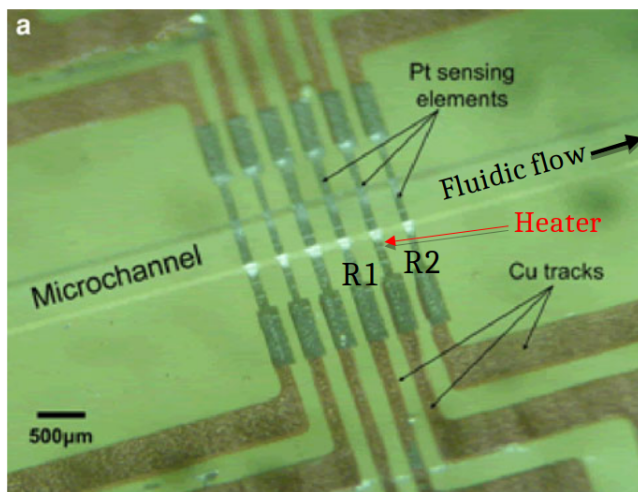


TD n°4 : Mesure de débit dans un canal microfluidique à partir d'un gradient de température

Objectifs pédagogiques :

Amplificateur différentiel à 3 AOP → Calculs
 Chaîne d'instrumentation → Approfondissement
 Pont de Wheatstone → Utilisation

La microfluidique consiste dans l'étude et la manipulation des fluides à l'échelle micro-métrique. Les applications typiques sont les encres électronique des liseuses, les têtes d'imprimante à jet d'encre, le diagnostic médical, les tests de dépistage, etc. Les technologies microfluidiques sont considérées comme essentielles pour effectuer des opérations de test chimique complexes sur de petites quantités d'un fluide. Dans le domaine de la biologie, elles permettent de réaliser de véritables laboratoires sur puce, combinant, en parallèle, plusieurs étapes de traitement et analyse. Dans ce contexte, la caractérisation de l'écoulement dans un microcanal est primordiale. De nombreuses approches existent, et nous allons analyser une solution basée sur une approche thermofluidique, telle que présentée par Patsis et al. ¹.



L'idée, illustrée par la figure 1, est de chauffer le fluide qui circule dans le microcanal grâce à un élément chauffant constitué d'une résistance de Pt traversée par un courant. Les deux résistances de R_1 et R_2 situées de part et d'autre de la résistance chauffante jouent le rôle de thermistances.

Figure 1: Photo d'un microcanal réalisé au-dessus de résistances de platine, utilisées comme thermorésistances. Adaptée de Patsis et al.

Si le fluide (non conducteur) est « au repos » dans le microcanal, le débit est nul, les deux thermistances sont alors à la même température car chauffées de façon symétrique et $R_1 = R_2$. Quand le débit n'est pas nul, le fluide transporte la chaleur et les valeurs de R_1 et R_2 sont différentes. Grâce à une calibration, ce phénomène peut être utilisé pour mesurer la vitesse d'écoulement du fluide.

L'objectif du TD est d'étudier le circuit d'acquisition de la différence de température.

1. Patsis, G. P., Petropoulos, A., & Kaltsas, G. (2012). Modelling and evaluation of a thermal microfluidic sensor fabricated on plastic substrate. *Microsystem technologies*, 18(3), 359-364.

Exercice 1 : Conditionnement du signal et amplification

On étudie le circuit formé par les capteurs, le pont de Wheatstone et l'amplificateur connecté à sa sortie, figure 2. Les condensateurs seront négligés (équivalents à des circuits ouverts). Les résistances sont données par les relations suivantes :

$$R_1 = R_0(1 - \alpha q)$$

$$R_2 = R_0(1 + \alpha q)$$

$$R_3 = R_0$$

$$R_4 = R_0$$

Où q représente le flux/débit du fluide (exprimé en $\mu\text{l}/\text{min}$), $\alpha = 2.10^{-3}(\mu\text{l}/\text{min})^{-1}$ et $R_0 = 60\Omega$. Une des difficultés avec des capteurs résistifs est de limiter l'effet d'auto-échauffement pour ne pas perturber la mesure. Les résistances R_5 and R_6 sont utilisées afin de limiter l'alimentation en tension du pont pour remplir cette condition.

1. Quel est l'avantage d'un pont de Wheatstone pour détecter une faible variation de résistance des capteurs ?
2. On suppose la tension V_{CD} continue et constante. Calculer la tension de sortie du pont V_{AB} en fonction de V_{CD} et du débit du fluide q .
3. Calculer la résistance totale du pont mesurée entre les points C and D (on considèrera que les résistances R_5 et R_6 sont déconnectées). Varie-t-elle avec q ?
4. Prendre en compte R_5 et R_6 , telles $R_5 = R_6$. Choisir leur valeur pour que la puissance dissipée dans les résistances R_1 à R_4 du pont soit égale à 1mW au total (i.e. somme des puissances dans les résistances).
5. Calculer les valeurs numériques de V_{CD} et V_{AB} pour un flux $q = 5\mu\text{l}/\text{min}$, en utilisant les valeurs de R_5 et R_6 déterminées dans la question précédente.

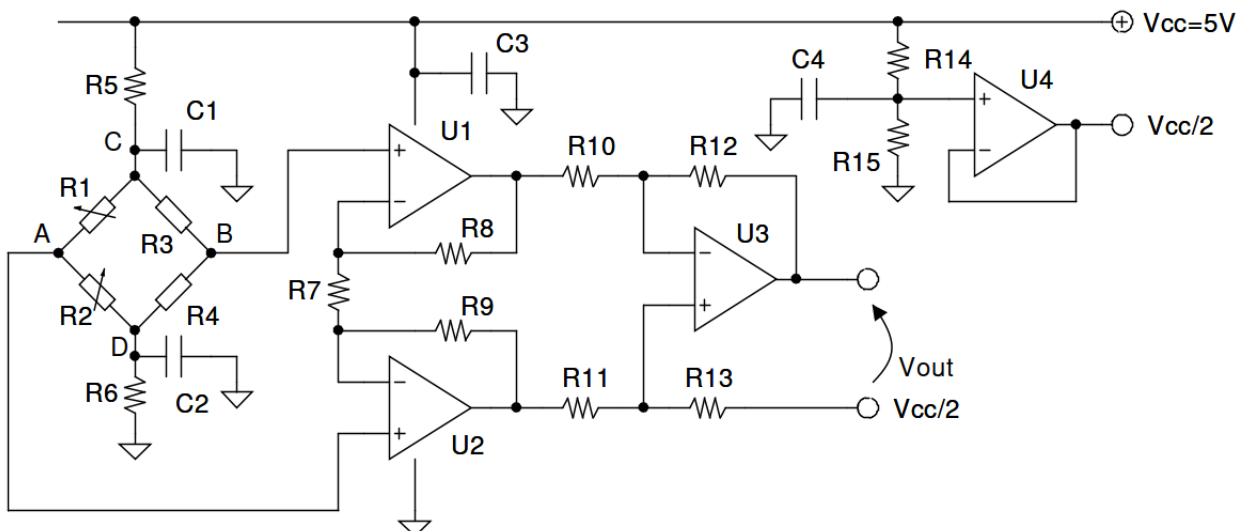


Figure 2: Circuit étudié dans les exercices 1 et 2. $R_{14} = R_{15} = 47\text{ k}\Omega$.

Exercice 2 : Amplification Différentielle

On considère l'amplificateur d'instrumentation formé par les AOPs U_1 , U_2 et U_3 , qui sont à l'intérieur du composant OPA4191.

1. Calculer le gain différentiel nécessaire pour obtenir $V_{out} = 2V$ pour un débit de $5\mu\text{l}/\text{min}$. On prendra $V_{AB} = 1\text{mV}$, en cohérence avec la question précédente.
2. On choisit $R_8 = 50\text{k}\Omega$, $R_{10} = 5\text{k}\Omega$, $R_{12} = 50\text{k}\Omega$. Calculer les valeurs de R_7 , R_9 , R_{11} et R_{13} pour obtenir le gain différentiel calculé dans les précédentes questions.
3. Peut-on obtenir un débit de $-2\mu\text{l}/\text{min}$? Quelle tension V_{out} obtient-on dans cette condition?
4. On considère que U1 et U2 ont une tension de décalage (entre leur borne V^+ et V^-) égale au maximum donné par le fabricant, de sorte que l'erreur soit maximale. Quel est l'effet sur la tension de sortie? Calculer l'erreur relative sur un débit maximum $5\mu\text{l}/\text{min}$.
5. Pourquoi a-t-on pu négliger la tension de décalage d'U3 dans les questions précédentes?

Annexes

A Extrait de la datasheet de l'OP4191

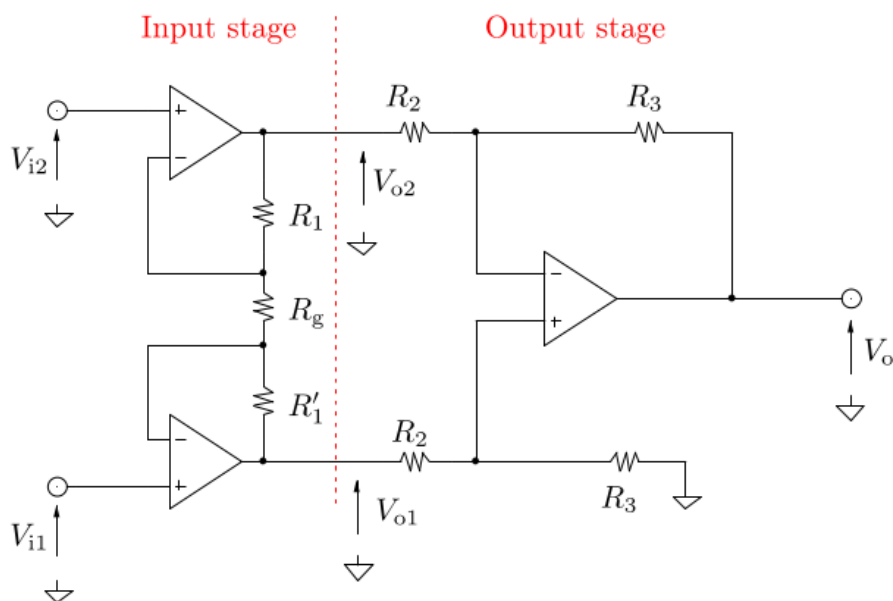
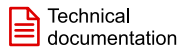


Figure 3.7: Differential amplifier with three operational amplifier: the instrumentation amplifier by antonomasia.

Figure 3: Amplificateur Différentiel à 3 AOP à base d'OP4191.



OPAx191 36-V, Low-Power, Precision, CMOS, Rail-to-Rail Input/Output, Low Offset Voltage, Low Input Bias Current Op Amp

1 Features

- Low offset voltage: $\pm 5 \mu\text{V}$
- Low offset voltage drift: $\pm 0.1 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- Low noise: $15 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 kHz
- High common-mode rejection: 140 dB
- Low bias current: $\pm 5 \text{ pA}$
- Rail-to-rail input and output
- Wide bandwidth: 2.5-MHz GBW
- High slew rate: $5 \text{ V}/\mu\text{s}$
- Low quiescent current: 140 μA per amplifier
- Wide supply: $\pm 2.25 \text{ V}$ to $\pm 18 \text{ V}$, 4.5 V to 36 V
- EMI/RFI filtered inputs
- Differential input voltage range to supply rail
- High capacitive load drive capability: 1 nF
- Industry standard packages:
 - Single in SOIC-8, SOT-5, and VSSOP-8
 - Dual in SOIC-8 and VSSOP-8
 - Quad in SOIC-14, TSSOP-14, and WQFN-16

3 Description

The OPAx191 family (OPA191, OPA2191, and OPA4191) is a new generation of 36-V, e-trim™ operational amplifiers.

These devices offer outstanding dc precision and ac performance, including rail-to-rail input/output, low offset voltage ($\pm 5 \mu\text{V}$, typ), low offset drift ($\pm 0.2 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, typ), and 2-MHz bandwidth.

Unique features, such as differential input-voltage range to the supply rail, high output current ($\pm 65 \text{ mA}$), high capacitive load drive of up to 1 nF, and high slew rate ($5 \text{ V}/\mu\text{s}$), make the OPAx191 a robust, high-performance operational amplifier for high-voltage industrial applications.

The OPAx191 family of op amps is available in standard packages and is specified from -40°C to $+125^\circ\text{C}$.

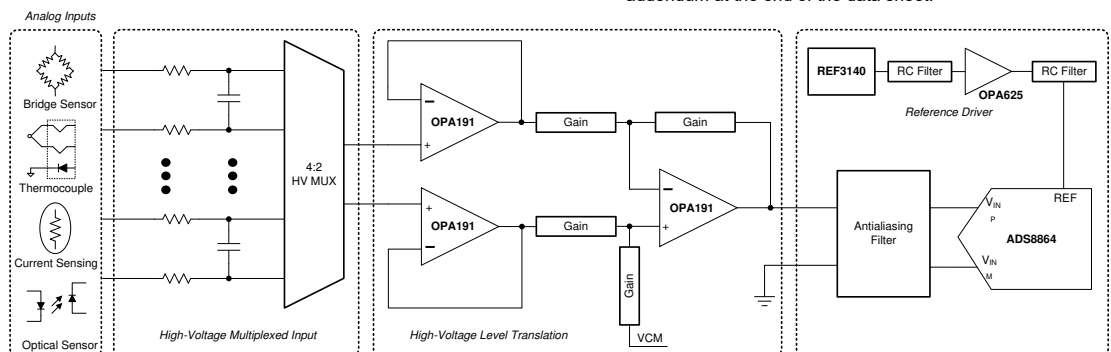
2 Applications

- [Analog input module](#)
- [Mixed module \(AI, AO, DI, DO\)](#)
- [Data acquisition \(DAQ\)](#)
- [Source measurement unit \(SMU\)](#)
- [Pressure transmitter](#)
- [Train control and management systems](#)
- [Lab and field instrumentation](#)

Device Information

PART NUMBER	PACKAGE ⁽¹⁾	BODY SIZE (NOM)
OPA191	SOIC (8)	4.90 mm × 3.90 mm
	SOT (5)	2.90 mm × 1.60 mm
	VSSOP (8)	3.00 mm × 3.00 mm
OPA2191	SOIC (8)	4.90 mm × 3.90 mm
	VSSOP (8)	3.00 mm × 3.00 mm
OPA4191	SOIC (14)	8.65 mm × 3.90 mm
	TSSOP (14)	5.00 mm × 4.40 mm
	WQFN (16)	4.00 mm × 4.00 mm

(1) For all available packages, see the package option addendum at the end of the data sheet.



OPA191 in a High-Voltage, Multiplexed, Data-Acquisition System

6.8 Electrical Characteristics: $V_S = \pm 2.25\text{ V to } \pm 4\text{ V}$ ($V_S = 4.5\text{ V to } 8\text{ V}$)

at $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{CM} = V_{OUT} = V_S / 2$, and $R_L = 10\text{ k}\Omega$ connected to $V_S / 2$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT	
OFFSET VOLTAGE						
V_{OS}	Input offset voltage	$V_S = \pm 2.25\text{ V}$, $V_{CM} = (V+) - 3\text{ V}$		± 5	± 25	μV
			$T_A = 0^\circ\text{C to } 85^\circ\text{C}$	± 8	± 75	
			$T_A = -40^\circ\text{C to } +125^\circ\text{C}$	± 10	± 125	
		$(V+) - 3.0\text{ V} < V_{CM} < (V+) - 1.5\text{ V}$		See Typical Characteristics		
		$V_S = \pm 3\text{ V}$, $V_{CM} = (V+) - 1.5\text{ V}$	$T_A = 0^\circ\text{C to } 85^\circ\text{C}$	± 10	± 50	
			$T_A = -40^\circ\text{C to } +125^\circ\text{C}$	± 25	± 150	
OPA4191 (RUM, PW), $V_S = \pm 3\text{ V}$, $V_{CM} = (V+) - 1.5\text{ V}$	$T_A = -40^\circ\text{C to } +85^\circ\text{C}$	± 10	± 50			
	$T_A = -40^\circ\text{C to } +125^\circ\text{C}$	± 90	± 475			
dV_{OS}/dT	Input offset voltage drift	$V_S = \pm 2.25\text{ V}$, $V_{CM} = (V+) - 3\text{ V}$, D and PW packages only	$T_A = 0^\circ\text{C to } 85^\circ\text{C}$	± 0.1	± 0.8	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
			$T_A = -40^\circ\text{C to } +125^\circ\text{C}$	± 0.15	± 1.2	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
		$V_S = \pm 2.25\text{ V}$, $V_{CM} = (V+) - 3\text{ V}$, RUM, DGK and DBV packages only	$T_A = 0^\circ\text{C to } 85^\circ\text{C}$	± 0.1	± 0.9	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
			$T_A = -40^\circ\text{C to } +125^\circ\text{C}$	± 0.15	± 1.3	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
$V_S = \pm 2.25\text{ V}$, $V_{CM} = (V+) - 1.5\text{ V}$	$T_A = -40^\circ\text{C to } +125^\circ\text{C}$	± 0.5				
PSRR	Power-supply rejection ratio	$T_A = -40^\circ\text{C to } +125^\circ\text{C}$, $V_{CM} = V_S / 2 - 0.75\text{ V}$		± 1	$\mu\text{V/V}$	
INPUT BIAS CURRENT						
I_B	Input bias current		± 5	± 20	pA	
		$T_A = -40^\circ\text{C to } +125^\circ\text{C}$		± 9	nA	
I_{OS}	Input offset current		± 2	± 20	pA	
		$T_A = -40^\circ\text{C to } +125^\circ\text{C}$		± 2	nA	
NOISE						
E_n	Input voltage noise	$(V-) - 0.1\text{ V} < V_{CM} < (V+) - 3\text{ V}$	$f = 0.1\text{ Hz to } 10\text{ Hz}$	1.4	μV_{PP}	
		$(V+) - 1.5\text{ V} < V_{CM} < (V+) + 0.1\text{ V}$	$f = 0.1\text{ Hz to } 10\text{ Hz}$	7		
e_n	Input voltage noise density	$(V-) - 0.1\text{ V} < V_{CM} < (V+) - 3\text{ V}$	$f = 100\text{ Hz}$	18	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$	
			$f = 1\text{ kHz}$	15		
		$(V+) - 1.5\text{ V} < V_{CM} < (V+) + 0.1\text{ V}$	$f = 100\text{ Hz}$	53		
			$f = 1\text{ kHz}$	24		
i_n	Input current noise density		$f = 1\text{ kHz}$	1.5	$\text{fA}/\sqrt{\text{Hz}}$	
INPUT VOLTAGE						
V_{CM}	Common-mode voltage range		$(V-) - 0.1$	$(V+) + 0.1$	V	
CMRR	Common-mode rejection ratio	$V_S = \pm 2.25\text{ V}$, $(V-) - 0.1\text{ V} < V_{CM} < (V+) - 3\text{ V}$		96	110	dB
			$T_A = -40^\circ\text{C to } +125^\circ\text{C}$	90	104	
		$V_S = \pm 2.25\text{ V}$, $(V+) - 1.5\text{ V} < V_{CM} < (V+)$		96	120	
			$T_A = -40^\circ\text{C to } +125^\circ\text{C}$	84	100	
		$(V+) - 3\text{ V} < V_{CM} < (V+) - 1.5\text{ V}$		See Typical Characteristics		
INPUT IMPEDANCE						
Z_{ID}	Differential		100 1.6		$\text{M}\Omega \parallel \text{pF}$	
Z_{IC}	Common-mode		1 6.4		$10^{13}\Omega \parallel \text{pF}$	