

### III. ТОЛЕРАНСЕН АНАЛИЗ

3.1. Толерансен анализ по метода Монте Карло. Приложение на програми от типа на PSpice за толерансен анализ. Задаване на индивидуални толеранси и дефиниране на корелирани изменения чрез оператора .MODEL.

3.2. Толерансен анализ чрез анализ в най-лошия случай. Приложение на програми от типа на PSpice за толерансен анализ. Задаване на индивидуални толеранси и дефиниране на корелирани изменения чрез оператора .MODEL.

**3.1. Толерансен анализ по метода Монте Карло. Приложение на програми от типа на PSpice за толерансен анализ. Задаване на индивидуални толеранси и дефиниране на корелирани изменения чрез оператора .MODEL.**

- ❑ **Статистическият (Монте Карло) анализ позволява да се изследва **Влиянието на производствените толеранси** върху схемните характеристики.**
- ❑ **Този анализ се извършва чрез **задаване на случайни стойности за параметрите на схемните елементи**, за които са дефинирани толеранси, в съответствие с избран закон на разпределение.**

### 3.1.1. Приложение на програми от типа на PSpice за толерансен анализ

С помощта на графичния анализатор Probe се изобразява **толерансното поле на изследваната характеристика** и се построяват съответни **хистограми**.

**Процедурата** за анализ по метода Монте Карло включва следните стъпки:

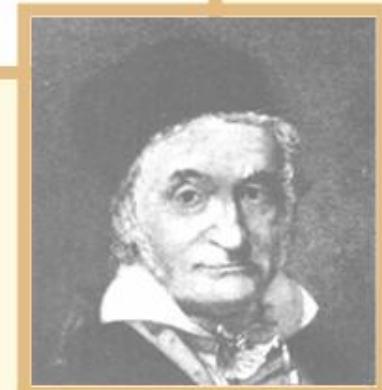
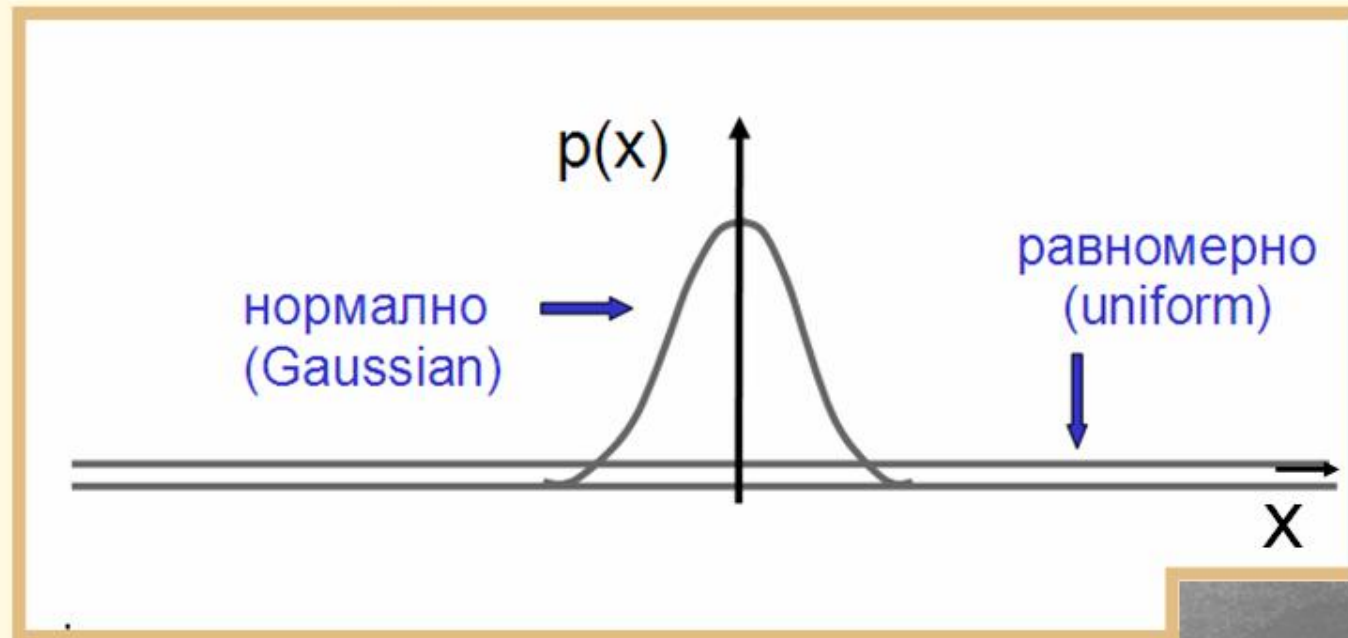
#### **1. Задаване на толеранси на параметрите**

Задаването на **закон на разпределение** се извършва по два начина:

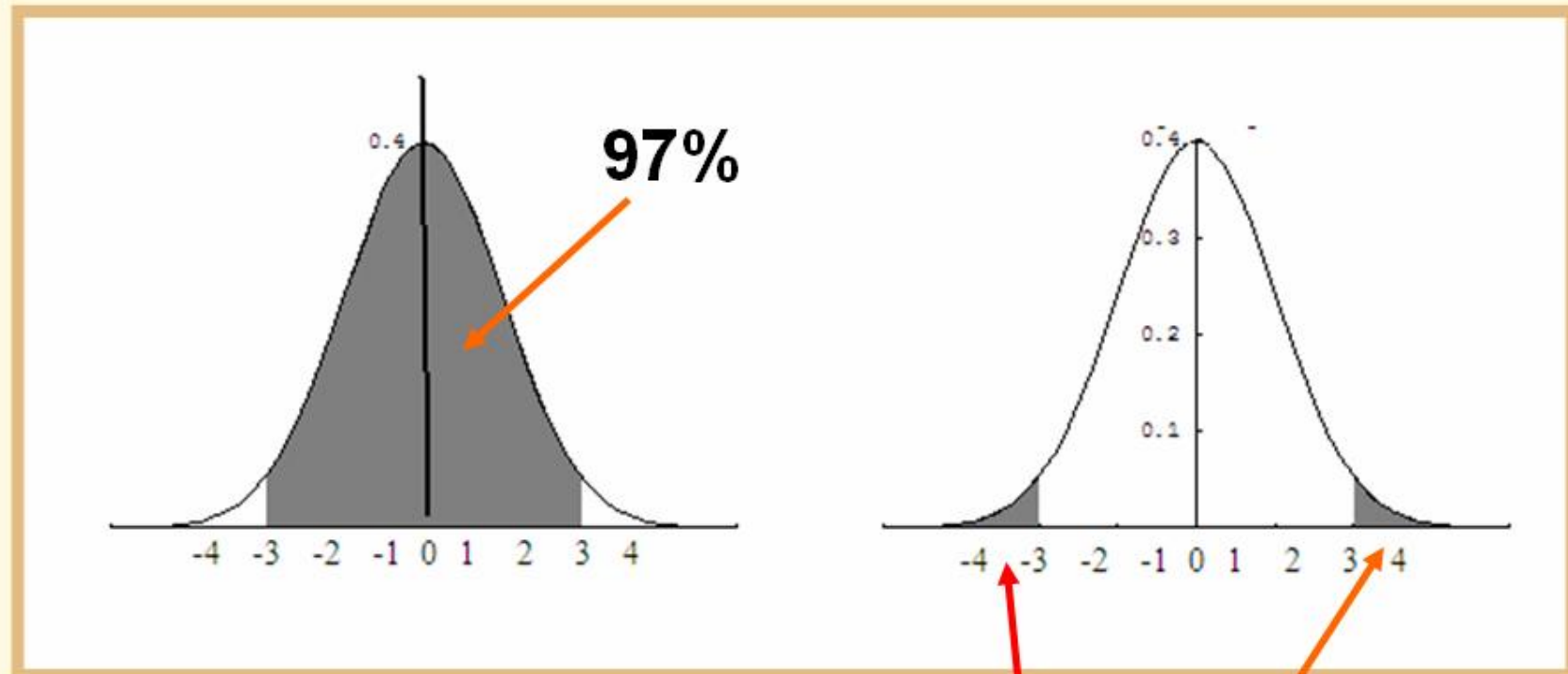
- чрез дефиниране на **общ тип разпределение** за всички зададени с толеранси елементи в схемата;
- чрез дефиниране на **индивидуални закони на разпределение** за параметрите на отделните елементи чрез оператора **.MODEL.**

## Закони на разпределение, зададени като стандартни в PSpice

- Нормално (Гаусово, камбановидно)
- Равномерно



Karl Friedrich Gauss 1777-1855



**$\sigma$**  - (стандартно отклонение)

Извън интервала  $\pm 3\sigma$

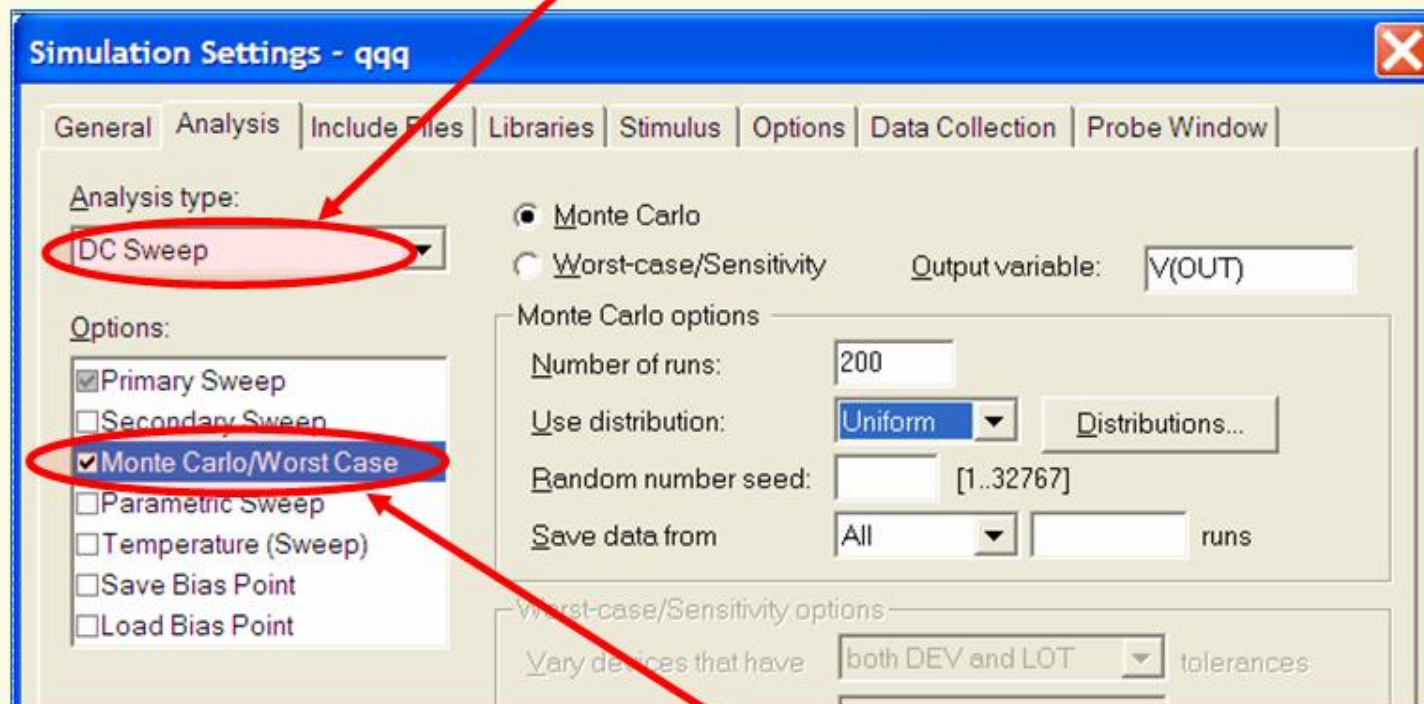
са само **3%** от попаденията

Дефиниране на **общ тип разпределение** за всички зададени с толеранси елементи в схемата:

- Когато елементите се характеризират с еднотипно разпределение на стойностите в рамките на производствения толеранс, това разпределение може да се укаже за **цялата схема** чрез настройка на опциите на системата.
- Задаването на толеранси на параметрите на схемните елементи тип **R, L и C** се извършва чрез редактиране на атрибута им **TOLERANCE**, като в полето за стойността му се записва толерансът в проценти.

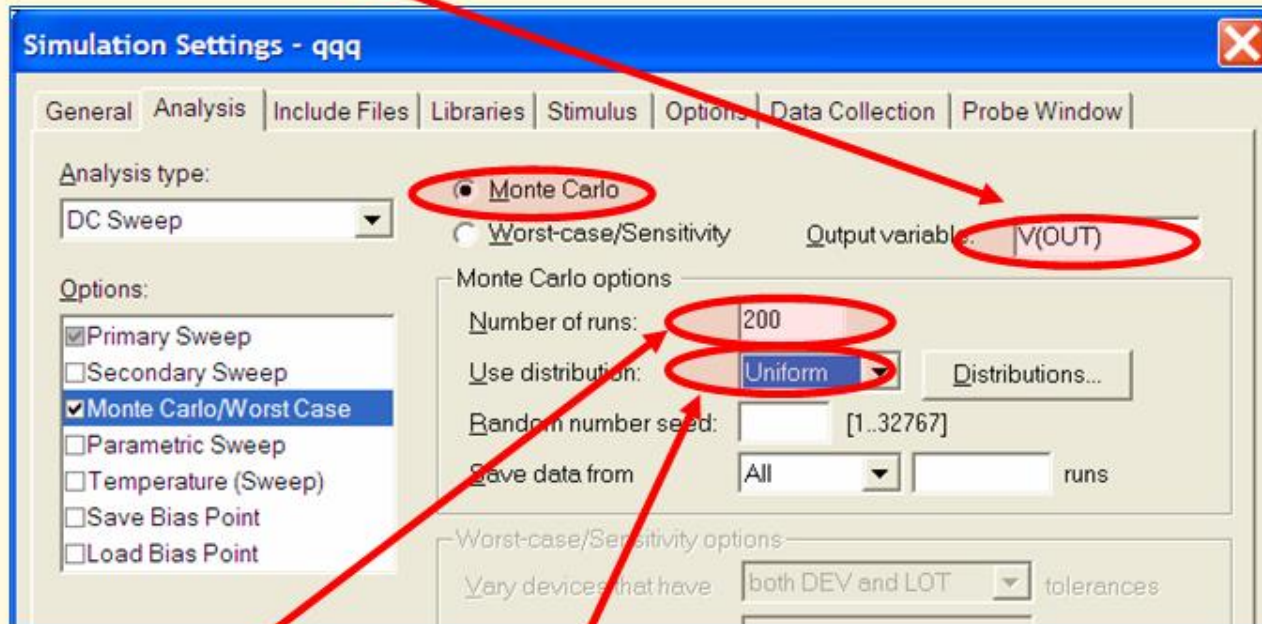
## 2. Дефиниране на анализите

- Дефинира се **основният анализ**.



- Задава се и **толерансен статистически анализ Monte Carlo/Worst Case**

- Задава се името на изходната променлива, напр. **V(OUT)**;



- Дефинират се параметрите на анализа: брой статистически изпитания (number of runs); тип разпределение – нормално (Gaussian) или равномерно (Uniform).



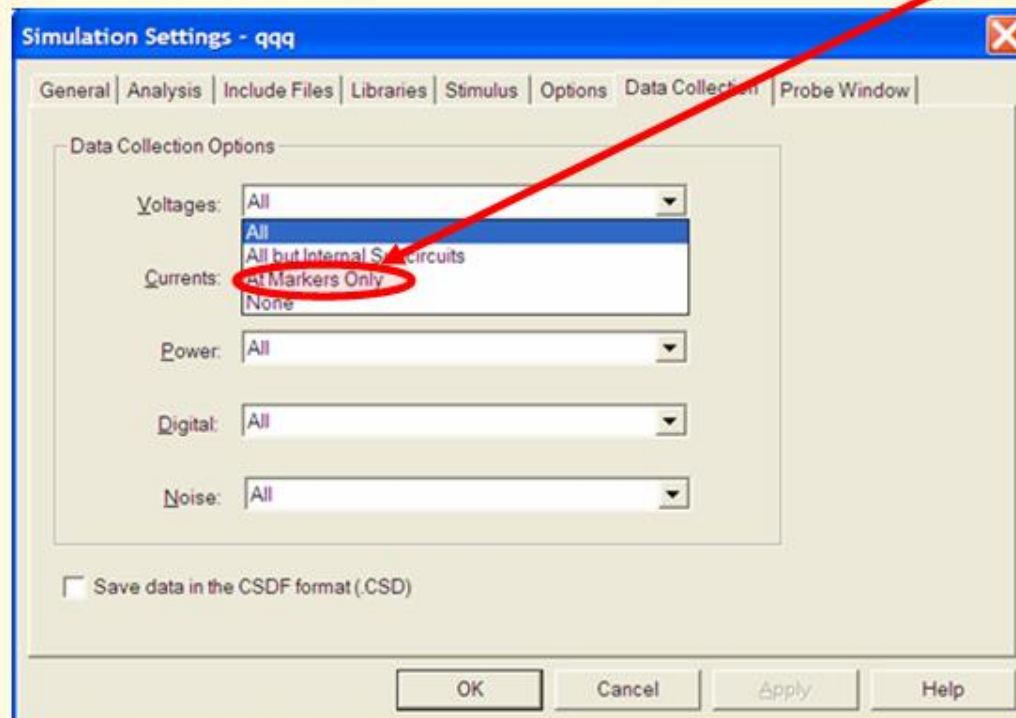
## Начин за ускоряване на статистическия анализ

За да се ускори статистическият анализ и да се намали размерът на файла с резултати в графичен Вид (dat-файла), е целесъобразно потребителят да **ограничи броя на подаваните към Probe изходни характеристики**, като укаже само онези, които го интересуват.

За целта интересуващите ни величини се обозначават в чертежа с маркери за напрежение и/или ток и чрез менюто

**PSpice/Edit Simulation Profile/Data Collection**

се настройва системата за извеждане в Probe само на маркираните величини (**At markers only**).



### **3. Построяване на хистограма чрез Probe**

Хистограмата се построява по следната процедура:

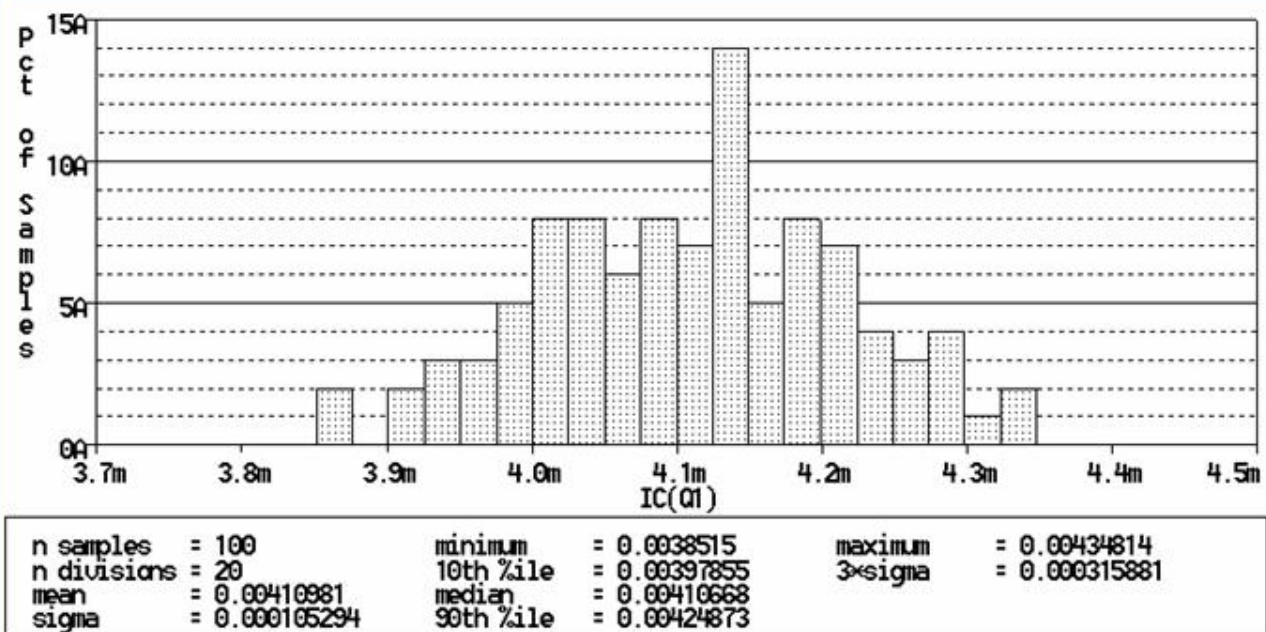
**3.1.** В менюто **Plot/Axis Settings** се избира променливата по оста X чрез

**X Axis/Performance Analysis**

**3.2.** Задава се променливата, чиято хистограма се построява, чрез менюто

**Trace/Add...**

- По оста Y се извежда процентът попадения на величината в съответните подинтервали между минималната и максималната стойност.
- Привеждат се също така и резултати от статистическата обработка – средна стойност (Mean), стандартно отклонение (Sigma) и др.



### 3.1.2. Задаване на индивидуални толеранси и дефиниране на корелирани изменения чрез оператора .MODEL

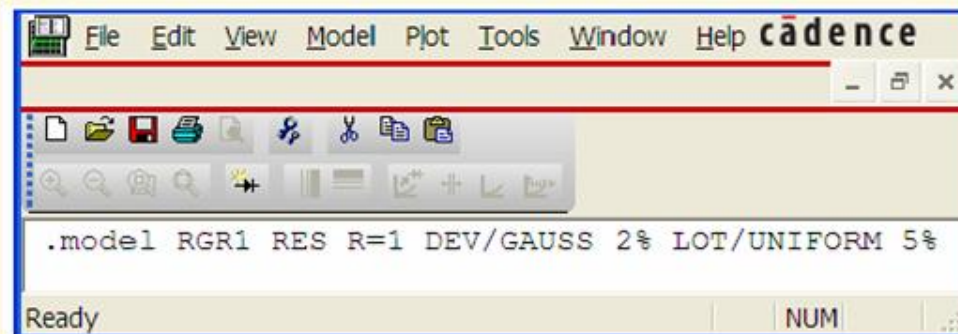
- Задаването от потребителя на **специфични закони на разпределение**, както и дефинирането на **корелация** между параметри на схемни елементи, се извършва с помощта на оператора **.MODEL**.
- Елементите, чиито атрибути могат да бъдат редактирани, се съхраняват в библиотеката **BREAKOUT.LIB**. Такива са резистор (**Rbreak**), кондензатор (**Cbreak**), бобина (**Lbreak**) и др.

- ❑ Задаването на индивидуални толеранси, типове разпределение и корелация между стойностите на елементите се извършва чрез редактирането параметрите на модела на съответния компонент от моделната библиотека **BREAKOUT.LIB.**
- ❑ За целта се избира елементът и с десен клавиш се избира менюто за редактиране

**Edit PSpice Model**

- Например, моделът на резистор **Rbreak** от библиотеката **BREAKOUT.LIB**. по погразбиране има вида: **.model Rbreak RES R=1**
- За дефиниране на група от резистори, чиито параметри имат **корелирано (съвместно) равномерно разпределение 5%** и **независими изменения по 2% по нормален (Гаусов) закон**, е необходимо да се редактира описанието на елемента чрез оператора **.MODEL**, който добива вида:

**.model RGR RES R=1 DEV/GAUSS 2% LOT/UNIFORM 5%**



**.model RGR RES R=1 DEV/GAUSS 2% LOT/UNIFORM 5%**

**където:**

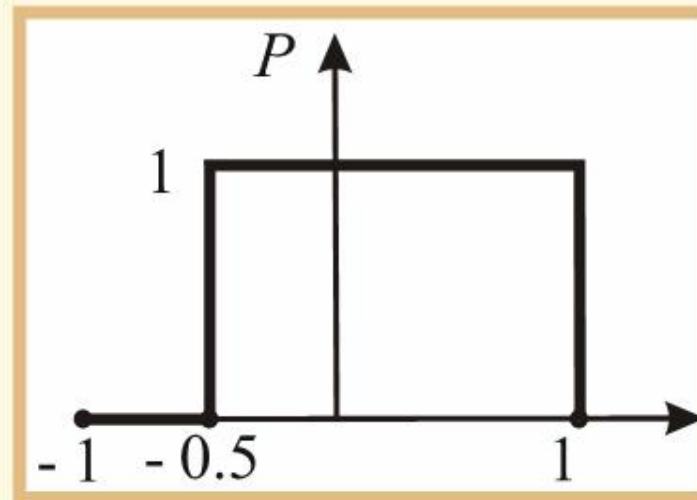
- с **DEV** се указва независимо изменение;
- с **LOT** – корелирано изменение;
- с **GAUSS** се задава нормално разпределение;
- с **UNIFORM** се задава равномерно разпределение.
- RGR** е името на дефинираната група елементи с индивидуални разпределения.



## Задаване на несиметрични разпределения

С помощта на оператора **.MODEL** може да се зададе **несиметрично разпределение** на даден параметър. За целта се използва операторът **.DISTRIBUTION** за задаване на нови потребителски дефинирани разпределения.

Например, за задаването на несиметричен толеранс на съпротивлението на резистор от **-5% до +10%** от номиналната стойност, се използва функцията на разпределение, показана на фиг. 1, която дава вероятността за генериране  $P$  на случайни числа в интервала  $(-1,1)$



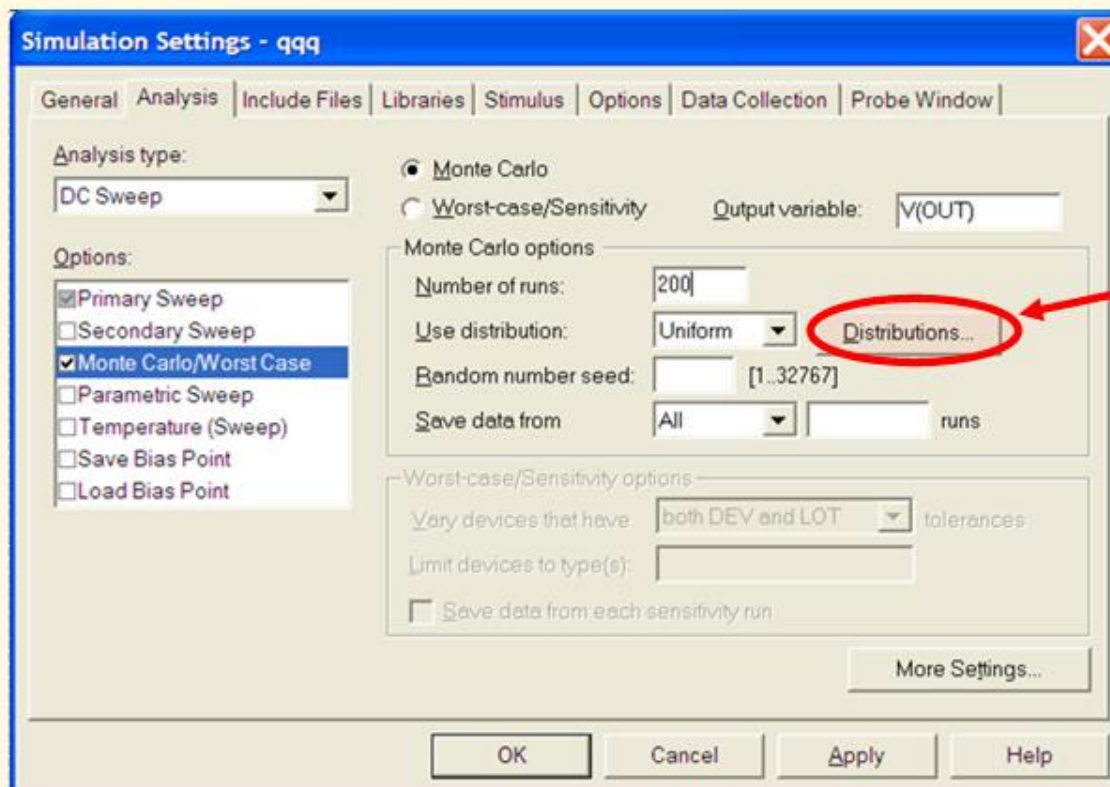
Фиг. 1

Описва се във вида:

**.DISTRIBUTION <име> (-1,0) (-0.5,0) (-0.5,1) (1,1)**

# Процедура за дефиниране на несиметрични толеранси

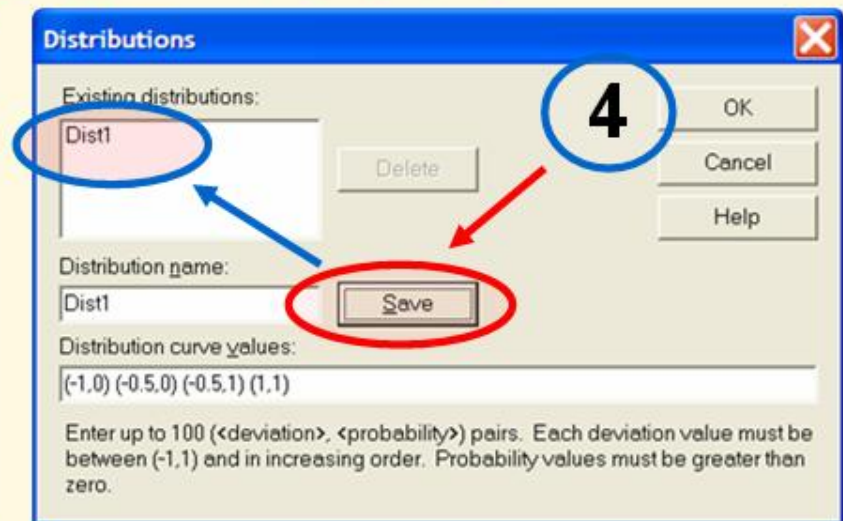
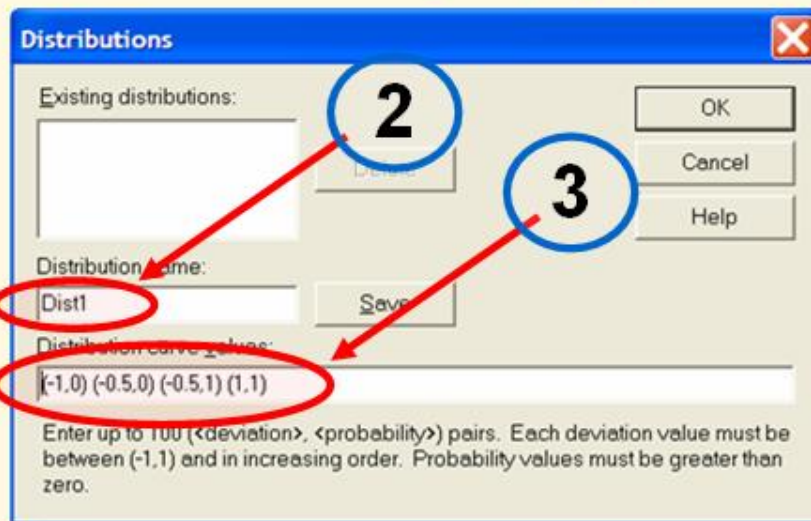
**1.** В менюто **Monte Carlo/Worst Case** се избира подменюто за задаване на разпределение (**Distribution**).



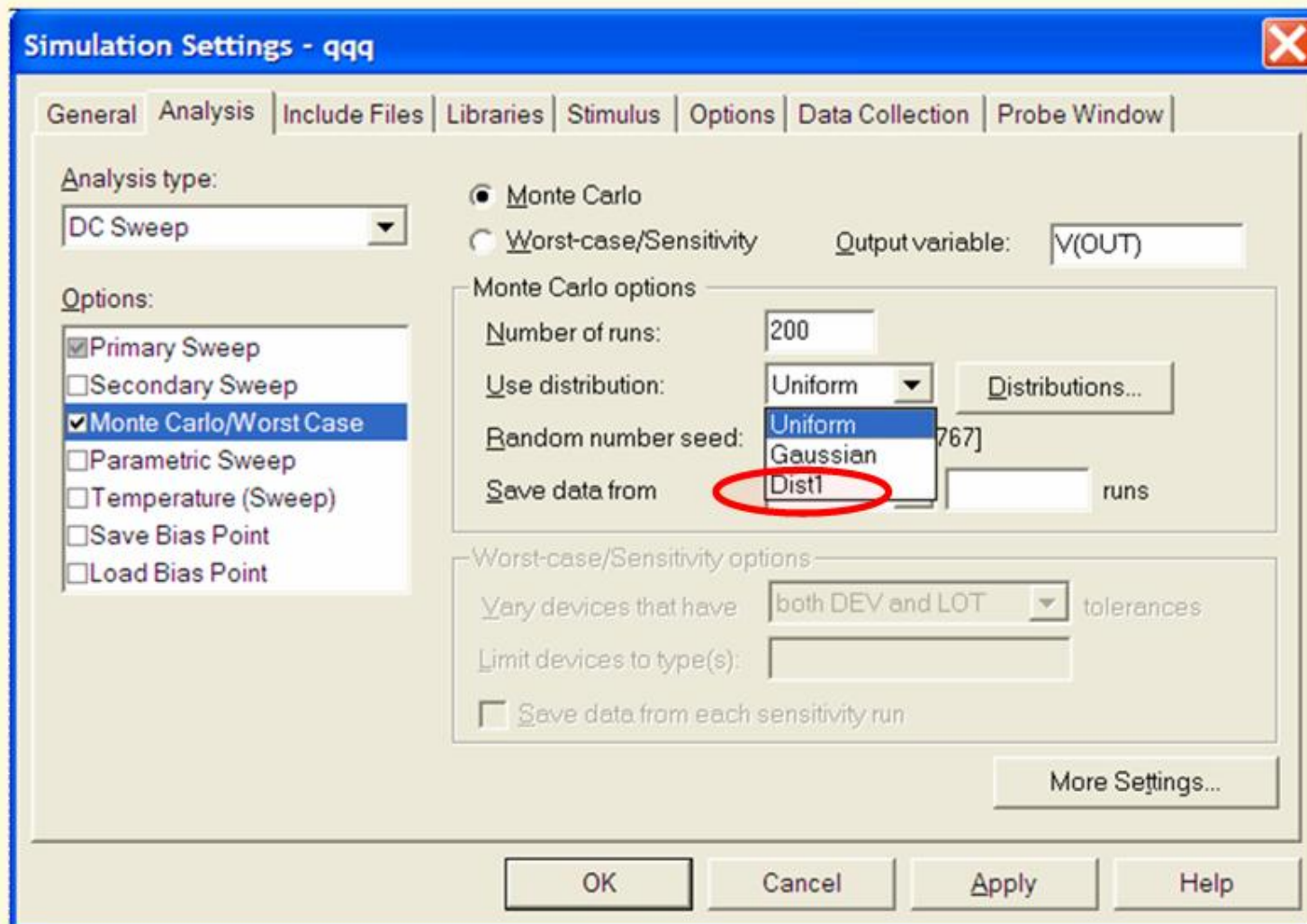
2. Въвежда се име на разпределението в полето **Distribution name**, например **Dist1**.

3. В полето за задаване на стойности на кривата на разпределение **Distribution curve value** се въвеждат стойностите, описващи функцията на разпределение P във вида **(разпределение, вероятност)**.

**(-1,0) (-0.5,0) (-0.5,1) (1,1)**



Името на дефинирания тип разпределение **DIST1** се включва автоматично в списъка на разпределенията



**3.** От подменюто за задаване на разпределение **Use Distributions** на менюто **Monte Carlo/Worst Case** се избира разпределението **Dist1** от списъка с разпределенията. По този начин параметрите на всички елементи, за които е зададен атрибутът **TOLERANCE**, се дефинират с този тип разпределение. Изпълнението на стъпки 1 – 3 води до включване в sir-файла на инструкциите:

**.OPTIONS DISTRIBUTION Dist1**

**.DISTRIBUTION Dist1 (-1,0)(-0.5,0) (-0.5,1) (1,1)**

**4.** Избира се елемент от групата **RGR** и се редактира PSpice моделът (Edit PSpice Model) на резистора за задаване на независими отклонения (тип **DEV**) на стойността в диапазона от **-5%** до **+10%** от номиналната стойност:

```
.MODEL RGR RES R=1 DEV/Dist1 10%
```

3.2. Толерансен анализ чрез анализ в най-лошия случай. Приложение на програми от типа на PSpice за толерансен анализ. Задаване на индивидуални толеранси и дефиниране на корелирани изменения чрез оператора .MODEL.

- Освен чрез статистически анализ, симулаторът PSpice позволява да се изследва влиянието на производствените толеранси върху схемните характеристики и чрез анализ **в най-лошия случай.**
- Този анализ дава възможност да се направи **бърза оценка на максималното отклонение на изходната характеристика от номинала при най-неблагоприятната комбинация от изменения на схемните параметри в рамките на производствените им толеранси.**



### 3.2.1. Приложение на програми от типа на PSpice за толерансен анализ чрез анализ в най-лошия случай

- Анализът се извършва като се задават производствените толеранси  $\varepsilon_i\%$  на схемните елементи  $q_{oi}$ ,  $i=1,2,\dots,m$  и се дефинира изходната характеристика  $F$ , която ще се изследва.
- Симулаторът PSpice извършва анализа в най-лошия случай като се задават **едновременно максимални отклонения на параметрите на всеки от схемните елементи в посока, която води до увеличаване на стойността на изследваната изходна характеристика  $F$ .**

Симулаторът PSpice извършва анализа в най-лошия случай по следния **алгоритъм**:

1. За всеки елемент  $q_{oi}$  се определя **знакът**  $z_i$  на **производната**  $\partial F / \partial q_{oi}$ :

$$z_i = \text{sign} \left( \frac{\partial F}{\partial q_{oi}} \right) \quad i=1,2,\dots,m.$$

За определяне на производната се използва приблизителният метод на нарастъците. Задава се нарастък на параметъра

$$\Delta q_i = \varepsilon \cdot q_{oi}$$

За стойност на  $\varepsilon$  се приема данната за относителната точност **RELTOL** на симулатора.

**За стойността на параметъра**

$$q_i = q_{oi} + \Delta q_i$$

**се изчислява новата стойност на изходната характеристика  $F_i = f(q_i)$ , откъдето се намира:**

$$\frac{\partial F}{\partial q_{oi}} \approx \frac{\Delta F}{\Delta q_i} = \frac{F_i - F}{\Delta q_i}$$

**2. Задават се едновременно максимални отклонения на параметрите на всеки от схемните елементи в посока, която води до увеличаване на стойността на  $F$ :**

$$q_i = q_{oi} \left( 1 + \frac{z_i \varepsilon_i \%}{100} \right)$$

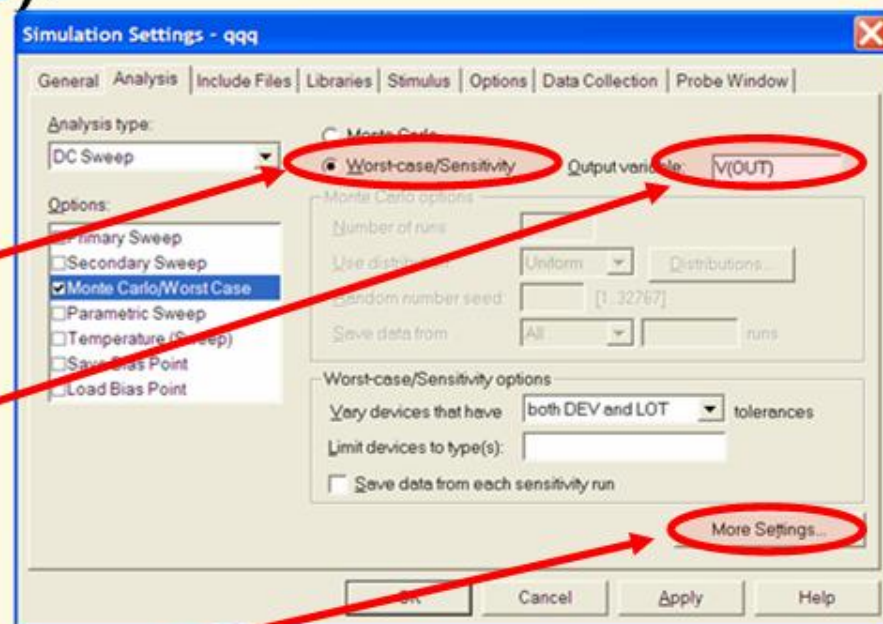
**3.** Извършва се анализ за максимално отклонените стойности на схемните параметри  $q_i, i=1,2,\dots,t$  и се изчислява максимално отклонената в посока на увеличение изходна характеристика  $F_{HI}$ .

**4.** По аналогичен начин се изчислява максимално отклонената в посока на намаление изходна характеристика  $F_{LO}$ . За целта се задават едновременно максимални отклонения на параметрите на всеки от схемните елементи в посока, която води до намаление на стойността на  $F$ .

Общият брой анализи, необходими за изследване в най-лошия случай, е  $(t+2)$  и е **значително по-малък от необходимия брой анализи за статистически анализ.**

## Процедура за задаване на анализ в най-лошия случай

1. Задават се производствените толеранси на схемните елементи
  2. Дефинира се основният анализ.
  3. Задава се и толерансен анализ (**Monte Carlo/Worst Case**).
- ❑ В менюто за толерансен анализ се задава анализ в най-лошия случай (**Worst Case/Sensitivity**).
  - ❑ Въвежда се **името на изходната променлива**.
  - ❑ Извиква се менюто за допълнителни настройки на анализа



**4. Дефинира се посоката на изменение на изходната величина в най-лошия случай: в посока нагоре (HI) или надолу (LO)**

**Чрез графичния анализатор Probe може лесно да се построи толерансното поле на изходната величина в резултат от производствените толеранси на схемните елементи.**

**За целта се извършват две симулации в най-лошия случай – една в посока нагоре (HI) и една в посока надолу (LO), като резултатите се записват в отделни dat-файлове. Толерансното поле се изобразява в Probe като към първия резултат (вариант HI) се добавя вторият (вариант LO) (чрез менюто на **Probe File/Append Waveform**).**

