

Chaîne de mesure

1. structure générale

- Chaîne de mesure analogique
- Chaîne de mesure numérique

2. Principe de fonctionnement d'une chaîne de mesure numérique

- Capteur
- Convertisseur CAN
- Calculateur numérique
- Afficheur numérique

a. Chaîne de mesure

Def: suite d'éléments d'un système de mesure qui constitue un seul chemin du signal depuis le capteur jusqu'à l'élément de sortie.

Elle comprend

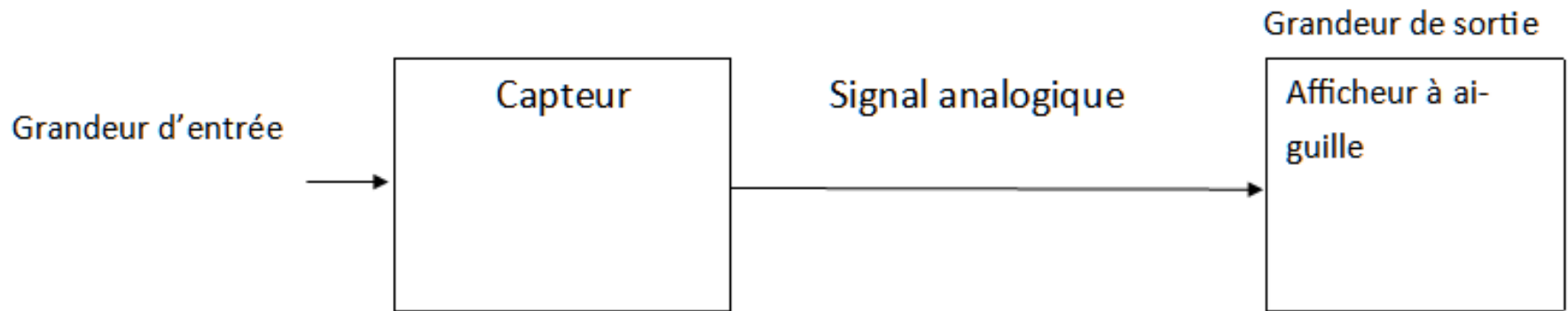
- Un capteur
- Un signal qui suit un chemin dans la succession des éléments
- Un élément de sortie qui rend une indication sous forme analogique ou numérique

Un appareil de mesure est une chaîne de mesure.

Analogique ou numérique

Chaîne de mesure analogique

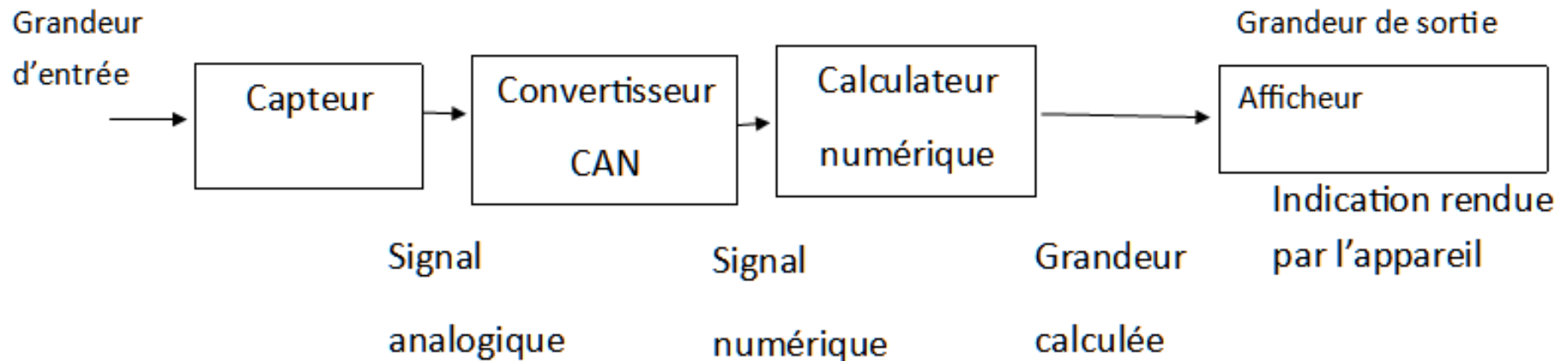
Def: Un signal analogique est basé sur une grandeur physique qui varie de façon continue et dont la valeur varie de façon analogue à celle de la grandeur d'entrée.



La gradation du cadran est effectuée lors de l'étalonnage de la chaîne de mesure.

Chaîne de mesure numérique

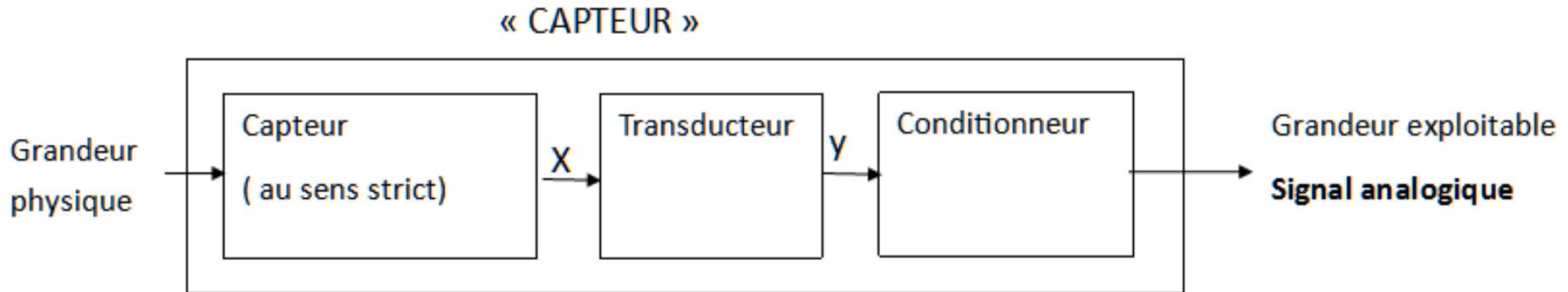
Def.: Un signal numérique est un signal restitué sous la forme d'un nombre à partir d'un signal analogique



Principe de fonctionnement d'une chaîne de mesure numérique

- a. Capteur
- b. Convertisseur CAN
- c. Calculateur numérique
- d. Afficheur numérique

a. Capteur (sensor)

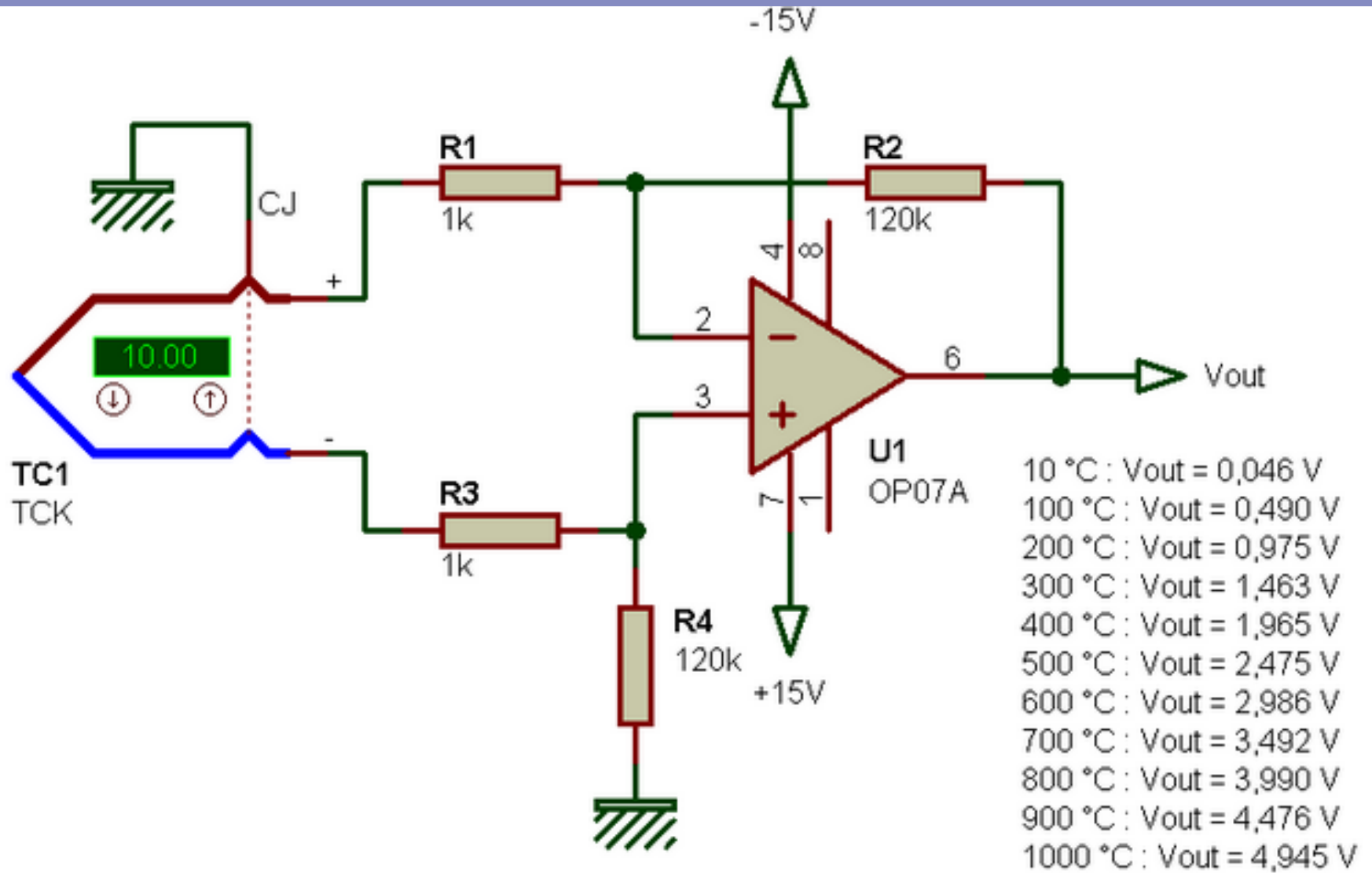


L'élément capteur : soumis à l'action de la grandeur d'entrée

Transducteur : élément faisant correspondre à la grandeur d'entrée une autre grandeur de sortie

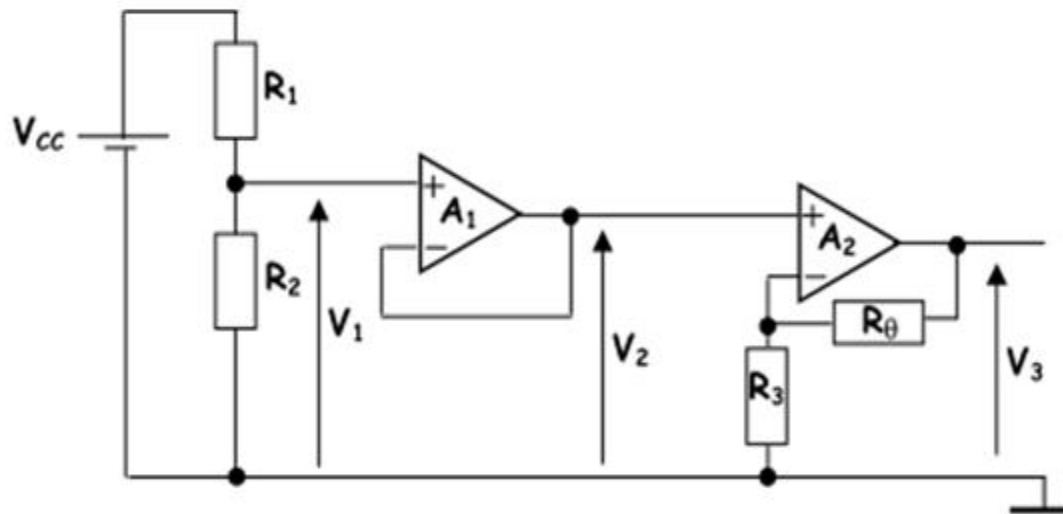
Conditionneur : élément qui fournit une grandeur exploitable

Example



Exercice : conditionneur pour RTD

On désire acquérir la température ambiante d'une salle. Pour cela, on utilise un capteur de température qui est une sonde PT100 possédant une résistance R_θ qui dépend de température θ suivant la relation $R_\theta = R_0(1 + a\theta)$ avec : $R_0 = 100 \, \Omega$, $a = 0,4 \, ^\circ\text{C}^{-1}$ et θ température en $^\circ\text{C}$.
Le montage conditionneur permettant de traduire la température θ en une tension est celui de la figure ci-dessous.
On donne : $R_2 = R_3 = 1 \, \text{K}\Omega$, $R_1 = 3 \, \text{K}\Omega$ et $V_{CC} = 12 \, \text{V}$.



1. Calculer la valeur de la tension V_1 .
2. Quelle est la fonction réalisée par l'Aop A_1 ? En déduire alors la valeur de la tension V_2 .
3. Exprimer la tension V_3 en fonction de R_3 , R_θ et V_2 .
4. Montrer que la tension V_3 s'écrit : $V_3 = (0,12.\theta) + 3,3$
5. Calculer la sensibilité du montage définie par : $S_m = \Delta V_3 / \Delta \theta$.

Exercice 2 : Conditionneur 2

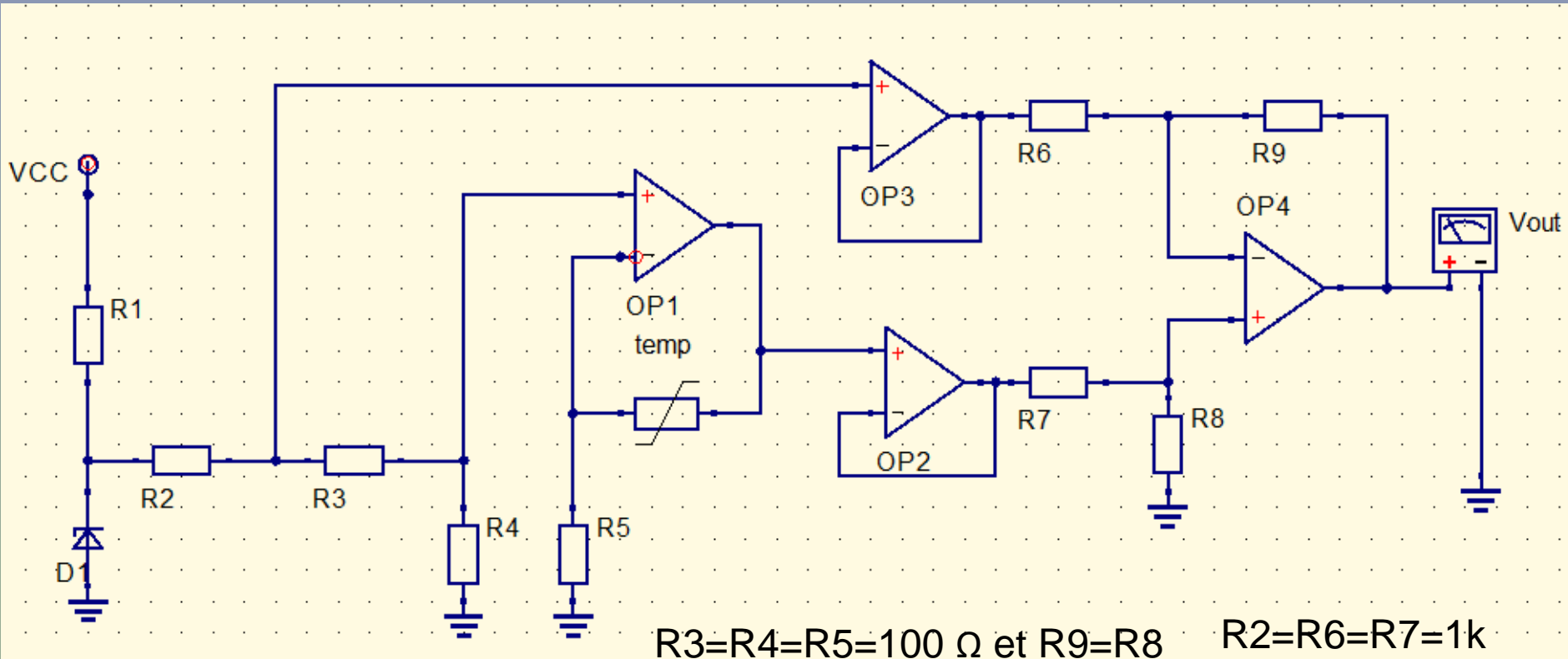
Le montage suivant utilise 4 AO que l'on supposera idéaux. Une sonde de platine est insérée dans la boucle de réaction de l'AO1.

$V_z = 1,2\text{ V}$ et $V_{cc} = 15\text{ V}$.

a. Décomposer ce circuit en différents étages et expliquer le rôle de chacun.

b. Exprimer la tension de sortie V_s en fonction de $R(T)$.

Ce montage peut-il fonctionner avec des AO monotensions (c'est-à-dire alimentés entre 0V et V_{cc}) ?



b. Convertisseur analogique - numérique

A partir d' un signal analogique (tension ou courant) ,le convertisseur restitue un signal numérique utilisable par un ordinateur



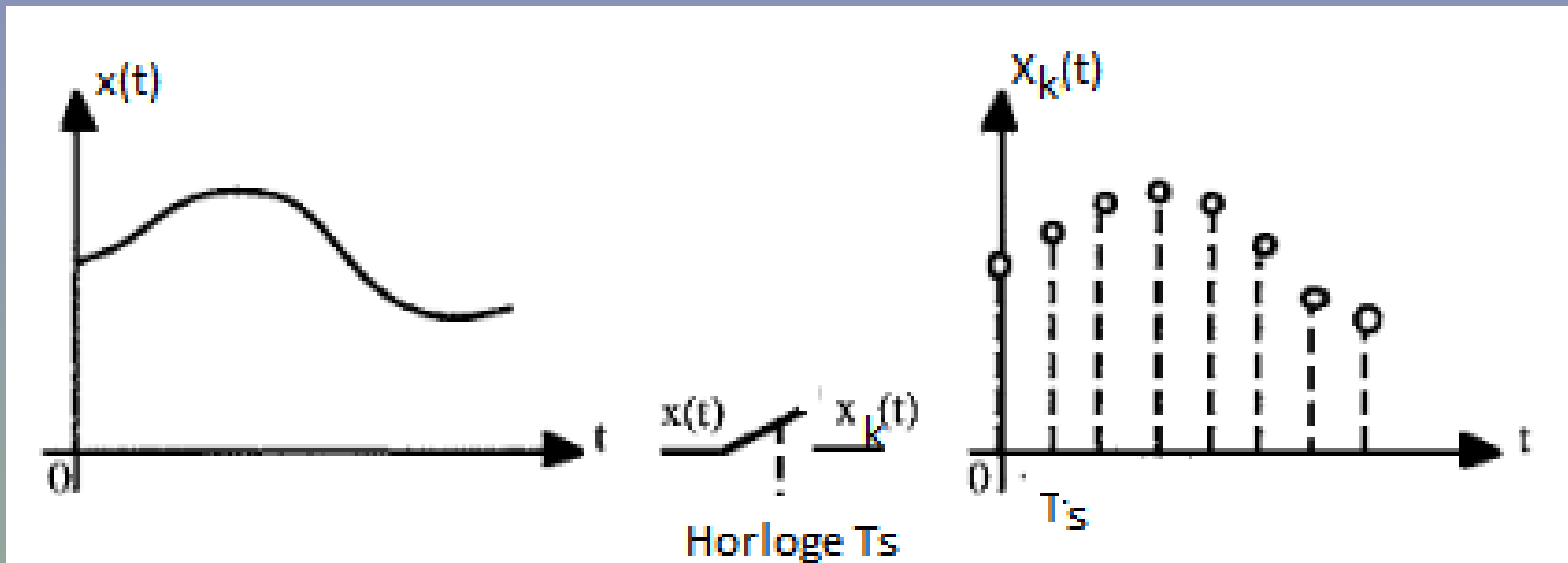
Signal numérique

Numérisation d'un signal : le passage de l'analogique au numérique repose sur trois étapes successives : l'**échantillonnage**, la **quantification**, et le **codage**.

Un signal numérique est une suite discrète de valeurs numériques (en général des entiers).

1. Echantillonnage

- L'échantillonnage consiste à relever à intervalle régulier la valeur d'une grandeur physique. La fréquence d'échantillonnage est le nombre d'échantillons par unité de temps.



- *Le signal analogique de départ est continu en temps et en amplitude*

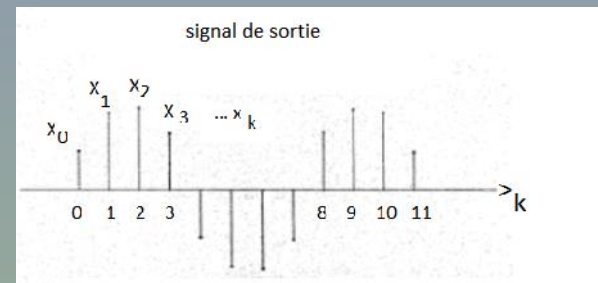
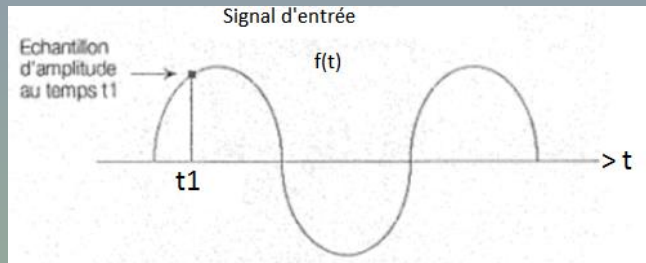
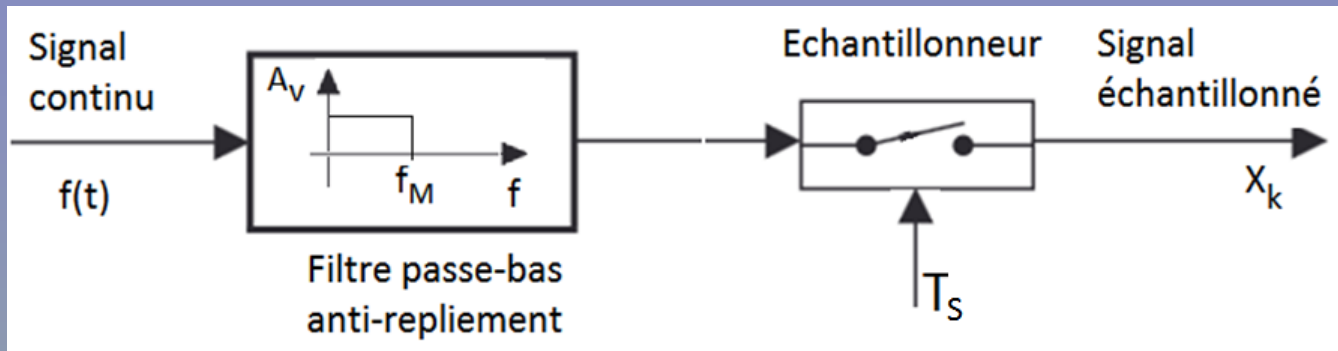
En pratique : Théorème de Shannon

- Si on appelle f_M la fréquence maximale d'un signal continu, celui-ci pourra être retrouvé si on respecte la condition

$$f_s \geq 2 \cdot f_M \quad \text{ou} \quad T_s \leq \frac{1}{2 \cdot f_M}$$

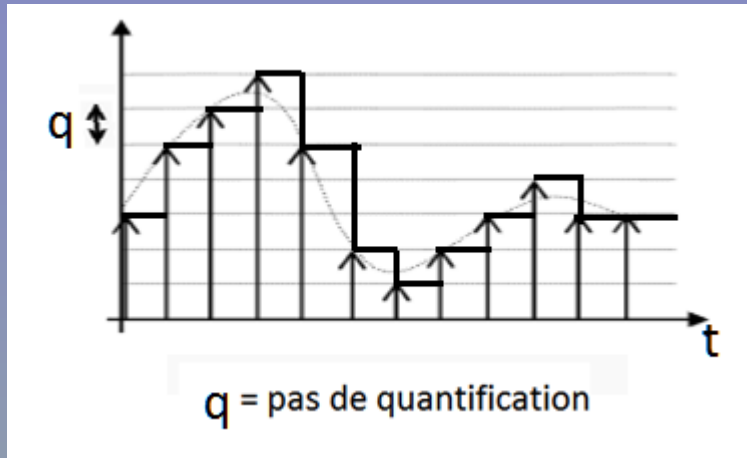
- $1/(2f_M)$ est la période d'échantillonnage critique

Transformation d'un signal continu en un signal discret

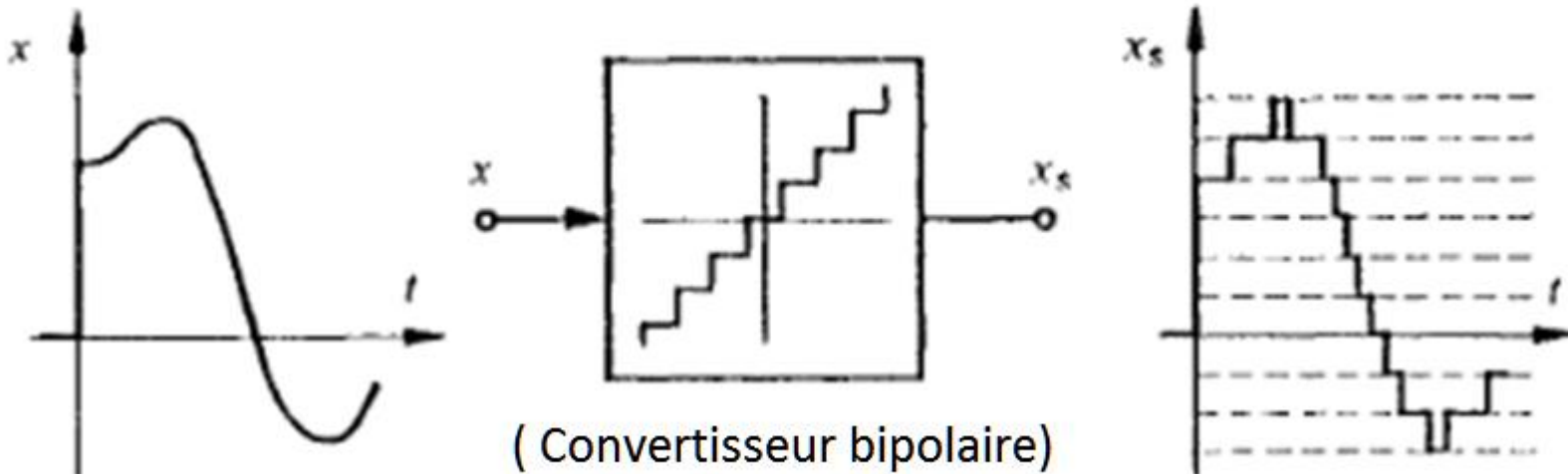


2. Quantification

Un signal analogique dont l'amplitude ne peut prendre que des valeurs entières précises est dit **quantifié**.



Quantificateur

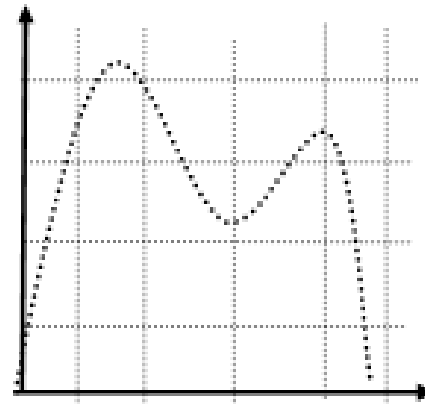


Amplitude

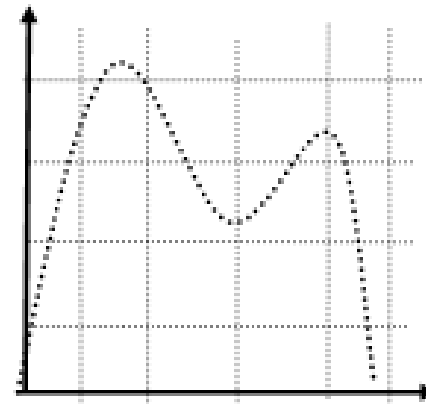
Continue

Discrète

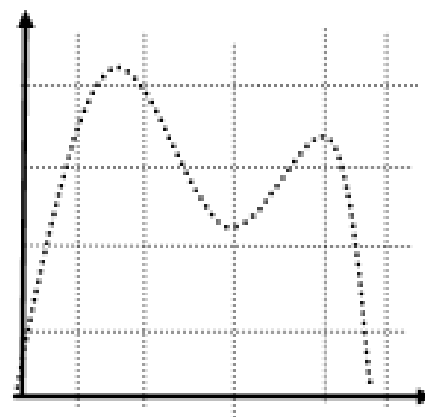
Continu
Temps
Discret



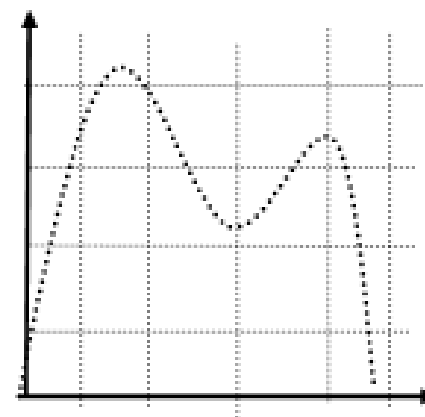
Signal analogique



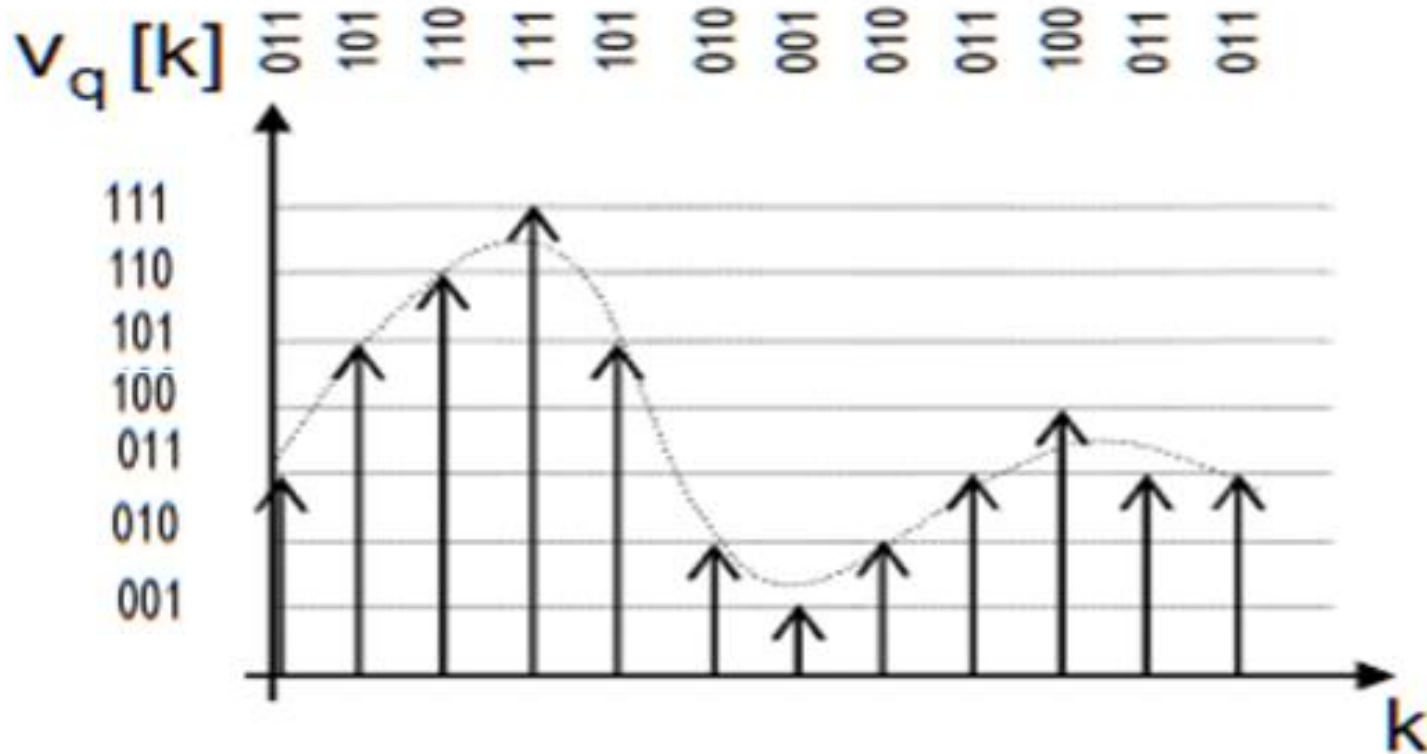
Signal quantifié



Signal échantillonné

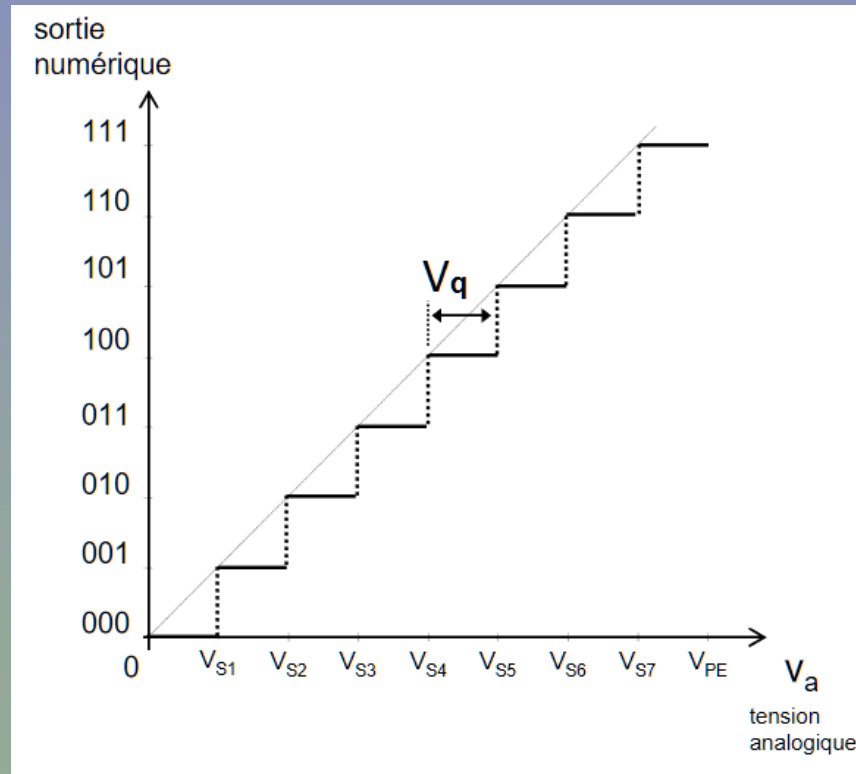


3. Codage



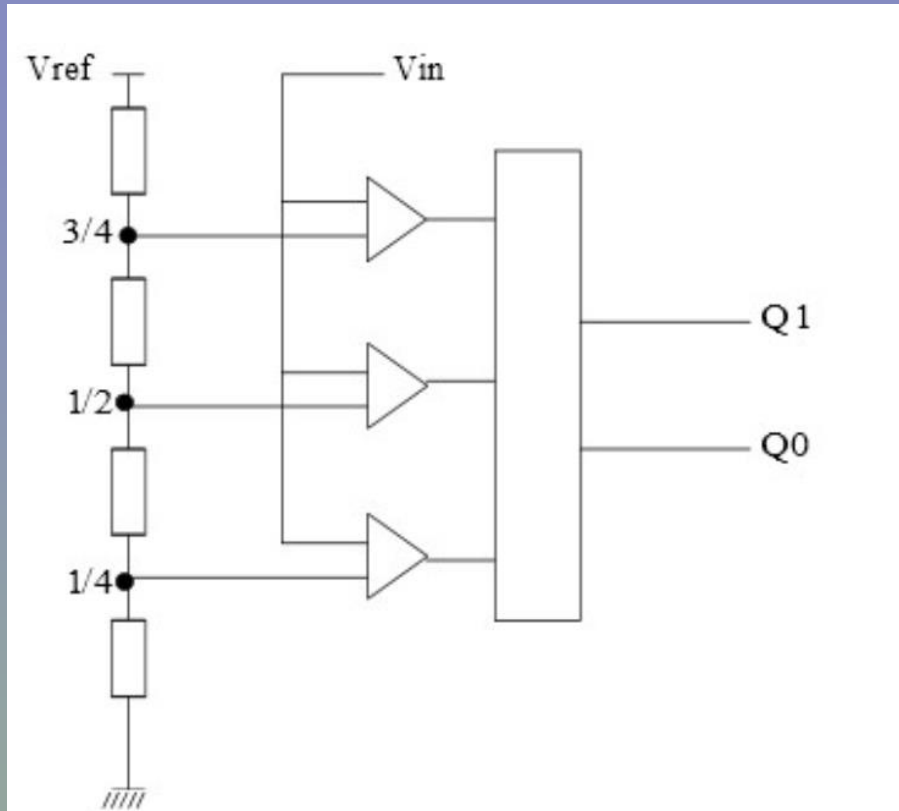
Convertisseur CAN (ou ADC)

Un convertisseur analogique – numérique (CAN) est un dispositif électronique permettant la conversion d'un signal analogique en un signal numérique.



CAN unipolaire 3 bits = 8 niveaux

EXEMPLE CAN: CONVERTISSEUR FLASH



Exercice : Pour le CAN ci-dessus , on demande de

- Expliquer le fonctionnement du circuit (TV) $Q0$, $Q1$
- Donner le mot binaire de sortie $Q1Q0$ si $V_{in} = 7\text{ V}$ et $V_{ref} = 10\text{ V}$

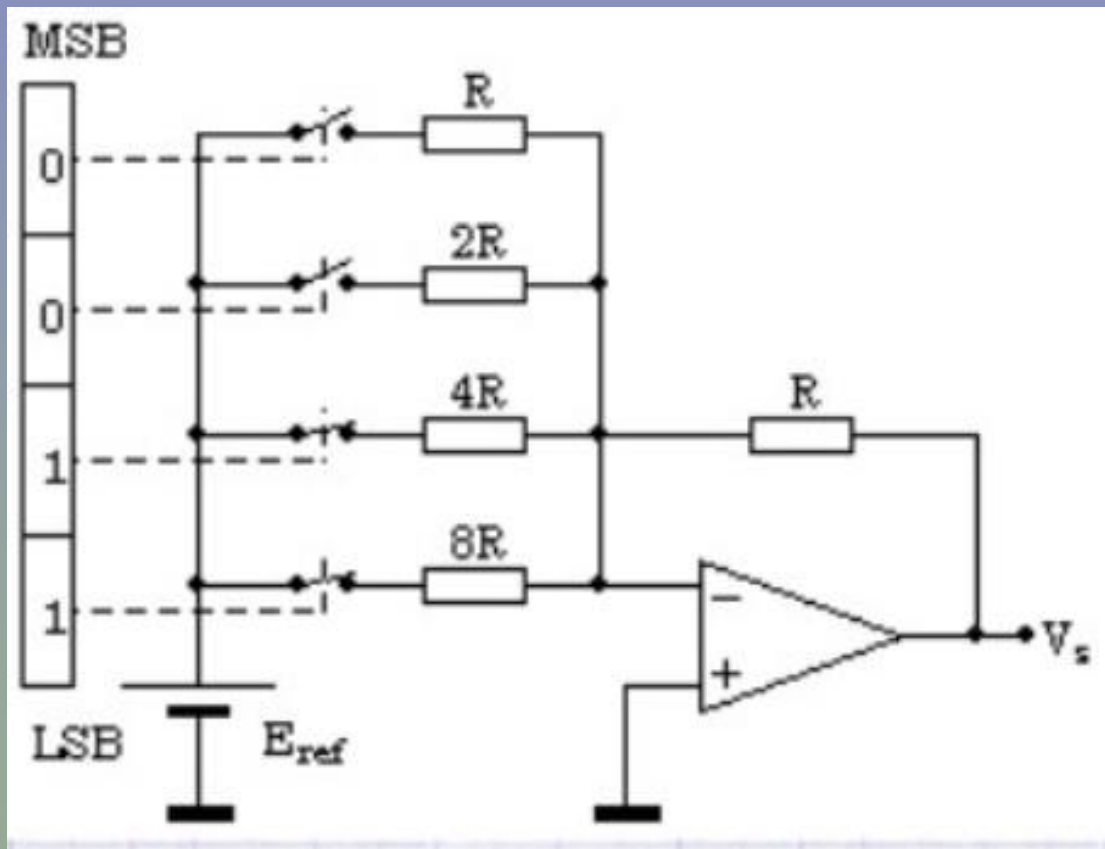
COMPARAISON DE CONVERTISSEURS CAN

Type de CV	Fréquence	Résolution	Surface Analogique	Surface Numérique	Consommation
Compteur	100Khz	14-16 bits	300 transistors	500 portes	10 mWatts
Simple rampe	100Khz	10-12 bits	100 transistors	100 portes	10 mWatts
Double rampe	100Khz	>16 bits	150 transistors	150 portes	10 mWatts
Approx. Successives	1Mhz	14-16 bits	300 transistors	500 portes	10 mWatts
Algorithmique	1Mhz	14-16 bits	100 transistors	100 portes	1 mWatt
Flash	>100Mhz	12-14 bits	2500 transistors	5000 portes	1 Watt
Sub-ranging	50Mhz	12-14 bits	600 transistors	500 portes	100 mWatts
Pipeline	100Mhz	10-12 bits	800 transistors	200 portes	100 mWatts
Sigma-delta	1Mhz	>20 bits	1000 transistors	5000 portes	100 mWatts

EXERCICE: CNA À RESISTANCES PONDÉRÉES

Pour le circuit ci-dessus , on demande de

- déterminer l'équation de la sortie $V_s = f(a_i, V_{ref})$
- calculer la tension de sortie si $V_{ref} = 10V$



Exemple :AD7896

Convertisseur analogique-numérique 12 bits à sortie série



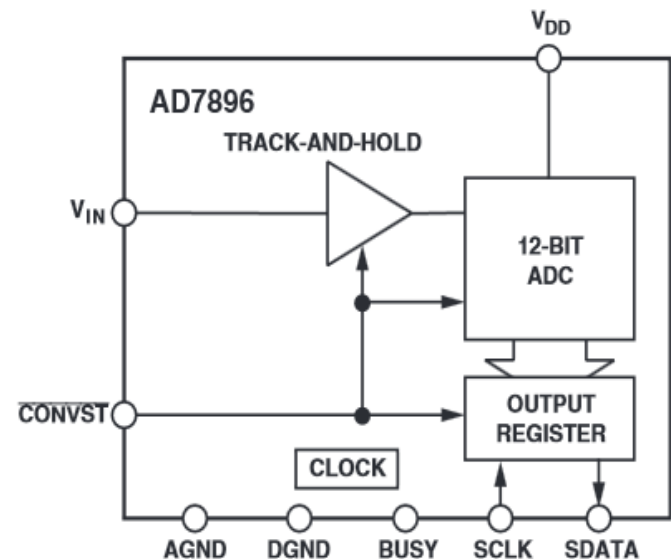
**2.7 V to 5.5 V, 12-Bit, 8 μ s
ADC in 8-Lead SOIC/PDIP**

AD7896

FEATURES

- 100 kHz Throughput Rate
- Fast 12-Bit Sampling ADC with 8 μ s Conversion Time
- 8-Lead PDIP and SOIC
- Single 2.7 V to 5.5 V Supply Operation
- High Speed, Easy-to-Use Serial Interface
- On-Chip Track-and-Hold Amplifier
- Analog Input Range Is 0 V to Supply
- High Input Impedance
- Low Power: 9 mW Typ

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



Exemple de carte d'entrées/sorties

Caractéristiques Référence de la carte	A	B	C	D	E
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Entrées analogiques :</i> <ul style="list-style-type: none"> – nombre d'entrées analogiques – fréquence d'échantillonnage – résolution (bits) – tensions d'entrées (V) – gains programmables 	16	8	8	4	8
	85 kHz	42 kHz	100 kHz	55 kHz	60 kHz
	16	12	8	12	12
	[0, 10]	[0, 10]	[0, 10] & [-5, 5]	[0, 10]	[0, 10] & [-5, 5]
	1, 10, 10 ² , 10 ³	1, 10, 10 ² , 10 ³	1, 10, 10 ² , 10 ³	2, 5, 10, 10 ²	1, 10, 10 ² , 10 ³
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Sorties analogiques :</i> <ul style="list-style-type: none"> – nombre de sorties analogiques – résolution (bits) – tensions de sorties (V) 	16	8	8	4	8
	16	12	8	12	12
	[0, 10] & [-5, 5]	[0, 10] & [-5, 5]	[-5, + 5]	[-5, + 5]	[0, 10]
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Entrées/sorties numériques :</i> 	0	8	4	16	2

Ex.: Indicateur de contrainte, de procédé et de température analogique

SINEAX V622

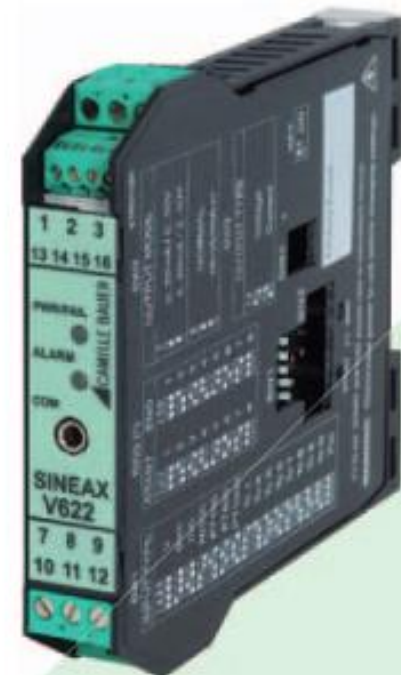
Convertisseur de signaux universel

Convertisseur universel pour mA, V, TC, RTD, Ω



Caractéristiques / utilisations

- Entrée de mesure: tension, courant, RTD, TC, NTC, potentiomètre, rhéostat
- Entrée d'horloge pour commande de la sortie analogique
- Sortie de mesure: courant, tension, relais (SPST)
- Résolution: programmable de 11 à 15 bits + signe de polarité
- Précision: 0.1%
- Temps de réglage: 35 ms (11 bits + signe de polarité)
- Isolation: 1500 V CA en cas de séparation à 3 voies
- Alimentation auxiliaire: 85 à 265 V CC/CA



V622

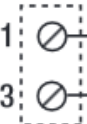
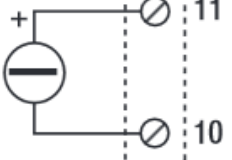
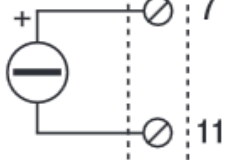
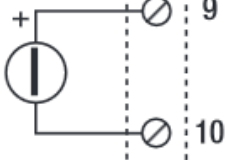
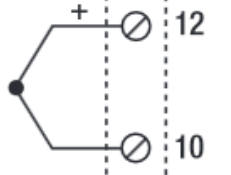
Entrée de mesure

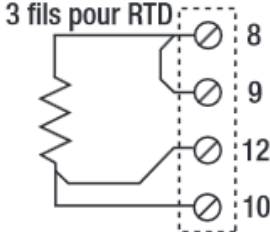
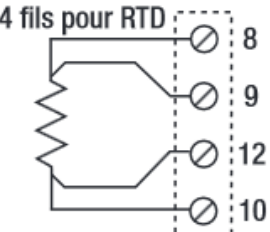
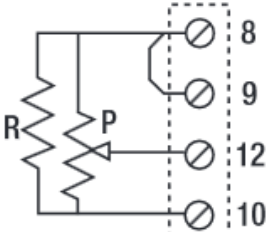
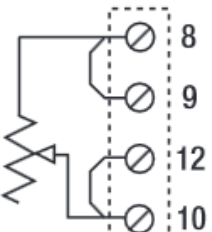
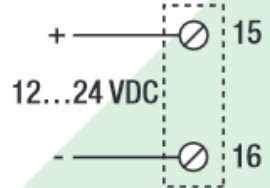
Entrée de tension	9 plages bipolaires de 75 mV à 20 V, impédance d'entrée 1 M Ω , résolution max. 15 bits + signe de polarité
Entrée de courant	Plages bipolaires jusqu'à 20 mA, impédance d'entrée 50 Ω , résolution max. 1 μ A
Entrée RTD	Pt100, Pt500, Pt1000, Ni100, KTY81, KTY84 et NTC, raccordement à 3 ou 4 fils, résolution 0,1 °C, détection de rupture RTD, NTC: < 25 k Ω , KTY81, KTY84 et NTC réglables uniquement par logiciel
Entrée TC	TCJ, K, R, S, T, B, E, N, résolution: 2,5 μ V, détection de rupture TC, impédance d'entrée > 5 M Ω
Entrée de potentiomètre	Tension d'excitation 300 mV, impédance d'entrée > 5 M Ω , plage de potentiomètre de 500 Ω à 10 k Ω (avec résistance parallèle 500 Ω)
Entrée de rhéostat	Plage de mesure jusqu'à 500 Ω min., 25 k Ω max.
Entrée d'horloge	Alternative à la sortie de relais
Temps de réglage	35 ms (11 bits + signe de polarité) à 140 ms (15 bits + signe de polarité)

Sortie de mesure

Sortie de courant	0 à 20 / 4 à 20 mA, résistivité max. du circuit: 600 Ω
Sortie de tension	0 à 5 / 0 à 10 / 1 à 5 / 2 à 10 V, résistivité min. du circuit: 2 k Ω
Sortie de relais	Alternative à l'entrée d'horloge
Résolution	2,5 μ A / 1,25 mV

Raccordements électriques

Energie auxiliaire	Entrée de courant	Entrée de tension	Entrée de thermocouple
 <p>1 — 85 - 265 V 3 — DC/AC 50 - 400 Hz 2,5 W max.</p>	<p>mA Entrée</p>  <p>Alimentation électrique du capteur</p> <p>mA Entrée (2 fils)</p>  <p>Alimentation électrique du module</p>	<p>V Entrée</p> 	<p>mV/TC Entrée</p> 

Entrée de thermorésistance	Entrée de potentiomètre / rhéostat	Entrée d'horloge
<p>3 fils pour RTD</p>  <p>4 fils pour RTD</p> 	 	 <p>Alternative à la sortie de relais</p>

Exercices

1. masse d'une essoreuse
2. choix d'une carte d'acquisition et de restitution des données
3. CAN – automate pressostat

Un pressostat est un dispositif détectant le dépassement d'une valeur prédéterminée, de la pression d'un fluide.

Calculateur numérique

Il permet de transformer le signal numérique provenant du CAN en une indication correspondant à la grandeur d'entrée.(masse, force, température,...).

Pour réaliser cette fonction, il doit être étalonné.

Etalonnage de la chaine de mesure

Il est initialement réalisé par le constructeur à l'aide d'étalons.

Il établit la relation entre les valeurs numériques du CAN et les valeurs des étalons.

Mesurage

Lors d'une mesure, le calculateur utilise une relation d'étalonnage pour rendre une indication .

Erreurs d'une chaîne de mesure

La valeur d'un mesurage ne peut être évalué que par la chaîne de mesurage.

L'erreur de mesure est l'écart entre la valeur mesurée et la valeur de référence. Elle est donnée par la somme de l'erreur systématique et de l'erreur aléatoire.

Erreur systématique

Elle se détermine comme un décalage constant entre la valeur du mesurande et la valeur de référence.

Erreur aléatoire / erreur accidentelle

Ce sont des écarts non constants entre la valeur de référence et la valeur mesurée pour une même valeur de mesurande

Capteurs intégrés

On intègre sur le même substrat de silicium le capteur et le conditionnement du signal.

- ➔ réduire l'encombrement de la chaîne de mesure
- faciliter la mise en œuvre du capteur
- favoriser la normalisation des capteurs.

Capteurs intelligents

De plus en plus, on intègre sur la même puce le capteur et les circuits associés pour le traitement et la transmission de l'information

- ➔ de commander à distance le capteur
- de gérer plusieurs capteurs
- de gérer différentes mesures et de les corriger

Texas Instruments HDC1000 : capteur de température et d'humidité intégré

Le modèle HDC1000 de Texas Instruments est un capteur d'humidité numérique de grande précision et à faible consommation électrique avec un capteur de température intégré, pour une excellente précision des mesures nécessitant très peu d'énergie.

- Humidité relative (HR), plage de fonctionnement de 0 % à 100 %
- Résolution de mesure de 14 bits
- Précision pour l'humidité relative ± 3 %
- Très faible encombrement : 2 mm \times 1,6 mm
- Consommation de courant en mode veille : 200 nA



Texas Instruments HDC1000 : capteur de température et d'humidité intégré

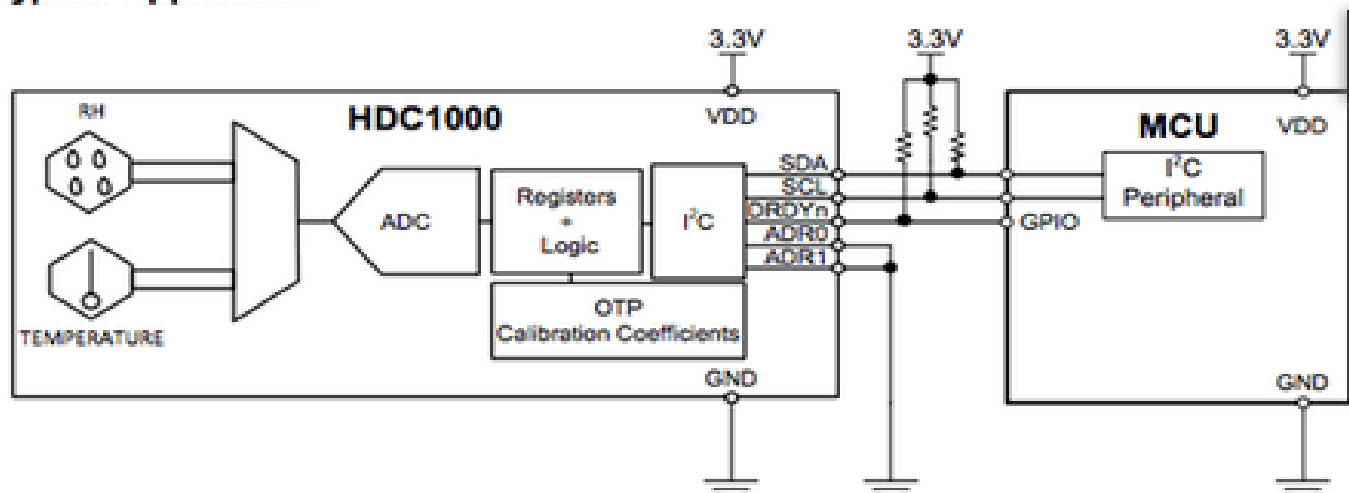
Description du produit

Le modèle HDC1000 de Texas Instruments est un capteur d'humidité numérique de grande précision et à faible consommation électrique avec un capteur de température intégré, pour une excellente précision des mesures nécessitant très peu d'énergie.

Il utilise un nouveau capteur capacitif pour mesurer l'humidité. L'élément de détection du modèle HDC1000 est placé sur la partie inférieure de l'appareil, ce qui le rend encore plus résistant à la saleté, à la poussière et aux autres contaminants environnementaux. Le capteur d'humidité et le capteur de température sont tous les deux étalonnés en usine.

Le modèle HDC1000 fonctionne sur toute la plage de température (-40 °C à +125 °C).


Typical Application





LDC1041 (ACTIVE)

8-bit Rp, 24-bit L Inductance-to-Digital Converter with SPI for Inductive Sensing Applications

 [LDC1041: 8-bit Rp, 24-bit L Inductance-to-Digital Converter with SPI](#)



LDC1041

SNOSC01 – MARCH 2014

LDC1041: 8-bit Rp, 24-bit L Inductance-to-Digital Converter with SPI

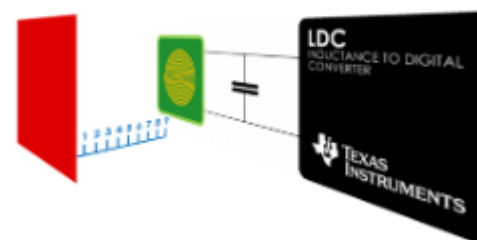
1 Features

- Remote sensor placement (decoupling the LDC from harsh environments)
- High durability (by virtue of contactless operation)
- Higher flexibility for system design (using coils or springs as sensors)
- Insensitive to non-conductive environmental interferers (such as dirt, dust, oil etc.)
- Magnet-free operation
- Sub-micron precision
- Supply Voltage: 5 V, typ
- Supply voltage, IO: 1.8V to 5.5V
- Stand-by current: 250uA, typ
- Rp resolution: 8-bit
- L resolution: 24-bit
- LC frequency range: 5kHz to 5MHz

Device Information

ORDER NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE
LDC1041NHRT	WSO (16)	5 mm × 4 mm
LDC1041NHRR	WSO (16)	5 mm × 4 mm
LDC1041NHRJ	WSO (16)	5 mm × 4 mm

Axial Distance Sensing Application



Application Schematic

Une liaison SPI (pour Serial Peripheral Interface) est un bus de données série synchrone qui opère en mode Full-duplex... maître-esclaves...

Texas Instruments Convertisseur capacité vers numérique FDC1004 à quatre canaux

Le modèle FDC1004 de Texas Instruments est un convertisseur capacité vers numérique économique, haute résolution, faible consommation à quatre canaux qui offre des solutions de détection capacitive sans contact.

- Plage d'entrée : ± 15 pF
- Résolution de mesure : 0,5 fF
- Capacité de décalage maximale : 100 pF
- Débits de sortie programmables : 100/200/400 S/s
- Capacité de charge maximale : 400 pF

FDC1004 4-Channel Capacitance-to-Digital Converter for Capacitive Sensing Solutions

1 Features

- Input Range: ± 15 pF
- Measurement Resolution: 0.5 fF
- Maximum Offset Capacitance: 100 pF
- Programmable Output Rates: 100/200/400 S/s
- Maximum Shield Load: 400 pF
- Supply Voltage: 3.3 V
- Temp Range: -40° to 125°C
- Current Consumption:
 - Active: 750 μA
 - Standby: 29 μA
- Interface: I²C
- Number of Channels: 4

2 Applications

- Proximity Sensor
- Gesture Recognition
- Automotive Door / Kick Sensors
- Automotive Rain Sensor
- Remote and Direct Liquid Level Sensor
- High-resolution Metal Profiling
- Rain / Fog / Ice / Snow Sensor
- Material Size Detection
- Material Stack Height

3 Description

Capacitive sensing with grounded capacitor sensors is a very low-power, low-cost, high-resolution contactless sensing technique that can be applied to a variety of applications ranging from proximity sensing and gesture recognition to material analysis and remote liquid level sensing. The sensor in a capacitive sensing system is any metal or conductor, allowing for low cost and highly flexible system design.

The FDC1004 is a high-resolution, 4-channel capacitance-to-digital converter for implementing capacitive sensing solutions. Each channel has a full scale range of ± 15 pF and can handle a sensor offset capacitance of up to 100 pF, which can be either programmed internally or can be an external capacitor for tracking environmental changes over time and temperature. The large offset capacitance capability allows for the use of remote sensors.

The FDC1004 also includes shield drivers for sensor shields, which can reduce EMI interference and help focus the sensing direction of a capacitive sensor. The small footprint of the FDC1004 allows for use in space-constrained applications. The FDC1004 is available in a 10-pin WSON and VSSOP package and features an I²C interface for interfacing to an MCU.

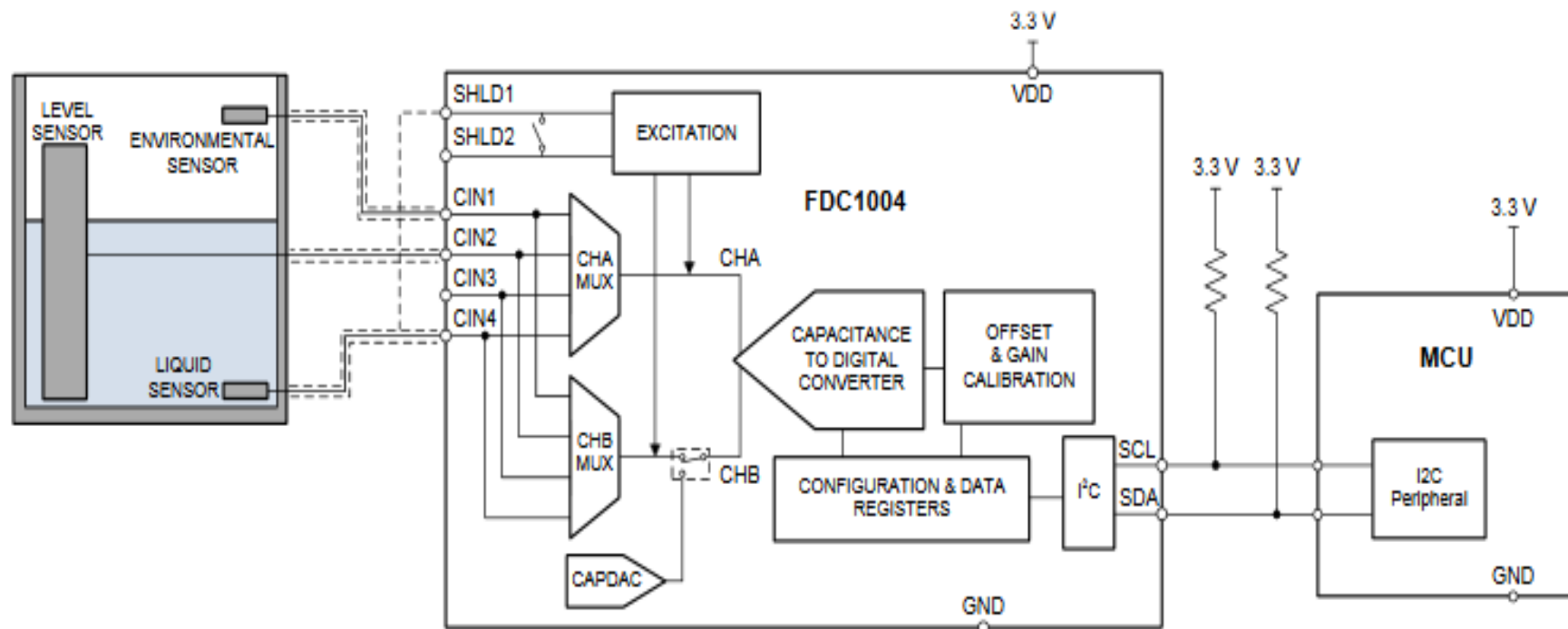
Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
FDC1004	WSON (DSC)	3.0 mm x 3.0 mm
	VSSOP (DGS)	3.0 mm x 3.0 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

FDC1004 4-Channel Capacitance-to-Digital Converter for Capacitive Sensing Solutions

4 Typical Application



OPT3001 Ambient Light Sensor (ALS)

1 Features

- Precision Optical Filtering to Match Human Eye:
 - Rejects > 99% (typ) of IR
- Automatic Full-Scale Setting Feature Simplifies Software and Ensures Proper Configuration
- Measurements: 0.01 lux to 83k lux
- 23-Bit Effective Dynamic Range with Automatic Gain Ranging
- 12 Binary-Weighted Full-Scale Range Settings: < 0.2% (typ) Matching Between Ranges
- Low Operating Current: 1.8 μ A (typ)
- Operating Temperature Range: -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
- Wide Power-Supply Range: 1.6 V to 3.6 V
- 5.5-V Tolerant I/O
- Flexible Interrupt System
- Small-Form Factor: 2.0 mm \times 2.0 mm \times 0.65 mm

2 Applications

- Display Backlight Controls
- Lighting Control Systems
- Tablet and Notebook Computers

3 Description

The OPT3001 is a sensor that measures the intensity of visible light. The spectral response of the sensor tightly matches the photopic response of the human eye and includes significant infrared rejection.

The OPT3001 is a single-chip lux meter, measuring the intensity of light as visible by the human eye. The precision spectral response and strong IR rejection of the device enables the OPT3001 to accurately meter the intensity of light as seen by the human eye regardless of light source. The strong IR rejection also aids in maintaining high accuracy when industrial design calls for mounting the sensor under dark glass for aesthetics. The OPT3001 is designed for systems that create light-based experiences for humans, and an ideal preferred replacement for photodiodes, photoresistors, or other ambient light sensors with less human eye matching and IR rejection.

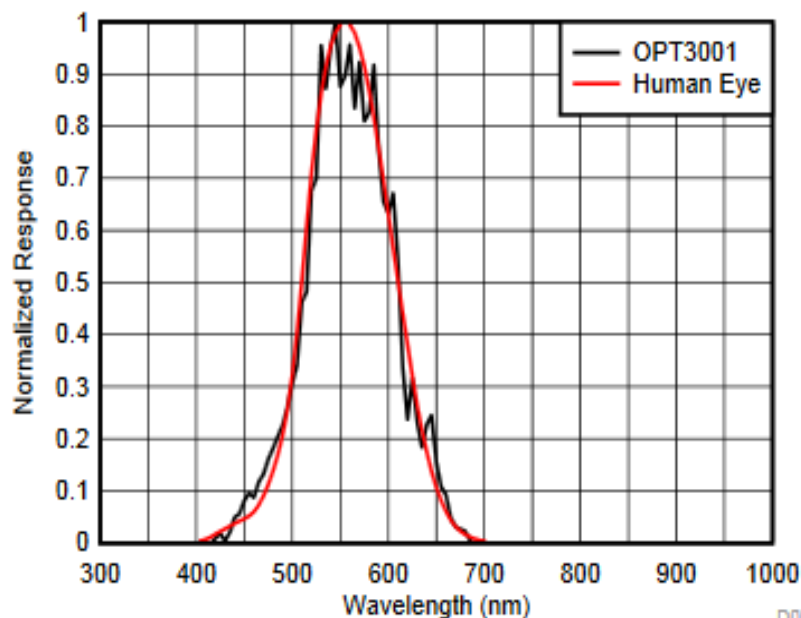
Measurements can be made from 0.01 lux up to 83k lux without manually selecting full-scale ranges by using the built-in, full-scale setting feature. This capability allows light measurement over a 23-bit effective dynamic range.

The digital operation is flexible for system integration.

Table 1. Pin Functions

PIN		I/O	DESCRIPTION
NO.	NAME		
1	VDD	Power	Device power. Connect to a 1.6-V to 3.6-V supply.
2	ADDR	Digital input	Address pin. This pin sets the LSBs of the I ² C address.
3	GND	Power	Ground
4	SCL	Digital input	I ² C clock. Connect with a 10-k Ω resistor to a 1.6-V to 5.5-V supply.
5	INT	Digital output	Interrupt output open-drain. Connect with a 10-k Ω resistor to a 1.6-V to 5.5-V supply.
6	SDA	Digital input/output	I ² C data. Connect with a 10-k Ω resistor to a 1.6-V to 5.5-V supply.

Spectral Response: The OPT3001 and Human Eye



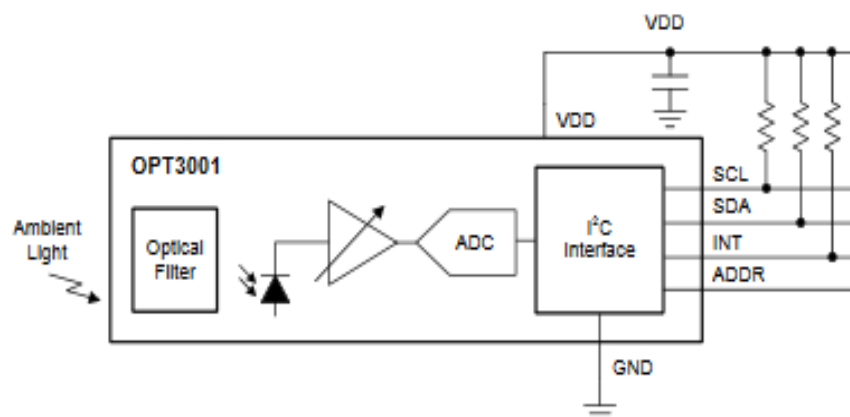
D001

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
OPT3001	USON (6)	2.00 mm x 2.00 mm

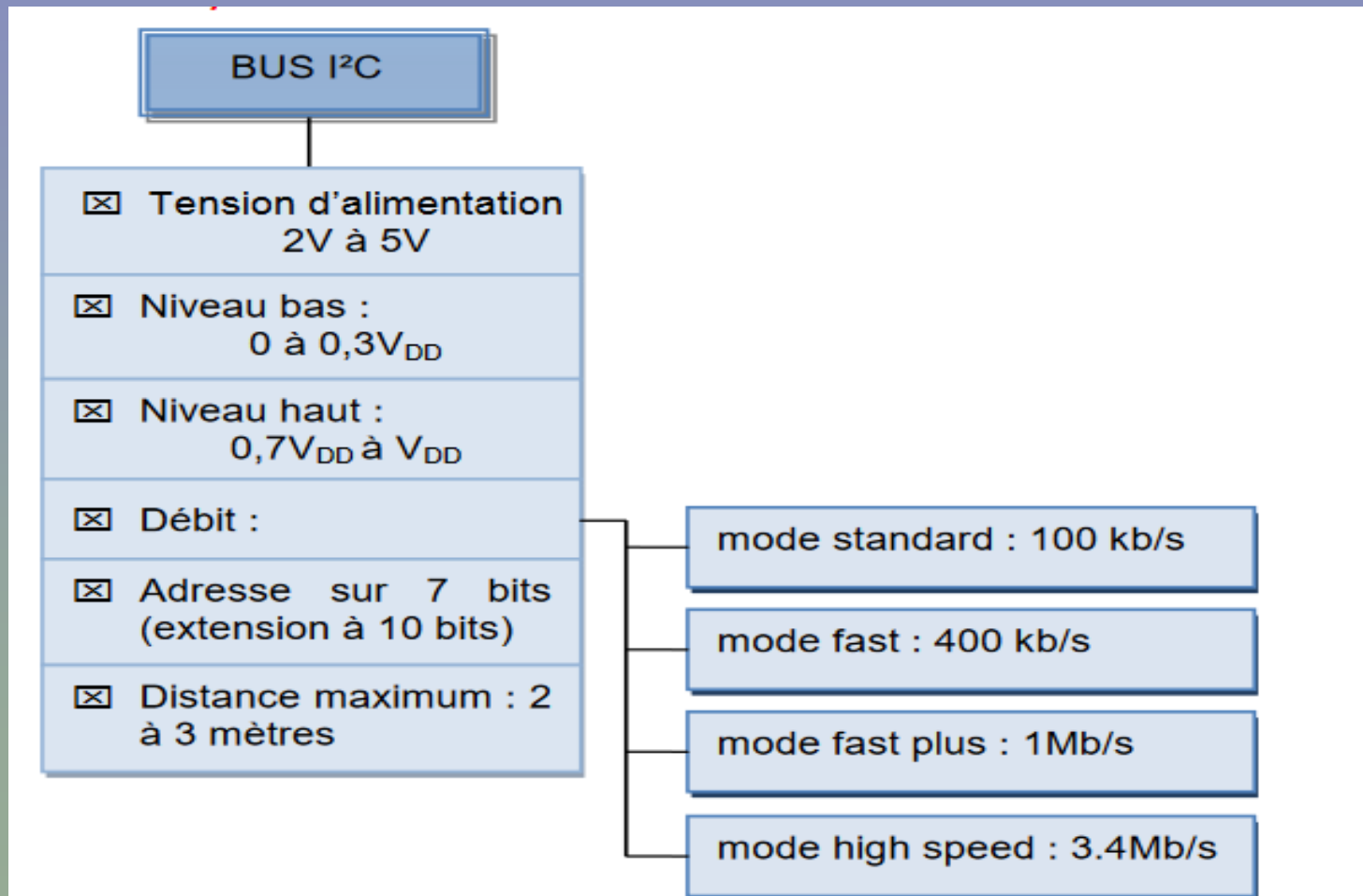
(1) For all available packages, see the package option addendum at the end of the datasheet.

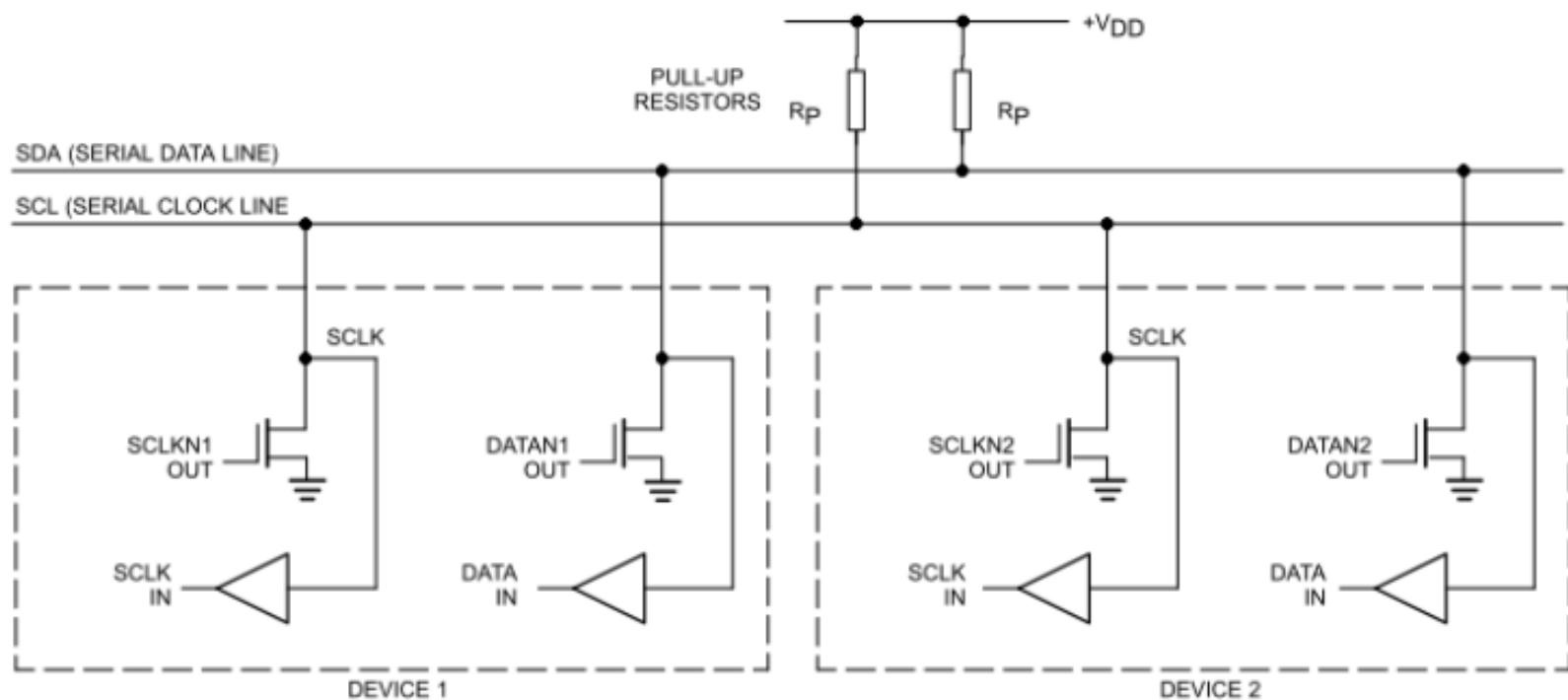
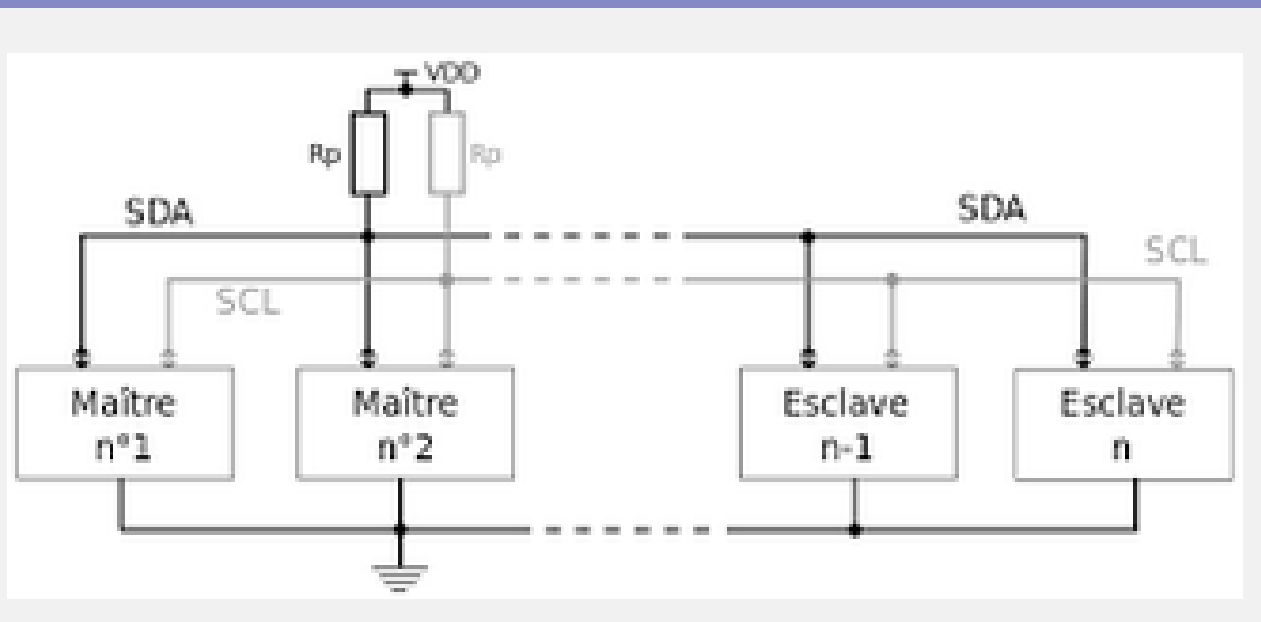
Block Diagram

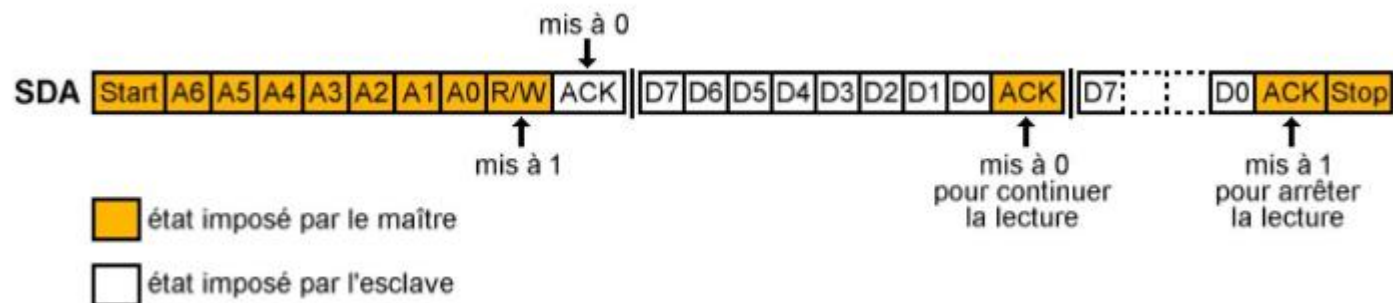
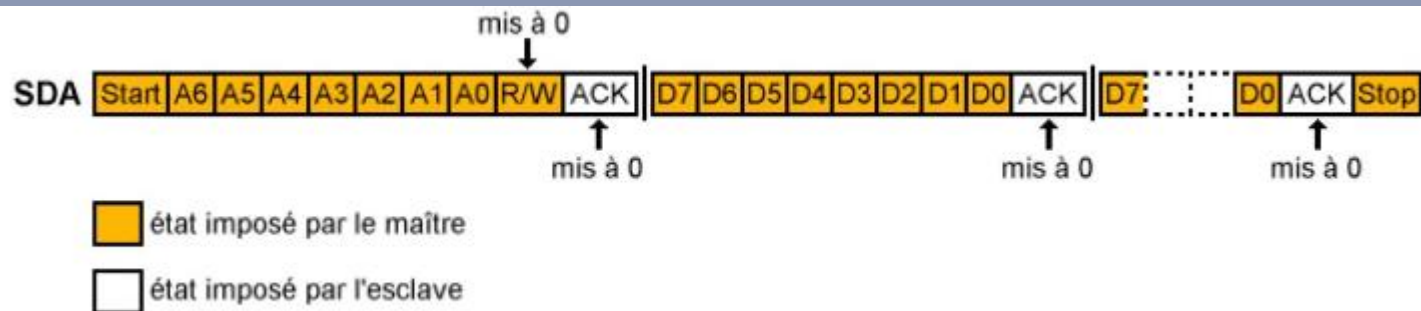
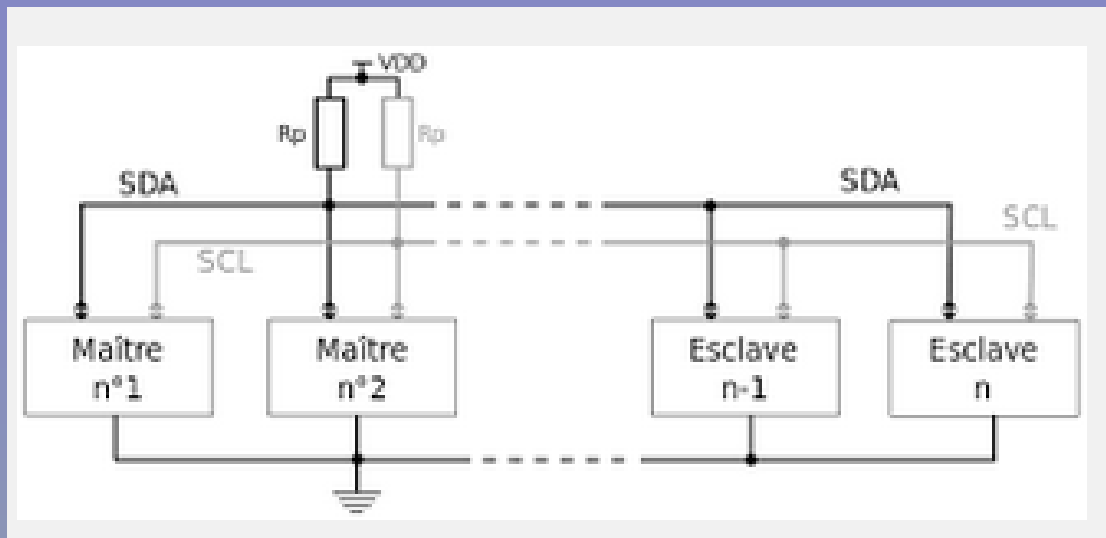


Complément : Bus I²C (Inter-Integrated Circuit)

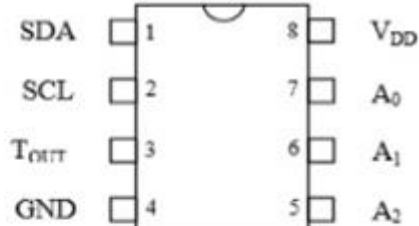
I²C est un bus série synchrone bidirectionnel half-duplex.







Capteur de température DS1621



DS1621 8-PIN DIP (300mil)

PIN DESCRIPTION

SDA	- 2-Wire Serial Data Input/Output
SCL	- 2-Wire Serial Clock
GND	- Ground
T _{OUT}	- Thermostat Output Signal
A ₀	- Chip Address Input
A ₁	- Chip Address Input
A ₂	- Chip Address Input
V _{DD}	- Power Supply Voltage

Photo et brochage du DS1621

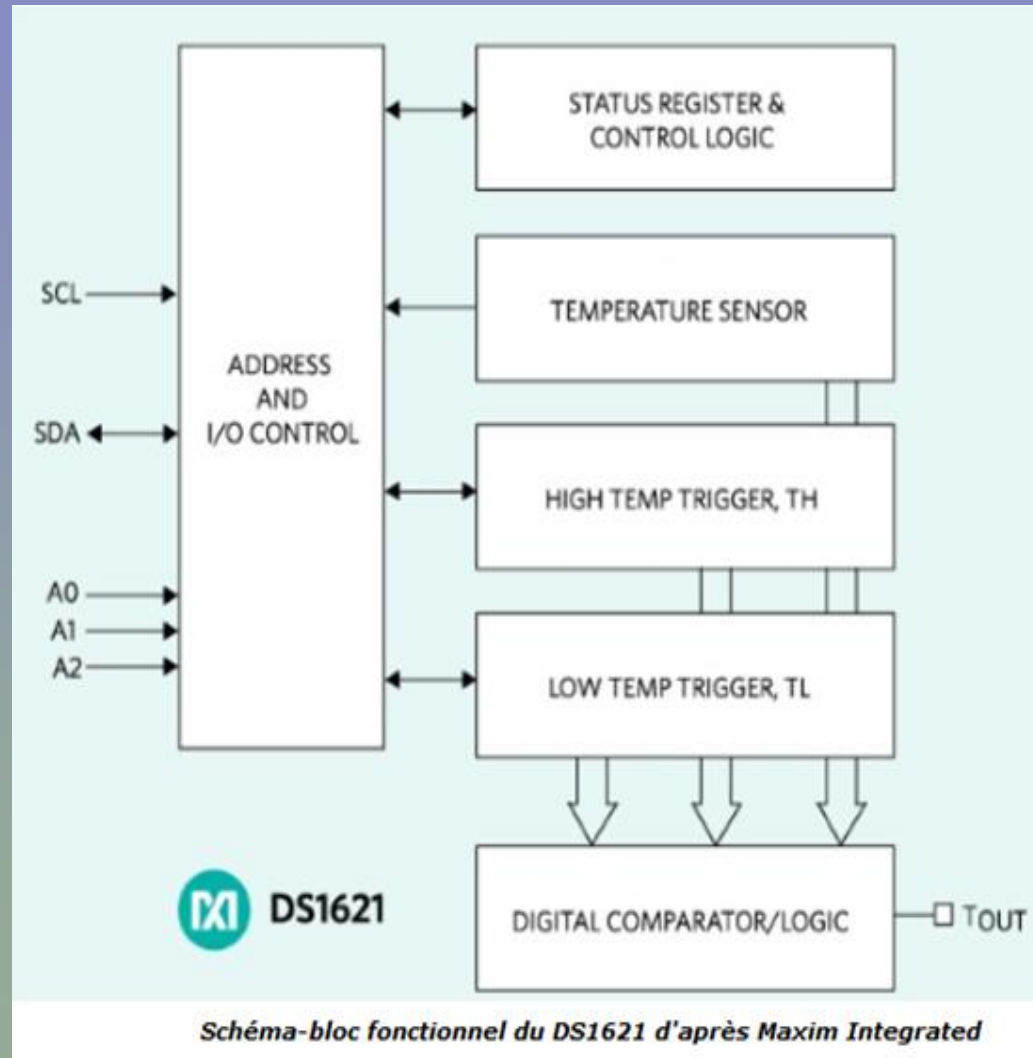


Schéma-bloc fonctionnel du DS1621 d'après Maxim Integrated