

Puissances consommées, wattmètre, watts, volts-ampères, ...

Par Jean-Paul Gendner, F5BU
Site : f5bu.fr

Résumé

Cet article, se veut surtout pédagogique, et vise la consommation de courant d'appareils usuels. Ceux qui ne s'intéressent pas à la technique, peuvent ne pas lire la description technique de l'instrument de mesure.

L'article situe le sujet, puis :

- Rappelle les définitions des différentes puissances : actives, apparentes et réactives ;
 - Donne la consommation de quelques appareils courants et les courbes de consommation, en fonction du temps, pour un ensemble TV, un réfrigérateur et la charge d'un téléphone portable ;
 - Donne des courbes courant - tension pour illustrer les différents types de puissances ;
 - Décrit le principe et la réalisation de l'appareil qui a permis de mesurer et d'enregistrer les données présentées.
- Il est à noter que cet appareil est également utilisable avec du courant continu.

Introduction

D'un point de vue écologique, il est plus qu'urgent de réduire notre consommation d'énergie. Or, de plus en plus d'appareils sont prévues pour rester en veille en permanence et consomment donc de l'énergie 24h/24. Certains appareils consomment même de l'énergie lorsqu'ils sont arrêtés, d'autres n'ont tout « simplement » plus d'interrupteur pour les couper ! Les consommations ne sont pas toujours importantes, mais le nombre d'appareils concernés grimpe de façon exponentielle et les petits ruisselets font les grandes rivières.

Prenons un exemple : un de nos volets roulant électriques consomme 0,44 W. Il ne s'agit pas d'un modèle avec télécommande qui consumerait certainement plus, mais du modèle le plus simple avec juste les ouvertures et fermetures programmables, le programmeur comportant une pile pour son alimentation. On peut sans doute considérer qu'il y a au moins un volet par habitant, alors, si tous les volets en France étaient de ce type, la consommation serait de 26 MW !

Ne trouvant pas dans le commerce un appareil répondant à mes souhaits de mesures, j'ai fini par réaliser l'appareil décrit à la fin de cet article, afin de pouvoir répondre à mes questionnements.

Rappels

Avant de parler de consommations, d'aborder le principe de fonctionnement de l'appareil et de sa réalisation, rappelons-nous quelques définitions.

Tout d'abord, la **puissance** est la quantité d'énergie (exprimée en joules dans le Système International d'unités) consommée par unité de temps (la seconde). Le watt, généralement utilisé dans le domaine de l'électricité, est égal à un joule par seconde, et un watt-heure est égal à 3600 joules.

En courant continu, la puissance absorbée par un circuit ou un appareil est égale au produit de la tension, aux bornes de l'appareil, par le courant qui le traverse :

$$P = U \cdot I$$

Avec P en watts, U en volts et I en ampères. C'est très simple.

En courant alternatif sinusoïdal, c'est un peu plus complexe. D'une part parce que pour chaque grandeur, y compris la puissance, on peut considérer des valeurs instantanées, la valeur maximale ou crête, la valeur crête à crête et/ou la valeur efficace (sur une ou plusieurs périodes) ; mais surtout parce que l'on distingue trois types de puissances :

- la **puissance (efficace) active** ou réelle, c'est-à-dire celle qui produit un travail ou de la chaleur :

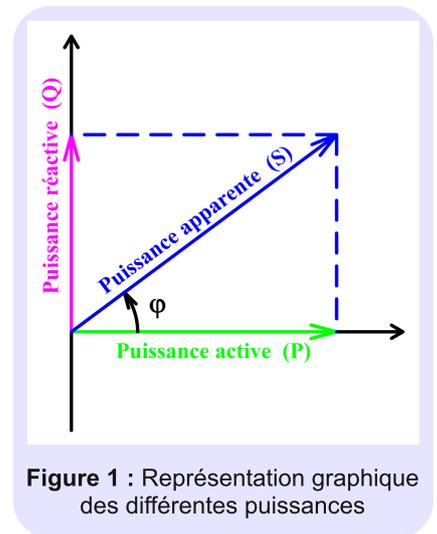


Figure 1 : Représentation graphique des différentes puissances

$$P = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos(\varphi)$$

s'exprime en watts, U_{eff} et I_{eff} étant la tension et le courant efficace (ou moyenne quadratique, RMS de Root Mean Square en anglais). Par exemple, pour un signal sinusoïdal :

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{Crête}}}{\sqrt{2}} = \frac{U_{\text{Crête-Crête}}}{2 \cdot \sqrt{2}}$$

- la **puissance apparente** :

$$P_a \text{ ou } S = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$$

s'exprime en volts-ampères ;

- la **puissance réactive** :

$$P_{\text{ar}} \text{ ou } Q = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \sin(\varphi)$$

s'exprime en VAR (VA réactifs).

En effet, en courant alternatif, le courant n'est pas forcément en phase avec la tension, et le dé-

phasage est défini par l'angle φ . Voir figure 1. Le théorème de Pythagore permet d'écrire :

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

Par exemple, pour une capacité, le courant est en avance de 90° sur la tension.

Lorsque le courant est alternatif, mais non sinusoïdal, les choses se compliquent encore un peu, car les valeurs efficaces en tension, en courant et en puissance ne peuvent plus être déduites simplement des valeurs de crête ou crête à crête. Il faut alors revenir à la définition fondamentale :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) \cdot dt$$

$u(t)$ et $i(t)$ étant les valeurs instantanées de la tension et du courant.

Pas d'affolement parce qu'il y a une intégrale. Ceci veut tout simplement dire que la puissance active ou réelle est égale à la puissance moyenne consommée durant un temps donnée, sachant que le produit $u(t) \cdot i(t)$ peut être négatif à certains moments. S'il s'agit d'un courant alternatif, le temps T doit être égal à un multiple entier de fois la période.

Il ne faudrait alors plus parler de cosinus φ , mais de facteur de puissance.

Quelques consommations

Voyons maintenant quelques résultats côté consommation d'appareils.

La veille de notre machine à café est de 2 W, juste pour afficher l'heure sur un LCD, l'affichage lui-même ne nécessitant que quelques dizaines de μW (micro-Watts) au plus. Celle du four à micro ondes est de 1,7 W, celle du téléphone sans fil de 1,2W, celle du routeur ADSL WIFI de 9,2 W et celle de l'écran d'ordinateur de 0,8 W, sachant que, arrêté, il consomme encore 0,7 W ! Pour l'imprimante, la consommation de veille est de 6 W (0,4W à l'arrêt) et celle de l'unité centrale de l'ordinateur de 4,4 W (4 W à l'arrêt !).

La figure 2 donne l'évolution, entre 19h et 10h30 le lendemain

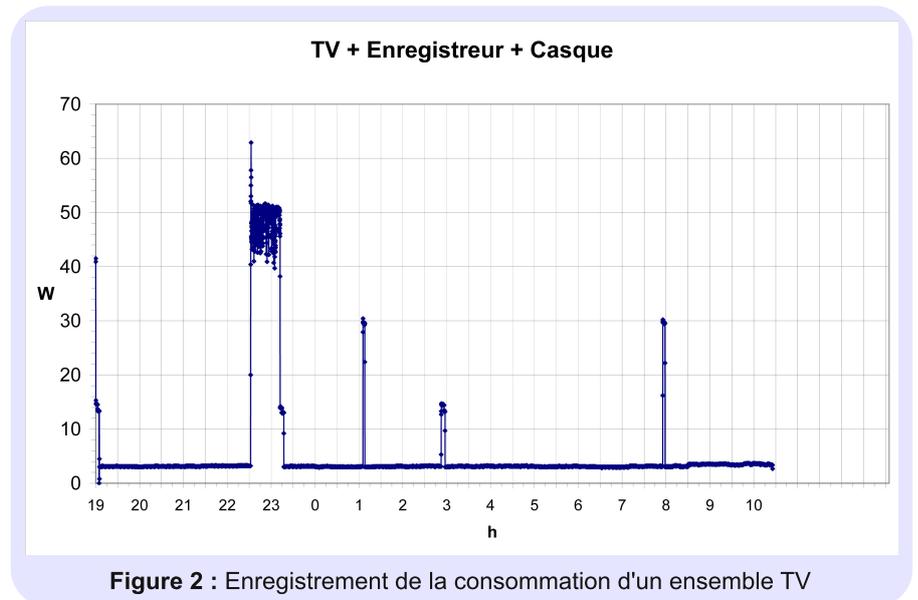


Figure 2 : Enregistrement de la consommation d'un ensemble TV

de la consommation d'un ensemble télévision, plus enregistreur, plus casque IR. On distingue, qu'à la mise sous tension, TV à l'arrêt, la consommation est d'environ 14 W durant 5 min, puis elle tombe à environ 3 W. Des mesures complémentaires ont permis de montrer que cette consommation est égale à la consommation de 2,4 W du chargeur du casque, plus 0,13 W lié à la TV et 0,73 W lié à l'enregistreur. A la mise en route de la TV vers 22h30, la consommation passe à une cinquantaine de watts. A la coupure, on constate un prolongement de la consommation à nouveau de 14 W durant environ cinq minutes, avant de revenir aux 3 W. Un peu bizarrement, on constate trois autres consommations durant

la nuit. Des mesures complémentaires ont permis de montrer qu'un peu après 1h du matin, et à nouveau vers 8h, c'est l'enregistreur qui se « réveille » tout seul et consomme environ 30 W durant 2,6 min, alors qu'un peu avant 3h c'est la TV qui consomme environ 14 W durant un peu plus de 5 min.

La figure 3 donne l'évolution de la consommation d'un réfrigérateur de 21h à 12h30 le lendemain. On y distingue bien 4 périodes de fonctionnement du groupe de froid, avec à chaque fois un important appel de courant au démarrage, puis une petite décroissance de forme exponentielle jusqu'à la coupure. A partir de 8h30, on distingue également les effets de plusieurs ouvertures de

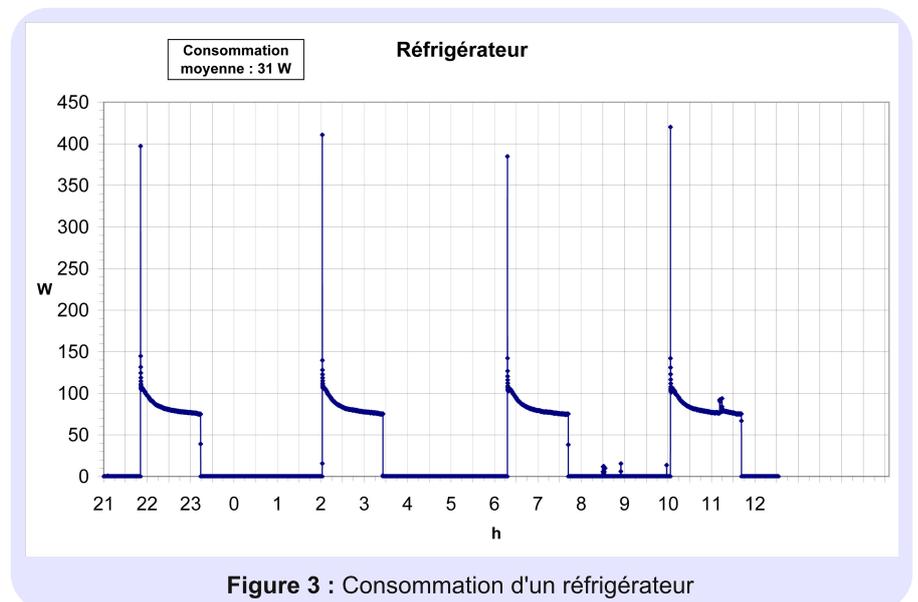


Figure 3 : Consommation d'un réfrigérateur

porte, car celles-ci provoquent l'allumage de l'éclairage intérieur, et donc une petite consommation. Suite à l'ouverture de la porte durant le fonctionnement du groupe, on voit également une petite augmentation de la consommation due à une petite remontée de la température.

Enfin, la figure 4 donne l'évolution de la consommation durant la charge d'un téléphone portable. On distingue a priori trois phases : charge à puissance quasi constante, complément de charge décroissant de manière exponentielle et enfin maintien de charge par une succession de petites impulsions de charges. La consommation totale pour la charge est de 4,2 Wh.

Remarque : pour déterminer la rentabilité de l'utilisation d'accumulateurs (batteries rechargeables + chargeur) par rapport à des piles (non rechargeables), il faut donc surtout tenir compte des prix d'achat des différents éléments, car le coût des recharges est vraiment extrêmement faible.

Quelques courbes courant-tension

La figure 5 donne un exemple des courbes de la tension (en bleue) et du courant (en magenta) obtenues avec une ampoule allongée, notée 42 W, comme charge. Remarque : il n'est pas besoin d'être un grand utilisateur d'oscilloscope pour se rendre compte que ni la tension du secteur, ni le courant, ne sont vraiment sinusoïdales. Pour ceux qui n'auraient pas une sinusoïde dans l'œil, la courbe verte ajoutée en est une.

Ici, nous sommes en présence d'une charge purement résistive, et le courant est parfaitement en phase avec la tension.

La figure 6 montre l'affichage de l'appareil durant une telle mesure.

De gauche à droite, et de haut en bas, il y a la tension efficace aux bornes de la charge, le courant efficace traversant la charge, la puissance apparente, la fréquence, le facteur de puissance

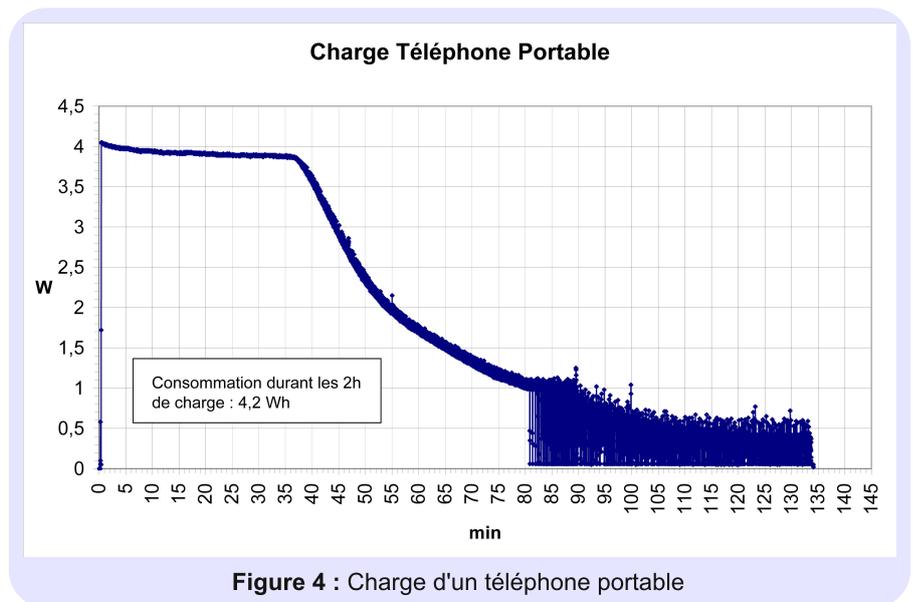


Figure 4 : Charge d'un téléphone portable

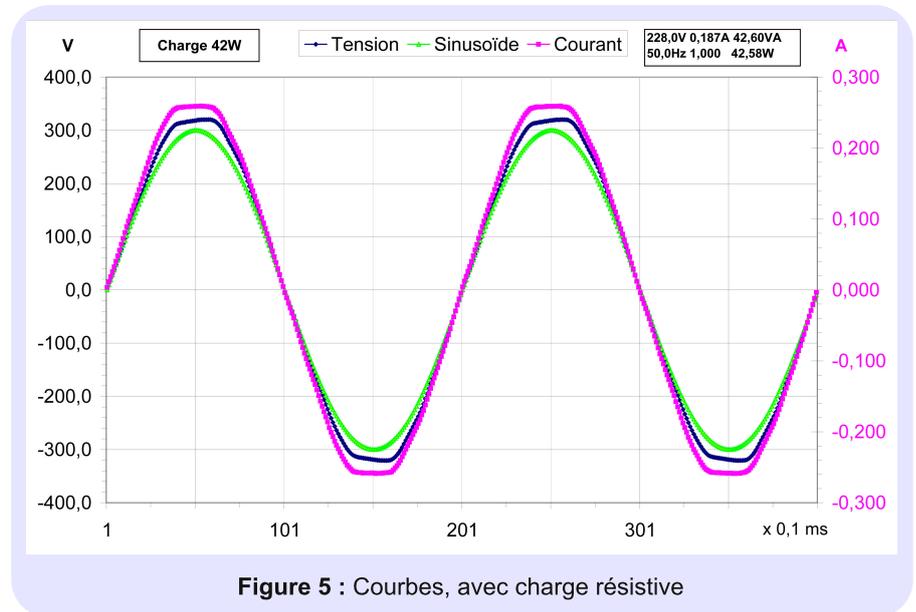


Figure 5 : Courbes, avec charge résistive



Figure 6 : Exemple d'affichage sur l'écran LCD

et la puissance active. Comme on pouvait s'y attendre, le facteur de puissance est de 1 car la puissance apparente et la puissance active sont identiques à moins de 0,05% près.

Voyons maintenant un autre exemple, extrême celui-là, celui de la charge par une capacité noté

100 nF 630 V~, mais pour laquelle le capacimètre indique 82 nF. L'affichage donne cette fois : 233 V, 0,0061 A, 1,414 VA, 50,0 Hz, 0,002, 0,003 W et les courbes de la tension et du courant sont données par la figure 7. On y voit très bien que le courant est en avance d'un quart de période et que le courant est posi-

tif puis négatif pendant que la tension est positive et l'inverse quand la tension est négative. La somme des produits tension fois courant est donc quasi nulle.

Pour un signal sinusoïdal, un courant de 6,1 mA correspond à une impédance de :

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{233}{0,0061} \approx 38200 \Omega$$

ce qui permet de calculer la valeur de la capacité (en considérant qu'elle est parfaite) :

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot Z} \approx \frac{1}{12000000} \approx 83 \text{ nF}$$

Remarques

- La forme très « perturbée » du courant est liée à la forme non vraiment sinusoïdale de la tension du secteur (pour les mathématiciens : le courant dans une capacité est proportionnel à la dérivée de la tension :

$$i = C \cdot \frac{dv}{dt}$$

qui représente à tout moment la pente du signal tension).

- Une capacité de 470 nF, d'un modèle différent (MKP), consommait 8,036 VA et 0,000 W avec donc un facteur de puissance de 0,000.

Voyons maintenant ce que cela donne lorsque l'on met une résistance de 39 kΩ (38,6 KΩ à l'ohmmètre) en série avec la capacité de 82 nF. Les courbes sont sur la figure 8 et les données affichées étaient :

234 V, 0,0043 A, 1,013 VA
50,0 Hz, 0,705 et 0,714 W.

La résistance en série doit donc être en mesure de dissiper (au moins) 0,714 W.

Voyons aussi ce que consomme un transformateur de 50 VA à vide (sans charges aux secondaires). Les courbes sont celles de la figure 9 et on voit ici un retard important du courant par rapport à la tension. Les résultats affichés étaient :

233 V, 0,0399 A, 9,292 VA
50,0 Hz, 0,406, 3,775 W.

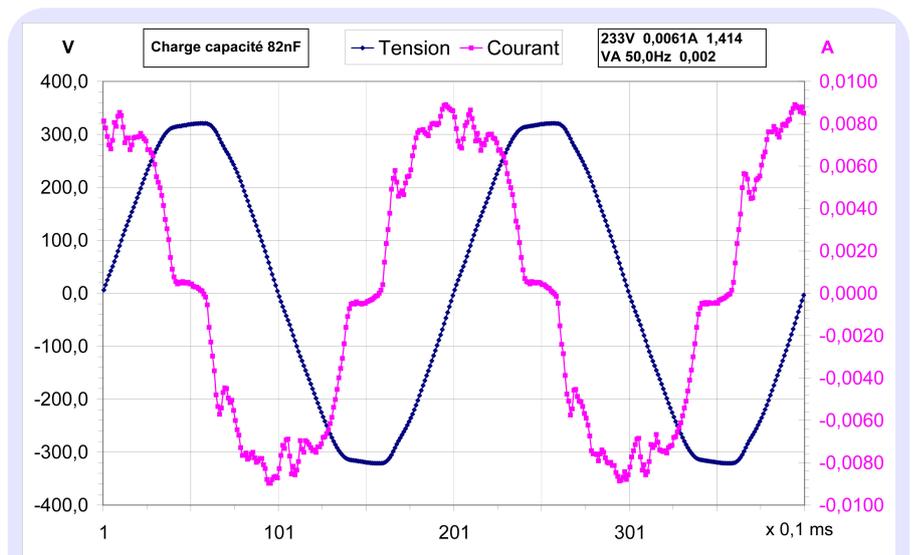


Figure 7 : Courbes, avec charge capacitive

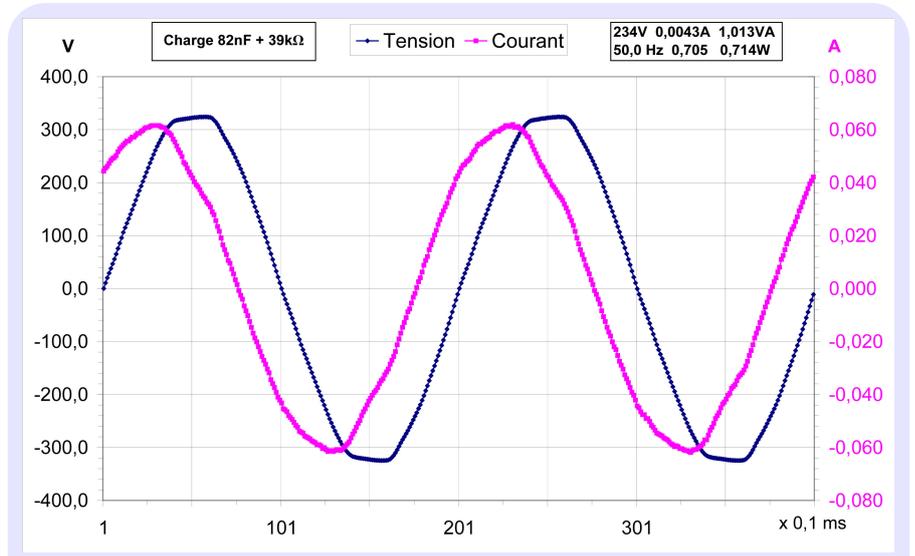


Figure 8 : Courbes, pour une charge RC

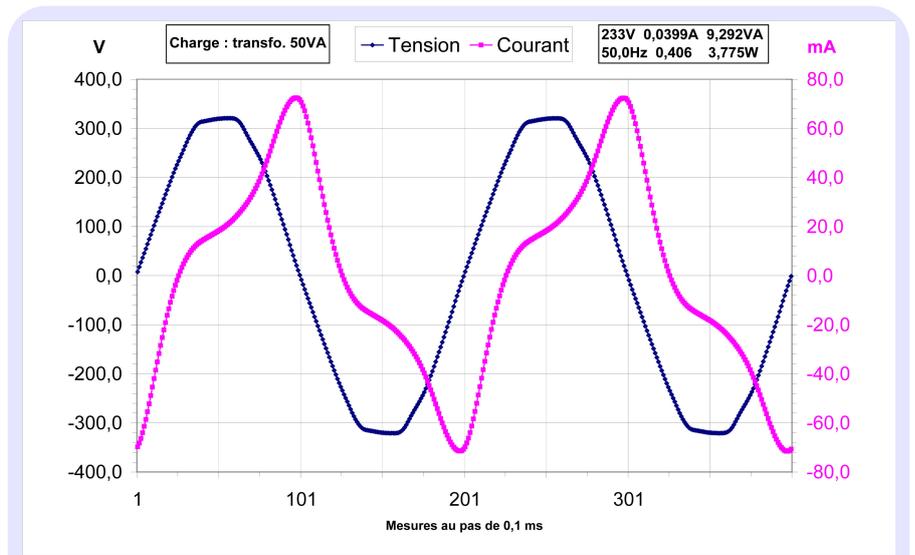


Figure 9 : Courbes, avec un transformateur

celle d'un condensateur, c'est bien connu en HF. C'est également vrai à 50 Hz. Pour des signaux sinu-

La qualité d'un transformateur (ou d'une self) ne vaut pas

soïdaux donnant les mêmes valeurs, le cosinus ϕ serait égal au facteur de puissance. On peut donc calculer les déphasages équivalents : 0,002 (89,9°) pour la capacité et 0,406 (66°) pour le transformateur. 0,705 (45,2°) pour la capacité en série avec la résistance.

Voyons aussi sur la figure 10 la forme du courant pour une alimentation à découpage. Ici celle d'un ordinateur. On remarque que le courant est un peu en avance sur la tension. Il s'agit donc d'une charge plutôt capacitive, mais le courant est relativement bien réparti sur chaque période. Sans doute pour être conforme aux normes. Les valeurs affichées étaient :

231,3 V 0,54 A 125,4 VA
50,0 Hz 0,877 110,0 W.

Pour compléter ces tests, voyons aussi les résultats obtenus avec une ampoule à faible consommation. Les courbes données figure 11 sont celles correspondantes à une ampoule fluocompacte notée 20 W pour laquelle les valeurs affichées étaient :

228,0 V 0,125 A 28,56 VA
50,0 Hz 0,619 17,69 W

Une utilisation intensive de ces ampoules ne devrait pas arranger la forme du signal du secteur. Il est même étonnant qu'elles soient aux normes.

Les courbes pour une ampoule à DEL (diodes électroluminescentes) sont données figure 12 et les données affichées étaient :

233,0 V 0,092 A 21,50 VA
50,0 Hz 0,089 1,91 W.

La comparaison des courbes avec celles vues précédemment montre qu'il s'agit là d'une charge fortement capacitive.

Toujours à titre d'exemple, et avant d'aborder un autre aspect, la figure 13 donne les courbes de la tension et du courant obtenues en utilisant comme source d'alimentation un convertisseur DC-AC 12 V-

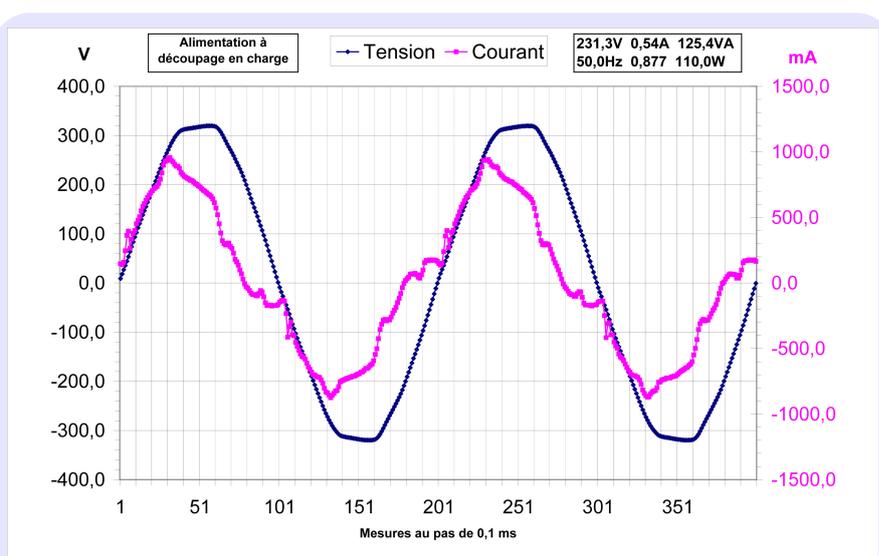


Figure 10 : Courbes, avec une alimentation à découpage en charge

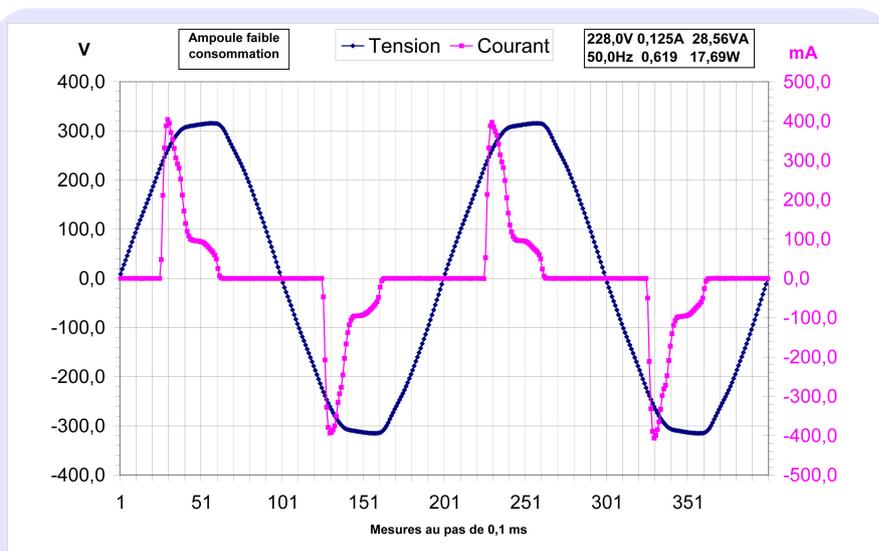


Figure 11 : Courbes, avec une ampoule fluocompacte

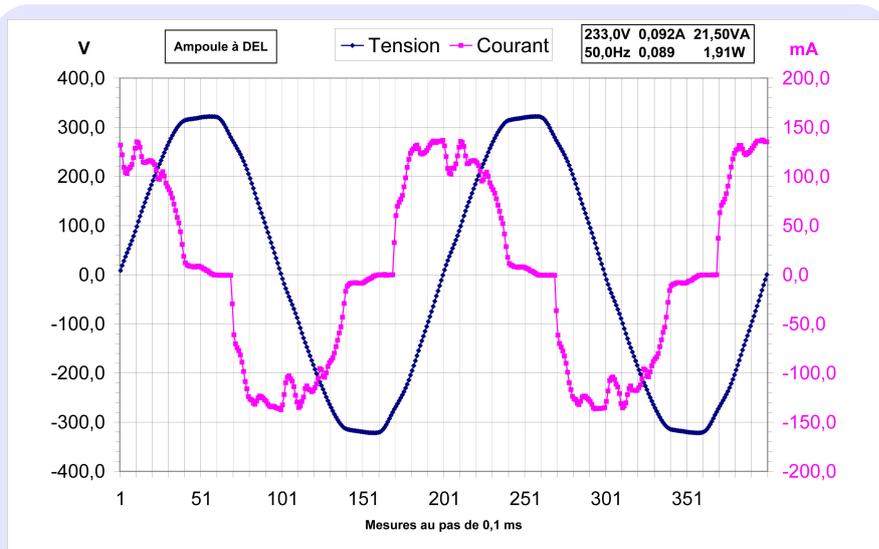
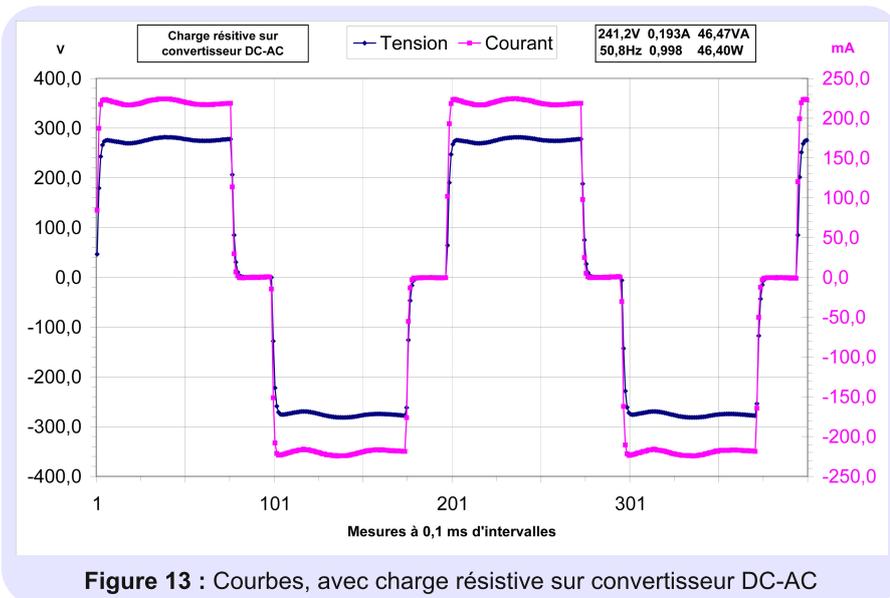


Figure 12 : Courbes, avec ampoule à DEL

230 V 250 W et comme charge la même ampoule à incandescence que pour la figure 5. Sans la

charge, les plateaux de tension ne présentent aucune ondulation, mais avec ou sans charge, la ten-



sion et la fréquence fluctuent rapidement. Les données affichées étaient :
 241,2 V 0,193 A 46,47 VA
 50,8 Hz 0,998 46,40 W.

L'instrument

Attention, la manipulation d'un appareil connecté au secteur est dangereuse et peut être mortelle. Il ne faut donc raccorder au secteur un tel appareil qu'une fois le boîtier isolant fermé, afin d'éviter tout contact avec un conducteur interne, car tous les composants sont au potentiel du secteur.

Principe de l'instrument

L'objectif de l'instrument réalisé est de pouvoir mesurer la consommation de tous les appareils, y compris les alimentations à découpage, les montages utilisant une capacité en série avec le secteur, les petits moteurs, etc. et ceci quel que soit la forme du signal de la source de courant et le facteur de puissance. C'est donc un principe de mesure valable dans tous les cas qui a été retenu : échantillonner la tension et le courant à une vitesse finie pour passer de la forme intégrale de la définition à la forme :

$$P = \frac{1}{T} \sum_0^T u(t) \cdot i(t) \cdot \Delta t$$

Ainsi, la tension et le courant sont mesurés toutes les 0,1 ms (échantillonnage à 10 kHz) durant 200 ms, soit durant 10 périodes du secteur. Il « suffit » ensuite de calculer numériquement la valeur des différentes grandeurs qu'on veut afficher et déterminer la fréquence du signal s'il s'agit de courant alternatif. Par exemple :

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_0^T u^2(t)}$$

Cet échantillonnage rapide implique évidemment que la bande

passante des signaux, tension et courant, soit suffisante. Par ailleurs, de pouvoir effectuer des mesures avec des sources de courant continu implique de « passer » le continu, aussi, la mesure du courant se fait par l'intermédiaire d'une résistance en série avec la charge. Cette résistance provoquant une petite chute de tension, le pont diviseur de la mesure de la tension a été placé directement en parallèle sur la charge, de manière à bien mesurer la puissance consommée par la charge à une tension donnée (celle du secteur est éminemment variable dans le temps).

Principales caractéristiques

- Tension d'entrée maximale en courant alternatif : 265 V efficaces.
- Tension d'entrée maximale en courant continu : 375 V.
- Courants maximum pleines échelles en 3 calibres : 5 A_{eff}, 0,5 A_{eff} et 50 mA_{eff} (7,5 A, 0,75 A et 75 mA en courant continu).
- Puissances maximales nominales correspondantes aux 3 calibres avec du secteur 230 V : 1 kVA, 100 VA et 10 VA.
- Affichages : 4 rafraichissements par seconde, pause ou monocoup.

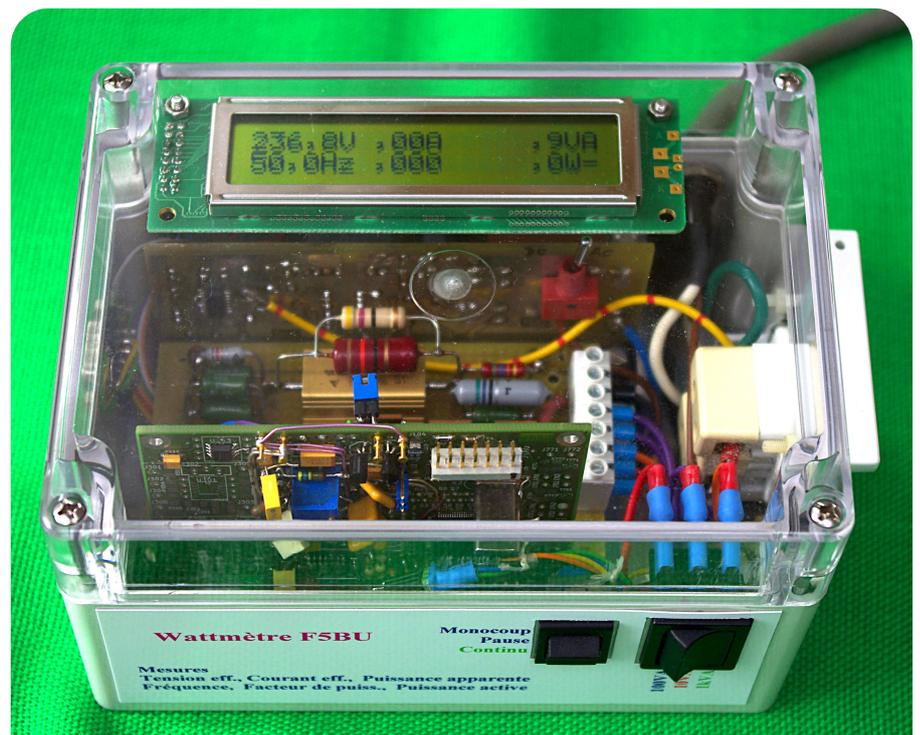


Figure 14 : Vue d'ensemble de l'appareil

- Chute de tension lié à l'insertion de l'appareil en série avec la charge : max 0,5 V_{eff} (0,75 V en courant continu) ; max 2,5 V_{eff} (3,6 V en courant continu) si le courant est très supérieur à celui du calibre choisi.
- Résolution des mesures : ~ 1/1000 des pleines échelles en tension et en courant (en fait surtout limitée par le bruit).
- Résolutions d'affichage :
 - . 0,1 V_{eff} ;
 - . 0,1 mA_{eff}, 1 mVA, 1 mW sur calibre 50 mA/10 VA ;
 - . 0,1 Hz.
- Exactitude des mesures : 0,2% PE (Pleine Echelle) pour la tension ; ~ 1% PE pour le courant (fonction essentiellement du matériel utilisé pour la calibration).
- Alimentation pour le fonctionnement de l'appareil lui-même : secteur 230 V 50Hz (>170 V) ou 12 V (75 mA) continu. Attention, utiliser de préférence un accu, car cette source doit impérativement être sans liaison galvanique avec l'alimentation principale.
- Grandeurs mesurées : tension efficace en V, courant efficace en A, puissance apparente en VA, fréquence en Hz, facteur de puissance et puissance active en W.
- Possibilité d'afficher le minimum, le maximum, la moyenne et la valeur instantanée de la puissance active sur un temps de 1 à 9999 s.
- Fonctions monitoring. Une liaison RS-232 à 115200 bauds permet de récupérer :
 - . 2000 paires de points de mesures pour tracer les courbes de la tension et du courant au pas de 0,1 ms (comme sur un oscilloscope 2 voies) ;
 - . Jusqu'à 19967 valeurs pour tracer, au choix, l'évolution dans le temps : de la consommation active, de la tension efficace, du courant efficace, de la puissance apparente, de la fréquence ou du facteur de puissance. Ces valeurs moyennes sont calculées selon un pas de temps au choix parmi 10 au moment de la demande d'enregistrement (les autonomies d'enregistrements sont données entre

parenthèses) : 0,25 s (1h23), 0,5 s (2h43), 1 s (5h32), 2 s (11h05), 5 s (27h43), 10 s (2,3j), 20 s (4,6j), 1 mn (13j), 2 mn (27j), 5 mn (69j).

Ayant pu disposer, durant quelques jours, d'un ancien compteur électrique C5 C1 monophasé 220 V 10-30 A, de type électromécanique, j'ai pu mesurer sa consommation qui était de 1,3 W sous 234 V avec un facteur de puissance de 0,23. L'indication de consommation pour une ampoule 60 W était environ 2% inférieure à celle donnée par le wattmètre, et la mise en mouvement de la roue s'effectuait pour une puissance comprise entre 2 et 5 W, avec à 5 W une importante sous estimation de la puissance.

Description de l'instrument

Le « cœur » de l'instrument est un microcontrôleur (μ C) MSP430F1611 faible consommation, de Texas Instrument, en boîtier LQFP 64 broches. Cadencé à 4 MHz, c'est lui qui échantillonne la tension et le courant à 10 kHz, effectue les différents calculs nécessaires, envoie les résultats 4 fois par seconde sur l'afficheur LCD, gère les différentes commandes, l'enregistrement des données et la liaison RS-232. Ses principales caractéristiques sont :

- Tension d'alimentation : 1,8 à 3,6 V ;
- Architecture RISC 16 bits ;
- Fréquence d'horloge maximum : 8 MHz ;
- Convertisseur analogique-numérique : 12 bits, 8 voies max ;
- Convertisseur numérique-analogique : 12 bits, 2 voies max (non utilisées) ;
- Tension de référence interne : 1,5 ou 2,5 V ;
- 2 « timer » 16 bits ;
- 2 interfaces pour communications séries UART, SPI ou I²C (une seule utilisée) ;
- 48 Ko de mémoire flash ;
- 10 Ko de mémoire RAM.

La plage de mesure choisie pour le convertisseur analogique-numérique du μ C est de 0 à 1,5 V. Les mesures, aussi bien de la ten-

sion que du courant pouvant être alternativement positives puis négatives, le point commun (JA2 sur le schéma), pour les mesures de la tension et du courant, est fixé à un potentiel de $1,5/2=0,75$ V à l'aide d'un amplificateur opérationnel (AOP).

Le schéma, comme le montage, est constitué de quatre parties :

- La partie « secteur » ou source d'alimentation ;
- La partie microcontrôleur ;
- La partie affichage LCD ;
- Et la partie liaison RS-232 isolée et l'alimentation.

Source d'alimentation

Pour la mesure de la tension, les résistances R110 à R117 forment un pont diviseur de rapport 1/500.

Pour la mesure du courant, se sont les résistances R101 à R106 qui fournissent l'information. Afin d'obtenir trois calibres, un commutateur SW101, deux fois inverseur, permet de court-circuiter certaines résistances de manière à obtenir respectivement 0,1, 1 et 10 Ω . Le commutateur doit être de bonne qualité, car les variations de sa résistance interviennent sur l'exactitude des mesures, surtout sur le calibre 5 A efficaces. Le deuxième inverseur de ce commutateur fourni l'information de calibre au μ C. Un autre commutateur inverseur SW102, avec une position temporaire, et un ILS SW103 fournissent les informations du mode de fonctionnement souhaité. Les diodes D101 à D106 limitent la tension aux bornes des résistances lorsque le courant est supérieur à celui du calibre choisi. Les DEL rouges 107 et 108 avec les résistances 107 et 108 alertent lorsque le courant est nettement supérieur au calibre choisi. Dans ce cas, les résistances séries peuvent être amenées à dissiper une puissance considérable. La varistance R120 et la diode transil D109 limitent les surtensions en cas de branchement d'une charge très inductive.

Mesure de puissance Secteur

F5BU 10-2013

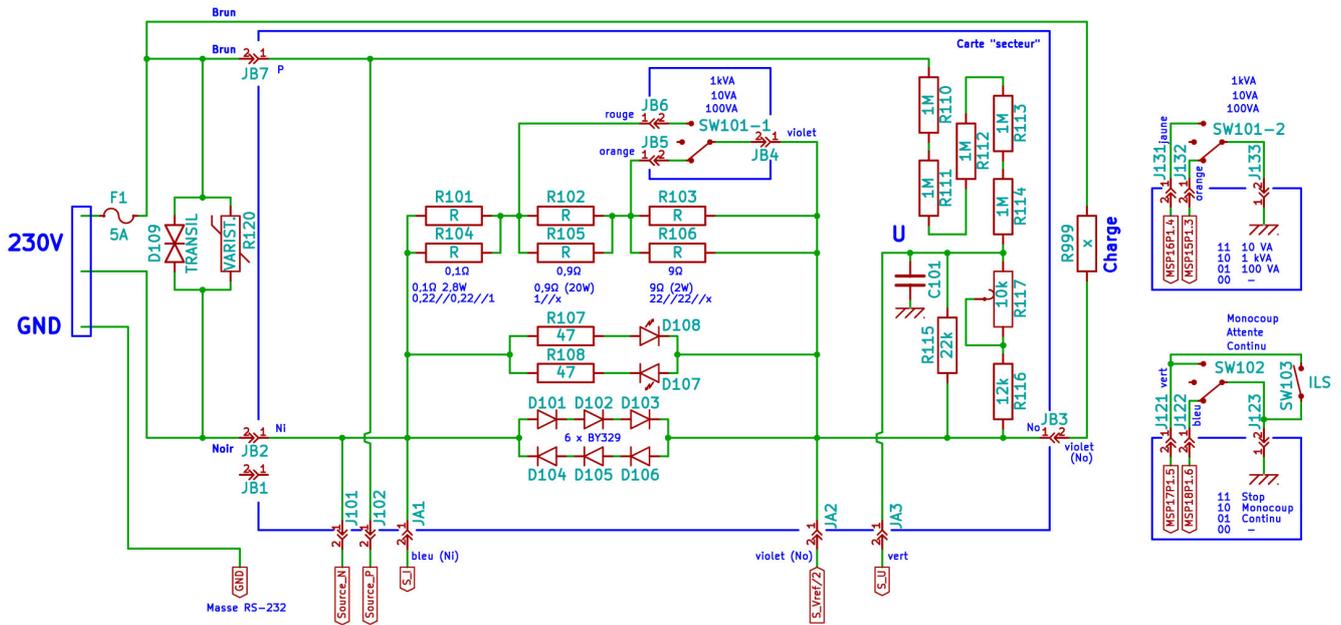


Figure 15 : Partie source d'alimentation du schéma

Microcontrôleur et AOP

Le μC U1, un MSP430-F1611 de Texas Instrument, est cadencé par un quartz X2 de 4 MHz, et cette partie du schéma ne nécessite pas de commentaire particulier.

C'est l'AOP U301B, monté en suiveur de tension, qui génère la référence de tension égale à $V_{ref}/2$. U201A, U201B et U301A sont également montés en suiveur de tension pour les signaux tension et courant. Les OP2177 ont des entrées protégées contre les surtensions par rapport à leurs tensions d'alimentation, mais les diodes D201 et D301 sont nécessaires pour éviter d'envoyer des signaux trop négatifs aux entrées analogiques du μC . L'inconvénient de ces diodes est leur courant inverse, certes faible, mais qui provoque une petite tension de décalage fonction de la température. C'est pour cela que U201B est monté, avec une résistance de source de 1 k Ω , en cascade de U201A, car à ce niveau la résistance équivalente de source du signal de la tension est de 10 k Ω .

Pour limiter le bruit, les bandes passantes sont limitées

par des filtrages « légers ».

Les régulateurs d'alimentation U2 et U3, fournissant le +5 V pour l'afficheur LCD et le 3,3 V pour le μC , reçoivent l'alimentation de la carte regroupant la liaison RS-232 et l'alimentation. Un ICL7660 (U4) génère du -3,3 V pour les AOP.

Affichage LCD

L'afficheur LCD, qui ne se trouve pas sur la carte μC , est relié à celle-ci par un toron de seize conducteurs. R21 permet de régler

le contraste. U5, est prévu pour les afficheurs à rétro-éclairage. Il s'agit d'un LM317 monté en régulateur de courant, qui est défini par R23 et R24 tel que :

$$R23 // R24 = \frac{1,25}{I}$$

Liaison RS-232 et alimentation

Pour les cas où la source d'alimentation est le secteur 230 V, le μC étant alors au potentiel de la phase ou du neutre, les optocoupleurs U802 et U803 assurent une isolation galvanique entre le μC et

Affichage LCD

F5BU 10-2013

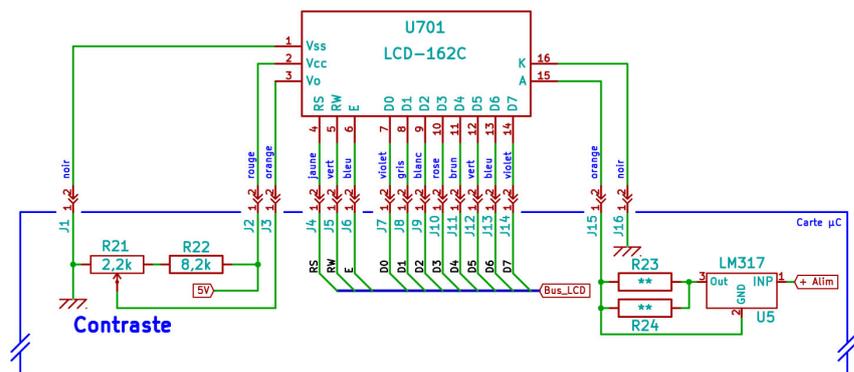


Figure 16 : Partie affichage LCD du schéma

MSP430 (LQFP64)

Carte µC (F5BU 10-2013)

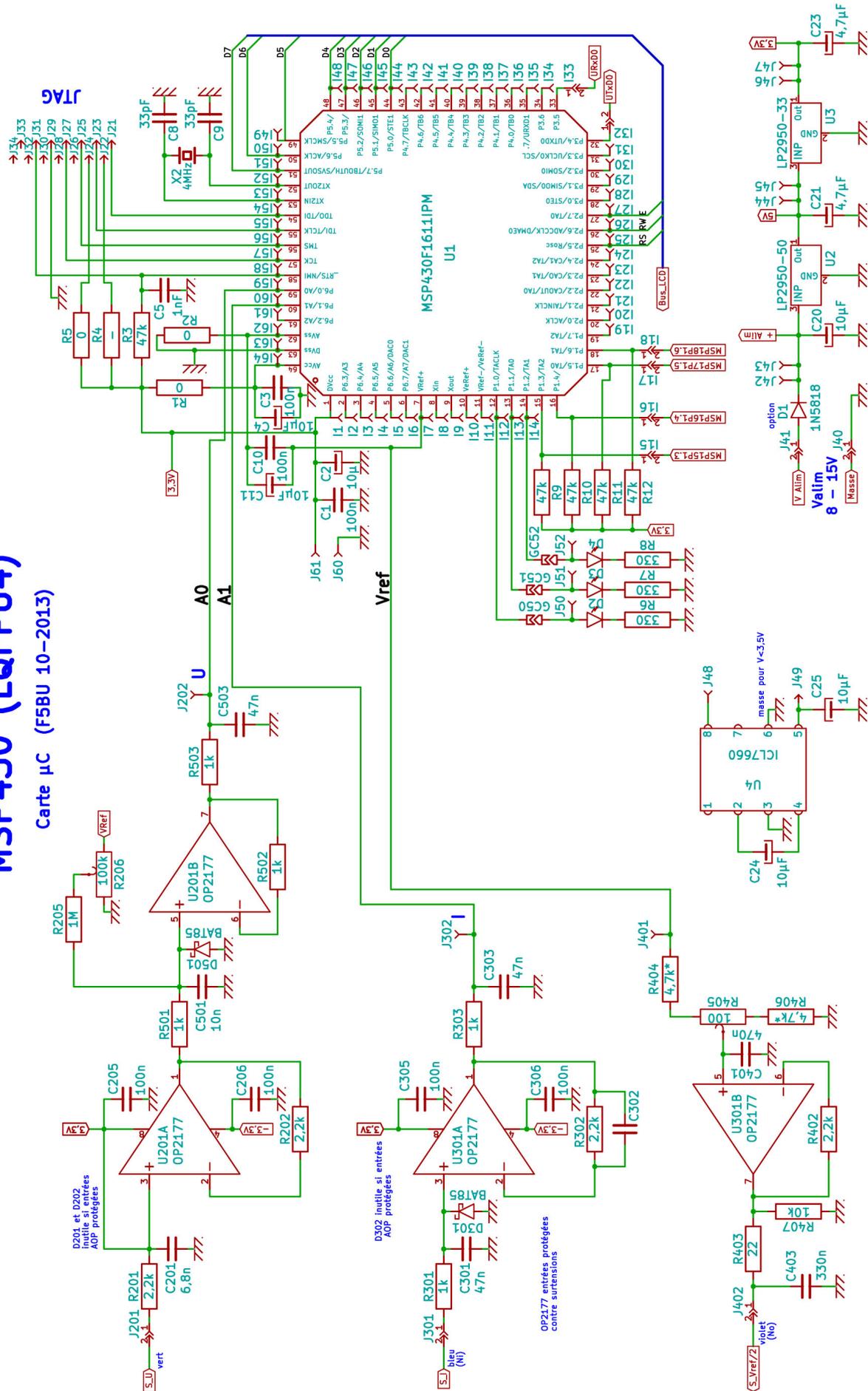


Figure 17 : Partie microcontrôleur du schéma

Liaison RS-232 isolée et Alimentation

F5BU 10-2013

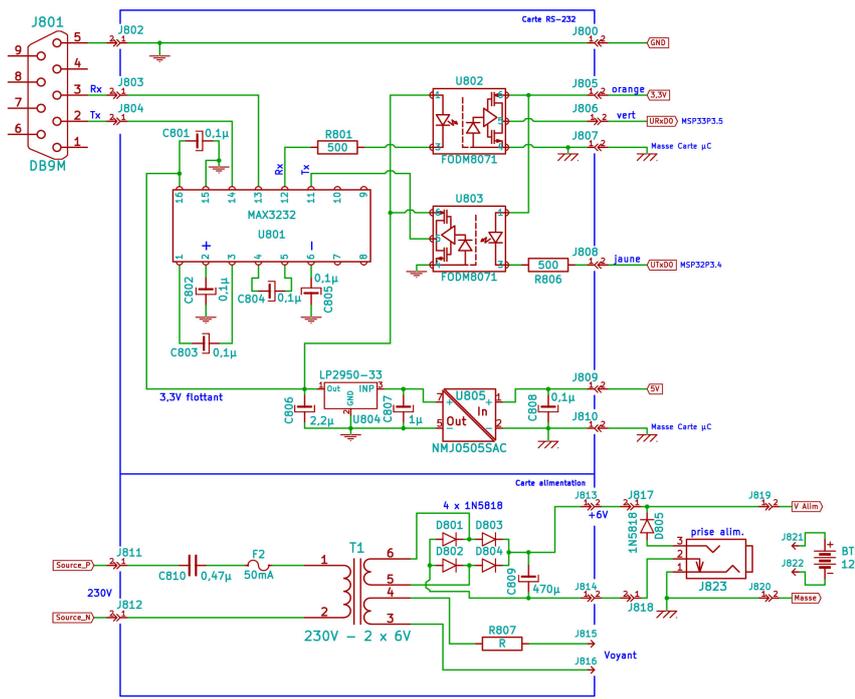


Figure 18 : Partie liaison RS-232 et alimentation du schéma

le driver U01. U05 fournit une alimentation flottante de 5 V à partir du 5 V de la carte µC.

Bien isolé de la partie liaison RS-232 se trouve, sur la même carte, une alimentation pour les

cas où la source principale est le secteur. La source principale pouvant aussi être du courant continu, C810 bloque la composante continue avant le transformateur T1.

Remarques

- Une fois l'appareil terminé et fonctionnel, je me suis rendu compte qu'il aurait peut-être été plus simple de réaliser la commutation de calibres en utilisant une résistance de shunt unique de 0,1 Ω et de commuter le gain de l'amplification pour le courant entre 1, 10 et 100.
- A condition d'accepter de perdre un tout petit peu de dynamique sur les mesures, il est aussi possible de n'alimenter les AOP qu'en +3,3 V, l'alimentation négative étant reliée à la masse. Cela permet de supprimer U4 et les composants associés, ainsi que D301 et C501.

Jean-Paul, F5BU