

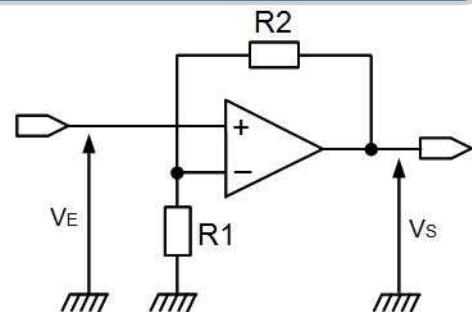
**CI6 : Capter et mettre en forme un signal électrique****TD2 - ALI en régime linéaire, exercices****Je suis capable de :**

- Mettre en équation un montage avec ALI en régime linéaire
- Exprimer l'amplification d'un montage à ALI
- Tracer l'évolution d'un signal issu d'un capteur, après mis en forme

O / N  
O / N  
O / N

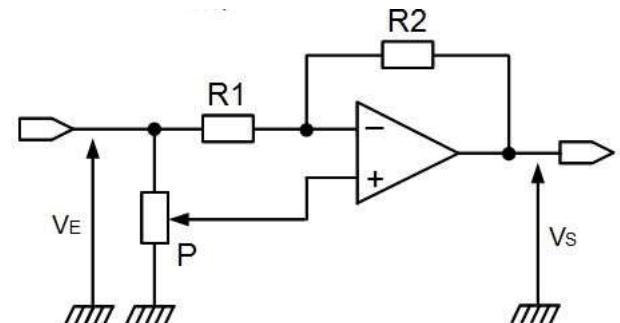
**Exercice 1 : Conditionnement d'une photodiode****par un montage ALI**

**Q 1 - Définir le régime de fonctionnement de l'ALI et donner l'expression de l'amplification  $A_v$  en fonction de  $R_1$  et  $R_2$ .**



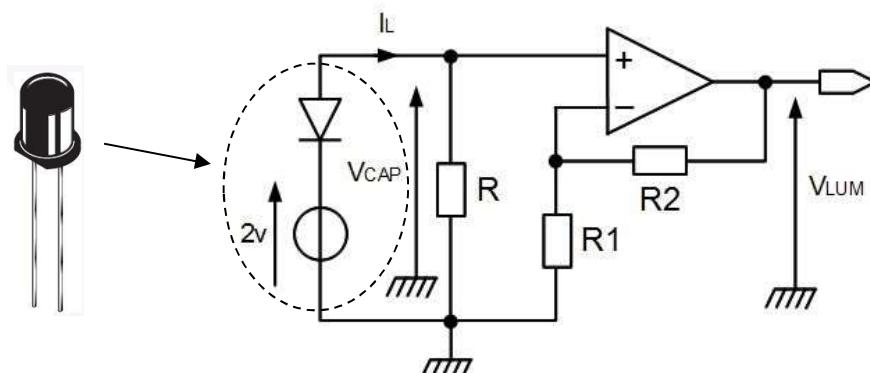
**Q 2 - Définir le régime de fonctionnement de l'ALI.**

$\alpha$  correspond à la position du potentiomètre.  
Donner l'expression de l'amplification  $A_v$  en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$  et  $\alpha$ .



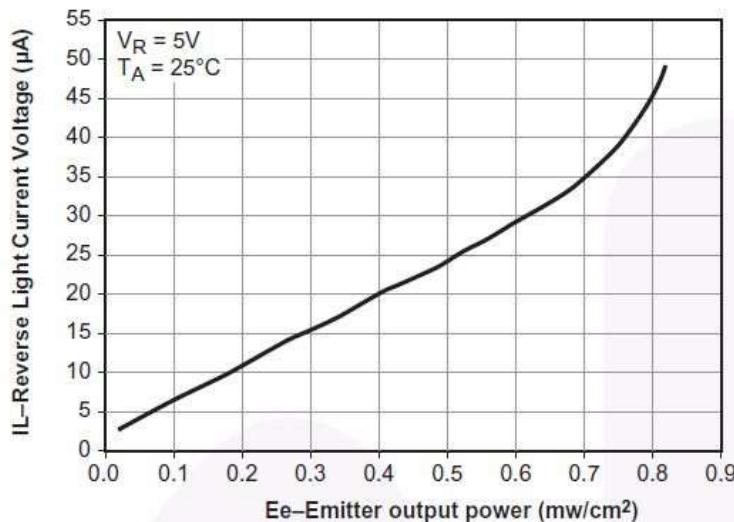
Une photo-diode polarisée en inverse, fournie un courant  $I_L$  très faible (de l'ordre des  $\mu\text{A}$ ), quasi proportionnel à l'éclairement  $E_e$  (quantité de lumière par unité de surface en  $\text{mW/cm}^2$ ).

Il est nécessaire de convertir ce courant en tension, puis d'amplifier le signal capté afin de l'exploiter sa valeur au sein d'un système de mesure.



**Q 3 - Donner l'expression de la tension  $V_{CAP}$ , en fonction de  $I_L$ .**

**Q 4 - On donne la caractéristique  $IL(Ee)$ . Tracer l'évolution de  $VCAP$  pour un éclairement compris entre  $0,1$  et  $0,8 \text{ mW/cm}^2$ . On donne  $R = 9,1 \text{ k}\Omega$ .**



Pour la suite de l'exercice, on considère l'évolution comme linéaire entre  $0,1$  et  $0,7 \text{ mw/cm}^2$ .

**Q 5 - Exprimer l'amplification  $\frac{VLUM}{VCAP}$  en fonction de  $R1$  et  $R2$**

**Q 6 - Choisir  $R1$  et  $R2$  afin d'obtenir  $VLUM = 3v$  pour  $Ee = 0,7 \text{ mW/cm}^2$ .**

**Q 7 - Donner les sensibilités  $S1$  du capteur seul, et  $S2$  du capteur amplifié.**

## Exercice 2 – Plateforme de mesure sismique

Un réseau de surveillance sismique est composé de stations de mesures, interconnectées grâce au réseau Internet. Chaque station intègre un sismomètre capable d'enregistrer l'évolution d'un séisme, sous forme numérique (format SAC et TITAN2).

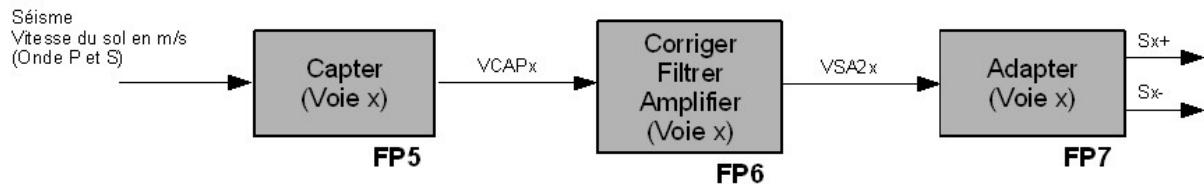


Les signaux issus du capteur NOEMAX représentent

la vitesse du sol sur 3 axes de déplacement (X, Y et Z). La station devra numériser ces signaux, et à l'aide des informations issues du GPS, coupler à chaque échantillon la date et la position de la station. Enfin, la station mettra en œuvre différentes interfaces de communication dans le but de rendre accessibles ces résultats de mesure.

Le schéma fonctionnel suivant présente de manière simplifiée la chaîne analogique de mesure de la vitesse de déplacement du sol (pour un axe) intégré au capteur NOEMAX.

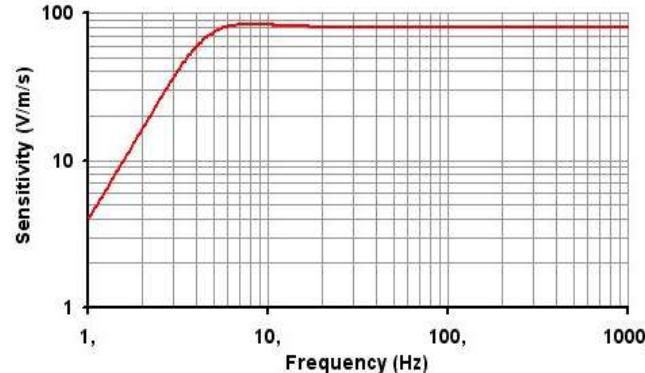
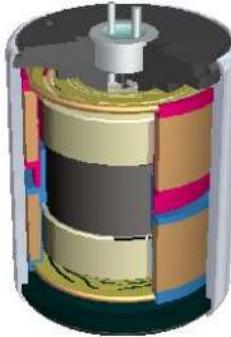
Une bobine ou géophone (FP5) fournit une tension VCAP fonction de la vitesse du sol.



On remarque sur la courbe ci-dessous, que la réponse de la bobine n'est pas linéaire.

**Elle doit être corrigée !**

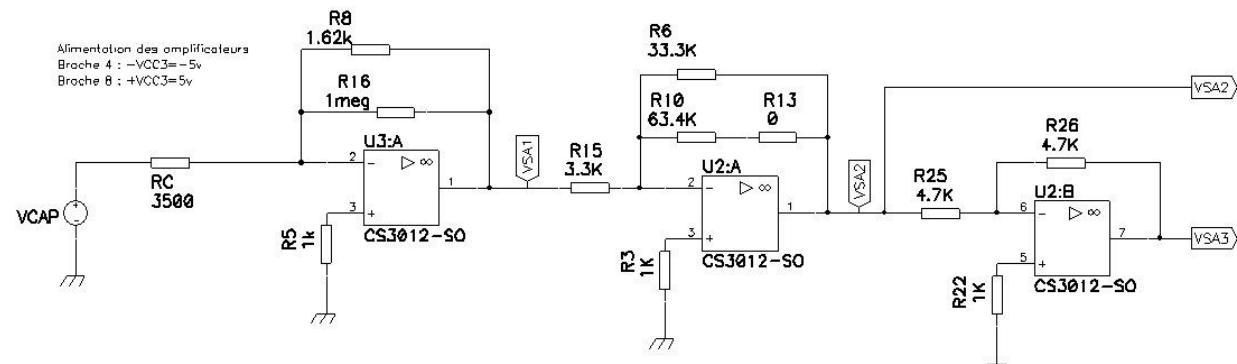
Pour cette étude, on va considérer que la bobine présente une sensibilité constante de **78,9 V/m/s**. Le signal est de plus amplifié et filtré, puis délivré à la sortie de la chaîne de mesure sous la forme d'une tension analogique différentielle.



### Étude de la chaîne d'amplification du signal issu du capteur

Les fonctions « Correction » et « Filtrage » ne sont pas abordées ici. Le schéma est donc une simplification du schéma d'origine d'après les hypothèses suivantes :

- Le capteur est considéré linéaire (sensibilité constante : **78,9 V/m/s**)
- Les amplificateurs sont considérés comme idéaux.
- Les condensateurs C10 et C6 sont considérés comme des circuits ouverts.
- Les condensateurs C59, C61, C58 et C62 sont considérés comme des circuits fermés.



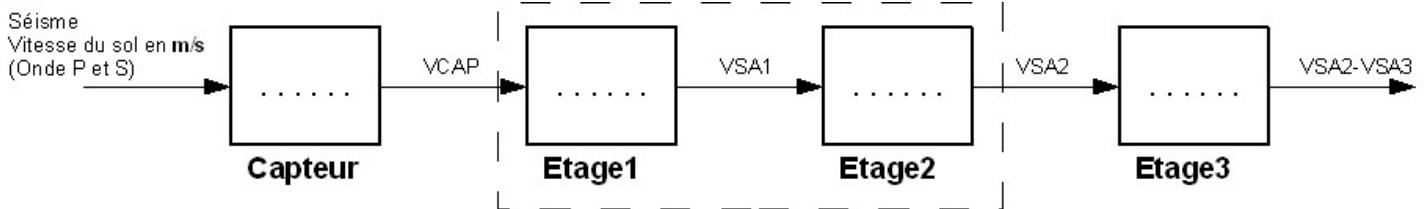
**Objectif :** on cherche à valider les données constructeur en calculant l'amplification totale de la chaîne d'amplification du capteur.

**Q1.** Donner l'expression de l'amplification  $\frac{V_{SA1}}{VCAP}$  de l'étage 1, puis calculer sa valeur numérique.

**Q2.** Donner l'expression de l'amplification  $\frac{V_{SA2}}{V_{SA1}}$  de l'étage 2, puis calculer sa valeur.

**Q3.** Donner l'expression de l'amplification  $\frac{V_{SA2}-V_{SA3}}{V_{SA2}}$  de l'étage 3, puis calculer sa valeur. (on remarque que la tension de sortie de cette étage est une tension différentielle).

**Q4.** Compléter le synoptique suivant, avec pour chaque étage, les amplifications déterminées précédemment. Calculer la sensibilité totale du capteur muni de ses étages d'amplification.



**Q5.** D'après la documentation du capteur NOEMAX fournie en annexe, donner la sensibilité garantie annoncée par le constructeur.

**Q6.** Modifier la valeur de R15 (série E96 pour plus de précision) afin de calibrer l'amplification de l'étage 2, donc de calibrer la chaîne complète, pour respecter la sensibilité annoncée.

### Annexe : Documentation du capteur Noemax



#### NoeMax 20s seismometer

The NoeMax sensor is a triaxial 20s based on 4.5Hz geophones. The low frequency response of the geophones is amplified to widen the overall response down to 20s. Each sensor is calibrated by Aecodagis and pole/zero files are made available online.

*Principle of operations:* the geophone is shortened by the first input stage, the sensor is thus characterized by two real poles. The second and third stages correct the response for the real poles down to 20s. The equivalent sensor is characterized by a 20s cut-off frequency and a damping value of 1.

##### Applications:

The NoeMax sensor is very easy to install, light weight and compact. The coils are automatically shortened when the seismometer is not powered so it is not necessary to lock the masses for transportation.

The SAGE station (educational seismic observatory) is equipped with the NoeMax sensor.

##### Package:

The NoeMax sensor is delivered with the calibration sheet for each component.

##### Technical specifications of the NoeMax sensor



##### Mechanical:

Components	3
Case dimension	Diameter: 170mm, height: 105mm (without feet/handle)
Weight	3kg
Power	9-16V
Power consuming	150mW
Operating temperature	-25 .. 85°C
Watertightness	IP68

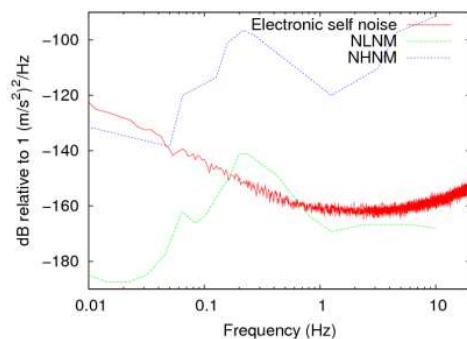
##### Interface:

Connector	MIL-C series
Input	Calibration line, power
Output	+/-3V differential
Internal resistance	3500Ω+/-X%

##### Response:

Measurement	Ground velocity
Low cut-off frequency	50mHz
High cut-off frequency	50Hz
Sensitivity	1500V/m/s+/-5%
Damping	1 +/-5%

NoeMax 11/08/07  
We provide a cable of any length up to 100 meters, the sensor end is equipped with the MIL connector, the data logger end is left open, or can be equipped with one of the Aecodagis usual connectors (Clipper series or MIL-C 26-482



series).

##### Some references:

Université de Bretagne Occidentale, Brest, France  
Laboratoire de Planétologie et Géodynamique, Nantes, France  
BRGM  
Educational programs (Sismo à l'école, EduSeis)

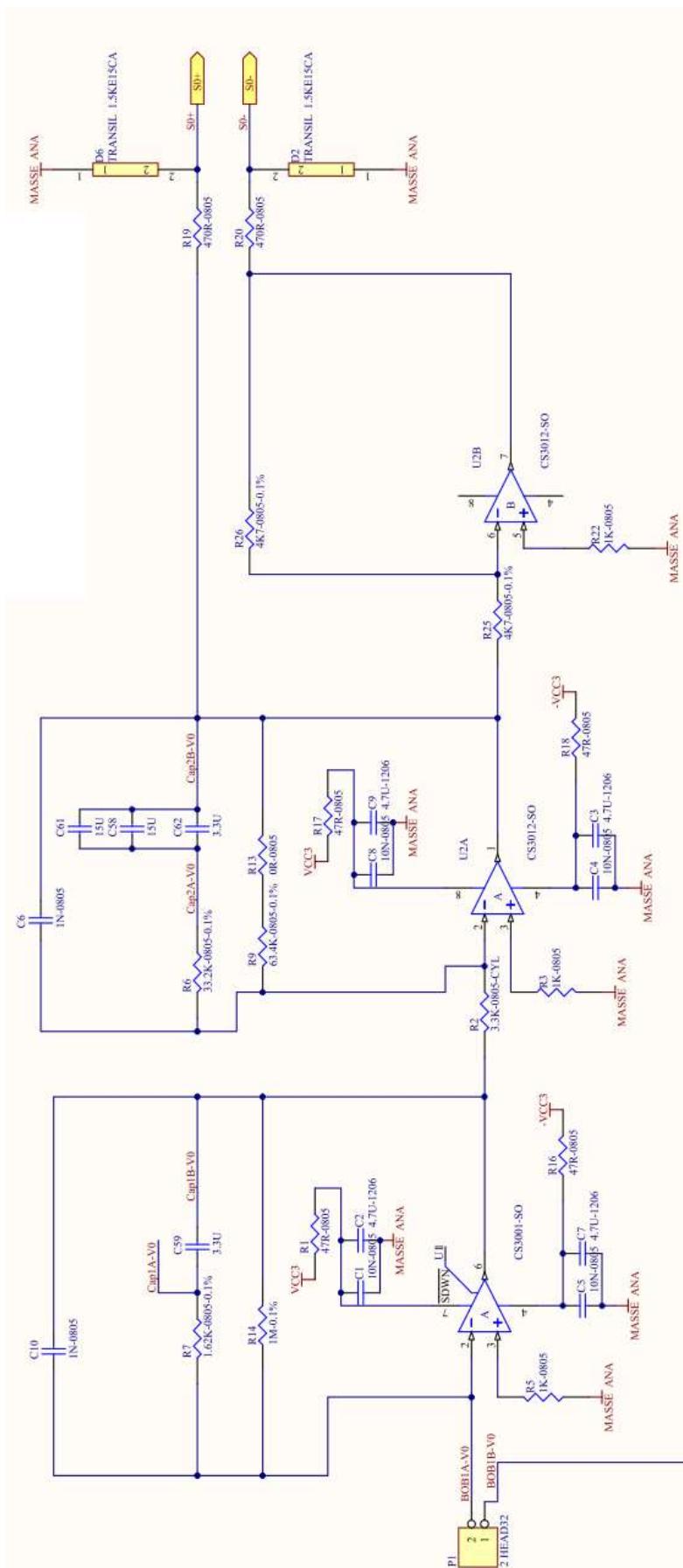
Natural frequency	4.5Hz+/-10%
Sensitivity	78.9V/m/s+/-5%
Internal resistance	3500Ω+/-5%
Damping	0.58+/-5%
Moving mass	10g
Maximum excursion	4mm

##### Sensor pinout (MIL-C 26-482 x51-14-12):

Signal	Pin	Color
VCC	J	Red
GND	K	Black (of red pair)
Calibration	E	Blue
S0+	C	Yellow
S0-	D	Black (of yellow pair)
S1+	L	Brown
S1-	M	Black (of brown pair)
S2+	A	White
S2-	B	Black (of white pair)
Shield	U	Grey

Other signals are used for factory calibration, they must be left not connected.

Annexe : Schéma réel de la carte du capteur Noemax

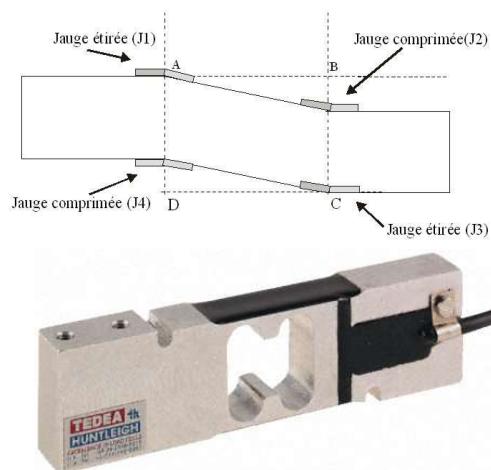
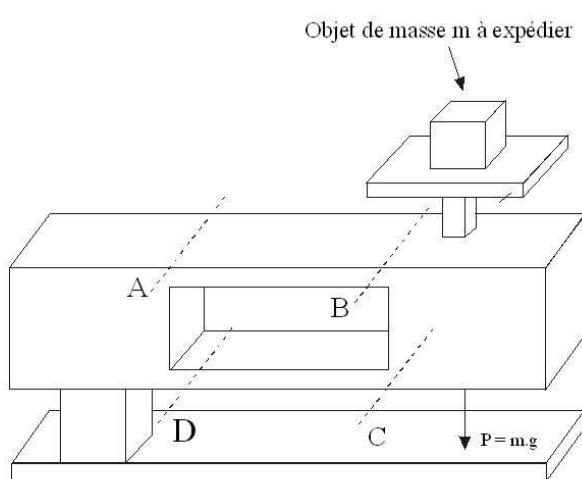


### Exercice 3 – Amplificateur d'instrumentation pour balance

La transformation du poids en grandeur électrique est effectuée par un capteur situé dans la balance. La charge, reposant sur un plateau, transmet une force fonction du poids à un corps d'épreuve. Celui-ci sollicité en traction subit un allongement.

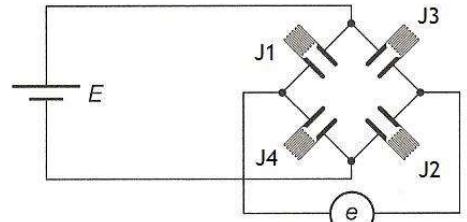
Le corps d'épreuve utilisé est du type bipoutre. La déformation engendre un allongement du corps d'épreuve aux points A et C et une rétractation de même amplitude aux points B et D. Le corps d'épreuve a été conçu pour que l'allongement soit proportionnel à la force P responsable de la déformation.

Des jauge de contraintes (J1, J2, J3 et J4) placées sur le corps d'épreuve sont connectées sous la forme d'un pont de Wheatstone.



#### Le capteur d'effort

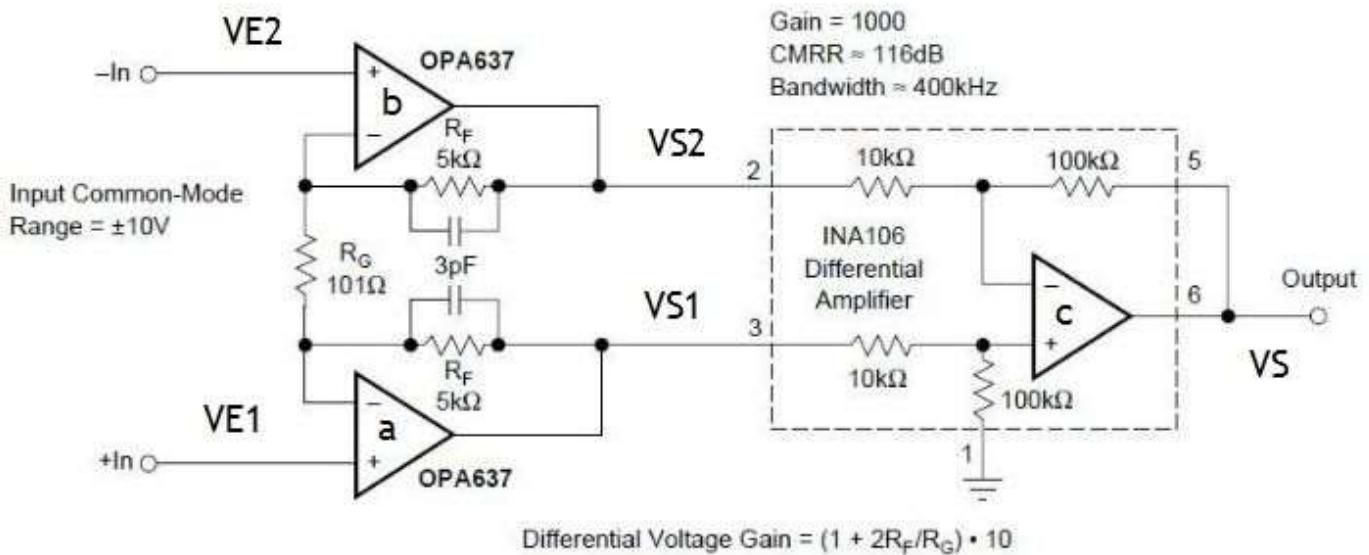
Alimenté sous une tension  $E$ , il fournit une tension différentielle  $V_e$  proportionnelle au poids du colis. Cette tension est très faible : de 0 à 15mv pour une masse de 0 à 30Kg. Elle est donc sensible à un environnement parasité.



#### Amplification du signal utile $V_e$

On propose d'amplifier le tension différentielle  $V_e$ , grâce à une structure classique à 3 AOP appelée « amplificateur d'instrumentation ». Cette structure utilise des ALI spécialisés pour l'amplification des faibles tensions, qui présentent de bonnes caractéristiques statiques

On donne la structure de l'étage « amplificateur d'instrumentation » :

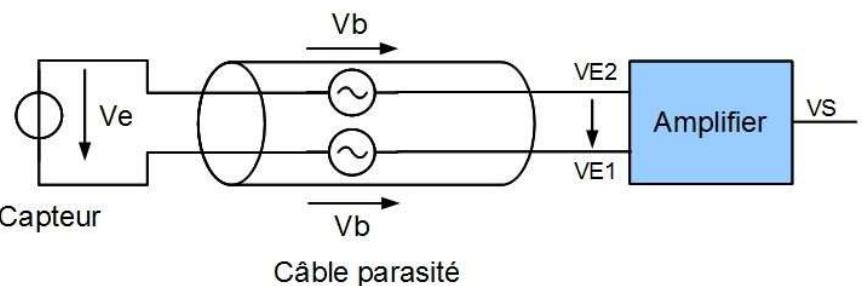


Les condensateurs de 3pF sont équivalents à des circuits ouverts dans notre étude (tensions continues). On peut donc les enlever du schéma. La tension différentielle  $V_e$  sera appliquée entre les entrées  $-IN$  et  $+IN$ .

- Q1.** Exprimer la tension  $VS1$  en fonction de  $VE1$ ,  $VE2$  et des éléments du montage.
- Q2.** Exprimer la tension  $VS2$  en fonction de  $VE1$ ,  $VE2$  et des éléments du montage.
- Q3.** Exprimer enfin  $VS$  en fonction de  $VS1$  et  $VS2$ .
- Q4.** Exprimer  $VS$  en fonction de  $VE1$  et  $VE2$
- Q5.** Retrouver l'expression du gain (ou amplification) différentiel  $\frac{VS}{VE1 - VE2}$  donnée ci-dessus.
- Q6.** Calculer la valeur de  $R_G$  afin d'obtenir un gain de 1000.
- Q7.** En déduire la valeur de  $VS$  pour la gamme de mesure de la balance, vous donnerez  $m$ ,  $P$ ,  $V_e$  et  $VS$ . ( $P$  est une force,  $P = m \cdot g$  avec  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ).
- Q8.** Que risque t-il d'arriver si  $V_e$  est maximum ?

### Le signal $V_e$ est bruité

Le câble reliant le capteur et l'étage d'amplification sont sensibles au bruits électromagnétique (ex : pollution électromagnétique de la lumière néon à 50Hz). Il apparaît au niveau de chaque fil une faible tension appelée  $V_b$ .



- Q9.** Écrire la loi des mailles au niveau de l'entrée de l'amplificateur et donner l'expression de la tension différentielle d'entrée ( $VE1 - VE2$ ).

- Q10.** Les tensions de bruit seront-elles amplifiées par l'étage ?

**SPECIFICATIONS****ELECTRICAL**

PARAMETER	CONDITIONS	OPA627BM, BP, SM			OPA627AM, AP, AU			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
<b>OFFSET VOLTAGE (<math>V_o</math>)</b>								
Input Offset Voltage AP, BP, AU Grades		40	100	250	130	280	500	μV/°C
Average Diff. AP, BP, AU Grades		0.4	0.8	2	1.2	2.5	2	dB
Power Supply Rejection		106	120	100	116			
<b>INPUT BIAS CURRENT (<math>I_b</math>)</b>								
Input Bias Current SM Grade	$V_{CM} = 0V$	1	5		2	10		pA
Over-Specified Temperature	$V_{CM} = 0V$	50			2			nA
Over Common-Mode Voltage	$V_{CM} = \pm 10V$	1	5		1	10		pA
Input Offset Current Over-Specified Temperature	$V_{CM} = 0V$	0.5	5		1	2		nA
<b>NOISE</b>								
Input Voltage Noise Noise Density: $f = 10Hz$		15	40		20			nV/ $\sqrt{Hz}$
Noise Density: $f = 100Hz$		8	20		10			nV/ $\sqrt{Hz}$
Noise Density: $f = 1kHz$		5.2	8		5.6			nV/ $\sqrt{Hz}$
Voltage Noise: $BW = 0.1Hz$ to $10Hz$		4.5	6		4.8			μV/p
Input Bias Current Noise		0.6	1.6		0.8			1nV/ $\sqrt{Hz}$
Noise Density: $f = 100Hz$		1.6	2.5		2.5			μA-p
Current Noise: $BW = 0.1Hz$ to $10Hz$		30	60		48			
<b>INPUT IMPEDANCE</b>								
Differential		$10^{13}$	$10^{13}$	$\Omega$	$10^{13}$	$\Omega$	$10^{13}$	$\Omega$
Common-Mode		$\parallel$	$\parallel$	$\Omega$	$\parallel$	$\Omega$	$\parallel$	$\Omega$
<b>INPUT VOLTAGE RANGE</b>								
Common-Mode Input Range Over-Specified Temperature		$\pm 11.5$			*	*	*	V
Common-Mode Rejection	$V_{CM} = \pm 10.5V$	$\pm 11$			*	*	*	dB
<b>OPEN-LOOP GAIN</b>								
Open-Loop Voltage Gain Over-Specified Temperature		$\pm 11.5$			*	*	*	V/ $\mu$ s
SM Grade	$V_{CM} = \pm 10.5V$	$\pm 11$			*	*	*	ns
<b>FREQUENCY RESPONSE</b>								
Slew Rate: OPA627	$G = -1, 10V Step$	40	55		*	*	*	ns
Settling Time: OPA627	$G = -1, 10V Step$	112	120		116			ns
OPA637 0.1%	$G = -1, 10V Step$	106	117		110			MHz
OPA637 0.01%	$G = -1, 10V Step$	106	114		110			MHz
Gain-Bandwidth Product: OPA627	$G = -1, 10V Step$	100	100		100			%
Total Harmonic Distortion + Noise	$G = 10$	550	550		80	0.0003		
<b>POWER SUPPLY</b>								
Specified Operating Voltage		$\pm 15$			*	*	*	V
Operating Voltage Range		$\pm 17$			*	*	*	mA
Current		$\pm 7.5$			*	*	*	
<b>OUTPUT</b>								
Voltage Output Over-Specified Temperature	$R_L = 1k\Omega$	$\pm 11.5$			*	*	*	V
Current Output Over-Specified Temperature	$V_{OL} = \pm 10V$	$\pm 11$			*	*	*	mA
Short-Circuit Current		$\pm 45$			*	*	*	Ω
Output Impedance, Open-Loop	$1MHz$	$\pm 35$	$\pm 100$		*	*	*	
<b>TEMPERATURE RANGE</b>								
Specification: AP, BP, AM, BM, AU		-25	+85		*	*	*	°C
Storage: AM, BM, SM		-55	+125		*	*	*	°C
AP, BP, AU		-60	+150		*	*	*	°C
$\theta_{jk}$ : AM, BM, SM, AP, BP, AU		-40	+125		*	*	*	°C
		100	200		*	*	*	°C
		160	160		*	*	*	°C

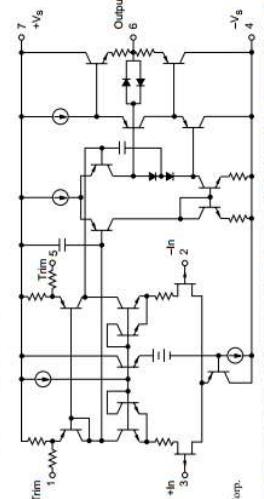
**OPA627  
OPA637****Precision High-Speed  
Difet® OPERATIONAL AMPLIFIERS****FEATURES**

- VERY LOW NOISE:  $4.5nV/\sqrt{Hz}$  at  $10kHz$
- FAST SETTLING TIME:  
OPA627— $550ns$  to  $0.01\%$   
OPA637— $450ns$  to  $0.01\%$
- LOW  $V_{OS}$ :  $<100\mu V$  max
- LOW DRIFT:  $0.8\mu V/\text{°C}$  max
- LOW  $I_b$ :  $5pA$  max
- OPA627: Unity-Gain Stable
- OPA637: Stable in Gain  $\geq 5$

**DESCRIPTION**

The OPA627 and OPA637 **Difet** operational amplifiers provide a new level of performance in a precision FET op amp. When compared to the popular OPA111 op amp, the OPA627/637 has lower noise, lower offset voltage, and much higher speed. It is useful in broad range of precision and high speed analog circuitry.

The OPA627/637 is fabricated on a high-speed, dielectrically-isolated complementary NPN/PNP process. It operates over a wide range of power supply voltage— $\pm 4.5V$  to  $\pm 18V$ . Laser-trimmed **Difet** input circuitry provides high accuracy and low-noise performance comparable with the best bipolar-input op amps.



**Difet®** Burr-Brown Corp.  
International Airport Industrial Park • Mailing Address: P.O. Box 1140, Tucson, AZ 85734 • Street Address: 270 S. Tucson Blvd., Tucson, AZ 85711 • Tel: (520) 746-4111 • Fax: (520) 746-4461 • E-mail: <http://www.burr-brown.com> • FAX: Inc. (800) 548-6133 (US/Canada Only) • Cable: BURICORP • Telex: 866-516 • Immediate Product Info: (800) 448-6132  
Internat: <http://www.burr-brown.com>

INA106 SPECIFICATIONS

**Burr-Brown Products**  
from Texas Instruments



INA106

## ELECTRICAL

Precision Gain = 10  
DIFFERENTIAL AMPLIFIER

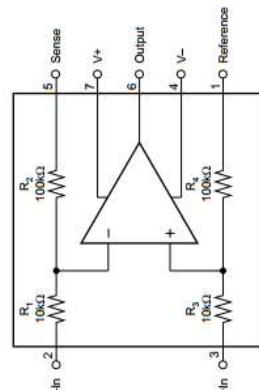
FEATURES

- G = 10 DIFFERENTIAL AMPLIFIER
  - G = +10 AMPLIFIER
  - G = -10 AMPLIFIER
  - G = +11 AMPLIFIER
  - INSTRUMENTATION AMPLIFIER
  - ACCURATE GAIN:  $\pm 0.25\%$  max
  - HIGH COMMON-MODE REJECTION: 86dB min
  - NONLINEARITY: 0.001% max
  - EASY TO USE
  - PLASTIC 8-PIN DIP SO-8 SOIC

## DESCRIPTION

The INA106 is a monolithic Gain = 10 differential amplifier consisting of a precision op amp and on-chip metal film resistors. The resistors are laser trimmed for accurate gain and high common-mode rejection. Excellent TCR tracking of the resistors maintains gain accuracy and common-mode rejection over temperature.

The differential amplifier is the foundation of many commonly used circuits. The INA106 provides this precision circuit function without using an expensive resistor network. The INA106 is available in 8-pin plastic DIP and SO-8 surface-mount packages.



## SPECIFICATIONS

ELECTRICAL

PARAMETER	CONDITIONS	INA106KP, U			UNITS
		MIN	TYP	MAX	
<b>GAIN</b>					V/V
Initial <sup>(1)</sup> Error vs Temperature Nonlinearity <sup>(6)</sup>		0.01	0.025	0.05	% ppm/ <sup>°</sup> C %
		4	0.0002	0.001	
<b>OUTPUT</b>					
Raised Voltage Raized Current Impedance Current Limit Capacitive Load	$I_O = +20\text{mA}$ $V_O = 10V$ To Common Stable Operation	+10, +20,-5	12		V mA Ω mA pF
			0.01		
		+/-0.10			
		1000			
<b>INPUT</b>					
Impedance	Differential Common-Mode Differential Common-Mode $T_A = T_{IN} \text{ to } T_{MAX}$	$\pm 1$ $\pm 11$ 86	10 110 100		kΩ kΩ V dB
Voltage Range					
Common-Mode Rejection <sup>(3)</sup>	RTI <sup>(4)</sup>				
	$\pm V_S = 6V$ to 18V				
<b>OFFSET VOLTAGE</b>					
Initial vs Temperature vs Supply vs Time	RTI <sup>(5)</sup>				$\mu\text{V}$ $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ $\mu\text{V}/V$ $\mu\text{V}/\text{mIo}$
		50 0.2 1 10	200 0.2 10		
NOISE VOLTAGE					
$I_B = 10\text{nA}$ $f_o = 10\text{kHz}$	RTI <sup>(6)</sup>	1			$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$ $\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
		30			
<b>DYNAMIC RESPONSE</b>					
Small Signal Full Power BW	$-3\text{dB}$ $V_O = 20\text{Vp-p}$				MHz kHz V/us
Settling Time: 0.1%	30	5			
0.01% 0.01%	2	3			
		5			
$V_O = 10\text{V Step}$		10			$\mu\text{s}$
$V_{CM} = 10\text{V Step}$ , $V_{O,DIFF} = 0\text{V}$		5			
<b>POWER SUPPLY</b>					
Raised Voltage Range Quiescent Current	Derated Performance	$\pm 5$	$\pm 15$	$\pm 18$	V V mA
			$\pm 1.5$	$\pm 2$	
<b>TEMPERATURE RANGE</b>					$^{\circ}\text{C}$
Specification Operation Storage		0 -40 -65	-40 +70 +85 +150	+70 +85 +150	$^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$

**NOTES:** (1) Connected as difference amplifier (see Figure 1). (2) Nonlinearity is the maximum peak deviation from the best-fit straight line as a percent of full-scale peak-to-peak output. (3) With zero source impedance (CVR section). (4) Includes effects of amplifiers' input bias and offset currents. (5) Includes effect of amplifier's input current noise and thermal noise contribution of resistor network.