



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Střední průmyslová škola elektrotechnická a informačních technologií Brno

Číslo a název projektu: CZ.1.07/1.5.00/34.0521 – Investice do vzdělání nesou  
nejvyšší úrok

Autor: Ing. Bohumír Jánoš

Tématická sada: Laboratorní cvičení z elektrotechnických měření

Téma: **Měření stejnosměrných charakteristik tranzistoru**

Číslo materiálu: VY\_32\_INOVACE\_01\_07\_JABO



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Anotace:

Materiál je určen pro 3.ročníky SPŠEIT. Jedná se o výkladovou prezentaci k měření ss charakteristik tranzistoru v zapojení se společným emitorem (SE) pomocí modulárního výukového systému rc2000 -  $\mu$ LAB. Cílem úlohy je experimentální studium statických vlastností bipolárního tranzistoru, seznámení se s jeho vlastnostmi a ověření základních pojmů a principů z elektroniky. Úloha je vhodná pro všechny studijní obory SPŠEIT s výukou předmětu Elektrotechnická měření.

# Měření ss charakteristik tranzistoru

Ing. Bohumír Jánoš, SPŠEIT Brno

# 1 Zkoušený předmět

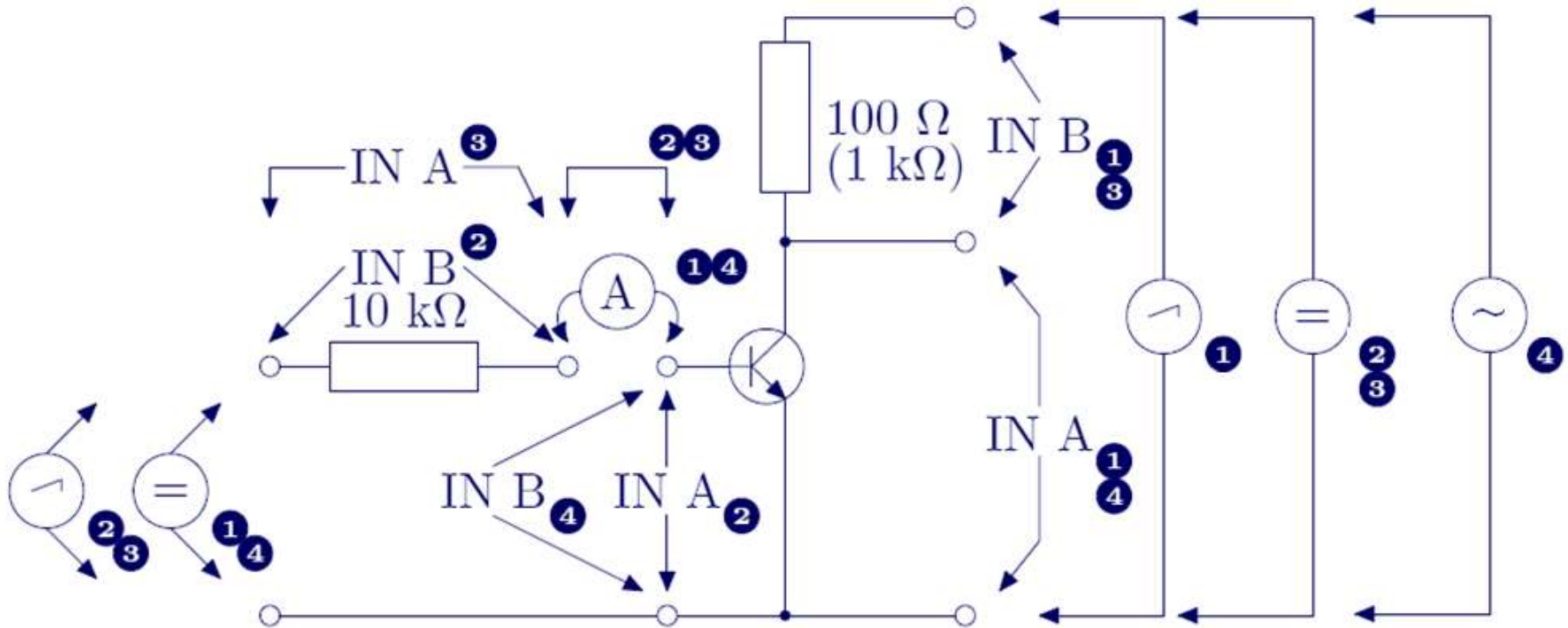
Bipolární tranzistor NPN BC546 v zapojení se SE (součást modulového výukového systému rc2000 -  $\mu$ LAB).

## 2 Zadání

- Změřte výstupní charakteristiky naprázdno tranzistoru v zapojení se SE pro několik hodnot proudu  $I_B$ , tj. závislost  $I_C = f(U_{CE})$  při  $I_B = \text{konst.}$
- Změřte vstupní charakteristiky nakrátko tranzistoru v zapojení se SE pro několik hodnot napětí  $U_{CE}$ , tj. závislost  $I_B = f(U_{BE})$  při  $U_{CE} = \text{konst.}$
- Změřte proudové převodní charakteristiky nakrátko tranzistoru v zapojení se SE pro několik hodnot napětí  $U_{CE}$ , tj. závislost  $I_C = f(I_B)$  při  $U_{CE} = \text{konst.}$
- Změřte zpětné napěťové převodní charakteristiky naprázdno tranzistoru v zapojení se SE pro několik hodnot proudu  $I_B$ , tj. závislost  $U_{BE} = f(U_{CE})$  při  $I_B = \text{konst.}$
- Naměřené charakteristiky překreslete do jednoho grafu tak, že každá zabírá jeden kvadrant a ve zvoleném pracovním bodě odvoďte  $h$  – parametry tranzistoru.

### 3 Schéma zapojení

Poznámka. Napětí  $U_{CE}$  měřte digitálním multimetrem.

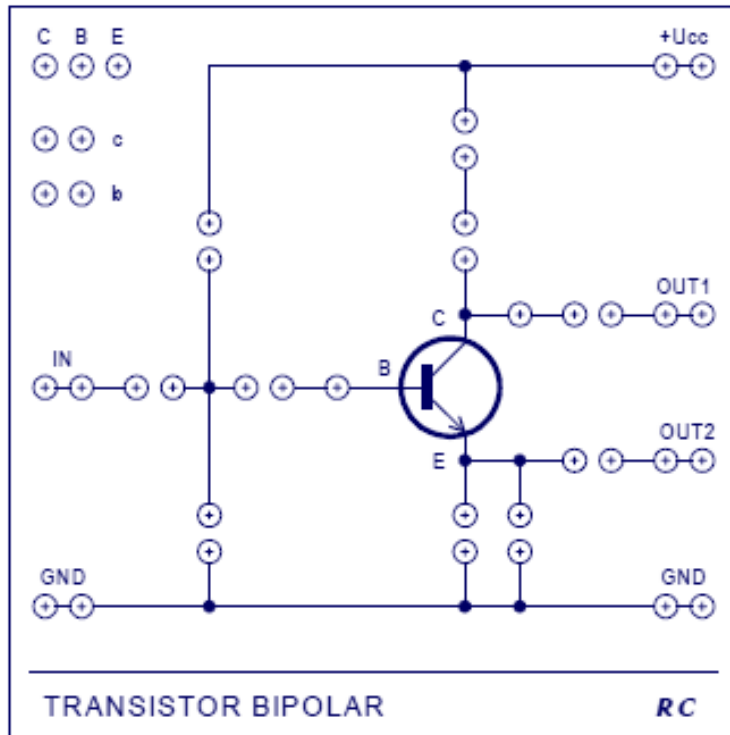


Obr.1 Zapojení pro měření ss charakteristik tranzistoru v zapojení se SE

- Legenda:
- ❶ Výstupní charakteristika naprázdno
  - ❷ Vstupní charakteristiky nakrátko
  - ❸ Proudová převodní charakteristiky nakrátko
  - ❹ Zpětné napěťové převodní charakteristiky naprázdno

# Příloha 1. Modul Transistor Bipolar

## Panel



## Vlastnosti

- Modul zapojení bipolárního tranzistoru se systémem ochran pro tranzistor BC546 nebo obdobný typ (tříkolíkový konektor)
- Ochrana tranzistoru
  - Přechod BE -  $R_B=200\Omega$
  - Přechod CE -  $R_C=120\Omega$
- Parametry tranzistoru BC546
  - Zesilovací činitel  $\beta = 120-220$   
pro  $U_{CE} = 5\text{ V}$ ,  $I_C = 2\text{ mA}$
  - Max. kolektorový proud  $I_{Cmax} = 100\text{ mA}$
  - Saturační napětí  $U_{CEsat} < 0,6\text{ V}$   
pro  $I_C = 100\text{ mA}$ ,  $I_B = 5\text{ mA}$
- Rozměr 100x100x40mm

## 4 Teoretický rozbor

Bipolární tranzistor je součástka, která mění svůj odpor mezi dvěma elektrodami v závislosti na napájení třetí elektrody. Struktura tranzistoru je třívrstvá (dva PN přechody), krajní vrstvy se stejným typem vodivosti se nazývají emitor (označení E) a kolektor (označení C), mezi nimi je tenká vrstva baze (označení B), která má opačný typ vodivosti. Podle uspořádání vrstev rozlišujeme tranzistory typu PNP a NPN. Principiálně jsou jejich činnosti stejné, liší se jen v polaritě napájecích napětí a proudů. Každá vrstva tranzistoru má jeden vývod, proto je tranzistor trojpólem, avšak vlivem PN přechodů nelineárním. V aplikacích však vždy musí být jeden vývod společný pro vstup i výstup a proto lze tedy tranzistor považovat za čtyřpól. Podle toho, který vývod je společný, rozlišujeme zapojení tranzistoru se společnou bází (SB), se společným emitorem (SE) a se společným kolektorem (SC).

Protože tranzistor je nelineární prvek, byla by jeho obecná analýza složitá. Často jej proto v daném pracovním bodě  $P$  linearizujeme. Linearizace se provádí tak, že ve zvoleném bodě nahradíme nelineární závislost lineární funkcí dvou proměnných. Užívají se dva způsoby linearizace, a to admitanční nebo hybridní.

Často užívané hybridní (smíšené) parametry  $h$  mají různé fyzikální jednotky, jsou zpravidla reálné a zavádějí se vztahy:

$$U_1 = h_{11}I_1 + h_{12}U_2 \quad (1)$$

$$I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}U_2 \quad (2)$$

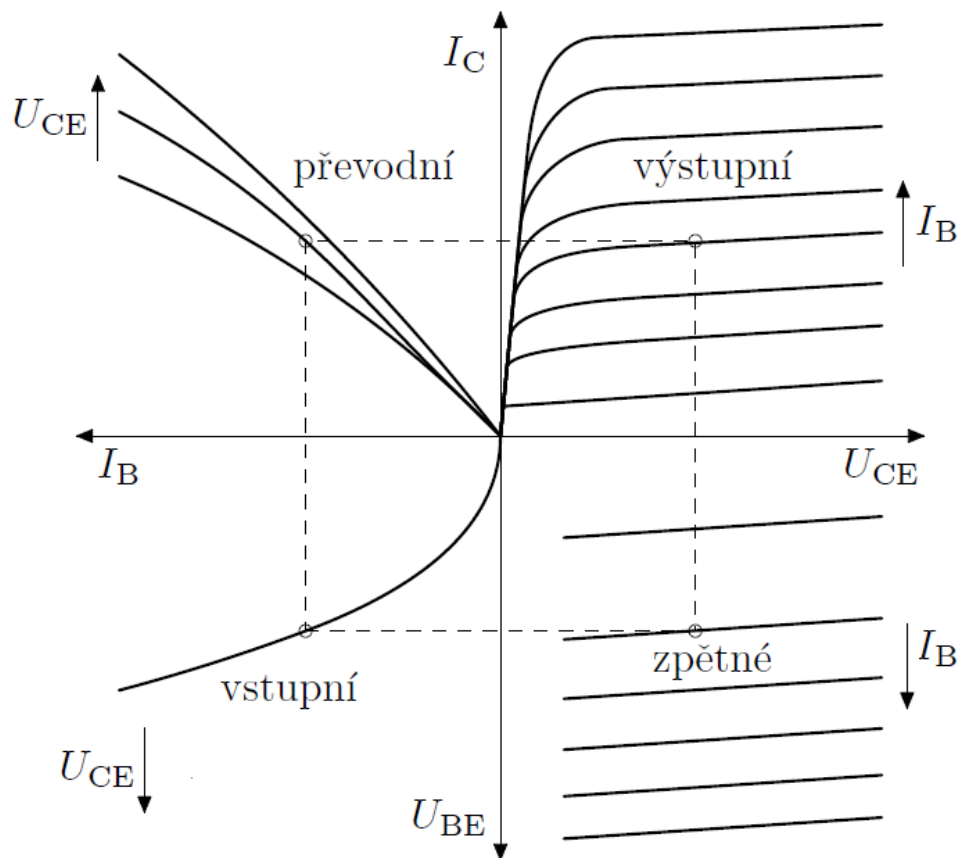
Protože  $h$  parametry závisejí na způsobu zapojení, doplňují se ještě indexem označujícím společnou elektrodu. Pro zapojení tranzistoru se společným emitorem (SE) platí tyto rovnice:

vstupní odpor tranzistoru nakrátko:  $h_{11E} = \left( \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} \right)$  při  $U_{CE} = \text{konst.}$  (3)

zpětný napěťový zesilovací činitel naprázdno:  $h_{12E} = \left( \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{CE}} \right)$  při  $I_B = \text{konst.}$  (4)

proudový zesilovací činitel nakrátko:  $h_{21E} = \left( \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right)$  při  $U_{CE} = \text{konst.}$  (5)

výstupní vodivost tranzistoru naprázdno:  $h_{22E} = \left( \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{CE}} \right)$  při  $I_B = \text{konst.}$  (6)



Obr.2 Stejnoseměrné charakteristiky tranzistoru v zapojení se SE

Uvedené čtyřpólové parametry, uvedené v rovnicích (3) až (6), vystihují vlastnosti tranzistoru jen v okolí pracovního bodu P. Chování tranzistoru ve větším rozsahu napětí a proudu popisují (při pomalých změnách veličin) nejlépe statické stejnosměrné charakteristiky, které se znázorňují graficky a vyjadřují vždy závislost dvou veličin, přičemž třetí veličina se uvažuje jako parametr.

Čtveřice používaných charakteristik v zapojení tranzistoru se společným emitorem (SE) je:

Výstupní charakteristika naprázdno

$$I_C = f(U_{CE}), I_B = \text{konst.}$$

Vstupní charakteristika nakrátko

$$I_B = f(U_{BE}), U_{CE} = \text{konst.}$$

Proudová převodní charakteristika nakrátko

$$I_C = f(I_B), U_{CE} = \text{konst.}$$

Zpětná napěťová převodní charakteristika naprázdno

$$U_{BE} = f(U_{CE}), I_B = \text{konst.}$$

U bipolárního tranzistoru se výrazně projevuje vliv teploty na průběh charakteristik. Můžeme ho tedy považovat i za součástku řízenou teplotou. Zpravidla však tuto vlastnost považujeme za parazitní, neboť se s teplotou mění i poloha nastaveného pracovního bodu a je proto třeba při praktických aplikacích používat stabilizaci pracovního bodu. Proto při měření charakteristik se snažíme udržovat stálou teplotu a nenecháváme tranzistorem protékat velké proudy po dlouhou dobu.

## 5 Postup měření

- Sestavte měřicí obvod podle obr.1. Pro měření ss charakteristik tranzistoru použijte měřicí jednotku *Analog & Digital Data Unit* výukového systému  $\mu$ Lab se softwarem rc2000, příslušný modul *Transistor Bipolar* pro zapojení tranzistoru a modul *Programmable DC Supply* pro přesná nastavení parametrických napětí či proudů.
- Měření provádějte v režimu *V-A Characteristics* vždy pro několik hodnot parametrů. Některé parametry měřte externím multimetrem (proud  $I_B$ ). Tranzistor se do modulu *Transistor Bipolar* zapojuje vlevo nahoře do zdířek C B E (shodně se značením na tranzistoru). Zdířky c, b pod ním slouží k vyřazení ochrany tranzistoru před přetížením a je nutné je zkratovat.
- Zpětnou charakteristiku změřte v režimu *Oscilloskope*, protože jde o závislost napětí, kdy nelze použít generátor pilového průběhu, ale na výstup obvodu musíte připojit externí střídavý generátor. Po nastavení offsetu nebude osciloskop synchronizovat, proto zapojte externí synchronizaci tak, že zdířku *Time Input – ext trig* jednotky A&DDU propojte se střídavým generátorem se zdířkou *OUT sync*.
- Při měření ss charakteristik tranzistoru používejte režimy *normal*, *single* a *sequence*. Pomocí režimu *sequence* je možno zobrazit až 4 průběhy.

- Program *rc2000* je určen jen pro měření VA charakteristik v prvním a třetím kvadrantu, a to s pevně danými proudovými a napěťovými osami. Proto musíte i vstupní charakteristiky vykreslit do prvního kvadrantu, ačkoliv je potřeba je mít ve třetím a otočené. Překreslení musíte provést externím programem (editorem rastrových obrázků).
- Při měření charakteristik volte vhodně měřítko os tak, aby na nich byly zobrazeny všechny hodnoty nastavovaných veličin i parametrů.
- Popište sejmuté obrazovky v editaci popisů Legend: *Edit*. Editaci ukončete stiskem tlačítka *End*. Příkazem Print: *Save screen to file* uložte sejmuté obrazovky na svůj disk.
- V některých úlohách v případě sepnutí elektronické pojistky (*Fuse*) nahradte odpor  $100\ \Omega$  odporem  $1\ \text{k}\Omega$ . Napětí  $U_{CE}$  by se správně mělo přivádět přímo na svorku kolektoru, ale bezpečnější je připojení přes ochranný odpor  $100\ \Omega$ . Pak je napětí udávané na displeji *Programmable DC Supply* jen přibližně napětím  $U_{CE}$ , přesnou hodnotu získáte připojením digitálního multimetru na místo, kde se v úloze 1 připojí In A.

## 6 Zpracování naměřených hodnot

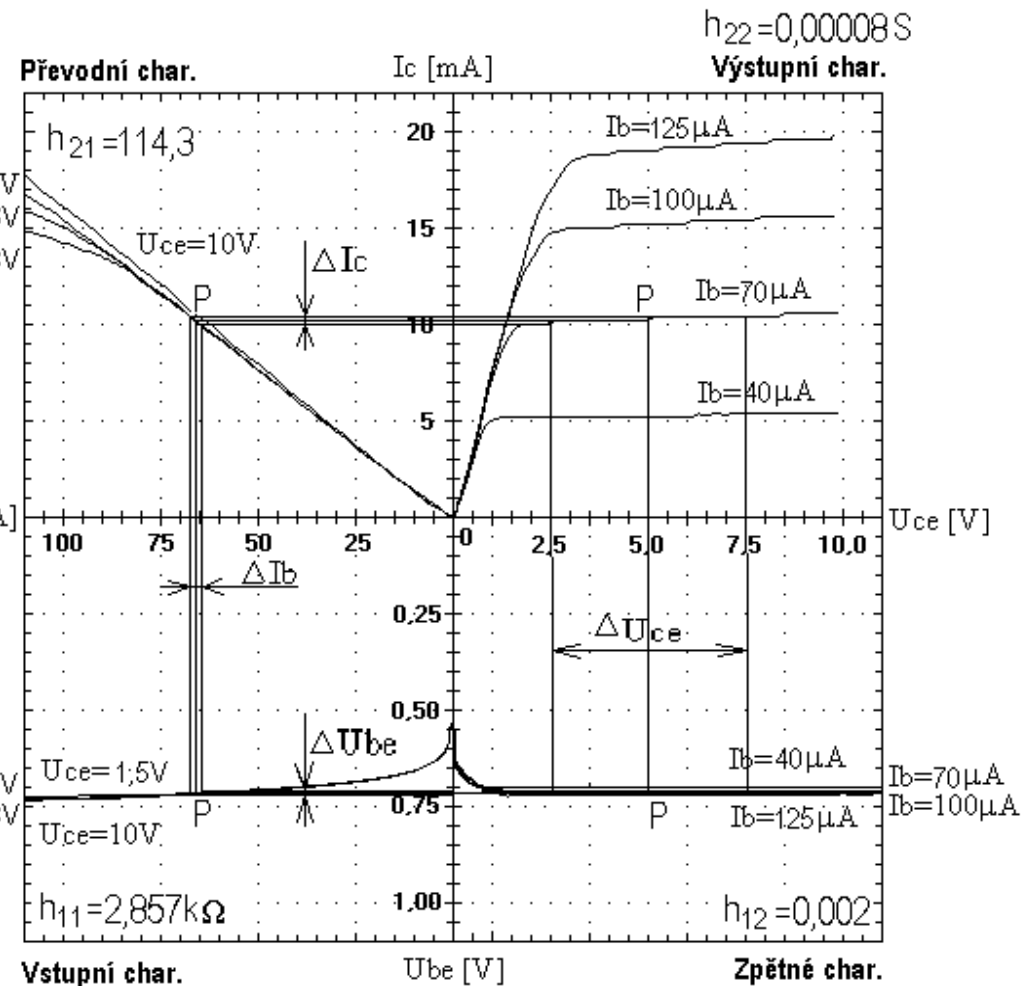
Při určování hybridních parametrů tranzistoru použijte graficko-početní metodu. Ve výstupních charakteristikách zvolte vhodně pracovní bod, který přenesete do všech kvadrantů a v jeho okolí vypočtete příslušné h parametry (obr. 3).

## 7 Příklad výpočtu

Výpočet vztahů (3) až (6).

## 8 Grafické řešení

Screenshots (snímky obrazovky).



Obr.3 Stejnoseměrné charakteristiky tranzistoru v zapojení se SE a určení h parametrů v okolí pracovního bodu

Legend	Edit	Delete
<span style="color: orange;">●</span> M1	$I_b=40\mu A$	
<span style="color: blue;">●</span> M2	$I_b=70\mu A$	
<span style="color: green;">●</span> M3	$I_b=100\mu A$	
<span style="color: red;">●</span> M4	$I_b=125\mu A$	

Cursor					
On	1	+	←	→	2
					×
					←
					→

Output Ramp			
Min Level		Max Level	
0V	▲ ▼	10,0V	▲ ▼
Slope		Time	
↘	↗	100 ms	← →

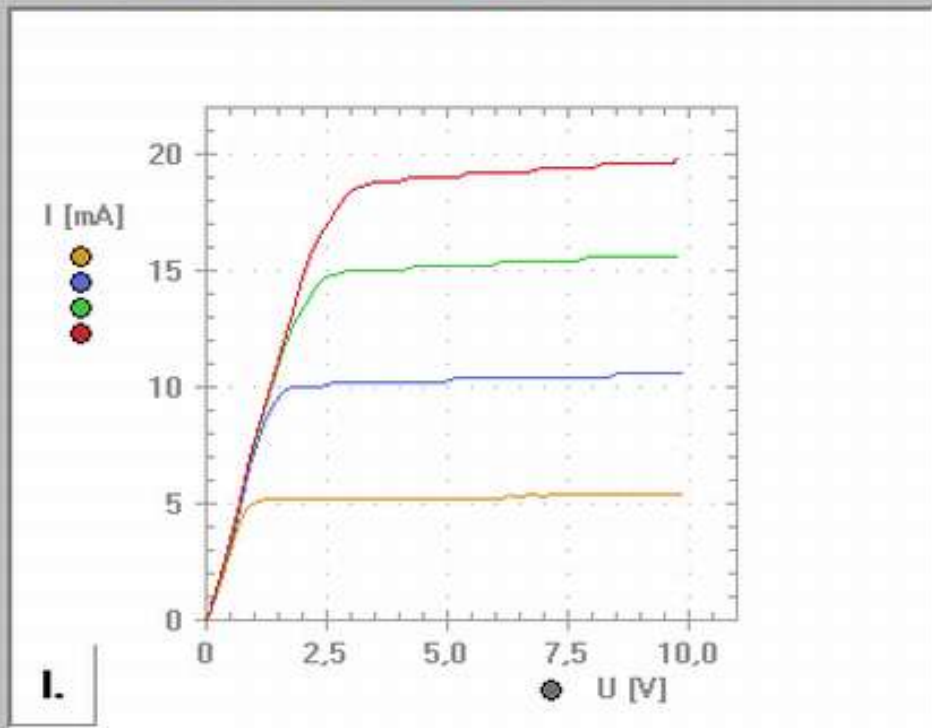
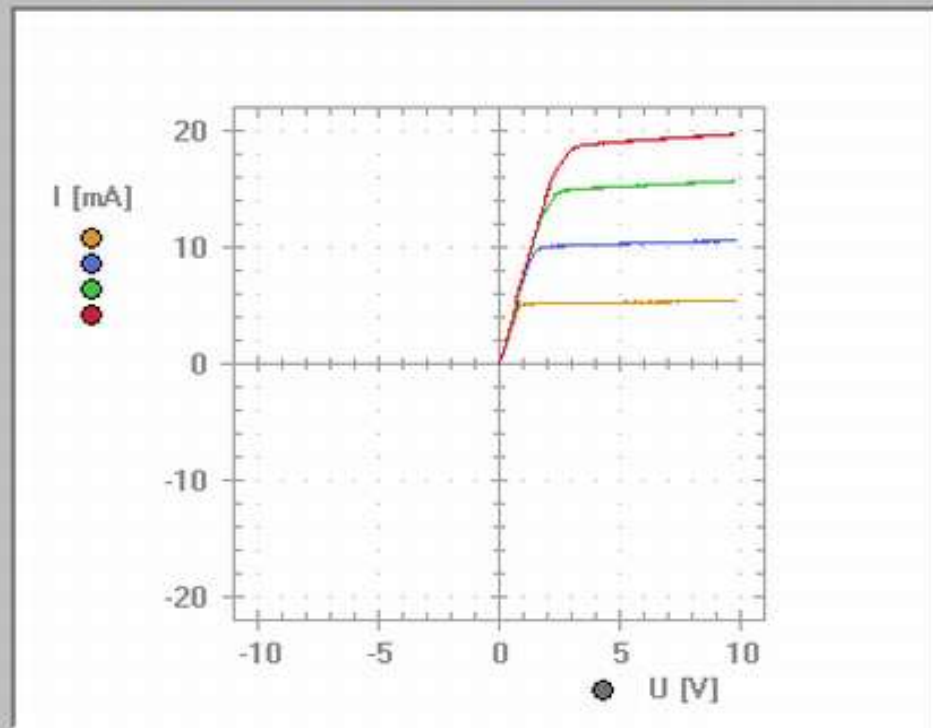
File
Open
Save
Print
Init
Exit

Sense R [ $\Omega$ ]				
1	10	100	1k	10k

Graph	
Line	Point

Quadrant	
I.	III.

Zoom			
U	+	-	I
●	+	-	●



Measurement						Stop	
Normal	Single	Sequence	<span style="color: orange;">●</span> M1	<span style="color: blue;">●</span> M2	<span style="color: green;">●</span> M3	<span style="color: red;">●</span> M4	Clr

Gain			
A	▲	▼	B
●	▲	▼	●

Legend		Edit	Delete
<span style="color: orange;">●</span> M1	$U_{ce}=10V$		
<span style="color: blue;">●</span> M2	$U_{ce}=3V$		
<span style="color: green;">●</span> M3	$U_{ce}=2V$		
<span style="color: red;">●</span> M4	$U_{ce}=1,5V$		

Cursor					
On	1	+	◀ ▶	2	×

Output Ramp	
Min Level	Max Level
0V ▲ ▼	2,0V ▲ ▼
Slope	Time
↘ ▲	100 ms ▲ ▼

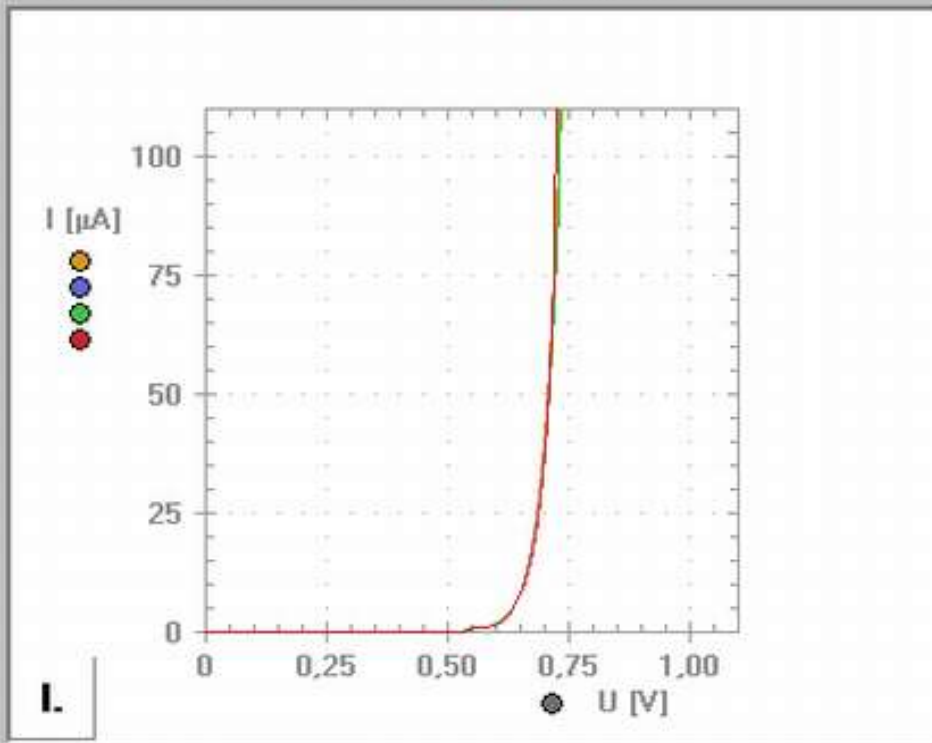
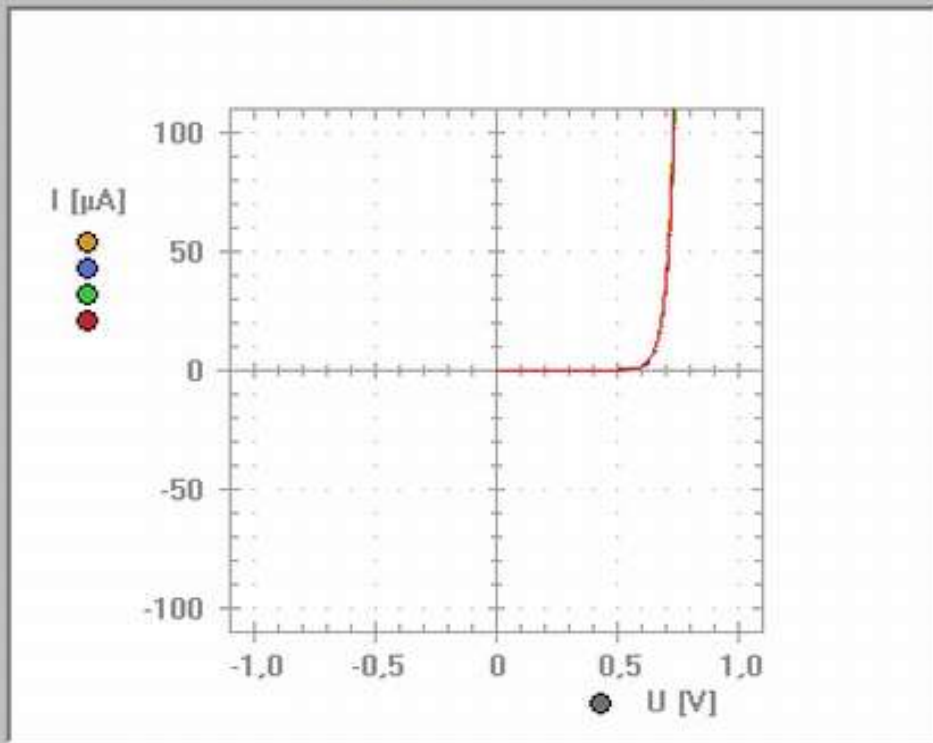
File
Open
Save
Print
Init
Exit

Sense R [ $\Omega$ ]				
1	10	100	1k	10k

Graph	
Line	Point

Quadrant	
I.	III.

Zoom			
U	+	-	I
●	+	-	●



Measurement						Stop	
Normal	Single	Sequence	<span style="color: orange;">●</span> M1	<span style="color: blue;">●</span> M2	<span style="color: green;">●</span> M3	<span style="color: red;">●</span> M4	Clr

Gain			
A	▲ ▼	B	▲ ▼
●	▲ ▼	●	▲ ▼

Legend	Edit	Delete
M1 Uce=10V		
M2 Uce=3V		
M3 Uce=2,6V		
M4 Uce=2,3V		

Cursor					
On	1	+	←	→	2

Output Ramp			
Min Level	0V	Max Level	2,0V
Slope	↗	Time	100 ms

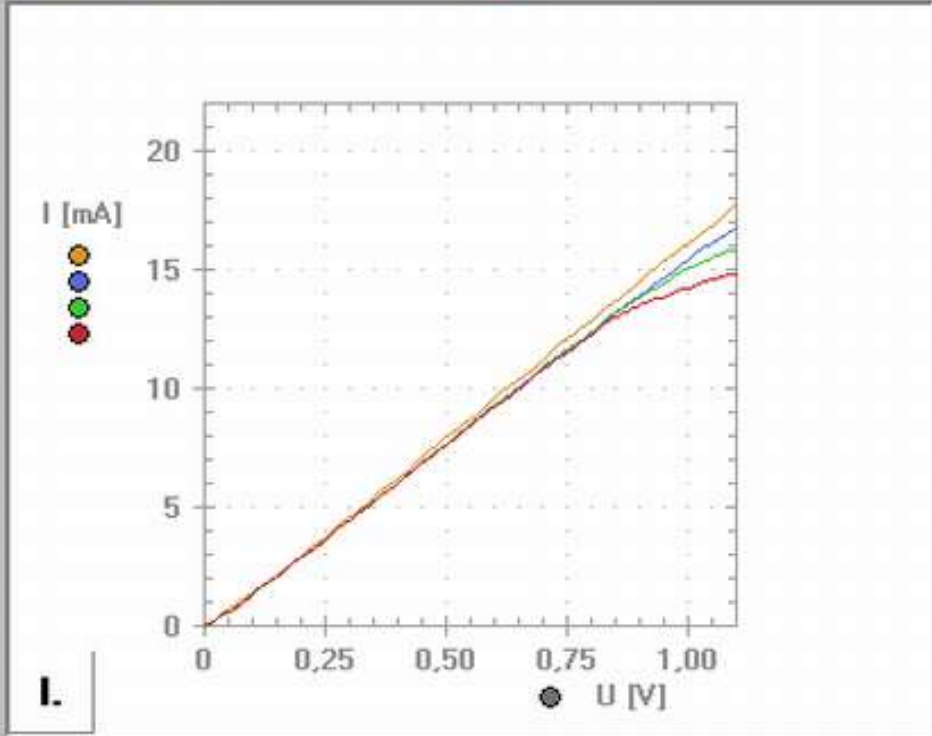
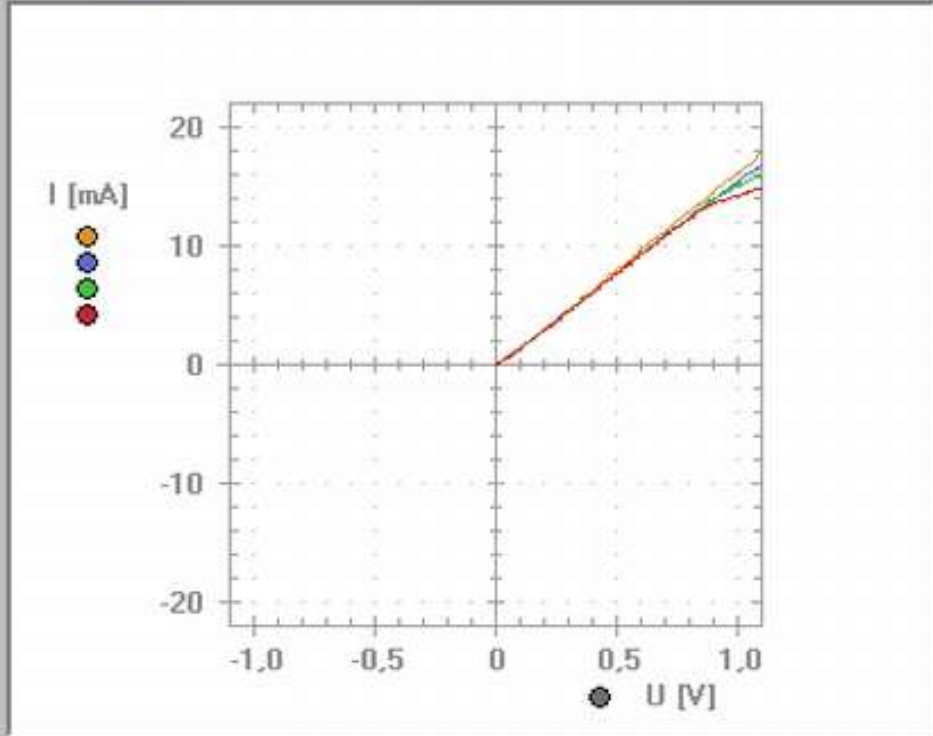
File
Open
Save
Print
Init
Exit

Sense R [Ω]				
1	10	100	1k	10k

Graph	
Line	Point

Quadrant	
I.	III.

Zoom			
U	+	-	I
			+
			-



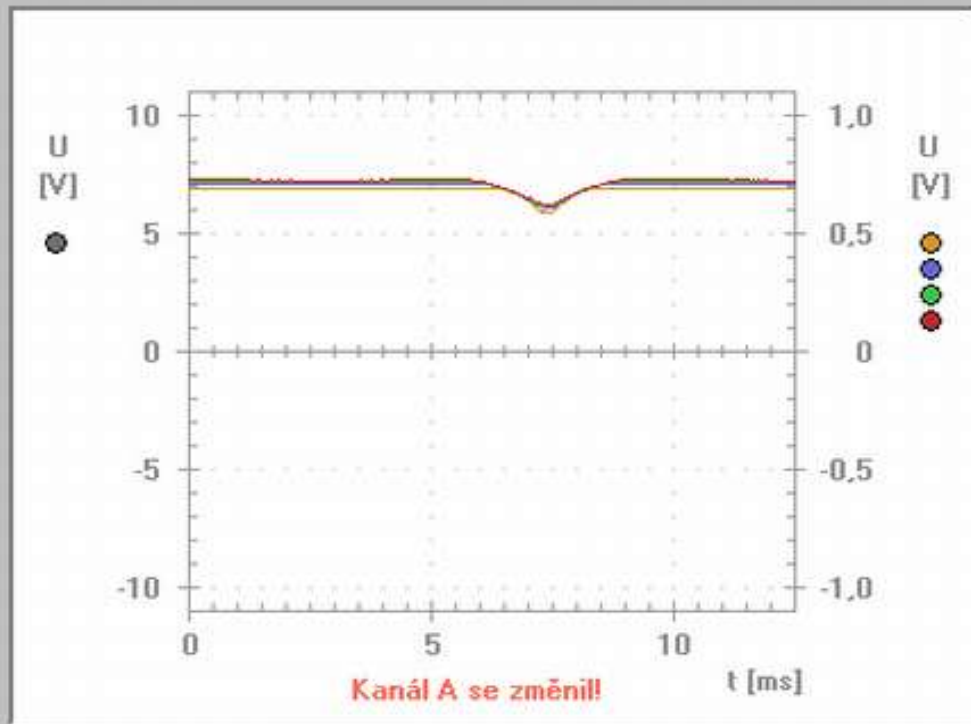
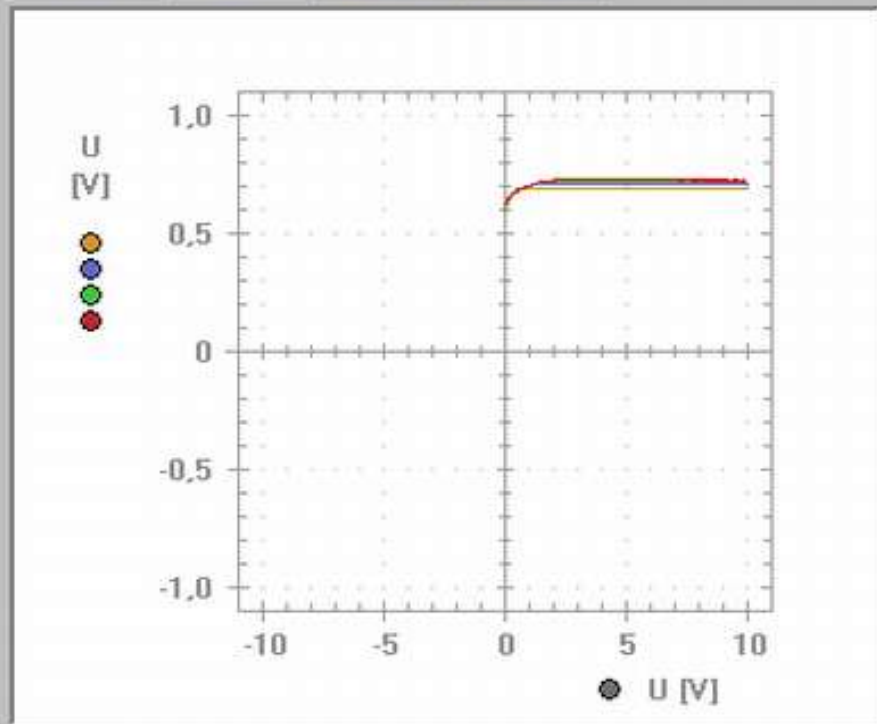
Measurement					
Normal	Single	Sequence	M1	M2	M3
			M4	Clr	Stop

Gain			
A	↕	B	↕

Legend		Edit	Delete	Function		Trigger	
<span style="color: orange;">●</span> B1	$I_b=40\mu A$			Trigger	Source	Slope	
<span style="color: blue;">●</span> B2	$I_b=70\mu A$			Cursor	<input checked="" type="radio"/> A		
<span style="color: green;">●</span> B3	$I_b=100\mu A$			Measure	<input type="radio"/> B	Level	
<span style="color: red;">●</span> B4	$I_b=125\mu A$			Math	Ext		
				Utility	Off	<input type="text"/> ▲ ▼	

Status		File
<input type="checkbox"/>	Stop	Open
Trig	EXT	Save
		Print
		Exit

View				Init
YT	<b>XY</b>	Phasor	Harmonic	



Measurement						Time	Gain				Average				
Normal	Run	Single	<b>Sequence</b>	<span style="color: orange;">●</span> B1	<span style="color: blue;">●</span> B2	<span style="color: green;">●</span> B3	<span style="color: red;">●</span> B4	Clr			<input checked="" type="radio"/> A	<input type="radio"/> B	Off		

## 9 Použité přístroje

- Měřicí systém rc2000 -  $\mu$ LAB (A&DDU jednotka, zdroj 5 V/3 A, napájecí kabely – 1× červený, 1× zelený)
- Modul Transistor Bipolar se systémem ochran
- Programmable Function Generator
- Digitální multimetr
- Mikroampérmetr
- PC + program rc2000
- Sada rezistorů a propojek
- Sada vodičů + propojovací sondy

## 10 Závěr

Uveďte, jak se liší naměřené a vypočtené hodnoty hybridních parametrů tranzistoru od katalogových údajů.

## 11 Seznam použité literatury

[1] [http://www.rcdidactic.cz/media/download\\_inspirace/1193251813\\_cz.pdf](http://www.rcdidactic.cz/media/download_inspirace/1193251813_cz.pdf)

[2] [http://www.rcdidactic.cz/media/download\\_moduly/1201458034\\_cz.pdf](http://www.rcdidactic.cz/media/download_moduly/1201458034_cz.pdf)