Analyzační režimy

- Krokování (Stepping)

- Teplotní analýza (Thermal Analysis)

- Vyhodnocovací analýza (Performance Analysis)

- Statistická analýza (Monte Carlo, Worst Case)

Teplotní analýza

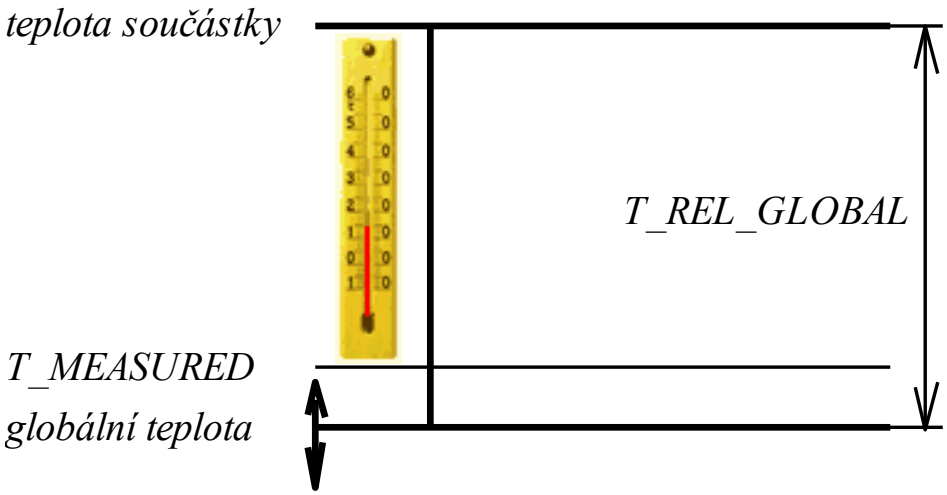
Druhy „simulačních teplot“

Teplota součástky – Pracovní teplota součástky, která bezprostředně ovlivňuje její elektrické parametry. U integrovaných obvodů se nerozlišuje mezi teplotou čipu, pouzdra, chladiče a okolí.

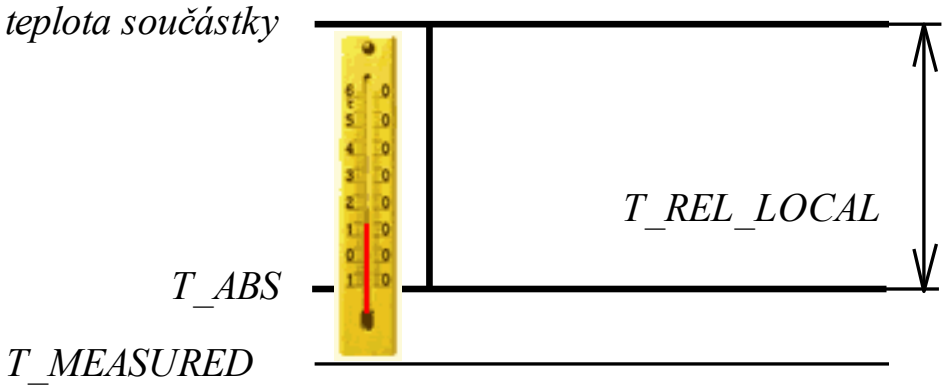
Nominální teplota – “Univerzální“ přednastavená teplota, od níž se implicitně odvíjejí všechny další teploty.
Standardně: TNOM=27 stupňů Celsia (v Global Settings)

Globální teplota – teplota všech součástek (pokud není specifikováno jinak), daná příkazem .TEMP.

Teplotní analýza



rozmítání teploty příkazem .TEMP



Implicitní hodnoty:

T_MEASURED = *TNOM*,
T_ABS .. není aktivní,
T_REL_GLOBAL = 0,
T_REL_LOCAL .. není aktivní.

u každé součástky můžeme definovat vlastní teplotní režimy

Teplotní analýza

Příklady:

.Model Q NMOS (T_MEASURED=32)

Globální teplota je 30 stupňů Celsia, zadáme model:
.MODEL N1 NPN(T_REL_GLOBAL=40)

Pak tranzistory s tímto modelem budou mít teplotu 70 stupňů.

Globální teplota je 27 ℃.

.MODEL N1 NPN(T_ABS=30)
N1 bude mít 30 stupňů nezávisle na globální teplotě.

.MODEL N2 AKO:N1 NPN(T_REL_LOCAL=25)
N2 je naklonován z N1, jeho teplota bude 55 stupňů.

Teplotní analýza

Zadávání teplotních závislostí součástek R, L, C

Lineární a kvadratický teplotní koeficient:

$$TF = 1 + TC1 * (T - T_MEASURED) + TC2 * (T - T_MEASURED)^2$$

Exponenciální teplotní koeficient:

$$TF = 1{,}01^{TCE*(T - T_MEASURED)}$$

Nejběžnější je použití lineárního součinitele, který bývá udáván v katalogových listech pasivních součástkách v jednotkách *ppm*/°C. Typické hodnoty *TC*1 pro odpory, kapacity a indukčnosti, které jsou 3000 *ppm*/°C, 1500 *ppm*/°C a 200 *ppm*/°C, je třeba zadat v hodnotách 3*m*, 1,5*m* a 0,2*m*.

Teplotní analýza

Zadávání teplotních závislostí součástek R, L, C

1) zadávání v definici součástky:

R<jméno> <(+) uzel> <(-) uzel> [jméno modelu] <odpor> [TC = <TC1> ,<TC2>]]

Příklady:

Rx 1 2 1K TC=3m	;odpor Rx s lineárním teplotním součinitelem 3000ppm
Rxx 11 22 TC=3m,4u	;odpor Rxx s lineárním a kvadratickým tepl. součinitelem
R1 B E 5K	;odpor R1 s nulovými teplotními součiniteli

Teplotní analýza

Zadávání teplotních závislostí součástek R, L, C

Model parameters[1]	Description	Units	Defau lt
R	resistance multiplier		1.0
TC1	linear temperature coefficient	$^{\circ}C^{-1}$	0.0
TC2	quadratic temperature coefficient	$^{\circ}C^{-2}$	0.0
TCE	exponential temperature coefficient	%/˚C	0.0
T_ABS	absolute temperature	˚C	
T_MEASURED	measured temperature	˚C	
T_REL_GLOBAL	relative to current temperature	˚C	
T_REL_LOCAL	relative to AKO model temperature	˚C	

Teplotní analýza

Zadávání teplotních závislostí součástek R, L, C

Příklady:

```
R0 23 33 odpor 12k                ;odpor 12k s lineárním teplotním
.MODEL odpor RES TC1=2m           ;součinitelem 2000ppm

R0 23 33 odpor 12k
.MODEL odpor RES R=2 TC1=2m       ; odpor 24k s lineárním teplotním souč.
                                  2000ppm; teplota rezistoru je 0 stupňů C
                                  nezávisle od teploty ostatních součástek

R0 23 33 odpor 12k                ;odpor 12k "zmrazený" na nulu Kelvinů,
.MODEL odpor RES T_ABS=-273       takže neprodukuje tepelný šum
```

Vyhodnocovací analýza

je plně realizována v PROBE

Vyhodnocovací analýza je aplikace měřicích funkcí na výstupní data simulačního programu.

Okamžitý režim - měření („*Measurement*“):

Trace/Measurements

nebo

Trace/Evaluate Measurement

Postupy – viz cvičení. Výhoda druhé metody: výsledky měření jsou stále k dispozici v pruhu pod obrázkem průběhů.

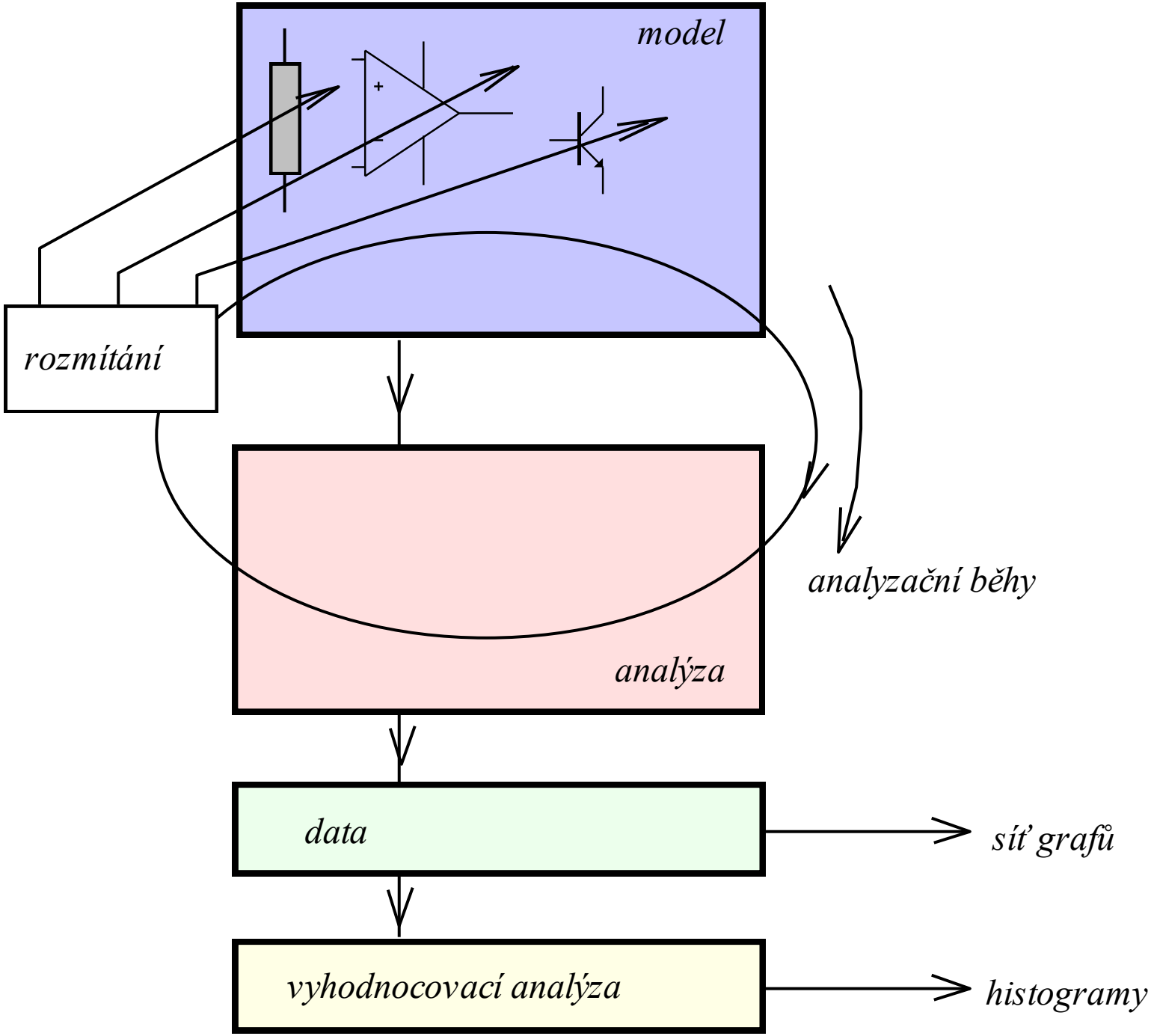
Vyhodnocovací grafy („*Performance Analysis*“):

Zpracovávají se výsledky vícenásobné analýzy (krokování).

Trace/Performance Analysis + Wizard

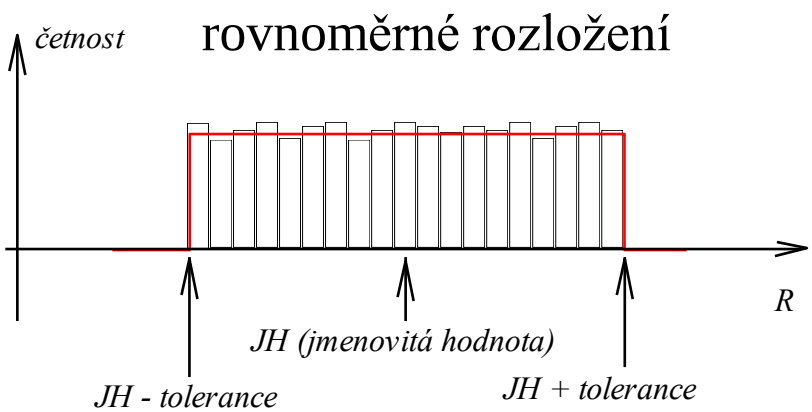
Statistická analýza

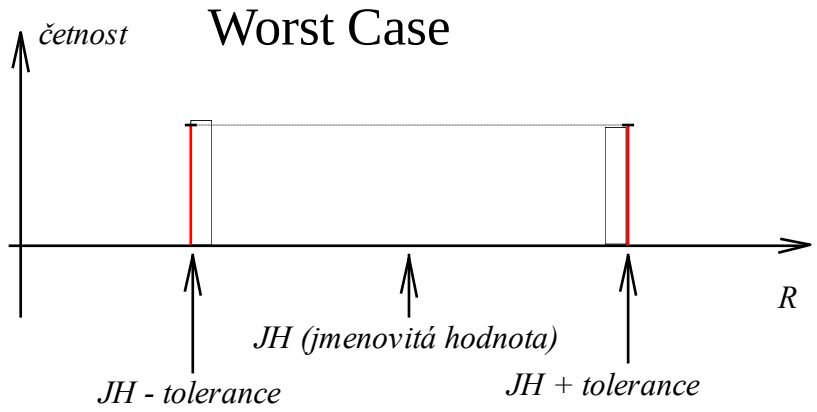
Hlavním cílem je zjistit, nakolik výrobní rozptyly parametrů jednotlivých součástek ovlivňují vlastnosti obvodu. Jinými slovy, jak může nedodržení jmenovitých hodnot jednotlivých parametrů odklonit výsledné charakteristiky obvodu od charakteristik požadovaných.

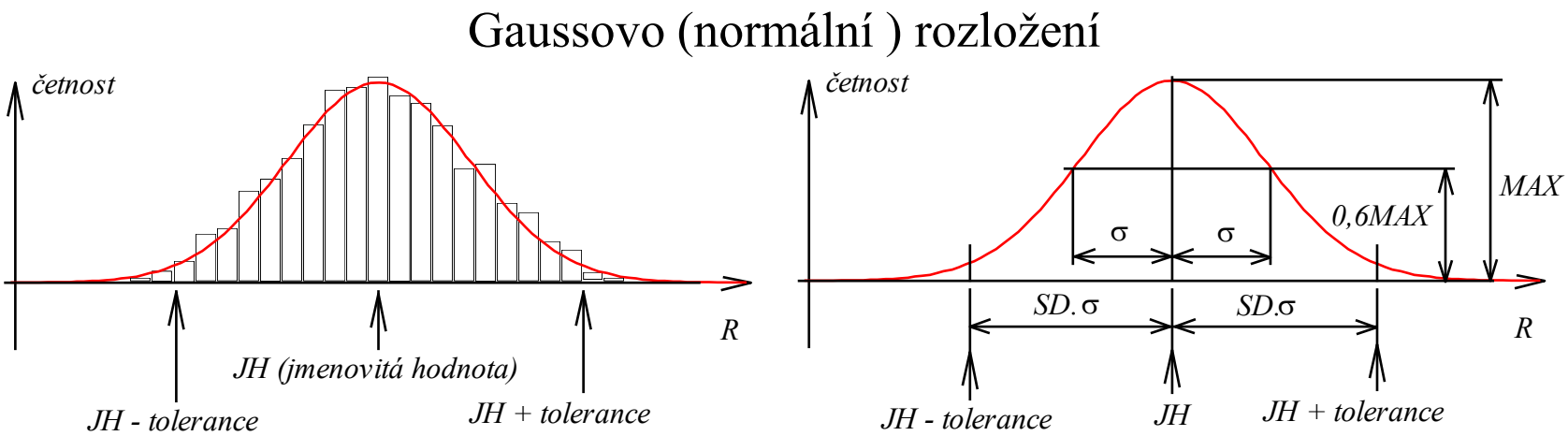

model
rozmítání
analyzační běhy
analýza
data
síť grafů
vyhodnocovací analýza
histogramy

Statistická analýza

Statistické zákonitosti rozložení parametrů součástek

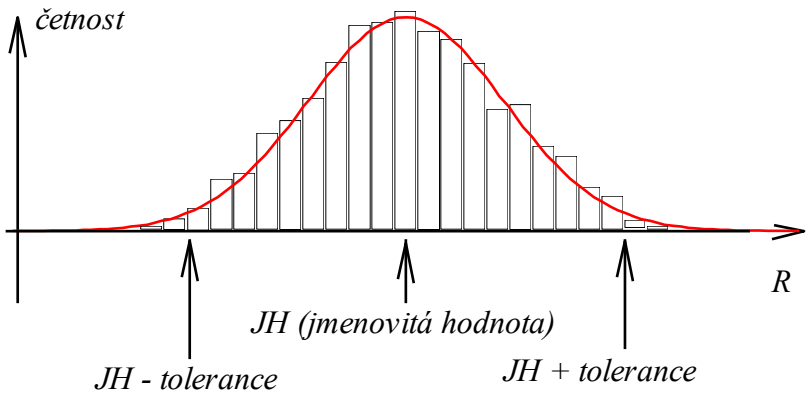


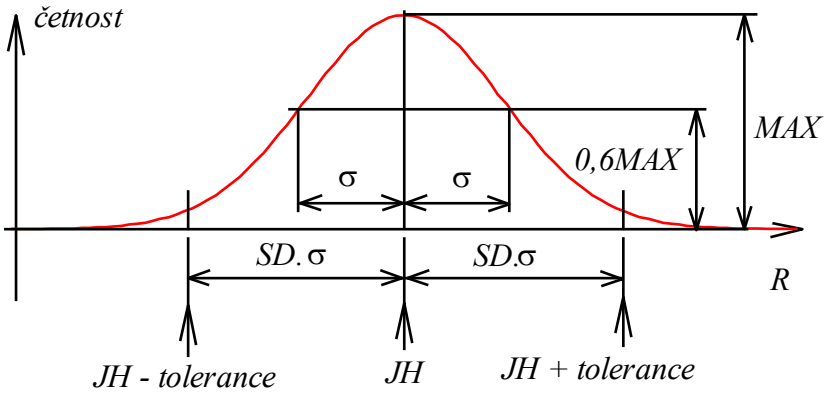




Statistická analýza

Statistické zákonitosti rozložení parametrů součástek





$$tolerance = SD.\sigma$$

SD	procento výskytů v tolerančním pásu
1	68
1,96	95
2	95,5
2,58	99
3	99,7
3,29	99,9

SPICE

Micro-Cap

Automobilový a letecký průmysl: “six sigma“ = marketingové jméno pro interval ±4,5σ: 99,99966% (3 kusy z miliónu nebudou vyhovovat).

Statistická analýza

Způsoby rozmítání parametrů součástek

- Monte Carlo
- Worst Case
  - Klasická metoda
    - stochastická ...MicroCap
    - analytická ...TINA
  - Metoda s využitím citlivostí...SPICE

Statistická analýza

Zadávání velikostí a statistického charakteru tolerancí

Tolerance: LOT (skupinové), DEV (individuální)

Zadávají se v modelech součástek.

Parametru modelu přiřadíme skupinovou toleranci tak, že za jeho definici umístíme tex
LOT=x%
kde *x* je číselná hodnota požadované tolerance v procentech, nebo
LOT=x
kde *x* je číselná hodnota požadované tolerance v jednotkách parametru.

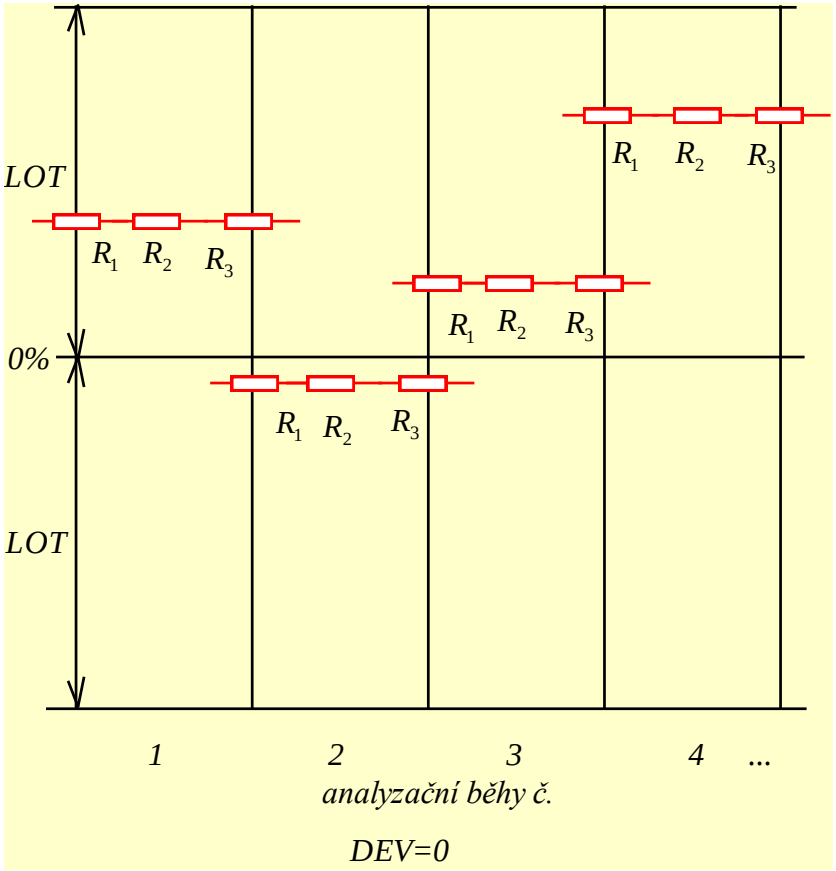
Totéž platí pro individuální tolerance.

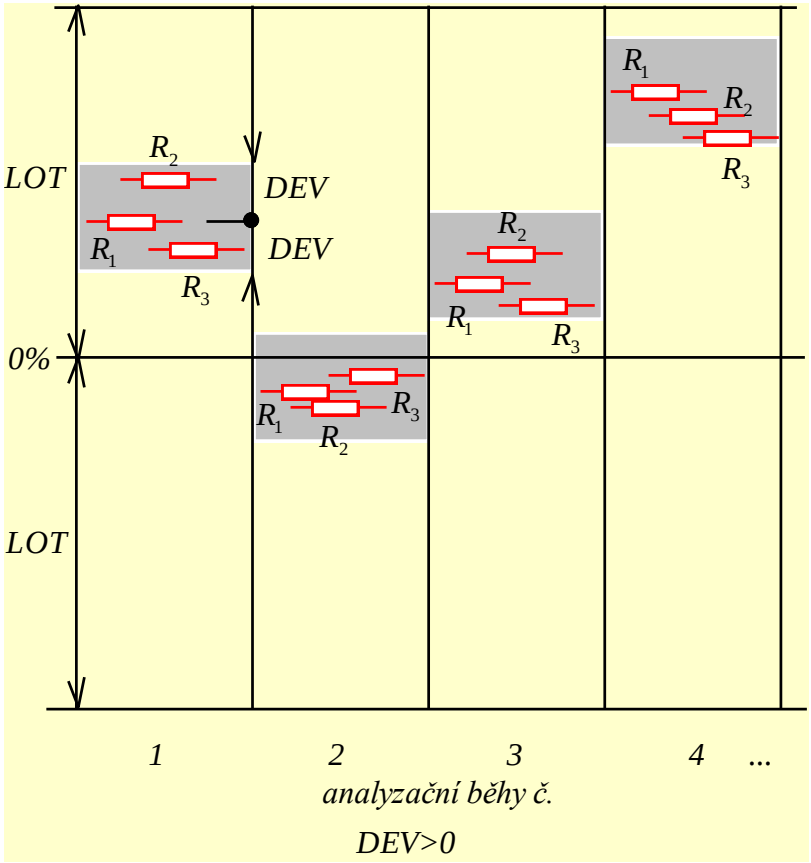
<u>Příklad</u>:
Rx 1 2 odpor 5K
.model odpor RES R=1 lot=10%

<u>Příklad</u>:
Rx 1 2 odpor 5K
.model odpor RES R=1 lot=500

Statistická analýza

LOT a DEV





Příklady:

.MODEL ODPOR RES (R=1 LOT=5% DEV=1%)

.MODEL ODPOR RES (R=1 LOT/UNIFORM=5% DEV/GAUSS=1%)

Statistická analýza

Monte Carlo v PSPICE

.MC <počet běhů> <analýza> <výst.proměnná> <funkce> [podm.] [SEED=hodn.]

měřicí funkce

V, I (jako u .PRINT)

DC,TRAN, AC

počet simulačních běhů definované analýzy

zárodečné číslo pro generátor náhodných čísel v rozsahu 1-32767 (default = 17533)

<u>Podmínka</u>:
Podrobnosti viz manuál.
Když se neuvede nic, pak se v d
(nelze provádět další zpracován
OUTPUT ALL … všechna data
k dispozici.

<u>Příklady</u>:

.MC 100 TRAN V(5) YMAX
.MC 50 DC IC(Q7) YMAX LIST
.MC 20 AC VP([out]) YMAX LIST OUTPUT ALL

Statistická analýza

Monte Carlo v PSPICE

Seznam měřicích funkcí:

YMAX

Najde absolutní hodnotu maximální odchylky mezi křivkou v daném běhu od nominální křivky (tj. křivky, získané analýzou s jmenovitými parametry součástek).

MAX

Najde maximální hodnotu pro každou křivku.

MIN

Najde minimální hodnotu pro každou křivku.

RISE_EDGE(*<hodnota>*)

Najde *x*-ovou souřadnici prvního bodu křivky, kde křivka protne „směrem zdola nahoru“ *y*-ovou souřadnici *hodnota*.

FALL_EDGE*(<value>)*

Najde *x*-ovou souřadnici prvního bodu křivky, kde křivka protne „směrem shora dolů“ *y*-ovou souřadnici *hodnota*.

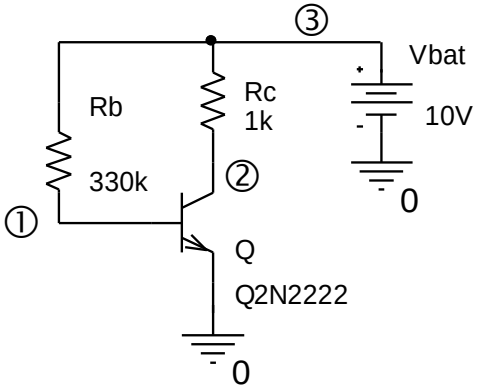
Vyhodnocení těchto funkcí se zapíše do výstupního souboru. Ve většině případů je vhodné toto vyhodnocení ignorovat a pro vyhodnocení použít rozsáhlých možností v PROBE.

Statistická analýza

Monte Carlo v PROBE

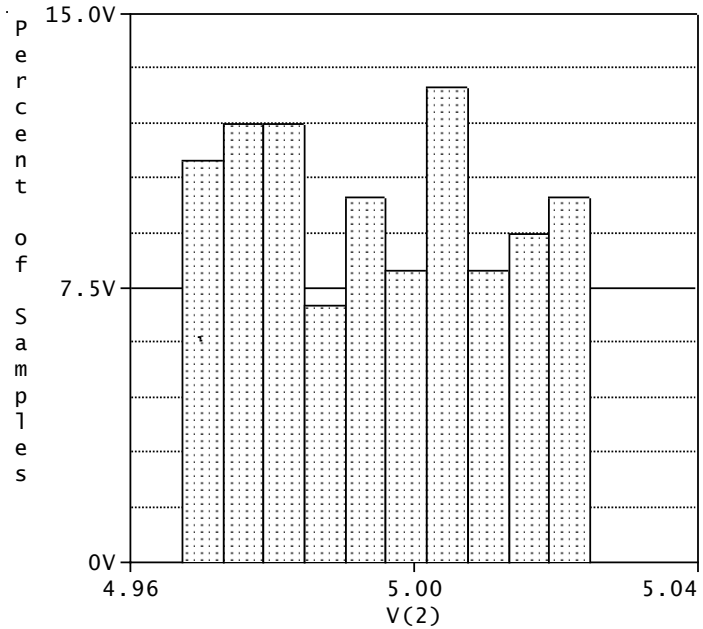
Po proběhnutí analýzy v PSpice a spuštění PROBE je možné použít vyhodnocovací analýzu (Performance Analysis) k zobrazení histogramů, s využitím měřicích funkcí PROBE. Podrobnosti viz cvičení.

Statistická analýza



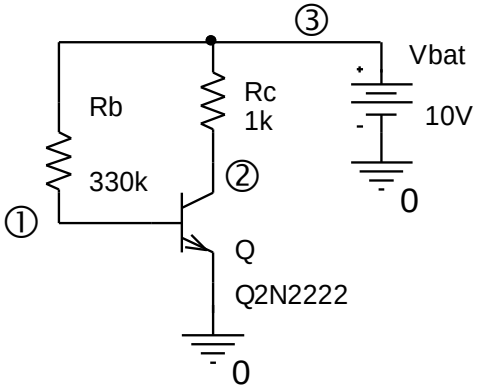
Nalezněte histogram stejnosměrného napětí na kolektoru, jestliže odpory RC a RB mají tolerance 10% (Gaussovo pravděpodobnostní rozložení). Použijte 100 běhů analýzy Monte Carlo.

```
Monte Carlo
Vbat 3 0 10V
Rc 3 2 odpor 1k
Rb 3 1 odpor 330k
Q 2 1 0 Q2N2222
.MODEL odpor RES R=1 lot=10%
.DC Vbat 10 10 1
.MC 100 DC V(2) YMAX OUTPUT ALL
.lib
.probe
.end
```



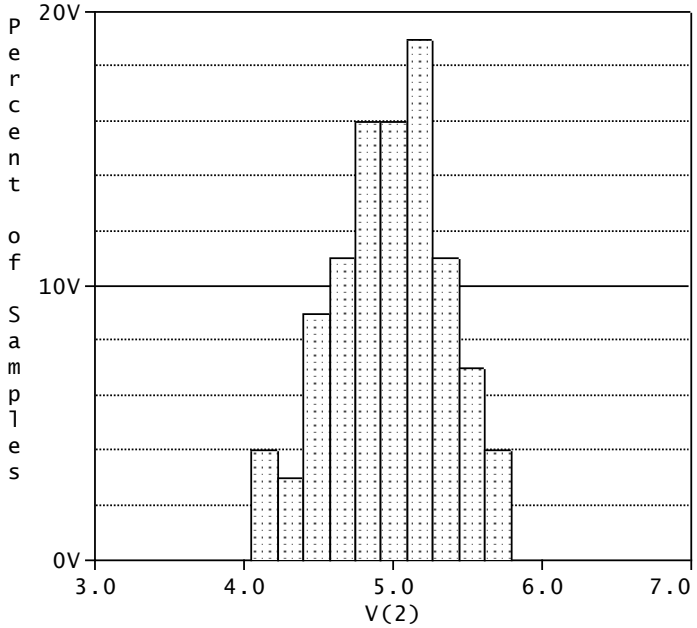

```
n samples    = 100
n divisions  = 10
mean         = 4.99522
sigma        = 0.0168837
minimum      = 4.96734
10th %ile    = 4.97272
median       = 4.99457
90th %ile    = 5.01896
maximum      = 5.02479
3*sigma      = 0.0506512
```

Statistická analýza



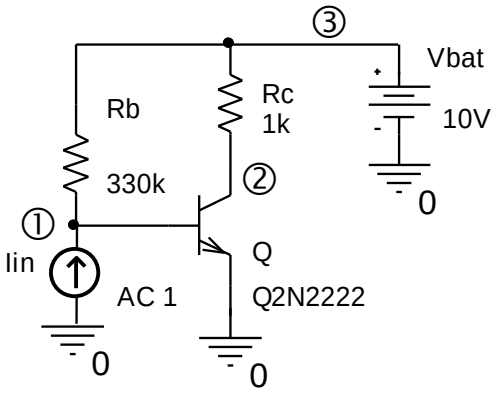
Nalezněte histogram stejnosměrného napětí na kolektoru, jestliže odpory RC a RB mají tolerance 10% (Gaussovo pravděpodobnostní rozložení). Použijte 100 běhů analýzy Monte Carlo.

```
Monte Carlo
Vbat 3 0 10V
Rc 3 2 odpor 1k
Rb 3 1 odpor 330k
Q 2 1 0 Q2N2222
.MODEL odpor RES R=1 dev=10%
.DC Vbat 10 10 1
.MC 100 DC V(2) YMAX OUTPUT ALL
.lib
.probe
.end
```

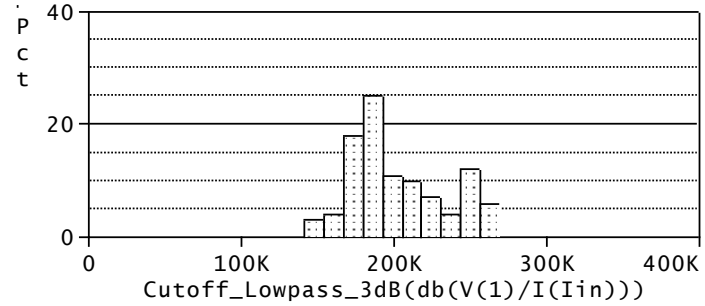


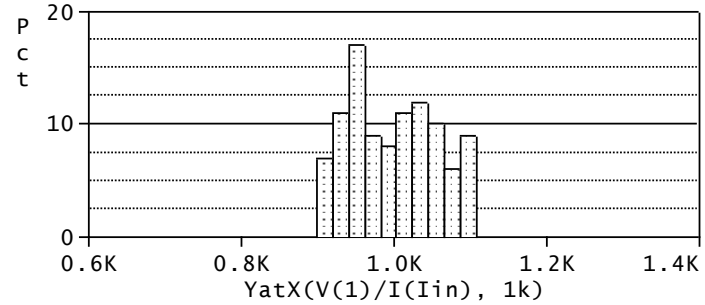

```
n samples    = 100
n divisions  = 10
mean         = 4.97845
sigma        = 0.387142
minimum      = 4.05272
10th %ile    = 4.44437
median       = 5.01073
90th %ile    = 5.48226
maximum      = 5.78952
3*sigma      = 1.16143
```

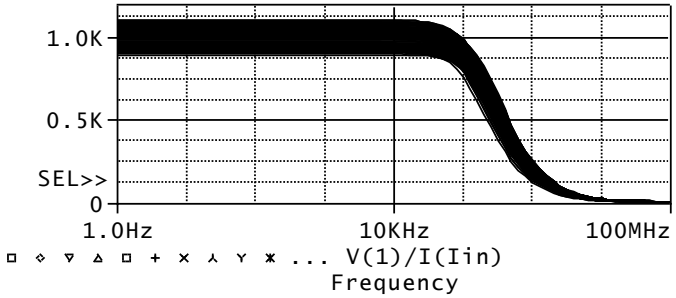
Statistická analýza



Změřte vstupní impedanci v kmitočtovém rozsahu od 1Hz do 100MHz. Uvažujte nekorelované tolerance odporů RB a RC 10% a toleranci BF tranzistoru 30%. Získejte histogramy vstupní impedance na kmitočtu 1kHz a mezního kmitočtu.








```
Monte Carlo
Vbat 3 0 10V
Iin 0 1 AC 1
Rc 3 2 odpor 1k
Rb 3 1 odpor 330k
Q1 2 1 0 Q2N2222
.MODEL odpor RES R=1 dev=10%
.AC DEC 10 1 100meg
.MC 100 AC V(2) YMAX OUTPUT ALL
.lib
.probe
.end
```

Statistická analýza

Worst Case v PSPICE

.WCASE <analýza> <výstupní proměnná> <funkce> [podmínka]

měřicí funkce

V, I (jako u .PRINT)

DC,TRAN, AC

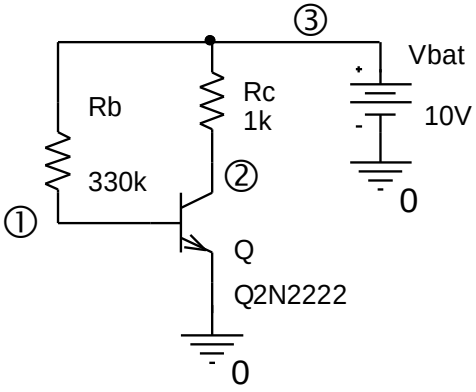
podrobnosti viz manuál a popis analýzy v .MC

<u>Příklady</u>:

.WCASE AC V(5) YMAX
.WCASE DC Vx([out]) YMAX OUTPUT ALL

Worst Case v PROBE nemá velký význam.

Statistická analýza



Zjistěte metodou Worst Case nejhorší případ, který může nastat pro změnu napětí na kolektoru, při uvažování tolerancí RB, RC a BF tranzistoru.

```
Worst Case
Vbat 3 0 10V
Rc 3 2 odpor 1k
Rb 3 1 odpor 330k
Q1 2 1 0 Q2N2222x
.model Q2N2222x
+AKO:Q2N2222 NPN BF=255.9 lot=30%
.MODEL odpor RES R=1 dev=10%
.DC Vbat 10V 10V 1V; jednobodová DC analýza
.WCASE AC V(2) YMAX; aktivace analýzy Worst Case s měřicí funkcí YMAX
.lib
.end
```

Statistická analýza

Výsledky z výstupního souboru (zkráceně):

```
*****************************************************************************
Device      MODEL       PARAMETER    NEW VALUE
Q1          Q2N2222x    BF           179.13        (Decreased)
Rc          odpor       R            .9            (Decreased)
Rb          odpor       R            1.1           (Increased)

                WORST CASE SUMMARY
*****************************************************************************
Mean Deviation =    1.8006
Sigma          =    0
 RUN                MAX DEVIATION FROM NOMINAL
 WORST CASE ALL DEVICES
                1.8006  higher  at Vbat =   10
                ( 136.04% of Nominal)
```

Shrnutí: Při snížení BF, snížení Rc a zvýšení Rb na hranice tolerancí dojde k nejhoršímu případu – k vzrůstu kolektorového napětí o 36 %.