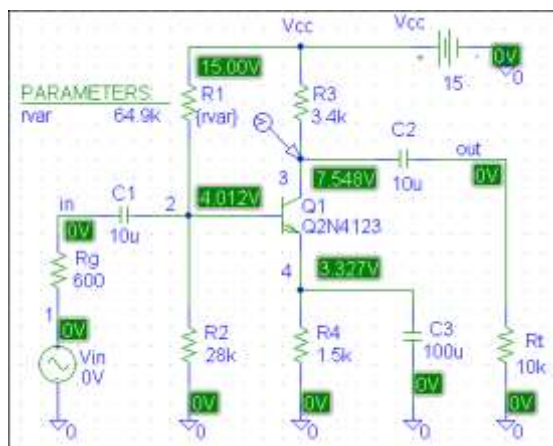
промяна в схемата и ново стартиране на анализа.

За целта в атрибутите на елемента **PARAMETERS** променете стойността на параметъра **VALUE1** от **142k** на **64.9k** и изключете анализа **DC Sweep** (оставете само анализа **Bias point detail**) - фиг. 34.

Резултатите от новият анализ потвърждават, че при **R₁=64.9k**, напрежението на колектора има стойност **V(3)≈7.5 (7.548)** (фиг. 35).



фигура 34



фигура 35

Относителната грешка изчисляваме по формулата $\delta = \frac{X_{\text{получена}} - X_{\text{зададена}}}{X_{\text{зададена}}}, \%$. В

$$\text{случая } \delta_{V(3)} = \frac{V(3)_{\text{получена}} - V(3)_{\text{зададена}}}{V(3)_{\text{зададена}}} = \frac{7.548 - 7.5}{7.5} = 0.64, \%$$



Получената стойност за δ е малка, следователно сме удовлетворили поставените изисквания. Грешката се дължи на това, че използваме резистор със стандартна стойност, а не точно отчетената стойност.



Начертайте, анализирайте и оптимизирайте електронни схеми по ваш избор, за да се уверите, че можете да използвате постояннотоковите и параметрични анализи. Разучете по-подробно възможностите на програмния осцилоскоп Probe за изобразяване на резултати в графичен вид.