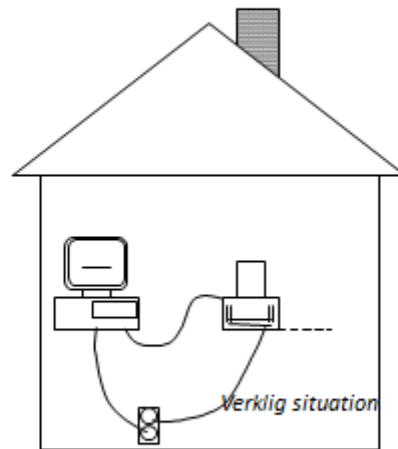


Common Mode Störningar

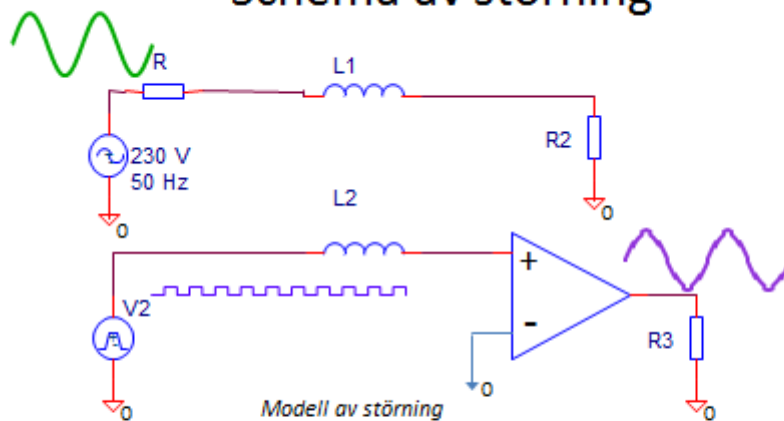


EMC elektronik

Bilden illustrerar en verklig situation med en av många möjliga störningsmekanismer. En dator skickar signaler till skrivaren genom en kabel som hänger ihop med en annan kabel där 50 Hz starkström går fram och tillbaka. Alla kablar har en viss induktans vilket gör att det uppstår en transformation (överhörning) av 50 Hz spänningen till signalkabeln.

Störningen kopplas induktivt (magnetiskt fält) eftersom strömmen enligt beskrivning är stor. Man kan rita en enkel modell av den situationen.

Schema av störning

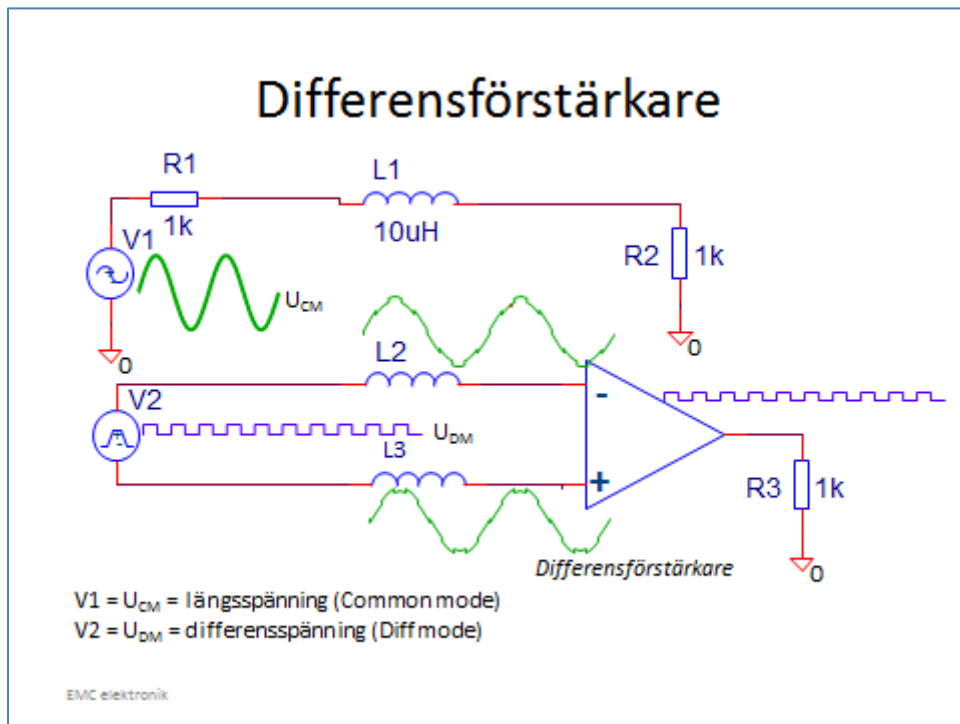


EMC elektronik

Modell av störning visar tydligt hur den inducerade 230 Volt 50 Hz spänning förstör klockpulsen från dator till skrivare så att den blir oanvändbar!

Ett av sätten att åtgärda störningssituationen är att **isolera** störningskällan från störningsoffret. Isoleringen får endast verka på störningen och inte på nyttsignalen! Detta görs genom att konstruera förstärkaren så att den bara förstärker nyttsignalen och helst dämpar störningarna (åtminstone inte förstärker dem).

Detta kan göras med en s.k. Differensförstärkare.

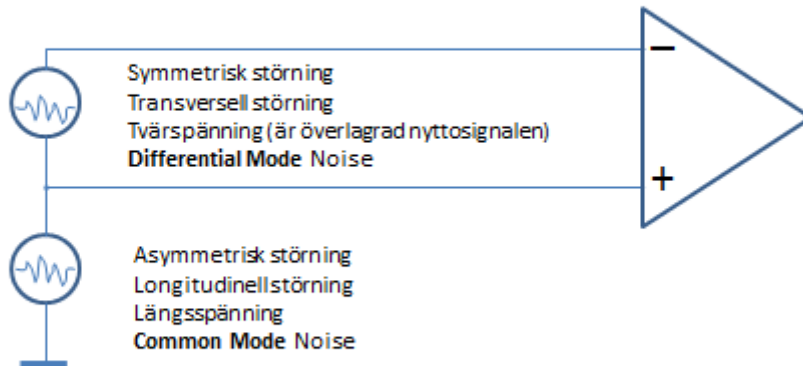


Differensförstärkaren har två symmetriska ingångar vilket betyder att de har samma (eller i praktiken så lika som möjligt) ingångsimpedans. Nu ser vi att störningen induceras i båda ingångarna samtidigt som signalen (klockpulsen) tillförs ingångarna i olika faser. När klocksignalen går upp på den ena ingången går den ner på den andra.

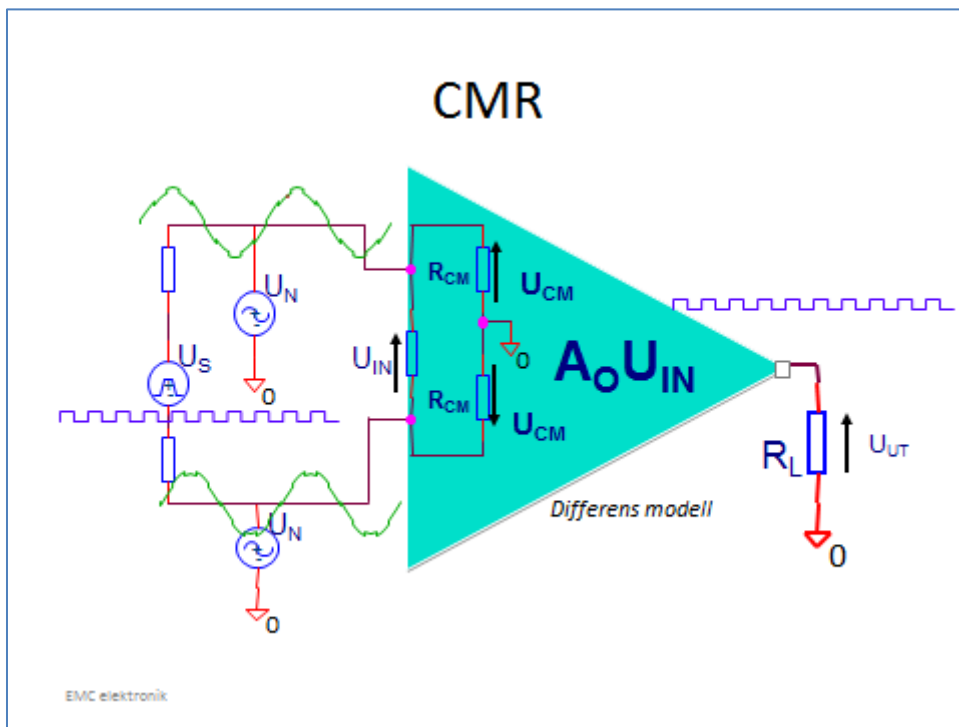
Vi kommer att kalla **störningssignalen** för U_{CM} - **längsspänning** (Common Mode spänning - gemensam spänning) för att den kommer samtidigt (i fas) på båda ingångarna.

Nyttsignalen kallar vi för U_{DM} - **differensspänning** (Differential Mode spänning) för att den kommer i olika faser till ingångarna och förstärkaren förstärker skillnaden mellan dem.

Ledningsbundna störningar (synonymer)



Varför förstärks U_{DM} medan U_{CM} inte gör det? Hemligheten ligger i de två symmetriska ingångarna, se bilden Differens modell som förklarar detta!



De inducerade **längssänningarna** kan simuleras med två identiska sinusformade sänningsskällor som är kopplade mellan var sin ingång av förstärkaren och en gemensam referenspunkt 0.

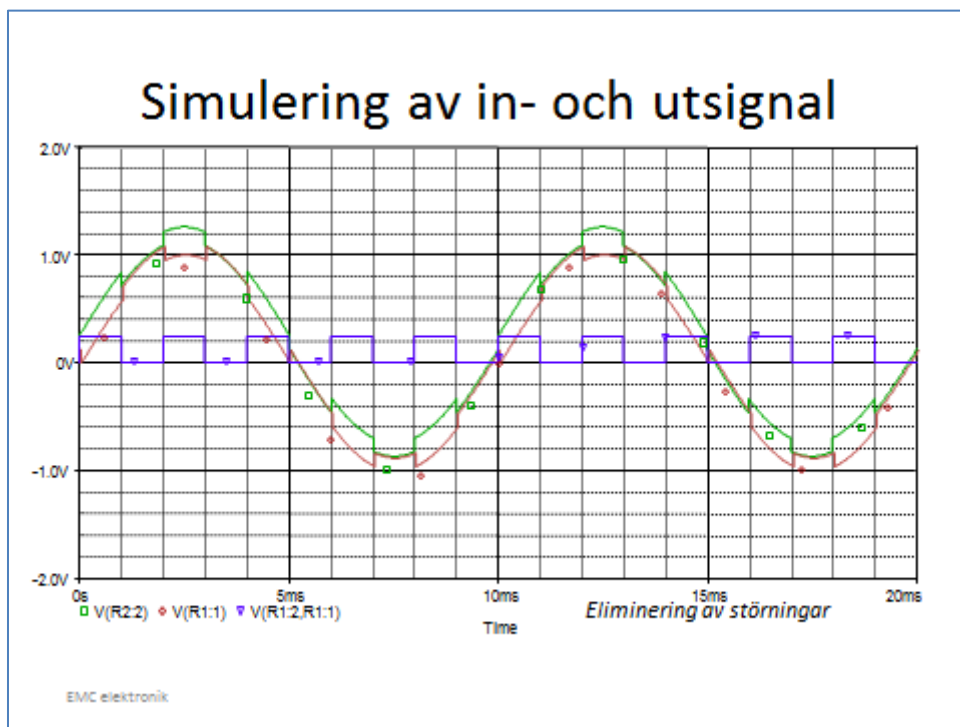
Signalen från datorn till skrivaren, nyttosignalen, är modellerad med en pulssänningsskälla som är kopplad symmetriskt mellan de två ingångarna.

Ingångarna är modularade annorlunda än hittills. De har ju fått, förutom en ingångsimpedans R_{IN} som förut, två stycken identiska impedansen kopplade mellan var sin ingång och den gemensamma referenspunkten. Så är det gjort i verkligheten.

Skillnaden mellan simulering och verkligheten är att impedansen på bilden inte alls är några resistorer, kondensatorer eller induktanser i verkligheten. Utan de är ingångsimpedansen av transistorer som en förstärkare är uppbyggd av. För vår analys kan vi modellera dem med resistanser och få tillräckligt bra resultat.

Modellen på bilden *Differens modell* fungerar så att strömmen från källan U_N måste gå genom R_{CM} eftersom den har förbindelse med referenspunkten 0. R_{IN} saknar sådan förbindelse och utgör därför inte något returväg till källan för strömmen. Det uppstår ett spänningsfall över R_{CM} som höjer potentialen på ingången. Men potentialen på den andra ingången höjs lika mycket ifrån den andra U_N som är identisk med den första, så att U_{IN} är noll.

Strömmen från V_S den går den minsta motståndsvägen som är genom R_{IN} i detta fall och åstadkommer spänningsfallet över det. Den är så stor som V_S om $R_S \ll R_{IN}$. Och det är bara U_{IN} som förstärks enligt $A_O \times U_{IN}$ principen. Resultatet är att nyttosignalen förstärks medan störning dämpas!



Bilden ovan som visar signalerna i detalj är resultatet av en simulering.

I verkligheten går det inte att göra det så bra som med simulering. Svårigheten ligger i att göra R_{CM} identiska och tillräckligt stora och detta orsakar att störningar inte elimineras helt och hållet och då finns det något U_{UT} som härstammar från U_{CM} . Kvoten mellan de spänningar definierar vi som förstärkning av längsspänningen.

Genom att jämföra graden av förstärkning för nyttosignalen (klockpulsen i exemplet) med graden av förstärkning för längsspänningen (inducerad nätspänning i exemplet) går det att definiera kretsens

förmåga att dämpa störningar, s.k. CMRR (Common Mode Rejection Ratio - eller graden av dämpning av längsspänningar):

$$A_{CM} = U_{UT} / U_{CM}$$

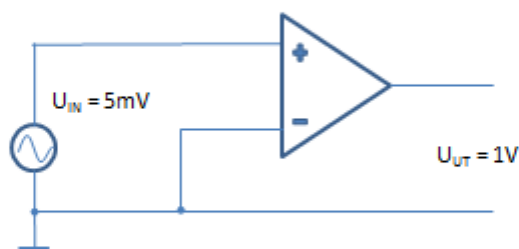
$$A_{DM} = U_{UT} / U_{DM}$$

$$CMRR = A_{DM} / A_{CM}$$

CMRR anges ostast i dB.

$$CMRR_{dB} = 20 \log(A_{DM} / A_{CM})$$

Differential mode förstärkning A_{DM}



$$A_{DM} = \frac{U_{UT}}{U_{IN}} = \frac{1V}{5mV} = 200 \text{ ggr} \quad (A_{DM})_{dB} = 20 \log\left(\frac{U_{UT}}{U_{IN}}\right) = 46 \text{ dB}$$

Exempel CMRR

$$CMRR = \frac{A_{DM}}{A_{CM}}$$

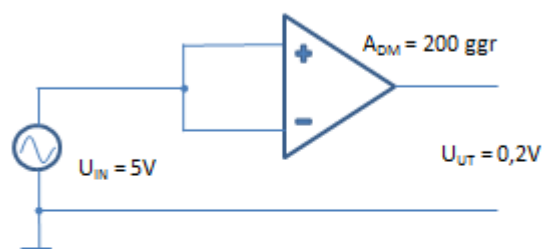
$$A_{CM} = \frac{U_{UT}}{U_{IN}}$$

$$CMRR = A_{DM} \frac{U_{IN}}{U_{UT}}$$

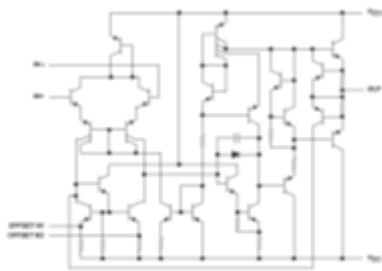
$$CMRR_{dB} = 20 \log\left(A_{DM} \frac{U_{IN}}{U_{UT}}\right)$$

$$CMRR_{dB} = 20 \log\left(200 \frac{5V}{0,2V}\right) = 74 \text{ dB}$$

OBS att CMRR är frekvensberoende!



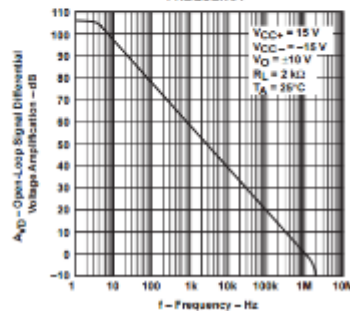
Riktig OP uA741



$A = 2 \cdot 10^5$ @2Hz
 $R_{IN} = 2 \text{ M}\Omega$
 $R_{UT} = 75 \Omega$
 $\text{CMRR} = 90 \text{ dB}$
 $\text{BW} = 0 - 1 \text{ MHz @} A=1$

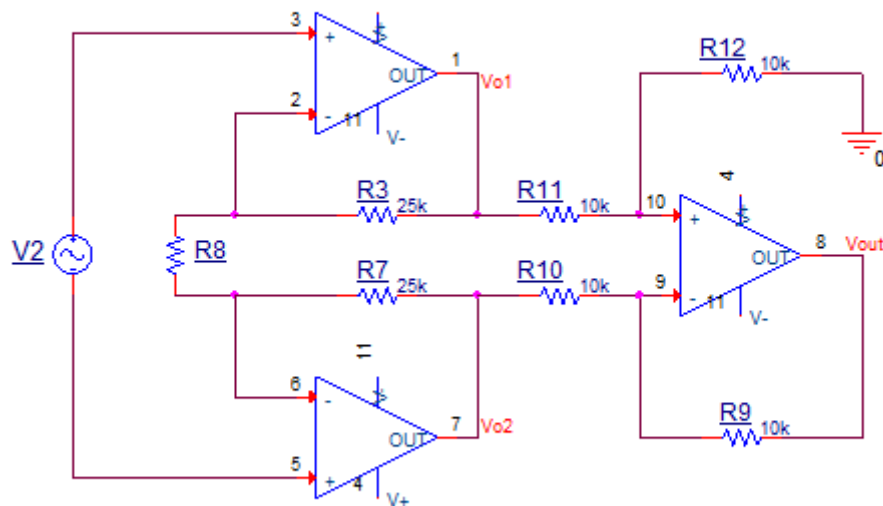


OPEN-LOOP LARGE-SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION



En gammal bipolär OP är 741:an. Den är långt ifrån ideal men funkar ändå ofta.

Instrumentförstärkare



EMC elektronik

Instrumentförstärkare har en symmetrisk ingång med mycket hög ingångsimpedans.

Förstärkningen regleras med hjälp av R8. Strömmen genom R8 är:

$$i_{R8} = V_2 / R_8$$

Vidare gäller att

$$V_{o1} - V_{o2} = i_{R8}(R_7 + R_8 + R_3), \quad V_{out} = (R_9 / R_{10})(V_{o1} - V_{o2})$$

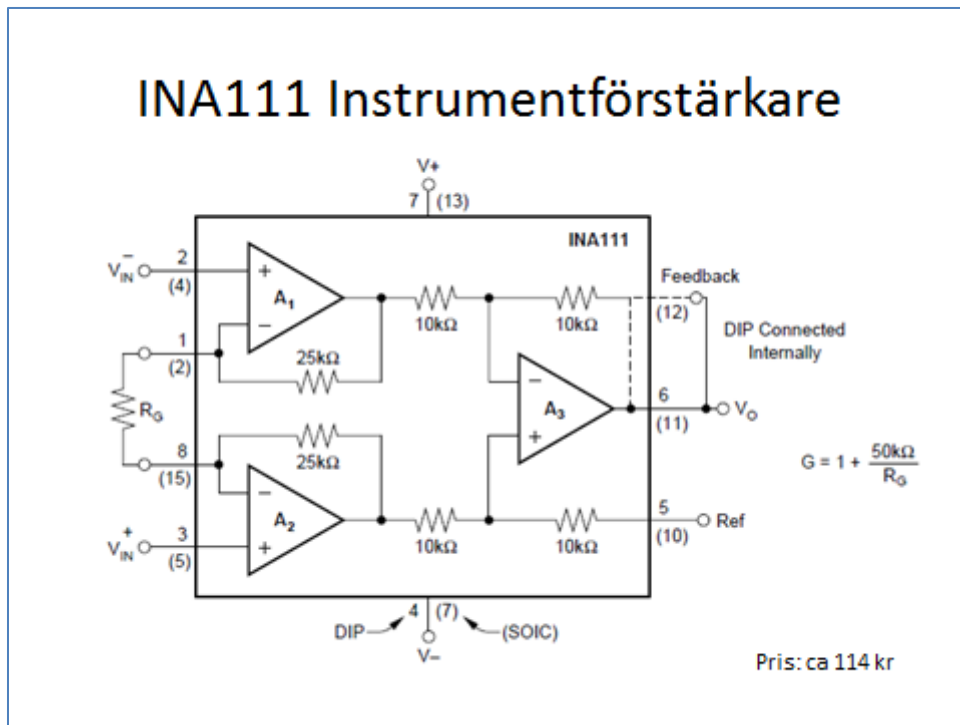
Eftersom $R_3 = R_7$ blir utspänningen

$$V_{out} = (R_9 / R_{10})(1 + 2R_7 / R_8)V_2$$

För INA111 är $R_9 = R_{10} = 10 \text{ k}\Omega$ och $R_3 = R_7 = 25 \text{ k}\Omega$

$$\Rightarrow V_{out} = (1 + 2 \cdot 25 \text{ k}\Omega / R_8)V_2$$

Dvs förstärkningen $G = 1 + 50 \text{ k}\Omega / R_G$



INA111 är en typisk instrumentförstärkare. Den består av ett differentiellt ingångssteg följt av en subtraktion. Den får sin goda CMRR på följande sätt:

Ingångssteget har alltid förstärkningen 1 för en common-signal. En sådan signal orsakar inte någon förändrad spänning över R_G utan hela ingångssteget följer commonpotentialen.

Men ingångssteget har den valda förstärkningen A_v (t ex 100) för nyttsignalen.

Härigenom får man en CMRR i ingångssteget som helt enkelt är $= 20 \log A_v$! Det innebär att om man har en liten signal och alltså har valt en hög förstärkning så får man också en hög längsspänningsundertryckning.

Den efterföljande subtraktion har fyra (i det här fallet lasertrimmade) motstånd kopplade som en brygga. Stegets CMRR avgörs först och främst av balansen i bryggan d.v.s. motståndens inbördes tolerans.

Förstärkarens totala CMRR blir alltså teoretiskt $= 20 \log AV + 20 \log (R/\Delta R)$. Detta värde begränsas vid höga CMRR av de tre operationsförstärkarna som naturligtvis inte är ideala utan har ändlig linjäritet, råförstärkning och längsspännings-undertryckning.

Datablad INA111

ELECTRICAL

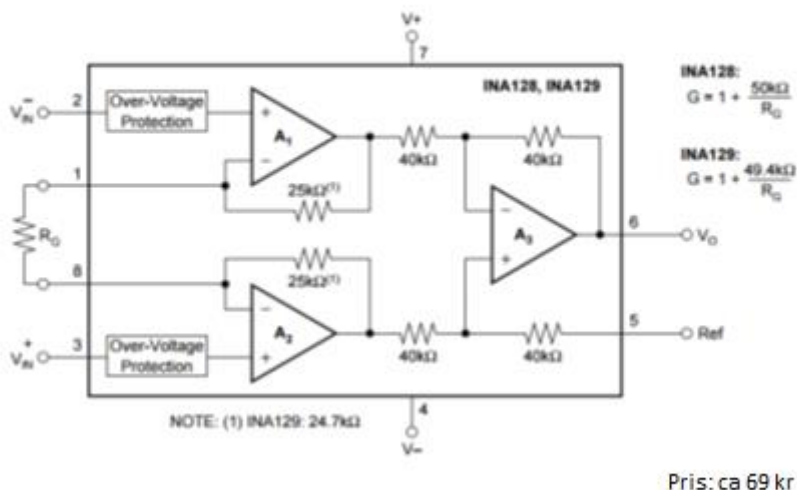
At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{V}$, $R_L = 2\text{k}\Omega$, unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	INA111BP, BU			UNITS
		MIN	TYP	MAX	
INPUT					
Offset Voltage, RTI					μV
Initial	$T_A = +25^\circ\text{C}$		$\pm 100 \pm 500/G$	$\pm 500 \pm 2000/G$	
vs Temperature	$T_A = T_{\text{MIN}}$ to T_{MAX}		$\pm 2 \pm 10/G$	$\pm 5 \pm 100/G$	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
vs Power Supply	$V_S = \pm 6\text{V}$ to $\pm 18\text{V}$		$2 \pm 10/G$	$30 \pm 100/G$	$\mu\text{V}/\text{V}$
Impedance, Differential			$10^{12} \parallel 6$		$\Omega \parallel \text{pF}$
Common-Mode			$10^{12} \parallel 3$		$\Omega \parallel \text{pF}$
Input Common-Mode Range	$V_{\text{DIFF}} = 0\text{V}$	± 10	± 12		V
Common-Mode Rejection	$V_{\text{CM}} = \pm 10\text{V}$, $\Delta R_S = 1\text{k}\Omega$				
	$G = 1$	80	90		dB
	$G = 10$	96	110		dB
	$G = 100$	106	115		dB
	$G = 1000$	106	115		dB
BIAS CURRENT			± 2	± 20	pA
OFFSET CURRENT			± 0.1	± 10	pA

Observera CMRR i datablad för INA111 vid olika förstärkningar!

INA128/9 Instrumentförstärkare

Billigare och bättre!



Det finns ofta nyare komponenter med bättre prestanda och lägre pris så det gäller att hålla ögonen öppna vid designarbetet!

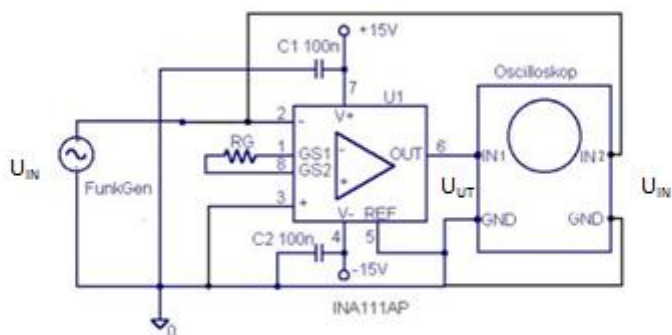
Datablad INA128/9

SPECIFICATIONS

At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{V}$, $R_1 = 10\text{k}\Omega$, unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	INA128P, U INA129P, U			UNITS
		MIN	TYP	MAX	
INPUT					
Offset Voltage, RTI	$T_A = +25^\circ\text{C}$		$\pm 10 \pm 100/\text{G}$	$\pm 50 \pm 500/\text{G}$	μV
Initial	$T_A = T_{\text{MAX}}$ to T_{MAX}		$\pm 0.2 \pm 2/\text{G}$	$\pm 0.5 \pm 20/\text{G}$	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
vs Temperature	$V_S = \pm 2.25\text{V}$ to $\pm 18\text{V}$		$\pm 0.2 \pm 20/\text{G}$	$\pm 1 \pm 100/\text{G}$	$\mu\text{V}/\text{V}$
vs Power Supply			$\pm 0.1 \pm 3/\text{G}$		$\mu\text{V}/\text{mV}$
Long-Term Stability			$10^{10} \parallel 2$		$\Omega \parallel \text{pF}$
Impedance, Differential			$10^{11} \parallel 9$		$\Omega \parallel \text{pF}$
Common-Mode					V
Common-Mode Voltage Range ⁽¹⁾	$V_O = 0\text{V}$	(V+) - 2 (V-) + 2	(V+) - 1.4 (V-) + 1.7		V
Safe Input Voltage				± 40	V
Common-Mode Rejection	$V_{\text{CM}} = \pm 13\text{V}$, $\Delta R_3 = 1\text{k}\Omega$				dB
	$G=1$	80	86		dB
	$G=10$	100	106		dB
	$G=100$	120	125		dB
	$G=1000$	120	130		dB

Labb1a - Uppmätning av spänningsförstärkning A_V för instrumentförstärkare



Differential Mode:

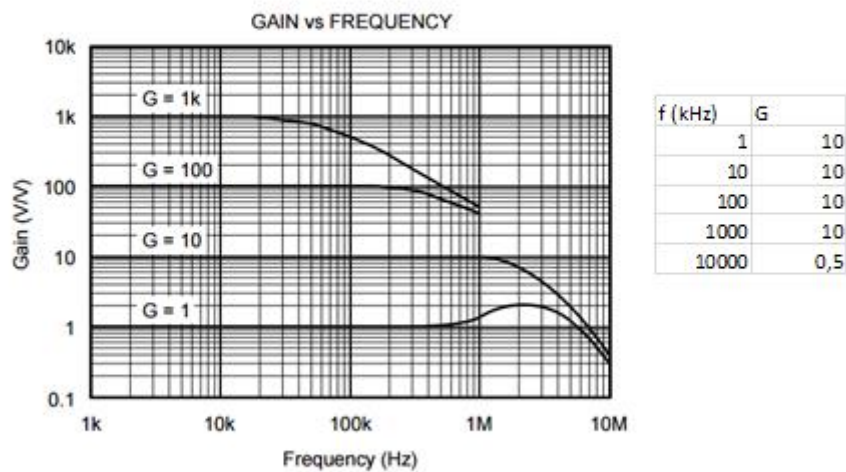
$$G = A_V = A_{DM}(f) = \frac{U_{UT}}{U_{IN}}$$

$$G = 1 + \frac{50 \text{ k}\Omega}{R_G}$$

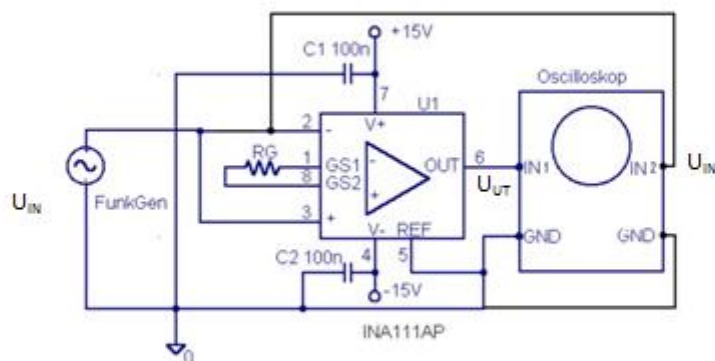
$$R_G = 5,6 \text{ k}\Omega$$

I första delen av labb1 ställs förstärkningen till ca 10 ggr. Sedan studeras förhållandet mellan insignal och utsignal vid olika frekvenser.

INA111: $G = A_{DM}$



Labb1b - Uppmätning av CMRR för instrumentförstärkare

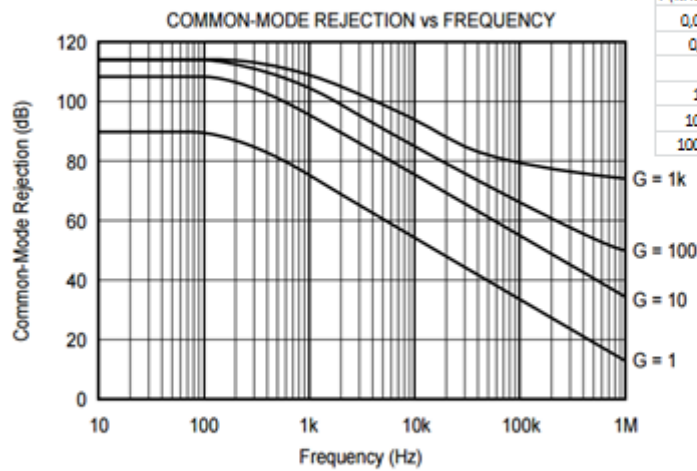


$$CMRR_{dB}(f) = 20 \log \left(A_{DM} \frac{U_{IN}}{U_{UT}} \right)$$

$R_G = 100 \, \Omega$
 $\Rightarrow G = A_{DM} = 501$

I andra delen av labb1 kortsluts ingångarna och CMRR studeras vid förstärkningen 500.

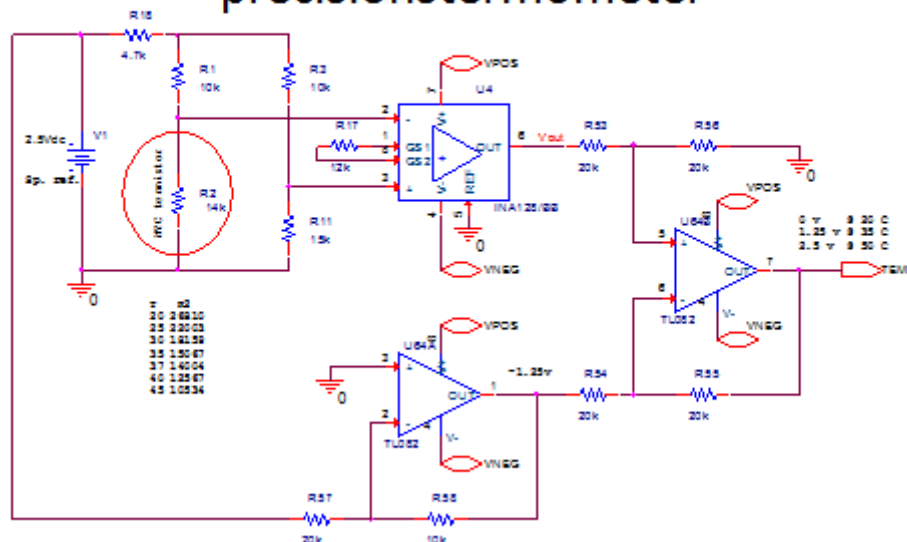
INA111: CMRR



f (kHz)	ADM	ACM	CMRR (dB)
0,01	500	0,00079	116
0,1	500	0,00079	116
1	500	0,0028	105
10	500	0,016	90
100	450	0,1	73
1000	60	0,05	62

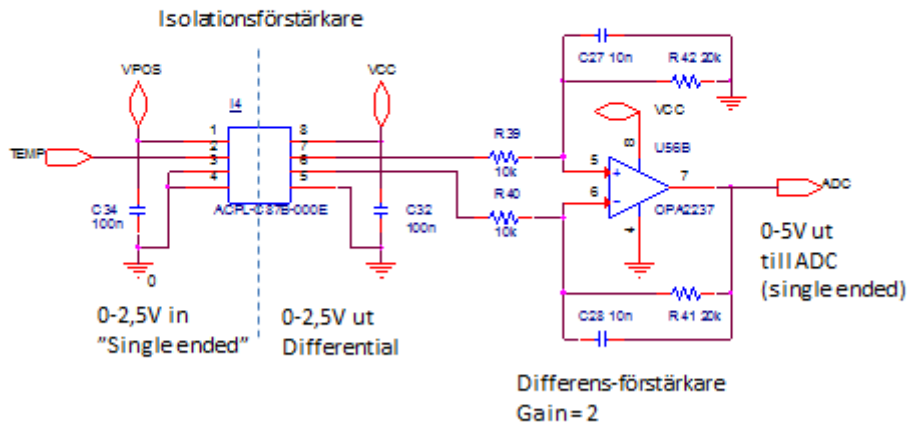
$$CMRR_{dB}(f) = 20 \log \left(\frac{A_{DM}}{A_{CM}} \right)$$

Exempel mätförstärkare - precisionstermometer



I denna konstruktion används en Wheatstone brygga, instrumentförstärkare, inverterare och en differentförstärkare för att återge en linjär spänning som funktion av temperaturen.

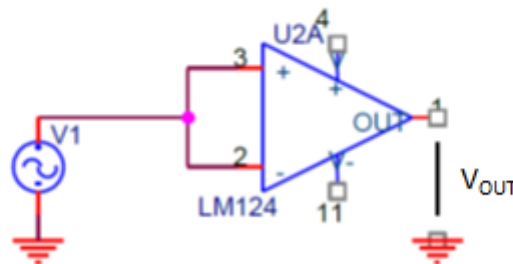
Exempel mätförstärkare – Interface mot ADC



En "single ended" förstärkare har bara en insignal till skillnad från en differentiell förstärkare som både har en positiv och en negativ ingång.

Räkneövning

- I kopplingen nedan är förstärkarens förstärkning $A_V = 200$ ggr, och $V_1 = 2,5$ V. Man mäter på utgången $V_{OUT} = 5$ mV. Hur stort är CMRR?



Tenta 2012-03-12, tal 22

$$\text{CMRR} = A_{DM} / A_{CM}$$

Spänningsförstärkningen $A_V = 200$ är detsamma som A_{DM} . Förstärkningen av common mode störningar A_{CM} fås ur figuren: $A_{CM} = 5 \text{ mV} / 2,5 \text{ V} = 2 \cdot 10^{-3}$.

$$\Rightarrow \text{CMRR} = 200 / 2 \cdot 10^{-3} = 10^5$$

$$\Rightarrow \text{CMRR}_{\text{dB}} = 20 \log (10^5) = 100 \text{ dB}$$

Räkneövning

- Ett audiosystem har en lång kabel mellan mikrofon och ingång på förstärkare med förstärkningen $A_V = 10^2$ i aktuellt frekvensområde. Nyttig signal på ingången av förstärkaren är 10 mV, medan "common mode" störning $U_{\text{IN(CM)}} = 2\text{V}$. Förstärkaren har $\text{CMRR} = 80 \text{ dB}$. Vad är förhållandet mellan nyttig signal och störning (S/N) på utgången av förstärkaren?

Tenta 2012-03-12, tal 7



$$\text{DM: } U_{\text{IN}} = 10 \text{ mV}, A_{\text{DM}} = 100 \Rightarrow U_{\text{UT}} = 100 \times 0,01 \text{ V} = 1 \text{ V}$$

$$\text{CM: } U_{\text{IN}} = 2 \text{ V}, \text{CMRR} = 80 \text{ dB} = 20 \log (A_{\text{DM}} / A_{\text{CM}})$$

$$\Leftrightarrow 80 = 20 \log (100 / A_{\text{CM}}) \Leftrightarrow 4 = \log (100 / A_{\text{CM}}) \Leftrightarrow 10^4 = 100 / A_{\text{CM}} \Leftrightarrow A_{\text{CM}} = 100 / 10^4 = 10^{-2}$$

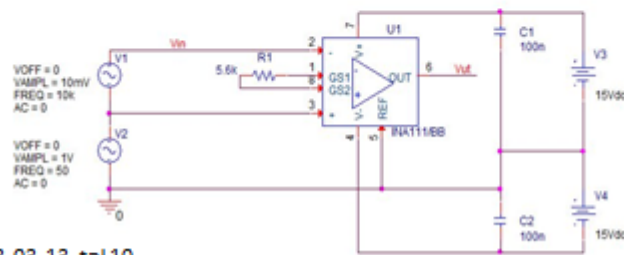
$$\Rightarrow U_{\text{UT}} = A_{\text{CM}} \cdot U_{\text{IN}} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ V}$$

$$\Rightarrow \text{Signal till noise förhållandet } S/N = 1 / 2 \cdot 10^{-2} = 0,5 \cdot 10^2$$

$$\Rightarrow (S/N)_{\text{dB}} = 20 \log (0,5 \cdot 10^2) = 34 \text{ dB}$$

Räkneövning

- Två ingångsspänningskällor V1 och V2 är kopplade enligt figur. Vilken utsignal V_{ut} fås idealt? Ange peak-to-peak amplituden $V_{ut}(p-p)$ och frekvens!
- Förstärkningen $A_v = 1 + 50k\Omega/R1$.



Tenta 2013-03-13, tal 10

$$A_v = 1 + 50/5.6 = 9.93$$

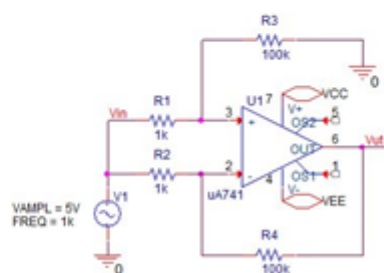
Idealt förstärker förstärkaren endast differentiella signaler mellan ingång 2 och 3 och längsspänningar mot jord undertycks. $VAMPL = 10 \text{ mV} \Rightarrow$

$V_{ut}(p-p) = A_v (2 \times VAMPL) = 9,93 (2 \cdot 10 \text{ mV}) = 199 \text{ mV}$. Obs att p-p värdet efterfrågades!

$f(V_{ut}) = 10 \text{ kHz}$

Räkneövning

- När man kortsluter ingångarna på förstärkaren i figuren nedan fås utsignalen $V_{ut} = 15 \text{ mV}$ när insignalen är en 1 kHz sinusspänning på 5 V . Beräkna CMRR för denna vid 1 kHz !



Tenta 2013-03-13, tal 11

Differential mode: $V_{ut} = R_4/R_2 (V_1 - V_2) = 100 (V_1 - V_2)$, dvs. $A_{DM} = 100$ ggr

Common mode: $A_{CM} = 15 \cdot 10^{-3} / 5 \text{ V} = 3 \cdot 10^{-3}$ ggr

$CMRR = A_{DM} / A_{CM} = 33 \cdot 10^3$ eller i decibel $CMRR = 20 \log (33 \cdot 10^3) = 90,5 \text{ dB}$