

## Laboration I Elektronik fk

### OP-kopplingar

- Frekvenskorrigerande nät
- Komparator ( Schmittrigger )
- In- och utimpedans

**Förberedelser:** Läs igenom lab-PM och rita upp kopplingar. Föreslå komponentvärden !  
Sök på ELFA:s hemsida [www.elfa.se](http://www.elfa.se) efter hur komponenterna skall kopplas in samt data på eventuella komponenter.

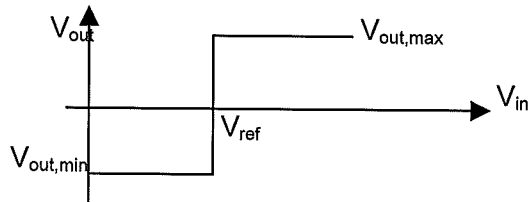
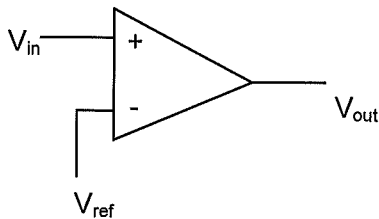
# Uppgift 1

# Schmitt-triggern

## Teori

Om man låter ena ingången på en OP-förstärkare ligga på en referensspänning  $V_{ref}$  kommer utgångsspänningen att skifta värde då den andra ingångsspänningen passerar  $V_{ref}$ .

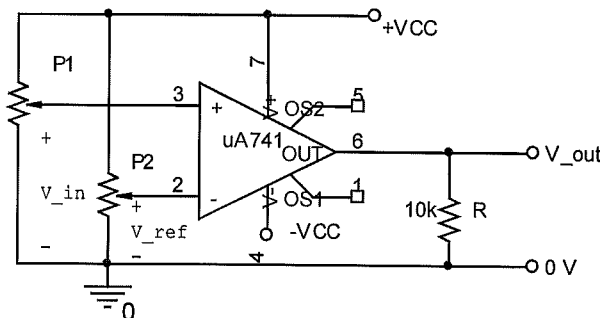
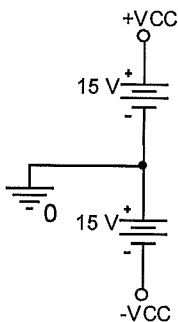
## Komparator



## Utförande

Mätningen av omslagsspänningen för en komparator.

## Komparator



- $P_1 = 10 \text{ kohm}$
- $P_2 = 1 \text{ kohm}$  (2 kohm)
- $R = 10 \text{ kohm}$
- $V_{CC} = 15 \text{ V}$
- OP = uA741

Anslut komparatorn till matningsspänningarna. Ställ  $P_2$  på ca halva maxvärdet. Mät  $V_{ref}$ .

$V_{ref} = \dots\dots\dots$

Reglera  $V_{in}$  med  $P_1$  och studera  $V_{out}$ . För vilket  $V_{in}$ -värde fås omslag av utspänningen?

$V_{in} = \dots\dots\dots$  vid omslag

Fungerar komparatorn på önskat sätt? Mät  $V_{out}$  då  $V_{in}$  är något mindre  $V_{ref}$ .

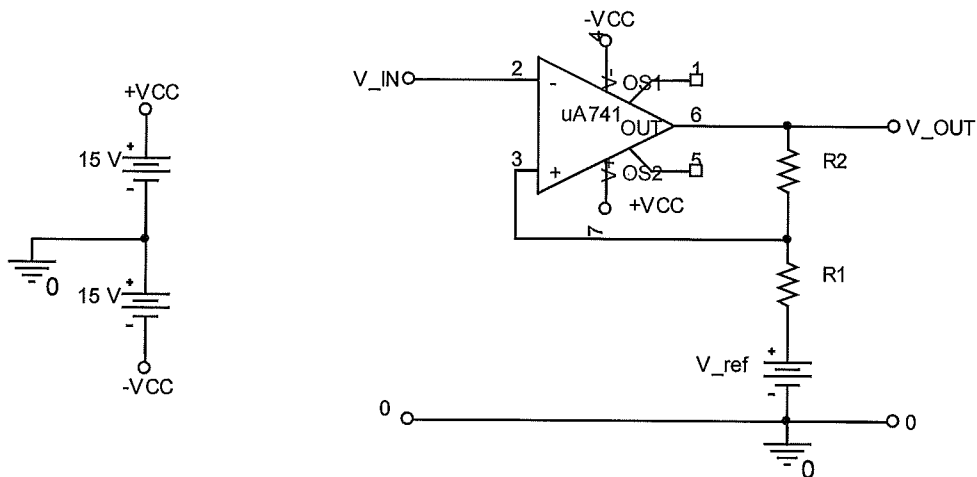
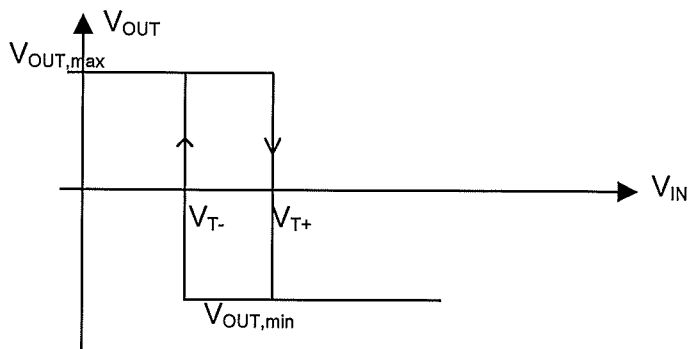
$V_{out} = \dots\dots\dots$  då  $V_{in} < V_{ref}$

Mät  $V_{out}$  då  $V_{in}$  är något större än  $V_{ref}$ .

$V_{out} = \dots\dots\dots$  då  $V_{in} > V_{ref}$

Fungerar komparatorn med  $V_{ref}$ -värden upp till matningsspänningen  $+V_{CC}$ ?

.....

Överföringsdiagram

Låga inspänningar ger utspänningen  $V_{OUT,max}$ . Spänningen över  $R_1$  och  $R_2$  blir  $V_{OUT,max} - V_{ref}$ . Spänningsdelning mellan  $R_1$  och  $R_2$  ger spänningen över  $R_1$

$$V_{R1} = (V_{OUT,max} - V_{ref}) \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Spänningen på OP:ns plusingång blir alltså

$$V_+ = (V_{OUT,max} - V_{ref}) \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_{ref}$$

Då  $V_{IN}$  blir större än  $V_+$  ändras utspänningen från  $V_{OUT,max}$  till  $V_{OUT,min}$  dvs  $V_{T+} = V_+$  i fig. ovan.

$$V_{T+} = (V_{OUT,max} - V_{ref}) \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_{ref}$$

Höga inspänningar ger utspänningen  $V_{OUT,min}$ . Minskas  $V_{IN}$  fås omslaget till  $V_{OUT,max}$  (enl. ovan) vid

$$V_{T-} = (V_{OUT,min} - V_{ref}) \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_{ref}$$

Utförande

Koppla upp Schmitt-triggern ovan med.

OP= uA741

$R_1 = 2,2 \text{ kohm}$

$R_2 = 10 \text{ kohm}$

$V_{ref} = +5,0 \text{ V}$

Anslut signalgenerator till ingången och oscilloskopets kanaler till Schmitt-triggers in- och utgång. Mata med sinusvåg med låg frekvens t. ex. 100 Hz. Justera amplitud och DC-offset så att utgången slår om. Ställ in oscilloskopet för XY-mätning enligt tidigare lab. Bestäm origo först med ingångssockerlarna på ground.

Slå över dom sedan i läge DC. Justera känsligheten så att figuren på sid. 3 uppträder. Mät på oscilloskopsskärmen  $V_{T+}$ ,  $V_{T-}$ ,  $V_{OUT,max}$  och  $V_{OUT,min}$ . Beräkna även  $V_{T+}$  och  $V_{T-}$ . Använd databladens uppgifter på  $V_{OUT,max}$  och  $V_{OUT,min}$ . Fyll i tabellen.

### Resultat

	Uppmätt	Beräknat	Från datablad
$V_{T+}$			_____
$V_{T-}$			_____
$V_{OUT,max}$		_____	
$V_{OUT,min}$		_____	

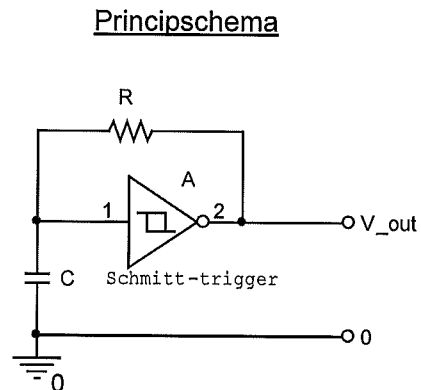
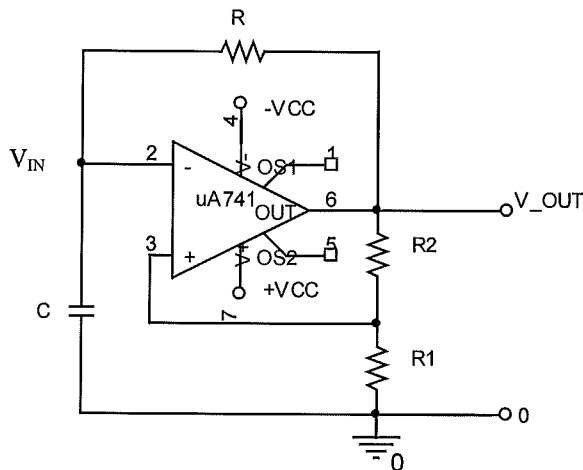
*\*). Se User Manual  
XY, display !*

Hur flyttas hystereskurvan om  $V_{ref}$  ändras? Testa genom att öka och minska  $V_{ref}$ .

.....

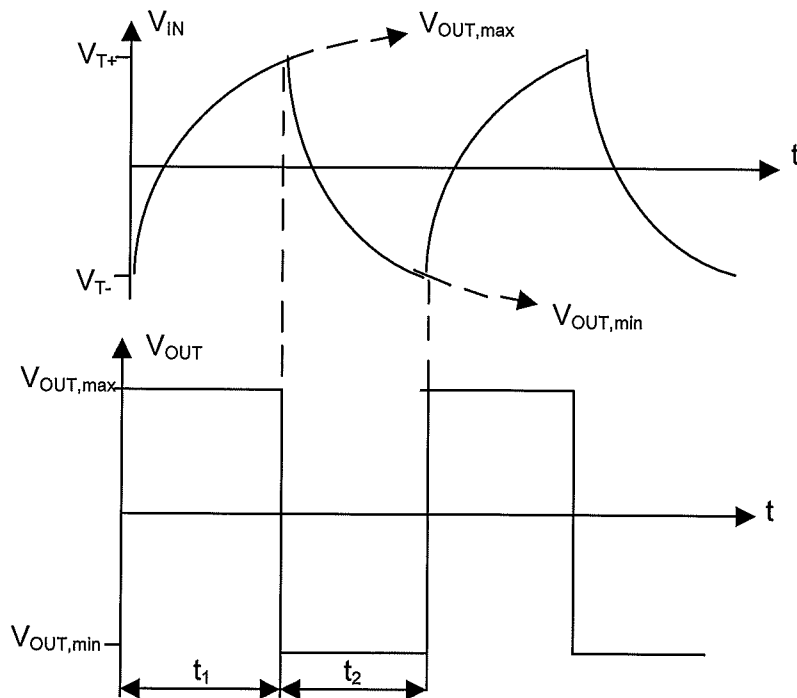
## Uppgift 2 Astabil vippa

### Astabil vippa för låga frekvenser



OP:n och  $R_1$  och  $R_2$  fungerar som en Schmitt-trigger med  $V_{ref} = 0$ . Enligt ovan fås då.

$$V_{T+} = V_{OUT,max} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad \text{och} \quad V_{T-} = V_{OUT,min} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



$V_{IN}$  kommer att pendla mellan  $V_{T+}$  och  $V_{T-}$ . Utspänningen blir därmed fyrkantvåg.

$\Delta t = \tau \ln \frac{\text{"hela\_språnget"}}{\text{"resten"}}$  och  $\tau = RC$  ger

$$t_1 = RC \ln \frac{V_{OUT,max} - V_{T-}}{V_{OUT,max} - V_{T+}} \quad t_2 = RC \ln \frac{V_{T+} - V_{OUT,min}}{V_{T-} - V_{OUT,min}}$$

Om  $V_{OUT,max} = -V_{OUT,min}$  fås

$$f = \frac{1}{t_1 + t_2} = \frac{1}{2RC \ln(1 + 2R_1 / R_2)}$$

Beräkna frekvensen då  $R = 15 \text{ kohm}$ ,  $C = 0,22 \text{ } \mu\text{F}$ ,  $R_1 = 2,2 \text{ kohm}$  och  $R_2 = 10 \text{ kohm}$ .

$f = \dots\dots\dots$

#### Utförande

Koppla upp ovanstående astabila vippa med  $R_1 = 2,2 \text{ kohm}$ ,  $R_2 = 10 \text{ kohm}$ ,  $R = 15 \text{ kohm}$  (dekadresistor) och  $C = 0,22 \text{ } \mu\text{F}$  (dekadkondensator). Studera kondensatorspänningen ( $V_{IN}$ ) och  $V_{OUT}$  på oscilloskopet.

Mät periodtiden eller frekvensen.

$f = \dots\dots\dots$

Är beräknat och uppmätt värde lika?

Öka frekvensen genom att minska  $R$  eller  $C$ . Vid vilken frekvens börjar fyrkantvågen att ändra kurvform?

$f_{max} = \dots\dots\dots$

# STABILITET OCH FREKVENSKORRIGERING

## Kompensering

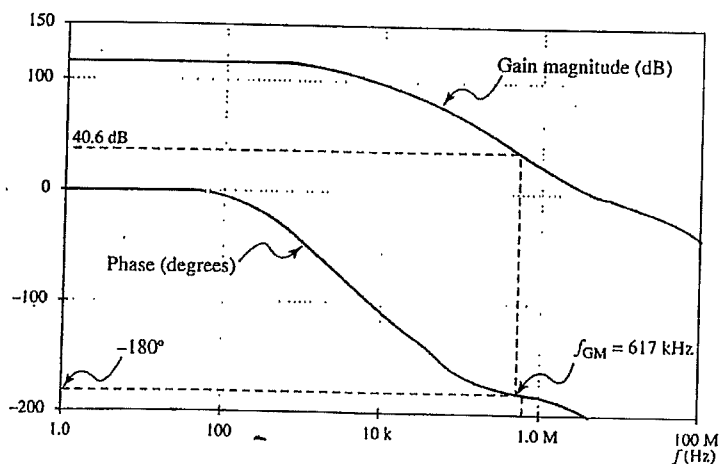
### 1. "Single pol" kompensering

#### TEORIDEL

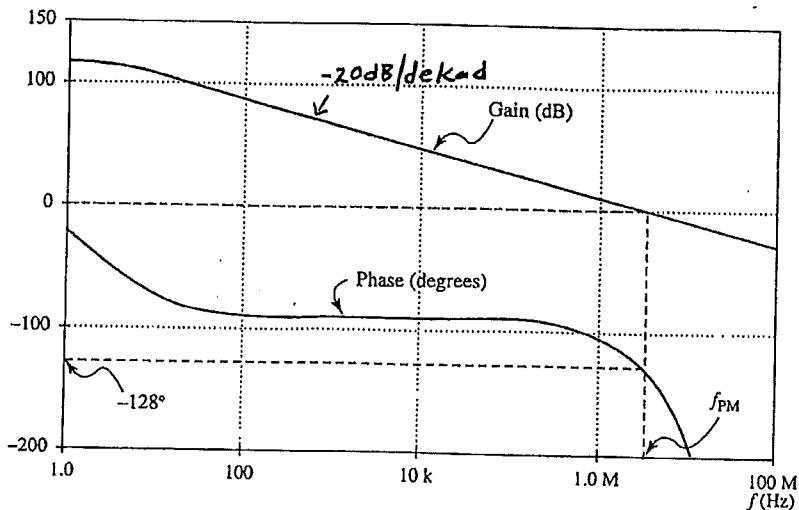
Många operationsförstärkare är internt kompenserade, vilket innebär att man kan återkoppla dem utan att självsvinger (ex OP741). För att kunna återkoppla en förstärkare ner till förstärkningen 1 får fasvriddningen vid 0dB inte understiga -180 grader. Då självsvinger förstärkaren.

Genom att kompensera förstärkaren får man ett visst avstånd till -180 grader (fasmarginen) vid förstärkningen 1. Det innebär att man kan återkoppla ner till 0dB (spänningsföljare) utan att det självsvinger.

Vissa förstärkare är inte internt kompenserade utan måste kompenseras externt med kondensatorer. En sådan förstärkare är LM 301.



Open-loop gain magnitude and phase for the uncompensated ( $C_{comp} = 0$ ) op amp.



Open-loop gain magnitude and phase for the compensated ( $C_{comp} = 10$  pF) op amp.

**UTFÖRANDE**

Koppla upp en inverterad förstärkare med OP-förstärkaren LM301, matad med +/-15 V. Förstärkningen skall vara -1 ggr. Välj motstånden till 10 kohm. Låt  $U_{in}$  vara fyrkantvåg med 10 V peak to peak och frekvensen 10 kHz. Studera  $U_{ut}$  på oscilloskopet

a) Använd ingen kompensering

Hur ser utsignalen ut?

.....

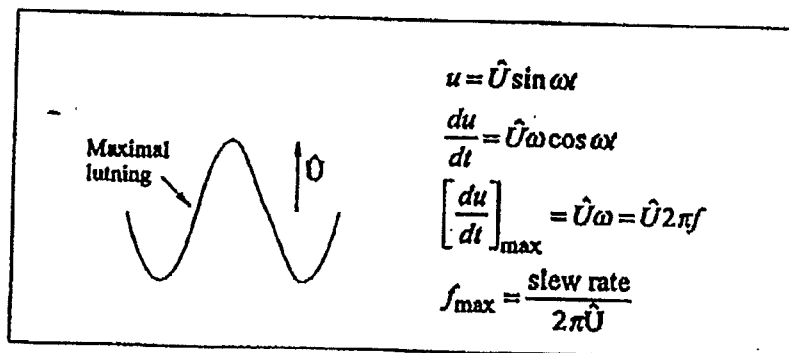
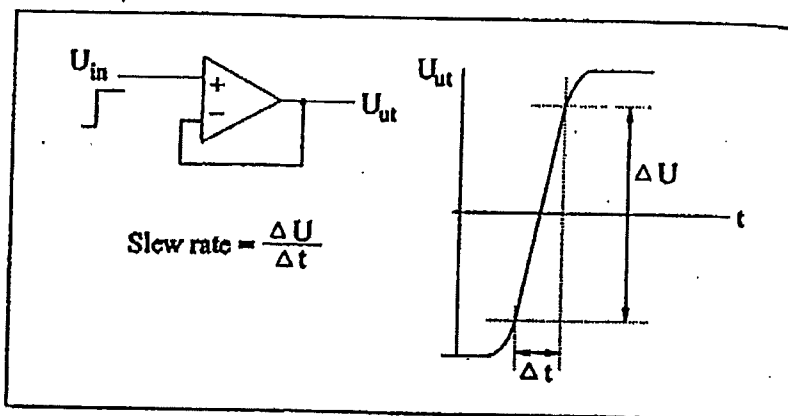
b) Kompensera enligt "Single Pole Compensation" i datablad. Välj C1 till 3pF eller närmaste värde.

Valt värde på C1: ..... pF

Hur blir utsignalen nu?

.....

**2. Kompenseringens påverkan på Slew-rate**  
**TEORIDEL**



*Slew rate kan begränsa högsta användbara frekvensen*

**UTFÖRANDE**

Ändra signalen till  $V_{p-p} = 1,0$  V fyrkantvåg och förstärkningen till -10 ggr. Ha kvar 10 kHz. Mät spänningsderivatan (lutningen) där spänningen går genom noll (i datablad finns pulsformen). Ange den i V/ $\mu$ s.

Upmätt slew-rate: ..... V/ $\mu$ s

Ändra C<sub>1</sub> till 33 pF (kraftigare kompensering) oc mät upp slew-rate igen.

Upmätt slew-rate (C<sub>1</sub>= 33 pF): ..... V/ $\mu$ s

Ändra fyrkantvågen till sinussignal med  $U_{ut} = 10 V_{pk-pk}$ . Beräkna vilken maximal frekvens sinus-signalen kan ha utan att den deformeras (se formeln på föregående sida). Prova om det stämmer!

Resultat:

.....  
Hur påverkas slew-rate av kompenseringen?  
.....  
.....

**3. Kompenseringens påverkan på FB-produkten**  
**TEORIDEL**

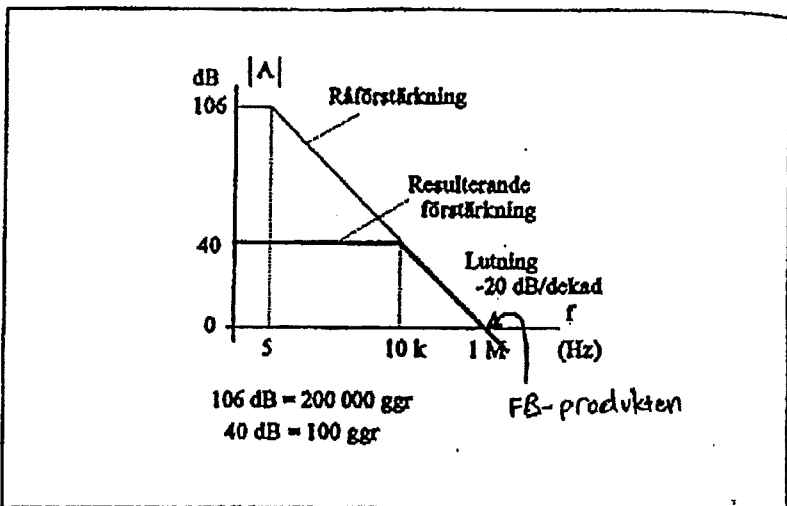


Fig 8-10 Övre gränshfrekvens och FB-produkt (för t.ex.  $\mu A741$ )

**UTFÖRANDE**

Byt tillbaka C1 till den mindre kondensatorn du valt!

a) Låt  $U_{in}$  vara sinussignal och minska insignalen till  $0.1V_{pp}$ . Öka frekvensen tills utsignalen blir  $1/\sqrt{2}$  av maximala värdet, dvs  $0.71V_{pp}$  (3dB-gräns)

3dB gräns ( $U_{ut} = 0.71V_{pp}$ ):.....MHz

Eftersom förstärkningen är 10ggr måste du multiplicera det värdet med 10 för att få FB-produkten.

FB-produkt:.....MHz vid C1:.....pF

FB-produkt ur datablad:.....MHz

b) Gör om experimentet med den större kondensatorn

C1:.....pF

3dB gräns ( $U_{ut} = 0.71V_{pp}$ ):.....kHz

FB-produkt:.....MHz

FB-produkt ur datablad:.....MHz

Hur påverkas FB-produkten av kompenseringen?

.....  
.....



#### 4. "Two-pole" kompenseringens påverkan på slew-rate och FB-produkt

Kompensera enl. datablad (two-pole compensation) med  $C_1 = 33 \text{ pF}$ ,  $C_2 = 330 \text{ pF}$  och  $R_4 = 10 \text{ kohm}$ . Låt förstärkningen vara  $-10$  och insignalen  $1$  (slew-rate) resp.  $0.1 \text{ V p-p}$  (FB-produkten).

Mät upp slew-rate och FB-produkten enligt förgående metoder.

Slew-rate .....  $\text{V}/\mu\text{s}$  för two-pole compensation.

FB-produkten= .....uppmätt för two-pole compensation

FB-produkten= .....enligt datablad " "

Jämför resultaten med motsvarande för single-pole compensation.

.....

#### 5. "Feed-forward" kompenseringens påverkan på slew-rate och FB-produkt

Kompensera enl. databladens feed-forward compensation. Låt  $C_1 = 150 \text{ pF}$ ,  $C_2 = 5,6 \text{ pF}$ , förstärkningen  $-10$  och låt insignalen vara enligt tidigare mätningar.

Mät upp slew-rate och FB-produkten enligt förgående metoder.

Slew-rate .....  $\text{V}/\mu\text{s}$  för feed-forward compensation.

FB-produkten= .....uppmätt för feedforward compensation

FB-produkten= .....enligt datablad " "

Jämför resultaten med förgående kompenseringemetoder.

.....

## Bestämning av In- och utimpedans

Utimpedans: mät upp tomgångsspänningen för OP-koppling utan belastning. Därefter anslut en dekadresistor och mät utspänningen över dekadresistorn. Vi låtsas att dekadresistorn är vår last. Om utspänningen är uppmätt vid obelastad förstärkare så har vi:  $A_{vo} U_{in}$ . Med lasten inkopplad och mätning av spänningen ger då  $U_{ut}$ .

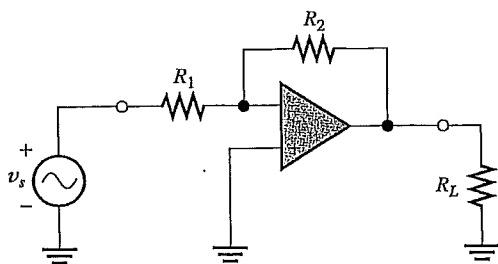
$$U_{ut} = A_{vo} U_{in} \frac{R_{ut}}{R_L + R_{ut}}$$

Inimpedans: om signalkällans spänning och utresistans är kända. Mät signalspänningen mot oscilloskop utan inkoppling av OP-koppling. Bestäm  $R_{in}$  genom att mäta inspänningen till OP-koppling och därefter räkna fram  $R_{in}$ .

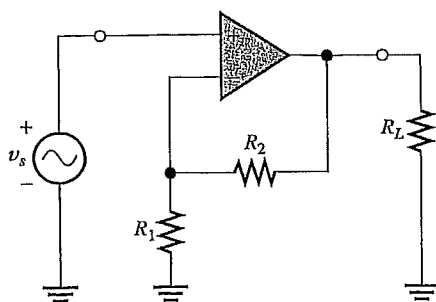
$$U_{in} = U_g \frac{R_{in}}{R_{in} + R_g}$$

1) Vi skall nu experimentellt ta fram en allmän förstärkarmodell för 2 olika kopplingar, d v s  $R_{utf}$ ,  $R_{inf}$  och  $A_{vo}$  skall bestämmas !

Låt  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 33 \text{ k}\Omega$  och  $R_L = 10 \text{ k}\Omega$ .



(a) Inverting amplifier



(b) Noninverting amplifier