

Appel à projet technologique Réseau Plasmas Froids du CNRS

Titre : *Dispositif de mesure des paramètres plasma par sonde de Langmuir*
Porteur du projet : Alexandre Bès IR (LPSC-CRPMN)

Objectif

Réaliser un système portatif autonome haute résolution pour l'acquisition de courbes de sondes de Langmuir ($I_s(V_s)$). Le traitement des courbes, effectué *a posteriori*, permet de déterminer les paramètres plasmas (potentiels flottant V_f et plasma V_p , densités des ions n_i et des électrons n_e , températures des électrons T_e , fonction de distribution en énergie des électrons *FDEE*).

Le dispositif ne nécessitant pas d'ordinateur dédié pour l'acquisition des courbes $I_s(V_s)$, il se prête parfaitement à une utilisation itinérante entre laboratoires. Pour se faire, il satisfait aux exigences suivantes :

- 1/ faible encombrement (rack standard de 19'') et léger (poids inférieur à 10 kg)
- 2/ transfert des données par port USB2 (numérique) et / ou BNC (analogique)

Un tel dispositif permettra au réseau Plasmas Froids de disposer d'un dispositif portatif innovant car utilisable dans une très large gamme de conditions expérimentales (pulsé, RF 13,56 MHz, micro-onde 2,45 GHz, faisceau d'électrons, champ magnétique, haute pression, forte densité 10^{12} cm^{-3}).

Caractéristiques

- Acquisition synchrone sur 3 voies simultanées de la tension V_s , du courant I_s et d'une tension de référence
- Fréquence d'acquisition $\approx 100 \text{ Hz}$ / jusqu'à 1200 points par courbe
- Résolution :
 - Tension (V_s) 25 mV
 - Courant (I_s) 0,1 μA
 - Tension de référence 25 mV
- Tension - courant maximum : +/- 100 V / 2 A
- Boxcar : TTL opto-isolé, déclenchement sur front montant, résolution 200 ns, jitter +/- 100 ns, fréquence maximale 100 kHz

Composantes du système

Le système comprend les éléments suivants :

- carte électronique gérant le balayage en tension (+/- 10 V), le gain et l'offset de l'amplificateur de puissance
- amplificateur de puissance $\pm 100 \text{ V} / 2 \text{ A}$
- carte électronique d'acquisition analogique/numérique (caractéristiques ci-dessus)
- sonde de Langmuir cylindrique en tungstène de longueur 10 mm et de diamètre 0,5 mm (différentes géométries (cylindrique, sphérique, plane) et dimensions sont possibles)
- logiciel de traitement des courbes $I_s(V_s)$. L'existence de sortie analogique et numérique permet de s'affranchir d'un PC de mesure dédié (le traitement étant distinct du module d'acquisition)

Travail à effectuer

La réalisation de la partie électronique (hardware) implique une très forte collaboration entre le CRPMN et les Services Électronique (SE) et Informatique (SI) du LPSC (IN2P3 - INST2I) et d'une société privée (Synergie concept). Ainsi, ce projet bénéficie à la fois des compétences du CRPMN en matière de diagnostics plasma, de celles du LPSC en conception de systèmes spatiaux embarqués à très haute technicité (satellite PLANCK) et de la fiabilité des amplificateurs développés par la société Synergie concept. La partie traitement des données (software) sera assurée par le CRPMN sous environnement MatLab. En effet, le CRPMN développe depuis plusieurs années ce type de diagnostic plasma. La Fig. 1 présente les résultats d'analyse d'une courbe $I_s(V_s)$ obtenue au CRPMN qui montre le très bon accord entre courbe expérimentale et théorique.

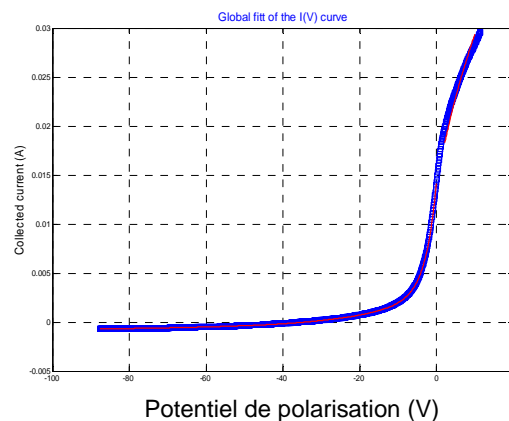


Figure 1. Ajustement d'un modèle à 2 températures maxwelliennes (courbe rouge) avec la courbe expérimentale filtrée (bleue).

Ces collaborations permettront la conception et la réalisation des éléments suivants :

- carte électronique dédiée pour piloter le balayage en tension de l'amplificateur de puissance (CRPMN / SE / SI)
- carte d'acquisition analogique numérique ayant deux sorties numérique (USB2 pour transfert des données sur clef USB) et analogique (BNC pour visualisation directe sur oscilloscope) (CRPMN / SE / SI)
- amplificateur de puissance (± 100 V, 2 A, 100 Hz) (CRPMN / Synergie concept)
- logiciel d'analyse des courbes $I_s(V_s)$ obtenues (CRPMN)

Le contrôle de la carte gérant le balayage en tension et de la carte d'acquisition des données sera réalisé sous LabView par le Service Détecteurs et Instrumentations et le Service informatique du LPSC. Pour le rendre autonome, le dispositif inclura en face avant les potentiomètres nécessaires aux réglages de base de l'acquisition (plage de tension, gain, offset, fréquence d'acquisition et nombre de points d'acquisition). Les acquisitions plus complexes (Boxcar) devront être gérées par ordinateur.

Considérant le travail à réaliser, notamment au niveau logiciel, la mise à disposition du système est envisageable pour le début du second semestre 2010.

Budget du projet

- Carte paramétrable gérant le balayage en tension de l'amplificateur de puissance, conception et réalisation (Service Électronique du LPSC) : **1 000 €**;

- Amplificateur de puissance dont la conception a déjà été prise en charge par le CRPMN (Synergie Concept) : **2 500 €**
- Carte d'acquisition analogique/numérique (sortie USB et BNC), conception et réalisation (Service Electronique du LPSC) : **3 000 €**;
- Sonde de Langmuir, conception et tests de la compensation RF, (CRPMN) : **1 000 €**;
- Intégration du logiciel de traitement des courbes $I_s(V_s)$, dans le système complet (partie logicielle non indispensable pour l'utilisation du système), (Service Détecteur Instrumentation et Service Informatique du LPSC) : **1 000 €**;
- Interface utilisateur : **1 000 €**

Coût total du projet : 9 500 €

Coût faible par rapport aux systèmes commerciaux actuels disponibles sur le marché (Scientific System et Hiden), qui intègrent aussi l'amplificateur de puissance, l'acquisition et le logiciel de traitement et dont le coût est de l'ordre de 15 000 €

Expérience et savoir-faire

L'équipe du CRPMN travaille depuis plus d'une dizaine d'années sur les mesures de sondes de Langmuir (cf. références ci-dessous) et a déjà conçu système portatif équivalent (Plasmac 01) désormais obsolète. Un stage effectué par un stagiaire de DUT Mesures Physiques a permis de valider le concept de carte d'acquisition et de conversion analogique / numérique retenu dans cette demande.

Les multiples contacts avec les laboratoires du Réseau Plasmas Froids ont montré l'intérêt de mutualiser un tel dispositif pour répondre à des demandes ponctuelles de campagnes de mesures.

Références

1. Extraction of large area low-energy electron beams from a multi-dipolar plasma, A. Lacoste, S. Béchu, O. Maulat, J. Pelletier, Y. Arnal, *Plasma Sources Sci. Technol.*, **18** (2009) 015017
2. Caractérisation et modélisation des plasmas micro-ondes multi-dipolaires / Application à la pulvérisation assistée par plasma multi-dipolaire, thèse Tran Tan Vinh (2006)
3. Organisation du Workshop 'Analyse de plasmas par sondes électrostatiques' du réseau Plasmas Froids de la MRCT (juin 2006)
4. Comparison between Langmuir probe and microwave auto-interferometry measurements at intermediate pressure in an argon surface wave discharge, A. Rousseau, E. Teboul, S. Béchu, *J. Appl. Phys.* **98**, 083306 (2005)
5. Mesures de sondes électrostatiques en plasma basse pression, S. Béchu, 1^{ère} Journées du Réseau Plasmas Froids à Bonascre (31) 6-9 octobre 2002
6. Determination of the EEDF by Langmuir probe diagnostics in a plasma excited at ECR above a multipolar magnetic field, Lagarde, T., Y. Arnal, *et al.* *Plasma Sources Sci. Technol.* **10** (2001) 181-190
7. Refined time resolved characterization of Hall thrusters plume with electrical probes, S. Béchu, N. Gascon, P. Lasgorceix, A. Hauser, M. Dudeck, 36th AIAA/ASME/SAE/ASEE, Joint Propulsion Conference & Exhibit, July 17-19, 2000, Huntsville, Alabama, USA
8. Characterization of a Laboratory Hall Thruster with electrical probes and comparisons with a 2D hybrid PIC-MCC model, C. Pérot, N. Gascon, S. Béchu, P. Lasgorceix, M. Dudeck, L. Garrigues, J.P. Bœuf, 35th AIAA/ASME/SAE/ASEE, Joint Propulsion Conference & Exhibit, June 20-24, 1999, Los Angeles, CA, USA
9. Probe measurement in a large diameter microwave plasma reactor, S. Béchu, C. Boisse-Laporte, Ph. Leprince, J. Marec, 22nd ICPIG, Stevens Institute of Technology, Hoboken, New Jersey, USA, 4, pp149-150 (1995)