

Capteurs
Dossier reprenant les exercices réalisés au cours

Laura Binacchi

2019 - 2020

Contents

1	Précision : PT 100 (16 décembre 2019)	1
2	Linéarité : PT 100 et thermistance (16 décembre 2019)	1
3	Déterminer de la sensibilité d'un circuit (16 décembre 2019)	2
3.1	Déterminer V ₃	2
3.2	Calculer la sensibilité du montage	3
3.3	Qucs	3
4	Étalonnage d'un capteur avec un tableur (1) (16 décembre 2019)	5
5	Étalonnage d'un capteur avec un tableur (2) (16 décembre 2019)	6
6	Équation aux dimensions (6 janvier 2020)	7
6.1	Exemples	7
6.2	Exercice	7
6.3	Dimension d'une grandeur dérivée	7
7	Les grandeurs physiques (6 janvier 2020)	9
7.1	Le Kelvin	9
7.2	La pression	9
7.3	Les longueurs d'ondes	9
8	Capteur de force (6 janvier 2020)	10
8.1	Expression de U_{AM}	11
8.2	Expression de U_{BM}	11
8.3	Expression de U_{BA}	11
8.4	Montrer que la tension de sortie est proportionnelle à la force appliquée	11
8.5	Calcul de k et ΔR	11
9	Conditionneur d'une balance (6 et 13 janvier)	12
9.1	Déterminer $U_{AB} = f(E, K, m)$	12
9.2	Calcul de U_{AB} pour $m = 5 \text{ kg}$	13
9.3	Simplification de l'expression de U_{AB}	13
9.4	Calcul de la valeur de R_2 pour obtenir $V_s = 10 \text{ V}$ lorsque $m = 5 \text{ kg}$	13
9.5	Caractéristique de transfert	14
9.6	Vérification avec Qucs	14
10	Circuits intégrés : 74LSxx et 74HCxx (13 janvier 2020)	16
11	Débitmètre (13 janvier)	17
11.1	Calcul de la plage de débit	18
11.2	Calcul de la tension maximale	18
11.3	Calcul de K	18

12 AOP : exercice 1 (13 janvier 2020)	19
12.1 Démonstration	19
12.2 Vérification avec Qucs	20
13 AOP : exercice 2 (13 janvier 2020)	21
13.1 Expression de V_s	21
13.2 Calcul du rapport R2/R1	21
13.3 Vérification avec Qucs	22
14 Amplificateur d'instrumentation (13 janvier 2020)	23
14.1 Expression de V	23
14.2 Expression de V_s en fonction de V_A , V_B , R_1 et R_2	25
14.3 Expression de V_s en fonction de de V puis de V_e	25
14.4 Vérification avec Qucs	26
15 Aimants : exercice 1 (20 janvier 2020)	27
15.1 Intensité du champ magnétique	27
15.2 Induction (champ d'excitation magnétique)	27
15.3 Flux magnétique	27
16 Aimants : exercice 2 (20 janvier 2020)	28
16.1 Intensité du champ magnétique	28
16.2 Induction (champ d'excitation magnétique)	28
16.3 Flux magnétique	28
17 Thermocouple : résumé (27 janvier 2020)	29
17.1 Définition	29
17.2 Principe de fonctionnement	29
17.3 Types de thermocouples	29
17.4 Jonctions isothermes et compensation de soudure froide	29
17.5 Tables de conversion	30
17.6 Conditionnement du signal	30
17.7 Avantages	30
17.8 Inconvénients	31
18 Conditionneur : exercice 2 (3 février 2020)	32
18.1 Décomposer le circuit	32
18.2 Expression de V_s	32
18.3 Ce montage peut-il fonctionner avec des AOP mono tensions ?	33
18.4 Vérification avec Qucs	33
19 Pont de Wheatstone : conditionnement de la jauge de contrainte (10 février 2020)	35
19.1 Démonstration	35

20 Capteurs de force (10 février 2020)	37
20.1 Définir un capteur de force	38
20.2 Comparer charge nominale et force de travail admissible	38
20.2.1 Comparer répétabilité et reproductibilité	38
20.2.2 Comparer linéarité et hystérésis	38
20.2.3 Définir la dérive thermique	39
20.3 Jauge de contrainte	39
20.3.1 De quoi se compose une jauge de contrainte ? Comment l'utilise-t-on ?	39
20.3.2 Permet-elle de travailler en compression et en traction ?	39
20.3.3 Quelles sont les précisions atteintes ?	39
20.3.4 Quelle est la gamme des forces mesurables ?	39
20.3.5 Que se passe-t-il si le capteur passe en déformation plastique irréversible ?	39
20.4 La tension renseignée dans le schéma est-elle correcte ?	39
20.4.1 Faut-il utiliser un câble blindé pour raccorder le capteur ? Pourquoi ?	40
20.4.2 Comment se comporte la résistance d'une jauge de contrainte si on l'étire ? Existe-t-il une direction privilégiée sur le capteur pour la mesure d'une force ?	40
20.5 Quel est le but du conditionneur associé au capteur ? Donner 3 exemples	40
20.6 Un capteur MS0x-5KN, 5mV/V est alimenté en 12V. Quelle est la force mesurée, si la tension délivrée par le capteur est de 30 mV ?	40
20.6.1 Comment vérifie-t-on le bon fonctionnement du pont de Wheatstone ?	40
20.7 Sur le site du constructeur	41
20.7.1 Comment peut-on choisir son capteur sur un axe dynamométrique ?	41
20.7.2 Donner la signification de IP65, IP67, IP68 ?	41
20.7.3 Expliquer les données de la figure suivante : capteur de pesage DVX-D	41
21 Convertisseur flash (17 février 2020)	43
21.1 Fonctionnement du circuit	43
21.2 Mot binaire de sortie Q_1Q_0	43
22 CNA à résistances pondérées (17 février 2020)	44
22.1 Équation de la tension de sortie	44
22.2 Calcul de la tension de sortie	44
23 Datasheet D-Z76 (2 mars 2020)	45
23.1 Caractéristiques du D-Z76	46
23.2 Peut-on inverser la polarité du capteur ?	47
23.3 Est-il compatible avec les PLC ?	47
23.4 Donner la constitution interne de ce type de capteur et expliquer son fonctionnement	47
23.5 Traduction des termes techniques	48
23.6 Où peut on trouver ce capteur dans une ligne de production ?	48
23.7 Comment pouvez vous tester le bon fonctionnement de ce capteur sur site?	48
23.8 Hors site ?	48
23.9 Comparez le D-Z76 avec le D-Z73	48

24 Labo 1 : Interface à LED (2 mars 2020)	50
24.1 Choix de la résistance	50
24.2 Vérification au multimètre	51
24.3 Vérification avec Qucs	52
25 Labo 2 : Interface transistor NPN (9 mars 2020)	53
25.1 Datasheet du transistor BC547B	53
25.2 Déterminer V_{cc} , I_b , R_1 et R_2	54
25.3 Réaliser le montage et mesurer I_c , I_b , U_{LED} et U_{be}	54
25.4 Vérification avec Qucs	55
26 Labo 3 : Montage d'un capteur résistif en TOR (9 mars 2020)	56
26.1 Choix de V_{cc} , Pot et R_2	56
26.2 Fonctionnement du circuit	56
26.3 Câbler et tester le circuit	58
26.4 Vérification avec Qucs	59
27 CAN exercice 1 : automate pressostat (23 mars 2020)	60
27.1 Calculer la valeur de R_1	60
27.2 Calculer r et en déduire la plus petite valeur de la pression que l'on peut mesurer	61
27.3 Quel sera le mot binaire qui codera la tension u_0 correspondant à une pression P de 6bar ?	61
28 CAN exercice 2 : masse d'une essoreuse (23 mars 2020)	62
28.1 Résolution du convertisseur	62
28.2 Mot hexadécimal correspondant à une masse de 400kg	62
28.3 Courant correspondant à une masse de 400kg	62
29 Choix d'une carte d'acquisition et de restitution des données (23 mars 2020)	63
30 Labo 4 : Commande d'un four (30 mars 2020)	65
30.1 Déterminer V_a , V_b et V pour Θ_a et Θ_b	65
30.2 Déterminer R_2 et R_3 pour obtenir $V_1 = V_b$ et $V_2 = V_a$	66
30.3 Déterminer quand les LEDs sont allumées et éteintes	66
30.4 Caractéristique de transfert	67
30.5 Tracer le schéma adapté sous Qucs	67
30.6 Réaliser et tester le montage sur breadboard en ajoutant la carte relais sur une des sorties	69

1 Précision : PT 100 (16 décembre 2019)

Énoncé Ce capteur mesure une température de 100°C. Quelle est l'erreur maximum commise sur cette température ?

Capteur : PT 100

Caractéristiques:

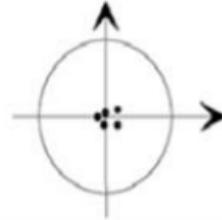
Mesure : 0 à 250 °C

Sortie : 4-20 mA

Tension : C.C 24V

Précision : plus ou moins 0,2 % FS

Dimensions : 45mm / 1,77 Inch(diameter)



Réponse Ce capteur va de 0 à 250°C. L'étendue de mesure est donc de 250°C. La précision étant de de $\pm 0.2\%$, l'erreur maximum est de $\pm 0.2\% \times 250^\circ\text{C} = \pm 0.5^\circ\text{C}$. La température mesurée de 100°C est donc en réalité comprise entre 99.5 °C et 100.5 °C.

2 Linéarité : PT 100 et thermistance (16 décembre 2019)

Énoncé Ces capteur sont-ils linéaires ?

- PT 100 : $R_{(T)} = R_0 (1 + aT)$

- Thermistance : $R_{(T)} = a \cdot e^{\frac{b}{T}}$

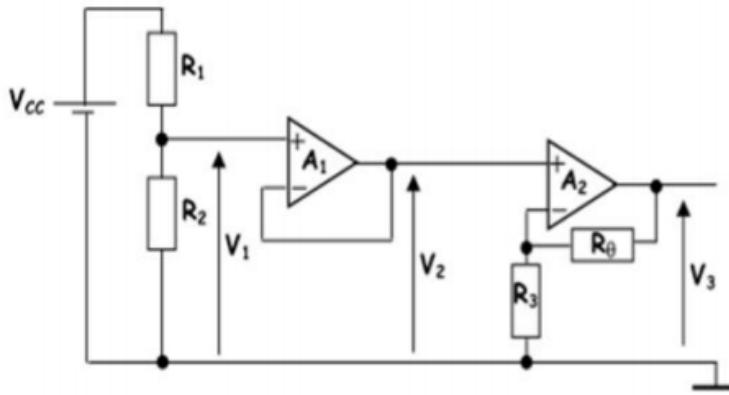
Réponse La PT 100 est linéaire (équation linéaire) mais la thermistance ne l'est pas.

3 Déterminer de la sensibilité d'un circuit (16 décembre 2019)

Énoncé On désire acquérir la température ambiante d'une salle. Pour cela, on utilise un capteur de température qui est une sonde PT 100 possédant une résistance R_θ qui dépend de la température θ suivant la relation $R_\theta = R_0 (1 + a\theta)$ avec :

$$R_0 = 100 \Omega ; a = 0,4^\circ C^{-1} ; \theta = \text{température en } ^\circ C$$

Le monteur conditionneur suivant permet de traduire la température θ en une tension. On donne $R_2 = R_3 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_1 = 3 \text{ k}\Omega$ et $V_{cc} = 12 \text{ V}$.



1. Montrer que la tension V_3 s'écrit $V_3 = (0,12\theta) + 3,3$.
2. Calculer la sensibilité du montage définie par : $S_m = \frac{\partial V_3}{\partial \theta}$.
3. Tracer et relever la caractéristique V_θ sous le simulateur Qucs.

3.1 Déterminer V_3

Montrer que la tension V_3 s'écrit $V_3 = (0,12\theta) + 3,3$.

Déterminer V_1 :

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{V_{cc} \cdot R_2}{R_1 + R_2} \\ V_1 &= \frac{12 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^3 + 10^3} \\ V_1 &= 3 \text{ V} \end{aligned}$$

Déterminer V_2 :

$$V_2 = V_1 = 3 \text{ V}$$

Car A_1 est monté en buffer.

Déterminer V_3 : A_2 est monté en non inverseur et on a $R_\theta = R_0 (1 + a\theta)$ et $a = 0,4^\circ C^{-1}$.

$$\begin{aligned} V_3 &= V_2 \left(1 + \frac{R_\theta}{R_3} \right) \\ V_3 &= V_2 \left(1 + \frac{R_0 (1 + a\theta)}{R_3} \right) \\ V_3 &= 3 \left(1 + \frac{100 (1 + 0,4\theta)}{10^3} \right) \\ V_3 &= \frac{3 \cdot 10^3 + 300 + 120\theta}{10^3} \\ V_3 &= 3,3 + 0,12\theta \end{aligned}$$

3.2 Calculer la sensibilité du montage

définie par : $S_m = \frac{\partial V_3}{\partial \theta}$:

$$S_m = 0,12 = 120 \text{mV}/^\circ\text{C}$$

La sensibilité étant constante, on peut en déduire que le capteur est linéaire.

3.3 Qucs

Tracer et relever la caractéristique V_θ sous le simulateur Qucs.

Déterminer la plage de fonctionnement de la PT 100 :

Température maximale :

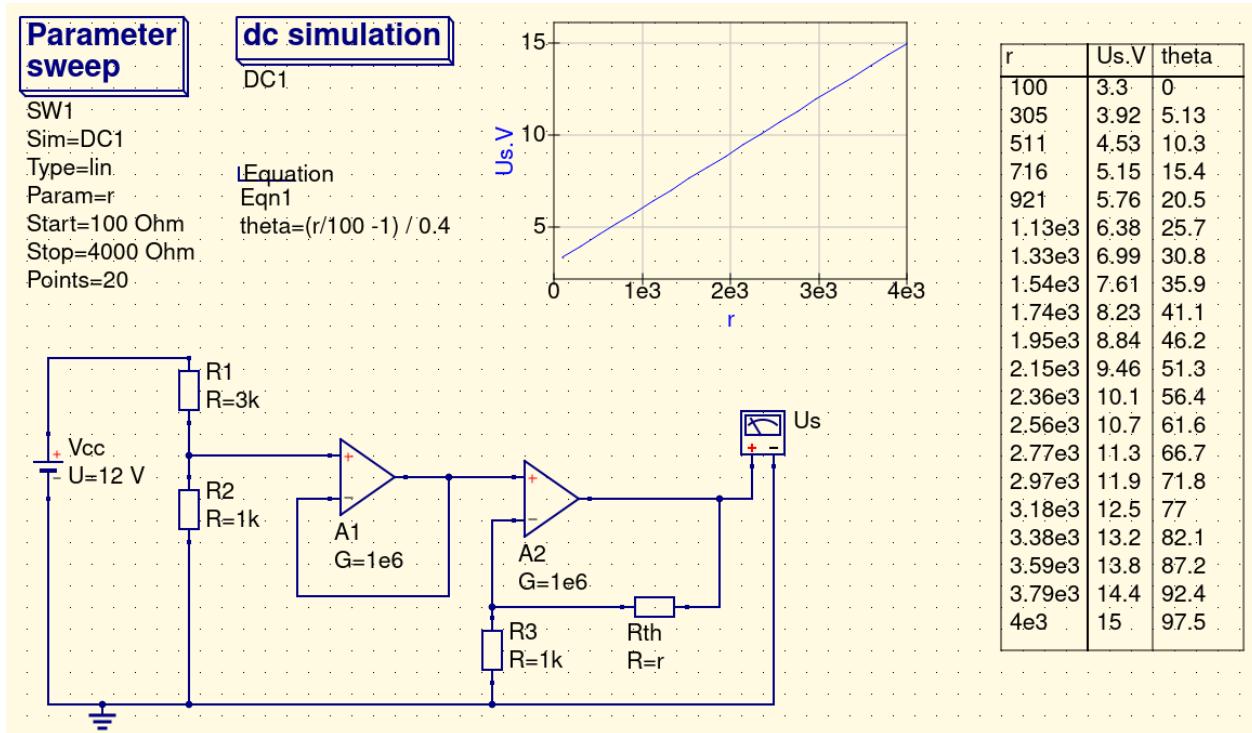
$$\begin{aligned} V_{3max} &= 15 = 3,3 + 0,12\theta_{max} \\ \theta_{max} &= \frac{15 - 3,3}{0,12} \\ \theta_{max} &= 97,5^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Résistance maximale :

$$\begin{aligned} R_{\theta max} &= R_0 (1 + a\theta_{max}) \\ R_{\theta max} &= 100 (1 + 0,497,5) \\ R_{\theta max} &= 4000 \Omega \end{aligned}$$

La résistance interne de la PT 100 varie donc entre 100 et 4000Ω.

Réalisation sur Qucs



4 Étalonnage d'un capteur avec un tableau (1) (16 décembre 2019)

Reproduire l'exemple suivant : On prépare des solutions étalons et on mesure leur conductance à l'aide d'un conductimètre. Les valeurs de concentrations et de conductances de ces solutions sont reportées dans le tableau ci-dessous :

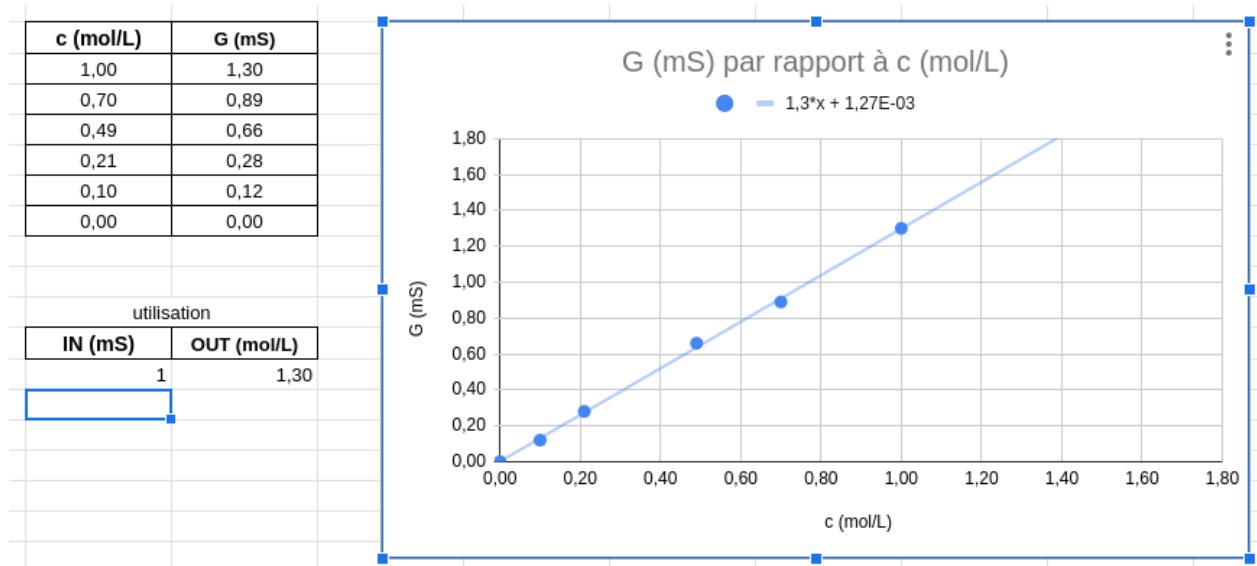
c (mol L ⁻¹)	1,00	0,70	0,49	0,21	0,10	0,00
G (mS)	1,30	0,89	0,66	0,28	0,12	0,00

On demande de/d'

- tracer la courbe d'étalonnage correspondant à ces mesures sous Excel;
- afficher l'équation de la courbe correspondant au nuage de points obtenus et le coefficient de corrélation de la courbe.

NB. La concentration molaire du soluté est $c = \frac{n}{V}$ où n est la quantité de matière de soluté (mol) et V le volume de solution (L).

Réalisation



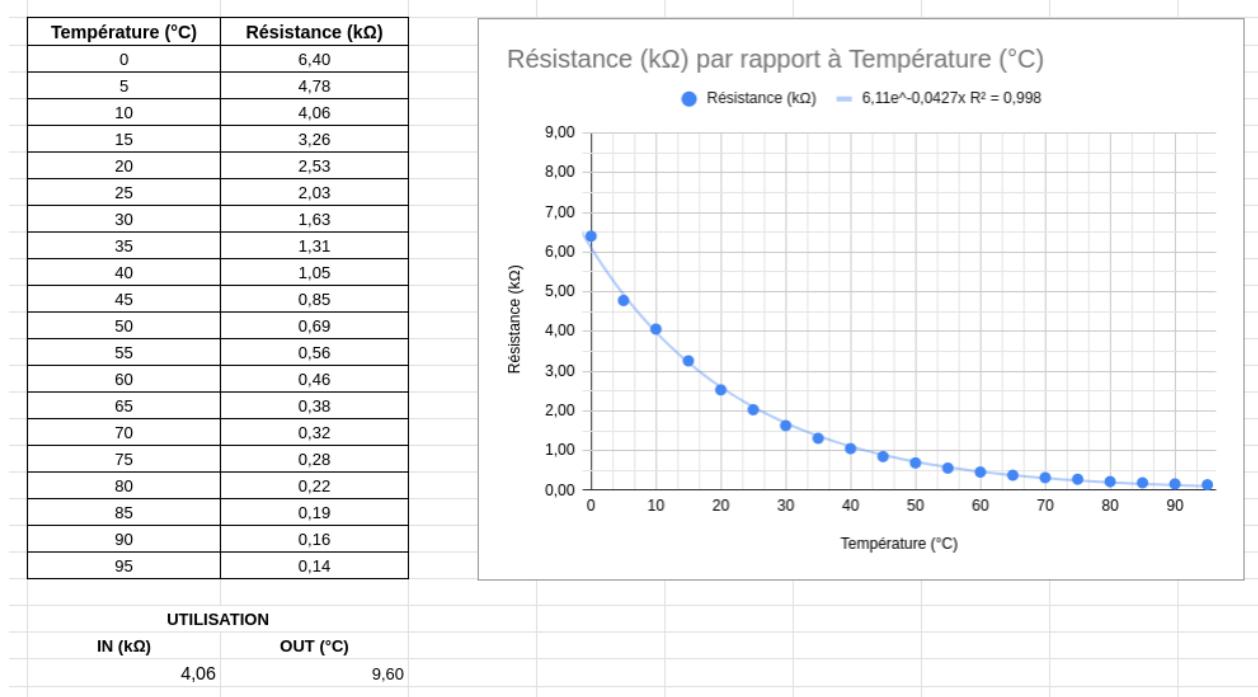
5 Étalonnage d'un capteur avec un tableur (2) (16 décembre 2019)

Énoncé On chauffe un ballon contenant de l'eau et de la glace jusqu'à ébullition. La thermistance est immergée dans ce milieu ainsi qu'un thermomètre pour suivre l'évolution de la température. La résistance est reliée à un ohmmètre.

Température (°C)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Résistance (kΩ)	6,40	4,78	4,06	3,26	2,53	2,03	1,63	1,31	1,05	0,85
Température (°C)	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Résistance (kΩ)	0,69	0,56	0,46	0,38	0,32	0,28	0,22	0,19	0,16	0,14

On demande de tracer la courbe d'étalonnage du capteur sur le tableur Excel et de donner l'équation de la courbe de tendance.

Réalisation



6 Équation aux dimensions (6 janvier 2020)

6.1 Exemples

- L'équation aux dimensions de la force est

$$F = MLT^{-2}$$

puisque $F = m.a$ et l'unité SI est le kg m s^{-2} ou Newton.

- Pour l'énergie, l'équation aux dimensions est

$$W = ML^2T^{-2}$$

puisque $W = \frac{1}{2}m.v^2$ et l'unité SI est le $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$ ou Joule.

6.2 Exercice

La formule $E = mc^2$ est-elle homogène ?

Réponse La dimension de $E = ML^2T^{-2}$ puisque l'unité de E est le Joule ou $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$. La dimension de $mc^2 = M \cdot (\frac{L}{T})^2 = ML^2T^{-2}$. Les dimensions correspondent. L'équation est donc bien homogène.

6.3 Dimension d'une grandeur dérivée

Énoncé Analyse dimensionnelle des grandeurs dérivées suivantes :

- La résistance électrique
- La fréquence
- La vitesse
- La force
- La pression
- Le débit volumique
- La charge électrique
- L'énergie

Réponse

La fréquence La fréquence est exprimée en Hertz = 1 s^{-1} . Sa dimension est :

$$T^{-1}$$

La vitesse La fréquence est exprimée en m s^{-1} . Sa dimension est :

$$LT^{-1}$$

La force La force $F = m.a$ s'exprime en kg m s^{-2} (ou Newton). Sa dimension est :

$$LMT^{-2}$$

La pression La pression $P = \frac{F}{S}$ exprimée en N m^{-2} ou $\text{kg m}^{-1}\text{s}^{-2}$. Sa dimension est :

$$L^{-1}MT^{-2}$$

Le débit volumique Le débit volumique s'exprime en $\frac{V}{s}$ ou $\frac{m^3}{s}$. Sa dimension est :

$$L^3T^{-1}$$

La charge électrique $I = \frac{Q}{t} \Rightarrow Q = I \cdot t$. La charge électrique Q s'exprime en A s^{-1} . Sa dimension est :

$$T^{-1}I$$

L'énergie L'unité de E est le Joule ou $\text{kg m}^2\text{s}^{-2}$. Sa dimension est :

$$L^2MT^{-2}$$

La résistance électrique La dimension de la résistance est déterminée par l'intermédiaire de celle de la puissance car $P = R \cdot I^2 \Rightarrow R = \frac{P}{I^2}$.

La puissance $P = \frac{E}{t}$. Sa dimension est :

$$L^2MT^{-3}$$

La dimension de R est donc :

$$L^2MT^{-3}I^{-2}$$

7 Les grandeurs physiques (6 janvier 2020)

7.1 Le Kelvin

Énoncé A combien de degrés Kelvin correspondent 20 °C ?

Réponse 20 °C = 293.15 K

7.2 La pression

Énoncé Combien vaut 1 mbar en kPa ? en hPa ?

Réponse 1 mbar = 0,1kPa = 1 hPa

7.3 Les longueurs d'ondes

Énoncé Quelle est la fréquence en kHz correspondant à une longueur d'onde de 2000 m ?

Réponse $\lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{2000} = 150 \text{ kHz}$

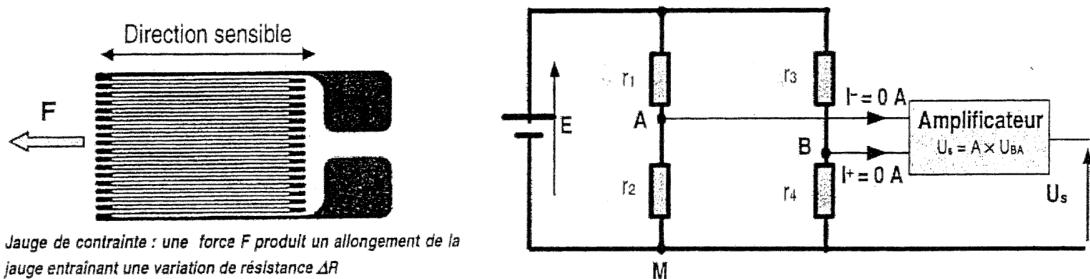
8 Capteur de force (6 janvier 2020)

Énoncé

Un capteur de force est constitué de 4 jauge de contrainte collées sur une pièce métallique appelée corps d'épreuve. Les jauge de contrainte sont des conducteurs ohmiques dont la résistance varie sous l'effet de la déformation qui apparaît lorsque le corps d'épreuve est soumis à la force F que l'on désire mesurer.

Pour augmenter la sensibilité du dispositif, les jauge sont montées en pont, appelé pont de Wheatstone (montage ci-dessous). En l'absence de forces, les 4 résistances sont identiques, de valeur nominale R_0 . En présence de forces, 2 jauge sont en extension et voient leur résistance augmenter : $r_1 = r_4 = R_0 + \Delta R$. Les deux autres, en compression, voient leur résistance diminuer : $r_2 = r_3 = R_0 - \Delta R$.

La variation ΔR vérifie la relation $\frac{\Delta R}{R_0} = k.F$



1. Exprimer U_{AM} en fonction de E , R_0 et ΔR .
2. Exprimer U_{BM} en fonction de E , R_0 et ΔR .
3. En déduire que $U_{BA} = \frac{\Delta R}{R_0} E$.
4. Montrer que la tension U_s est proportionnelle à la force F .
5. Lorsque l'on soumet le corps d'épreuve à une Force $F_0 = 1000$ N, on mesure $U_{S0} = 440$ mV. Exprimer k puis calculer sa valeur numérique (on précisera également son unité). Calculer ΔR .

On donne : $E = 10$ V, $A = 100$, $R_0 = 350$ Ω

8.1 Expression de U_{AM}

$$\begin{aligned} U_{AM} &= \frac{E.R_2}{R_1 + R_2} \\ U_{AM} &= \frac{E(R_0 - \Delta R)}{R_0 + \Delta R + R_0 - \Delta R} \\ U_{AM} &= \frac{E(R_0 - \Delta R)}{2R_0} \end{aligned}$$

8.2 Expression de U_{BM}

$$\begin{aligned} U_{BM} &= \frac{E.R_4}{R_3 + R_4} \\ U_{BM} &= \frac{E(R_0 + \Delta R)}{2R_0} \end{aligned}$$

8.3 Expression de U_{BA}

$$\begin{aligned} U_{BA} &= U_{BM} - U_{AM} \\ U_{BA} &= \frac{E(R_0 + \Delta R)}{2R_0} - \frac{E(R_0 - \Delta R)}{2R_0} \\ U_{BA} &= \frac{E.R_0 + E.\Delta R - E.R_0 + E.\Delta R}{2R_0} \\ U_{BA} &= \frac{E.\Delta R}{R_0} \end{aligned}$$

8.4 Montrer que la tension de sortie est proportionnelle à la force appliquée

$$\frac{\Delta R}{R_0} = k.F \Rightarrow U_{BA} = E.k.F \Rightarrow U_S = A.E.k.F$$

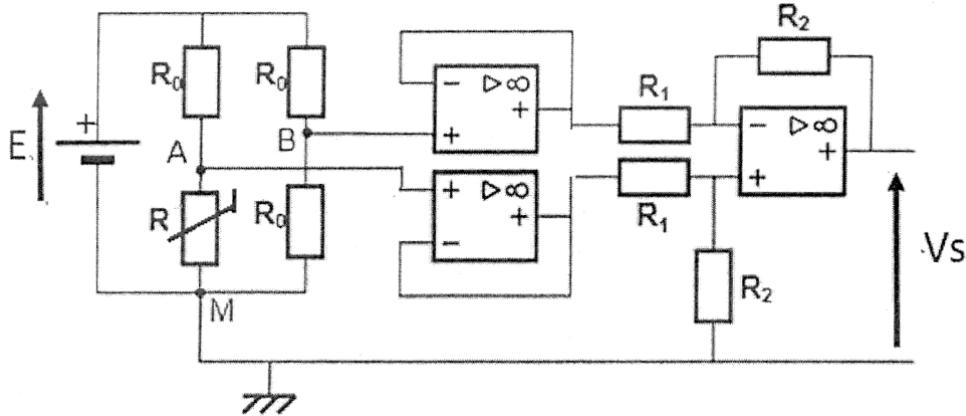
8.5 Calcul de k et ΔR

Avec $F_0 = 1000 \text{ N}$, $U_{S0} = 440 \text{ mV}$, $E = 10 \text{ V}$, $A = 100$ et $R_0 = 350 \Omega$

$$k = \frac{U_{S0}}{A.E.F_0} = \frac{440.10^{-3}}{100.10.1000} = 440.10^{-9} \text{ N}^{-1}$$

$$\Delta R = R_0 \cdot k \cdot F_0 = 350.440.10^{-9}.1000 = 154 \text{ m}\Omega$$

9 Conditionneur d'une balance (6 et 13 janvier)



1. Déterminer l'expression de la tension $U_{AB} = f(E, K, m)$, sachant que $R = R_0 + \Delta R$ et $\frac{\Delta R}{R_0} = K.m$, m étant la masse à mesurer et K une constante.
2. Calculer la valeur de la tension U_{AB} pour $m = 5 \text{ kg}$, si on a $R_0 = 500 \Omega$, $K = 5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}^{-1}$ et $E = 12 \text{ V}$.
3. On admet qu'avec une masse $m < 6 \text{ kg}$, on a le produit $K.m \ll 1$. Simplifier alors l'expression de U_{AB} pour la rendre linéaire.
4. On donne $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$. Calculer la valeur de R_2 pour obtenir $V_s = 10 \text{ V}$ lorsque $m = 5 \text{ kg}$.
5. Tracer la caractéristique de transfert $V_s = f(m)$.

9.1 Déterminer $U_{AB} = f(E, K, m)$

Sachant que $R = R_0 + \Delta R$ et $\frac{\Delta R}{R_0} = K.m$, m étant la masse à mesurer et K une constante.

Expression de U_A

$$U_A = \frac{E \cdot R}{R + R_0} = \frac{E \cdot (R_0 + \Delta R)}{R_0 + \Delta R + R_0} = \frac{E \cdot (R_0 + \Delta R)}{2R_0 + \Delta R}$$

Expression de U_B

$$U_B = \frac{E \cdot R_0}{R_0 + R_0} = \frac{E}{2}$$

Expression de U_{AB}

$$\begin{aligned}
 U_{AB} &= U_A - U_B = \frac{E.(R_0 + \Delta R)}{2R_0 + \Delta R} - \frac{E}{2} \\
 U_{AB} &= \frac{2E.(R_0 + \Delta R) - E.(2R_0 + \Delta R)}{2(2R_0 + \Delta R)} \\
 U_{AB} &= \frac{E}{2} \cdot \frac{2R_0 + 2\Delta R - 2R_0 - \Delta R}{2R_0 + \Delta R} \\
 U_{AB} &= \frac{E}{2} \cdot \frac{\Delta R}{2R_0 + \Delta R} \\
 U_{AB} &= \frac{E}{2} \cdot \frac{\frac{\Delta R}{R_0}}{\frac{2R_0 + \Delta R}{R_0}} \\
 U_{AB} &= \frac{E}{2} \cdot \frac{K.m}{2 + K.m} \\
 U_{AB} &= \frac{E.K.m}{4 + 2K.m}
 \end{aligned}$$

9.2 Calcul de U_{AB} pour $m = 5 \text{ kg}$

Sachant que $R_0 = 500 \Omega$, $K = 5.10^{-3} \text{ kg}^{-1}$ et $E = 12 \text{ V}$.

$$U_{AB} = \frac{E.K.m}{4 + 2K.m} = \frac{12.5.10^{-3}.5}{4 + 2.5.10^{-3}.5} = 74,074 \text{ mV}$$

9.3 Simplification de l'expression de U_{AB}

$$U_{AB} = \frac{E.K.m}{4}$$

Pour $m = 5 \text{ kg}$

$$U_{AB} = \frac{E.K.m}{4} = \frac{12.5.10^{-3}.5}{4} = 75 \text{ mV}$$

9.4 Calcul de la valeur de R_2 pour obtenir $V_s = 10 \text{ V}$ lorsque $m = 5 \text{ kg}$

Sachant que $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$.

Les deux premiers AOP sont monté en buffer et le dernier en soustracteur, on a donc :

$$V_s = \frac{R_2}{R_1}(U_A - U_B) = \frac{R_2}{R_1}U_{AB}$$

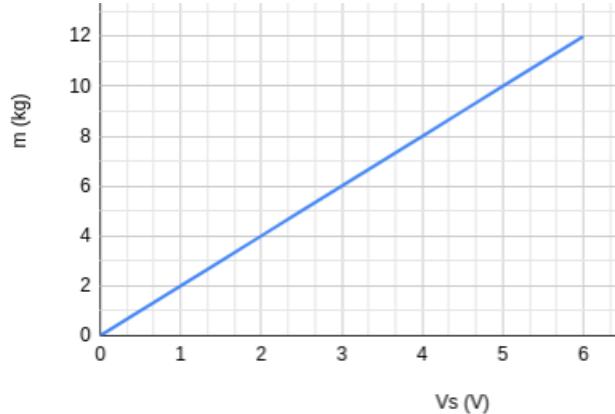
Calcul de R_2 :

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot V_s}{U_{AB}} = \frac{10^3 \cdot 10}{75 \cdot 10^{-3}} = 133,33 \text{ k}\Omega$$

9.5 Caractéristique de transfert

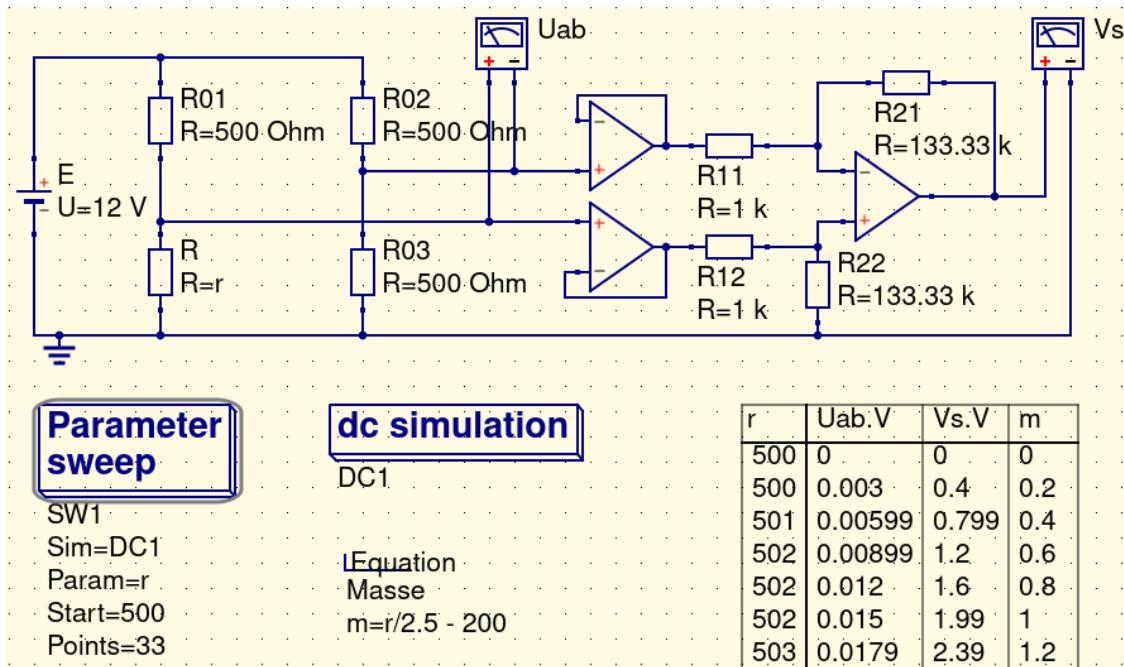
$$V_s = \frac{R_2}{R_1} U_{AB} = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{E \cdot K \cdot m}{4} = \frac{133,33 \cdot 10^3}{10^3} \cdot \frac{12 \cdot 5 \cdot 10^{-3} m}{4}$$

$$V_s = 2m$$



Pour $m = 5 \text{ kg}$, on a bien $V_s = 2.5 = 10 \text{ V}$.

9.6 Vérification avec Qucs



- $R = R_0 + \Delta R \Rightarrow \Delta R = R - R_0$
- $\frac{\Delta R}{R_0} = K \cdot m \Rightarrow m = \frac{\Delta R}{R_0 \cdot K} = \frac{R - R_0}{500 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} = \frac{R}{2,5} - 200$

Vérification pour $m = 5$ kg : en examinant la tableau suivant, on constate qu'une masse de 5kg correspond à une tension de sortie d'environ 10V (et à une tension AB de 74 mV).

r	Uab.V	Vs.V	m
500	0	0	0
500	0.003	0.4	0.2
501	0.00599	0.799	0.4
502	0.00899	1.2	0.6
502	0.012	1.6	0.8
502	0.015	1.99	1
503	0.0179	2.39	1.2
504	0.0209	2.79	1.4
504	0.0239	3.19	1.6
504	0.0269	3.58	1.8
505	0.0299	3.98	2
506	0.0328	4.38	2.2
506	0.0358	4.77	2.4
506	0.0387	5.17	2.6
507	0.0417	5.56	2.8
508	0.0447	5.95	3
508	0.0476	6.35	3.2
508	0.0506	6.74	3.4
509	0.0535	7.13	3.6
510	0.0565	7.53	3.8
510	0.0594	7.92	4
510	0.0623	8.31	4.2
511	0.0653	8.7	4.4
512	0.0682	9.09	4.6
512	0.0711	9.48	4.8
512	0.0741	9.87	5
513	0.077	10.3	5.2
514	0.0799	10.7	5.4
514	0.0828	11	5.6
514	0.0858	11.4	5.8
515	0.0887	11.8	6
516	0.0916	12	6.2
516	0.0945	12	6.4

10 Circuits intégrés : 74LSxx et 74HCxx (13 janvier 2020)

La famille 74LSxx possède les caractéristiques suivantes :

- $V_{OHmin} = 2,4V$
- $V_{OLmax} = 0,4V$

La famille 74HCxx possède les caractéristiques suivantes :

- $V_{IHmin} = 3,5V$
- $V_{ILmax} = 1V$

Peut-on raccorder l'entrée d'une porte 74HC avec la sortie d'une porte LS ? Dans l'affirmatif, calculer l'immunité aux bruits pour chaque niveau.

Réponse : Non car la tension de sortie à l'état haut minimale de la porte 74LS est inférieure à la tension d'entrée à l'état haut minimale de la porte 74HC : les valeurs entre 2,4 et 3,5 V seront perdues.

A l'état LOW, la marge de bruit $M_L = V_{ILmax} - V_{OLmax} = 0,6V$. A l'état HIGH, $M_H = V_{OHmin} - V_{IHmin} = -1,1V$. Pour que le circuit fonctionne, ces deux valeurs auraient dû être positives.

11 Débitmètre (13 janvier)

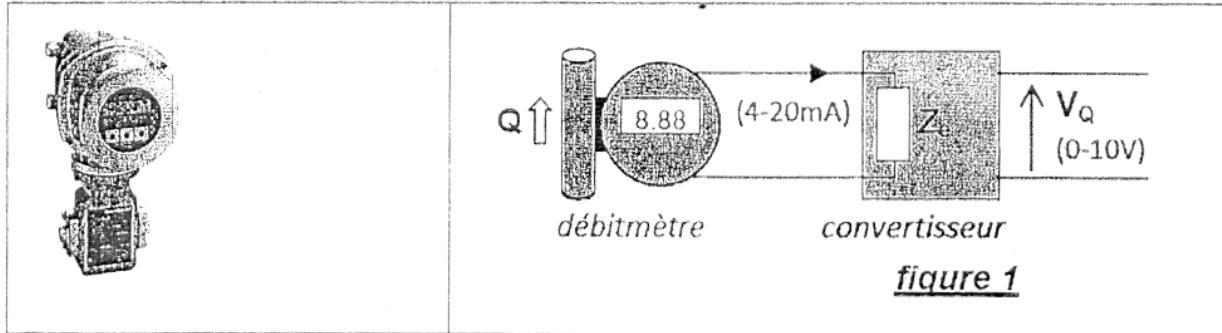
La mesure du débit d'une station de pompage est confiée à un débitmètre électromagnétique Promag 50H Endress+Hauser.

Extrait de la documentation technique :

Grandeur d'entrée	
Grandeur de mesure	Vitesse d'écoulement (proportionnelle à la tension induite)
Gamme de mesure	Typique $v = 0,01 \dots 10 \text{ m/s}$ avec la précision de mesure spécifiée
Dynamique de mesure	Supérieure à 1000 : 1
Signal d'entrée	
	Entrée état (entrée auxiliaire) : $U = 3 \dots 30 \text{ V DC}$, $R_i = 5 \text{ k}\Omega$, séparation galvanique. Configurable pour : remise à zéro du/des totaliseur(s), suppression de la mesure, remise à zéro des messages défaut, démarrer/stopper un dosage.
Grandeur de sortie	
Signal de sortie	Promag 50 Sortie courant : actif/passif au choix, séparation galvanique, constante de temps au choix ($0,05 \dots 100 \text{ s}$), fin d'échelle réglable, coefficient de température : typ. $0,0005\%$ de m°C ; résolution : $0,5 \mu\text{A}$ – actif : $0/4 \dots 20 \text{ mA}$, $R_c < 700 \Omega$ (pour $\text{HART} = R_c \geq 250 \Omega$) – passif : $0/4 \dots 20 \text{ mA}$, max. 30 V DC , $R_i \leq 150 \Omega$

Le capteur est inséré le long de la conduite PVC de refoulement, son orifice est de section égale à celle de la conduite, à savoir qu'il a un diamètre intérieur **D = 40mm**. Le débit est prévu pour fluctuer entre 2 et $20 \text{ m}^3/\text{h}$.

Le débitmètre renvoie l'information "débit Q" sur une sortie 4 - 20 mA. Cette information sera ensuite récupérée par une entrée analogique de l'automate après conversion en une tension V_Q comprise entre **0 et 10 V**, conformément à la figure suivante. Le convertisseur 4-20 mA/0-10 V a une impédance d'entrée $Z_e = 600 \Omega$.



On demande de

1. déterminer la plage de débit mesurable par l'appareil et justifier son choix.
2. calculer la tension maximale fournie par la sortie 4-20 mA du débitmètre. Cette valeur est-elle compatible avec les spécifications du constructeur du débitmètre ?
3. calculer le facteur K tel que $\frac{\partial V_Q}{\partial Q} = K$, sachant que le débitmètre peut renvoyer une valeur Q au maximum égale à $70 \text{ m}^3/\text{h}$. Préciser son unité.

11.1 Calcul de la plage de débit

Diamètre : $D = 40 \text{ mm} = 40.10^{-3} \text{ m}$

$$\text{Section} : S = \pi R^2 = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \pi \left(\frac{4.10^{-3}}{2}\right)^2 = 4\pi.10^{-4} = 1,257 \text{ mm}^2$$

Le débitmètre est prévu pour fonctionner entre 0,01 et 10 m/s.

$$\text{Débit minimum} = 0,01.1,257.10^{-3} = 1,257.10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} = 1,257.10^{-5}.3600 = 0,045 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Débit maximum} = 10.1,257.10^{-3} = 1,257.10^{-2} \text{ m}^3/\text{s} = 1,257.10^{-2}.3600 = 45 \text{ m}^3/\text{h}$$

11.2 Calcul de la tension maximale

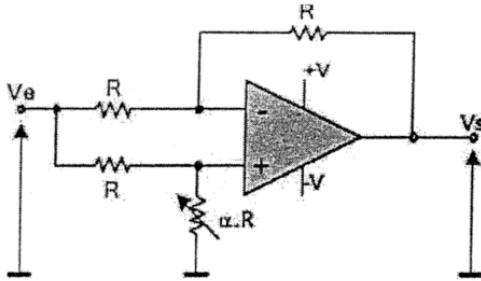
$$V_{Omax} = Z_e \cdot I_{max} = 600.20.10^{-3} = 12 \text{ V}$$

11.3 Calcul de K

$$K = \frac{\partial V_Q}{\partial Q} = \frac{10 - 0}{70 - 0} = 0,14 \text{ V h/m}^3$$

12 AOP : exercice 1 (13 janvier 2020)

Le schéma suivant représente un amplificateur à gain variable destiné pour les capteurs.



Démontrer que :

$$V_s = V_e \frac{\alpha - 1}{\alpha + 1}$$

12.1 Démonstration

L'amplificateur est monté en contre-réaction : $V+ = V-$.

Expression de $V+$ (Millman) :

$$\begin{aligned} V+ &= \frac{\frac{V_e}{R} + \frac{V_s}{R}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R}} \\ V+ &= \frac{V_e + V_s}{2} \end{aligned}$$

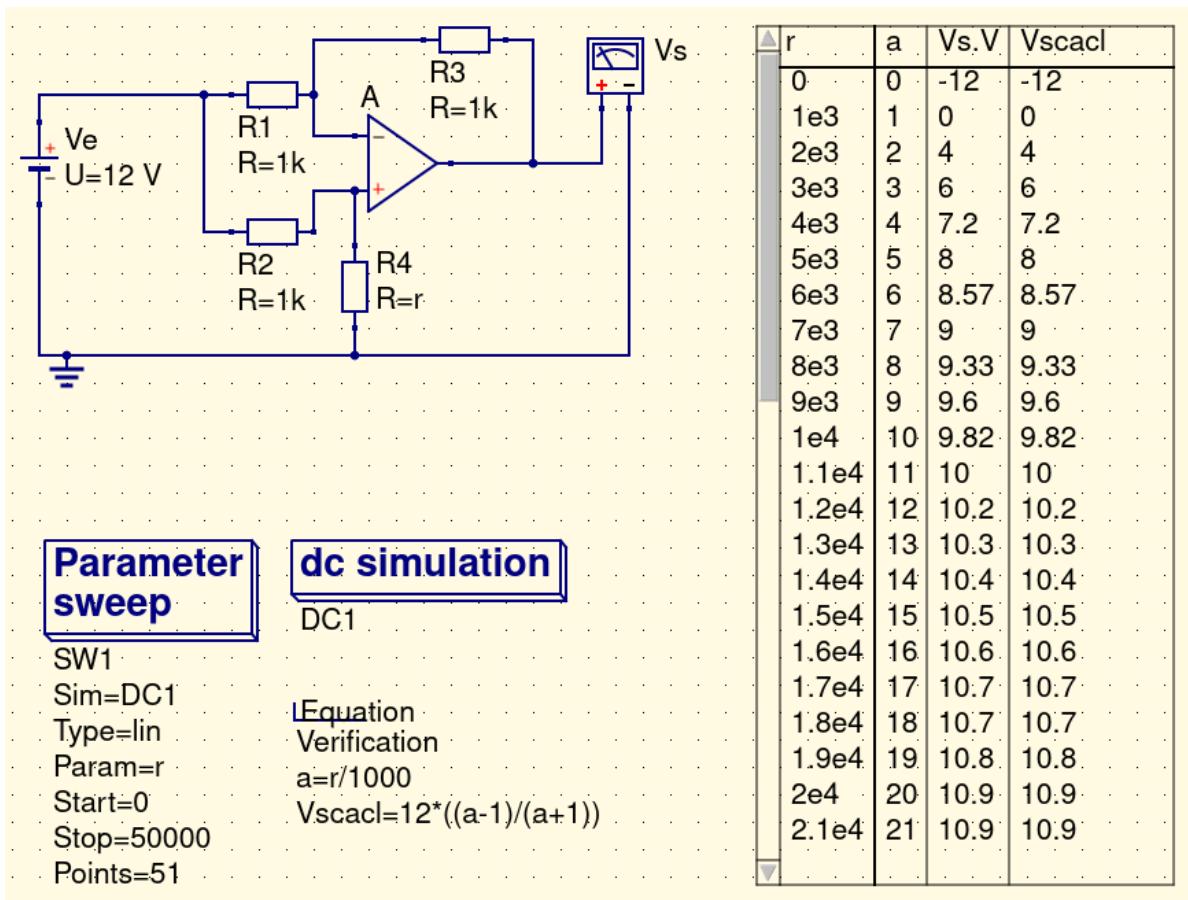
Expression de $V-$ (pont diviseur) :

$$\begin{aligned} V- &= V_e \frac{\alpha R}{R + \alpha R} \\ V- &= V_e \frac{\alpha}{1 + \alpha} \end{aligned}$$

Expression de V_s :

$$\begin{aligned}
 V+ &= V- \\
 \frac{V_e + V_s}{2} &= \frac{V_e \cdot \alpha}{1 + \alpha} \\
 V_s &= \frac{2V_e \cdot \alpha}{1 + \alpha} - V_e \\
 V_s &= V_e \cdot \frac{2\alpha - 1 - \alpha}{1 + \alpha} \\
 V_s &= V_e \cdot \frac{\alpha - 1}{1 + \alpha}
 \end{aligned}$$

12.2 Vérification avec Qucs

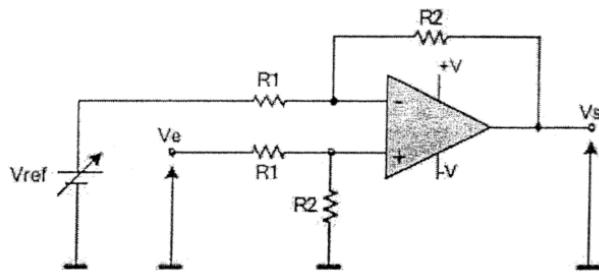


La tension de sortie mesurée (V_s) correspond bien à la tension de sortir calculée (V_{scale}).

13 AOP : exercice 2 (13 janvier 2020)

On désire amplifier et adapter la tension V_e fournie par un capteur de température. Pour cela, on utilise le montage amplificateur différentiateur suivant :

- AOP est considéré idéal
- $V_{ref} = 2.73 \text{ V}$
- $V = 12 \text{ V}$
- $T(\text{°C}) = T(\text{°K}) - 273\text{°K}$



1. Exprimer la tension V_s en fonction de R_1 , R_2 , V_{ref} et V_e .
2. Sachant que le capteur de température fournit une tension de 10 mV pour 1°K , calculer le rapport $\frac{R_2}{R_1}$ pour qu'à la sortie de l'amplificateur, $V_s = 20 \text{ mV}$ pour 1°C .

13.1 Expression de V_s

L'AOP est monté en soustracteur :

$$V_s = \frac{R_2}{R_1} (V_e - V_{ref})$$

13.2 Calcul du rapport R_2/R_1

Calcul de V_e pour 1°C :

$$1^\circ\text{C} = 1 + 273 = 274\text{K}$$

$$\begin{aligned} 1\text{ K} &\rightarrow 10 \text{ mV} \\ 274\text{ K} &= 1^\circ\text{C} \rightarrow 2.74 \text{ V} \end{aligned}$$

Calcul du gain $\frac{R_2}{R_1}$:

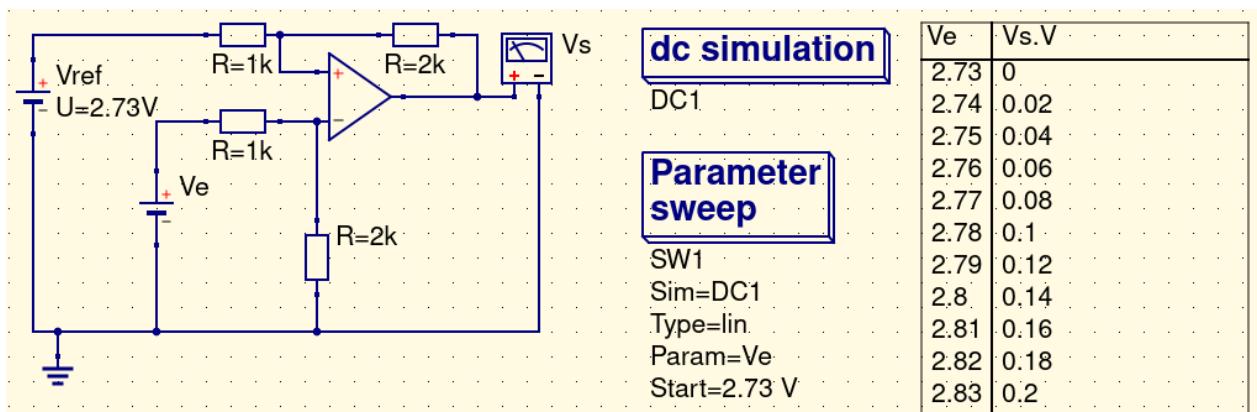
$$V_s = \frac{R_2}{R_1} (V_e - V_{ref})$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{V_s}{V_e - V_{ref}}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{2.74 - 2.73}$$

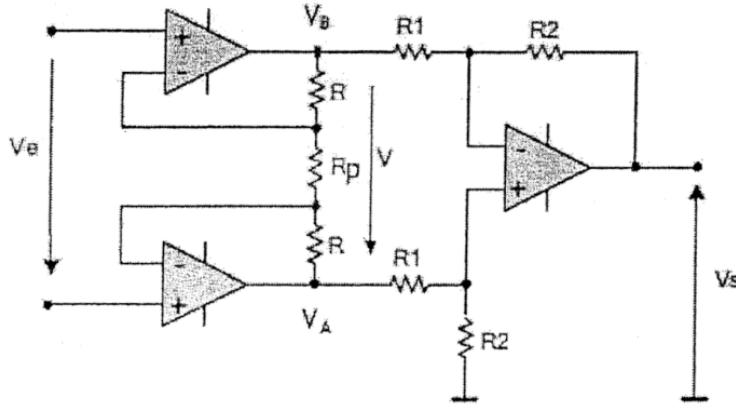
$$\frac{R_2}{R_1} = 2$$

13.3 Vérification avec Qucs



14 Amplificateur d'instrumentation (13 janvier 2020)

Le montage ci-dessous représente un amplificateur différentiel utilisé dans les instruments de mesure pour les faibles tensions continues issues d'un capteur :



1. Sachant que les 3 AOP sont idéaux, exprimer la tension V en fonction de l'entrée V_e .
2. Exprimer la tension V_s en fonction de V_A , V_B , R_1 et R_2 .
3. Déduire l'expression de V_s en fonction de V , puis de V_s en fonction de V_e .

14.1 Expression de V

Expression de $V+$ de AOP1 (en haut à gauche) :

$$V+ = 0$$

Expression de $V-$ de AOP1 (Millman) :

$$V- = \frac{\frac{V_B}{R} + \frac{V_e}{R_p}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R_p}}$$

$$V- = \frac{V_B \cdot R_p + V_e \cdot R}{R + R_p}$$

Expression de V_B (AOP1 est en régime linéaire) :

$$V+ = V-$$

$$0 = \frac{V_B \cdot R_p + V_e \cdot R}{R + R_p}$$

$$V_B = -\frac{V_e \cdot R}{R_p}$$

Expression de V+ de AOP2 (en bas à gauche) :

$$V+ = V_e$$

Expression de V- de AOP2 (Millman):

$$\begin{aligned} V- &= \frac{\frac{V_A}{R}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R_p}} \\ V- &= \frac{V_A}{R} \cdot \frac{R \cdot R_p}{R + R_p} \\ V- &= \frac{V_A \cdot R_p}{R + R_p} \end{aligned}$$

Expression de V_A (AOP1 est en régime linéaire) :

$$\begin{aligned} V+ &= V- \\ V_e &= \frac{V_A \cdot R_p}{R + R_p} \\ V_A &= \frac{V_e(R + R_p)}{R_p} \end{aligned}$$

Expression de V

$$\begin{aligned} V &= V_A - V_B \\ V &= \frac{V_e(R + R_p)}{R_p} + \frac{V_e \cdot R}{R_p} \\ V &= \frac{V_e}{R_p} (R + R_p + R) \\ V &= \frac{V_e(2R + R_p)}{R_p} \end{aligned}$$

14.2 Expression de V_s en fonction de V_A , V_B , R_1 et R_2

Expression de V+ de AOP3 (à droite) :

$$\begin{aligned}V+ &= \frac{\frac{V_A}{R_1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \\V+ &= \frac{V_A \cdot R_1 \cdot R_2}{R_1 \cdot R_1 + R_2} \\V+ &= \frac{V_A \cdot R_2}{R_1 + R_2}\end{aligned}$$

Expression de V- de AOP3 :

$$\begin{aligned}V- &= \frac{\frac{V_B}{R_1} + \frac{V_s}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \\V- &= \frac{V_B \cdot R_2 + V_s \cdot R_1}{R_1 + R_2}\end{aligned}$$

Expression de V_s

$$\begin{aligned}V+ &= V- \\ \frac{V_A \cdot R_2}{R_1 + R_2} &= \frac{V_B \cdot R_2 + V_s \cdot R_1}{R_1 + R_2} \\V_s &= \frac{V_A \cdot R_2 - V_B \cdot R_2}{R_1} \\V_s &= \frac{R_2}{R_1}(V_A - V_B)\end{aligned}$$

14.3 Expression de V_s en fonction de de V puis de V_e

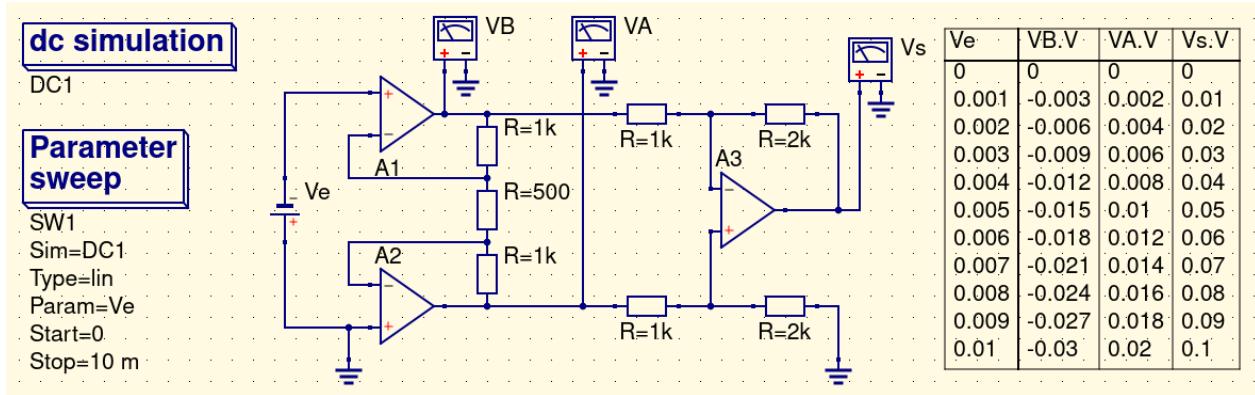
$$\begin{aligned}V_s &= \frac{R_2}{R_1}V \\V_s &= \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{V_e(2R + R_p)}{R_p} \\V_s &= V_e \frac{R_2}{R_1} \left(\frac{2R}{R_p} + \frac{R_p}{R_p} \right) \\V_s &= V_e \frac{R_2}{R_1} \left(\frac{2R}{R_p} + 1 \right)\end{aligned}$$

14.4 Vérification avec Qucs

Avec $R = 1\text{k}\Omega$, $R_p = 500\Omega$, $R_1 = 1\text{k}\Omega$ et $R_2 = 2\text{k}\Omega$

$$V_s = V_e \frac{2000}{1000} \left(\frac{2.1000}{500} + 1 \right)$$

$$V_s = 10V_e$$



Pour une tension d'entrée de 0 à 10 mV, les résultats sont bien corrects.

15 Aimants : exercice 1 (20 janvier 2020)

Une bobine de 5cm de diamètre, longue de 45cm comprend 500 spires en fil de cuivre de 0,4mm de diamètre. Elle est traversée par un courant de 320mA.

Calculer

1. L'intensité du champ magnétique au centre de cette bobine.
2. La valeur de l'induction.
3. Le flux magnétique produit.

15.1 Intensité du champ magnétique

$$\begin{aligned} B &= \mu_0 \cdot \frac{N}{l} \cdot I \\ B &= \frac{4\pi 10^{-7} \cdot 500 \cdot 320 \cdot 10^{-3}}{45 \cdot 10^{-2}} \\ B &= 446,804 \mu\text{T} \end{aligned}$$

15.2 Induction (champ d'excitation magnétique)

$$\begin{aligned} H &= \frac{N}{l} \cdot I \\ H &= \frac{500 \cdot 320 \cdot 10^{-3}}{45 \cdot 10^{-2}} \\ H &= 335,556 \text{ A/m} \end{aligned}$$

15.3 Flux magnétique

$$\begin{aligned} \Phi &= \vec{B} \cdot \vec{S} = B \cdot S \cdot \cos \theta \\ \Phi &= B \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \\ \Phi &= 446,804 \cdot 10^{-6} \pi (2,5 \cdot 10^{-2})^2 \\ \Phi &= 877,298 \text{ nWb} \end{aligned}$$

16 Aimants : exercice 2 (20 janvier 2020)

Une bobine de 2cm de diamètre comprend 1200 spires en fil de cuivre de diamètre de 0,5mm de diamètre. On place à l'intérieur de cette bobine un noyau ferromagnétique de perméabilité relative égale à 500. On alimente cette bobine au moyen d'une source de tension dont la FEM $E = 6V$ et la résistance interne $R = 2,2 \Omega$.

Calculer

1. L'intensité du champ magnétique au centre de cette bobine.
2. La valeur de l'induction.
3. La valeur du flux magnétique produit.

16.1 Intensité du champ magnétique

$$L_{fil} = 2\pi \frac{d_{spire}}{2} N_{spires} = 2\pi \frac{2 \cdot 10^{-2}}{2} 1200 = 75,398 \text{ m}$$

$$S_{fil} = \pi \left(\frac{d_{fil}}{2} \right)^2 = \pi \left(\frac{5 \cdot 10^{-4}}{2} \right)^2 = 196,35 \text{ nm}^2$$

$$R_{fil} = \rho_{Cu} \frac{L_{fil}}{S_{fil}} = 17 \cdot 10^{-9} \frac{75,398}{196,35 \cdot 10^{-9}} = 6,528 \Omega$$

$$I = \frac{E}{R+R_{fil}} = \frac{6}{2,2+6,528} = 687,443 \text{ mA}$$

$$l_{bobine} = d_{fil} \cdot N_{spires} = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 1200 = 0,6 \text{ m}$$

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \frac{N \cdot I}{l_{bobine}} = \frac{4\pi 10^{-7} \cdot 500 \cdot 1200 \cdot 687,443 \cdot 10^{-3}}{0,6} = 863,866 \text{ mT}$$

16.2 Induction (champ d'excitation magnétique)

$$H = \frac{N \cdot I}{l} = \frac{1200 \cdot 687,443 \cdot 10^{-3}}{0,6} = 1,375 \text{ kA/m}$$

16.3 Flux magnétique

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \theta = 863,866 \cdot 10^{-3} \pi \cdot 10^{-4} = 271,392 \mu \text{Wb}$$

17 Thermocouple : résumé (27 janvier 2020)

Résumer le document *doc4-thermocouple-guide.pdf*.

17.1 Définition

Un thermocouple est un transducteur de chaleur : il transforme une température en un signal électrique.

17.2 Principe de fonctionnement

Le thermocouple fonctionne grâce à l'effet de Seebeck : lorsque deux métaux de nature différente sont mis en contact en circuit ouvert, une tension (tension de Seebeck) apparaît aux bornes du circuit. Cette tension est proportionnelle à la température et au coefficient de Seebeck (qui lui-même varie en fonction de la température et rend donc la tension de sortie non linéaire sur de larges plages de mesure) selon l'équation :

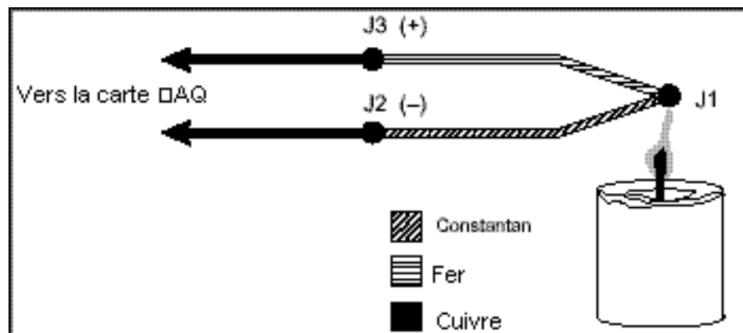
$$\Delta V \approx S\Delta T$$

17.3 Types de thermocouples

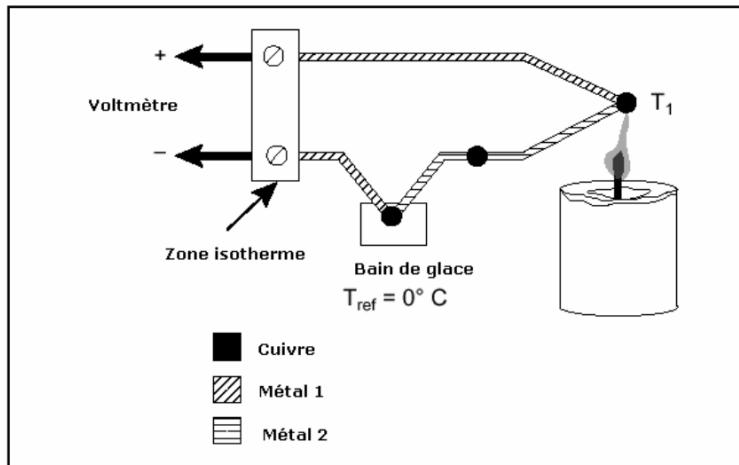
Il existe différents types de thermocouples désignés par une lettre majuscule en fonction du couple de matériaux qui les compose. Ces types sont réglementés par des normes ANSI.

17.4 Jonctions isothermes et compensation de soudure froide

Le thermocouple est composé de trois jonctions : la jonction des deux métaux (J1) et les jonctions de chacun des deux à la carte d'acquisition (J2 et J3). J2 et J3 produisent elles aussi une tension qu'il faudra soustraire à la tension de J1 pour obtenir la température de J1. Pour ce faire, elles sont maintenues à la même température : elles produisent donc des tensions de valeur égale et de signe opposé qui s'annulent.



Pour éliminer les tensions parasites, on utilise une soudure froide (traditionnellement maintenue à 0°C) dont la tension servira de référence : lorsque $T_1 > T_{ref}$, la tension de sortie est positive et dans le cas contraire, elle est négative.



En pratique, la soudure de référence n'est pas nécessairement maintenue à 0°C (car c'est peu pratique) : elle est soit connue, soit mesurée par un capteur de température à lecture directe pour pouvoir soustraire sa tension à la tension fournie par la jonction dont on souhaite connaître la température (c'est la compensation logicielle). Une compensation matérielle est également possible en ajoutant une source de tension qui varie en fonction de la température ambiante et permet d'annuler les tensions parasites. La compensation matérielle est moins précise que la compensation logicielle et nécessite que chaque type de thermocouple ait son propre circuit de compensation (ce qui rend cher le circuit).

17.5 Tables de conversion

Il est nécessaire d'utiliser une soudure de référence car les tables de référence NIST sont établies par rapport à une soudure froide (0°C). Ces tables de conversion sont nécessaires car le signal de sortie d'un thermocouple n'est pas linéaire sur de larges plages de températures mesurées.

17.6 Conditionnement du signal

Les thermocouples nécessitent un conditionnement particulier du signal pour amplifier et filtrer la tension de sortie, par exemple de type SCXI (Signal Conditioning eXtensions for Instrumentation). En effet, le thermocouple ne peut pas être connecté directement à un circuit de sortie car le fait de connecter les fils du thermocouple au système de mesure crée des circuits thermo-électriques supplémentaires. De plus, les signaux des thermocouples ont une forte sensibilité aux bruits : le niveau du bruit est souvent supérieur ou égal au signal du thermocouple.

17.7 Avantages

- prix avantageux
- plage de température large

17.8 Inconvénients

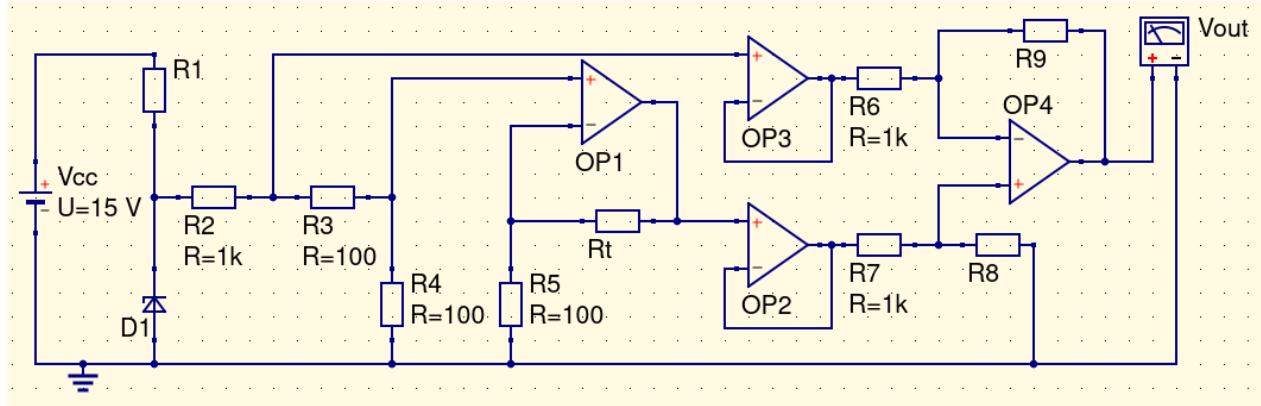
- nécessité d'une compensation de soudure froide (compensation logicielle le plus souvent)
- signal de sortie non linéaire sur de larges plages de mesure(nécessité d'une table de conversion)
- signal de sortie sensible aux bruits (nécessité d'un conditionnement particulier du signal : câbles blindés, amplification, filtrage d'entrée)
- ajout conseillé d'une détection de thermocouple ouvert

18 Conditionneur : exercice 2 (3 février 2020)

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.

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

$$R_3 = R_4 = R_5 = 100\Omega, R_2 = R_6 = R_7 = 1\text{k}\Omega \text{ et } R_8 = R_9$$



1. Décomposer ce circuit en différents étages et expliquer le rôle de chacun.
2. Exprimer la tension de sortie V_s en fonction de $R(T)$.
3. Ce montage peut-il fonctionner avec des AO mono tensions (c'est-à-dire alimentés entre 0V et V_{cc})?

18.1 Décomposer le circuit

- D_1 et R_1 servent à stabiliser la tension
- OP_1 est monté en non inverseur : $V_s = V_e \left(1 + \frac{R_T}{R_5} \right)$
- OP_2 et OP_3 sont montés en buffers : $V_s = V_e$
- OP_4 est monté en soustracteur = $V_s = \frac{R_{8/9}}{R_{6/7}} (V_{(+)} - V_{(-)})$

18.2 Expression de V_s

$$V_{sOP3} = V_{R34} = \frac{V_Z(R_3 + R_4)}{R_2 + R_3 + R_4} = \frac{1,2.200}{1200} = 200\text{mV}$$

$$V_{sOP2} = V_{sOP1} = V_{R4} \left(1 + \frac{R_T}{R_5} \right) = \frac{V_Z \cdot R_4}{R_2 + R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_T}{R_5} \right) = \frac{1,2.100}{1200} \left(1 + \frac{R_T}{100} \right) = 0,1 + R_T \cdot 10^{-3}$$

$$V_s = V_{sOP4} = \frac{R}{R_{6/7}} (V_{sOP2} - V_{sOP3}) = R \cdot R_T \cdot 10^{-6} - R \cdot 10^{-4}$$

Avec $R = R_8 = R_9$

18.3 Ce montage peut-il fonctionner avec des AOP mono tensions ?

$V_{sOP3} > 0$ ($= 0,2V$) et $V_{sOP2} > 0$ ($= 0,1 + R_T \cdot 10^{-3}$) et $R_T > 0$). La seule condition pour pouvoir utiliser des AOP mono tensions est que $V_{sOP2} > V_{sOP3}$:

$$0,1 + R_T \cdot 10^{-3} > 0,2$$

$$R_T > 100\Omega$$

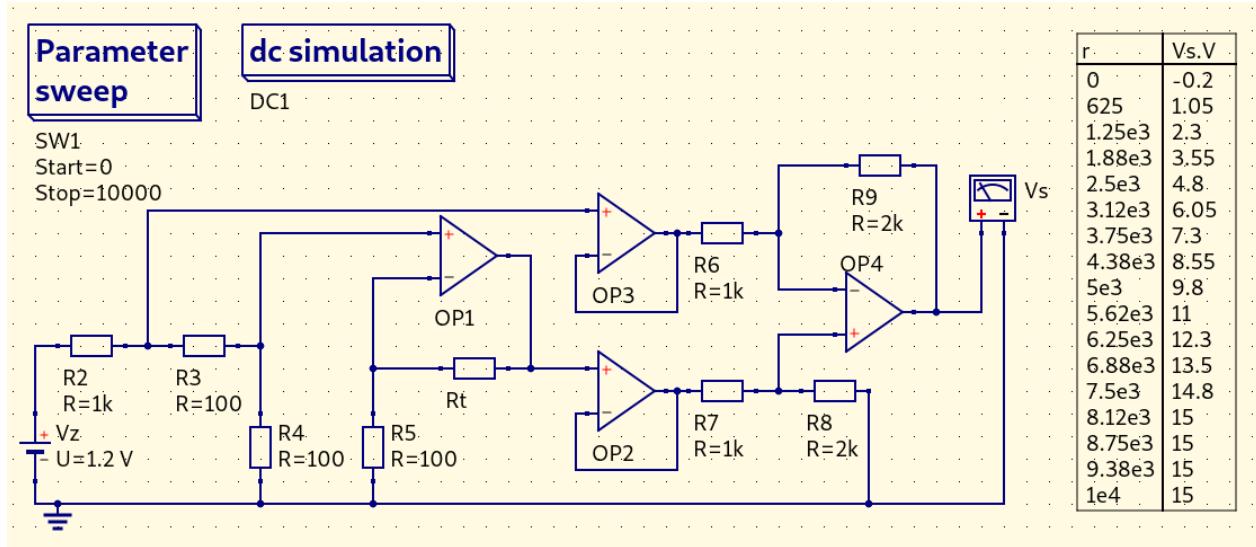
18.4 Vérification avec Qucs

$$R_8 = R_9 = 2k\Omega$$

$$R_{Tmin} = 0\Omega^*$$

$$R_{Tmax} = \frac{V_{ccmax} + R \cdot 10^{-4}}{R \cdot 10^{-6}} = \frac{15 + 0,2}{2 \cdot 10^{-3}} = 7600\Omega$$

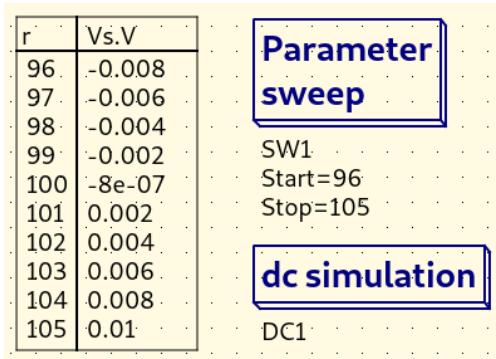
* $> 100\Omega$ si $V_{ccmin} = 0$



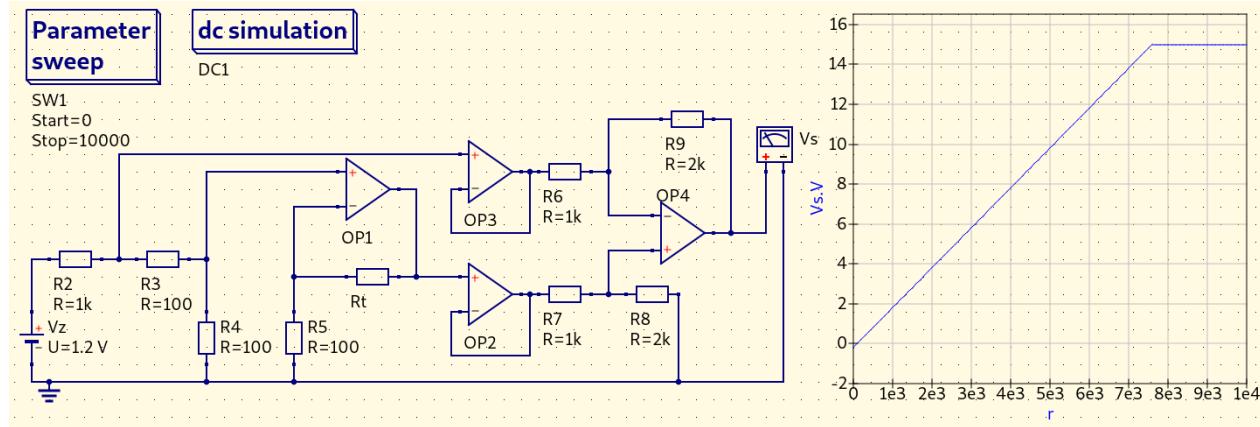
Pour $R_T \geq 7,6k\Omega$, V_s est saturé à $V_{ccmax} = 15V$:

7.2e3	14.2
7.4e3	14.6
7.6e3	15
7.8e3	15

Pour $R_T \leq 100\Omega$, $V_s < 0V$:



Caractéristique de transfert :



La tension de sortie est négative pour les premières valeurs de R_T et est saturée à 15 V lorsque R_T est supérieure à $7,6k\Omega$.

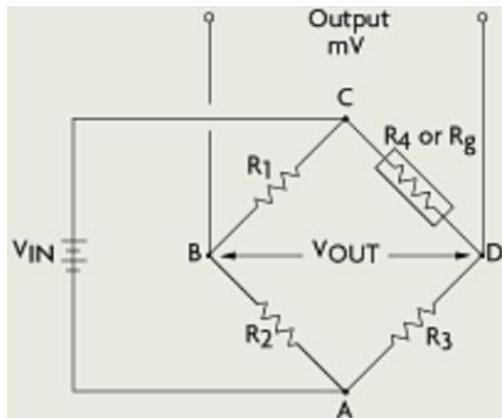
19 Pont de Wheatstone : conditionnement de la jauge de contrainte (10 février 2020)

Montrer que

$$V_O = V_I \left[\frac{R_3}{R_3 + R_g} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right]$$

et que, à $V_O = 0\text{V}$,

$$\frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_3}$$



19.1 Démonstration

$$V_D = V_I \frac{R_g}{R_3 + R_g}$$

$$V_B = V_I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_O = V_D - V_B$$

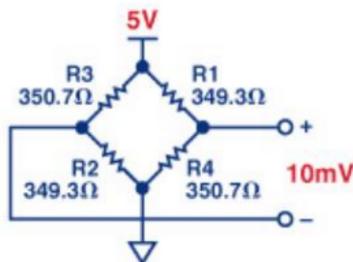
$$V_O = V_I \left[\frac{R_3}{R_3 + R_g} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right]$$

$$\begin{aligned}V_I \left[\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] &= 0 \\ \frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} &= 0 \\ R_3(R_1 + R_2) - R_2(R_3 + R_4) &= 0 \\ R_3R_1 + R_3R_2 - R_2R_3 - R_2R_4 &= 0 \\ R_3R_1 - R_2R_4 &= 0 \\ R_3R_1 = R_2R_4 \\ \frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_3}\end{aligned}$$

20 Capteurs de force (10 février 2020)

Sur base du document doc3-Force-guide.pdf, répondre aux questions suivantes :

1. Définir un capteur de force
2. Comparer charge nominale et force de travail admissible
 - 2.1. Comparer répétabilité et reproductibilité
 - 2.2. Comparer linéarité et hystérésis
 - 2.3. Définir la dérive thermique
3. Jauge de contrainte
 - 3.1. De quoi se compose une jauge de contrainte ? Comment l'utilise-t-on ?
 - 3.2. Permet-elle de travailler en compression et en traction ?
 - 3.3. Quelles sont les précisions atteintes ?
 - 3.4. Quelle est la gamme des forces mesurables ?
 - 3.5. Que se passe-t-il si le capteur passe en déformation plastique irréversible ?
4. La tension renseignée dans le schéma ci-dessous est-elle correcte ?



- 4.1. Faut-il utiliser un câble blindé pour raccorder le capteur ? Pourquoi ?
- 4.2. Comment se comporte la résistance d'une jauge de contrainte si on l'étire ? Existe-t-il une direction privilégiée sur le capteur pour la mesure d'une force ?
5. Quel est le but du conditionneur associé au capteur ? Donner 3 exemples
6. Un capteur MS0x-5KN, 5mV/V est alimenté en 12V. Quelle est la force mesurée, si la tension délivrée par le capteur est de 30mV ?
 - 6.1. Comment vérifie-t-on le bon fonctionnement du pont de Wheatstone ?
7. Sur le site du constructeur
 - 7.1. Comment peut-on choisir son capteur sur un axe dynamométrique ?
 - 7.2. Donner la signification de IP65, IP67, IP68 ?

7.3. Expliquer les données de la figure suivante



20.1 Définir un capteur de force

Un capteur de force mesure une force en transformant un effort mécanique en un signal électrique proportionnel à cet effort.

20.2 Comparer charge nominale et force de travail admissible

La charge nominale est la force maximale que puisse mesurer le capteur (sans perte de données et sans détériorer le capteur). La force de travail admissible est la force maximale qui puisse être appliquée temporairement au capteur sans dérives permanentes (garantit seulement la non détérioration du capteur, pas la donnée). La force de travail admissible s'exprime en pourcentage de la charge nominale.

20.2.1 Comparer répétabilité et reproductibilité

La répétabilité est la différence maximale du signal pour des mesures effectuées dans des conditions similaires (le capteur est gardé dans la même position et l'environnement est le même). La reproductibilité désigne la différence maximale du signal dans des conditions différentes (l'environnement reste le même mais pas la position du capteur). La répétabilité et la reproductibilité sont exprimées en pourcentage du signal nominal.

20.2.2 Comparer linéarité et hystérésis

La linéarité désigne l'écart maximal du signal par rapport à la droite idéale (qui passe par zéro). L'hystérésis désigne la différence maximale du signal pour une même force entre la valeur lire en augmentant la force et

la valeur lue en la diminuant la force. La linéarité et l'hystérésis sont exprimées en pourcentage du signal nominal.

20.2.3 Définir la dérive thermique

La dérive thermique désigne la variation du signal pour une même force lorsqu'on fait varier la température. Elle est exprimée en pourcentage de la charge nominale par degré Celsius.

20.3 Jauge de contrainte

20.3.1 De quoi se compose une jauge de contrainte ? Comment l'utilise-t-on ?

Une jauge de contrainte se compose d'un composant résistif gravé sur une "feuille" souple collée sur le corps du capteur. La valeur ohmique du composant résistif est modifiée lorsque la feuille est soumise à une compression ou à un étirement. Le capteur se compose de 4 (ou d'un multiple de 4) jauge de contraintes montées en pont de Wheatstone.

20.3.2 Permet-elle de travailler en compression et en traction ?

Oui

20.3.3 Quelles sont les précisions atteintes ?

$\pm 0,1\%$ et $\pm 0,05\%$

20.3.4 Quelle est la gamme des forces mesurables ?

De quelques N à plusieurs MN

20.3.5 Que se passe-t-il si le capteur passe en déformation plastique irréversible ?

Les jauge de contrainte ne peuvent plus revenir à leur état initial lorsqu'il n'est plus soumis à une force. Le capteur n'est plus calibré correctement : le signal est décalé et peut continuer à se décaler même sans que le capteur soit encore soumis à une force dépassant la force de travail admissible. Le capteur ne peut donc pas être recalibré : il peut être jeté.

20.4 La tension renseignée dans le schéma est-elle correcte ?

$$\begin{aligned} V_s &= V_e \left(\frac{R_4}{R_1 + R_4} - \frac{R_2}{R_2 + R_3} \right) \\ V_s &= 5 \left(\frac{350.7 - 349.3}{700} \right) \\ V_s &= 10 \text{ mV} \end{aligned}$$

20.4.1 Faut-il utiliser un câble blindé pour raccorder le capteur ? Pourquoi ?

Oui car les signaux de sortie sont très faibles (variations de quelques millivolts).

20.4.2 Comment se comporte la résistance d'une jauge de contrainte si on l'étire ? Existe-t-il une direction privilégiée sur le capteur pour la mesure d'une force ?

Un axe standard mesure une force dans une seule direction. Cette direction doit être respectée pour éviter les erreurs de mesure (ou éventuellement l'endommagement du capteur).

20.5 Quel est le but du conditionneur associé au capteur ? Donner 3 exemples

Le but est d'amplifier et de filtrer le signal du capteur qui est très faible ainsi que de fournir une alimentation très stable au capteur.

Exemples :

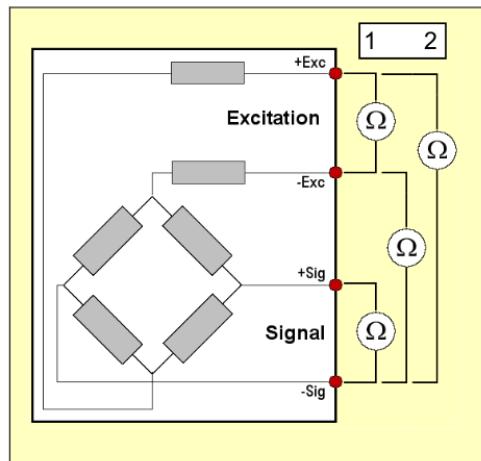
- Transmetteur analogique à sortie analogie ou numérique : le signal est modifié et transmis.
- Afficheur : le signal est affiché et peut aussi être transmis.
- Centrale d'acquisition : permet de rassembler plusieurs signaux pour le contrôle de process (ces signaux peuvent aussi être enregistrés sur carte SD).

20.6 Un capteur MS0x-5KN, 5mV/V est alimenté en 12V. Quelle est la force mesurée, si la tension délivrée par le capteur est de 30 mV ?

2,5 kN

20.6.1 Comment vérifie-t-on le bon fonctionnement du pont de Wheatstone ?

Les résistances entre les différentes sorties comme sur le schéma suivant sont mesurées avec un ohmmètre et comparées aux valeurs données sur la datasheet du capteur.



20.7 Sur le site du constructeur

20.7.1 Comment peut-on choisir son capteur sur un axe dynamométrique ?

Les capteurs de force sur un axe dynamométrique se trouvent ici :
<https://fr.scaime.com/axes-dynamometriques-force>.

Les capteurs peuvent être choisis en fonction de leur catégorie (mesure de force ou pesage), leur capacité de pesage (<50kg, 50kg-500kg, 500kg-5t, 5t-100t), leur charge nominale (0,5 à 2 kN, 1 à 5 kN, ..., jusqu'à 500 à 1 000 kN), leur indice de protection (IP65, IP66, IP67, IP68), leur signal de sortie (4/20mA, 0/10V, mV/V).

20.7.2 Donner la signification de IP65, IP67, IP68 ?

L'indice de protection est une norme d'étanchéité (EN 60529) qui s'écrit IPxx (pour Indice de Protection suivi de deux chiffres). Le premier chiffre représente l'étanchéité aux corps solides (de 0, aucune protection, à 6, protection contre les poussières) et le second l'étanchéité aux corps liquides (de 0, aucune protection, à 8, protection contre l'immersion pendant une heure et au-delà d'un mètre).

- IP65 = protégé totalement contre les poussières et contre les jets d'eau dans toutes les directions.
- IP67 = protégé totalement contre les poussières et contre les effets d'une immersion à moins d'un mètre.
- IP68 = protégé totalement contre les poussières et contre les effets d'une immersion à plus d'un mètre et dans des conditions spécifiques.

20.7.3 Expliquer les données de la figure suivante : capteur de pesage DVX-D



Capteur de pesage numérique inox - Dosage, 15kg ... 75kg Il s'agit d'un capteur de pesage qui peut peser jusqu'à 15, 30 ou 75kg en fonction du modèle. Il est utilisé pour le dosage. Ce capteur renvoie un signal numérique.

Capteur de poids numérique pour le contrôle de processus de pesage et dosage à haute vitesse
C'est le domaine d'application du capteur.

Peson en acier inoxydable, soudé hermétiquement IP69K Le capteur est totalement étanche aux poussières et aux liquides. L'IP69K est un indice de protection spécial créé par la norme allemande DIN 40050-9 (puis repris par la norme ISO 20653) pour les équipements qui nécessitent un nettoyage fréquent et intensif : le respect de cette norme garantit l'étanchéité du capteur aux nettoyages à haute pression et à la vapeur.

Plateau de balance admissible jusqu'à 400 x 400 mm Il est possible d'utiliser un plateau de balance jusqu'à 40 sur 40cm (à prendre en compte selon la taille de ce qui doit être pesé).

Capacités de pesage : 15, 30, 75 kg Selon le modèle, ce capteur peut peser jusqu'à 15, 30 ou 75kg.

Résolution jusqu'à 500 000 pts La résolution indique la plus petite variation de mesure détectable par le capteur. Par exemple, pour la capteur allant jusqu'à 75kg, cette résolution sera de $\frac{75}{500000} = 150\mu\text{g}$.

Certificat de partie d'IPFNA selon OIML R76 et d'IPFA selon OIML R51 et R61 Il s'agit de normes de l'OIML (Organisation Internationale de Métrologie Légale) concernant les appareils IPFNA (instruments de pesage à fonctionnement non automatique) et IPFA (instrument de pesage à fonctionnement automatique).

Fonctions de pesage intégrées : Transmetteur haute vitesse, Dosage en dépesage ou remplissage
Ce capteur numérique intègre des fonctions qui permettent la mesure en dépesage ou en remplissage ainsi qu'une transmission à haute vitesse (ce qui permet de l'utiliser pour le dosage à haute vitesse).

Filtres numériques paramétrables Le capteur contient des filtres dont il est possible de modifier les fréquences filtrées.

2 entrées et 4 sorties logiques Ou entrées/sorties TOR.

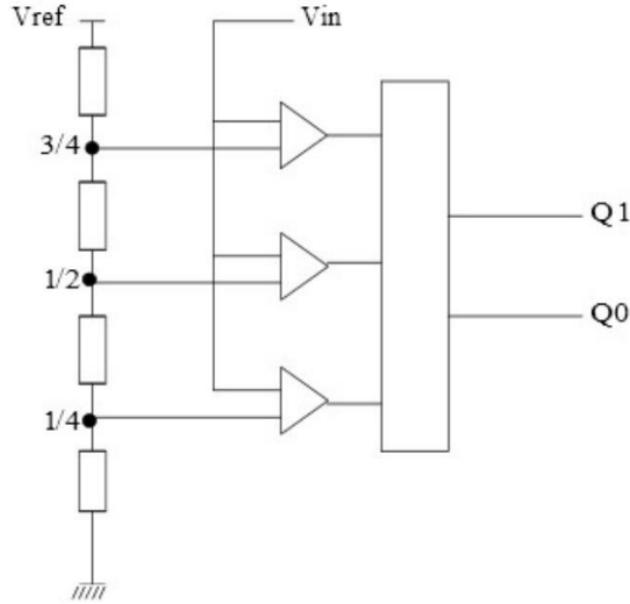
1 sortie RS485 et 1 sortie CAN La norme RS485 (ou EIA-485) définit un mode de communication utilisé en industrie qui permet une communication de type liaison série avec un maximum de 32 appareils, sur une distance allant jusqu'au kilomètre selon la vitesse de transmission. La sortie CAN transmet un signal numérique (convertisseur analogique/numérique).

Protocoles MODBUS-RTU et CANopen Le protocole MODBUS-RTU fonctionne avec les normes RS232, RS422 et RS485 : c'est un protocole qui fonctionne sur le mode maître-esclave où seul le maître est actif et lit et écrit dans chaque esclave. Le protocole CANopen est un protocole de communication en temps réel où un élément maître du réseau coordonne les éléments esclaves. C'est un protocole très rapide qui peut atteindre 1 Mbit/s.

21 Convertisseur flash (17 février 2020)

Pour le CAN ci-dessous, on demande de :

1. Expliquer le fonctionnement du circuit (TV) Q_0, Q_1
2. Donner le mot binaire de sortie Q_1Q_0 si $V_{in} = 7 \text{ V}$ et $V_{ref} = 10 \text{ V}$



21.1 Fonctionnement du circuit

Ce circuit permet de transformer un signal analogique (V_{in}) en signal numérique codé sur deux bits (Q_0 et Q_1). Les trois AOP fonctionnent en comparateur entre V_{in} et V_{ref} divisée par un pont diviseur :

- Pour V_{in} entre 0 et $\frac{1}{4}V_{ref}$: $Q_1Q_0 = 00$
- Pour V_{in} entre $\frac{1}{4}V_{ref}$ et $\frac{1}{2}V_{ref}$: $Q_1Q_0 = 01$
- Pour V_{in} entre $\frac{1}{2}V_{ref}$ et $\frac{3}{4}V_{ref}$: $Q_1Q_0 = 10$
- Pour V_{in} supérieur à $\frac{3}{4}V_{ref}$: $Q_1Q_0 = 11$

21.2 Mot binaire de sortie Q_1Q_0

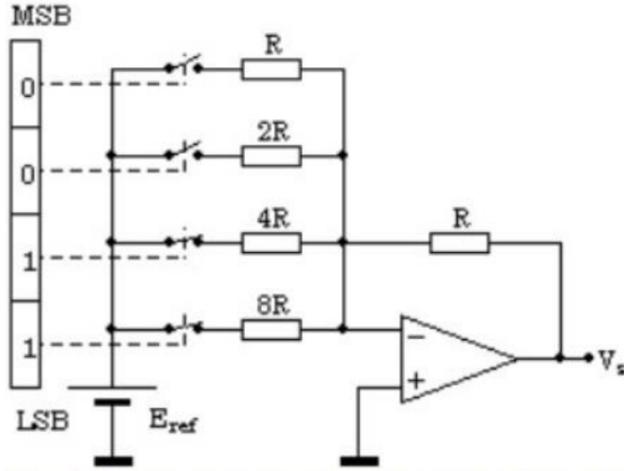
si $V_{in} = 7 \text{ V}$ et $V_{ref} = 10 \text{ V}$

$$\frac{1}{2}V_{ref} < V_{in} < \frac{3}{4}V_{ref} \Rightarrow Q_1Q_0 = 10$$

22 CNA à résistances pondérées (17 février 2020)

Pour le circuit ci-dessous; on demande de

1. Déterminer l'équation de la sortie $V_s = f(ai, V_{ref})$
2. Calculer la tension de sortie si $V_{ref} = 10 \text{ V}$



22.1 Équation de la tension de sortie

L'AOP est monté en sommateur inverseur :

$$V_s = -R \left(\frac{V_{ref}D_0}{8R} + \frac{V_{ref}D_1}{4R} + \frac{V_{ref}D_2}{2R} + \frac{V_{ref}D_3}{R} \right)$$

$$V_s = -\frac{V_{ref}}{8} (D_0 + 2D_1 + 4D_2 + 8D_3)$$

22.2 Calcul de la tension de sortie

avec $V_{ref} = 10 \text{ V}$, $D_0 = 1$, $D_1 = 1$, $D_2 = 0$ et $D_3 = 0$.

$$V_s = -\frac{10}{8} (1 + 2)$$

$$V_s = -3,75 \text{ V}$$

23 Datasheet D-Z76 (2 mars 2020)

Trouver la datasheet du composant D-Z76 et répondre aux questions suivantes :

1. Quelles sont ses caractéristiques ?
2. Peut-on inverser la polarité du capteur ?
3. Est-il compatible avec les PLC ?
4. Donner la constitution interne de ce type de capteur et expliquer son fonctionnement
5. Traduire les termes suivants : lead wire, leakage current, heavy duty, enclosure, insulation resistance, withstand voltage between lead wire and case, internal voltage drop, reed switch, red, brown, blue, black.
6. Où peut on trouver ce capteur dans une ligne de production ?
7. Comment pouvez vous tester le bon fonctionnement de ce capteur sur site?
8. Hors site ?
9. Comparez le D-Z76 avec le D-Z73

23.1 Caractéristiques du D-Z76

Auto Switch Specifications

With Indicator Light		
Auto switch part no.	D-Z73	D-Z76
Electrical entry direction	In-line	
Applicable load	Relay, PLC	IC circuit
Load voltage	24VDC	100VAC
Maximum load current or current range	5 to 40mA	5 to 20mA
Contact protection circuit	None	
Internal voltage drop	2.4V or less	0.8V or less
Indicator light	Red LED lights up when ON	
Without Indicator Light		
Auto switch part no.	D-Z80	
Electrical entry direction	In-line	
Applicable load	Relay, PLC, IC circuit	
Load voltage	24V _{DC} or less	48V _{DC}
Maximum load current	50mA	40mA
Contact protection circuit	None	
Internal resistance	1Ω or less (including lead wire length of 3m)	

- Leakage current..... None
- Operating time..... 1.2ms
- Lead wires..... Heavy duty oil resistant vinyl cord, ø3.4,
0.2mm², 2 wire (Brown, Blue [Red, Black])
3 wire (Brown, Black, Blue [Red, White, Black]), 0.5m*
- Impact resistance..... 300m/S² (30.6G)
- Insulation resistance..... 50MΩ or more at 500VDC (between lead wire & case)
- Withstand voltage..... 1500VAC for 1min. (between lead wire & case)
- Ambient temperature.... – 10 to 60°C
- Enclosure..... IEC529 standard IP67, watertight (JISC0920)

* For a lead wire length of 3m, "L" is shown at the end of the part number. Example) D-Z73L

Application	intégration dans un circuit CI
Tension de charge	8 V DC
Courant de charge max	20 mA
Circuit de protection	aucun
Chute de tension interne	max 0.8 V
Indicateur lumineux	LED rouge (allumée quand le switch est ON)
Courant de fuite	aucun
Temps de réponse	1.2 ms
Câbles de connexion	Hautement résistants ø3.4, 0.2 mm ² , 3 fils (brun/noir/bleu [rouge/blanc/noir]), 0.5m
Résistance aux chocs	300 m/S ² (30.6G)
Résistance d'isolation	50MΩ ou plus à 500 VDC (entre les connections et le boîtier)
Tension nominale	1500 VAC pendant 1 min (entre les connections et le boîtier)
Température de fonctionnement	entre -10 et 60°C
Protection	IP67 (IEC529), étanche (JISC0920)

23.2 Peut-on inverser la polarité du capteur ?

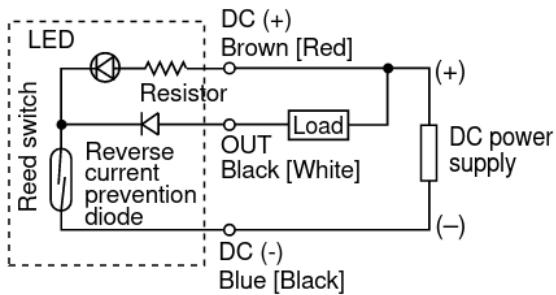
Non, il n'y a aucun circuit de protection.

23.3 Est-il compatible avec les PLC ?

Non, seuls les modèles D-Z73 et D-Z80 sont compatibles avec les PLC (programmable logic controller, automate programmable industriel).

23.4 Donner la constitution interne de ce type de capteur et expliquer son fonctionnement

D-Z76



Ce détecteur se base sur l'effet magnétique : un interrupteur reed NO qui se ferme en présence d'un champs magnétique. L'interrupteur Reed ou ILS (interrupteur à lames souples) est généralement constitué d'une ampoule de verre protectrice contenant une atmosphère non oxydante et deux contacts souples magnétisables et élastiques. En présence d'un champ magnétique, les contacts s'aimantent par influence, et sont attirés l'un par l'autre. Ils se rapprochent et se touchent, établissant le courant. Lorsque le champ magnétique cesse, l'aimantation cesse aussi, et l'élasticité des contacts les écarte, coupant le courant. (source : Wikipédia)

Le détecteur est alimenté en courant continu par les fils brun [rouge] (+) et bleu [noir] (-). La charge doit être connectée entre les fils brun [rouge] et noir [blanc].

Le détecteur est équipé d'une LED qui indique son fonctionnement (quand le switch est fermé, la LED s'allume). Une diode le protège des inversions de courant.

23.5 Traduction des termes techniques

lead wire	fil de connection
leakage current	courant de fuite
heavy duty	très résistant
enclosure	boîtier
insulation resistance	résistance d'isolation
withstand voltage	tension nominale
between lead wire and case	entre les connexions et le boîtier
internal voltage drop	chute de tension interne
reed switch	switch (commutateur) Reed
red, brown, blue, black	rouge, brun, bleu, noir

23.6 Où peut on trouver ce capteur dans une ligne de production ?

Capteurs de fin de course pour les vérins, générateur d'impulsion de comptage, etc.

23.7 Comment pouvez vous tester le bon fonctionnement de ce capteur sur site?

Grâce à la LED qui indique le fonctionnement du capteur.

23.8 Hors site ?

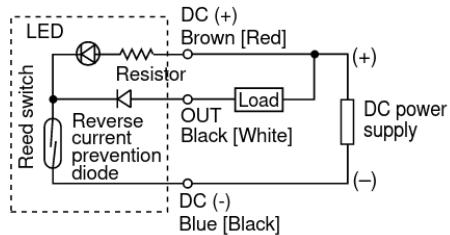
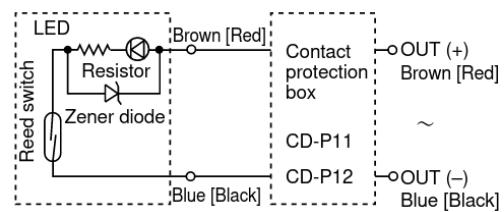
Dans le capteur tel qu'il est, rien ne permet de vérifier son bon fonctionnement sans au minimum un contact visuel.

23.9 Comparez le D-Z76 avec le D-Z73

Les deux détecteurs se distinguent sur les caractéristiques suivantes :

	D-Z73	D-Z76
Application	relais, API	circuit CI
Tension de charge	24VDC / 100VAC	8VDC
Courant de charge max	5 à 40mA / 5 à 20mA	20mA
Chute de tension interne	max 2.4V	max 0.8V
Temps de réponse	1.2 ms	
Câbles de connexion	2 câbles (brun/bleu [rouge/noir])	3 câbles (brun/noir/bleu) [rouge/blanc/noir])

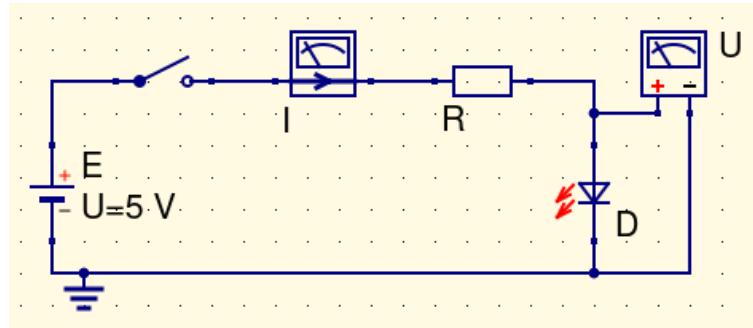
Circuits internes :

D-Z76**D-Z73**

24 Labo 1 : Interface à LED (2 mars 2020)

Pour le schéma suivant :

1. Choisir la résistance R (valeur, P_{max} et tolérance)
2. Vérifier au multimètre R, I et U



24.1 Choix de la résistance

Valeur de R :

$$U_{LED} = 2V \text{ (entre } 1,8V \text{ et } 2,2V\text{)}$$

$$I_{LED} = 20mA \text{ (conseillé entre } 16mA \text{ et } 18mA\text{)}$$

$$U_R = U - U_{LED} = 3V$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3}{17.10^{-3}} = 176,471\Omega$$

La valeur normalisée de résistance s'en rapprochant le plus est 180Ω ($I = 16,667mA$)

Puissance de R :

$$P_{max} = U \cdot I = 3.16,667 \cdot 10^{-3} = 50mW$$

On peut prendre n'importe quelle puissance de résistance, le minimum étant $1/8W$ (ici j'utilise une résistance de $1/4W$).

Tolérance de R :

$$R_{max} = \frac{U_{max}}{I} = \frac{3,2}{16,667 \cdot 10^{-3}} = 192\Omega$$

$$R_{min} = \frac{U_{min}}{I} = \frac{2,8}{16,667 \cdot 10^{-3}} = 168\Omega$$

Pour la résistance choisie de 180Ω :

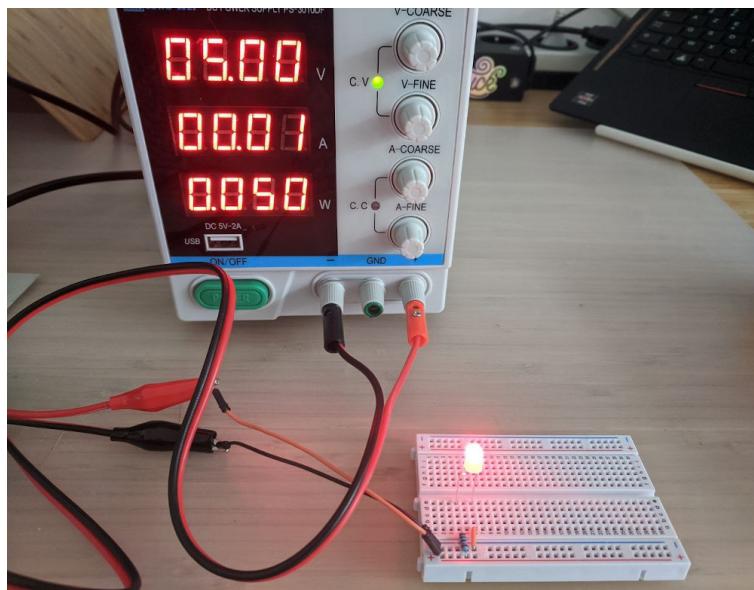
$$\text{Tolérance max} = \frac{100(192-180)}{180} = 6,667\%$$

$$\text{Tolérance min} = \frac{100(180-168)}{180} = 6,667\%$$

Une tolérance de $\pm 5\%$ (ou moins) convient pour ce montage.

24.2 Vérification au multimètre

Montage réalisé :

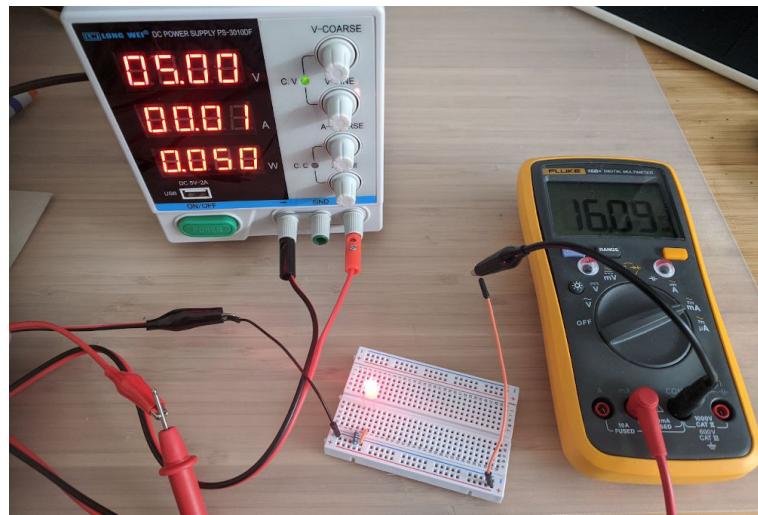


Valeurs mesurées :

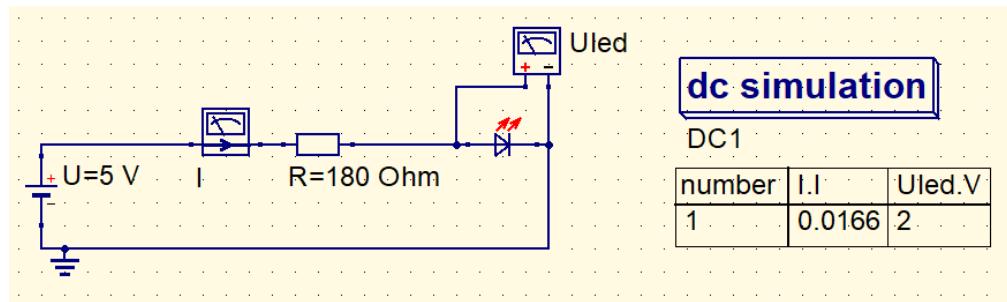
$$U_{LED} = 1,959V$$

$$U_R = 2,915V$$

$$I = 16,09mA \text{ (voir image suivante)}$$



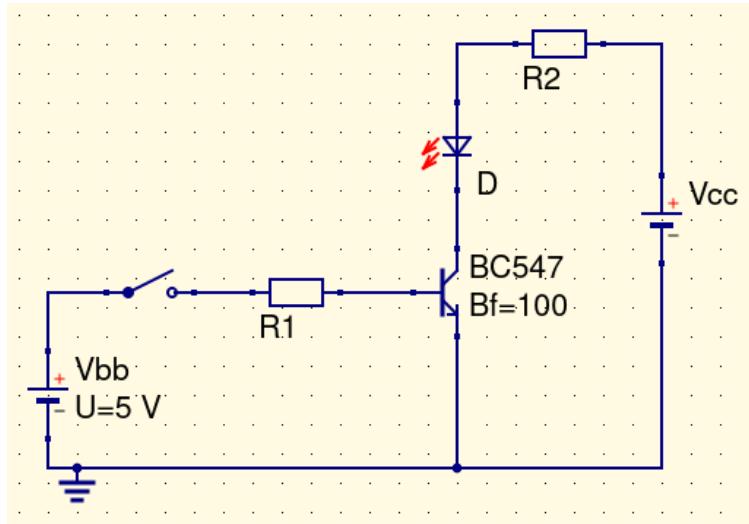
24.3 Vérification avec Qucs



25 Labo 2 : Interface transistor NPN (9 mars 2020)

Pour le schéma suivant :

1. Rechercher sur internet labo2 datasheet du BC547B
2. Déterminer V_{bb} , I_b , R_1 et R_2 si $V_{cc} = 5\text{ V}$
3. Réaliser le montage et mesurer I_c , I_b , U_{LED} et U_{be}



25.1 Datasheet du transistor BC547B

Liens :

<https://www.farnell.com/datasheets/410427.pdf>

https://diotec.com/tl_files/diotec/files/pdf/datasheets/bc546.pdf

$$V_{CEmax} = 45\text{V}$$

$$I_{Cmax} = 100\text{mA}$$

$$P_{max} = 500\text{mW}$$

$$h_{FE} = 200$$

$$V_{CESat} = 0,25\text{V}$$

$$V_{BE} = 0,7\text{V}$$

NB Pour $V_{CE} = 5\text{ V}$ et $I_C = 2\text{ mA}$:

$h_{FE} A$ = entre 110 et 220

$h_{FE} B$ = entre 200 et 450

$h_{FE} C$ = entre 420 et 800

Ici, on est dans le groupe B : le gain minimum est de 200.

25.2 Déterminer V_{cc} , I_b , R_1 et R_2

si $V_{bb} = 5\text{ V}$

$V_{ccmax} = 40\text{ V}$. Ici on utilise $V_{cc} = 5\text{ V}$

$$I_b = \frac{I_c}{h_{FE}} \cdot 2 \text{ (pour être sûr de saturer le transistor)} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{200} = 100\mu\text{A}$$

$$R_2 = \frac{V_{cc} - V_{CEsat} - V_{LED}}{I_{LED}} = \frac{5 - 0.25 - 2}{10 \cdot 10^{-3}} = 275\Omega \approx 270\Omega \text{ (valeur normalisée)}$$

$$R_1 = \frac{V_{bb} - V_{BE}}{I_b} = \frac{5 - 0.7}{10^{-4}} = 43\text{k}\Omega \approx 47\text{k}\Omega \text{ (valeur normalisée)}$$

25.3 Réaliser le montage et mesurer I_c , I_b , U_{LED} et U_{be}

Valeurs mesurées :

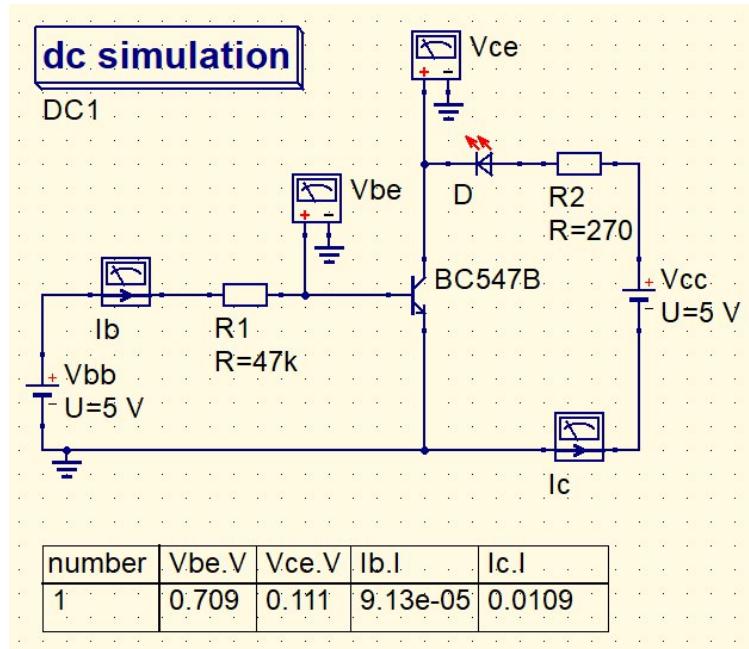
$$V_{BE} = 700\text{ mV}$$

$$V_{CE} = 50\text{ mV}$$

$$I_b = 275\mu\text{A}$$

$$I_c = 6,5\text{ mA}$$

25.4 Vérification avec Qucs

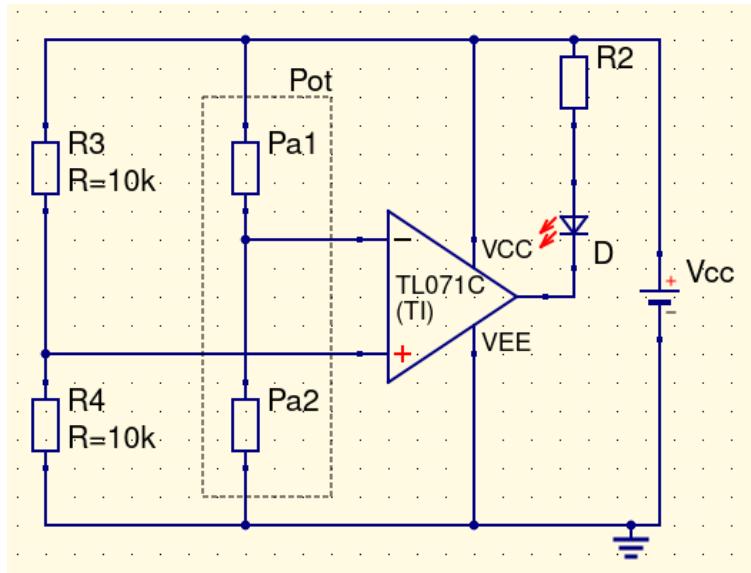


26 Labo 3 : Montage d'un capteur résistif en TOR (9 mars 2020)

Pour le schéma suivant :

1. Choisir V_{cc} , Pot et R_2 (outil : datasheet LM393*)
2. Expliquer le fonctionnement et tracer sa caractéristique de transfert
3. Câbler et tester le circuit sur breadboard

*Pour refaire ce labo, j'ai utilisé un AOP simple TL071



26.1 Choix de V_{cc} , Pot et R_2

$$V_{cc} = 12V$$

$$Pot = 10k\Omega$$

$$R_2 = \frac{V_{cc} - V_D}{I_D} = \frac{12 - 2}{20 \cdot 10^{-3}} = 500\Omega \approx 510\Omega$$

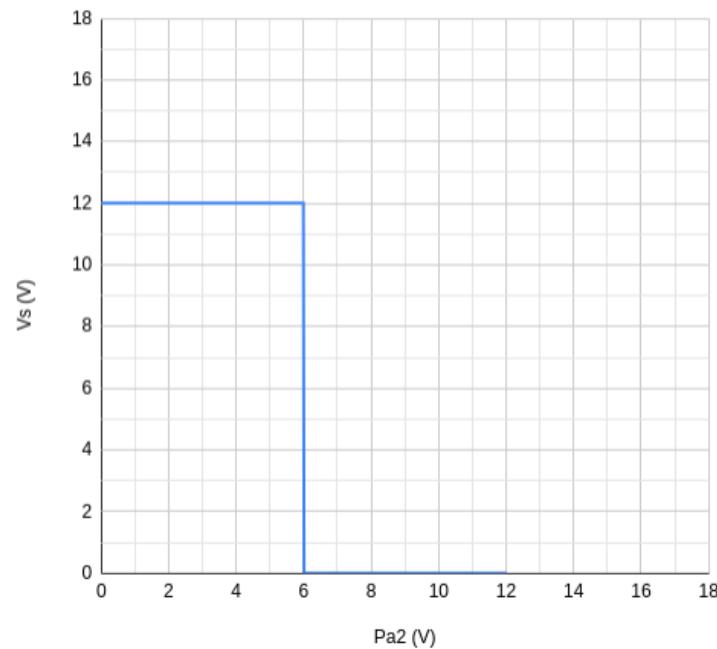
26.2 Fonctionnement du circuit

L'AOP fonctionne en comparateur par rapport à une tension de 6V. Si la tension de sortie du potentiomètre (Pa2) est inférieure, la tension de sortie de l'AOP est à V_{cc} , il n'y a pas de différence de potentiel aux bornes de la LED qui reste éteinte. Si elle est supérieure à 6V, supérieure, la tension de sortie de l'AOP est à 0V, ce qui crée une différence de potentiel aux bornes de la LED et elle s'allume.

Avec le LM393, le circuit ne fonctionne pas en fonctionnement inverse (la LED entre la sortie de l'AOP et la terre) car le circuit de l'AOP se termine avec un transistor qui se retrouve alors connecté à rien. L'avantage de terminer le circuit par un transistor est de pouvoir mettre une autre tension d'alimentation en sortie.

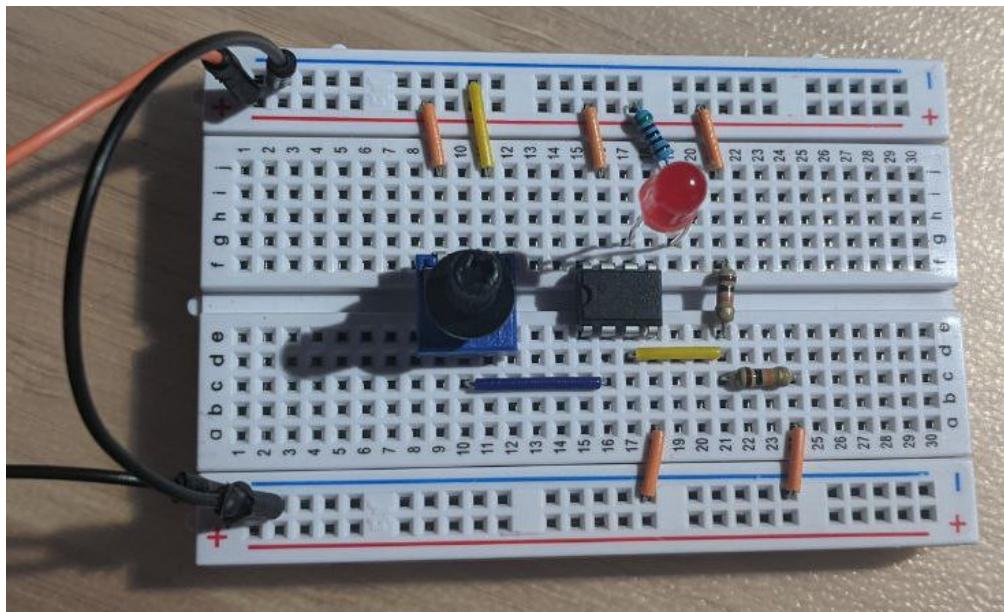
Caractéristique de transfert :

V_s (V) par rapport à P_{a2} (V)

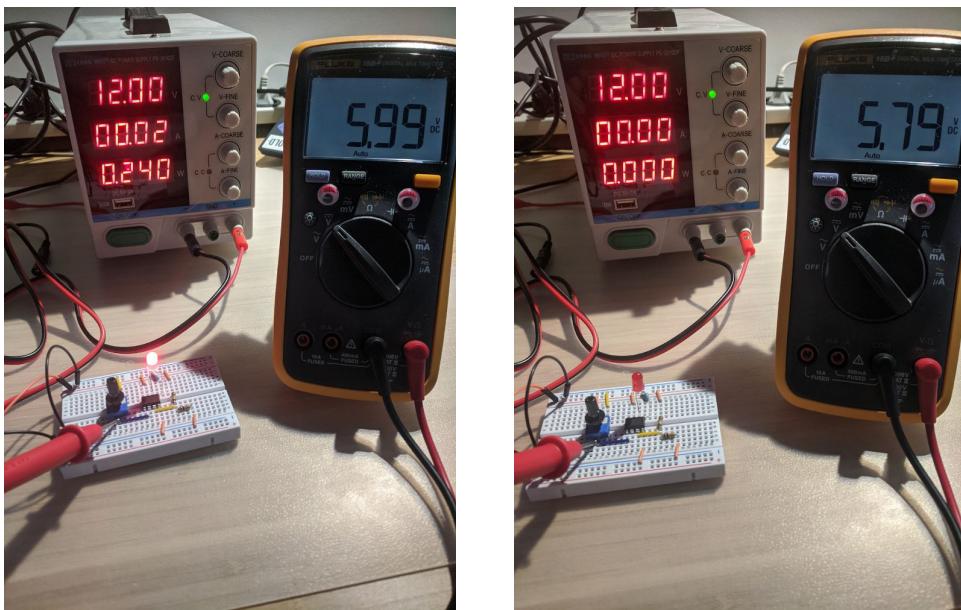


26.3 Câbler et tester le circuit

Montage réalisé :



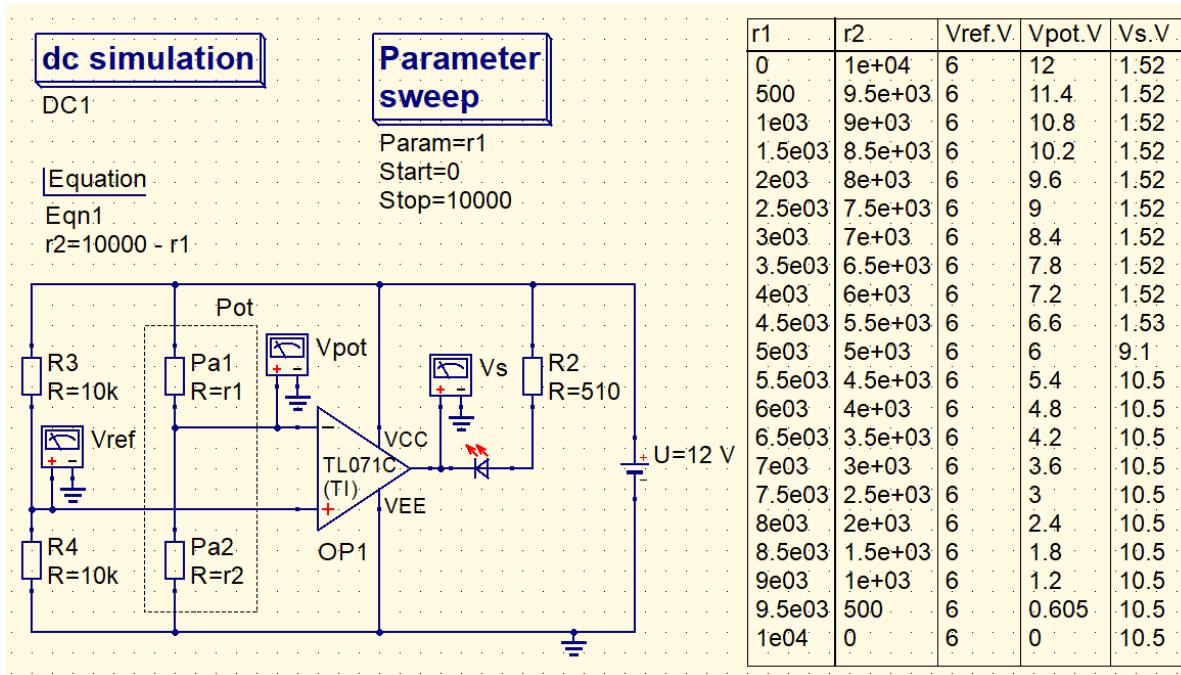
Test :



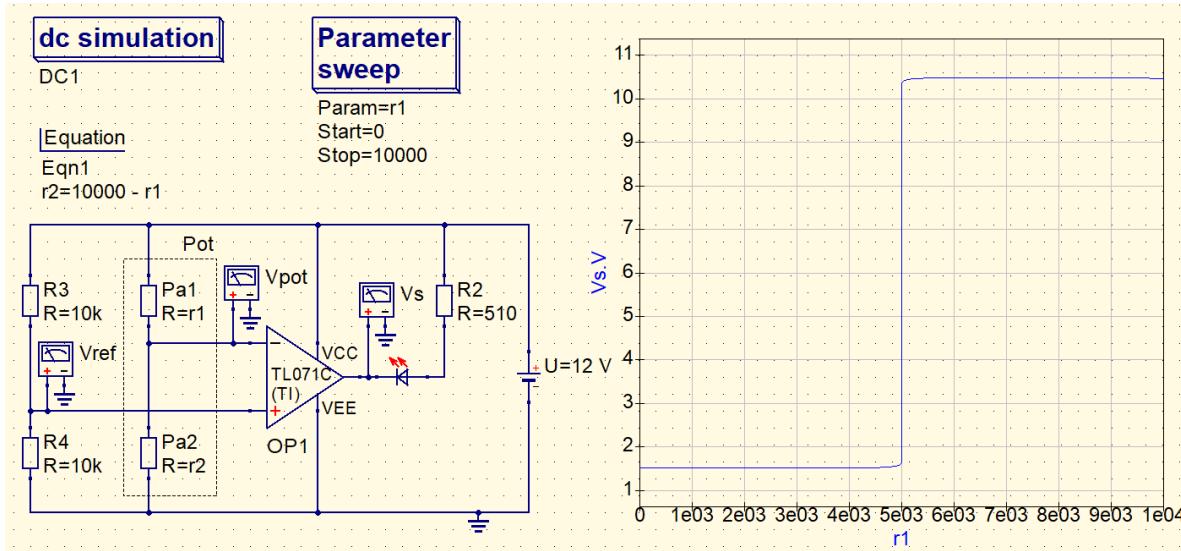
La LED s'allume ou s'éteint lorsque la tension aux bornes du potentiomètre approche les 6V.

26.4 Vérification avec Qucs

Mesure des tensions :

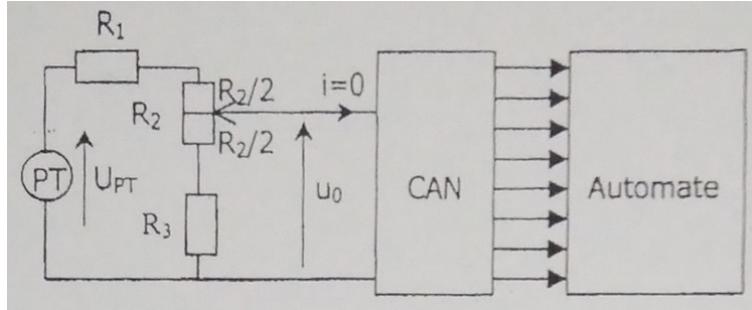


Caractéristique de transfert :



27 CAN exercice 1 : automate pressostat (23 mars 2020)

Afin d'adapter la vitesse de fonctionnement du moteur à la pression P du réseau de sortie, on mesure la pression à l'aide d'un capteur de pression PT monté sur le réseau de sortie d'eau. Le pressostat fournit ensuite une tension continue U_{PT} , image de la pression P.



Le convertisseur analogique-numérique utilisé sera considéré comme ayant une résistance d'entrée infinie d'où $i=0$. Pour le pressostat $U_{PT} = kP$ avec $k = 2,0\text{V bar}^{-1}$; la pression maximale à mesurer est de 10bar.

On donne :

- $R_2 = 1\text{k}\Omega$ et le curseur du potentiomètre est en position médiane.
- $R_3 = 1\text{k}\Omega$.

1. Calculer la valeur à donner à la résistance R_1 , sachant que la tension u_0 appliquée à la carte contrôle du variateur doit être égale à 10V lorsque la pression à mesurer est maximale.
2. Le convertisseur analogique-numérique doit pouvoir convertir une tension u_0 comprise entre 0 et $U_{0max} = 10\text{V}$; la tension u_0 est codée sur $n = 8$ bits; on définit la résolution $r = U_{0max}/2^n$. Calculer r et en déduire la plus petite valeur de la pression que l'on peut mesurer.
3. La pression P sur le réseau de sortie d'eau est fixé à 6bar. Quel sera le mot binaire qui codera la tension u_0 correspondante ?

27.1 Calculer la valeur de R_1

sachant que $u_0 = 10\text{V}$ lorsque la pression à mesurer est maximale.

$$U_{PTmax} = f.P_{max} = 2.10 = 20\text{V}$$

Puisque $u_{0max} = 10\text{V}$, il faut diviser la tension U_{PT} par 2 :

$$\begin{aligned} R_1 + \frac{R_2}{2} &= \frac{R_2}{2} + R_3 \\ R_1 &= R_3 = 1\text{k}\Omega \end{aligned}$$

27.2 Calculer r et en déduire la plus petite valeur de la pression que l'on peut mesurer

sachant que $0 < u_0 < 10V$, que u_0 est codée sur $n = 8$ bits et que la résolution $r = U_{0max}/2^n$.

$$r = \frac{U_{0max}}{2^n - 1} = \frac{10}{2^8 - 1} = 39,216\text{mV}$$

Puisque la tension $U_{0max} = 10V$ correspond à une pression mesurée $P_{max} = 10\text{bar}$, dispositif de mesure avance par pas de $39,216\text{mbar}$.

27.3 Quel sera le mot binaire qui codera la tension u_0 correspondant à une pression P de 6bar ?

$$\frac{P}{r} = \frac{6}{39,216 \cdot 10^{-3}} = 153_{dec} = 1001\ 1001_{bin} = 99_{hex}$$

28 CAN exercice 2 : masse d'une essoreuse (23 mars 2020)

La masse d'une essoreuse est mesurée par un système de pesage analogique délivrant un signal 4-20mA pour une masse variant de 0 à 4000kg. La conversion est effectuée par un convertisseur 14bits en code binaire naturel.

1. donner la résolution (en masse) du convertisseur
2. à quelle combinaison en hexadécimal correspond une masse de 400kg?
3. à quel courant correspond cette masse ?

28.1 Résolution du convertisseur

$$r = \frac{m_{max} - m_{min}}{2^{nbits} - 1} = \frac{4000 - 0}{2^{14} - 1} = 244,156g$$

28.2 Mot hexadécimal correspondant à une masse de 400kg

400kg correspond à $\frac{400}{4000} (2^{14} - 1) = 1638_{dec} = 11001100110_{bin} = 666_{hex}$

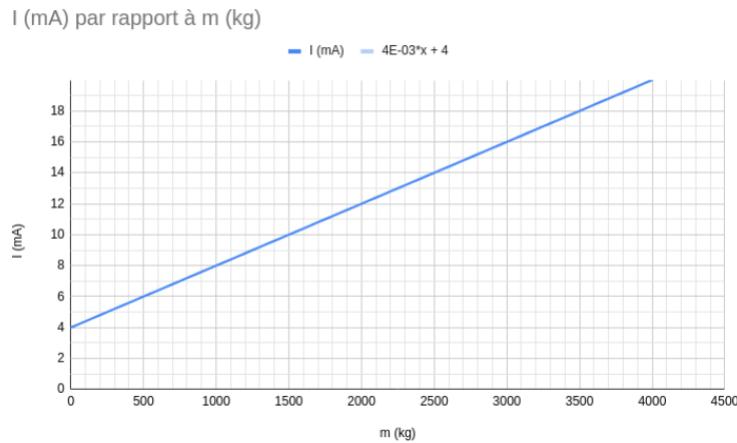
28.3 Courant correspondant à une masse de 400kg

$$I_{400} = m \frac{(I_{max} - I_{min})}{m_{max} - m_{min}} + offset = 400 \frac{(20 - 4).10^{-3}}{4000 - 0} + 4.10^{-3} = 5,6mA$$

L'équation pour trouver le courant de sortie en fonction de la masse pesée est :

$$\begin{aligned} i &= m \frac{(20 - 4).10^{-3}}{4000} + 4.10^{-3} \\ i &= 4m.10^{-6} + 4.10^{-3} \end{aligned}$$

Caractéristique de transfert :



29 Choix d'une carte d'acquisition et de restitution des données (23 mars 2020)

On considère une application industrielle à instrumenter. Cette application est caractérisée par ses entrées/sorties au niveau des capteurs et des actionneurs utilisés. Soit :

- 2 actionneurs tout ou rien avec un temps de réponse de 20ms
- un actionneur à commande spécifié par :
 - fréquence maximale de restitution : 3kHz
 - variation de la tension à fourni : de -5V à +5V
 - précision de la tension de commande : 5mV
- un premier capteur spécifié par :
 - fréquence maximale d'acquisition : 100Hz
 - variation de la tension fournie par le capteur : 0 à 10mV
 - précision de mesure : 10µV
- un deuxième capteur spécifié par :
 - fréquence maximale d'acquisition : 10kHz
 - variation de la tension fournie par le capteur : 0 à 1V
 - précision de mesure : 5mV

Choisir la carte la plus adaptée à cette application parmi les suivantes :

Caractéristiques Référence de la carte	A	B	C	D	E
• Entrées analogiques :					
– nombre d'entrées analogiques	16	8	8	4	8
– fréquence d'échantillonnage	85 kHz	42 kHz	100 kHz	55 kHz	60 kHz
– résolution (bits)	16	12	8	12	12
– tensions d'entrées (V)	[0, 10]	[0, 10]	[0, 10] & [-5, 5]	[0, 10]	[0, 10] & [-5, 5]
– gains programmables	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
• Sorties analogiques :					
– nombre de sorties analogiques	16	8	8	4	8
– résolution (bits)	16	12	8	12	12
– tensions de sorties (V)	[0, 10] & [-5, 5]	[0, 10] & [-5, 5]	[-5, + 5]	[-5, + 5]	[0, 10]
• Entrées/sorties numériques :	0	8	4	16	2

Réponse

La carte B est la seule à répondre à tous les critères.

La carte A est éliminée car elle n'a pas d'entrée TOR alors qu'il en faut 2 (en pratique, les entrées analogiques peuvent être utilisées en TOR et la carte A pourrait aussi être gardée).

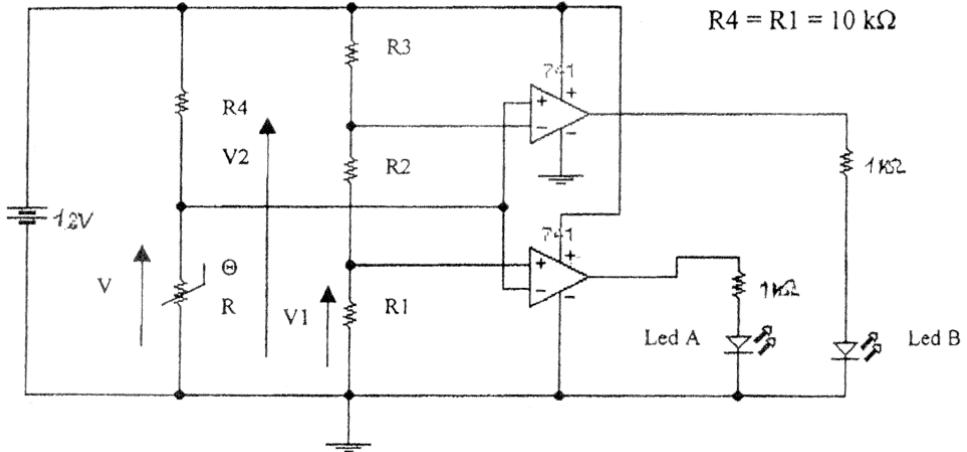
La carte E est éliminée car ses sorties analogiques ne permettent pas de fournir une tension allant de -5V à 5V : sa tension de sortie est de 0 à 10V alors que l'actionneur a besoin d'une tension entre -5 et 5V.

La carte D est éliminée car il faudrait un gain de 10^3 pour passer des 0 à 10mV fournis par le capteur 1 aux 0 à 10V en entrée de la carte. Or, le gain programmable de la carte ne va que jusque 10^2 .

La carte C est éliminée car elle n'offre pas une résolution suffisante pour le capteur 1. Le capteur 1 fournit un signal de 0 à 10mV et sa précision doit être de 10µV : son nombre de pas minimum doit être de $\frac{(10-0).10^{-3}}{10.10^{-6}} + 1 = 1001$. Sa résolution minimale devrait être de 10bits ($2^{10} = 1024$ valeurs). Or, la carte C n'offre qu'une résolution de 8bits.

30 Labo 4 : Commande d'un four (30 mars 2020)

On désire visualiser à l'aide de deux LEDs la température d'un four par rapport à deux températures limites $\Theta_a = 180^\circ\text{C}$ et $\Theta_b = 200^\circ\text{C}$. La température du four est captée par une résistance à coefficient de température négatif : $R = 30\text{k}\Omega$ à 180°C et $R = 10\text{k}\Omega$ à 200°C .



Déterminer les valeurs de

1. V_a , V_b et V pour Θ_a et Θ_b
2. R_2 et R_3 pour obtenir $V_1 = V_b$ et $V_2 = V_a$
3. Déterminer quand les LEDs sont allumées et éteintes
4. Tracer la caractéristique de transfert de la CTN
5. Tracer le schéma adapté sous Qucs
6. Réaliser et tester le montage sur breadboard en ajoutant la carte relais sur une des sorties

30.1 Déterminer V_a , V_b et V pour Θ_a et Θ_b

Déterminer V_a pour $\Theta_a = 180^\circ\text{C}$:

$$V_a = \frac{V_e \cdot R_a}{R_a + R_4} = \frac{12 \cdot 30 \cdot 10^3}{(30 + 10) \cdot 10^3} = 9\text{V}$$

Déterminer V_b pour $\Theta_b = 200^\circ\text{C}$:

$$V_b = \frac{V_e \cdot R_b}{R_b + R_4} = \frac{12 \cdot 10 \cdot 10^3}{(10 + 10) \cdot 10^3} = 6\text{V}$$

30.2 Déterminer R_2 et R_3 pour obtenir $V_1 = V_b$ et $V_2 = V_a$

Pour que $V_1 = V_b$, il faut un diviseur de tension par 2 entre R_1 et $R_{23} = R_2 + R_3$:

$$\begin{aligned}R_2 + R_3 &= R_1 = 10^4 \\R_2 &= 10^4 - R_3\end{aligned}$$

Pour que $V_2 = V_a$, il faut un diviseur de tension $\frac{1}{4} / \frac{3}{4}$ entre R_3 et $R_{12} = R_1 + R_2$

$$\begin{aligned}3R_3 &= R_1 + R_2 \\3R_3 &= 10^4 + 10^4 - R_3 \\4R_3 &= 2 \cdot 10^4 \\R_3 &= 5 \cdot 10^3 = 5k\Omega \\\Rightarrow R_2 &= 10^4 - 5 \cdot 10^3 = 5k\Omega\end{aligned}$$

30.3 Déterminer quand les LEDs sont allumées et éteintes

Quand $\Theta < \Theta_a = 180^\circ\text{C}$:

$V > V_1 \rightarrow$ la sortie de l'AOP1 (du dessus) est à 12V, une différence de potentiel apparaît aux bornes de la LED B qui s'allume alors.

$V_1 < V \rightarrow$ la sortie de l'AOP2 (du dessous) est à 0V, il n'y a pas de différence de potentiel aux bornes de la LED A qui reste éteinte.

Quand $\Theta > \Theta_b = 200^\circ\text{C}$:

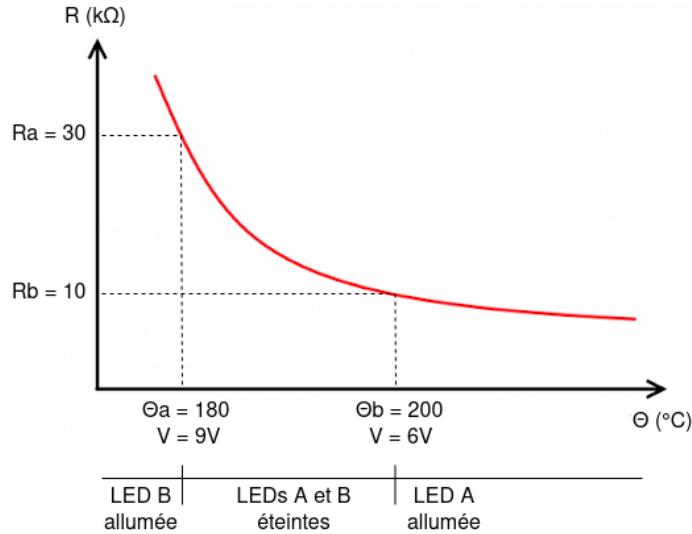
$V_2 < V \rightarrow$ la sortie de l'AOP2 est à 12V et la LED A s'allume.

$V_1 > V \rightarrow$ la sortie de l'AOP1 est à 0V et la LED B reste éteinte.

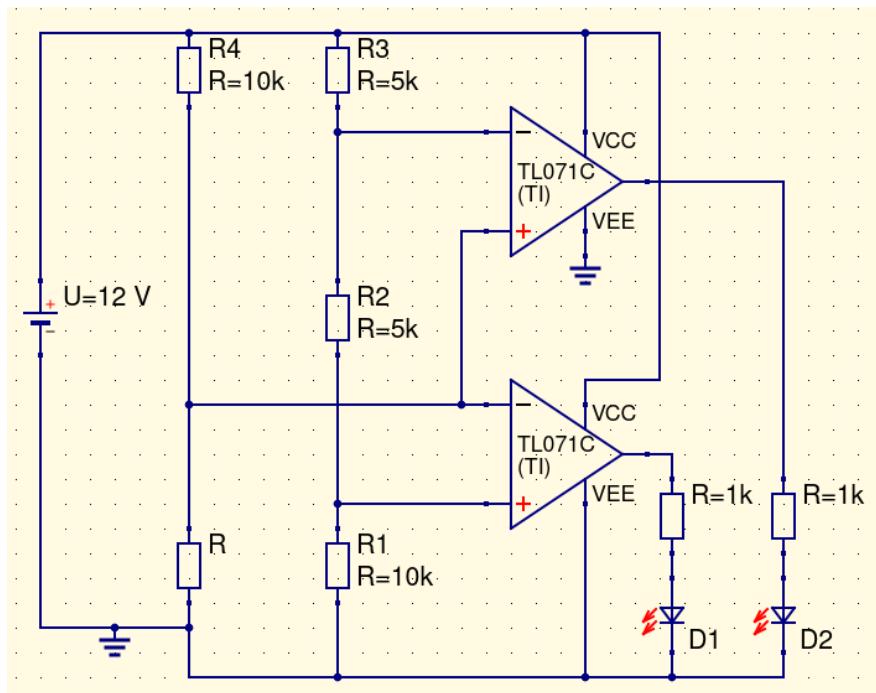
Quand $\Theta_a < \Theta < \Theta_b = 200^\circ\text{C}$: les deux LEDs sont éteintes.

30.4 Caractéristique de transfert

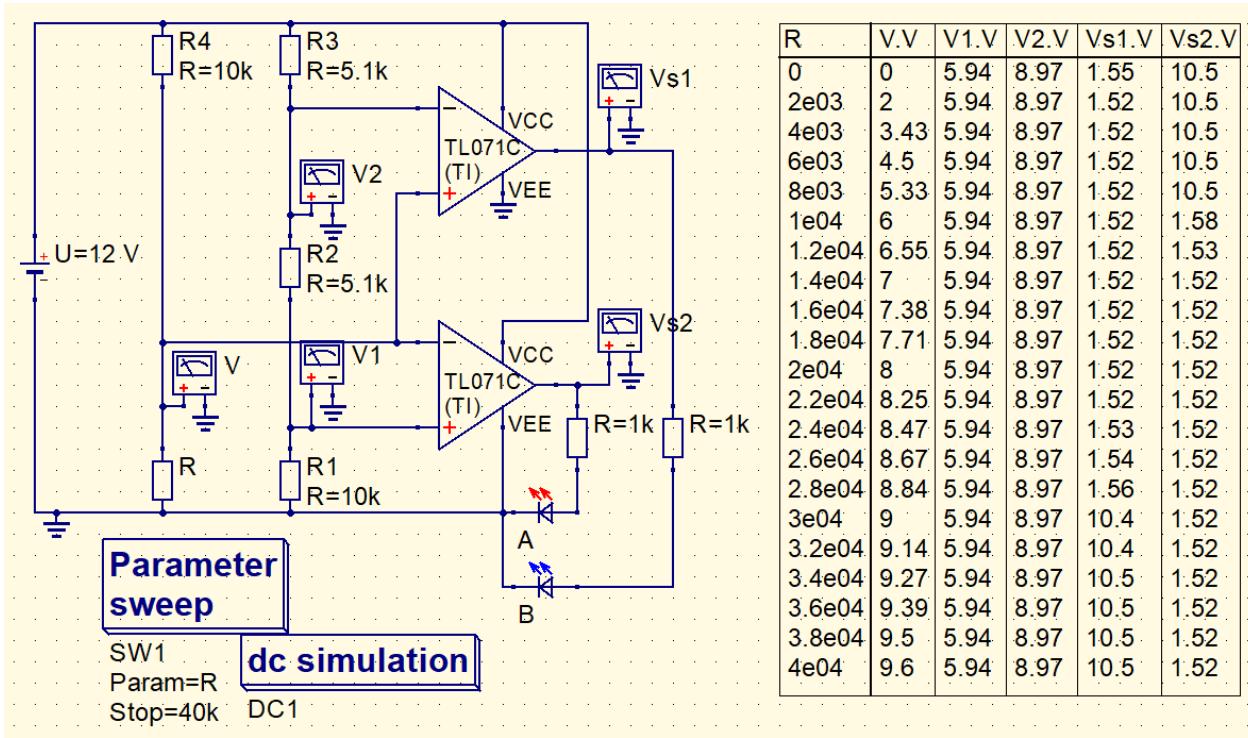
La CTN n'est pas linéaire :



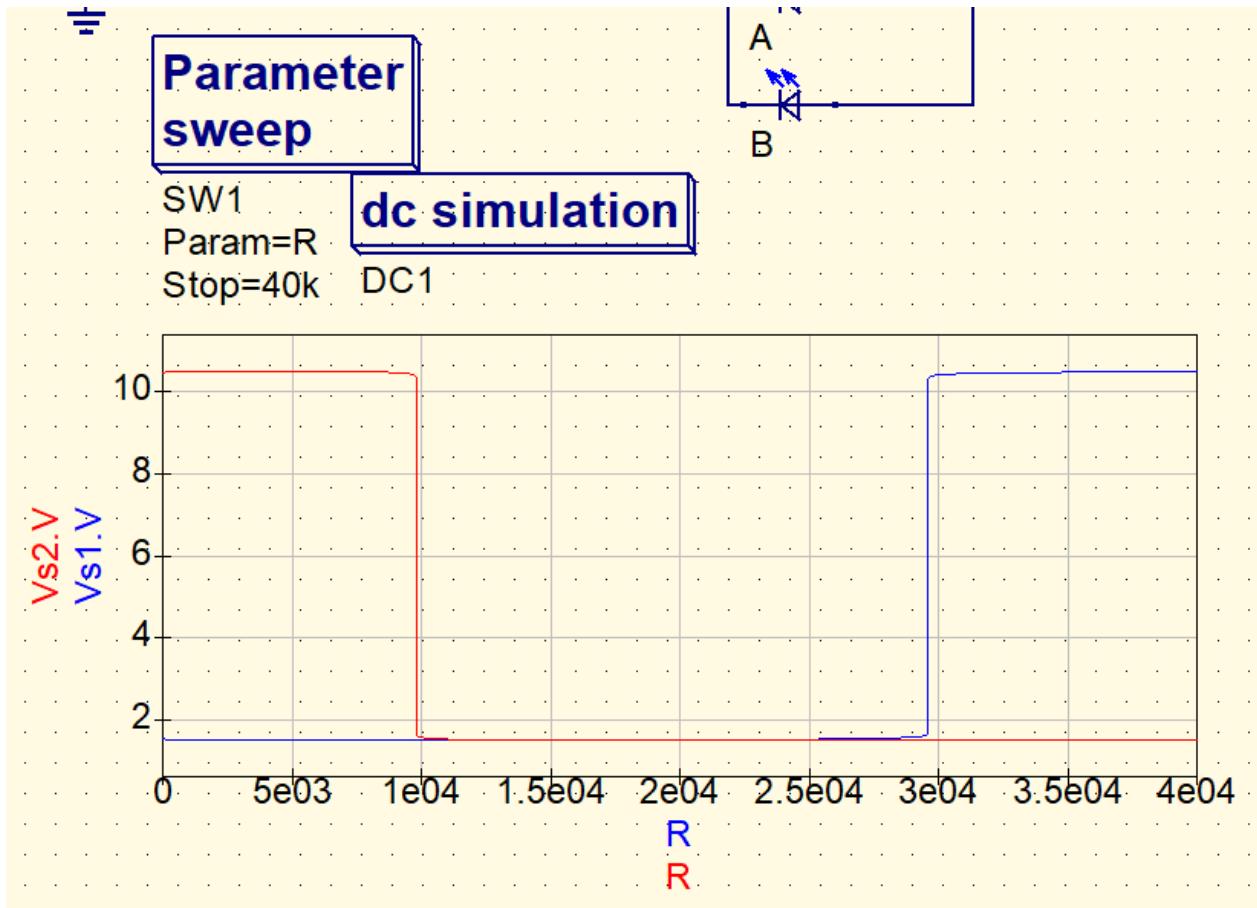
30.5 Tracer le schéma adapté sous Qucs



Vérification des tensions ($R_2 = R_3 = 5, 1\text{k}\Omega$):



Caractéristiques de transfert des tensions de sortie des deux AOP :



30.6 Réaliser et tester le montage sur breadboard en ajoutant la carte relais sur une des sorties

Pour réaliser ce labo, j'utilise un AOP double TL072, je n'ai donc pas de problème pour connecter les LEDs entre la sortie des AOP et la masse comme ce serait le cas avec le LM393 qui se termine sur un transistor en collecteur ouvert.

La LED B est une LED bleue : elle s'allume quand le four est trop froid, i.e. en-dessous de 180 °C. La LED A est une rouge : elle s'allume quand le four est trop chaud, i.e. au-dessus de 200 °C.

N'ayant pas de résistance variable, j'ai testé le circuit avec différentes valeurs de résistances : 0Ω, 5,1kΩ, 9,1kΩ, 10kΩ, 22kΩ, 27kΩ et 30kΩ.

Pour le test avec le relai, j'ai baissé la tension d'alimentation du circuit à 5V, sachant que j'aurais aussi pu n'alimenter que l'AOP en 5V et garder le reste du circuit alimenté en 12V.

Montage réalisé (R = fil blanc) :

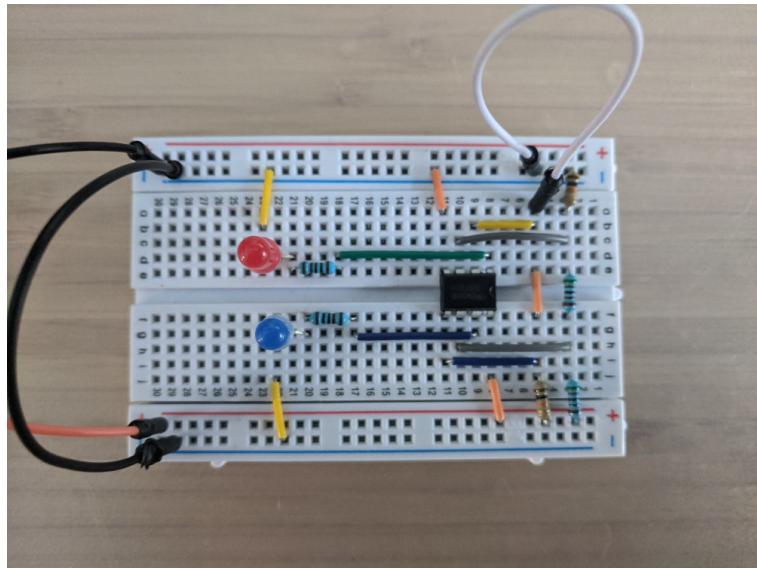
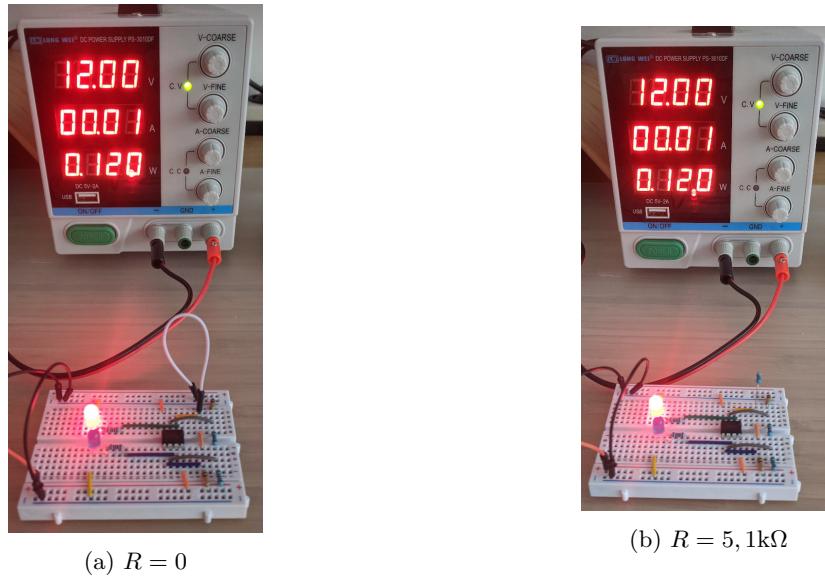
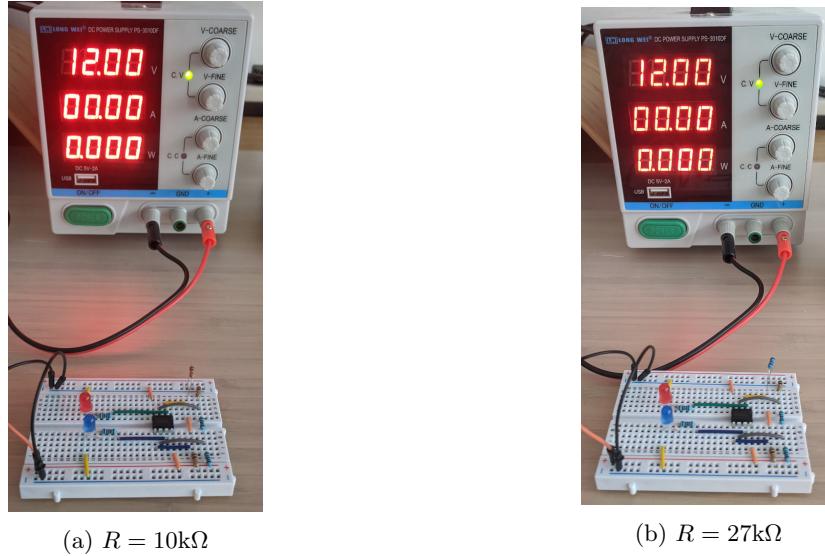


Figure 2: Montage réalisé

LED rouge allumée (pour R jusqu'à 9,1k Ω) :

Figure 3: LED rouge allumée pour $R < 10\text{k}\Omega$

LEDs rouge et bleue éteintes (pour \mathbf{R} entre 10 et $30\text{k}\Omega$) :

Figure 4: LEDs éteintes pour $10\text{k}\Omega \leq R < 30\text{k}\Omega$

LED bleue allumée (pour \mathbf{R} au-dessus de $30\text{k}\Omega$) :

(a) $R = 30\text{k}\Omega$ Figure 5: LED bleue allumée pour $R \geq 30\text{k}\Omega$

Vérification des tensions (pour $R = 22\text{k}\Omega$) :

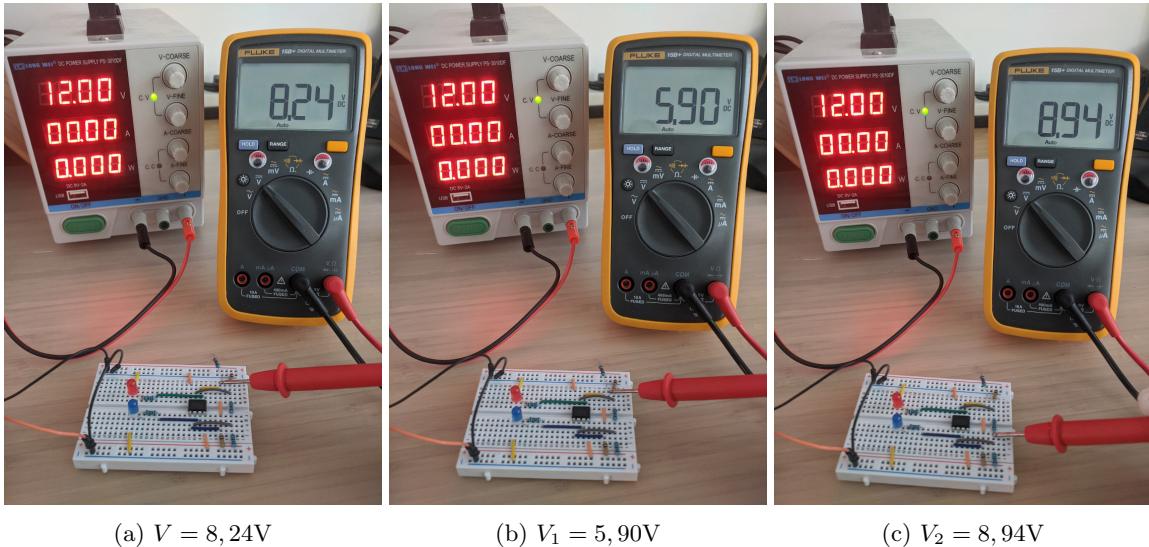
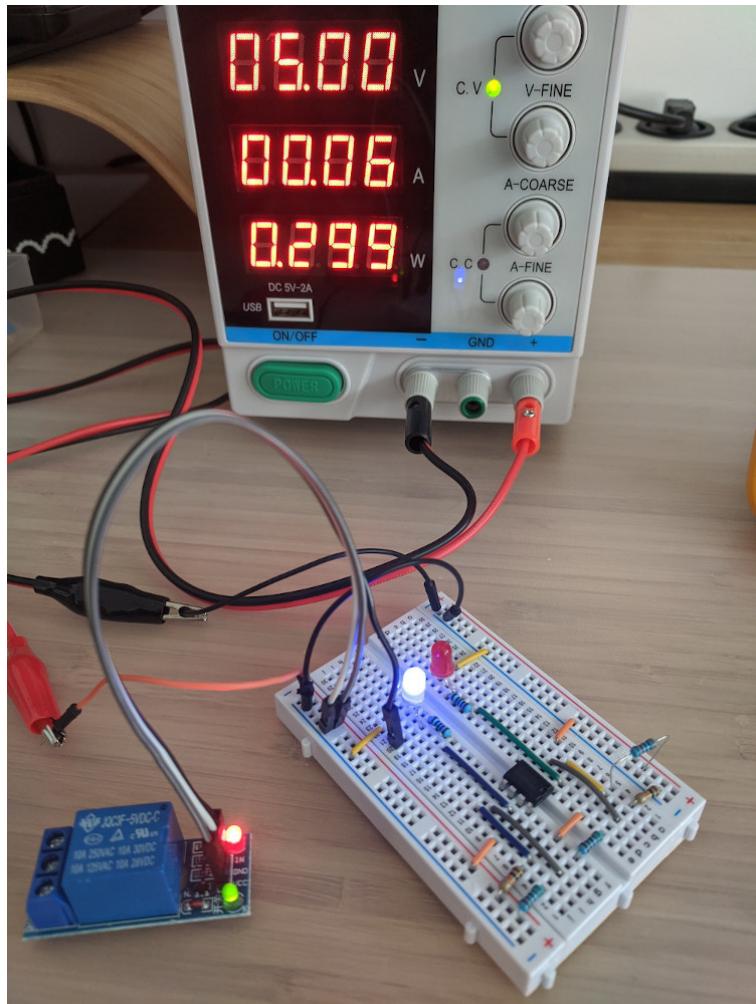


Figure 6: Tensions mesurées pour $R = 22\text{k}\Omega$

V se trouve entre V_1 et V_2 : aucune LED n'est allumée.

Montage avec le relais sur la même sortie que la LED bleue (avec $R = 30\text{k}\Omega$)



Ce relais pourrait, par exemple, commander le système de chauffe du four qui se met en route quand celui-ci est trop froid.