

Acquisition de température sur automate sans utilisation de convertisseur 0 – 10 V (à amplificateur différentiel)

« Convertisseur Wheatstone »

A- Principe

Pour se faire je propose de câbler la sonde de température en pont de Wheatstone alimenté par une source bien régulée indépendante de celle alimentant l'automate. En effet ce montage offre les avantages suivants :

- offrir une tension de mesure 0 - X Voltes entre les bornes BD du montage (voir ci-dessous),
- permettre de linéariser la mesure en fonction de la température (augmente la précision),
- s'affranchir des problèmes liés à la longueur du câblage,
- se passer du coût et des pannes potentiels d'un convertisseur 0- 10 V à amplificateur différentiel du commerce ou de sa fabrication comme celui proposé par Patrick (ici : http://www.apper-solaire.org/Pages/Electronique/Electro/conv_pt1xxx_10v/index.htm).

Contreparties :

- nécessite une alimentation obligatoirement indépendante (coût 30 à 50 euros),
- faire quelques calculs. Je peux néanmoins fournir un tableur ad-hoc qui évitera les étapes rébarbatives de ces calculs.

La sonde sera ici du type KTY de résistance croissante avec la température et relativement importante ce qui minimise la consommation et accroît la sensibilité.

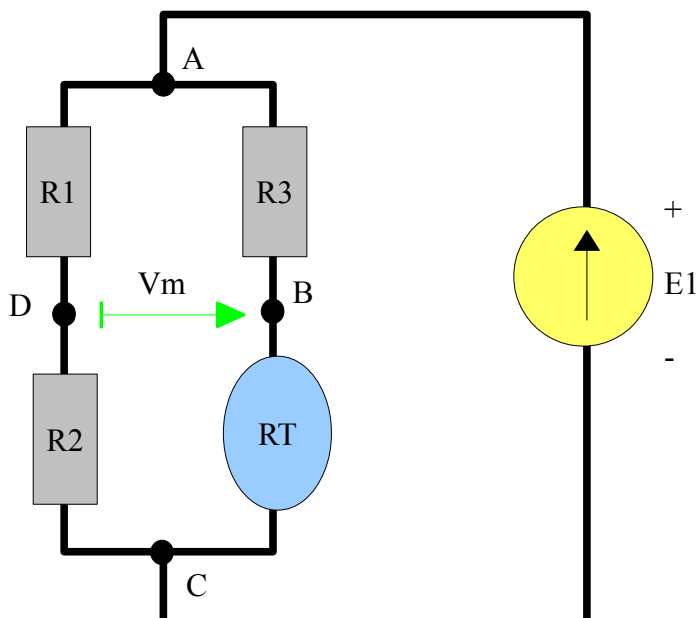
Sa fonction de résistance est donnée par la relation suivante (Merci Terran) :

$$R(T) = R(25^\circ) \cdot f(T) = R(25^\circ) \cdot (1 + \alpha \delta T + \beta \delta T^2)$$

avec $\alpha = 7,88 \cdot 10^{-3}$; $\beta = 1,937 \cdot 10^{-5}$
 $\delta T = T^\circ - 25^\circ$
KTY 81-210 : $R(25^\circ) \sim 2000 \Omega$

Cette fonction parabolique est néanmoins très plate et de ce fait peut être approximée par une droite dont on aura intérêt à faire une régression linéaire sur la plage de température la plus étroite possible et centrée sur la valeur moyenne utilisée.

Le principe du montage en pont de Wheatstone est le suivant :



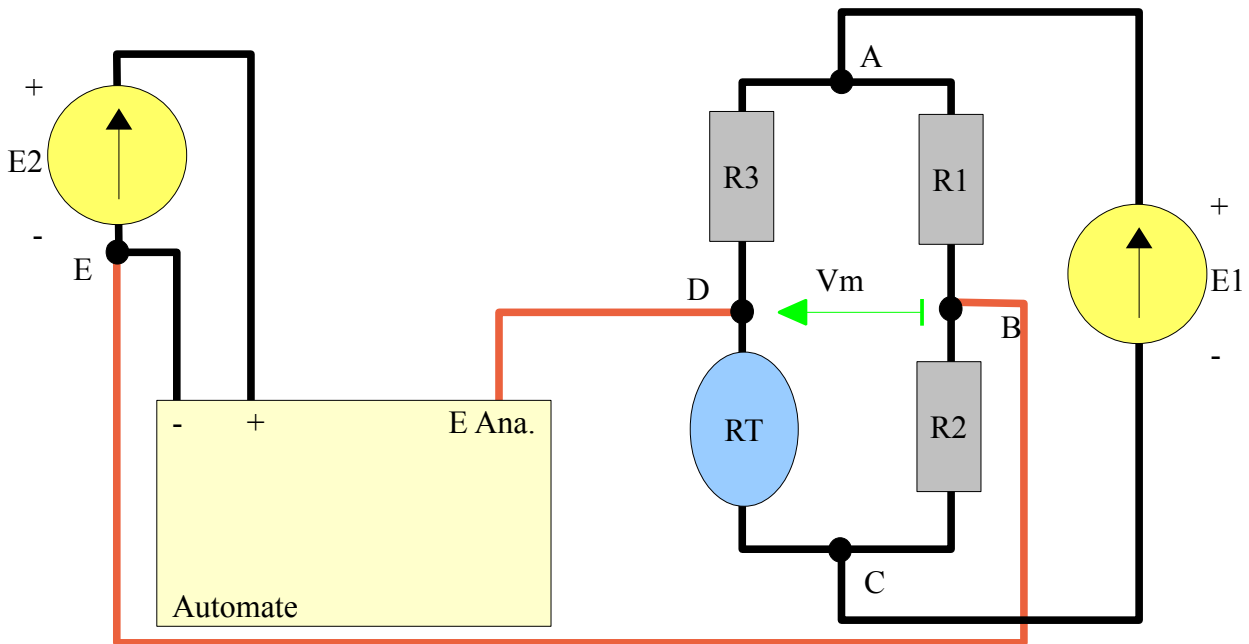
La tension de mesure $V_m = V(DB) = E1 \cdot \frac{R1 \cdot RT - R2 \cdot R3}{(R1 + R2) \cdot (R3 + RT)}$

si $RT = R2$ et $R2 = R3$ alors $V_m = 0$ (pont à l'équilibre)

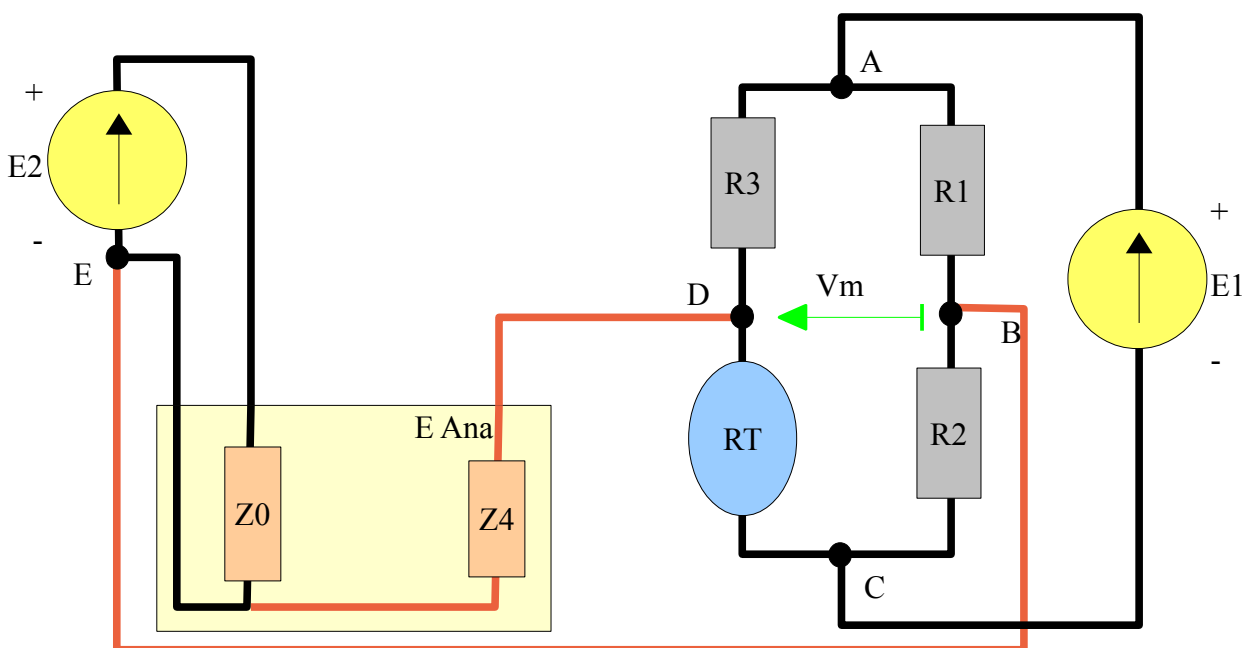
Le courant total consommé $I(AC) = I_{pont} = \frac{E1 \cdot (R1 + R2 + R3 + RT)}{(R1 + R2) \cdot (R3 + RT)}$

En l'état ce montage n'est néanmoins pas exploitable car il faut le raccorder à un automate (ou une régulation permettant de régler le gain de la sonde).

Le raccordement à l'automate est schématisé ci-dessous¹ :



La mise en commun des masses par le câblage BE est nécessaire pour l'interprétation de V_m par l'automate mais s'explique mieux encore en modélisant électriquement l'automate :



¹ : La borne - à droite de IG sur le XD26 est aussi reliée à la masse de E2 d'après le constructeur

On constate ainsi que le circuit DEB est fermé et que la masse de référence de l'entrée analogique est bien celle de l'alimentation de l'automate (E2).

On est donc en présence de 3 boucles de courant :

- celle du pont : E1-A-C
- celle de la mesure liée à la différence de potentiel V_m du pont : D-E-B
- celle « indépendante » de l'automate : E2-Z0

Z_0 est l'impédance de l'automate soit environ 96Ω pour le M3 XD26 24V que j'ai déduit à partir de sa consommation de 6W ; Z_4 est l'impédance d'une entrée analogique, soit $12 k\Omega$ d'après le constructeur pour ce même automate.

B - Équations utiles

En considérant désormais ce montage, il s'avère que Z_4 modifie l'expression de V_m comme il suit :

$$V_m = E1 \cdot \frac{Z_4 \cdot (R1 \cdot RT - R2 \cdot R3)}{R1 \cdot R2 \cdot (R3 + RT) + (R1 \cdot R3 + R2 \cdot R3) \cdot (Z_4 + RT) + Z_4 \cdot RT \cdot (R1 + R2)}$$

Les expressions des courants utiles sont d'expression semblables :

$$I_m = \frac{V_m}{Z_4}$$

$$I_{sonde} = E1 \cdot \frac{[R1 \cdot (R2 + Z_4) + R2 \cdot (R3 + Z_4)]}{R1 \cdot R2 \cdot (R3 + RT) + (R1 \cdot R3 + R2 \cdot R3) \cdot (Z_4 + RT) + Z_4 \cdot RT \cdot (R1 + R2)}$$

$$I_{pont} = E1 \cdot \frac{[R1 \cdot (R2 + Z_4 + RT) + R2 \cdot (R3 + Z_4) + R3 \cdot (Z_4 + RT) + Z_4 \cdot RT]}{R1 \cdot R2 \cdot (R3 + RT) + (R1 \cdot R3 + R2 \cdot R3) \cdot (Z_4 + RT) + Z_4 \cdot RT \cdot (R1 + R2)}$$

Note : Toutes ces équations ont le même dénominateur et sont légèrement parabolique en fonction de RT (voir annexe).

I_m donne le courant de l'entrée analogique.

I_{sonde} est à comparer à I_{sonde} maximum de la datasheet (ce maximum est fonction de la T°).

I_{pont} permet de connaître la puissance nécessaire de l'alimentation du pont (à multiplier par le nombre de pont convertisseur qui sont nécessaires).

C – Exploitation

Pour exploiter ce montage il reste à convertir V_m sous forme d'une droite d'expression

$V_m = a T^\circ + b$, nous permettant de calculer les paramètres du Gain pour l'automate (la relation linéaire inverse tension -température qu'il faut paramétrer : $T^\circ(V_m)$).

Cela peut se faire avec une régression linéaire (méthode des moindres carrés) d'un bon nombres de valeurs ponctuelles de la tension de mesure $V_m(T_i)$.

Connaissant alors a et b on détermine les températures pour $V_m = 0$ et $10 V$:

$$T(V_m) = (V_m - b)/a$$

d'où la possibilité de calculer les paramètres A et C du Gain qu'on trouve dans l'automate

$$A = T(V_m=10) - T(V_m=0)$$

$$B = 1023 \text{ pour le Millénium 3 (rappel)}$$

$$C = -b/a$$

D - Précision théorique

L'imprécision de la mesure de la T° , comme toujours pour un convertisseur est au moins de 2 ordres. On a une imprécision liée à la non linéarité de la sonde et une imprécision d'étalonnage liée à l'imprécision des résistances.

Ce montage rajoute également une imprécision liée à la non linéarité de l'expression de $V_m(RT)$ donné plus haut. Celle-ci est en effet plus ou moins convexe. Cependant ce pont a des ressources ! En effet en choisissant des valeurs élevées de R_1 et R_3 (soit les résistances en parallèle de la mesure) globalement on lisse la fonction $V_m(T^\circ)$ qui nous intéresse. La contrepartie c'est qu'on écrase alors la pente de la courbe, soit la sensibilité du montage...

Il reste à choisir désormais les différentes valeurs de R_1 , R_2 ...

- qui minimisent notre erreur théorique (celle indépendante de l'étalonnage),
- qui conserve une sensibilité convenable au montage (disons $> 30 \text{ mV}/^\circ$),
- et de vérifier les courants pour la tenue de la sonde.

Ceci fait quand même pas mal de paramètres !! Mais bon je m'y suis collé et vous livre mes meilleurs résultats pour une KTY 81-210 de résistance théorique de 2000Ω à 25° :

très bon	Pour Ballon	Pour Intérieur / Extérieur	Pour Capteur
$R_1 = 4,7k$ $T_{max} : \sim 145^\circ$	$T : 10 \text{ à } 80^\circ$ $A = 320,5$	$T : -10 \text{ à } 40^\circ$ $A = 310,5$	$T : 20 \text{ à } 100^\circ$ $A = 328,1$
$R_2 = 1,5k$ Alim . 24V	$T^\circ +/- 0,55^\circ$ $B = 1023$	$T^\circ +/- 0,11^\circ$ $B = 1023$	$T^\circ +/- 0,97^\circ$ $B = 1023$
$R_3 = 4,7k$ $0,19W_{max}$ /pont	$C = -10,9$	$C = -9,7$	$C = -12,2$
KTY	sensibilité : $31,2 \text{ mV}/^\circ$	sensibilité : $32,2 \text{ mV}/^\circ$	sensibilité : $30,5 \text{ mV}/^\circ$
$Z_4 = 0 + (IM_3 = 12k)$	$3,19 \text{ u}/^\circ$	$3,29 \text{ u}/^\circ$	$3,12 \text{ u}/^\circ$

excellent	Pour Ballon	Pour Intérieur / Extérieur	Pour Capteur
$R_1 = 10k$ $T_{max} : \sim 135^\circ$	$T : 10 \text{ à } 80^\circ$ $A = 242,1$	$T : -10 \text{ à } 40^\circ$ $A = 246,7$	$T : 20 \text{ à } 100^\circ$ $A = 242,4$
$R_2 = 1,5k$ Alim . 48V	$T^\circ +/- 0,14^\circ$ $B = 1023$	$T^\circ +/- 0,22^\circ$ $B = 1023$	$T^\circ +/- 0,18^\circ$ $B = 1023$
$R_3 = 10k$ $0,40W_{max}$ /pont	$C = -8,8$	$C = -9,5$	$C = -8,8$
KTY	sensibilité : $41,3 \text{ mV}/^\circ$	sensibilité : $40,5 \text{ mV}/^\circ$	sensibilité : $41,3 \text{ mV}/^\circ$
$Z_4 = 0 + (IM_3 = 12k)$	$4,23 \text{ u}/^\circ$	$4,15 \text{ u}/^\circ$	$4,22 \text{ u}/^\circ$

excellent	Pour Ballon	Pour Intérieur / Extérieur	Pour Capteur
$R_1 = 15k$ $T_{max} : \sim 150^\circ$	$T : 10 \text{ à } 80^\circ$ $A = 165,6$	$T : -10 \text{ à } 40^\circ$ $A = 171,1$	$T : 20 \text{ à } 100^\circ$ $A = 164,9$
$R_2 = 2,97k$ Alim . 48V	$T^\circ +/- 0,30^\circ$ $B = 1023$	$T^\circ +/- 0,30^\circ$ $B = 1023$	$T^\circ +/- 0,16^\circ$ $B = 1023$
$R_3 = 15k$ $0,26W_{max}$ /pont	$C = -11,8$	$C = -10,8$	$C = -12,9$
2 KTY en série	sensibilité : $60,4 \text{ mV}/^\circ$	sensibilité : $58,4 \text{ mV}/^\circ$	sensibilité : $60,7 \text{ mV}/^\circ$
$Z_4 = 100k + (IM_3 = 12k)$	$6,18 \text{ u}/^\circ$	$5,98 \text{ u}/^\circ$	$6,20 \text{ u}/^\circ$

Note : A et C en degré , B sans unité.

L'erreur sur la température est celle entre la régression et la valeur réelle. Ce n'est pas celle que donne l'automate affichant les températures sans décimale. Dans les faits donc si cette erreur de régression est inférieure à $+/- 0,50^\circ$, la température affichée est la valeur réelle à $+/- 0,5^\circ$.

Personnellement je pense choisir le montage alimenté en 24 V du fait :

- qu'une sensibilité d'environ $30 \text{ mV}/^\circ$ me semble électriquement suffisante,
- qu'une alimentation régulée en 48 V est plus cher ($>$ à 60€ contre ~ 30 € en 24V) ;
- que le risque de surtension sur l'entrée de l'automate est ainsi égal au plafond de l'appareil.

E – Étalonnage

Les valeurs ci-dessus donnés des erreurs sont théoriques car nous n'avons pas introduit les valeurs réelles des résistances (garanties à +/- 10%, 5% ou 1%), ni celle de la sonde.

Utilisé en l'état, et sen considèrent un étalonnage parfait de la sonde, les erreurs maximales sur la température sont les suivantes pour le montage en 24V.

Résistance	Plage 10 à 80°	Plage -10 à 40°	Plage 20 à 100°
1%	1,2°	1,1°	1,4°
5%	4,6°	5,6°	4,5°
10%	9,5°	11,0°	8,8°

Comme on pouvait s'y attendre ça se dégrade vite mais reste très acceptable pour des résistances +/- 1%.

Plus efficace encore que de choisir ces résistances 1% (plus chers), un calcul des nouvelles valeurs du gain avec les valeurs réelles des résistances mesurées avec un ohmmètre avant leur montage élimine quasiment cette détérioration. On fera donc cette étape de mesure et calcul dans tous les cas.

Reste l'étalonnage de la sonde.

Une première correction très simple et qui déjà aboutira à un bon résultat consiste juste à prendre la tension de mesure $V_m(T^\circ)$ à une température quelconque mais bien connue. On ajuste ensuite la valeur $R(25^\circ)$ dans l'expression de la KTY pour que la tension modélisée colle à la réalité et le tour est joué : la précision devrait être de moins de +/- 1°, ce qui pour ce qui nous intéresse est déjà bien.

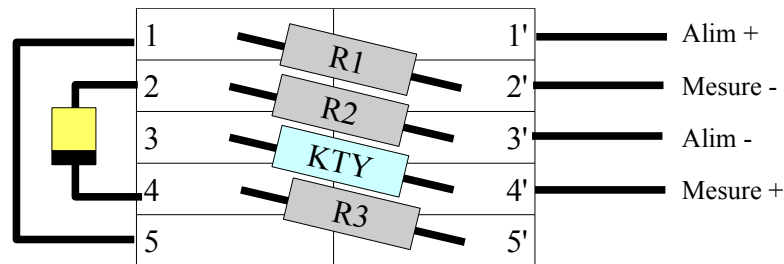
Pour faire mieux, on peut prendre la tension du montage pour 0° (glace fondante), pour 100° (ébullition de l'eau dans une casserole) et pour par exemple 50° (cire de soja fondante). On corrige ensuite les paramètres $R(25^\circ)$, α et β de l'expression d'une KTY pour que la courbe passe par les 3 points. On redéfini alors le gain avec les valeurs exactes des résistances comme déjà dit et là on doit être très proche de l'erreur théorique minimale donnée plus haut.

Enfin encore mieux consiste à prendre directement 6 à 12 points de la tension de sortie $V_m(T^\circ)$ du montage pour des températures bien définis (ce qui est loin d'être simple avec une bonne précision) et de calculer directement une régression à partir de ces points. Je doute cependant que cette méthode soit meilleure que la précédente à moins de disposer d'un matériel de laboratoire pour faire toutes ces mesures. Et de toutes façon on va buter sur la précision minimale théorique.

F - Montage

Question réalisation maintenant on peut simplement faire avec un domino 1,5mm² de 5 paires de bornes (mettre les résistance au dos). Le tout sera placer dans une boite étanche.

Note : Une fois le montage opérationnel, je conseil de plonger le montage dans du vernis pour enrober les fils nus et ainsi s'éviter le désagrément des court-circuits parasites.



La diode montait en parallèle sur les bornes de la mesure est une zéner (BZX55C10V) permettant de protéger l'automate de surtension en cas de problème avec les résistances. On pourrait pour compléter la protection mettre une diode pour se prémunir des inversions de polarité. L'automate a déjà cependant ce type de protection et on vérifiera avant raccordement cette polarité

Pour le raccordement, on a besoin d'un câble 4 pairs entre le convertisseur et l'alimentation + l'automate. On a intérêt il me semble à placer le « convertisseur Wheatstone » au plus proche de la sonde mais c'est pas obligatoire en particulier si on mesure la résistance de la sonde, câble compris.

Enfin j'utiliserai préférentiellement un câble blindé type informatique pour limiter les perturbations électromagnétiques (+0,10€/m). Je suis néanmoins incapable à ce stade de dire si c'est réellement nécessaire pour ce montage d'une part car un filtrage peut être paramétré dans le Millénium 3, d'autre part car la sensibilité est quand même supérieure à 30 mV/°, enfin car on travail en tension quasi continue.

Voilà

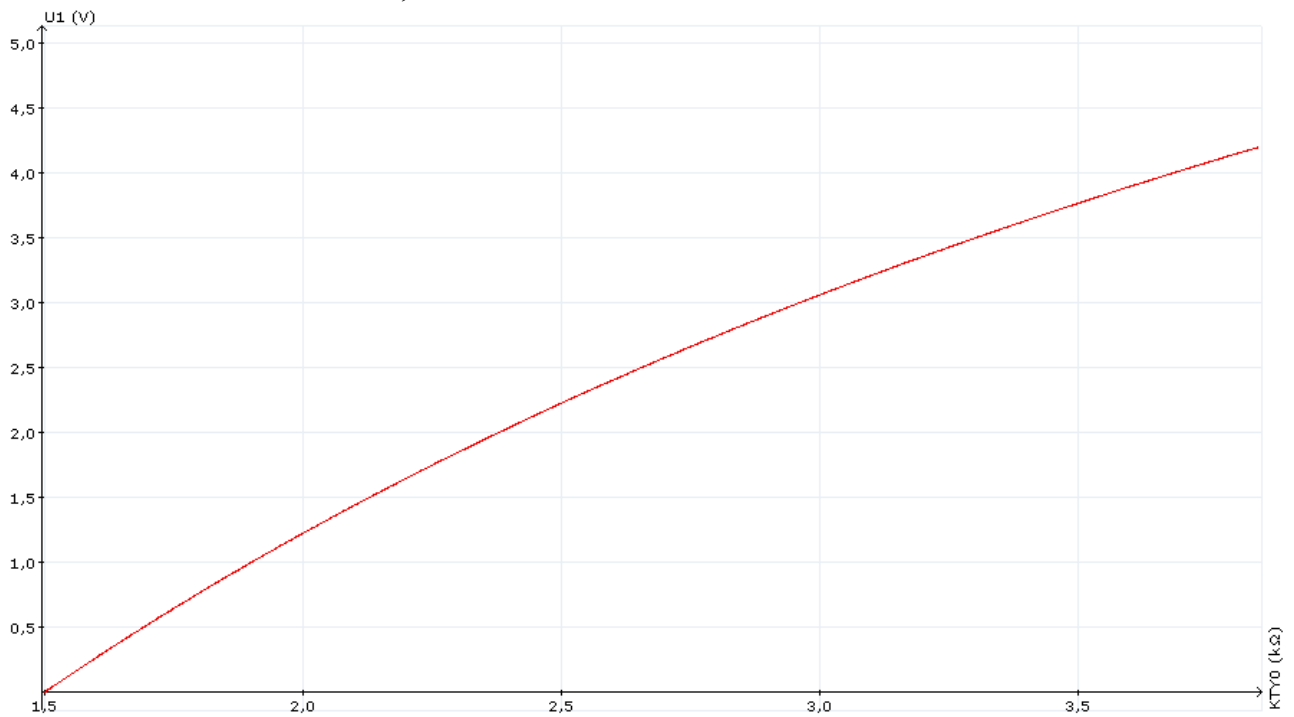
FR

Le 25/11/2012

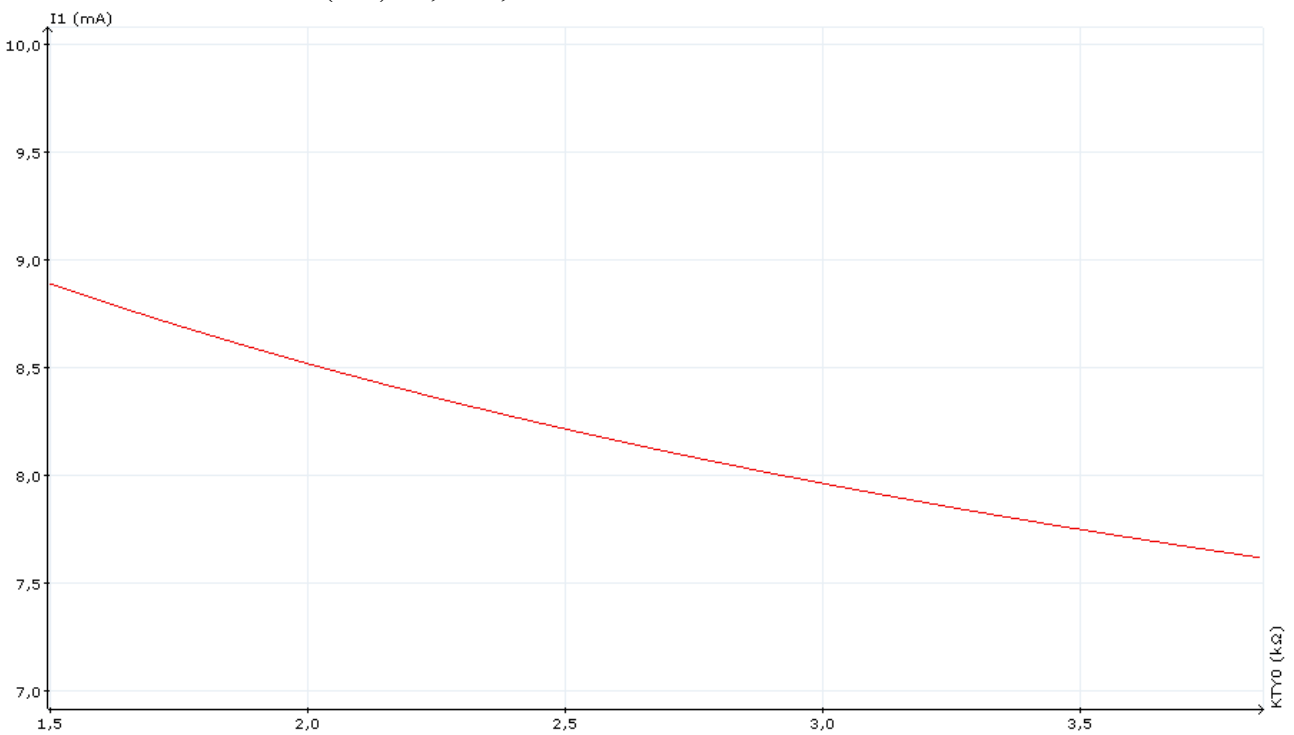
Annexe - illustrations

Application pour $R1=R3= 3,90 \text{ k}\Omega$; $R2= 1,50 \text{ k}\Omega$; $Z4= 12 \text{ k}\Omega$; $E1=24 \text{ V}$

Tension de mesure : V_m : 0 à 4,2V

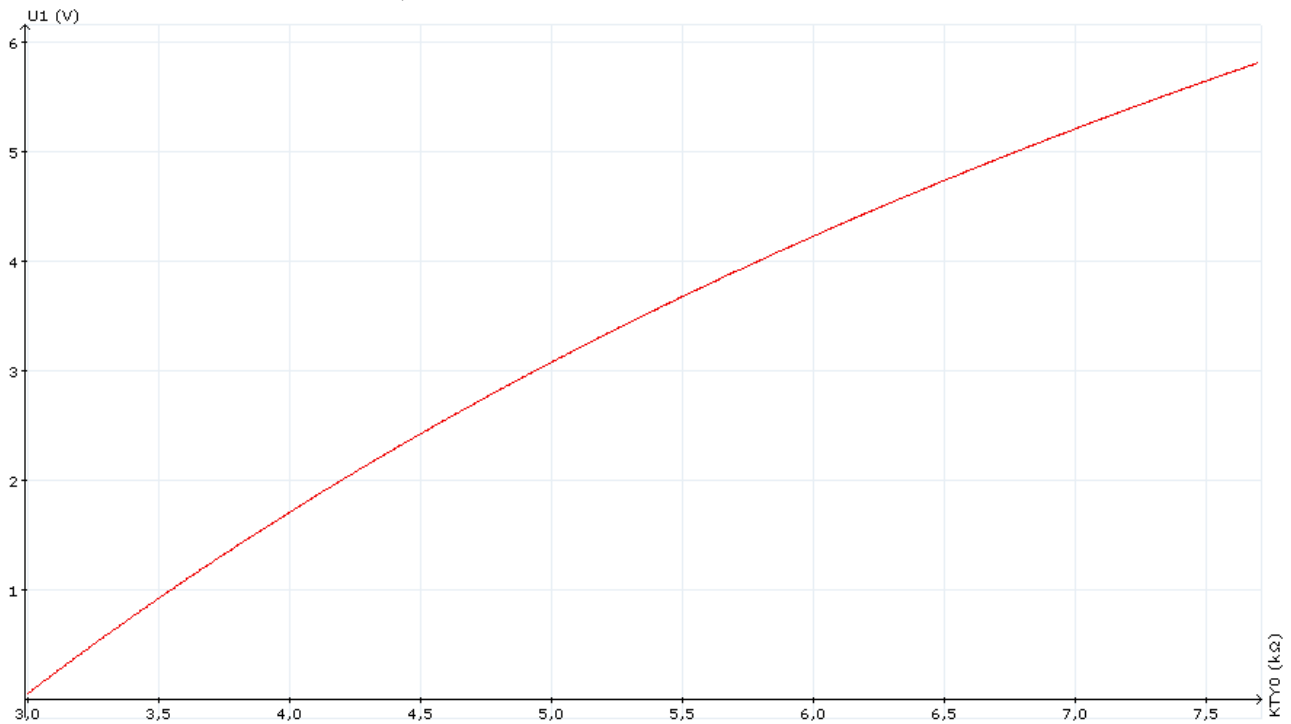


Consommation sur $E1$: $I(AC)$: 8,9 à 7,6 mA



Application pour $R1=R3= 12\text{ k}\Omega$; $R2= 2,97\text{ k}\Omega$; $Z4= 12\text{ k}\Omega$; $E1=48\text{ V}$; 2 KTY en série

Tension de mesure : V_m : 0 à 5,8V



Consommation sur $E1$: $I(AC)$: 6,4 mA à 5,7 mA

