

fréquencemètre pour secteur CA

Contrôle de la fréquence et de la tension du secteur

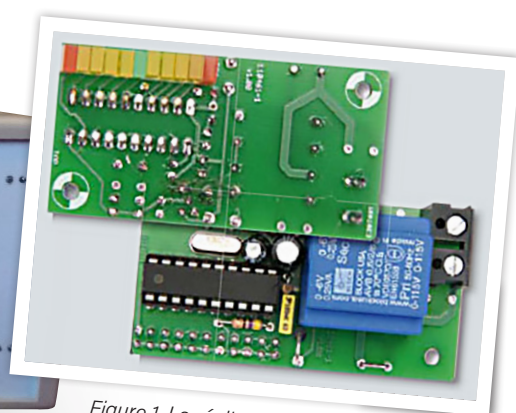
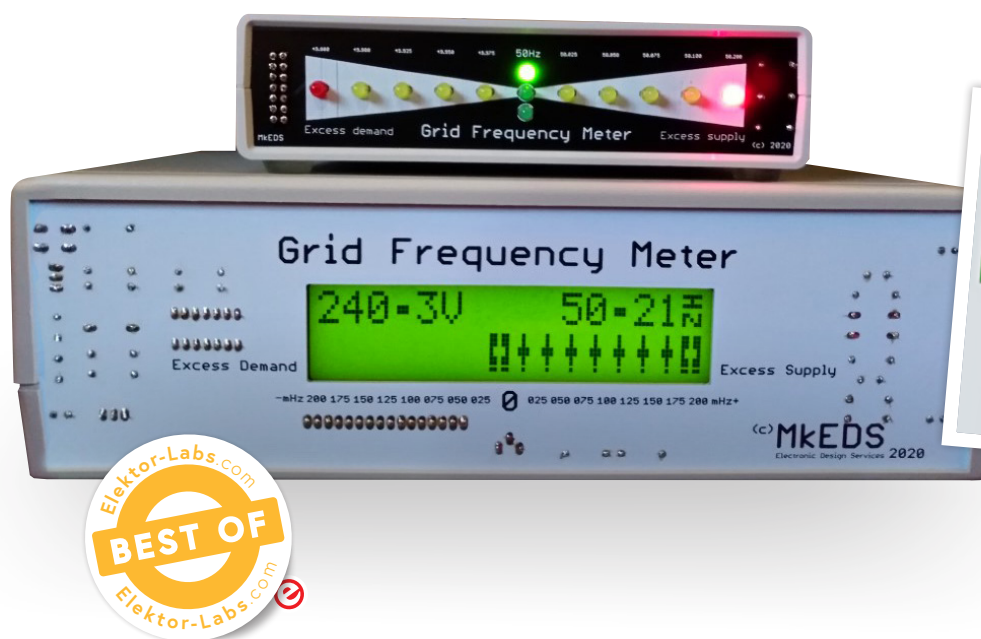


Figure 1. La réalisation de Dieter Laues avec affichage de la fréquence du secteur avec une ligne de LED.

Mark Stevenson (Royaume-Uni)

La fréquence traduit fidèlement la charge du réseau. Ce fréquencemètre pour le secteur surveille non seulement ce paramètre important de notre réseau CA, mais aussi sa tension.

Voilà quelques années, j'ai lu dans *Elektor* un article de Dieter Laues qui montrait comment on peut déterminer la charge du réseau électrique national en mesurant sa fréquence [1]. En bref : les générateurs ralentissent quand la charge augmente et donc la fréquence du secteur diminue ; quand la charge est faible, les générateurs

accélèrent et la fréquence augmente.

Au Royaume-Uni (R-U), le National Grid est tenu de maintenir la fréquence à $\pm 1\%$ de sa valeur nominale F_n de 50 Hz, donc entre 49,5 Hz et 50,5 Hz. Toutefois, l'opérateur vise à maintenir cette fréquence à $\pm 0,2$ Hz (49,8 Hz à 50,2 Hz). Le dépassement de ces limites causa une coupure générale de courant dans une grande partie du R-U : deux grandes centrales électriques tombèrent en panne quasi simultanément. La charge des centrales restantes devint soudain excessive et la fréquence baissa. Pour rester en deçà des seuils d'exploitation et permettre aux centrales restantes de continuer à produire, il fallut réduire la charge en « débranchant » une bonne partie des abonnés. Des installations de réserve prirent le relais et le courant fut finalement rétabli.

J'ai construit le compteur original (**fig. 1**) dès la publication du projet. Quelques années plus tard, je décidai de fabriquer ma propre version avec un μ contrôleur PIC de Microchip Technology au lieu de l'AVR du projet de Dieter. J'ai remplacé la barre de LED d'origine par un LCD, et mon compteur affiche aussi la tension du secteur. Note : cet appareil affiche les *tendances* des valeurs du secteur. Il n'est pas ultraprécis quant aux *mesures* de tension et de fréquence.

Matériel

La **figure 2** donne le schéma de principe du fréquencemètre pour le secteur. Un bloc secteur enfichable CA de 9 à 12 V_{eff} est connecté à K1. C1 élimine tout bruit HF. D2 redresse en monoalternance et, après lissage par C2 et C3 (470 μ F), alimente le régulateur 5 V IC1. En cas de coupure de courant, grâce à C5 et C2+C3, le processeur

a le temps d'enregistrer la perte de tension dans l'EEPROM. R5 polarise le bouton-poussoir NO d'étalonnage à 5 V. Idem pour R8/R9 et les ponts à souder 120/220 V. Si aucun pont n'est soudé, l'échelle de tension est par défaut de 240 V. Ainsi, la tension de sortie du bloc secteur CA est utilisée pour mesurer la tension du secteur ; cette mesure fiable n'est pas ultraprécise, mais l'est assez pour suivre les variations de tension CA. Les diodes D3 et D4 redressent en monoalternance les entrées respectives tension/fréquence. D3 est reliée à l'entrée CA par R1, ce qui combiné à D5 et R10 limite la tension maximale appliquée sur Volt_In (br. 3) du μ contrôleur. Le potentiomètre à dix tours R11 permet de régler la tension sur une plage raisonnable ; R10 apporte une atténuation supplémentaire lorsque R11 est à sa valeur maximale. D4 est reliée à travers R3 à la base du transistor de mise en forme d'impulsion. C4 filtre tout bruit sur l'alimentation AC, ce qui arrondit les transitions, mais le logiciel compense en mesurant la durée des niveaux *haut* et *bas* de l'impulsion.

D1, R2, R4 et C8 alimentent le rétroéclairage du LCD. Ce redressement monoalternance peut entraîner un scintillement du rétroéclairage si on le regarde de près. En cas de gêne, C8 peut être augmenté. Il faut adapter R2 et R4 à la limite de courant spécifique au LCD installé.

Le μ contrôleur (IC2) est un PIC16F1825 fonctionnant à 32 MHz. Le LCD est connecté en mode 4 bits et la broche R/W est à la masse (écriture seule). R13 est un potentiomètre de réglage du contraste du LCD.

Construction

Le dessin du circuit est simple en soi et ne contient que des composants traversants standard. Si vous ne voulez pas faire faire un circuit imprimé, réaliser le montage sur une carte de prototypage ou une platine d'essai devrait être aisé. Diverses cartes ont été réalisées pour ce projet, les photos de cet article et celles d'*Elektor Labs* illustrent une version à LCD géant (récupéré d'un appareil mis au rebut) ; ce fréquencemètre pour le secteur utilise le côté cuivre de la carte comme face avant. Des fichiers de

CAO Eagle et Gerber sont disponibles en téléchargement sur *Elektor Labs* [2] pour les LCD standard à 2×16 caractères ou le LCM1602 plus grand.

Logiciel

À nouveau projet, nouveau logiciel. Après mûre réflexion, j'ai choisi la façon de mesurer la période d'impulsion avec un MCU PIC trouvée sur le forum *Great Cow BASIC* [3]. Pour écrire le code, j'ai utilisé le compilateur *open source* Great Cow BASIC [4] pour les PIC et AVR à 8 bits. Le code source et le fichier HEX de programmation du PIC16F1825 sont en téléchargement sur la page *Elektor Labs* du projet [2]. Le signal « carré » que délivre T1, le transistor de mise en forme de la demi-alternance CA, n'est pas parfait. Il est arrondi, un peu asymétrique et les durées hautes et basses diffèrent. En mesurant les deux durées *haute* et *basse* et en en faisant la somme, on corrige ce problème. Un délai d'attente est prévu pour qu'en cas de perte d'alimentation à cause d'une panne du secteur, le compteur ne reste pas dans l'attente de

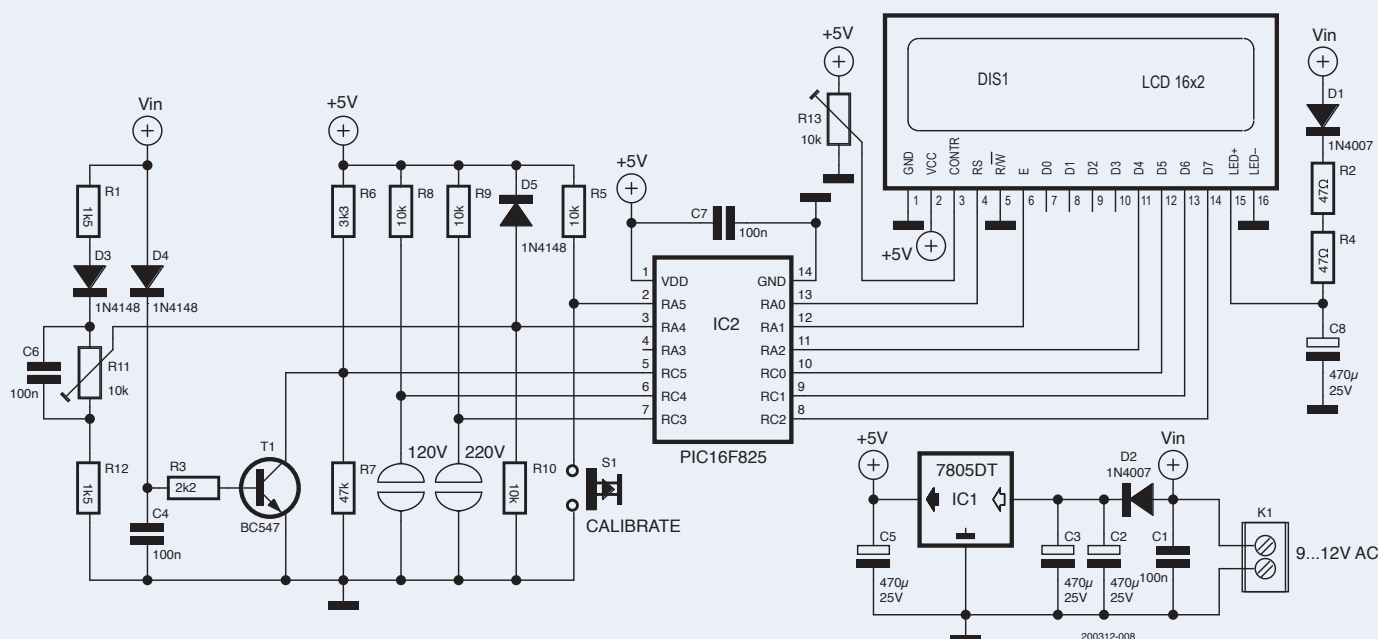


Figure 2. Schéma du projet.

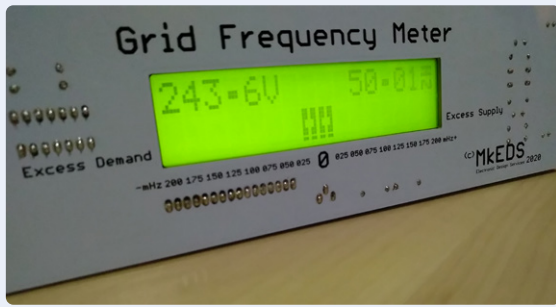


Figure 3. Affichage de la mesure en conditions normales.



Figure 4. Affichage de l'événement « sous-tension ».

la transition suivante *haute* ou *basse*. On utilise la moyenne de 20 comptages. La fréquence affichée est bien plus stable. Le logiciel détecte automatiquement une fréquence du secteur nominale F_n de 60 Hz et étalonne l'affichage du bargraphe pour le centrer autour de 60 Hz. Faute de moyen précis de produire du 60 Hz, cela n'a pas encore été testé.

Une fois la fréquence mesurée, c'est au tour de la tension du secteur. Une demi-alternance brute, non filtrée, arrive sur la broche 3. Elle est échantillonnée 50 fois à intervalle de 1 ms et la lecture de crête est exploitée. Cette lecture est ensuite multipliée par un facteur adéquat pour afficher la valeur approchée de la tension efficace. Deux ponts à souder permettent de choisir un facteur d'échelle parmi trois comme indiqué sur le schéma. Cela permet la détection correcte de la tension nominale V_n de 120 V, 220 V ou 240 V. Un potentiomètre à 10 tours permet de s'adapter à une alimentation CA de 9 à 12 V_{eff} . Avec les ponts corrects en place, et si la broche 3 reçoit 4 $V_{crête}$, la bonne tension du secteur doit s'afficher. Pour stabiliser la mesure et l'immuniser contre le bruit, le programme fait la moyenne de huit comptages.

Ce que montre l'écran

Avec le LCD à 2×16 caractères le plus courant, en conditions normales, la ligne du haut indique à gauche la tension du secteur, la fréquence s'affiche sur les six caractères les plus à droite, comme sur la **figure 3**. La ligne du bas de l'écran LCD affiche un bargraphe à segments s'allumant progressivement à partir du centre. Si les segments s'allument du centre vers la droite, la fréquence est supérieure à sa valeur nominale ($>F_n$) ; si c'est du centre vers la gauche, la fréquence est $<F_n$. Un segment équivaut à 25 millihertz (mHz). Huit segments dans chaque direction permettent d'afficher ± 200 mHz. Si la

fréquence est très proche de F_n , les deux éléments centraux prennent chacun l'aspect d'un grand bloc carré. Si la fréquence s'éloigne de F_n , le bloc à gauche ou à droite du centre se change en un caractère « + » s'étendant verticalement, pointant vers le haut ou le bas de la fréquence, selon le sens de l'écart.

Les deux caractères du centre de la ligne du haut sont utilisés pour signaler des « événements ». Si la tension ou la fréquence dépassent une limite (± 5 % en tension, $\pm 0,6$ % en fréquence), un drapeau et un symbole d'événement s'affichent. Par ex., une flèche vers le bas s'affiche si la tension est faible, une flèche vers le haut si elle est excessive.

Si un événement s'est produit, le temps écoulé depuis ce dernier s'affiche dans la partie inutilisée de la zone d'affichage du bargraphe une fois par minute environ, au format heures et minutes pour les premières 24 heures, puis jours et heures. Par ex., l'affichage de la **figure 4** montre un drapeau d'événement *sous-tension* : un symbole qui évoque une fiche débranchée de sa prise, suivi d'une flèche vers le bas. La 2^e ligne indique que l'événement s'est produit il y a une minute et que la fréquence était $>F_n$: l'indication de temps est à gauche et le bargraphe s'étend vers la droite de la ligne. Si la fréquence avait été $<F_n$, le bargraphe se serait étendu vers la gauche et l'heure de l'événement aurait été placée à droite du bargraphe.


Les événements de tension s'effacent automatiquement après sept jours, ceux de fréquence après dix minutes. On peut effacer les événements manuellement d'une brève pression sur le bouton *Calibrage*. Le logiciel tentera de stocker l'événement le plus récent dans l'EEPROM. Le plus probable est un événement *sous-tension*. En cas de coupure du secteur, les condensateurs électrolytiques de part et d'autre du régulateur 5 V doivent garder le proces-

seur alimenté pendant quelques ms après la chute de la tension sur ses broches 5 et 3 (mesures fréquence/tension). Si le secteur baisse ou tombe à zéro pendant plus de 500 ms, cet événement doit être capturé et enregistré. Si le secteur est totalement coupé, l'événement doit être enregistré. Lorsqu'il est rétabli, l'événement s'affiche et le décompte de temps redémarre de zéro.

Étalonnage

Le processeur utilisé possède un résonateur interne. Il est raisonnablement précis, mais si on essaie de descendre à une précision du mHz, on note des différences d'un processeur à l'autre. L'étalonnage réalise une petite correction de la somme des durées des niveaux *Haut* et *Bas* des impulsions dérivées de la tension CA d'entrée. Le facteur de correction est déterminé une fois pour toutes et stocké dans l'EEPROM. L'étalonnage s'effectue par une pression prolongée sur le commutateur *Reset/Calibrates1*. La valeur d'étalonnage initiale s'affiche quelques ms puis commence à augmenter. La plage de réglage est comprise entre -99 et +99. Si l'étalonnage augmente au-delà de +99, il revient à -99. Un pas de réglage ajoute ou soustrait une valeur équivalente à ± 250 μ Hz, la plage complète de réglage étant juste inférieure à ± 250 mHz. Si vous disposez d'un générateur de signaux ayant une résolution (et une précision) de l'ordre du mHz, vous pouvez l'utiliser : retirez D4 et envoyez le signal directement à la broche 5 d'IC2. Il est plus pratique d'attendre 2 à 3 heures du matin (on suppose que fréquence et tension du secteur sont nominales à cette heure) puis de régler le compteur pour qu'il indique la fréquence nominale (F_n) du secteur, soit 50 ou 60 Hz. Je préfère cette méthode car le risque de frustration est réduit ! Si le compteur est réglé ainsi, je vous suggère de surveiller la fréquence et de noter si elle est majoritairement $>F_n$ ou $<F_n$, en effectuant de petits

ajustements jusqu'à ce qu'elle soit correcte. La lecture de tension du secteur peut être étalonnée à l'aide de n'importe quel multimètre assez précis **en observant les précautions applicables à la mesure de tensions potentiellement mortelles**. Si vous n'êtes pas sûr de vous en matière de mesure de haute tension, attendez jusqu'aux premières heures du matin et réglez le potentiomètre pour que la tension V_n s'affiche.

Sur *Elektor Labs*, on note quelques commentaires concernant l'exactitude et la pertinence d'utiliser un processeur à résonateur interne par rapport à un quartz externe. J'estime que le résonateur interne est validé par l'utilisation : récemment j'ai construit ma propre version du montage de Dieter Laues qui utilise un cristal et, le « mien » et le « sien » ont fonctionné côte à côte pendant plusieurs mois. À aucun moment, je n'ai perçu le besoin de revoir la conception du mien ni d'utiliser un oscillateur à quartz. 

200312-04 – VF : Yves Georges

Des questions, des commentaires ?

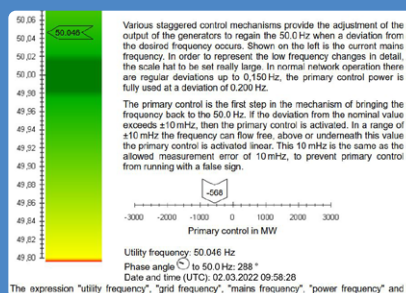
Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

Fréquence du réseau électrique en ligne

Si vous souhaitez voir ou même suivre la fréquence du secteur sans acheter ou construire votre propre compteur, il existe quelques sites web qui fournissent des informations intéressantes sur le secteur. Au R-U, un certain nombre de ressources en ligne indiquant la fréquence instantanée existaient jadis ; cependant, en les observant, on s'apercevait que certaines étaient en retard sur d'autres et qu'elles ne concordaient presque jamais. Pire, en majorité elles semblent avoir disparu ou s'appuyer sur Adobe Flash aujourd'hui dépassé et rejeté par les navigateurs modernes. En faisant des recherches pour cet article, nous avons trouvé un site du R-U qui semble être précis [5], le rafraîchissement n'est pas automatique, et il faut constamment rafraîchir la page pour obtenir la valeur instantanée



Pour l'Europe, nous en avons trouvé un qui fonctionne bien, avec rafraîchissement automatique, mais nous ne pouvons certifier son exactitude [6].



LISTE DES COMPOSANTS

Résistances

R1,R12 = 1,5 kΩ
R2,R4 = 47 Ω
R3 = 2,2 kΩ
R5,R8,R9,R10 = 10 kΩ
R6 = 3,3 kΩ
R7 = 47 kΩ
R11 = 10 kΩ ajustable, multitour
R13 = ajustable 10 kΩ

Condensateurs

C1,C4,C6,C7 = 100 nF
C2,C3,C5,C8 = 470 μF, 25 V radial

Semi-conducteurs

D1,D2 = 1N4007
D3,D4,D5 = 1N4148
T1 = BC547
IC1 = 7805
IC2 = PIC16F1825

Divers

S1 = bouton-poussoir NO
DIS1 = LCD alphanumérique,
2×16 caractères



PRODUITS

➤ **Compteur intelligent SmartPi 3.0 pour Raspberry Pi (carte, sondes et boîtier)**
www.elektor.fr/19953

➤ **2715 - testeur numérique de boucles / PSC (courant de court-circuit présumé) de PeakTech**
www.elektor.fr/19078

➤ **3445 - multimètre numérique à valeurs efficaces vraies, avec Bluetooth, de PeakTech**
www.elektor.fr/18774

LIENS

- [1] « Le réseau EDF à la loupe », Dieter Laues, Elektor 01/2012 : www.elektormagazine.fr/110461
- [2] Page de ce projet sur Elektor Labs : www.elektormagazine.fr/labs/electricity-grid-frequency-meter-v2
- [3] « Measuring Pulse Width To Sub-Microsecond Resolution with PIC Capture & Compare », W. Roth, Great Cow BASIC, 2015 : <https://bit.ly/measuring-pulse-width>
- [4] Compilateur BASIC Great Cow : <http://gcbasic.sourceforge.net/Typesetter/index.php/Home>
- [5] Fréquence du secteur R-U en ligne : <http://mainsfrequency.uk/fm-last10m>
- [6] Fréquence du secteur UE en ligne : www.gridwatch.templar.co.uk