



E3-5: Måleteknik

100805/OKJ
rev. 101026/OKJ

- 1 Introduktion og måling med multimetre
 - o Laboratorieintroduktion og sikkerhedsregler
 - o Måling med multimetre, målefejl
 - o RMS-værdi
 - o Impedansmåling
- 2 Måling med oscilloskop
 - o Basale funktioner
 - o Nøjagtighed, belastning
- 3 Måling med oscilloskop
 - o Automatiske funktioner (kort)
 - o Delayed sweep (kort)
 - o Matematiske funktioner: +, -, *, Diff., Int., FFT
 - o XY-mode
 - o Måling af (kompleks) impedans
- 4 Transistorforstærker
 - o Målinger
 - o Dokumentation
- 5 Måling med en NI-4461 baseret analysator
 - o Frekvensgang
 - o Forvrængning
 - o Impedans

E3
ITC3
PDP5

E3



Mm. 4 & 5: Oversigt

Emner, mm4:

- Målejournaler
- Forskellige impedans-målemetoder
- (Kort snak om curve-tracer)
- Simulering af & måling på "universalforstærker"
 - o DC-arbejdspunkt
 - o Frekvensafhængig forstærkning
 - o Indgangsmodstand (1 kHz)
 - o Forvrængning (målinger i mm. 5)

Emner, mm5:

- Forvrængningsmåling
- Egenskaber for NI-PCI-4461-kortet
- Introduktion til
 - o "Swept Sine FRF VI"
 - o "Amplitude Swept THD VI"
- Simulering & måling af/på "universalforstærker"
 - o Frekvensafhængig forstærkning
 - o Indgangsimpedans
 - o Forvrængning
- Måling på den hemmelige impedans

4 hold á 2 grupper



Målejournaler:

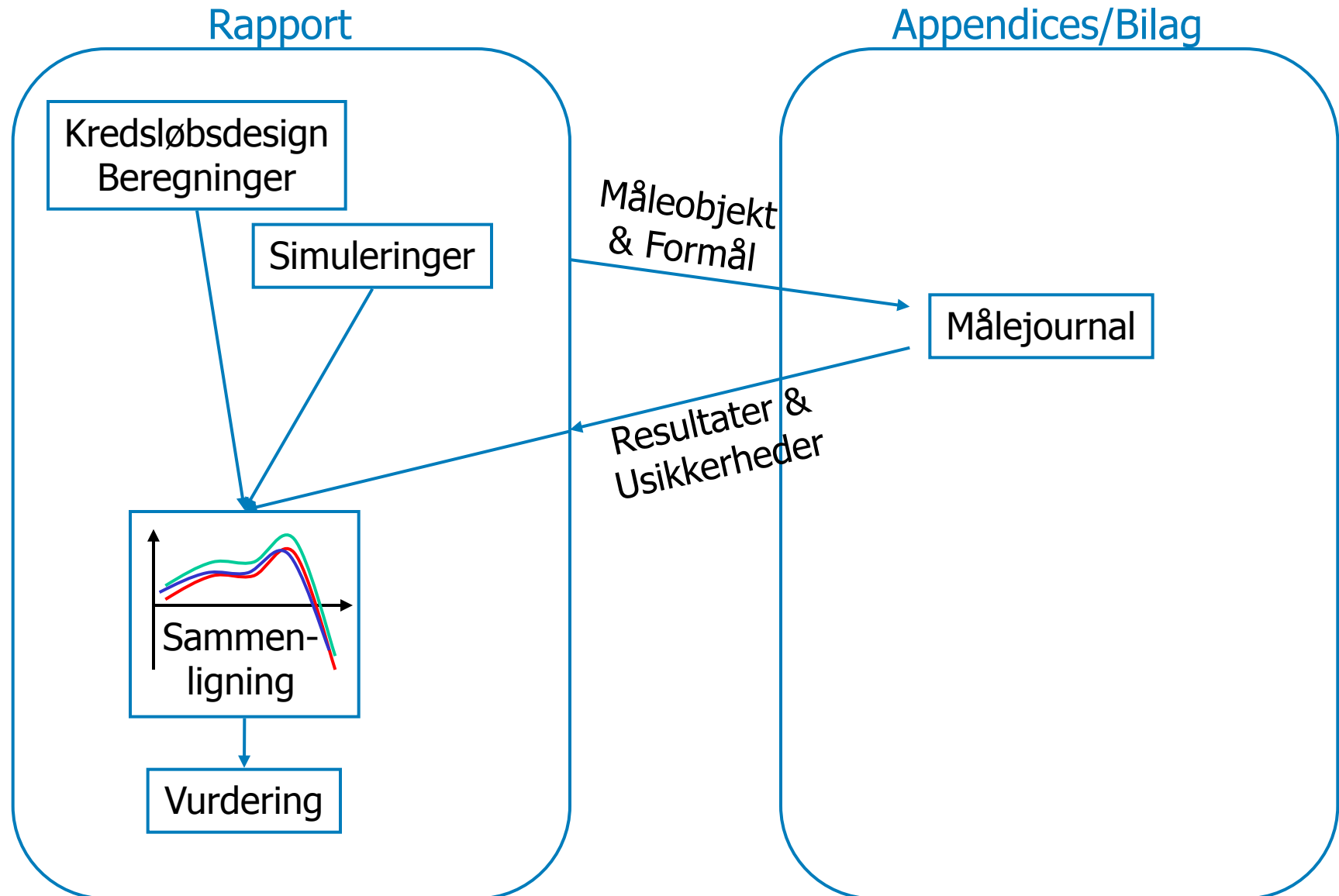
- Formål
- Testobjekt
- (Teori for målingen)
- Måleopstilling
- Anvendt udstyr
- Måleprocedure
- Resultater
- Måleusikkerhed

Sammenligning af beregnede, simulerede og målte resultater

- Grafik
- Tabeller
- Forklaringer



Målejournaler (repetition)





Målejournalen skal dokumentere en måling

Når en fagmand M/K har læst målejournalen skal hyn være i stand til at gentage målingen

Navn & Dato

Målingens formål (kan være):

- At kontrollere den kvalitative funktion af testobjektet og finde evt. fejl
- At indstille justerbare komponenter
- At måle de specificerede parametre for måleobjektet
- At vurdere usikkerheden på de målte parametre

Formålet er ikke at "vise at målingerne giver samme resultat som beregnet"
- målingen skal være objektiv!!

Eksempler

- At måle/indstille frekvensen af AMV'en
- At måle forstærkning som funktion af frekvensen for universalforstærkeren



Testobjekt:

- Her skal testobjektet defineres entydigt. Der kan evt. henvises til diagrammer i rapporten.
- Det er vigtigt, at alle målepunkter er veldefinerede.

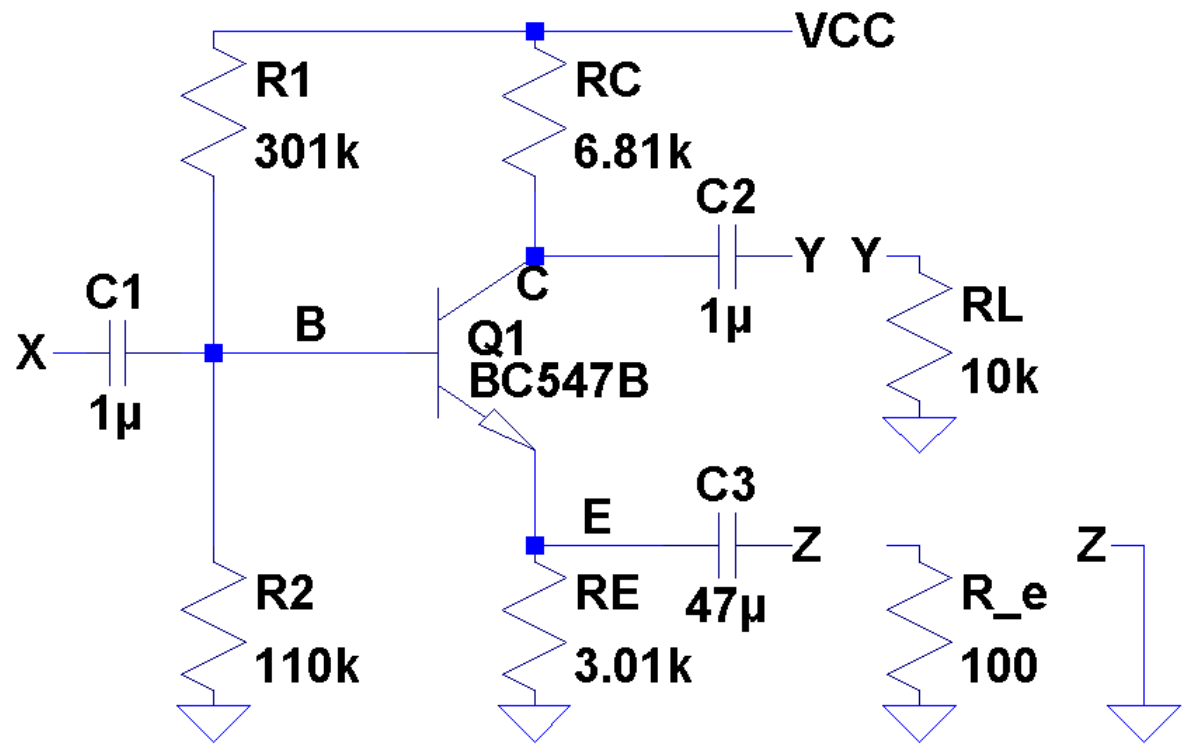


Fig. 1. Universalforstærkeren

Komponentlisten
findes i tabel x.y.

Teori for målingen:

Hvis de ønskede parametre fremkommer indirekte ud fra målingen, kan det være nødvendigt at beskrive teorien. Eksempel:

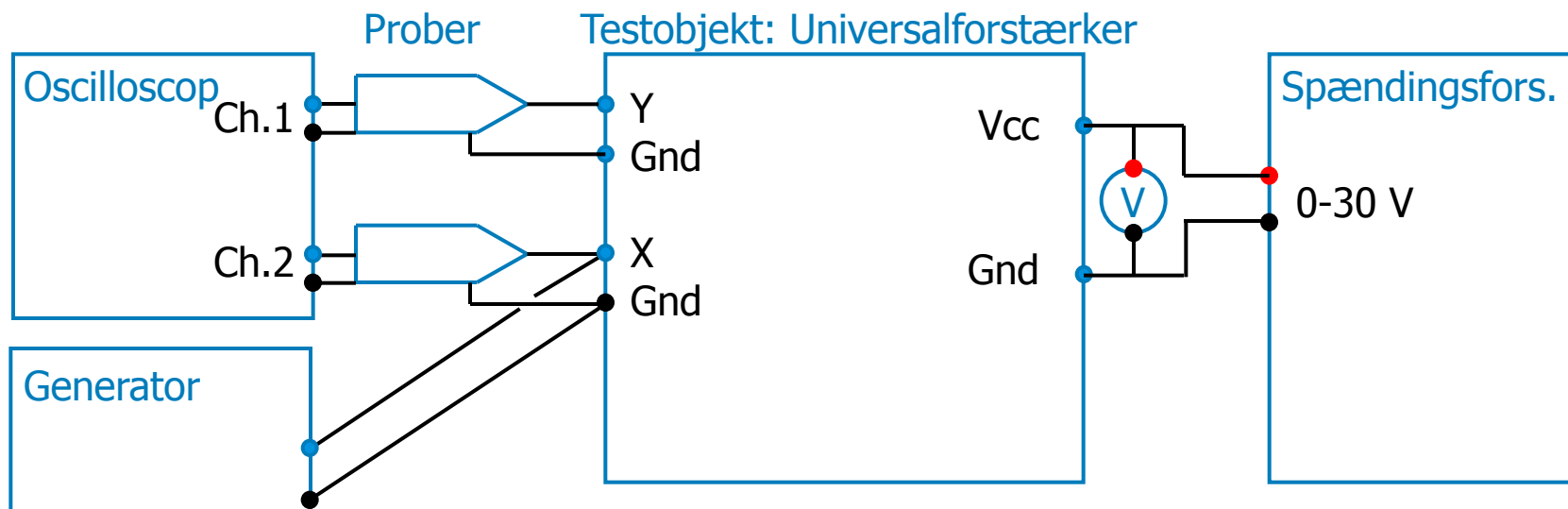
- "Gain" af en ukendt antenne, G_U , skal måles
- Sendereffekten, P_S , tilføres en antenne med kendt gain, G_K .
- Den modtagne effekt, P_M , måles
- Afstanden, R , måles
- Bølgelængden, λ , beregnes ud fra frekvensen
- G_U beregnes ud fra:

$$P_M = P_S G_K G_U \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2$$



Måleopstilling:

Her skal vises en tegning over måleopstillingen, så man klart kan se, hvordan udstyret er tilsluttet. Eksempel:



Hvis der bruges flere forskellige tilslutninger under målingen, kan der vises flere forskellige opstillinger, eller der kan skrives en forklarende tekst.



Anvendt udstyr:

Alt væsentligt udstyr skal beskrives entydigt, f.eks.:

Instrument	AAU-nr.	Fabrikat, type m.v.
Oscilloscop	56812	Agilent 54642D
Prober, 2 stk.	-	Agilent 10073C
Spændingsforsyning	52787	B&O Power Supply SN16
Multimeter	08283	Fluke 37 Multimeter

Hvorfor "dobbelt angivelse" af udstyr?

- AAU-nummeret gælder for det enkelte eksemplar. Hvis det senere viser sig at være defekt, kan det måske forklare mærkelige resultater.
- Fabrikat & type sætter læseren i stand til at finde apparatets egenskaber



Måleprocedure:

Her beskrives klart og entydigt, hvordan målingen er foretaget inkl. alle ikke indlysende indstillinger af apparater. Eks.:

1. Spændingsforsyningen tilsluttes og indstilles til 15 V (måles med voltmeteret)
2. Generatoren indstilles til at give en sinusspænding med en amplitude på 14 mV (måles med oscilloskopet)
3.



Resultater:

- Nogle resultater kan med fordel flyttes (eller kopieres) til rapporten – husk henvisning
- Ofte angives tabeller i målejournalen og grafer i rapporten
- Brug tabeller – resultater blandet med tekst bliver rodet
- Datafiler bør (desuden) vedlægges rapporten på en CD – husk henvisning
- Præcis formulering er vigtig!!
 - Angiv enheder
 - DC, RMS, amplitude, eller spids-spids værdier?

Generator-frekvens [kHz]	V_A (RMS) [V]	V_B (spids-spids) [mV]	I_{R7} (DC) [mA]
1	1,25	124	2,333
2	1,27	143	2,334
5	1,23	144	2,335
10	1,30	176	2,335
20	1,45	166	2,336



Fejlkilder og usikkerheder:

- Her angives væsentlige fejlkilder og usikkerheder i.f.b. med **målingen**.
- Principielt skal man medtage alle usikkerheder og lave en samlet usikkerhedsberegning, men oftest nævnes kun de mest væsentlige.
- Det er vigtigt at forklare uoverensstemmelser mellem beregnede, simulerede og målte data, men det hører hjemme i hovedrapporten – ikke i målejournalen.
- I rapporten kan man evt. henvise til usikkerheder beskrevet i målejournalen.

Typiske årsager til måleunøjagtighed:

- Måleinstrumenter påvirker (belaster) måleobjektet
 - V- & A-metre: Se mm. 1
 - Oscilloscop med probe f.eks. $10\text{ M}\Omega \parallel 15\text{ pF}$
 - 1 m RG58 coax-kabel har en kapacitet mellem inder- og yderleder på 101 pF
- Aflæsningsunøjagtighed
 - Analoge (antikke) viserinstrumenter
 - Oscilloscop-cursor (pas på støj i "auto-peak-peak")
- Støj, 50 Hz (100 Hz) brum, switch-mode spændingsforsyninger m.v.
- Instrumentets unøjagtighed: Se manualen!
 - Multimetre: Frekvensafhængig måleusikkerhed
 - Oscilloscop: Både horisontal (lille) og vertikal usikkerhed

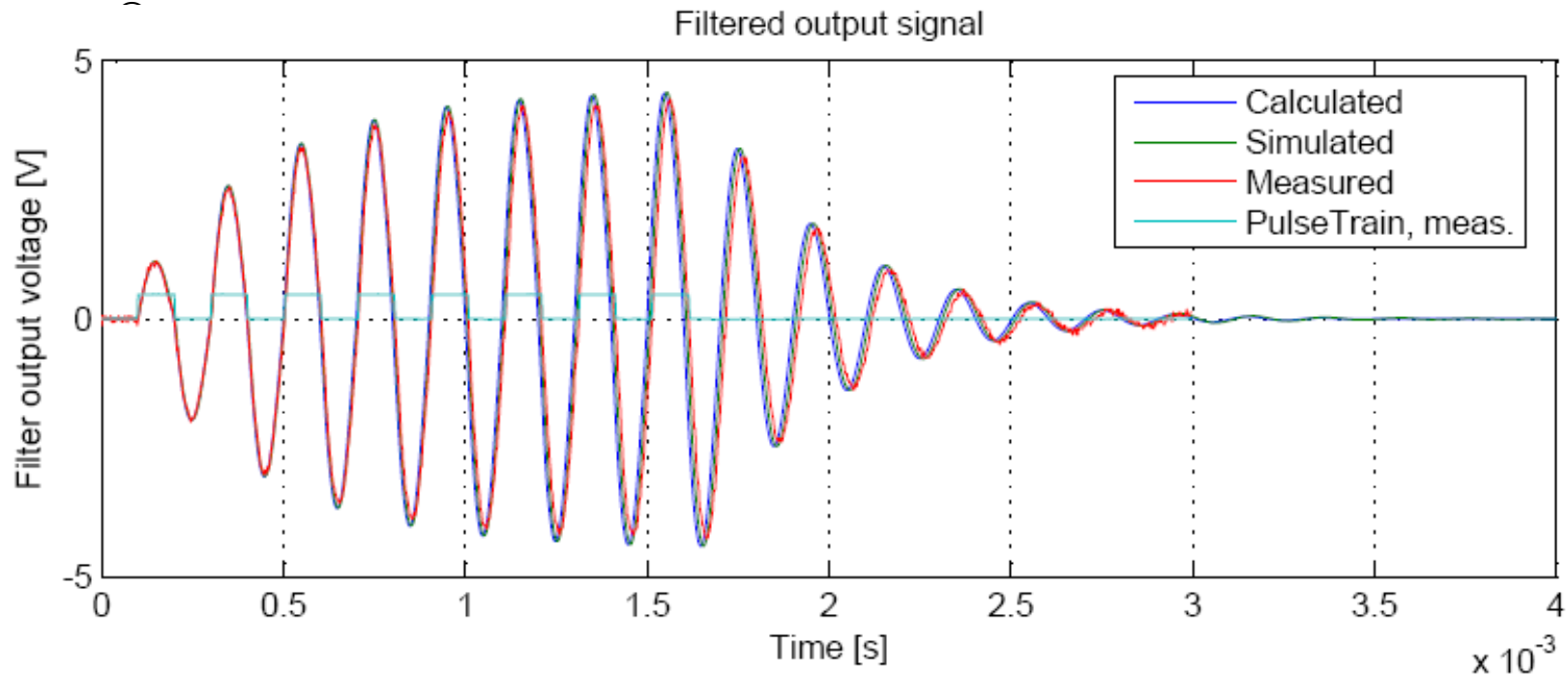


Sammenligning af beregninger, simuleringer og målinger

- Placeres i det relevante kredsløbsafsnit

Præsentation af data:

- Tabel med beregnede, simulerede og målte værdier
- Grafer med beregnede, simulerede og målte værdier
 - Helst (3) kurver på samme graf – det gør det lettest at sammenligne og sparer papir.
 - Hvis man laver (3) separate grafer, tror læseren det er fordi man vil skjule afvigelser





Sammenligning af beregninger, simuleringer og målinger

- Placeres i det relevante kredsløbsafsnit – ikke i målejournalen

Præsentation af data:

- Skriv hvordan data er behandlet. Vedlæg en evt. Matlab-fil på CD.
- Husk at angive, hvis der er lavet "lovlige" manipulationer med data, f.eks. tidsforskydning p.g.a. ukendt triggertidspunkt eller en forskydning af DC-niveauet.

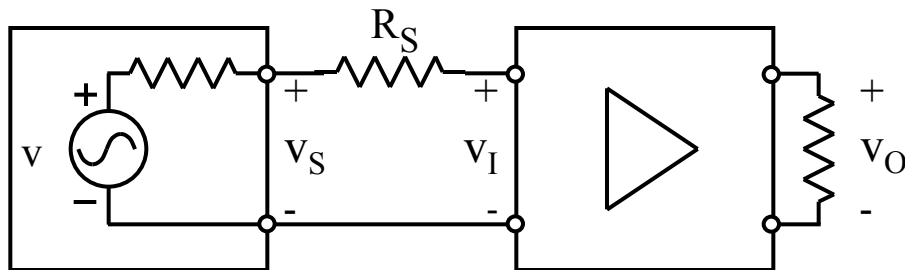
Typiske årsager til afvigelser:

- Beregningsmodellen er simplere end virkeligheden
- Simuleringsmodellen er bedre, men stadig simplere end virkeligheden
- Måleunøjagtigheder
- Komponenttolerancer – bliver ofte (mis-)brugt som forklaring
 - Lav f.eks. en supplerende simulering, der check'er om komponenttolerancer virkelig har en væsentlig betydning



Husk:

- Simulering: En .AC simulering benytter en lineariseret model, så signalklipning forekommer ikke.
- Måling: Huske at kontrollere, om der forekommer signalklipning (v.h.a. et oscilloskop). Dette gælder også impedansmålinger.
- Med en generator og oscilloskop eller voltmetre, kan man lave målinger ved enkelte frekvenser (i dag: 1 kHz, f_L & f_H)
- Med NI-PCI-4461 kan målinger ved en række frekvenser foretages i et sweep. (som .AC simulering).
- Forhold Jer kritisk til resultaterne og de måleusikkerheder der er ifbm. Jeres set-up og Jeres instrumenter.
- Kapacitiv belastning fra måleinstrumenterne kan være betydelig ved høje frekvenser.
- Husk også at indsætte $R_S = 1\text{ k}\Omega$, som er brugt ved beregning af forvrængning og A_{VS} . (Er på PCB?)



$$A_{VS} = \frac{v_o}{v_s}$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i}$$

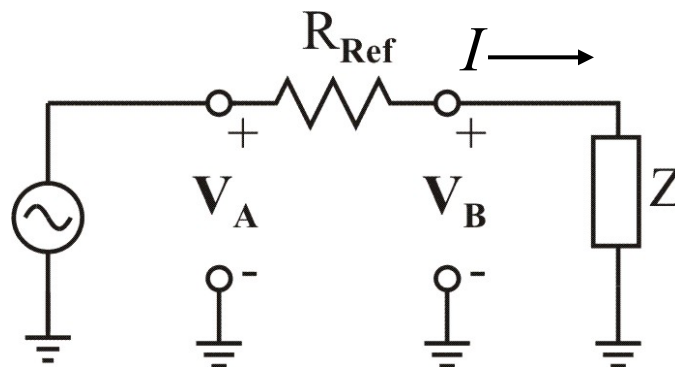


Fra mm. 3:

$$Z = R_{\text{Ref}} \frac{1}{\frac{V_A}{V_B} - 1}$$

$$Z = R_{\text{Ref}} \frac{V_B}{V_A - V_B}$$

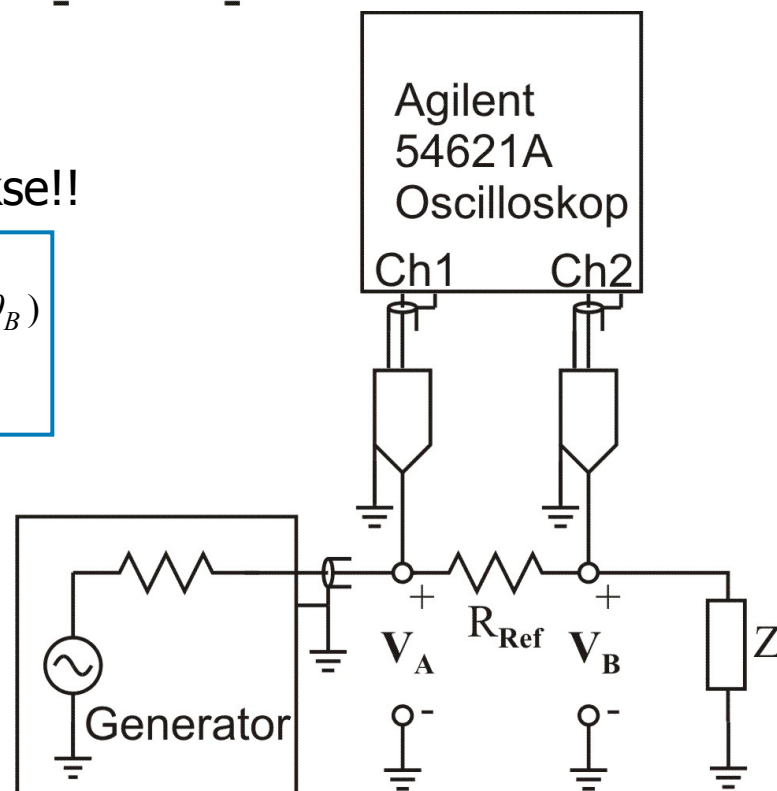
$$Z = R_{\text{Ref}} \frac{V_B / V_A}{1 - \frac{V_B}{V_A}}$$



V_A og V_B komplekse!!

$$\frac{V_A}{V_B} = \left| \frac{V_A}{V_B} \right| e^{j(\theta_A - \theta_B)}$$

PS: Med oscilloskopets "Math"-funktion kan man måle $v_A(t) - v_B(t)$





|Impedans|-måling

Fra mm. 1:

Korrekt måleopstilling (Z er ukendt):

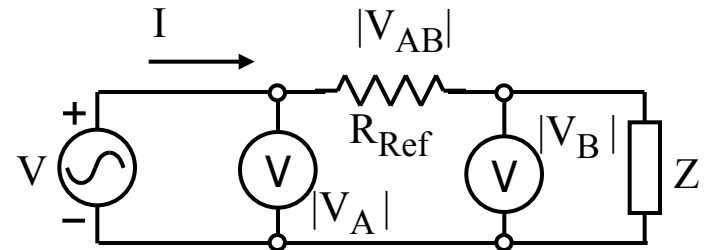
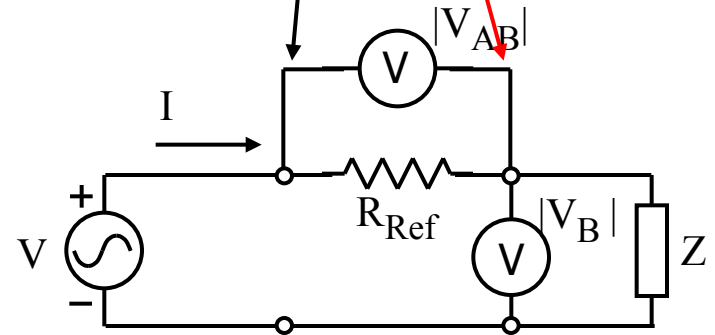
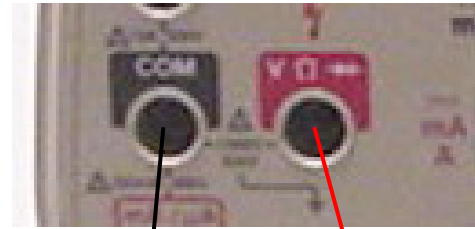
Voltmetre og amperemetre giver ingen information om fasen (her tydeliggjort med numerisk-tegn, men de udelades oftest)

$$|Z| = \frac{|V_B|}{|I|} = \frac{|V_B|}{|V_{AB}|} R_{Ref}$$

Forkert måleopstilling (Z er ukendt):

OK hvis Z er reel

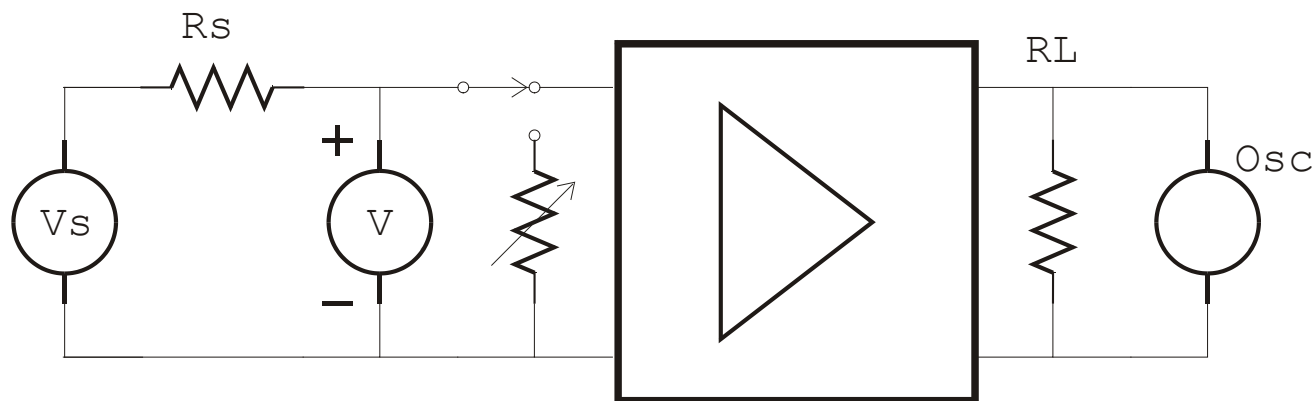
$$|Z| \neq \frac{|V_B|}{|V_A| - |V_B|} R_{Ref} \quad \text{hvis } Z \text{ er kompleks}$$





Hvis Z_{IN} er reel:

Substitutionsmetoden:

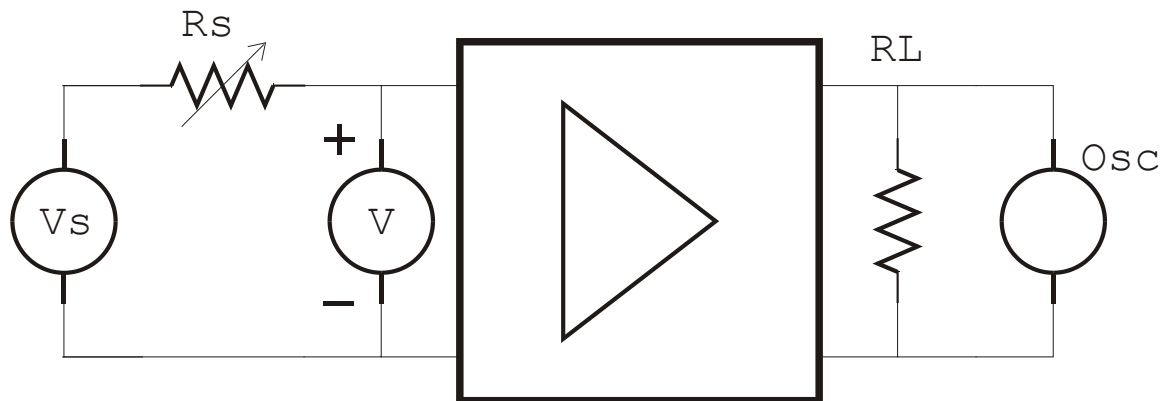


R justeres indtil der fås samme visning på V ved omskiftning. Dermed vil $R_{\text{af læst}}$ være lig R_i .



Hvis Z_{IN} er reel:

Halveringsmetoden:



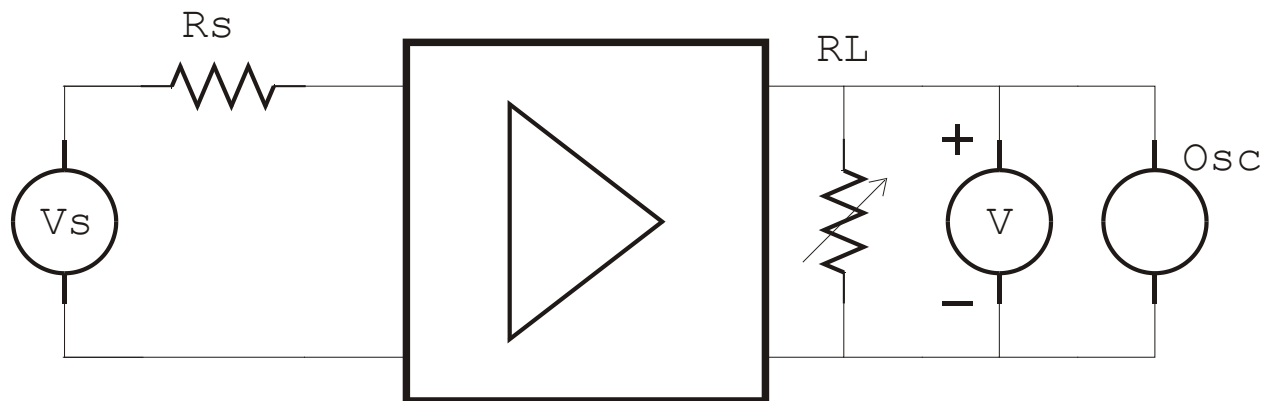
For $R_s = 0$ aflæses $V = V_s$. R_s øges indtil $V = V_s/2$ hvorved $R_s = R_i$ kan aflæses.

ULEMPE: Ved store R_s værdier opsamles en del støj.



Hvis Z_{OUT} er reel:

Belastningsmetoden:



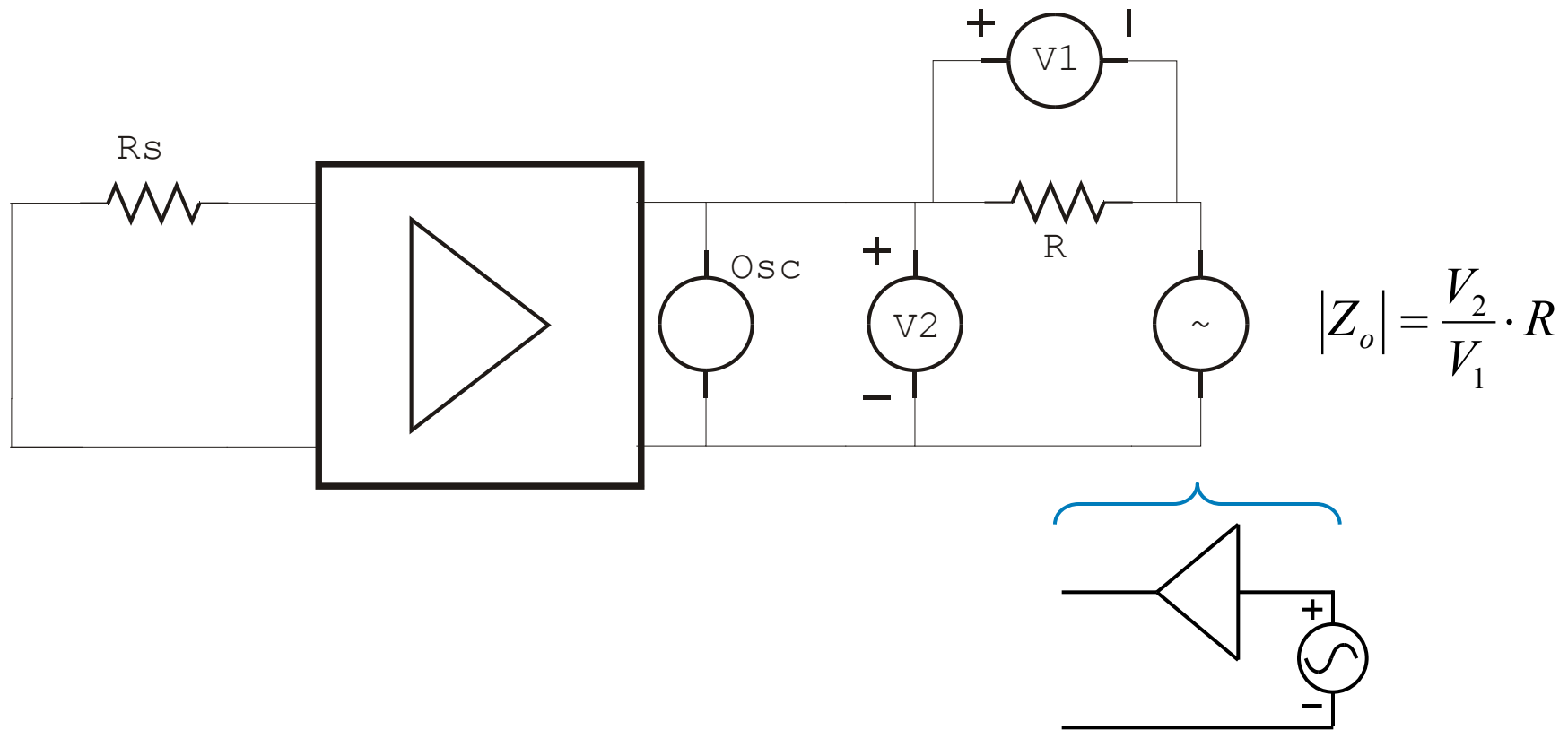
For $R_L \rightarrow \infty$ aflæses $V_1 = V_{OT}$. R_L reduceres indtil $V = V_{OT}/2$ hvorved $R_L = R_o$ kan aflæses.

ULEMPE: Ved lave R_L værdier kan udgangen gå i strøm-mætning, så metoden er uanvendelig. Dette er typisk tilfældet for forstærkere med tilbagekobling, hvor udgangsimpedansen er lav.

[© Jan H. Mikkelsen]



Aktiv $|Z_{OUT}|$ -måling:

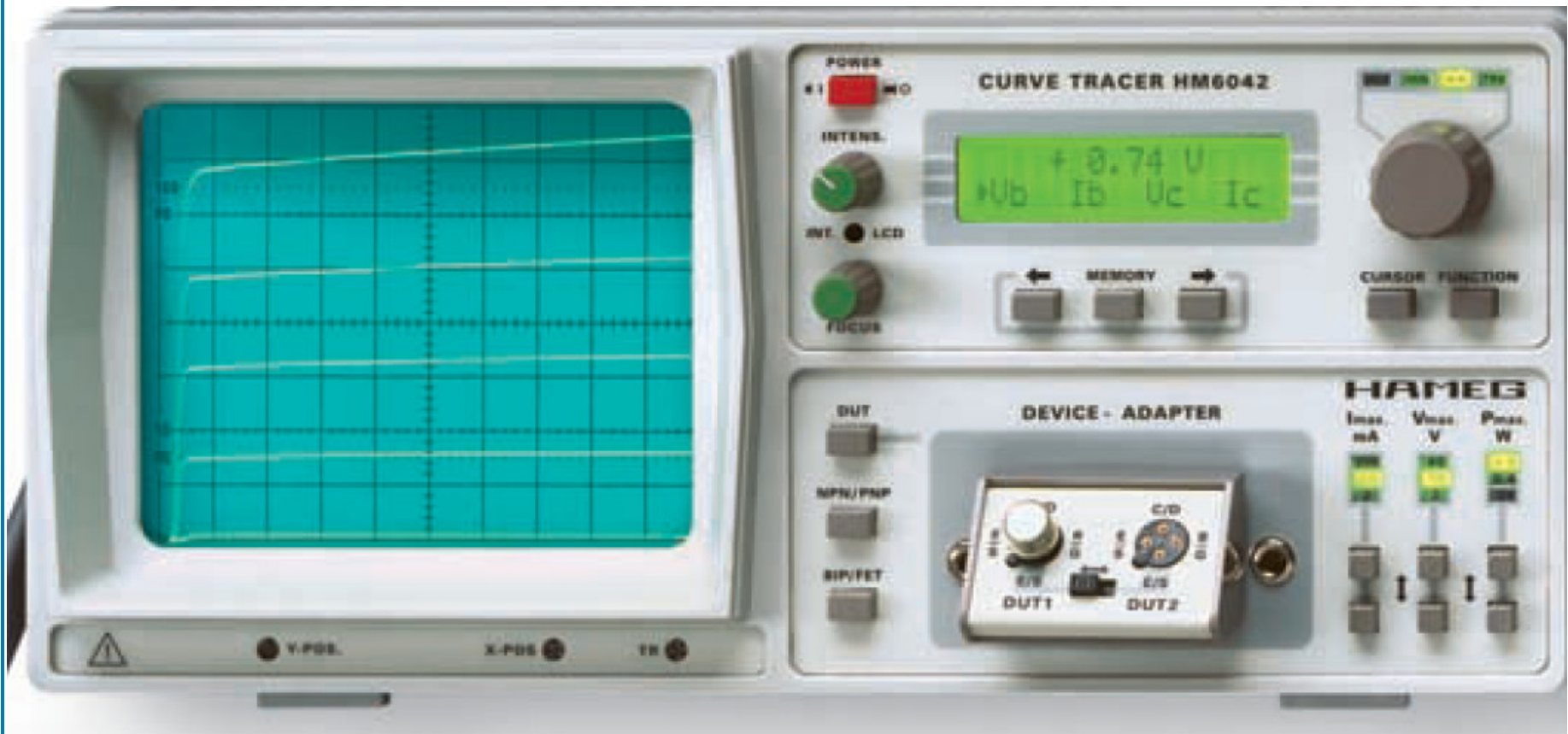


For (effekt-)forstærkere med lav udgangsimpedans kan man indsætte en forstærker, der kan levere stor strøm.

[© Jan H. Mikkelsen]

Curve-tracer

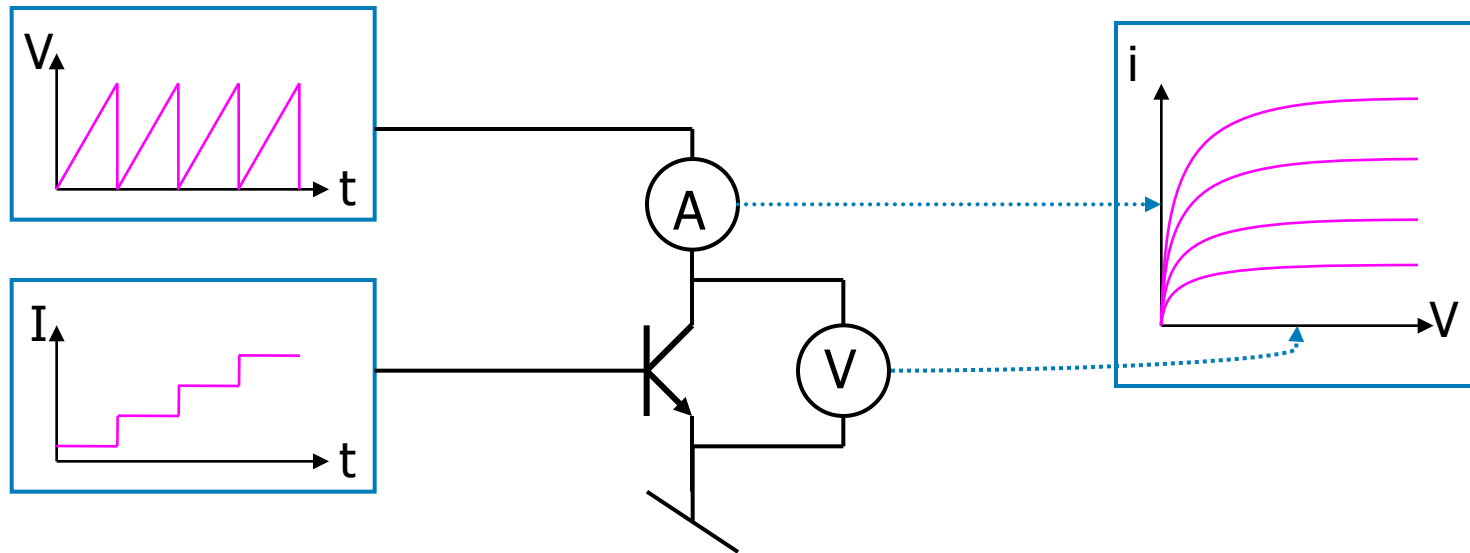
- Hameg HM6042
- Spændinger op til 50 V. Hold fingrene fra komponenten under brug
- Måling på én transistor eller sammenligning af 2
- Et anvendeligt instrument med en del begrænsninger





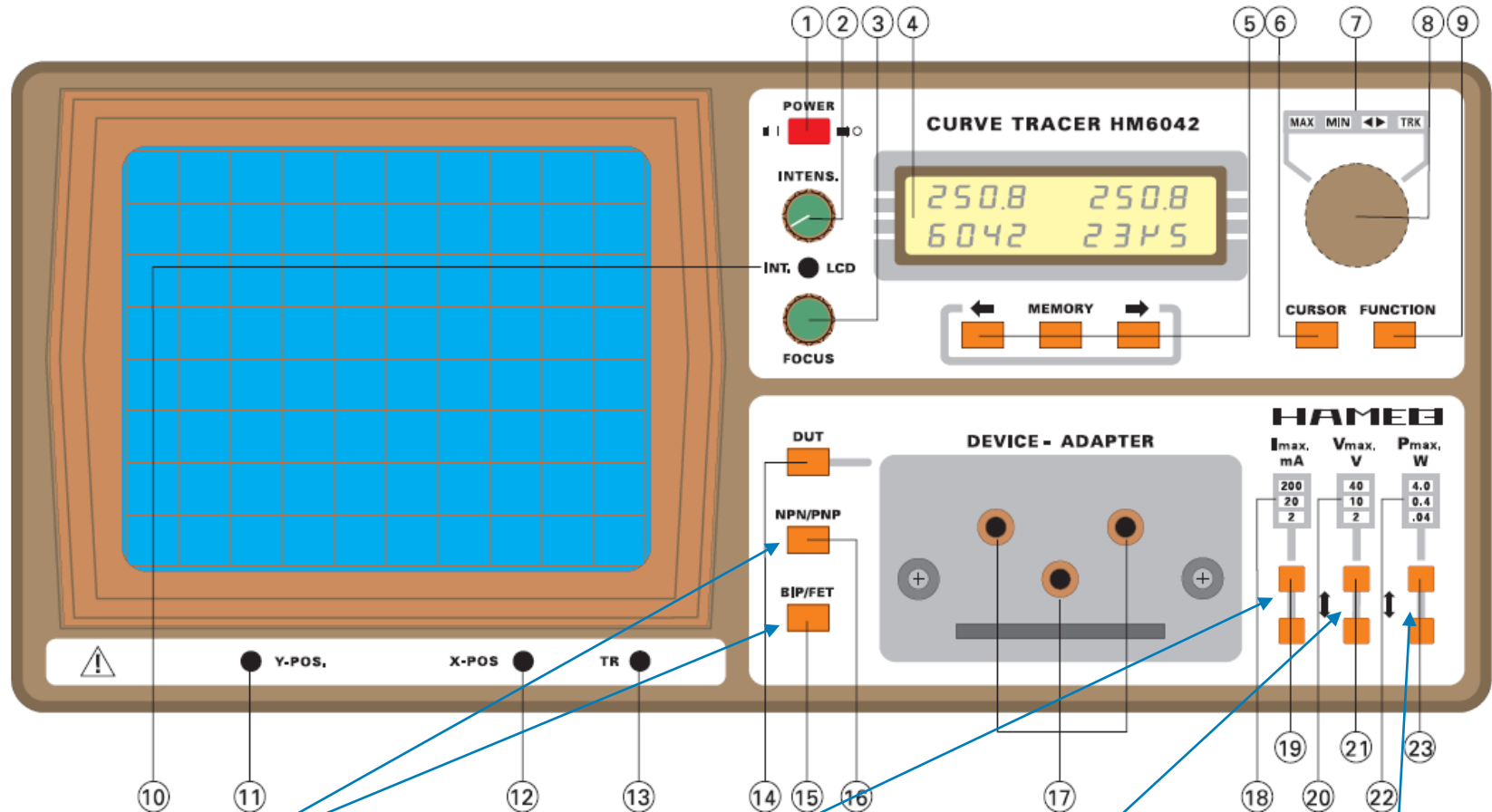
Curve-tracer - princip

- Spændingsgenerator: Savtak (eller lignende) som funktion af tiden
 - Strømgenerator: Trappekurve som funktion af tiden (spænding til FET'er)
 - Spænding vises på x-aksen
 - Strøm vises på y-aksen
 - Beskyttelseskredsløb indbygget
- BJT-NPN:





Curve-tracer



- BJT-NPN
- BJT-PNP
- FET-Nch
- FET-Pch

Max:

- 200 mA
- 20 mA
- 2 mA

Max:

- 40 V
- 10 V
- 2 V

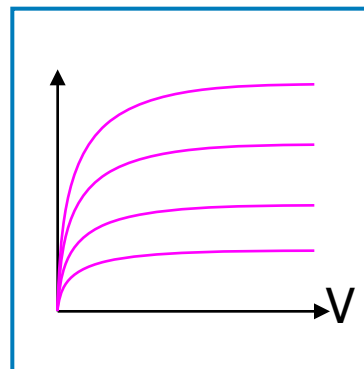
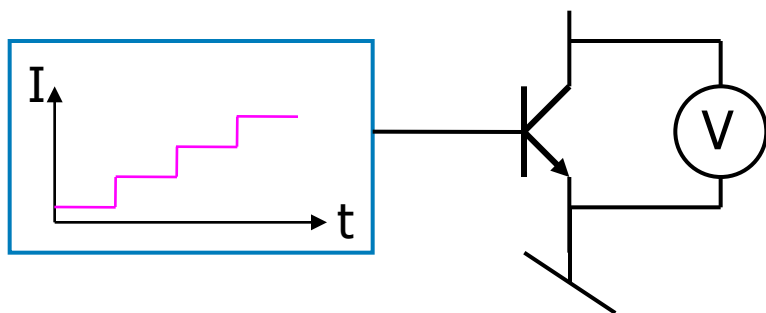
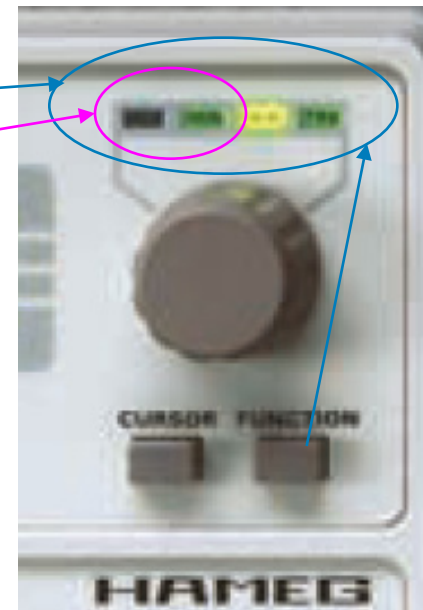
Max:

- 4 W
- 0.4 W
- 0.04 W



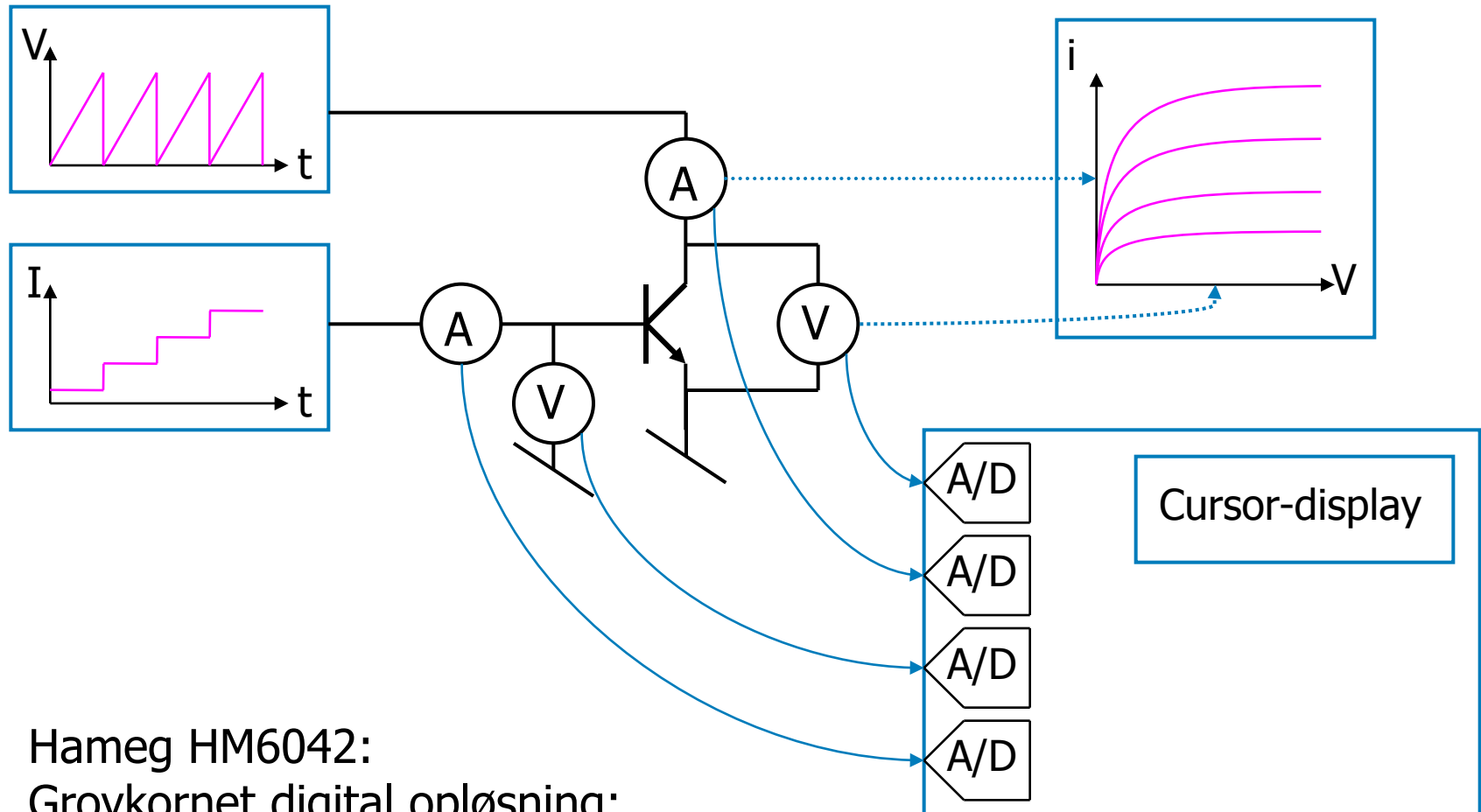
Curve-tracer - indstilling

- Valg af funktion af drejeknap
- Min/max indstilling af basisstrøm





Curve-tracer - cursor



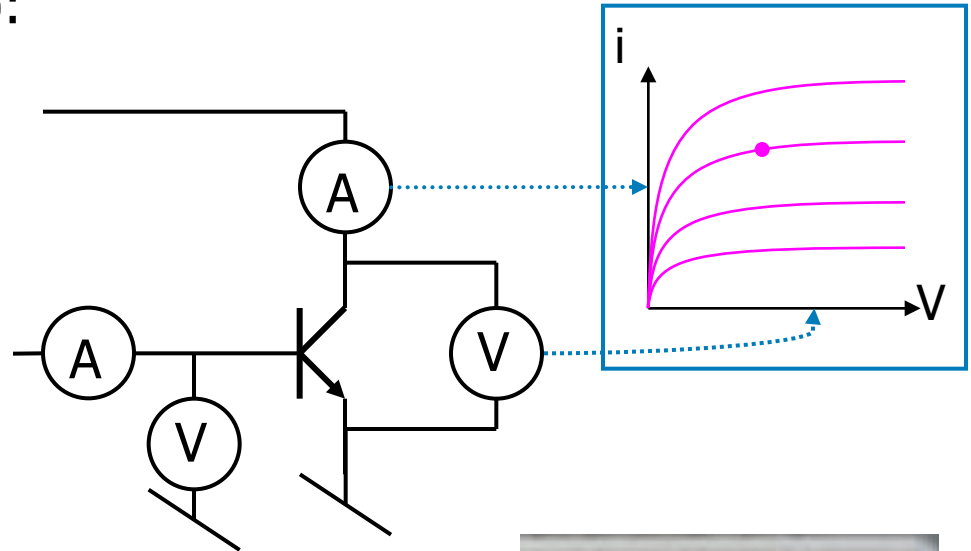
- Hameg HM6042:
- Grovkornet digital opløsning:
 - Spænding: 10 mV
 - Strøm: 1 μ A (I_c) / 0,1 μ A (I_b)
 - Er et problem i nogle tilfælde



Curve-tracer - 1 punkts cursor

1 punkts cursor (Hameg-notation):

- V_b
- I_b
- V_c
- I_c
- $\text{Bet} = I_c/I_b$



- Cursorpunkt kan flyttes langs med kurver
- Cursorpunkt kan flyttes mellem kurver





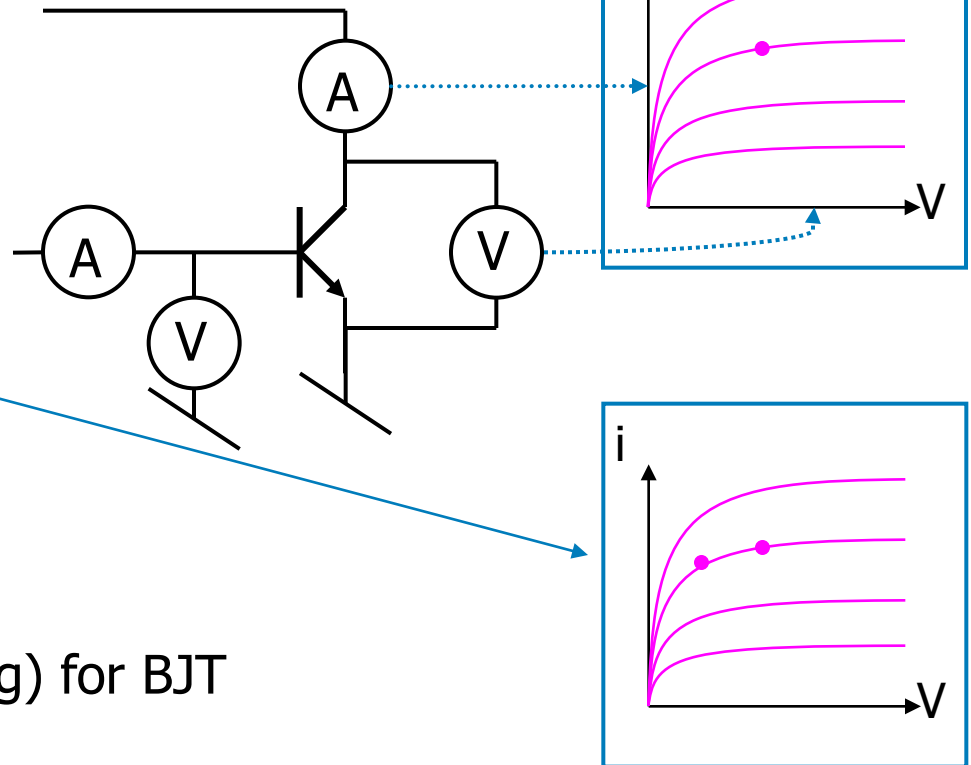
Curve-tracer - 2 punkts cursor

2 punkts cursor (Hameg-notation):

- $H_{11} = \Delta V_b / \Delta I_b$

- $H_{21} = \Delta I_c / \Delta I_b$

- $H_{22} = \Delta I_c / \Delta V_c$



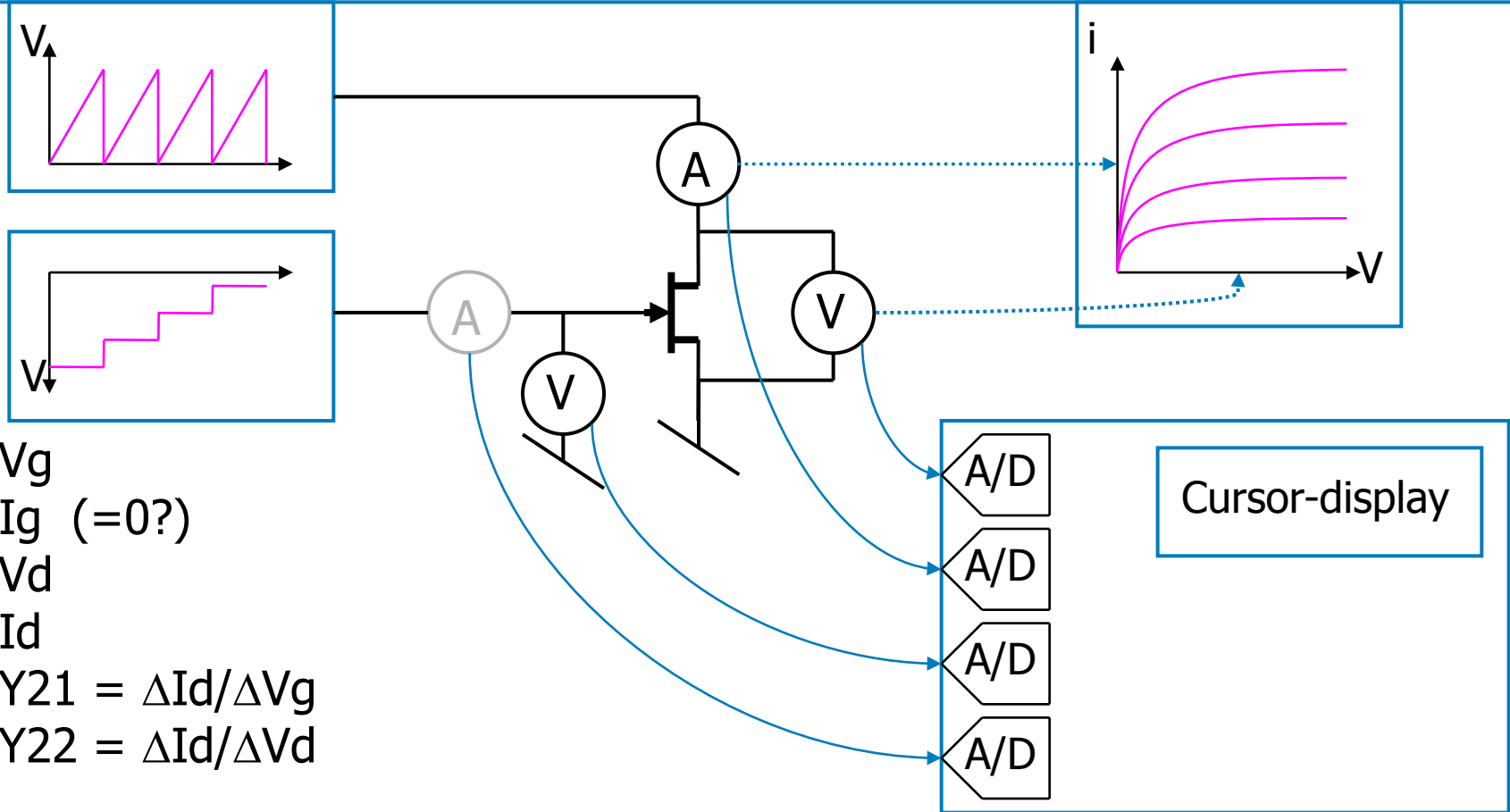
- H_{11} er meget usikker (ubrugelig) for BJT
p.g.a. 10 mV opløsning

- H_{21} er usikker ved små strømme ($I_c \sim 1$ mA, $I_b \sim 3$ μ A)
p.g.a. 0,1 μ A opløsning på I_b

- H_{22} er usikker ved små strømme
p.g.a. 1 μ A opløsning på I_c



Curve-tracer - FET



- V_g
- I_g (=0?)
- V_d
- I_d
- $Y_{21} = \Delta I_d / \Delta V_g$
- $Y_{22} = \Delta I_d / \Delta V_d$
- Y_{21} er usikker
p.g.a. 100 mV spring for V_g
- (Y_{22} er noget usikker ved små strømme
p.g.a. 1 μA opløsning på I_d)

Universalforstærkeren: CE, CE-Re, CC & CB koblinger

Først: Simuleringer af CE, CE-Re, CC & CB koblinger

- DC-arbejdspunkt, transistorparametre
- Forstærkninger (A_v , A_{vs}) og 3-dB frekvenser
- Indgangs-|impedanser|
- Forvrængning

Målinger i lab på CE, CE-Re, CC & CB koblinger

- DC-arbejdspunkt, transistorparametre

agenda.doc

Tabel 1: Transistorens arbejdspunkt samt småsignalparametre.

	I_C [mA]	V_{CE} [V]	V_{BE} [V]	β_{DC}	β_{ac}	g_m [mS]	r_π [k Ω]	r_o [k Ω]
Beregnet* AEL 5 & 6	1,03	4,9	0,61	260	330	39	8.5	140
Simuleret								
Målt				option	option	option	option	option

* Beregnet eller aflæst fra datablad. Husk at angive hvordan tallene er fundet.

Målinger i lab på CE, CE-Re, CC & CB koblinger

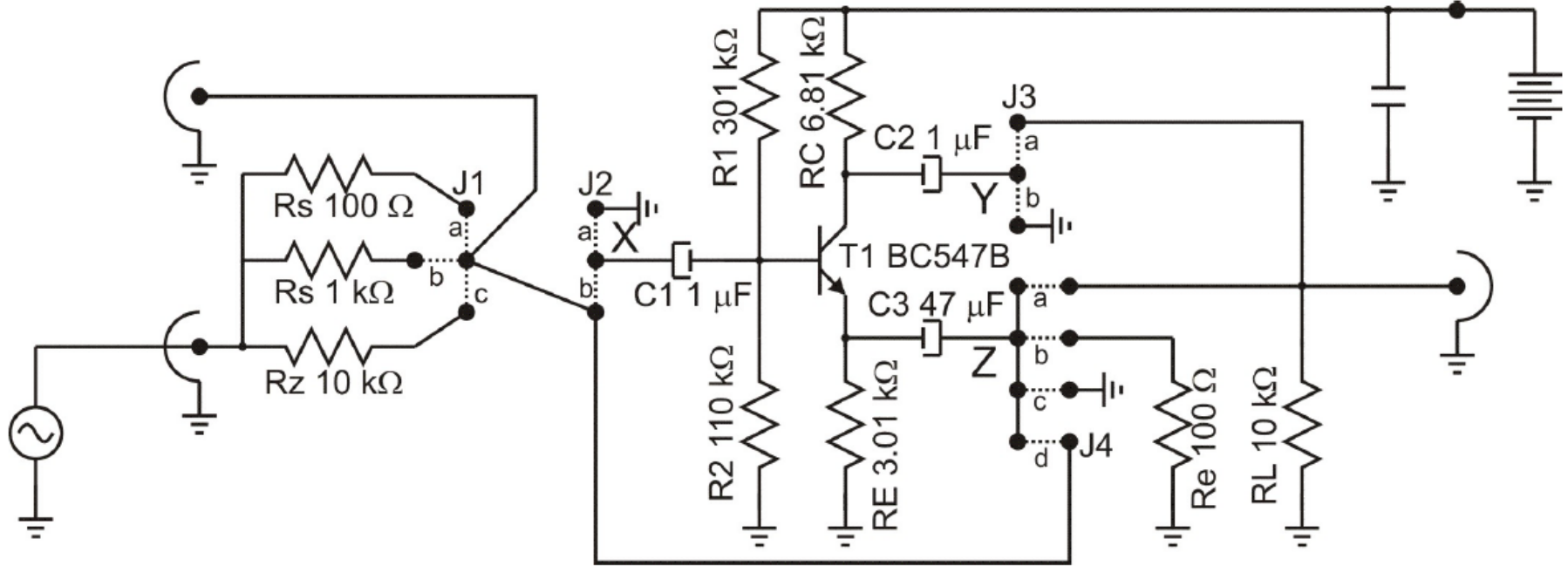
- Forstærkninger (A_v , A_{vs}): 1 kHz og 3-dB frekvenser
- Indgangs-|impedanser|
- Forvrængning (Evt. oscilloskop, mm. 5: NI-4461)

Tabel 2: C.E. med input på 10mV_{eff}

	R_{ib} [k Ω]	R_i [k Ω]	$ A_v $	$ A_{vs} $	f_L [Hz]	f_H [kHz]	HD ₂ [%]	THD [%]
Beregnet AEL 6, 11 & 13	8.5	7.7	150	135	--	314	10.7	--
Simuleret								
Målt	--						mm.5	mm.5

Komplet dokumentation af én måling:

- Målejournal
- Sammenligning af beregninger, simuleringer og målinger
- Afleveres til, og diskuteres med, Jeres vejleder



Med input på 10mV_{eff} er målingerne plaget af støj

- Kan reduceres ved brug af coax-kabler.
- Overvej betydningen af kapacitiv belastning (ikke ved 1 kHz)

Konfiguration	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄
CE	b	b	a	c
CE med R _e	b	b	a	b
CC	b	b	b	a
CB	a	a	a	d
Måling af indgangsimpedans	b/c	a/b	a/b	a/b/c/d
Måling af indgangsimp. uden DUT	b/c	a	a/b	a/b/c