

La dilatation d'une partie de la plage de mesure d'un voltmètre par l'utilisation d'un pont de résistances et d'une diode Zener

Claude L. Frantz

17 octobre 2020

1 Le circuit utilisé

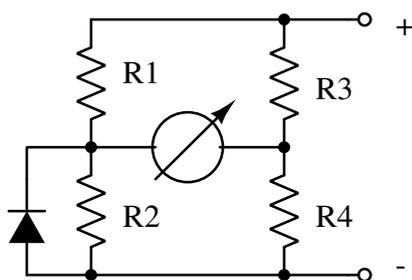


FIGURE 1 : Le schéma du circuit.

Le principe de fonctionnement du circuit est assez simple. Tant que l'on néglige la diode Zener, le circuit se résume à un pont de Wheatstone en équilibre, alimenté par la tension à mesurer. Nous trouvons donc

$$\frac{R1}{R2} = \frac{R3}{R4}$$

La branche transversale du pont est constituée par l'instrument de mesure, qui est souvent un mA-mètre ou un μ A-mètre à cadre mobile. Le pont étant en équilibre, aucun courant ne traverse donc l'instrument, peu importe la tension d'alimentation, qui est aussi la tension à mesurer. En considérant le circuit complet, donc avec la diode Zener, le comportement ne change pas tant que cette diode ne devient pas conductrice. Dans le cas contraire, cette diode maintient la tension aux bornes de la résistance **R2** à V_z , mettant ainsi le pont en déséquilibre.

En conséquence, un courant traverse maintenant l'instrument. Par le choix judicieux des composants de ce circuit, il est possible de ne faire dévier l'instrument qu'à partir d'une certaine tension d'alimentation V_{min} et d'obtenir une déviation proportionnelle à la tension d'alimentation excédentaire.

La diode de ce circuit peut être une diode Zener, une diode à avalanche ou un circuit intégré présentant des caractéristiques similaires à celles d'une diode Zener, par exemple *LM285*, *LT1634*, *LT1004*, *LT1034* ou *TL431*. Le présent circuit part de l'hypothèse que la diode ne conduit aucun courant tant que la tension V_z n'est pas atteinte. Une diode Zener remplit assez bien cette condition, mais les circuits intégrés sensés la remplacer, n'en font pas nécessairement de même. Selon le cas, une augmentation de la valeur calculée de R_2 peut permettre de retrouver l'équilibre du pont pour les tensions d'entrée inférieures à V_{min} .

Dans certains cas, le but poursuivi par ce montage peut être atteint en utilisant un *TL431* dans un circuit plus simple. Le montage en pont offre toutefois davantage de flexibilité.

2 La procédure de calcul

2.1 Les données

V_{min} : la tension d'entrée correspondant au début de l'échelle de l'instrument indicateur

V_{max} : la tension d'entrée correspondant à la fin de l'échelle de l'instrument indicateur

V_z : la tension nominale de la diode Zener

I_{zmax} : le courant dans la diode Zener quand la tension d'entrée est à V_{max}

R_{inst} : la résistance interne de l'instrument indicateur

I_{inst} : le courant dans l'instrument en bout de course

Mis à part I_{zmax} , toutes les autres grandeurs proviennent des données du problème à résoudre. I_{zmax} doit être choisi judicieusement et il doit nécessairement être supérieur à I_{inst} . I_{zmax} ne doit pas conduire à une dissipation exagérée de la diode Zener et il doit se trouver dans une région de la caractéristique de la diode dans laquelle la stabilisation de tension est suffisante. Pour des raisons pratiques, il peut paraître avantageux de pouvoir avoir $R_1 = R_3$ et $R_2 = R_4$. Cette constellation est possible si

$$I_{zmax} = \frac{I_{inst} ((2 V_{min} - 2 V_{max}) V_z + I_{inst} R_{inst} V_{min})}{(V_{min} - V_{max}) V_z + I_{inst} R_{inst} V_{min}} \quad (1)$$

Après avoir calculé **Izmax** de cette manière, il est nécessaire de vérifier si le résultat trouvé remplit les conditions pré-citées. Si tel n'est pas le cas, il faudra se résoudre à accepter que $R1 \neq R3$, que $R2 \neq R4$ et il faudra choisir une valeur d'**Izmax** mieux appropriée.

2.2 Les calculs

$$R1 = \frac{(Vmax - Vmin)}{(Izmax - Inst)} \quad (2)$$

$$R2 = \frac{(Vmin - Vmax) \cdot Vz}{(Izmax - Inst) \cdot (Vz - Vmin)} \quad (3)$$

$$R3 = \frac{-((Vmin - Vmax) \cdot Vz + Inst \cdot Rinst \cdot Vmin)}{Inst \cdot Vz} \quad (4)$$

$$R4 = \frac{(Vmin - Vmax) \cdot Vz + Inst \cdot Rinst \cdot Vmin}{Inst \cdot (Vz - Vmin)} \quad (5)$$

Les résultats de ces calculs ne correspondent que rarement à des valeurs normalisées de résistances. Il sera donc nécessaire d'arrondir les valeurs. Afin de maintenir du mieux possible l'équilibre du pont, il est préférable d'arrondir dans le même sens les paires R1 et R3, ainsi que R2 et R4. Si possible, il serait même préférable d'arrondir dans le même sens toutes les quatre résistances du pont.

3 Un exemple pratique

Nous souhaitons surveiller la tension aux bornes d'un accumulateur au plomb lors de sa charge et de sa décharge. Nous disposons d'un instrument à cadre mobile de 1 mA ayant une résistance interne de 118 Ω . Nous jugeons qu'une échelle allant de 11 à 16 V serait appropriée.

Nous envisagerons d'abord d'utiliser une diode Zener BZX79-C6V8. Nous allons donc utiliser

$$Vmin = 11; Vmax = 16; Vz = 6,8; Inst = 1e - 3; Rinst = 118$$

Vérifions par la formule (1) quelle serait **Izmax** si nous voulions utiliser des paires de résistances égales. Nous trouverons que cela serait possible pour

$$Izmax = 2,039691761971745e - 3$$

Cela nous conduirait alors à

$$R1 = R3 = 4809,117647058823$$

$$R2 = R4 = 7786,190476190474$$

Bien que ce courant calculé soit envisageable, un courant un peu supérieur nous conduirait dans une zone plus linéaire de la caractéristique de cette diode Zener. Nous choisissons maintenant I_{zmax} à 5 mA, ce qui reste dans les limites des possibilités de cette diode et nous trouverons

$$R1 = 1250$$

$$R2 = 2023,809523809524$$

$$R3 = 4809,117647058823$$

$$R4 = 7786,190476190474$$

Supposons que nous acceptions cette solution. Nous allons d'abord choisir des résistances dans la série E96, courante pour les tolérances de 1 %. Il nous semble qu'il soit préférable d'arrondir toutes les valeurs vers le bas, ce qui donnera

$$R1 = 1240$$

$$R2 = 2000$$

$$R3 = 4750$$

$$R4 = 7680$$

Si nous décidions d'utiliser des résistances à 1 % dans la série des valeurs E24, nous pourrions choisir

R1 à 1247 Ω par une résistance de 1200 Ω en série avec une autre de 47 Ω

R2 à 2022 Ω par une résistance de 2000 Ω en série avec une autre de 22 Ω

R3 à 4801,378 Ω par une résistance de 82 k Ω en parallèle sur une autre de 5100 Ω

R4 à 7764,7059 Ω par une résistance de 22 k Ω en parallèle sur une autre de 12 k Ω

4 Remarques et commentaires

L'utilisation un circuit intégré *TL431* ne présente de l'intérêt que s'il est utilisé en reliant l'électrode, dite de référence, directement à la cathode, ce qui conduit à une tension nominale de 2,495 V. Bien que l'utilisation d'un diviseur de tension entre l'anode et la cathode pour y relier l'électrode, dite de référence,

soit possible, cette façon de faire n'offre aucun intérêt pratique. Il faudrait alors tenir compte de ce diviseur dans le calcul de **R2**, sans que cela n'apporte des avantages.

Dans le cas de tensions à mesurer assez élevées, on pourrait être tenté d'insérer une résistance supplémentaire en série avec le montage, afin de pouvoir obtenir un meilleur équilibre qu'avec les résistances **R1** et **R3** seules. Bien que cela soit possible, cela conduirait alors à une réduction de la sensibilité du montage, dont il faudrait tenir compte dans les calculs et dans le choix de l'instrument. Toutefois, les avantages obtenus seraient assez maigres ou même inexistantes.

Dans le cas de diodes Zener ayant une tension de service nominale assez élevée, il convient de se rappeler que ces diodes-là présentent une résistance dynamique assez élevée et un coefficient de température non négligeable.