

traceur de fuites à la terre simple

Mesure de l'isolation du secteur



Elbert Jan van Veldhuizen (Pays-Bas)

Les disjoncteurs différentiels sont des dispositifs de sécurité essentiels de nos installations électriques domestiques, mais il arrive qu'ils se déclenchent sans raison apparente. Un testeur de résistance de terre (ou mégohmmètre) professionnel aide à localiser la fuite, mais cet article décrit un traceur de fuite de terre facile à construire, une alternative sûre, abordable et utile, utilisant des piles au lithium CR2032 standard pour la « haute tension ».

ATTENTION ! Travailler sur la tension du secteur peut être fatal. Le circuit décrit ici n'est pas destiné aux débutants. Vous ne devez pas le construire ni l'utiliser si vous n'avez pas l'habitude de travailler sur le secteur !

Les commotions électriques sont potentiellement mortelles et les disjoncteurs différentiels ont sauvé de nombreuses vies. Alors que nous aînous connaissons des personnes électrocutées, par ex. à cause d'une douille de lampe cassée, il est peu probable que cela se produise avec une installation électrique moderne. Un disjoncteur différentiel (DD) détecte les différences de courant entre le fil sous tension *L* et le neutre *N* (c'est-à-dire les fuites vers la terre). Si cette différence est supérieure à 30 mA, le disjoncteur différentiel se déclenche. Un courant alternatif d'environ 30 mA traversant le corps humain peut suffire à provoquer un arrêt cardiaque ou de graves lésions s'il persiste plus d'une fraction de seconde. Les DD sont conçus pour déconnecter les câbles alimentés assez vite afin de prévenir les blessures graves [1]. Un DD ne se déclenche pas seulement quand une personne touche le fil sous tension. L'humidité peut également induire des fuites, par ex. en pénétrant dans une prise murale ou une lampe extérieure. La source d'un tel problème est souvent difficile à localiser. Une méthode « simple » consiste à localiser le problème par tâtonnement : couper le courant, débrancher les différents fils dans des boîtes de dérivation, remettre le courant et voir si le disjoncteur différentiel se déclenche toujours. Mais cette méthode a ses inconvénients. Il faut en effet couper et rétablir le courant à chaque fois que des fils sont (dé)connectés : le risque d'erreur et d'intervention accidentelle sur un circuit sous tension augmente. En outre, les fuites à la terre peuvent être intermittentes et les défauts difficiles à reproduire.

Pourquoi concevoir ce circuit ?

Le concepteur de ce projet avait des soucis avec le circuit électrique de la véranda de la maison de ses parents : le DD de ce circuit se déclencheait parfois sans raison apparente. Lorsqu'il est venu vérifier le circuit pendant un week-end, le DD est resté enclenché pendant le test, mais s'est de nouveau déclenché quelques jours plus tard. Au lieu de se contenter de voir si le disjoncteur différentiel se déclenche et à quel moment, mieux vaut mesurer le courant de fuite. Si on peut mesurer un courant de fuite inférieur à celui qui déclenche le DD, il est beaucoup plus facile de s'attaquer aux problèmes (potentiels).

Comment mesurer

En un mot, en cas de défaut d'isolation d'un circuit du secteur, la mesure de résistance avec un multimètre standard ne permet pas de conclure. Quiconque a mesuré la résistance de sa peau avec un multimètre connaît ce paradoxe : la résistance mesurée est de l'ordre du MΩ (selon le degré d'humidité ou de transpiration des mains). On devrait en conclure qu'en touchant le 230 V du secteur, le courant serait bien inférieur à 1 mA, donc loin d'être mortel ; une telle intensité n'est même pas perceptible. Toutefois, la résistance dépend fortement de la tension appliquée pour la mesurer. Avec la plupart des multimètres, cette tension ne dépasse pas 9 V. En revanche, à 230 V, la résistance du corps humain est de l'ordre du kΩ, ce qui entraîne des courants de quelques centaines de mA qui sont dangereux, voire mortels. Cette dépendance de la résistance à la tension est due, entre autres, à des réactions électrochimiques dans le corps humain.

Ainsi, pour effectuer une mesure précise du courant de fuite, nous ne devons pas mesurer à une faible tension (comme le fait un multimètre) mais idéalement à 230 V, la tension du secteur dans la plupart des pays européens. Pour l'auteur, le défi était de le faire à faible coût, mais aussi, et c'est encore plus important, de façon sûre. À cet égard, une tension plus faible peut être conseillée et, compte tenu du mode

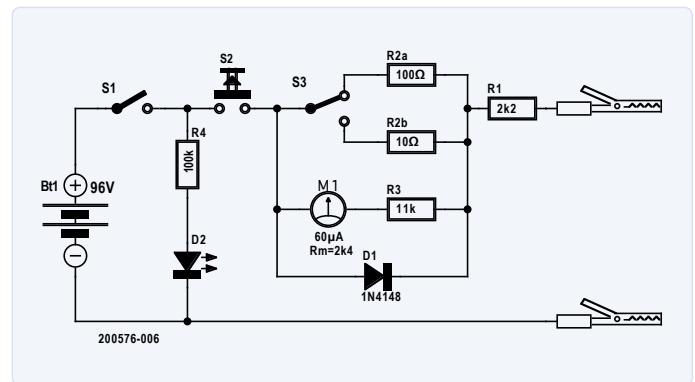


Figure 1. Schéma de principe du traceur de fuite à la terre.

d'alimentation choisi, le coût est réduit : plus la tension est faible, moins il faut de piles pour alimenter ce traceur de fuite à la terre.

Pourquoi des piles ?

La CR2032 est une pile au lithium de 3 V qui, comme son nom l'indique, fait 20 mm de Ø et 3,2 mm d'épaisseur. Le diamètre correspond à peu près à celui d'une pile C standard, qui mesure environ 50 mm de long. En empilant 16 CR2032 les unes sur les autres, on a à peu près le même facteur de forme qu'une pile C et une tension de 48 V. On peut donc utiliser un porte-piles standard pour deux piles C en série et obtenir 96 V. Les CR2032 sont largement utilisées dans les appareils électriques portables, les jouets et les gadgets : on les trouve presque partout à un prix très raisonnable. Pour un prix du même ordre, on pourrait utiliser 64 LR44, ou huit piles A23, mais il n'existe pas dans le commerce de porte-piles standard pouvant accueillir ces piles. Au départ, un autre facteur en faveur des CR2032 dans cette réalisation était qu'elles ne peuvent délivrer qu'un courant assez faible, de l'ordre de 10 mA (selon certaines sources, mais il est difficile de trouver des données probantes à ce sujet !). 96 V_{cc} sont potentiellement dangereux, car en continu, le courant létal pour les humains est d'environ 100 mA. Selon les fiches techniques, les piles ne peuvent toutefois pas fournir un courant aussi élevé ; donc, en théorie, ces piles constituent une alimentation sûre pour le traceur de fuite à la terre. En pratique, l'auteur a cependant mesuré que des courants (de pointe) de quelques centaines de mA pouvaient être tenus assez longtemps pour être potentiellement dangereux (voir l'encadré sur les CR2032). C'est pourquoi cette réalisation inclut par sécurité une résistance de limitation de courant.

Le matériel

Pour mesurer le courant de fuite, l'auteur a utilisé un ancien galvanomètre encastrable qu'il avait encore sous la main. Un galvanomètre analogique a l'avantage de réagir plus vite qu'un appareil numérique (standard) et on voit les courants de pointe à la mise sous tension. La résistance de ce galvanomètre (R_m) est de 2,4 kΩ et la pleine échelle (I_{PE}) de 60 µA. Des résistances permettent de le faire fonctionner dans la gamme correcte. Mieux vaut le protéger contre les surintensités : si une diode limite à 0,7 V la ddp aux bornes de la branche *compteur* + $R3$, $i_{max} = 53 \mu A$ (v. ci-après).

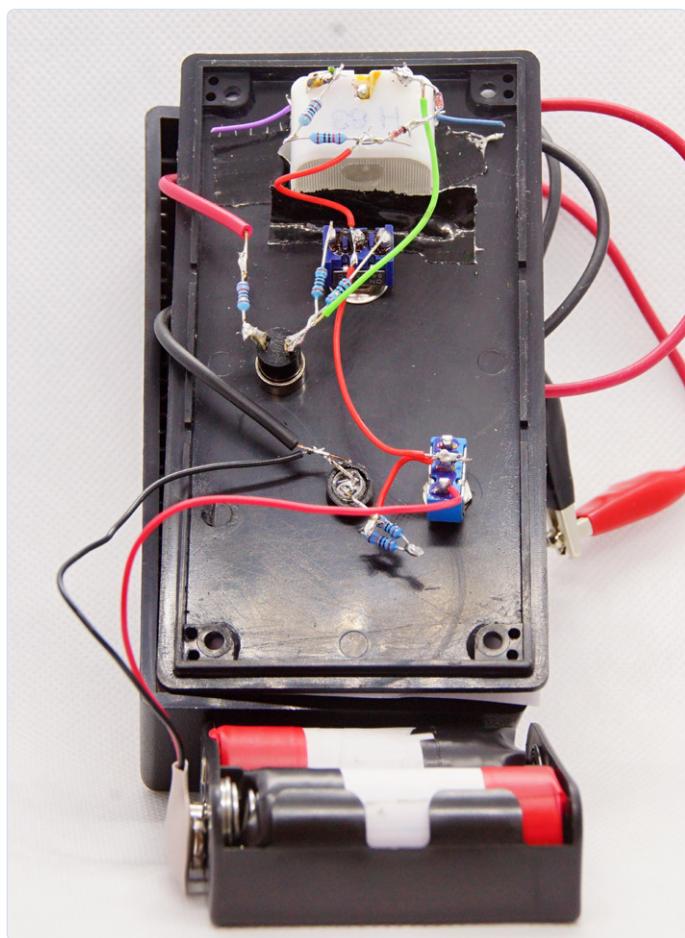


Figure 2. Réalisation du prototype de l'auteur.

La **figure 1** montre le schéma de ce traceur de fuite à la terre. R1 est la résistance de sécurité limitant le courant de fuite : avec 2,2 kΩ, le courant de fuite max. est de 45 mA environ. Si ce courant maximal circule, R1 dissipe 4 W. Donc soit on utilise une résistance de puissance, soit on coupe au bout d'un court instant.

Avec la résistance de shunt R2, la résistance R3 et la résistance interne R_m du compteur et à la condition $R2 \ll (R3 + R_m)$, on peut utiliser la loi d'Ohm pour calculer la gamme correcte du compteur :

$$R3 \leq \frac{V_{diode}}{I_{PE}} - R_m \quad R2 = \frac{(R_m + R3) \times I_{PE}}{I_{échelle}}$$

où $I_{échelle}$ est le courant de sortie maximal réel du circuit.

Nous pouvons ensuite modifier les valeurs des résistances de manière à pouvoir utiliser des résistances standard (gamme E12). L'auteur a utilisé les composants suivants :

➤ R3 = 11 kΩ (10 kΩ + 1 kΩ en série). Cela limite le compteur à '7' sur une pleine échelle de '8' : la diode limite la tension aux bornes de $R3 + \text{compteur}$ à 0,7 V, le courant max. vaut 53 µA environ, mais la valeur pleine échelle est de 60 µA. L'auteur utilise donc

COMBIEN DE CR2032 Y A-T-IL ?

Le succès de ce type de pile a un effet secondaire moins favorable : de nombreux fabricants produisent des CR2032. Outre les marques renommées, il existe un nombre inconnu de fabricants de piles au lithium de 3 V

ayant les mêmes dimensions (20 mm de diamètre, 3,2 mm d'épaisseur), dont cette pile bouton tire son numéro de type. Si on mesure la capacité, la résistance interne et le courant maximal, on voit que les caractéristiques des CR2032 n'obéissent à aucune norme réelle. Et lorsqu'il s'agit des piles les moins chères (celles que vous préférez acheter quand il vous en faut 32), il est impossible de savoir de quel fabricant elles proviennent, et l'emballage ne fournit généralement pas plus de données électriques que « 3 V ». Rétrospectivement, les données générales trouvées par l'auteur indiquant que le courant de court-circuit de ces piles resterait de l'ordre de quelques dizaines de mA se sont avérées très optimistes du point de vue de la sécurité. En effet, les CR2032 qu'il a achetées avaient un courant de court-circuit d'environ 300 mA, qui a lentement chuté à 80 mA en dix secondes. Ce serait donc une mauvaise idée d'omettre la résistance R1 qui limite le courant du traceur de fuite à la terre. Mieux vaut prévenir que guérir !

deux diodes en série soit une tension totale d'1,4 V, de façon à atteindre la pleine échelle, tout en limitant le courant à travers le galvanomètre à une valeur tolérable.

- R2a = 100 Ω (pour la gamme 8 mA)
- R2b = 10 Ω (pour la gamme 80 mA)

Étant donné la simplicité du circuit et le peu de composants, la réalisation du projet ne nécessite aucun circuit imprimé. La **figure 2** montre l'intérieur du traceur de fuite à la terre construit par l'auteur. En bas de cette photo, on voit les deux empilements de CR2032 enveloppés dans du ruban adhésif, dans un porte-piles standard pour deux piles C. Les bornes plus et moins de ces piles de 46 V maison sont repérées par du ruban adhésif respectivement rouge et noir.

Mesure du courant de fuite à la terre

L'utilisation de ce traceur de fuite à la terre est simple. En allumant l'appareil avec S1, la LED d'alimentation D2 s'illumine. En appuyant sur le bouton S2, on applique le potentiel de mesure aux câbles du traceur (mieux vaut utiliser des pinces crocodiles pour les connecter aux fils du circuit à tester). Le galvanomètre montre le courant de fuite éventuel. De cette façon, nous pouvons vérifier le courant de fuite de chaque fil des boîtes de jonction.

Avec les 96 V des batteries, le courant mesuré est bien sûr inférieur

au courant qui circuleraient réellement dans la fuite à la terre pour une tension secteur de 230 V. En effet, en supposant que la résistance de la fuite reste pratiquement constante entre 96 et 230 V, un courant proportionnel à la tension circulera. Par ailleurs, R_{int} = (résistance interne de la batterie + shunt + résistance de sécurité) réduit également le courant. Cette résistance interne peut facilement être déterminée en mesurant le courant de court-circuit du traceur de fuite avec un multimètre. Pour le prototype de l'auteur avec le shunt de 10 Ω (R2b) sélectionné, ce courant était de 38 mA et donc une résistance interne de 2526 Ω . À partir du courant mesuré I_m , le courant de fuite réel $I_{réel}$ avec la tension du secteur peut être calculé avec :

$$I_{réel} = \frac{V_{secteur}}{\frac{V_{batt}}{I_m} - R_{int}}$$

Report dans un tableau :

I_m [mA]	$I_{réel}$ [mA]
0	0
1	2
2	5
3	8
4	11
5	14
6	17
7	20
8	24
10	31
20	100
30	>200

Quel était donc le problème de l'installation électrique de la véranda de mes parents ? Un câble relié à une lampe d'extérieur présentait une fuite d'isolement qui indiquait 4 mA pendant le dépannage avec ce traceur de fuite à la terre, ce qui donnerait en pratique environ 11 mA avec la tension du réseau appliquée. La fuite s'est probablement aggravée pendant la pluie. La meilleure façon de résoudre le problème était de remplacer le câble. 

200576-04

Contributeurs

Conception et texte : Elbert Jan van Veldhuizen

Rédaction : Luc Lemmens

Illustrations : Elbert Jan van Veldhuizen, Patrick Wielders

Mise en page : Giel Dols

Traduction : Yves Georges

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel au rédacteur (luc.lemmens@elektor.com) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



PRODUITS

➤ **Testeur numérique de dispositif à courant résiduel (RCD), 2710 de PeakTech**
www.elektor.fr/19318

➤ **Testeur numérique de boucles, avec calcul du courant de court-circuit présumé (PSC), 2715 de PeakTech**
www.elektor.fr/19078



ATTENTION ! HAUTE TENSION !

Toute intervention sur un circuit ou système (potentiellement) connecté à la tension du secteur présente un risque pour la sécurité. Ni Elektor ni le concepteur de ce projet ne pourront être tenus responsables de dommages (sous quelque forme que ce soit) consécutifs à l'utilisation de ce traceur de fuite à la terre. Comme pour tout projet impliquant une connexion au secteur, nous vous mettons sincèrement en garde : si vous ne savez pas ce que vous faites, ne le faites pas !

LIEN

[1] **Disjoncteur différentiel :**
https://fr.wikipedia.org/wiki/Protection_diff%C3%A9rentielle