

Gardons le sourire



Dans le prochain numéro : la pollution des réseaux

Revue d'informations techniques
Le Club du Mesurage
190, rue Championnet
75876 PARIS Cedex 18 - France
Tél : +33 1 44 85 44 20
Fax : +33 1 46 27 07 48
E-mail : info@leclubdumesurage.com

Directeur de la publication :
Jean-Louis Gauchenot
Rédacteur en chef :
Alain Kohler
Comité de Rédaction :
**Etienne Chouquet, Luc Dezarnaulds,
Didier Villette, Jean Wauters**
Coordination :
Rose Marie Berger

Conception graphique, réalisation :
Avana - +33 2 38 77 88 88

Diffusion gratuite, tous droits de reproduction réservés.

Les cahiers de l'instrumentation

Le journal d'informations pour l'enseignement de Chauvin Arnoux et Metrix

n°2

Reportage au laboratoire hyperfréquence du CERGE

Les mesures de déphasage

Le traitement de surface

Les plaques à induction



sommaire

1 Une info largement partagée

Guide d'équipements, formations, le tout sur CD-Rom, pour une information largement partagée.

2 Concours général des métiers : mesures industrielles

Des élèves de classe terminale de baccalauréat professionnel Equipements et Installations Electriques, 45 minutes de temps imparti ... à eux de "jouer". Comme promis lors du précédent numéro, nous vous présentons l'épreuve de mesures industrielles qui leur a été proposée. (Didier Villette)

4 Les mesures de déphasage

Méthodes des neuf carreaux, des trois voltmètres, figures de Lissajous, etc., le déphasage entre deux signaux sinusoïdaux peut être défini de différentes façons. Ce sont ces méthodes qui sont ici étudiées et comparées. (Jean-Pierre Simond)

6 Tables de cuisson grand public

Comme suite au bilan énergétique d'une table à induction grand public, différentes technologies se mettent à table et sont comparées avec celle de l'induction. (Samuel Violin)

10 Projet électrothermie : le traitement de surface

L'équipe pédagogique du Lycée Léonard de Vinci de Melun nous invite à aborder une grande partie des compétences des programmes des filières électrotechniques à travers un sous-système unique. (Laurent Bruyas, Jean-Louis Farao, Christian Peutot)

12 Reportage au Centre de ressources de Vitry : l'hyperfréquence

Les cahiers de l'instrumentation, renseignements pratiques

Ce journal gratuit a vocation à devenir semestriel. Si vous désirez recevoir les prochains numéros et que vous ne l'avez pas encore fait, renvoyez rapidement le bulletin d'adhésion au Club encarté au centre de la publication. Prenez contact avec nous si vous désirez réagir par rapport aux articles publiés, proposer des sujets ou même des articles. Bonne lecture à tous.

NDLR



Jean Wauters
Membre du Comité de Rédaction

Une information largement partagée

Nous souhaitons à ce numéro 2 des "Cahiers de l'Instrumentation" au moins le même succès que celui obtenu avec le premier numéro.

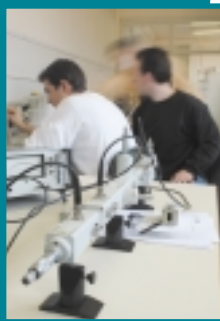
En effet, sa diffusion à quelques milliers d'exemplaires a déjà suscité plus de 800 adhésions au Club du Mesurage.

Cela signifie que le flux et la masse d'informations ayant pour vecteur "les Cahiers de l'Instrumentation" sont croissants.

Beaux débuts pour cette publication destinée en priorité aux adhérents issus de l'enseignement technologique et scientifique, qui permet de synthétiser et de concrétiser nos échanges dans le domaine du mesurage, sur des sujets aussi variés que les normes, les attentes et les exigences du marché, les évolutions technologiques, les applications et les formulations pédagogiques...

Il convient dès lors de rappeler que cette publication, distribuée gratuitement, est à but non lucratif.

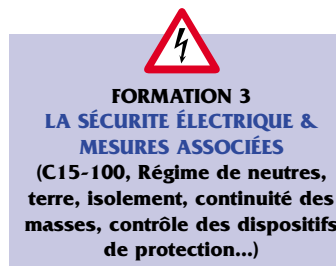
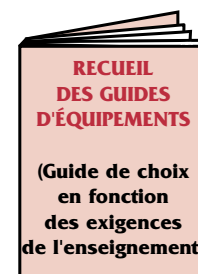
C'est pourquoi nous remercions très chaleureusement les nombreux adhérents qui, tout comme le Comité de Rédaction constitué d'enseignants et de professionnels de la mesure, s'investissent bénévolement dans ce partage du savoir, s'inscrivant ainsi dans cette déontologie pour une information largement diffusée.



Guides d'équipements & Formations

Le guide d'équipements présenté dans le numéro 1 des Cahiers de l'Instrumentation est désormais disponible sur CD-ROM, ce qui allège considérablement la consultation de ses 112 pages dédiées aux équipements de mesurage satisfaisant aux programmes scolaires de l'Education Nationale. De plus, trois programmes de formation concernant le mesurage sont maintenant inclus dans ce support :

- LA SÉCURITÉ ÉLECTRIQUE ET LES MESURES ASSOCIÉES (46 pages, tous niveaux, 2-3 heures de formation)
- LA SÉCURITÉ DES APPAREILS DE MESURAGE (48 pages, tous niveaux, 2-3 heures de formation)
- MULTIMÈTRES - PINCES - CONTRÔLEURS (44 pages, tous niveaux, 2-3 heures de formation)



Pour vous procurer gracieusement ce CD-ROM, contactez-nous au : 01-44-85-44-20

Les membres du bureau

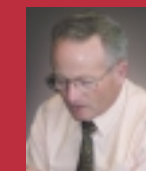
Le bureau a pour mission d'assurer le bon fonctionnement du club. Il est composé de neuf membres.



Jean-Louis Gauchenot :
Président du "Club du Mesurage"
Directeur du Pôle Test & Mesure de Chauvin Arnoux
jeanlouis.gauchenot@chauvin-arnoux.com



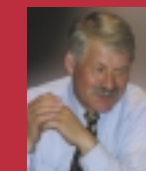
Jean-Paul Chassaing :
Président d'honneur du "Club du Mesurage"
Inspecteur Général de l'Education Nationale
Sciences et Techniques Industrielles



Roger Bordage :
Inspecteur d'Académie
Inspecteur de l'Éducation Nationale
Enseignement Technique
Sciences et Techniques Industrielles



Christian Cagnard :
Inspecteur d'Académie
Inspecteur Pédagogique Régional
Sciences et Techniques Industrielles



Jean-Claude Mauclerc :
Inspecteur d'Académie
Inspecteur Pédagogique Régional
Sciences et Techniques Industrielles



Michel Uffredi :
Inspecteur d'Académie
Inspecteur de l'Éducation Nationale
Enseignement Technique
Sciences et Techniques Industrielles

Jean-Louis Gauchenot (Directeur de la Publication), Luc Dezarnaulds, Alain Kohler, Jean Wauters sont membres du Bureau et du Comité de Rédaction

Les membres du comité de rédaction

Le comité de rédaction a pour mission de vérifier que le journal respecte sa ligne éditorial. Il est composé de six membres.



Alain Kohler :
Rédacteur en Chef
Chef de Marché Enseignement de Chauvin Arnoux
alain.kohler@chauvin-arnoux.com



Etienne Chouquet :
Inspecteur d'Académie
Inspecteur Pédagogique Régional
Sciences et Techniques Industrielles



Luc Dezarnaulds :
Directeur Commercial du Pôle Test & Mesure de Chauvin Arnoux
luc.dezarnaulds@chauvin-arnoux.com

Didier Villette :
Inspecteur d'Académie
Inspecteur de l'Éducation Nationale Enseignement Technique
Sciences et Techniques Industrielles

Jean Wauters :
Directeur des marchés de Chauvin Arnoux
jean.wauters@chauvin-arnoux.com



Didier VILLETTE
Inspecteur de
l'Éducation Nationale
Sciences et Techniques
Industrielles

Concours général des métiers Option EIE - Epreuve finale "Mesures industrielles"

**Vous disposez de 45 minutes !
Vous avez des élèves de classe terminale
de baccalauréat professionnel
Equipements et Installations Électriques !
Confrontez-les à la démarche de
contrôle de conformité ci- dessous !
(Nota cette procédure s'applique au système
Schneider Productis, mais peut être transposée.)**



Pierre ISNEL - LP Embrun (3^{ème} du concours)

Pour cela, il vous faudra

- Un contrôleur d'installation CHAUVIN ARNOUX C.A 6115.
- Quelques données normatives*.
- La procédure simplifiée du contrôleur C.A 6115

► Phase 1 : Contrôle de la protection contre les contacts directs

- 1.1.1- A partir des schémas structurels, indiquez la (ou les) tension(s) mise(s) en œuvre.
- 1.1.2- S'il y a présence d'une TBT, indiquez son type "TBTF, TBTP ou TBTS". Justifiez votre réponse.
- 1.1.3- D'après les deux premières questions et en observant l'équipement, dire s'il y a présence de pièce(s) nue(s) sous tension. Justifiez votre réponse.

Vous recevez l'ordre d'effectuer des mesures de tension sur le circuit de puissance.

- 1.1.4- Quel doit être le titre d'habilitation minimal en votre possession ?
- 1.1.5- Quelles sont les protections strictement nécessaires dont vous devez vous munir ?

► Phase 2 : Contrôle de la protection contre les contacts indirects

- 1.2.1- Calculez la valeur maximale de la résistance de la prise de terre des masses R_{Amax} en fonction du dispositif différentiel Q1 et de la tension limite de sécurité UL imposée dans des conditions normales d'environnement (locaux secs).
- 1.2.2- Contrôlez la résistance d'un conducteur de protection entre une masse et le point le plus proche de la liaison équipotentielle principale (annexe 1 guide UTE C 15-105 page 16 et annexe 3 page 17 "N.T.").
- 1.2.3- Sur la prise de courant 10/16 A du système, mesurez la résistance de la boucle de terre R_s (L-PE) sans déclenchement du D.D.R. (annexe 3 page 17 "N.T.").

En déduire la valeur de la résistance de la prise de terre des masses R_A , si la résistance totale des conducteurs, du transformateur et de la prise de terre du neutre R_B est égale à 0,3 Ohm.

La valeur de la résistance de la prise de terre des masses R_A est-elle correcte ? Pourquoi ?

- 1.2.4- Contrôlez le temps de disjonction "ta" du dispositif différentiel standard Q1 pour $I_{\Delta n}$ (annexe 2, C15-100, page 16 et annexe 3, pages 17 et 18 "N.T.")
- 1.2.5- Contrôlez la valeur de la tension de contact (tension de défaut) U_f (annexe 3 pages 17 et 18 "NT").
- 1.2.6- Contrôlez l'intensité du courant de fuite I_A qui assure la disjonction du dispositif différentiel Q1 (annexe 3 pages 17 et 18 "N.T.")

► Phase 3 : Contrôle du pouvoir de coupure de l'appareil de protection

- 1.3.1- Mesurez l'intensité du courant de court-circuit "Ik" (Zi, L-N) présumée sur une prise de courant du système Productis (annexe 3 page 18 "N.T.")
- 1.3.2- Contrôlez le pouvoir de coupure de l'appareil de protection Q1.

► Phase 4 : Contrôle de l'isolement du moteur d'entraînement de la chaîne

- 1.4.1- Décrivez le mode opératoire pour effectuer une mesure d'isolement du moteur d'entraînement de la chaîne.
- 1.4.2- Contrôlez l'isolement du moteur entre enroulements et masse seulement (annexe 3 page 18 "N.T.")

ANNEXE 3

Procédure simplifiée du contrôleur d'installation C.A 6115

1- Contrôle de continuité et mesure de résistance

- Commutateur : position "LOW Ω L-PE R"
- Raccorder suivant les indications portées sur le couvercle du contrôleur (**cordons 3 conducteurs, relier le conducteur jaune sur le blanc**)
- Lancer le test **TEST** → $R = (R_1 + R_2) / 2$ est affiché
- Appuyer successivement sur **MORE** pour afficher les mesures de R1 et de R2

2- Mesure d'impédance, de résistance de boucle et d'intensité courant de court-circuit L-PE

- Commutateur : position "LOOP-PE Z_s \curvearrowright "
- Raccorder suivant les indications portées sur le couvercle du contrôleur (cordon prise secteur)
- Lancer le test **TEST**
- Appuyer successivement sur **MORE** pour afficher les mesures

Z_s impédance de boucle

I_k intensité du courant de court-circuit (défaut direct L-PE, $Z_d=0$)

U_{ref} tension de référence pour les calculs (230 V)

R_s résistance de boucle de défaut

F fréquence

U_{L-N} , U_{L-PE} , U_{N-PE} ; tensions de l'installation

3- Contrôle de différentiel

- Commutateur : dans la zone **RCD-FI**, sélectionner la sensibilité du DDR
- Raccorder suivant les indications portées sur le couvercle du contrôleur (cordon prise secteur)
- Paramétrer la tension de sécurité UL
- **MORE** plusieurs fois jusqu'à afficher $UL=...$
- **CHANGE** pour modifier la valeur de UL
- **MORE** pour valider
- Lancer le test **TEST**
- Appuyer successivement sur **MORE** pour afficher les mesures

U_f tension de défaut (masse-terre)

I_A courant assurant le déclenchement du DDR

t_a temps de déclenchement du DDR

I_k courant de court-circuit (défaut direct L-PE, $Z_d=0$)

U_{ref} tension de référence pour les calculs (230 V)

R_s résistance de boucle de défaut

4- Mesure d'intensité de courant de court-circuit (phase-neutre)

- Commutateur : position "LOOP L-N Z_i "
- Raccorder suivant les indications portées sur le couvercle du contrôleur (cordon prise secteur)
- Lancer le test **TEST**
- Appuyer successivement sur **MORE** pour afficher les mesures

Z_i impédance de boucle de défaut

I_k intensité du courant de court-circuit (L-N)

R_i résistance de la boucle de défaut

5- Mesure de résistance d'isolement

- Commutateur : position "INSULATION R L-PE"
- Raccorder suivant les indications portées sur le couvercle du contrôleur (cordon 3 conducteurs, relier le conducteur jaune sur le blanc)
- Paramétrer la tension d'essai
- **MORE** plusieurs fois jusqu'à afficher la tension d'essai $U_N = ...$
- **CHANGE** pour modifier la valeur de U_N
- **MORE** pour valider
- Lancer le test **TEST**
- $R_{L-PE} = \dots\dots\dots$

6- Mesure de tension

- Raccorder suivant les indications portées sur le couvercle du contrôleur (cordon prise secteur ou cordon 3 conducteurs entre rouge et jaune).
- Commutateur sur n'importe quelle position.

NE PAS EFFECTUER DE TEST mais lire directement la valeur de la tension.

* Faute de place, les normes citées en annexe ne sont pas reproduites dans cet article.

Annexe 1 : guide UTE C 15-105

Annexe 2 : NFC 15-100 et CEI 479-1 et 2



Olivier GODEFROY
CFAI Amiens
(Major du concours)

**Votre ou vos élèves ont réussi dans le temps imparti en toute autonomie. Ils viennent de réaliser la partie "mesures industrielles" de l'épreuve finale du concours général des métiers dans l'option EIE.
Songer alors à les inscrire à la session 2002 !
Peut-être seront-ils finalistes !**

Mesures de déphasage

Fonction $\varphi(\omega)$



Jean-Pierre SIMOND
Professeur de sciences
Physiques en MPSI

Nous allons étudier différentes méthodes pour déterminer le déphasage φ entre deux signaux sinusoïdaux. On étudiera en particulier le retard de phase de U_C , la tension au bornes du condensateur de capacité C par rapport au générateur dans le cas du circuit R.L.C série.

1 - Matériel :

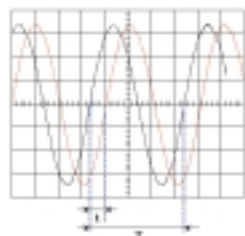
On dispose sur la table :

- Résistors de résistance $R = 100 \Omega$,
- Condensateur de capacité $C = 0,1 \mu\text{F}$,
- Bobine d'auto-inductance $L = 4,7 \text{ mH}$,
- Générateur BF,
- Cordons électriques,
- Plaque pour les composants,
- Logiciel Regressi,
- Oscilloscope à mémoire METRIX OX8020

2 - Mesure d'un déphasage :

Il existe différentes méthodes pour mesurer un déphasage.

2.1 - Première méthode :



Le découpage AC se recommande pour les deux canaux pour ne conserver que la composante alternative du signal.

Il faut vérifier que les zéros sont bien réglés.

t = représente l'écart horizontal des passages par zéro.

T = représente l'écart horizontal pour une période.

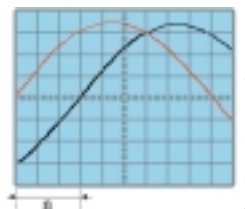
Alors le déphasage vaut :

$$\varphi = 2\pi \frac{t}{T} \text{ en rad ou } \varphi = 360 \frac{t}{T} \text{ en degré}$$

En fait, on ne détermine que la valeur absolue.

Il faut déterminer le signe de φ en examinant les positions respectives de 2 sommets adjacents des 2 courbes.

2.2 - Méthode des 9 carreaux :



Régler la base temps afin d'obtenir une 1/2 période de l'une des tensions sur la totalité de l'écran.

Décaler cette base de temps afin de faire correspondre une 1/2 période sur 9 carreaux. On aura directement la correspondance suivante :

9 carreaux \leftrightarrow 180° donc 1 carreau \leftrightarrow 20° .

Mesurer le nombre de carreaux n séparant les deux passages dans le même sens par la position médiane.

Le réglage est à faire avant chaque mesure de φ pour une

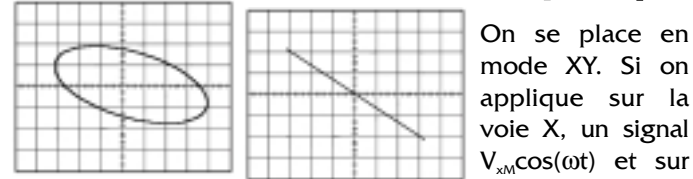
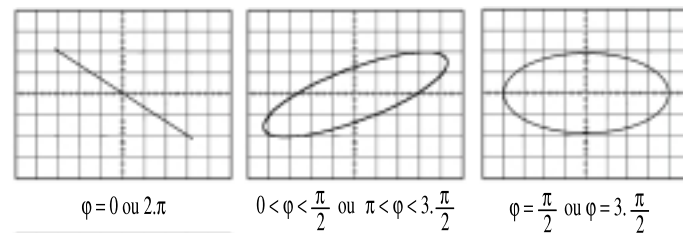
valeur de fréquence, f donnée (sauf l'alignement des traces). Le découpage AC se recommande pour les deux canaux pour ne conserver que la composante alternative du signal.

On aura : φ (en $^\circ$) = $20n$ ou φ (en rad) $\frac{20\pi}{180} n$

Avantage : il n'est pas nécessaire de connaître la période.

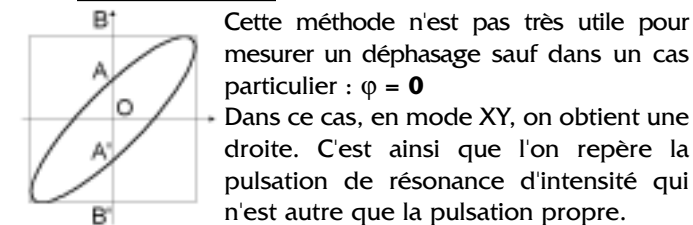
Inconvénient : il faut refaire le réglage chaque fois que l'on change de fréquence. Comme précédemment, on ne détermine que la valeur absolue.

2.3 - Figure de Lissajous :



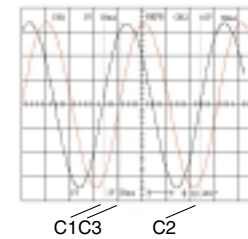
On se place en mode XY. Si on applique sur la voie X, un signal $V_{xM}\cos(\omega t)$ et sur la voie Y, un signal $V_{yM}\cos(\omega t - \varphi)$, on obtient en général une ellipse. La forme de l'ellipse dépend de φ (voir figures ci-dessus).

On constate alors que si $V_x = 0$ alors $OA = B$. $|\sin(\varphi)|$ alors $|\sin(\varphi)| = \frac{OA}{OB}$



2.4 - Utilisation des curseurs :

L'oscilloscope OX8020 permet de mesurer le déphasage avec des curseurs. On peut travailler en mode numérique ou analogique. Appeler le menu CURS (touche CURS(45)). Sélectionner la mesure de phase (touche 45).



Encadrer la période du signal CH1 (C1 à gauche, C2 à droite) :

- Choisir C1 (touche 41), le curseur est alors affiché en trait plein,
- Le déplacer vers la flèche \leftarrow (touche 43) et \rightarrow (touche 42),
- Choisir C2 (touche 41), le curseur est alors affiché en trait plein,

Le déplacer vers la flèche \leftarrow (touche 43) et \rightarrow (touche 42), Placer C3 sur le croisement du front de CH2 avec l'axe horizontal.

• Choisir C3 (touche 41), le curseur est alors affiché en trait plein, • déplacer vers la flèche \leftarrow (touche 43) et \rightarrow (touche 42).

Le résultat du déphasage est alors inscrit dans le menu :



φ représente alors l'avance du signal 1 sur le signal 2.

2.5 - Mesures automatiques :

L'oscilloscope permet de mesurer le déphasage automatiquement. On peut travailler en mode numérique ou analogique. Appeler le menu CURS (touche CURS (45)).

Appuyer sur la touche 44 pour choisir la voie CH1 ou CH2. Appuyer sur la touche 39 pour quitter.

Appuyer sur la touche MEAS (44) puis MORE (2 fois) pour faire apparaître le menu suivant.

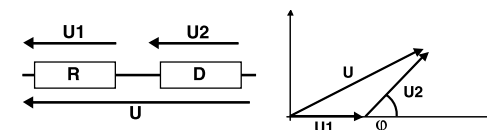
Appuyer sur la touche 40 pour mesurer la phase.

Le menu disparaît et le résultat de la mesure est affiché en bas à droite de l'écran.

Pour stopper les mesures, appuyer sur la touche MEAS (44) et sur Off. Le menu disparaît ainsi que les mesures.

Attention : Il faut au moins deux périodes à l'écran. **Nota :** L'oscilloscope pris en exemple est maintenant remplacé par le modèle OX 8040 de nouvelle génération. Les mêmes fonctions peuvent être utilisées et la bande passante est portée à 40 MHz.

2.6 - Méthodes des 3 voltmètres :



Le circuit représenté ci-dessus est étudié en régime sinusoïdal établi.

On utilise la construction de Fresnel : $U^2 = U_1^2 + U_2^2 + 2U_1 U_2 \cos(\varphi)$

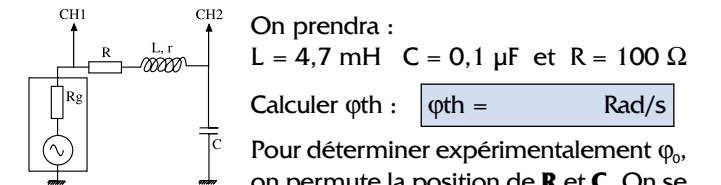
$$\text{alors } \cos(\varphi) = \frac{U^2 - U_1^2 - U_2^2}{2U_1 U_2}$$

Attention : on ne connaît pas le signe de φ

3 - Etude de $\varphi(\omega)$, retard de U_C sur E

3.1 - Montage :

On dispose d'un générateur B.F. dont la résistance interne est 50Ω . Régler la valeur efficace de la f.e.m à 1 V et vérifier qu'elle est constante quand ω varie.



On prendra : $L = 4,7 \text{ mH}$ $C = 0,1 \mu\text{F}$ et $R = 100 \Omega$

Calculer φ_{th} : $\varphi_{th} = \text{Rad/s}$

Pour déterminer expérimentalement φ ,

on permute la position de R et C . On se

place en position XY. La détermination de la résonance d'intensité par la méthode de Lissajous est très efficace.

Faire varier la fréquence jusqu'à obtenir une droite. A l'aide des mesures automatiques (MEAS puis f), mesurer la fréquence correspondante :

$$f_{0exp} = \text{Hz}$$

En déduire la pulsation propre : $\varphi_{0exp} = \text{Rad/s}$

Conclure.

Revenir au montage initial (cf schéma).

3.2 - Etude théorique :

Montrer que le retard de U_C sur E , f.e.m du générateur Basse Fréquence, est donné par :

$$\varphi = \arg \left[1 - \left[\frac{\omega}{\omega_0} \right]^2 + j \frac{\omega}{Q\omega_0} \right] \text{ ou encore en écriture normalisée}$$

$$\varphi = \arg \left[1 - x^2 + j \frac{x}{Q} \right] \text{ avec } x = \frac{\omega}{\omega_0} \text{ et } Q \text{ le facteur de qualité.}$$

3.3 - Etude comparée des différentes méthodes

Choisir une fréquence du générateur voisine de f_0 , la fréquence propre. Mesurer la phase par les différentes méthodes. On précisera le signe.

3.3.1 - 1^{ère} méthode :

Mesurer T : $T = \text{s}$ et t : $t = \text{s}$.

En déduire φ : $\varphi = \text{°}$

3.3.2 - Méthode des 9 carreaux :

Mesurer n : $n =$. En déduire φ : $\varphi = \text{°}$

3.3.3 - Figure de Lissajous :

Mesurer AA' : $AA' =$ et BB' : $BB' =$

3.3.4 - Utilisation des curseurs :

Relever la valeur de φ : $\varphi = \text{°}$

3.3.5 - Mesure automatique :

Relever la valeur de φ : $\varphi = \text{°}$

3.3.6 - Méthode des trois voltmètres :

Déplacer le voltmètre aux bornes de R , de U_C et des deux en même temps.

Noter les valeurs des tensions :

$$U_1 = \text{V} ; U_2 = \text{V} ; U_3 = \text{V}$$

Mesures de déphasage (suite)

3.4 - Mesures automatiques

3.4.1 - Principes de mesure :

L'oscilloscope a la possibilité de donner le déphasage de manière automatique. Préciser la voie étudiée pour préciser le signe φ .

Utiliser le mode MEAS, φ pour mesurer la phase φ (1) qui représente l'avance de CH1 sur CH2 et F pour la fréquence. φ sera exprimé en degré.

f(Hz)									
φ									
f(Hz)									
φ									

3.4.2 Exploitation :

Ouvrir un fichier dans Régressi et à l'aide de Fichier/Clavier, créer deux variables **f** et φ (Ctrl f).

En cliquant sur \boxed{Y} , créer la variable $\varphi = 2 \cdot \pi \cdot f$ et vérifier que les angles sont exprimés en degrés.

A l'aide $\boxed{x/y}$, afficher $\varphi = f(\omega)$.

A l'aide du "réticule", chercher l'abscisse de 90° :

$\varphi_{oexp} = \text{Rad/s}$

En cliquant sur \boxed{Y} , créer $x = \frac{\omega}{\omega_0}$. On désire faire une opération sur les variables pour que la courbe puisse se réduire à une droite. En cliquant sur \boxed{Y} , créer les variables : $tf = \tan(\varphi)$ et $y = \frac{x}{1-x^2}$ et afficher $tf = f(y)$ à l'aide de $\boxed{x/y}$.

A l'aide de "modélisation", $\boxed{\text{graph}}$, modéliser par une équation de droite **tf = y.Q**

Déterminer le coefficient de qualité Q : $Q =$
Conclusion.

Sauvegarder le fichier dans \MPSI\TP6GRI où **i** est votre groupe.

Imprimer la courbe. L'imprimante doit être sur **ON LINE**.

Du même auteur :

- Etude des régimes transitoires des circuits R.C et R.L.C.
- Réponse en amplitude d'un circuit R.L.C.
- Filtres et diagrammes de BODE.

Ces T.P vous seront présentés dans les prochains numéros des "Cahiers de l'Instrumentation".

Tables de cuisson grand public



info+

Samuel Violin
Professeur agrégé
de génie électrique

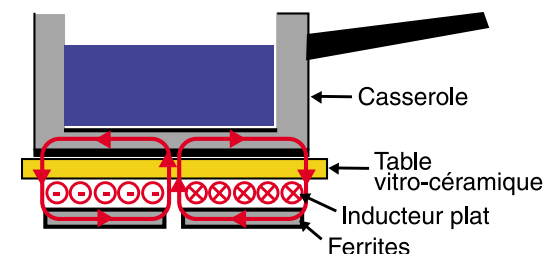
Les tables de cuisson grand public constituent un secteur très concurrentiel où plusieurs technologies s'affrontent : feu au gaz, feu halogène ou à induction sous table vitro-céramique, feu radiant sous table vitro-céramique ou fonte. Les constructeurs de tables à induction avancent quatre arguments principaux pour promouvoir leur matériel : la rapidité, le rendement, la souplesse, et la facilité d'entretien.

Après un rappel des principes utilisés dans l'induction, l'objet de cet article est de proposer un bilan énergétique d'une table à induction grand public et de conclure par des éléments de comparaison avec les autres technologies.

La table étudiée est de marque "Brandt" TPI 22 à double feu de 1,5 kW simultané ou de 3 kW par foyer seul.

Principe d'une table de cuisson à induction :

Un onduleur de tension alimente un inducteur plat inclus dans une charge résonnante :



L'inducteur crée dans la casserole à fond ferro-magnétique un champ électromagnétique variable.

Il apparaît des courants de Foucault produisant par effet Joule l'échauffement de la casserole puis des aliments.

L'ensemble est assimilable à un transformateur. Son circuit magnétique est constitué par les ferrites et la casserole avec un entrefer dû à l'épaisseur de la vitrocéramique. L'inducteur est le primaire et la casserole constitue le secondaire en court-circuit.

Pour modéliser de manière simplifiée l'inducteur et la casserole ramenée dans la charge résonnante, on utilise le schéma équivalent du transformateur ramené au primaire.

Schéma équivalent simplifié de l'inducteur et de la casserole vu coté inducteur :



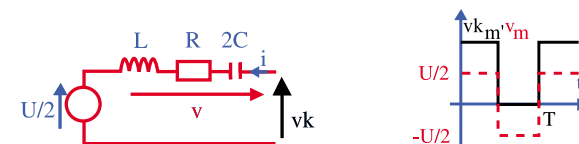
Alimentation de l'inducteur :

Le contexte d'une utilisation grand public impose le choix de fréquences de travail dans le domaine inaudible. Aux fréquences supérieures à 20 kHz l'impédance de l'inducteur est élevée. Le principe de résonance permet de "compenser" cette réactance. Le choix d'une structure en demi pont asymétrique est économique.

Les condensateurs **C** sont choisis pour obtenir la résonance à :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot 2C}}$$

Les interrupteurs sont commandés avec un rapport cyclique $\infty = 0,5$. Le schéma équivalent de l'ensemble est alors le suivant :



Le fondamental efficace de la tension V appliquée à la charge résonnante s'écrit : $V_{\text{eff}} = \frac{\sqrt{2}U}{\pi}$

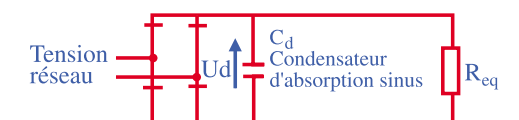
à la résonance la puissance est : $P = \frac{V_{\text{eff}}^2}{R} = \frac{2U^2}{\pi^2 R} = R I_{\text{eff}}^2$

U est obtenu à partir du réseau redressé. Une valeur moyenne de **U** = 190 volts pour une puissance appelée de 3 kW impose un courant efficace de l'ordre de 30 A dans l'inducteur.

Alimentation de la table par le réseau :

La table de cuisson est connectée à une prise 16 A. Pour obtenir 3 kW, le facteur de puissance doit être égal ou supérieur à 0,815. Par ailleurs la table doit respecter les directives de la norme CEI 61000-3-2. Il est indispensable de découpler le courant haute fréquence et de forte amplitude du courant appelé au réseau. On obtient ce découplage en plaçant un condensateur choisi de façon à obtenir un courant au réseau quasi sinusoïdal. Vu de la source continue le convertisseur et la charge sont assimilables à une résistance équivalente telle que :

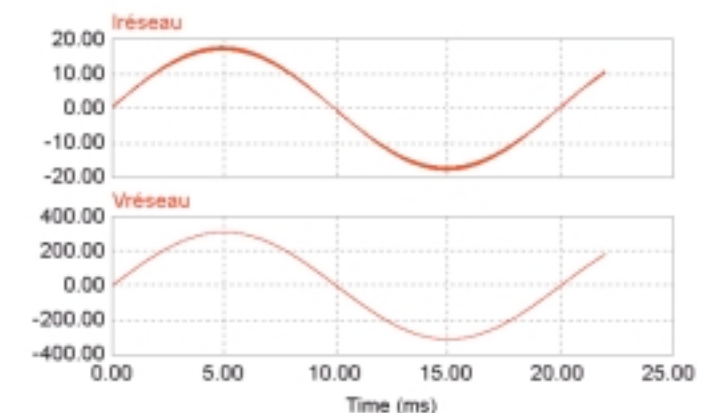
$$P = \frac{V_{\text{eff}}^2}{R} = \frac{2U^2}{\pi^2 R} = \frac{U^2}{R_{\text{eq}}} \quad \text{soit} \quad R_{\text{eq}} = \frac{\pi^2 R}{2}$$



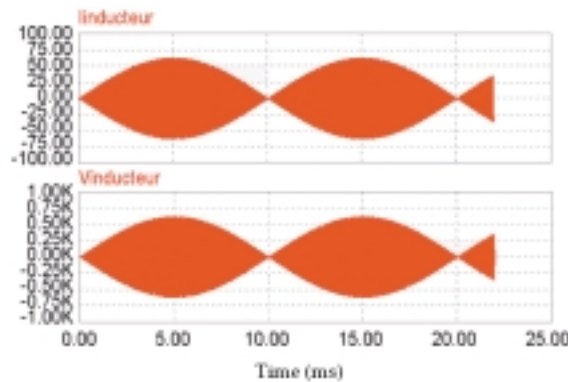
En première approximation on peut choisir :

$$R_{\text{eq}} \cdot C_d \ll \frac{T}{2} \quad \text{d'où} \quad C_d \ll \frac{T}{\pi^2 R}$$

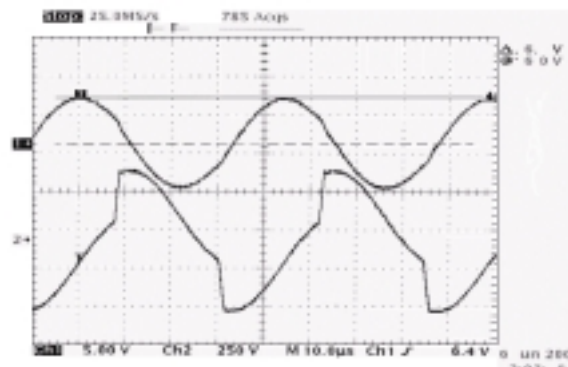
Le constructeur a choisi un condensateur de 5,6 μF . Dans ces conditions on obtient au réseau et pour 3 kW les formes d'ondes suivantes :



Les formes d'ondes de courant et de tension dans l'inducteur sont modulées par la tension redressée à 100 Hz.



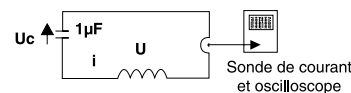
Pour un réglage à puissance maximale, les formes d'ondes de tension et de courant dans l'inducteur sont les suivantes :



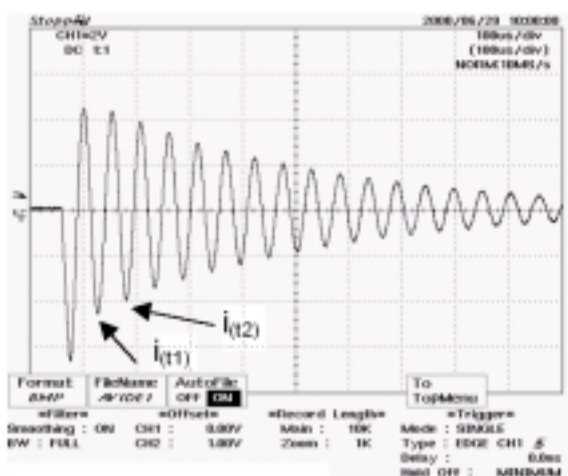
Bilan thermique d'un foyer 3 kW

On peut identifier les pertes dans l'inducteur, ainsi que l'énergie stockée dans le corps de la casserole, dans l'eau, et les déperditions.

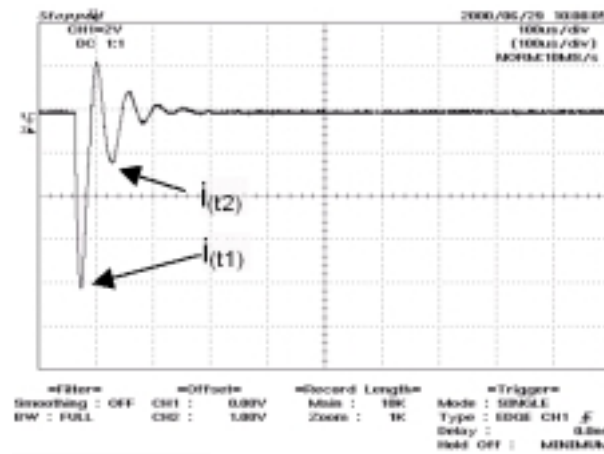
Pertes dans l'inducteur : bien que l'inducteur soit en fil de Litz, on constate un effet de peau. ($R = 0,15 \Omega$ mesuré à l'ohmmètre). Pour identifier **R** et **L**, il faudra réaliser une mesure à la fréquence de travail. Pour cela on procède à un essai de décharge oscillante d'un condensateur de $1 \mu\text{F}$ dans l'inducteur :



On obtient pour l'inducteur à vide :



Le même essai avec l'inducteur en charge montre le couplage entre l'inducteur et la casserole. On peut ainsi évaluer la valeur de la résistance ramenée.



$$i(t) = -\frac{C \cdot \omega_0 \cdot U_0}{\sqrt{1-m^2}} e^{-m\omega_0 t} \sin \omega t$$

m étant le coefficient d'amortissement

$$m = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \quad \omega = \omega_0 \sqrt{1-m^2}$$

Pour identifier les éléments **R** et **L** on fera l'approximation $\omega = \omega_0$

$i(t_1)$ et $i(t_2)$ sont deux maximum consécutifs du courant

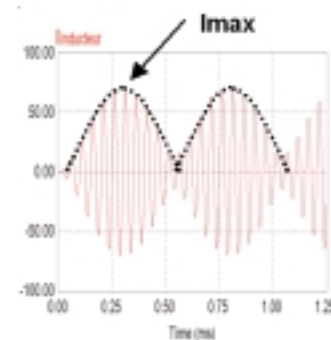
dans ce cas la valeur de **m** est $\frac{\ln \frac{i(t_1)}{i(t_2)}}{2\pi}$

Inducteur à vide : $R_i = 0,28 \Omega$ $L = 70 \mu\text{H}$

Cette valeur de **R** est probablement majorée par la résistance des connexions et du condensateur.

Inducteur en charge : $R = 3,4 \Omega$ $L = 68 \mu\text{H}$

Pour calculer les pertes dans l'inducteur, il faut mesurer la valeur efficace du courant haute fréquence modulé en amplitude à 100 Hz comme l'illustre la figure suivante :

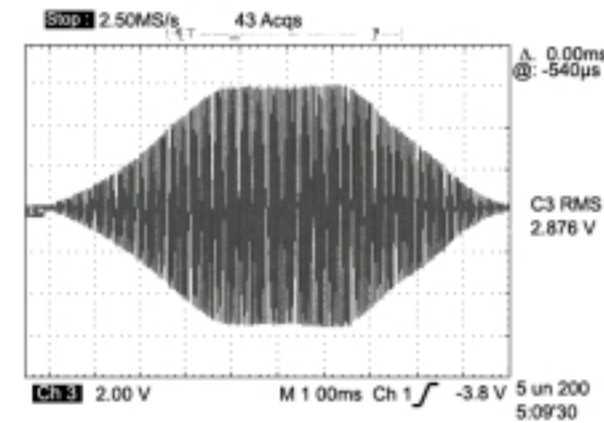


Si la période basse fréquence est grande devant la période haute fréquence :

$$I_{\text{eff}} = \frac{\sqrt{2} I_{\text{max}}}{\pi}$$

Pour mesurer la valeur efficace de ce courant, il convient de choisir un appareil RMS avec une bande passante suffisante pour la partie haute fréquence du courant. Une sonde de courant 0,1V/A associée à un oscilloscope permettant la mesure des valeurs efficaces (avec une acquisition de 30 000 points pour 12 divisions), donne à puissance maximale.

$I_{\text{eff}} = 28,7 \text{ A}$ et $I_{\text{max}} = 61 \text{ A}$



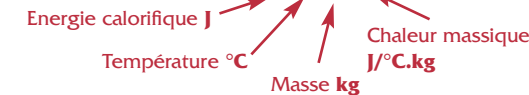
Finalement les pertes dans l'inducteur pour la puissance maximale sont :

Pertes inducteur = $R \cdot I_{\text{eff}}^2 = 0,28 \times 28,7^2 = 231 \text{ W}$

Cette valeur semble surévaluée du fait de la valeur exagérée de **R**

Évaluation des déperditions et des pertes dans la casserole :

Un corps de masse **m** à une température θ présente une énergie calorifique **W** telle que : **$W = \theta \cdot m \cdot c$**



La chaleur massique de l'eau est de $4180 \text{ J/}^\circ\text{C.kg}$.

Notion de résistance thermique

Un corps à la température θ dans un milieu ambiant à la température θ_a , présente une énergie calorifique qui évolue plus ou moins rapidement selon la résistance thermique **R_{th}** qui existe entre les deux milieux. La variation de l'énergie calorifique correspond à une puissance **D** appelée déperdition

$$D = \frac{dW}{dt} = \frac{\theta - \theta_a}{R_{th}}$$

Ces notions de résistance thermique et de déperdition sont applicables à condition qu'il ne se produise pas de changement d'état des corps auxquels on s'intéresse. Par exemple lorsqu'on maintient l'eau à ébullition, la température n'évolue plus et c'est le changement de phase qui absorbe l'énergie apportée.

A partir des équations précédentes on peut établir la relation permettant de prévoir l'évolution de la température d'un corps chauffé avec une puissance **P** telle que :

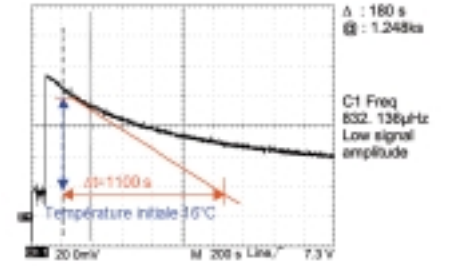
$$P dt = m \cdot c \cdot d\theta + \frac{\theta - \theta_a}{R_{th}} dt$$

Pour sommer directement les différents produits $m \cdot c$, on fait l'hypothèse simplificatrice d'égalité des températures entre la casserole et son contenu.

On obtient : $\theta = \theta_a + R_{th} P \left(1 - e^{-\frac{t}{R_{th} \sum mc}} \right)$

Identification de la constante de temps $R_{th} \sum mc$

La casserole a une masse de **1 kg** et une chaleur massique de $500 \text{ J/}^\circ\text{C.kg}$ et contient **0,65 l** d'eau. On relève l'évolution de la température lors d'un refroidissement avec une sonde thermocouple type **K**. La température initiale est de 25°C . Le calibre est de $1 \text{ mV/}^\circ\text{C}$.

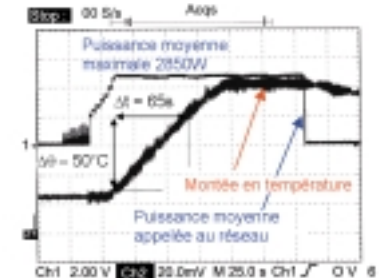


On obtient une constante de temps de 1100 s .

$\sum mc = 500 + 0,65 \times 4180 = 3217 \text{ J/}^\circ\text{C}$

La résistance thermique est de $0,34^\circ\text{C/W}$

On peut valider cette valeur de **R_{th}** en réalisant une mesure de montée en température à puissance maximale de 2850 W .



Il faut soustraire à la puissance appelée de 2850 W les pertes inducteur de 230 W . Le temps nécessaire pour élever $0,65 \text{ l}$ d'eau de 50°C avec une puissance de 2620 W devrait être :

$$t = -\left[\ln \left(1 - \frac{\theta - \theta_a}{R_{th} P} \right) \right] \cdot R_{th} \sum mc$$

Avec ces valeurs on obtient $t = 58 \text{ s}$ ce qui coïncide assez bien avec la mesure (65s).

Bilan énergétique final pour une élévation de 50°C de $0,65 \text{ l}$ d'eau en 65 s :

Énergie totale absorbée : $2850 \times 65 = 185,3 \text{ kJ}$
 Énergie perdue dans l'inducteur : $230 \times 65 = 14,95 \text{ kJ}$
 Énergie absorbée par la casserole $500 \times 1 \times 50 = 25 \text{ kJ}$
 Énergie absorbée par l'eau $0,65 \times 4180 \times 50 = 135,85 \text{ kJ}$
 Le reste constitue les déperditions et les pertes onduleur soit $9,5 \text{ kJ}$. **Rendement global $\eta = 73\%$**

En conclusion :

	Temps chauffe	Énergie consommée	Température de la plaque
Induction 1,5 kW	5'20"	0,125 kWh	107°C
Halogène 1,25 kW vitro-céramique	10'20"	0,182 kWh	310°C
Radian 1,25 kW vitro-céramique	9'30"	0,176 kWh	307°C
Radian fonte 1kW	12'	0,208 kWh	375°C

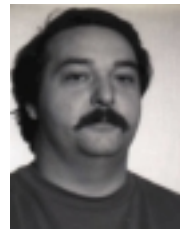
Les arguments de la rapidité et du rendement sont indiscutables. La faible température de la table de cuisson à induction est un avantage important, tant pour l'entretien que pour la sécurité. Le coût de l'induction, encore supérieur aux autres technologies, reste le dernier obstacle à une diffusion massive dans le domaine grand public.



Laurent BRUYAS

Electrothermie

Un sous système unique pour des compétences élargies



Jean-Louis FARAO

Actuellement, trop de systèmes équipant les sections d'Electro-technique sont spécialisés dans un seul domaine d'étude, de même que certains domaines, tel que le mesurage dans le cadre industriel, ne sont pas suffisamment traités. Il nous semble pourtant nécessaire de disposer d'équipements qui permettent de développer et de synthétiser l'acquisition de plusieurs compétences attendues en fin de formation.

C'est pourquoi nous avons décidé de recenser l'ensemble des compétences des différents programmes et référentiels des filières allant du BEP au BTS et d'en aborder une grande partie à travers un sous-système unique.

Suite à plusieurs contacts, le groupe Chauvin Arnoux nous a proposé de mettre à notre disposition son savoir-faire et, dans la mesure du possible, une aide matérielle pour ainsi réaliser notre projet.



Christian PEUTOT

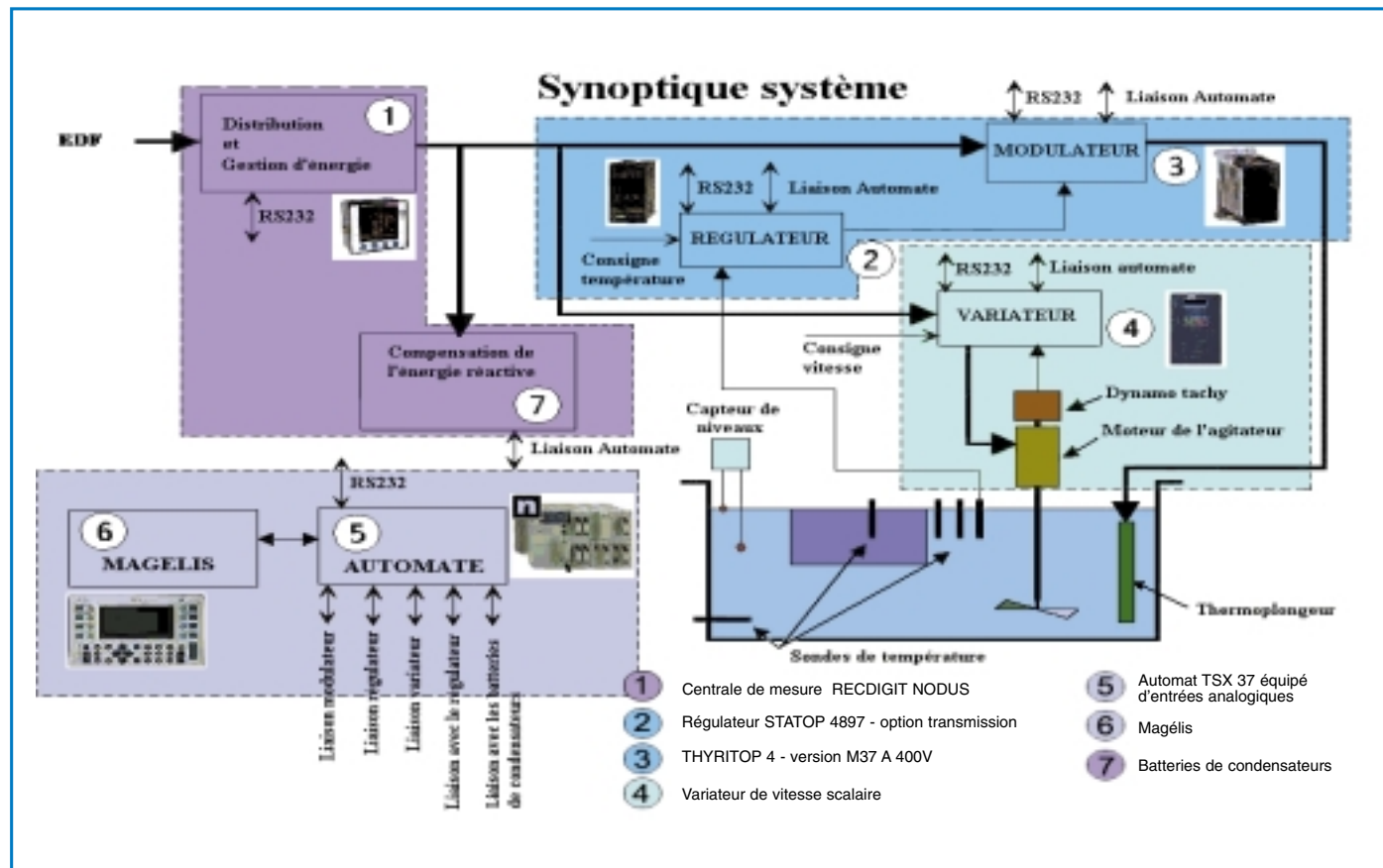
Le sous-système en question est la cuve de dégraissage du traitement de surface qui équipe de nombreux établissements.

Il est composé à l'origine d'une cuve remplie d'une solution à base d'acide dans laquelle la pièce à traiter est plongée et dont la température est portée à 70°C pendant 15 minutes.

Dans notre projet, la solution acide sera remplacée par de l'eau pour des raisons de sécurité et environnementales.

L'homogénéité de la température dans la cuve sera assurée par un agitateur entraîné par un moto-réducteur.

La pièce sera remplacée par une autre cuve que l'on remplira d'eau. Ceci nous permettra de simuler la perturbation créée par la pièce à dégraisser et d'exécuter de nombreux essais en un temps restreint, ceci en toute sécurité.



Présentation des activités possibles à travers les domaines retenus

DISTRIBUTION :

- Choix de matériels de protection, de canalisations électriques,
- Câblage des départs moteurs et de leurs protections,
- Mise en évidence de fonctionnement des protections,
- Quantification de la chute de tension dans le câble d'alimentation et conformité aux normes.

GESTION D'ENERGIE ET QUALIMETRIE :

- Mesure du facteur de puissance suivant la combinaison et la nature des récepteurs (thermoplongeur, moteur, variateur).
- Compensation de l'énergie réactive du point de vue technologique (le point de vue économique pourra être traité sous forme homothétique compte tenu des puissances mises en jeu).
- Qualimétrie : fonctionnement en déséquilibré et études harmoniques en différents points de l'installation suivant la configuration du sous-système.

MOTORISATION :

- Choix du moto-réducteur de l'agitateur et détermination de ses caractéristiques par mesurage.
- Justification, étude, configuration et réglage du modulateur (variateur de vitesse pour M.A.S).
- Asservissement de la vitesse du moteur.

REGULATION :

- Etude et configuration dans les différents types de commandes du Statop associé au Thyritop Chauvin Arnoux - Pyrocontrôle.
- Relever et analyse de la température sur PC au moyen du logiciel Pyrotracer.
- Comportement du système face à une perturbation créée par la simulation de l'introduction d'une pièce à température ambiante.

AUTOMATISMES :

- Programmation d'un Automate Programmable Industriel (API) par PC et transfert.
- Câblage et raccordement de capteurs en entrées (TOR, analogiques) et de pré-actionneurs en sorties.
- Communication et dialogue Homme-Machine (supervision) entre API et Magélis graphique (de Schneider Electric Industrie).
- Gestion des sécurités et défauts.

CONCLUSION :

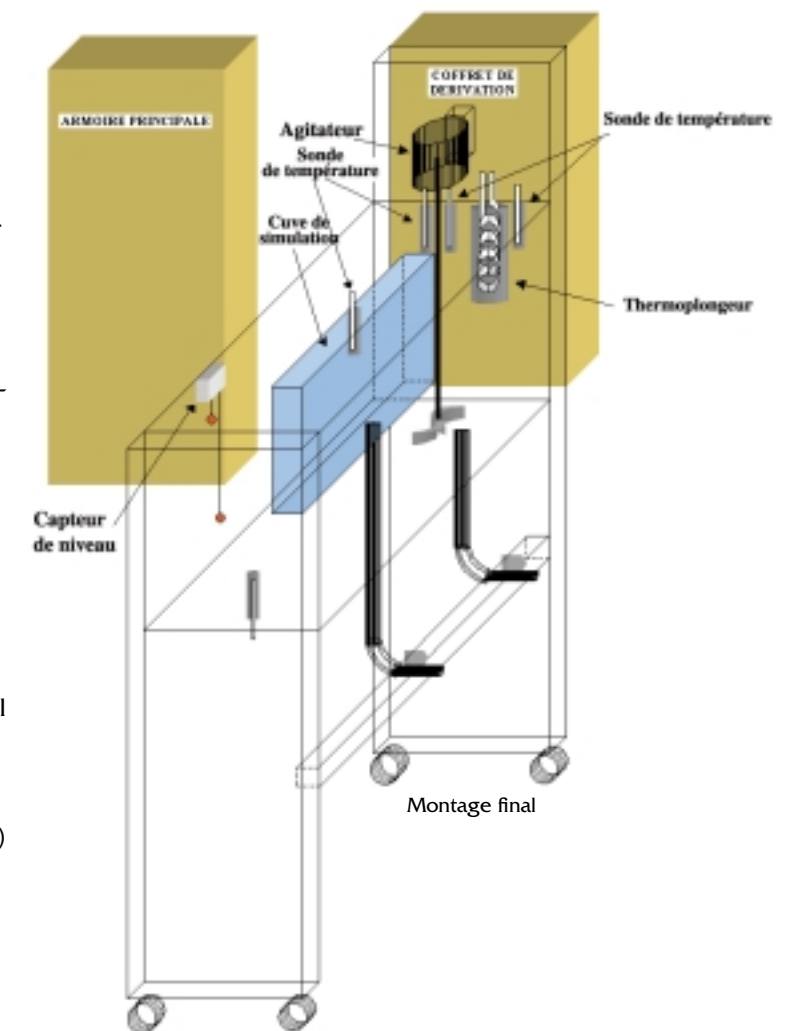
Ce sous-système synthétique permet de faire le transfert des compétences développées sur les autres systèmes spécialisés, tout en répondant à notre sens, à un besoin récurrent, notamment dans le domaine du mesurage industriel et dans le choix des capteurs impliqués.

HABILITATION :

- Validation des tâches professionnelles BO, B1.

MESURAGE :

- Justification du temps de réaction des différents capteurs de température : Pt100 Ω, thermocouple, CTP.
- Choix des appareils de mesure en fonction de la grandeur mesurée
- Mise en œuvre des différents appareils de mesure industriels de la gamme Chauvin Arnoux : Recdigit NODUS, pince ampèremétrique F25, Transformateur de courant, Energimètre, V.A.T, Relais de compensation d'énergie réactive, Dynamo tachymétrique, Indicateurs de tableau, Sonde différentielle de tension et Data logger.



L'hyperfréquence au quotidien, en théorie

Jean WAUTERS

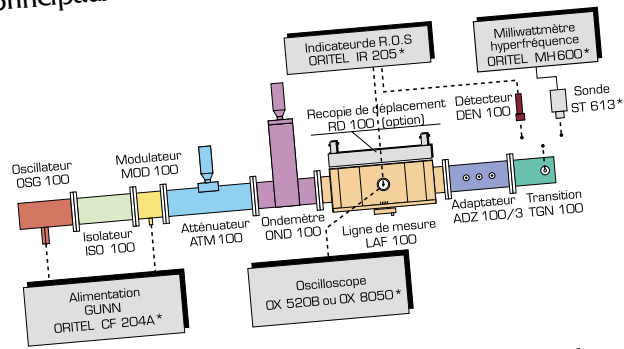
A l'origine liés au développement du radar pour des besoins militaires, de plus en plus de systèmes utilisant des ondes hyperfréquence font aujourd'hui partie de notre quotidien technologique, dans des domaines d'applications aussi variés que :

- l'aéronautique avec le radar et le radioaltimètre
- les télécommunications avec les faisceaux hertziens
- la radiotéléphonie cellulaire avec le téléphone portable
- la télévision par satellite
- la sécurité avec les alarmes volumétriques
- l'industrie agroalimentaire avec la cuisson par micro-ondes

le négoce (contrôle etc.) avec la mesure du taux d'humidité, de niveau et de distance, sans contact. Ces systèmes hyperfréquences (ou micro-ondes) correspondent à une plage de fréquences comprises entre celles utilisées par la radiodiffusion, d'une part et par l'infrarouge, d'autre part, soit d'environ 300 MHz à 300 GHz.

Les bancs de mesure permettant l'étude des phénomènes de base spécifiques aux hyperfré-

quences sont composés de sous-ensembles principaux suivant le schéma type ci-dessous :



Comme pour tout système électronique, le besoin de faire des mesures existe tout au long de la durée de vie d'un système hyperfréquence :

- mesure d'une puissance, d'une impédance, d'une fréquence...
- mesure d'adaptation
- perte d'insertion
- mesure d'un champ électrique, de son rayonnement ; de sa longueur d'onde...
- Doppler, etc.



Philippe Narne, professeur d'électronique au Lycée Gustave Eiffel de Cachan, est formateur hyperfréquence au CERGE de Vitry-sur-Seine.

L'hyperfréquence, en pratique

L'hyperfréquence est une des trois disciplines en électronique mises en pratique au CERGE (concernant ce Centre de Ressources en Génie Electrique, voir notre article dans le numéro précédent des "Cahiers de l'Instrumentation").

Concrètement, les stages hyperfréquence composés de quatre activités pratiques de deux heures, étalées sur une journée, s'adressent à des élèves en dernière année de BTS électronique, issus des 26 sections des trois académies d'Ile de France.



Chaque classe est divisée en trois groupes, soit un maximum de huit élèves par groupe.

Des formateurs qualifiés pour des élèves motivés

Accompagnés de leur professeur, les étudiants sont également encadrés par des spécialistes. Ces formateurs, au nombre de quatre pour les hyperfréquences, sont des professeurs, pour la plupart agrégés, détachés chacun un jour par semaine au CERGE.

Pour ces élèves motivés, que l'on retrouve souvent en écoles d'ingénieurs après l'obtention de leur BTS, ces stages sont l'occasion de se confronter à des cas pratiques et de disposer de matériel ultra-perfectionné, mais trop coûteux pour être acquis par chaque lycée.

De la théorie à la pratique grâce à du matériel de pointe



Le CERGE ne sera plus simplement intelligent, il deviendra beau. En effet, il doit bénéficier prochainement d'un lifting architectural complet.

A ce jour, les activités pratiques proposées dans le laboratoire hyperfréquence et le matériel utilisé sont :

- Relevé et analyse des signaux issus d'un ensemble d'émission - réception vidéo fonctionnant en modulation de fréquence avec une portuse d'environ 2,3 GHz.

Moyens : un émetteur FM 2,3 GHz, un récepteur FM, un analyseur de spectre 2,9 GHz, un bolomètre et un oscilloscope.



Analyse de spectre

- Réglage d'adaptation d'impédance de l'étage d'entrée d'un amplificateur de classe C fonctionnant autour de 2,3 GHz. Moyens : cartes électroniques de simulation de l'étage d'entrée d'un ampli de classe C, vernis conducteur à l'argent et analyseur de réseau vectoriel pouvant aller jusqu'à 6 GHz.

- Analyse de circuits réalisés en lignes micro ruban. Moyens : maquettes réalisées en lignes micro ruban, analyseur de réseau vectoriel pouvant aller jusqu'à 6 GHz, binoculaire dotée d'un réticule gradué à 0,2 mm, ordinateur et logiciel de simulation, de calcul et d'analyse des composants réalisés en ligne micro ruban.



Les stagiaires sont dirigés par des professeurs qui enseignent l'électronique dans d'autres établissements d'Ile de France.

Journée bien remplie pour ces étudiants qui en huit heures pratiquent quatre activités hyperfréquence.

- Caractérisation d'un filtre à l'aide d'appareils hyperfréquence et d'une station de mesure automatisée. Moyens : maquettes de filtres passe bas de bande passante d'environ 1 GHz, analyseur de spectre 2,9 GHz et synthétiseur de fréquence dotés d'un bus IEEE, station UNIX et serveur avec un logiciel développé de façon spécifique pour la prise en main à distance des appareils.



Caractérisation d'un filtre

Le nombre de TP devrait être élargi à cinq pour la rentrée 2002-2003 et à six ultérieurement. Disposer d'activités pratiques supplémentaires permettra aux élèves redoublants d'aborder de nouveaux cas pratiques d'une année sur l'autre, d'une part, et de pallier toute panne éventuelle sur un poste, d'autre part.

Certains travaux du CERGE sont disponibles en téléchargement sur : www.electron.cndp.fr Le CERGE devrait disposer dans un futur proche de son propre site internet.

Cette visite au CERGE a également été l'occasion de monter et de tester le banc didactique hyperfréquence ORITEL BDH R100.

Analyse de circuits

