

A12 - Théorèmes généraux sur les circuits

1ère partie : pont potentiométrique en charge

But : évaluer l'erreur commise sur la valeur de la tension de sortie d'un pont potentiométrique lorsque celui-ci est chargé par une résistance.

1) Mesures.

Le potentiomètre R est un capteur de déplacement (linéaire ou rotatif). On note α la position du curseur du potentiomètre, comprise entre les extréma 0 et $\alpha_{\max} = 100$.



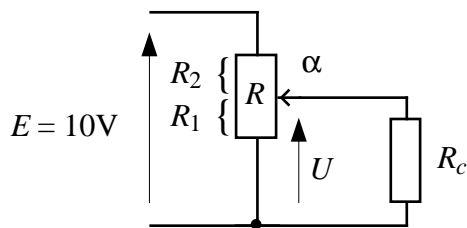
Régler la limitation de courant de l'alimentation de laboratoire au minimum.

Relever les courbes $U_0(\alpha)$: potentiomètre à vide ; potentiomètre chargé par une résistance $R_c = 10R$; $2R$; R . Représenter les quatre courbes sur le même graphe (utiliser EXCEL).

En déduire la courbe de l'erreur relative $\left(\frac{\Delta U}{U_0}\right)_{\%} = \frac{U_0 - U}{U_0}$ en fonction de α pour $10R$; $2R$; R .

Représenter ces courbes sur un même graphe.

Pour quelle position du curseur cette erreur est-elle maximale ?



2) Étude théorique simplifiée

On pose $k = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{R_1}{R}$. On se place dans le cas $\alpha = 50$, soit $k = 1/2$ (le capteur étant linéaire,

on suppose que k est proportionnel à α).

a) Potentiomètre à vide ($R_c \infty$), montrer que : $U_0 = E/2$.

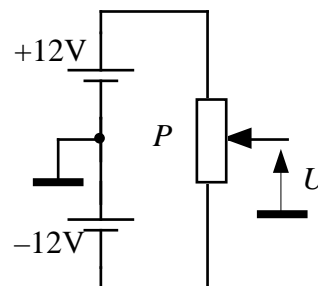
b) Calculer la valeur de U lorsque le potentiomètre est chargé par la résistance $R_c = 10R$.

c) En déduire l'erreur $\Delta U/U_0$

3) Montage potentiométrique bipolaire

- Mesures : tracer $U_0(\alpha)$, potentiomètre à vide.

- Calculs : établir l'expression de U_0 en fonction de α .



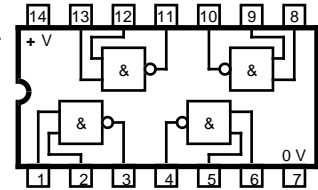
2ème partie : modèle électrique d'un circuit logique

But : étudier et modéliser les propriétés **électriques** de portes logiques.

On utilisera des circuits CMOS série 4000, type ET-NON ou OU-NON, à deux entrées, alimentés sous $V_{cc} = 5V$.

Rappeler la table de vérité du circuit utilisé.

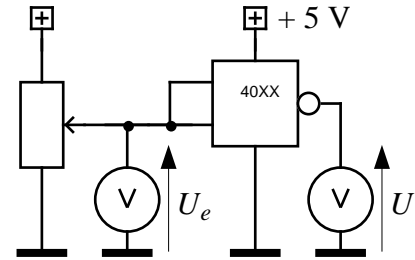
Brochage 4011 (ET-NON) (même brochage pour 4001 OU-NON) :



I- Caractéristique électrique de transfert à vide

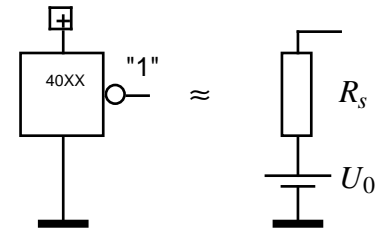
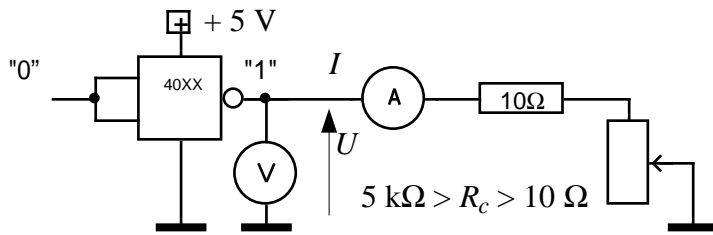
L'essai est effectué sur la porte connectée en fonction logique NON. U_e est une tension continue variant entre 0 et 5V à l'aide d'un potentiomètre. Réaliser le montage ci-contre. Tracer la courbe $U(U_e)$.

Quel est le seuil de basculement V_b de ce circuit (= valeur de U_e pour laquelle U change d'état) ?



II- Caractéristique électrique de sortie à l'état haut

Affecter des valeurs logiques convenables aux entrées de la porte logique de telle façon que sa sortie soit à l'état haut. Relever $U(I)$ en faisant varier R_c :



a) Préciser le sens du courant I .

b) La pente de la tangente à l'origine du graphe $U(I)$ mesure l'impédance interne R_s du générateur de Thévenin équivalent à la porte, vue de la sortie. Tracer cette tangente à la main. En déduire les éléments U_0 et R_s de ce générateur équivalent.

c) Quelle est la valeur maximale du courant de sortie si l'on veut que la tension de sortie soit au "1" logique, c'est-à-dire **au moins** égale au seuil de basculement ($U \geq V_b$) ?

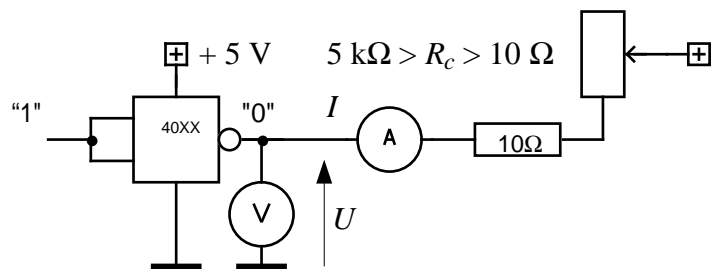
III- Caractéristique électrique de sortie à l'état bas.

Affecter des valeurs logiques convenables aux entrées de la porte logique de telle façon que sa sortie soit à l'état bas. Relever $U(I)$ en faisant varier R_c .

a) Préciser le sens du courant I .

b) Quelle est l'impédance de sortie R_0 de la porte (= pente de la tangente à l'origine) ?

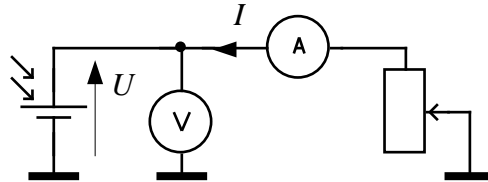
c) Quel est le courant maximal de sortie à l'état bas, défini pour une tension de sortie **au plus** égale au seuil de basculement ($U \leq V_b$) ?



3ème partie : cellule photovoltaïque.

On étudie une cellule photovoltaïque ou "photopile" éclairée en laboratoire de façon constante à l'aide d'une ampoule à incandescence de 60W située à 30 cm de distance.

Faire varier I . Tracer les courbes $U(I)$ et $P(I)$, où $P = UI$ est la puissance délivrée par la cellule.



Conclusions :

a) Quelle est la valeur de la fem à vide U_0 ?

b) Quelle est la valeur du courant de court-circuit I_{cc} ? ⚠ Dans ce dernier cas, utiliser le calibre de l'ampèremètre le plus grand possible compatible avec une précision raisonnable (\approx deux chiffres significatifs), pour que l'ampèremètre ait la résistance R_A la plus faible possible, ceci pour se rapprocher au mieux du cas $U = 0$.

On considère ce générateur électrique en trois points de fonctionnements différents :

1) Si l'on accepte un écart maximal de quelques % de la tension de sortie U par rapport à la fem à vide U_0 , indiquer sur le graphe $U(I)$ la zone où la cellule fonctionne en générateur de tension. Donner le schéma équivalent de la cellule pour ce mode de fonctionnement, en précisant les valeurs numériques de ses éléments.

2) Si l'on accepte un écart maximal de quelques % du courant de sortie I par rapport au courant de court-circuit I_{cc} , indiquer sur le graphe $U(I)$ la zone où la cellule fonctionne en générateur de courant. Donner le schéma équivalent de la cellule pour ce mode de fonctionnement, en précisant les valeurs numériques de ses éléments.

3) Un troisième point de fonctionnement possible est celui où la puissance délivrée par la cellule est maximale.

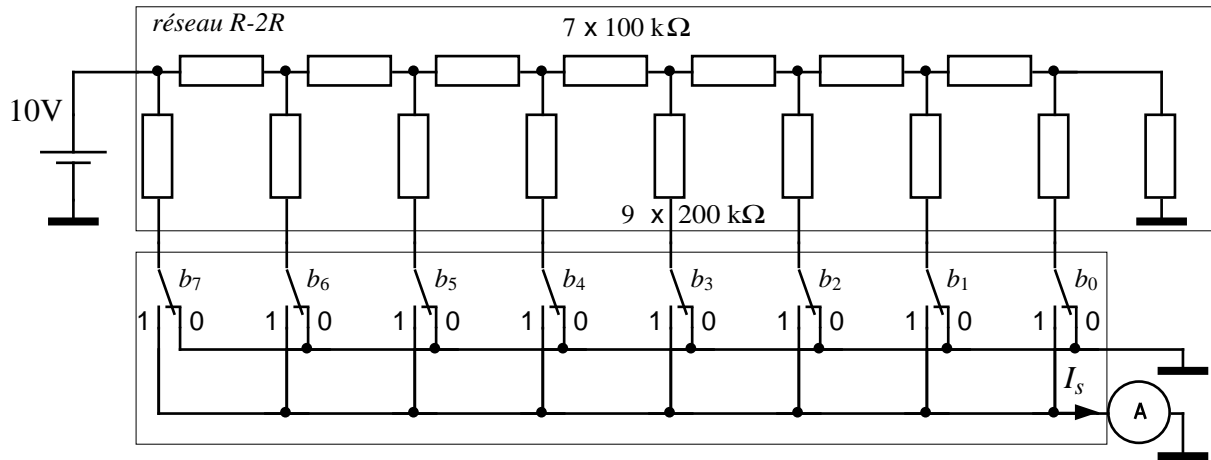
a) Quelle est la valeur de la puissance maximale délivrée par la cellule ? Préciser les valeurs de U et de I en ce point.

b) Quelle est la valeur de la résistance de charge qui permet d'obtenir ce point de fonctionnement (**adaptation d'impédance**) ?

c) Donner un modèle électrique équivalent de la cellule en ce point.

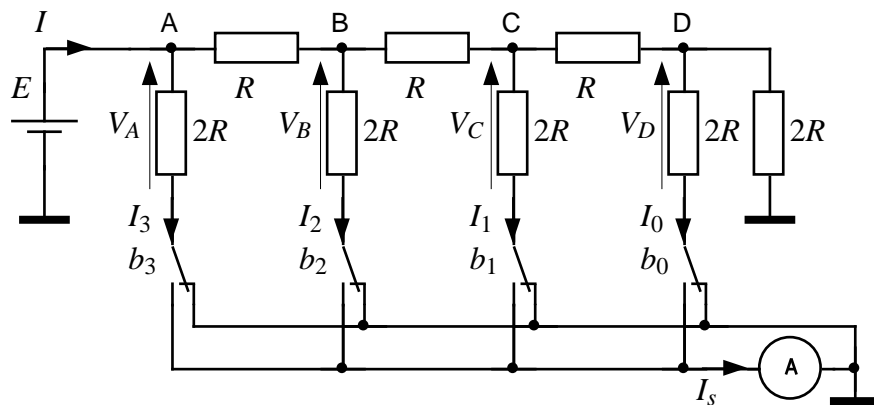
4ème partie : CNA à réseau R-2R

But : utiliser la loi des nœuds pour réaliser un Convertisseur Numérique-Analogique. Montage :



Mesurer le courant de sortie I_s dans les cas suivants :

b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0	I_s
0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	1	
0	0	0	0	0	0	1	0	
0	0	0	0	0	1	0	0	
0	0	0	0	1	0	0	0	
0	0	0	1	0	0	0	0	
0	0	1	0	0	0	0	0	
0	1	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	
1	1	1	1	1	1	1	1	



Calcul théorique :

La grandeur de sortie du CNA est le courant I_s . La charge sera ici représentée par un ampèremètre. On remarque que, quelque soit la position d'un commutateur, la résistance $2R$ qu'il pilote est toujours reliée à un potentiel nul.

1a) Pour cette question, la résistance R entre C et D est déconnectée. Calculer la résistance R_{DM} en fonction de R . b) Pour cette question, la résistance R entre B et C est déconnectée. Calculer la résistance R_{CM} en fonction de R . c) Mêmes questions pour R_{BM} et R_{AM} .

2) Calculer V_D en fonction de V_C , V_C en fonction de V_B , V_B en fonction de $V_A = E$.

3) Calculer I_0, I_1, I_2, I_3, I .

4) Calculer le courant qui traverse l'ampèremètre lorsque le nombre décimal affiché vaut 11. Généralisation : montrer que $I_s = N.I_0$.

Commentaires

1ère partie : pont potentiométrique en charge

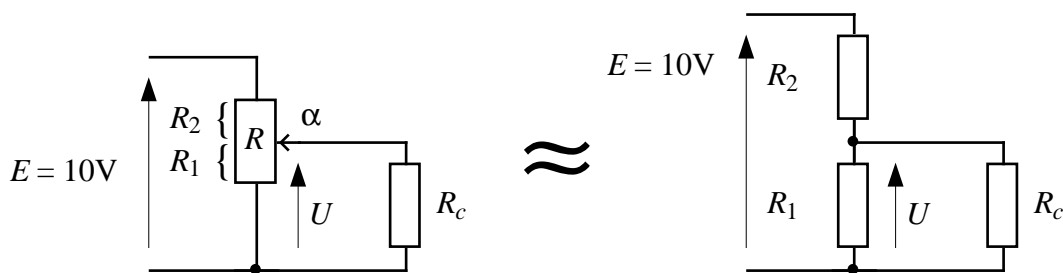
2) Étude théorique simplifiée

On pose : $k = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{R_1}{R} \Leftrightarrow \alpha_{\%} = 100k$ (avec $0 \leq k \leq 1$)

$$k = 1/2 \Leftrightarrow k = \frac{1}{2} \Leftrightarrow R_1 = R_2 = \frac{R}{2}$$

a) A vide : $U_0 = k.E = E/2 = 5 \text{ V}$

b) calculs de la tension de sortie U en charge :



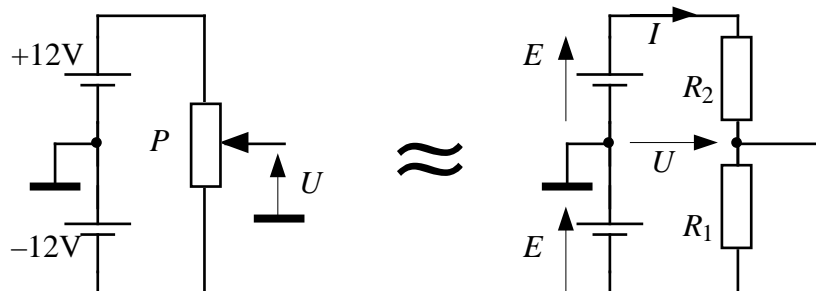
$$U = \frac{R_{eq}}{R_{eq} + R_2} E \text{ avec } R_{eq} = R_1 // R_c \Rightarrow R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_c}{R_1 + R_c}$$

$$\Rightarrow U = \frac{\frac{R_1 \cdot R_c}{R_1 + R_c}}{\frac{R_1 \cdot R_c}{R_1 + R_c} + R_2} E = \frac{R_1 \cdot R_c}{R_1 \cdot R_c + R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_c} E = \frac{R_1 \cdot R_c}{R_1 \cdot R_2 + R_c \cdot R} E$$

$$\text{A.N. : } R_c = 10 R \Rightarrow U = \frac{R_1 \cdot R_c}{R_1 \cdot R_2 + R_c \cdot R} E = \frac{\frac{R}{2} \cdot 10R}{\frac{R}{2} \cdot \frac{R}{2} + 10R \cdot R} E = \frac{5}{10,25} E = 0,488 E = 4,88 \text{ V}$$

$$\text{c) } \frac{\Delta U}{U_0} = \frac{U_0 - U}{U_0} = \frac{5 - 4,88}{5} \approx 2,4\%$$

3) Montage potentiométrique bipolaire

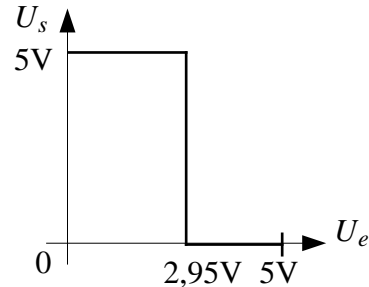


$$\begin{cases} 2E = (R_1 + R_2)I & (\text{grande maille}) \\ E + U - R_1 I = 0 & (\text{maille inférieure}) \end{cases} \Rightarrow U = -E + 2E \frac{R_1}{R_1 + R_2} = -E + 2Ek = E(2k - 1)$$

2ème partie : modèle électrique d'un circuit logique

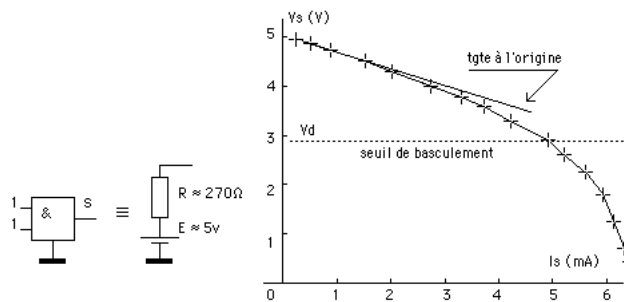
I- Caractéristique électrique de transfert à vide

U_e variant entre 0 et 5V, on constate que le basculement est très rapide (pratiquement instantané à l'échelle de la courbe). NB : selon le type de C.I. testé, le seuil de basculement V_b peut varier : on a ainsi mesuré $V_b \approx 3V$ sur un 4011, $V_b \approx 2,5V$ sur un 4049 et un 4001.



II- Caractéristique électrique de sortie à l'état haut

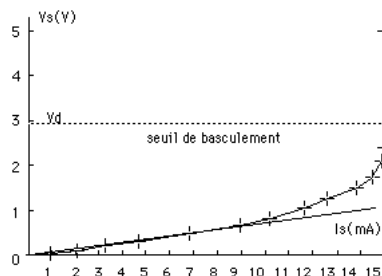
On relève $U_s = f(I_s)$ en faisant varier R . On observe que le courant maximal de sortie (pour une tension de sortie \geq seuil de basculement) vaut $\approx 5mA$ (circuit 4049).



I_s est un courant sortant.

III- Caractéristique électrique de sortie à l'état bas.

On relève $U_s = f(I_s)$ en faisant varier R . On trouve que le courant de sortie est absorbé par la porte. On trouve expérimentalement que l'impédance de sortie de la porte est d'environ 70Ω (pente de la tangente à l'origine). Le courant maximal de sortie (pour une tension de sortie \leq seuil de basculement) atteint 15mA (circuit 4049).

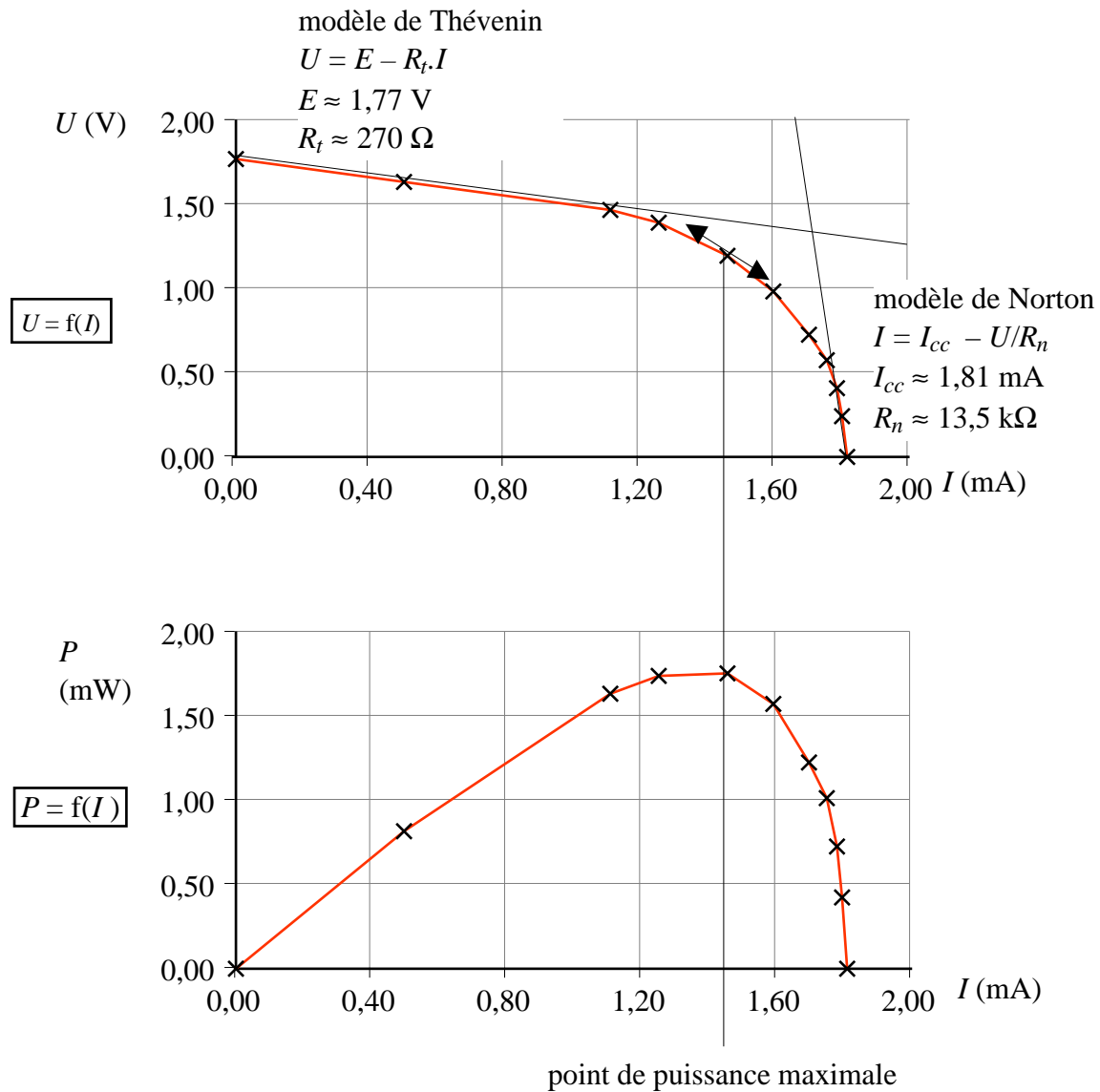


3ème partie : cellule photovoltaïque.

Mesures :

I (mA)	U (V)	P = U.I (mW)	
0,00	1,77	0,00	fonctionnement à vide
0,50	1,64	0,82	
1,11	1,47	1,63	
1,25	1,40	1,75	
1,46	1,20	1,75	
1,59	0,99	1,57	
1,70	0,72	1,22	
1,75	0,58	1,01	
1,78	0,41	0,73	
1,795	0,24	0,43	
1,81	0,004	0,01	fonctionnement en court-circuit

On constate que la cellule se comporte comme un générateur de tension lorsqu'elle fonctionne à vide, alors qu'elle se comporte comme un générateur de courant lorsqu'elle fonctionne en court-circuit :



Au point de puissance maximale, la cellule se comporte comme un générateur dont l'impédance interne est égale à la pente de la tangente en ce point sur la courbe $U = f(I)$, soit $R_s \approx 1 \text{ k}\Omega$

4ème partie : CNA à réseau R-2R

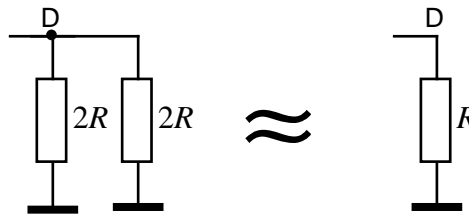
Mesure du courant de sortie I_s :

b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0	$I_s (\mu A)$
0	0	0	0	0	0	0	0	0,2
0	0	0	0	0	0	0	1	0,4
0	0	0	0	0	0	1	0	0,8
0	0	0	0	0	1	0	0	1,6
0	0	0	0	1	0	0	0	3,1
0	0	0	1	0	0	0	0	6,2
0	0	1	0	0	0	0	0	12,5
0	1	0	0	0	0	0	0	25,0
1	0	0	0	0	0	0	0	50,0
1	1	1	1	1	1	1	1	99,8

Calcul théorique :

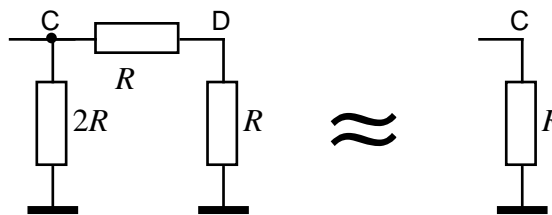
1a) Résistances en parallèle :

$$R_{DM} = \frac{2R \cdot 2R}{2R + 2R} = R$$

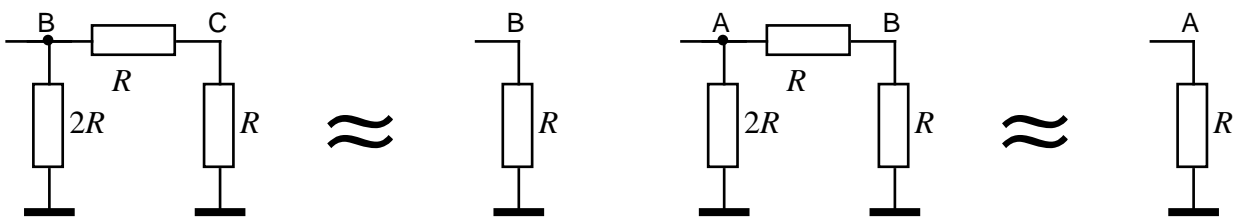


1b)

$$R_{CM} = \frac{2R(R + R)}{2R + R + R} = R$$

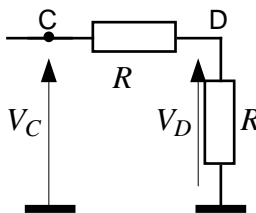


1c) De même : $R_{BM} = R$; $R_{AM} = R$:

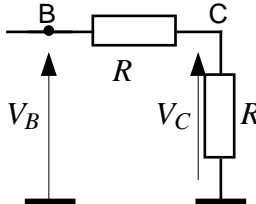


2) Pont diviseur de tension à vide :

$$R_{DM} = R \Rightarrow V_D = \frac{R}{R + R} V_C = \frac{V_C}{2}$$



$$R_{CM} = R \Rightarrow V_C = \frac{R}{R + R} V_B = \frac{V_B}{2}$$



De même : $V_B = \frac{V_A}{2}$. Comme $V_A = E$, il vient : $V_B = \frac{E}{2}$; $V_C = \frac{E}{4}$; $V_D = \frac{E}{8}$

$$3) I_0 = \frac{V_D}{2R} = \frac{E}{16R} ; I_1 = \frac{V_C}{2R} = \frac{E}{8R} ; I_2 = \frac{V_B}{2R} = \frac{E}{4R} ; I_3 = \frac{V_A}{2R} = \frac{E}{2R} ; I = \frac{E}{R_{AM}} = \frac{E}{R}$$

4) Loi des nœuds :

$$I_s = b_3 I_3 + b_2 I_2 + b_1 I_1 + b_0 I_0 = \frac{E}{R} \left(\frac{b_3}{2} + \frac{b_2}{4} + \frac{b_1}{8} + \frac{b_0}{16} \right)$$

La pleine échelle étant égale à E/R , le bit b_3 (ou bit "de poids fort") agit sur la moitié de l'échelle, le bit b_2 sur le quart, etc.

On peut encore écrire :

$$I_s = \frac{E}{16R} (8b_3 + 4b_2 + 2b_1 + b_0) = \frac{E}{16R} (2^3 b_3 + 2^2 b_2 + 2^1 b_1 + 2^0 b_0) = \frac{E}{16R} N = I_0 \cdot N$$

Pour $N = 11$, $b_3 = 1$; $b_2 = 0$; $b_1 = 1$; $b_0 = 0$