

# Filtrage numérique : Wattmètre

Xavier Bourlot

INSA Toulouse

5 février 2019

## 1 Le projet

- Motivation
- Architecture
- Réalisation

## 2 Filtre IIR Passe-haut

- Design
- Implémentation
- Réponses

## 1 Le projet

- Motivation
- Architecture
- Réalisation

## 2 Filtre IIR Passe-haut

- Design
- Implémentation
- Réponses

But :

- Mesurer la consommation d'appareils secteur
- Automatiser l'acquisition/traitement des données
- Enregistrer sur de longues périodes (stream PC)

# Motivation

But :

- Mesurer la consommation d'appareils secteur
- Automatiser l'acquisition/traitement des données
- Enregistrer sur de longues périodes (stream PC)

Plage de mesure	Résolution	Tension de charge	Consommation
0 - 550W	16mW	0.14V max	0.4W
550 - 1100W	128mW		

Table – Caractéristiques techniques

# Motivation

But :

- Mesurer la consommation d'appareils secteur
- Automatiser l'acquisition/traitement des données
- Enregistrer sur de longues périodes (stream PC)

Plage de mesure	Résolution	Tension de charge	Consommation
0 - 550W	16mW	0.14V max	0.4W
550 - 1100W	128mW		

Table – Caractéristiques techniques

*Exemple d'application* : Mesure automatique du rendement d'alimentations à découpage AC → DC en fonction de la charge

# Mesures de puissance

# Mesures de puissance

$$P = U * I$$

Oui mais ...



# Mesures de puissance

$$P = U * I$$

Oui mais ...

Puissance instantanée ? RMS ? Apparente ? PF ? Quid de l'énergie ?

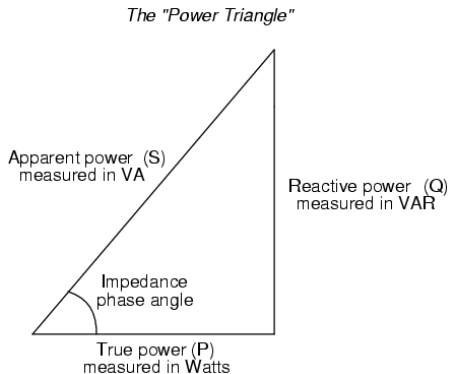


Figure – Le triangle des puissances Source : [commons.wikimedia.org](https://commons.wikimedia.org)





# Schéma

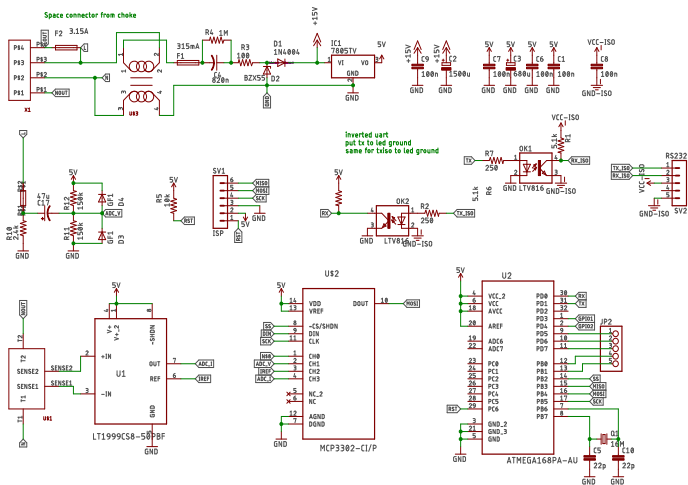


Figure – Schéma électrique

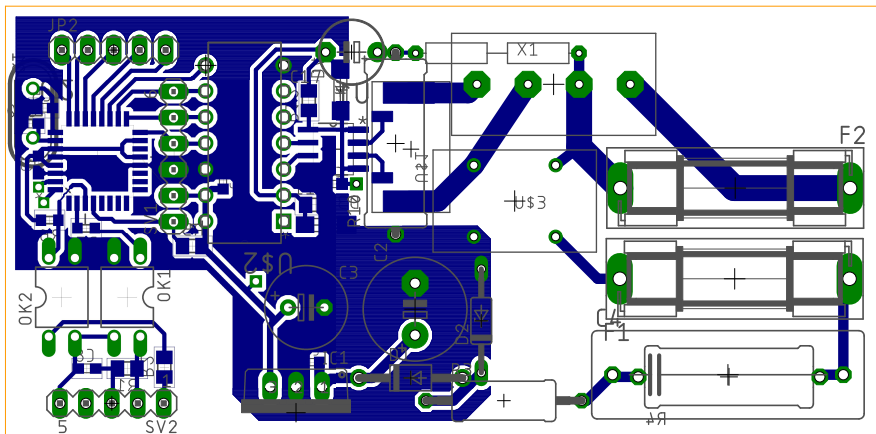


Figure – PCB

## 1 Le projet

- Motivation
- Architecture
- Réalisation

## 2 Filtre IIR Passe-haut

- Design
- Implémentation
- Réponses

Critères de design :

- Passe Haut : Éliminer la composante continue de la mesure de tension

Critères de design :

- Passe Haut : Éliminer la composante continue de la mesure de tension
- Gain et phase constants pour  $f \geq 50\text{Hz} \Rightarrow$  Type Butterworth



Critères de design :

- Passe Haut : Éliminer la composante continue de la mesure de tension
- Gain et phase constants pour  $f \geq 50\text{Hz} \Rightarrow$  Type Butterworth
- Faible complexité : calculs en temps réel !

Critères de design :

- Passe Haut : Éliminer la composante continue de la mesure de tension
- Gain et phase constants pour  $f \geq 50\text{Hz} \Rightarrow$  Type Butterworth
- Faible complexité : calculs en temps réel !

Filtre IIR (Infinite Impulse Response) de 2<sup>nd</sup> ordre :

Critères de design :

- Passe Haut : Éliminer la composante continue de la mesure de tension
- Gain et phase constants pour  $f \geq 50\text{Hz} \Rightarrow$  Type Butterworth
- Faible complexité : calculs en temps réel !

Filtre IIR (Infinite Impulse Response) de 2<sup>nd</sup> ordre :

- Filtre récursif

Critères de design :

- Passe Haut : Éliminer la composante continue de la mesure de tension
- Gain et phase constants pour  $f \geq 50\text{Hz} \Rightarrow$  Type Butterworth
- Faible complexité : calculs en temps réel !

Filtre IIR (Infinite Impulse Response) de 2<sup>nd</sup> ordre :

- Filtre récursif
- Comportement similaire aux filtres analogiques "classiques"(RLC)

Critères de design :

- Passe Haut : Éliminer la composante continue de la mesure de tension
- Gain et phase constants pour  $f \geq 50\text{Hz} \Rightarrow$  Type Butterworth
- Faible complexité : calculs en temps réel !

Filtre IIR (Infinite Impulse Response) de 2<sup>nd</sup> ordre :

- Filtre récursif
- Comportement similaire aux filtres analogiques "classiques" (RLC)
- Bon rapport *Ordre du filtre / Performance*, i.e. économies de temps de calcul
- Mais attention à la stabilité ! (non abordée ici)

# Équation

$$y[n] = 0.996 * x[n] - 0.996 * x[n - 1] + 0.996 * y[n - 1]$$

# Équation

$$y[n] = 0.996 * x[n] - 0.996 * x[n-1] + 0.996 * y[n-1]$$

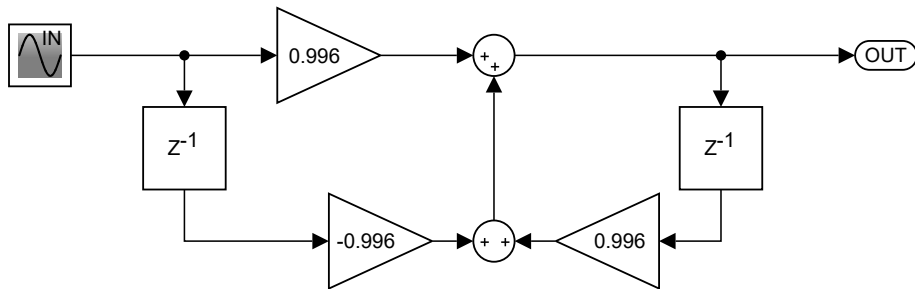


Figure – Schéma bloc du filtre

$$y[n] = 0.996 * x[n] - 0.996 * x[n-1] + 0.996 * y[n-1]$$

D'accord mais pourquoi 0.996 précisément ?



$$y[n] = 0.996 * x[n] - 0.996 * x[n-1] + 0.996 * y[n-1]$$

D'accord mais pourquoi 0.996 précisément ?

Parce que  $0.996 = \frac{255}{256} = 255 \gg 8$

# Réponse fréquentielle

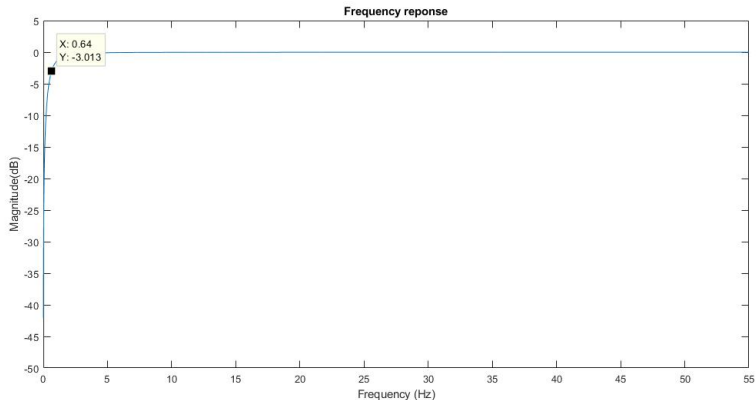


Figure – Réponse fréquentielle (0 à 55Hz)

# Réponse fréquentielle

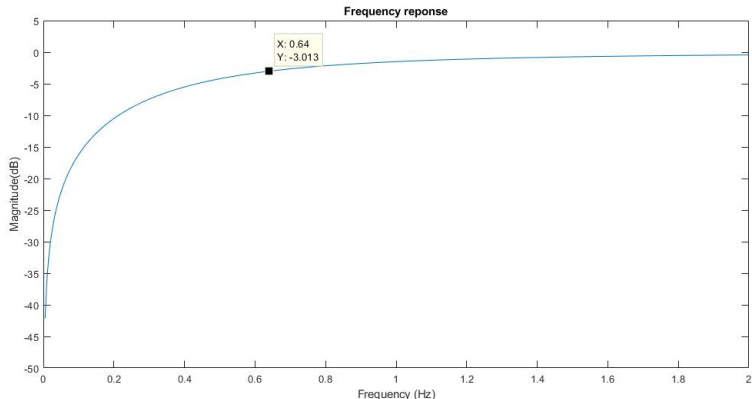


Figure – Réponse fréquentielle (0 à 2Hz)

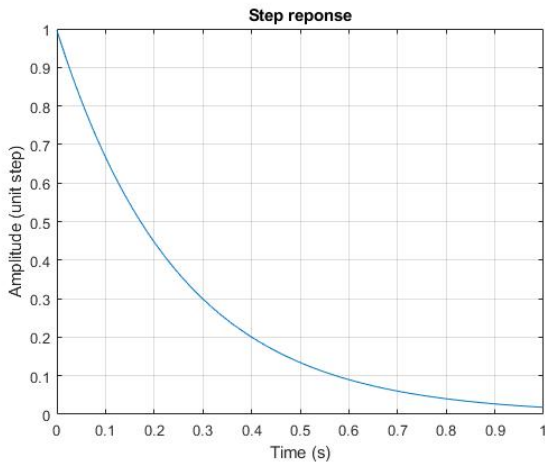


Figure – Réponse à un échelon

Testons en situation réelle !

# Réponse temporelle, bis

Testons en situation réelle !

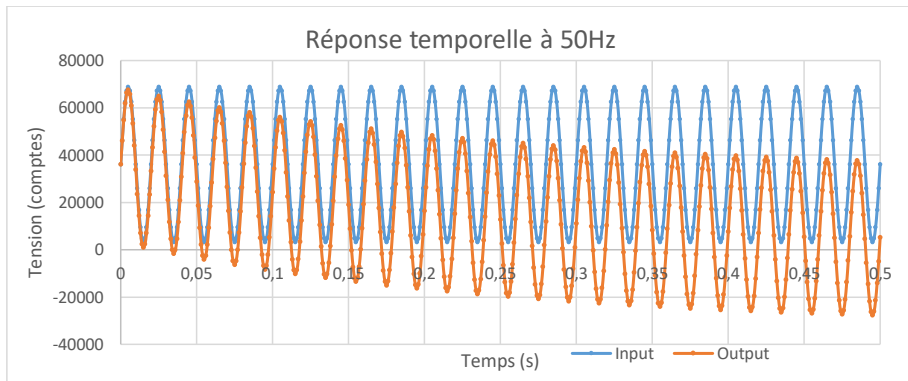


Figure – Réponse à une sinusoïde 50Hz



Glen Nilsen (2013)

Single-Phase Power/Energy Meter with Tamper Detection

*Atmel AVR465 2566B AVR-08/2013*



Dan Ellis (2007)

Digital Signal Processing, Filter Design : IIR

*ELEN E4810 Columbia University*



Steven W. Smith, Ph.D. (1997)

The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing

*ISBN 0-9660176-3-3 Chapter 19 : Recursive Filters*





# Questions ?