

ET 5

DIOD- OCH TRANSISTORKARATERISTIKOR

MÅLSÄTTNING.

Laborationen skall lära dig att ta upp och arbeta med diod- och transistor-karakteristikor, bland annat ska du bestämma en bipolär transistors h-parametrar.

FÖRBEREDELSE.

Du skall ha läst igenom både häftet "Nödvändig teori för laboration ET5 och ET6" samt hela lab-PM:et och svarat på de hemuppgifter som finns i början.

Namn.....	Kurs
Utförd den.....	Handledare.....
Godkänd den.....	av.....

OBS! Dessa hemuppgifter skall vara utförda innan laborationen för att du ska få delta i laborationen

1. Ange symbolerna för några diodtyper.
2. Ange ett par skillnader mellan Ge- och Si-dioder.
3. Hur mäter du upp framspänningsfallet för en diod?
4. Rita en skiss över karakteristikorna för en bipolär transistor.
5. Rita symbolerna för pnp- och npn-transistorer.
6. Vad menas med belastningslinjen för en transistorförstärkare?
7. Vad menas med arbetspunkten för en transistorförstärkare?
8. Vad kallas elektroderna på en bipolär transistor?
9. Vad menas med ingångsimpedansen hos ett transistorförstärkarsteg?
10. Beskriv hur man kan mäta ingångsimpedansen hos ett steg.
11. Beskriv hur man kan mäta utgångsimpedansen hos ett steg.

12. Diodekvationen. Rita upp den teoretiska karakteristiken (ström-spänningskurvan) för en germaniumdiod i diagrammet på sidan 6.

Använd diodekvationen

$$I = I_0(e^{\frac{qU}{kT}} - 1)$$

där vi kan sätta

$$I_0(\text{Ge}) = 10^{-6} \text{ A} \quad \text{och} \quad \frac{kT}{q} = \frac{1}{40} \text{ V}$$

Vid vilken temperatur gäller det senare enligt formelsamling (t. ex. TEFYMA)?

$$T = \frac{q}{k \cdot 40} = \dots\dots\dots \text{ Kelvin} = \dots\dots\dots ^\circ\text{C}$$

Den dynamiska resistansen $r = dU/dI$ skall bestämmas ur den uppritade germaniumkurvan för

U	= - 0,50 V	r = / = ohm
	= + 0,15 V	r = / = ohm
	= + 0,20 V	r = / = ohm

Upptagning av karakteristiker för dioder.

Uppgift 1. Germanium dioden.

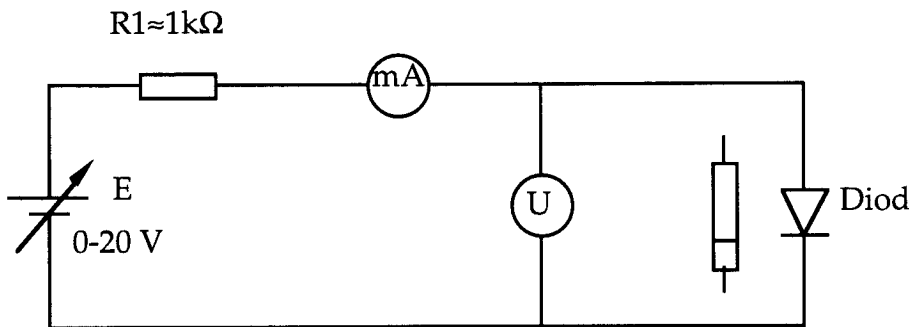
Bestäm experimentellt ström- spännings-karakteristiken för en diod.

Kontrollera med ohm-metern (Philips P 817 eller Philips UTS 001. Observera batterispänningens polaritet.)

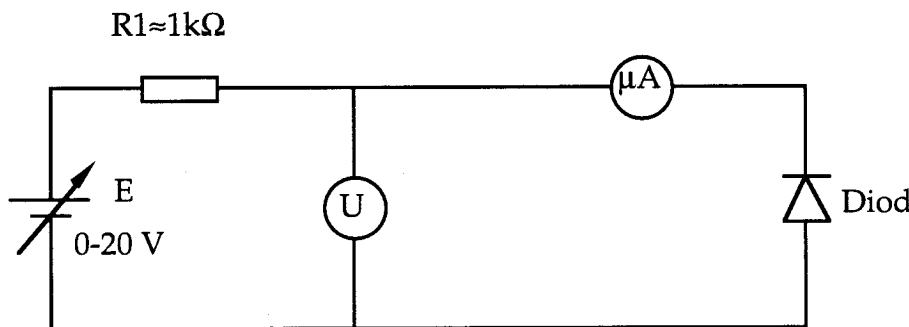
$\Omega(\text{fram}) = \dots\dots\dots$

$\Omega(\text{back}) = \dots\dots\dots$

Använd nedanstående uppkopplingar.



Figur 1 a. Koppling för diodkarakteristik i framriktningen.



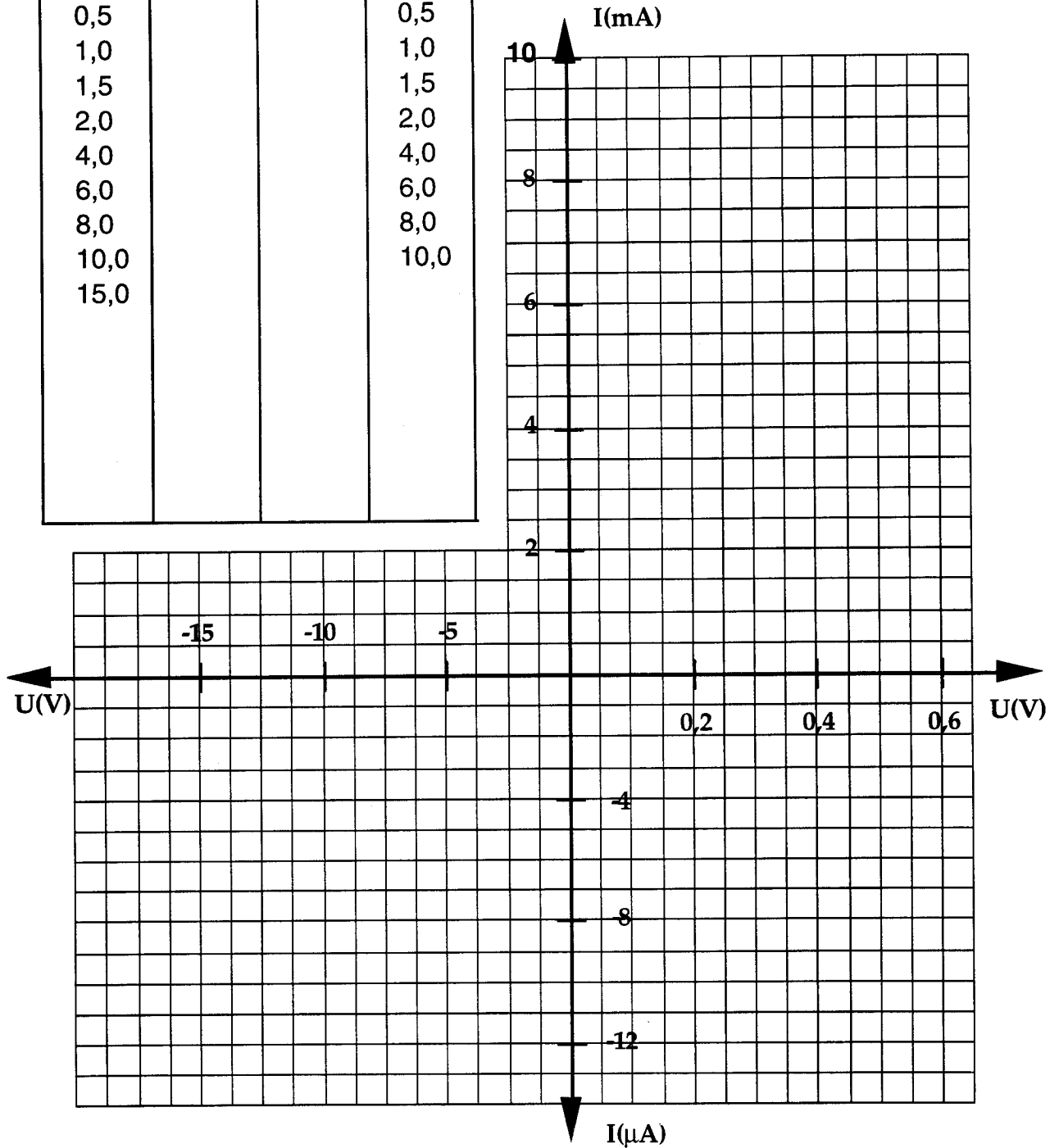
Figur 1 b. Koppling för diodkarakteristik i backriktningen.

Anslut dioderna med rätt polaritet! Använd här gärna digitala instrument för att erhålla snabbare avläsningar. Karakteristiken för framriktningen bestäms med användandet av kopplingen i figur 1 a. Mätdata införes parallellt i Tabell I och diagrammet. Karakteristiken för backriktningen [$I = f(U)$] erhålles med kopplingen i figur 1 b. Spänningsfallet över det strömmätande instrumentet kan försummas och U är med god approximation lika med spänningen över dioden. Data för $U \leq 15$ V upptages (Tabell I).

Vill du hellre rita upp kurvan på ett löst millimeter-rutat papper så går det givetvis bra.

Tabell 1.

Germaniumdiod			
Backriktning		Framriktning	
U(V)	I(μ A)	U(V)	I(mA)
0,1			0,1
0,2			0,2
0,5			0,5
1,0			1,0
1,5			1,5
2,0			2,0
4,0			4,0
6,0			6,0
8,0			8,0
10,0			10,0
15,0			



Bestäm den dynamiska resistansen

$$r = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

ur den erhållna experimentella kurvan för

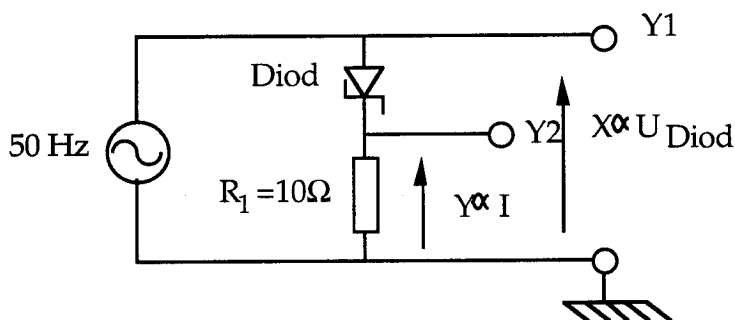
U = -0,50 V	r = / = ohm
+ 0,15 V	r = / = ohm
+ 0,50 V	r = / = ohm

Jämför de erhållna resultaten med de du fick i hemuppgift 12.

Varför inkopplas volt- och amperemetrarna på olika sätt enligt figur 1a och 1b?
Svar:

Uppgift 2. Zenerdioden.

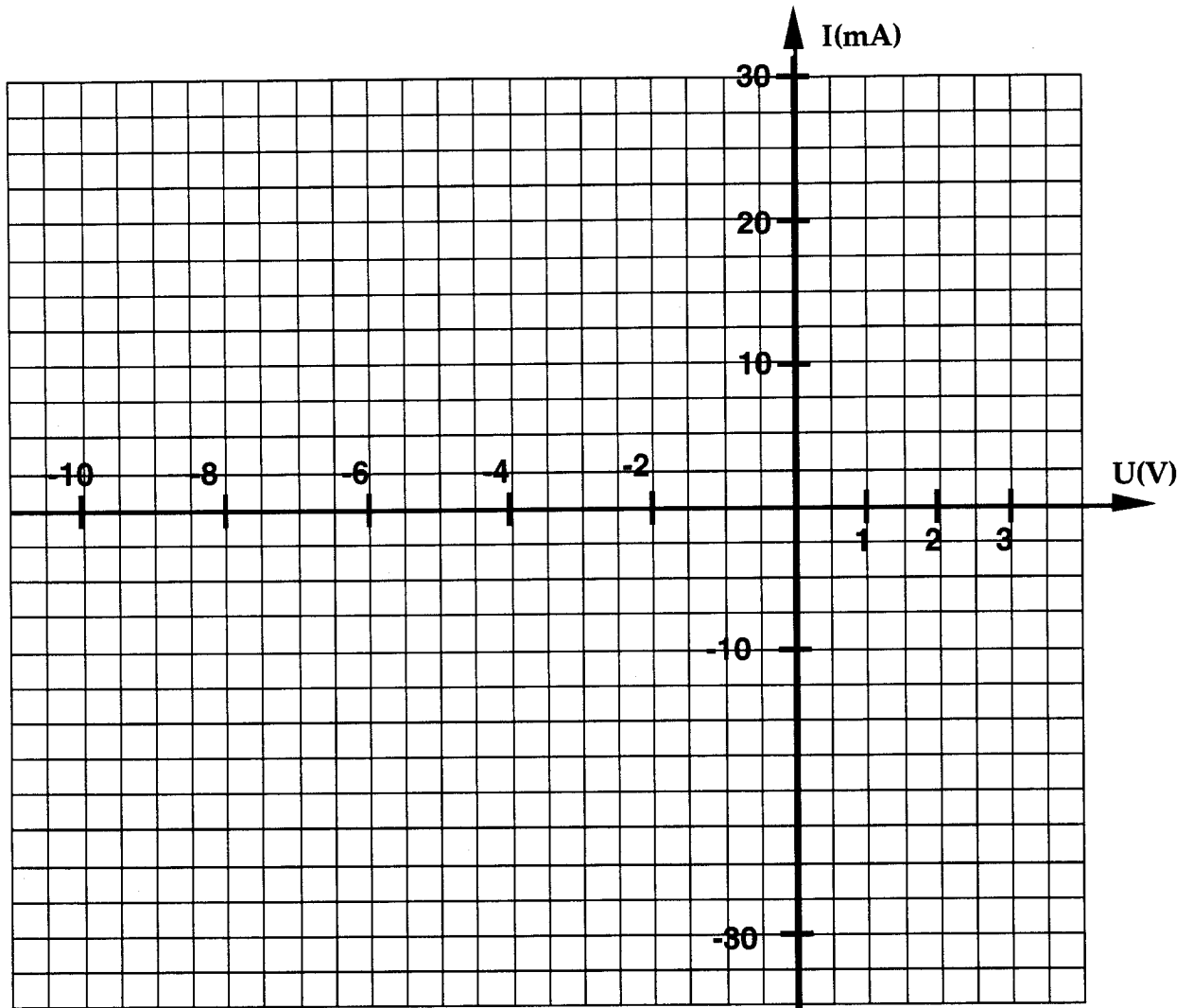
Upptag ström-spänningskaraktäristik för en Zenerdiod direkt på oscilloskopet med följande uppkoppling



Figur 2. Ström-spänningskaraktäristik för en Zenerdiod.

Använd en funktionsgenerator med negativ likspännings-offset och oscilloskopet i XY-mode och med DC-ingångar. Öka successivt sinusamplitud och offset tills hela diodkurvan framträder på skärmen. Kontrollera läget av Origo genom att jorda ingångarna och rita sedan in kurvan direkt i diagrammet på nästa sida (eller på löst millimeter rutat papper).

Bestäm zenerspänningen då $I_z = 5\text{mA}$.
Resultat:



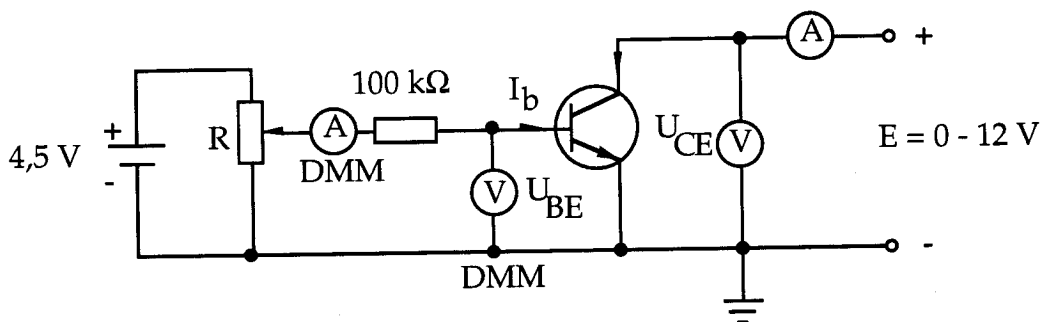
Upptagning av transistorkaraktistikor.

I ET0 avbildas ett kopplingsbord med fjäderbelastade kontaktpunkter och anslutningar i form av fyra BNC-kontakter och fem polskruvar. Använd detta kopplingsbord i de följande uppgifterna. Du skall nu med hjälp av Dina digitala mätinstrument och spänningsaggregat ta upp karakteristikor för en bipolär npn transistor av typ BC237

Uppgift 3. Mätning på bipolär npn-transistor.

Du ska mäta upp och rita in transistorens karakteristikor i ett koordinatsystem liknande det i figur 15 i häftet "Nödvändig teori för laboration ET5 och ET6"(OBS! skillnaden i transistorer).

Mätningarna genomföres med hjälp av nedanstående uppkoppling



Figur 3. Kopplingschema för mätning på bipolär npn-transistor.

$R = 10 \text{ k}\Omega$ potentiometer (10-varvig).

Justera först in I_B till önskat värde (Låt $U_{CE} = 10 \text{ V}$ vid denna injustering) med hjälp av R och A-metern (DMM). Använd följande värden på I_B : 0, 5, 10, 15, 20 och 25 μA .

För varje värde på I_B skall Du reglera in E , så att $U_{CE} = 0, 0,5, 1, 5$ resp. 10 V och läsa av motsvarande värden på I_C . Dessutom ska du för varje I_B avläsa U_{BE} med $U_{CE} = 5 \text{ V}$.

Mätdata införs parallellt i tabell 2 och i ett stort diagram på separat millimeter-rutat papper. Diagrammet ska ha ett utseende med axlar enligt figur 4. I den övre högra delen av diagrammet för du in kurvan;

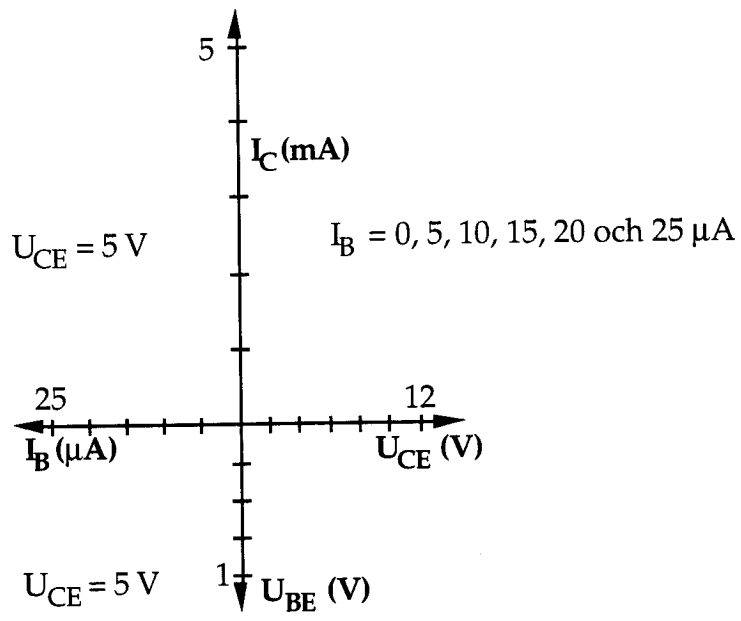
$$I_C = f(U_{CE}) \text{ med } I_B \text{ som parameter}$$

i den övre vänstra delen ritar du in ;

$$I_C = f(I_B) \text{ då } U_{CE} = 5 \text{ V.}$$

och i den nedre vänstra delen för du in kurvan

$$U_{BE} = f(I_B) \text{ då } U_{CE} = 5 \text{ V}$$



Figur 4. Mall till diagram.

Tabell 2. I_C som funktion av både U_{CE} och I_B samt U_{BE} som funktion av I_B med $U_{CE}=5V$.

I_C (mA)	$I_B = 0 \mu A$	$I_B = 5 \mu A$	$I_B = 10 \mu A$	$I_B = 15 \mu A$	$I_B = 20 \mu A$	$I_B = 25 \mu A$
$U_{CE} = 0 V$						
$U_{CE} = 0,5 V$						
$U_{CE} = 1 V$						
$U_{CE} = 5 V$						
$U_{CE} = 10 V$						
U_{BE} (V) ($U_{CE} = 5 V$)						

Beräkna ur kurvorna den statiska strömförstärkningsfaktorn

$$h_{FE} = B = \frac{I_C}{I_B}$$

för några värden på I_C .

Resultat:

I den förstärkare, till vilken transistorn skall användas, önskas vilopunkten $U_{CE} = 3 \text{ V}$, $I_C = 2 \text{ mA}$. Vilket värde på I_B erhålles för denna punkt (använd de upptagna karakteristikorna)?

Svar:

Vilket värde på U_{BE} erhålls med hjälp av datablad?

Svar:

Vad ger fabrikanter för värde på $B (=I_C/I_B)$?

Svar:

Vilken basström (I_B) skulle erhållas om det senare värdet på B användes?

Svar:

Jämför med det I_B du tog fram från karakteristikorna.

Markera vilopunkten i diagrammet.

Uppgift 4. Den bipolära transistorens h-parametrar.

I den valda vilopunkten skall h_{11} , h_{21} och h_{22} bestämmas ur karakteristikerna.

Definitioner:

$$h_{11} = \frac{dU_{BE}}{dI_B} \quad , U_{CE} \text{ är konstant}$$

$$h_{fe} = h_{21} = \frac{dI_C}{dI_B} \quad , U_{CE} \text{ är konstant}$$

$$h_{22} = \frac{dI_C}{dU_{CE}} \quad , I_B \text{ är konstant}$$

h_{22} anges i datablad i μs men vi föredrar

$$\frac{1}{h_{22}} (\Omega)$$

Resultat: $h_{11} = \dots\dots\dots$ (Ange dimension!)

$$h_{21} = \dots\dots\dots$$

$$\frac{1}{h_{22}} = \dots\dots\dots$$

Enligt fabrikanter är

$$h_{11} = \dots\dots\dots$$

$$h_{21} = \dots\dots\dots$$

$$\frac{1}{h_{22}} = \dots\dots\dots \Omega$$

Jämför värdena och kommentera:

Kommentar

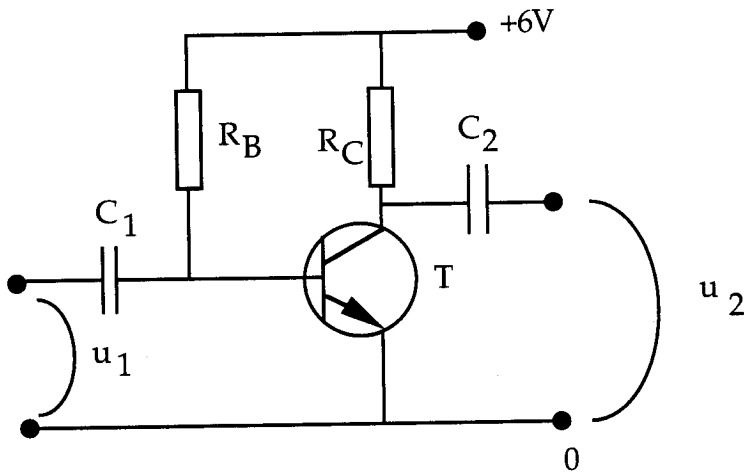
Uppgift 5. Mätning av vilopunkt, bipolär transistor.

Koppla upp nedanstående förstärkarsteg (figur 5.) med den transistor som uppmättes i föregående uppgift. Beräkna vilka värden på R_C och R_B som erfordras för att vilopunkten $I_C = 2 \text{ mA}$, $U_{CE} = 3 \text{ V}$ skall erhållas (använd de karakteristikor som Du tog upp under uppgift 3):

$$I_B = \dots\dots\dots B = \dots\dots\dots U_{BE} = \dots\dots\dots$$

Vad blir de beräknade resistansvärdena?

$$R_B = \dots\dots\dots R_C = \dots\dots\dots$$



Figur 5. Förstärkarsteg med transistor.

Koppla upp kretsen på det kopplingsbord som finns på din labplats! Mät upp den erhållna vilopunkten med voltmeter.

Resultat:

$$I_C = \frac{U_{R_C}}{R_C} = \dots\dots\dots$$

$$U_{CE} = \dots\dots\dots$$

Efterjustera vid behov R_B så att den önskade vilopunkten uppnås.

Uppgift 6. Mätning av förstärkningen.

Se figur 5. Låt u_1 vara en sinusspänning med frekvensen 1 kHz från en tongenerator med spänningsdelare (t.ex. Leader LFG 1300) Mät u_1 och u_2 med oscilloskop och DMM. Ställ in tongeneratoren så att $u_2 \approx 0,5$ V RMS. (RMS = Root Mean Square, dvs effektivvärde.) Flytta mätinstrumentet till förstärkarens ingång och mät u_1 .

OBS! Man bör alltid ha oscilloskopet inkopplat på utgången för att försäkra sig om att utsignalen ser OK ut (t ex. ska en sinus signal in alltid ge en sinus signal ut annars gäller inte småsignal approximationen)

Resultat:

$$u_1 = \dots\dots\dots$$

Vad blir förstärkningen $F = \frac{u_2}{u_1}$?

Svar:

Inverterar steget signalen?

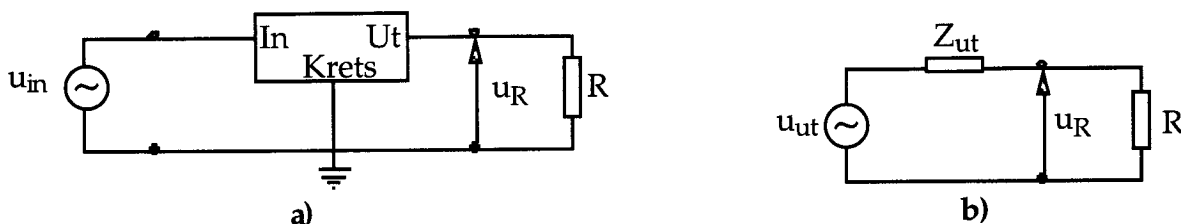
Svar:

Vad blir ett beräknat värde på F (med hjälp av ekvivalent h - schema och Dina h - värden från uppgift 4) ?

Svar:

Rita ekvivalentschemat för förstärkarsteget:

Allmänt om mätning av utgångsimpedans.



Figur 6. Metod för mätning av en krets utgångsimpedans.

För att mäta en krets utgångsimpedans, kopplar vi ett motstånd mellan utgången och jord, och matar kretsen på ingångssidan (se figur 6a). När kretsen är obelastad är utspänningen u_{ut} , med R ansluten u_R .

På utgångssidan verkar kretsen som en generator med spänningen $u_{ut} = F \cdot u_{in}$ i serie med kretsens utgångsimpedans Z_{ut} (se figur 6b) där u_{ut} är utspänningen när kretsen är obelastad.

Z_{ut} och R utgör tillsammans en spänningsdelare som delar ned spänningen u_{ut} till u_R så att:

$$u_R = \frac{R}{R + Z_{ut}} \cdot u_{ut}$$

Insätts $u_{ut} = F \cdot u_{in}$ erhålles:

$$u_R = F \cdot u_{in} \cdot \frac{R}{R + Z_{ut}}$$

När $R \rightarrow \infty$ blir $u_R = F \cdot u_{in}$ och när $R = Z_{ut}$ blir $u_R = F \cdot u_{in} / 2$. Genom att minska R från ∞ tills u_R har sjunkit till hälften kan vi således bestämma Z_{ut} .

Uppgift 7. Bestämning av utgångsimpedansen.

Mätning av utimpedansen: Förstärkarens utgång kan ses som en tvåpol, vilket gör det möjligt att använda den metod för utimpedansmätning som beskrivits ovan. Använd en digital voltmeter i läge ACV för att mäta u_2 , ställ in sinusgeneratoren på 1 kHz och $u_2 \sim 0,5$ V RMS då utgången är obelastad. Belasta sedan utgången med ett dekadmotstånd R , så att u_2 sjunker till hälften. Z_{ut} avläses på dekadmotståndet. Resultat:

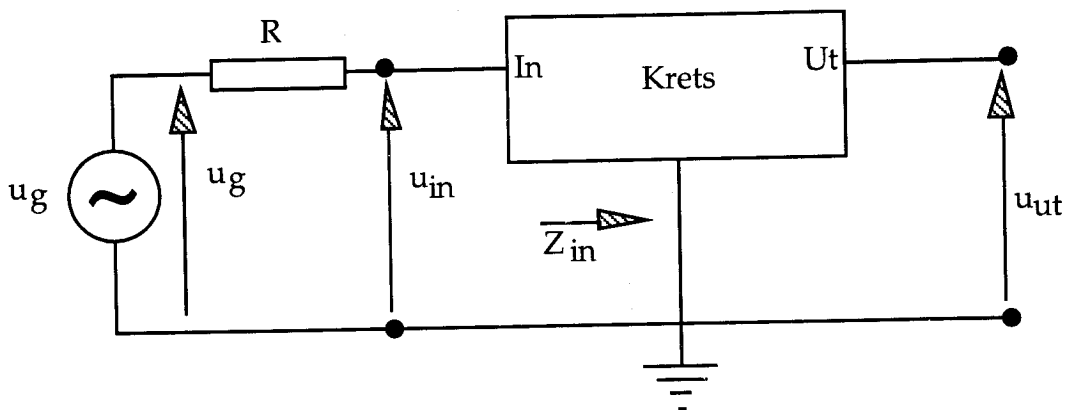
$$Z_{ut} = \dots\dots\dots$$

Vad blir det beräknade värdet på Z_{ut} (med hjälp av ekvivalentschema)?

Svar:

$$Z_{ut} = \left(\frac{1}{h_{22}} // R_C \right) = \dots\dots\dots$$

Allmänt om mätning av ingångsimpedans.



Figur 7. Uppkoppling för att bestämma en krets ingångsimpedans.

För att bestämma en krets ingångsimpedans kopplar vi ett motstånd i serie med kretsens ingång, och matar från en lågohmig generator (se figur 7). R och Z_{in} kommer att tillsammans utgöra en spänningsdelare som delar ned spänningen u_g till U_{in} så att:

$$u_{in} = \frac{Z_{in}}{R + Z_{in}} \cdot u_g$$

Enligt definitionen på förstärkningen är:

$$u_{ut} = F \cdot u_{in}$$

Elimination av u_{in} mellan dessa två ekvationer ger:

$$u_{ut} = F \cdot \frac{Z_{in}}{R + Z_{in}} \cdot u_g$$

Då $R = 0$ blir $u_{ut} = F \cdot u_g$ och då $R = Z_{in}$ blir $u_{ut} = F \cdot u_g / 2$.

Uppgift 8. Bestämning av ingångsimpedansen.

Mät u_{ut} för konstant inspänning u_g med R lika med 0Ω och öka sedan R så att u_{ut} halveras. Beräkna Z_{in} .

Resultat:

Jämför med Ditt tidigare värde på h_{11} från uppgift 4 och kommentera?.

Resultat:

$$h_{11} =$$

Kommentar:

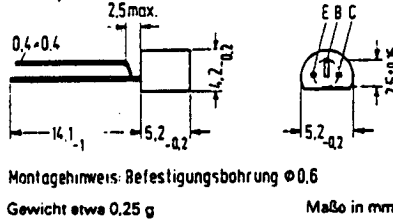
NPN-Silizium-Transistoren

BC 237
BC 238
BC 239

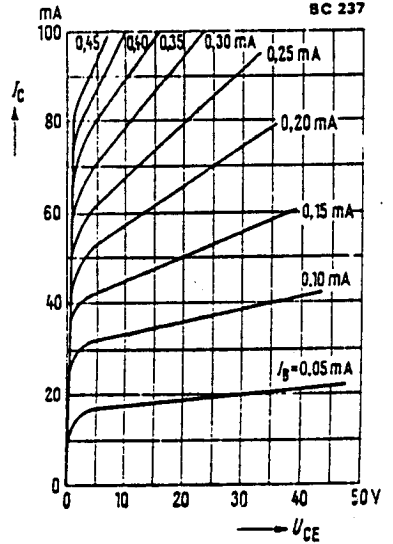
für NF-Vor- und Treiberstufen sowie universelle Anwendung

BC 237, BC 238 und BC 239 sind epitaktische NPN-Silizium-Planar-Transistoren in Kunststoffgehäuse 10 A 3 DIN 41 868 (TO-92) zur Verwendung in NF-Vor- und Treiberstufen sowie als Komplementär-Transistoren zu BC 307, BC 308 und BC 309 geeignet. BC 239 ist für rauscharme Vorstufen vorgesehen.

Typ	Bestellnummer
BC 237 A	Q62702-C276
BC 237 B	Q62702-C277
BC 238 A	Q62702-C278
BC 238 B	Q62702-C279
BC 238 C	Q62702-C280
BC 239 B	Q62702-C281
BC 239 C	Q62702-C282

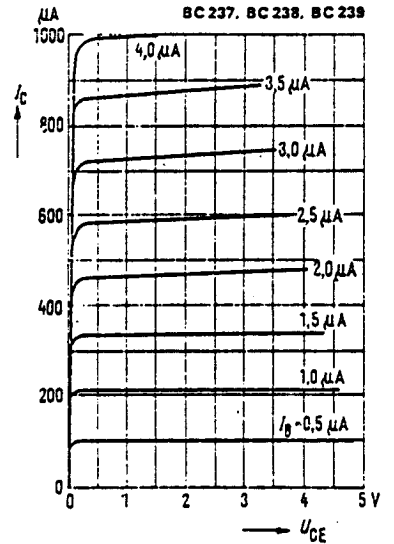


Ausgangskennlinien
 $I_C = f(U_{CE})$, I_B - Parameter
(Emitterschaltung)



Grenzdaten		BC 237	BC 238	BC 239	
Kollektor-Emitter-Spannung	U_{CES}	50	30	30	V
Kollektor-Emitter-Spannung	U_{CEO}	45	20	20	V
Emitter-Basis-Spannung	U_{EBO}	6	5	5	V
Kollektorstrom	I_C	100	100	50	mA
Kollektor-Spitzenstrom	I_{CM}	200	200	-	mA
Basisstrom	I_B	50	50	5	mA
Sperrschichttemperatur	T_j	150	150	150	°C
Lagertemperatur	T_s		-55 bis +150		°C
Gesamtverlustleistung	P_{tot}	300	300	300	mW
Wärmewiderstand					
Kollektorsperrschicht - Luft	R_{thJU}	≤ 420	≤ 420	≤ 420	K/W

Ausgangskennlinien $I_C = f(U_{CE})$
 I_B - Parameter
(Emitterschaltung)



BC 237
BC 238
BC 239

Dynamische Kenndaten ($T_j = 25^\circ\text{C}$)

Transitfrequenz ($I_C = 0,5 \text{ mA}$; $U_{CE} = 3 \text{ V}$)	f_T	85	85	85	MHz
Transitfrequenz ($I_C = 10 \text{ mA}$; $U_{CE} = 5 \text{ V}$; $f = 100 \text{ MHz}$)	f_T	250 (> 150)	250 (> 150)	300 (> 150)	MHz
Kollektor-Basis-Kapazität ($U_{CBO} = 10 \text{ V}$; $f = 1 \text{ MHz}$)	C_{CBO}	< 4,5	< 4,5	< 4,5	pF
Emitter-Basis-Kapazität ($U_{EBO} = 0,5 \text{ V}$; $f = 1 \text{ MHz}$)	C_{EBO}	8	8	8	pF
Rauschmaß ($I_C = 0,2 \text{ mA}$; $U_{CE} = 5 \text{ V}$; $R_G = 2 \text{ k}\Omega$; $\Delta f = 30 \text{ Hz bis } 15 \text{ kHz}$)	F	-	-	< 4	dB
Rauschmaß ($I_C = 0,2 \text{ mA}$; $U_{CE} = 5 \text{ V}$; $R_G = 2 \text{ k}\Omega$; $f = 1 \text{ kHz}$; $\Delta f = 200 \text{ Hz}$)	F	2 (< 10)	2 (< 10)	< 4	dB

$I_C = 2 \text{ mA}$; $U_{CE} = 5 \text{ V}$; $f = 1 \text{ kHz}$:

B-Gruppe	A	B	C	
Typ	BC 237 BC 238	BC 237 BC 238 BC 239	- BC 238 BC 239	
h_{11e}	2,7 (1,6 bis 4,5)	4,5 (3,2 bis 8,5)	8,7 (6 bis 15)	k Ω
h_{12e}	1,5	2	3	10^{-4}
h_{21e}	220 (125 bis 280)	330 (240 bis 500)	600 (450 bis 900)	-
h_{22e}	18 (< 30)	30 (< 60)	60 (< 110)	μS

Kollektorstrom $I_C = f(U_{BE})$
 $U_{CE} = 5 \text{ V}$ (Emitterschaltung)

