

Manuel d'utilisation INTERFACE DE COMMANDE LASER

Document : ICL-MAN-0023-A
Diffusion : Interne
Date révision : Décembre 2006
Auteur : GB

Laboratoire Collisions, Agrégats et Réactivité
UMR5589 CNRS-Université Paul Sabatier
118 Rte de Narbonne 31062 Toulouse Cedex 04
Tél : +33 (0)5 61 55 60 23
Fax : +33 (0)5 61 55 83 17
www.irsamc.ups-tlse.fr

Table des matières

1	Introduction	2
1.1	Objet	2
1.2	Diffusion	2
1.3	Acronymes	2
1.4	Documents <i>LCAR</i> relatifs à <i>ICL</i>	2
2	Informations condensées	2
2.1	Vue d'ensemble	2
3	Fonctionnement	3
3.1	Commande actionneur PZT-BT	3
3.2	Commande actionneur PZT-HT	5
3.3	Commande actionneur TEC	5
3.4	Mesures en face avant	6
3.5	Contrôle-Etat	6
3.6	Alimentations	7
4	Connections	7
4.1	Face avant	7
4.2	Face arrière	8
4.2.1	Entrées BNC	8
4.2.2	Sorties BNC	8
4.2.3	Connecteur laser LAS-1	8
4.2.4	Connecteur laser LAS-2	9
4.2.5	Connecteur contrôle à distance CAD	9
4.2.6	Connecteur superviseur contrôle automatique SCA 10	
4.2.7	Entrées alimentation	11
5	Commande clavier et visualisation	11
5.1	Clavier	11
5.2	Visualisation	12
6	Spécifications détaillés	12

Table des figures

1	Plan synoptique des principales fonctions.	4
---	--	---

1 Introduction

1.1 Objet

L'objet de ce document est de fournir aux utilisateurs de l'*Interface de commande laser* les différentes données qui leur seront nécessaires en vue de son implantation. *ICL* est spécialement conçu pour l'exploitation du laser *Lightwave electronics* de référence *Model 126*.

1.2 Diffusion

Ce manuel s'adresse aux membres de l'équipe *Optique* du LCAR impliqués dans le projet *BMV*.

1.3 Acronymes

ICL	Interface de commande laser
CAF	Contrôle automatique de fréquence
BMV	Biréfringence magnétique du vide
PZT	Actionneur piézoélectrique du laser
PZT-HT	Electrode PZT haute tension
PZT-BT	Electrode PZT basse tension
TEC	Actionneur thermoélectrique du laser
MDF	Mesure du décalage en fréquence laser-cavité

1.4 Documents *LCAR* relatifs à *ICL*

ICL-SCH-0006-A	Schémas électroniques
ICL-PCB-0005-A	Circuits imprimés, carte principale
ICL-PRG-0010-A	Programmation microcontrôleur
ICL-MAN-0023-A	Manuel de programmation microcontrôleur
IMU-SCH-0003-A	Schémas électroniques carte secondaire
IMU-PCB-0004-A	Circuits imprimés carte secondaire

2 Informations condensées

2.1 Vue d'ensemble

ICL est le dispositif d'interconnection du laser, du système de contrôle automatique de fréquence et de l'acquisition des signaux. Il permet d'appliquer et de mesurer les différents signaux utiles pour maintenir le laser asservi à la cavité de référence.

ICL permet de commander les actionneur piézoélectrique et thermique du laser via le connecteur multipoints DB15 ou par liaisons coaxiales BNC.

Les entrées de contrôle se font par liaisons coaxiales BNC ou par connecteurs multipoints de type DB15 ou DB25.

Les signaux de commande PZT et TEC sont visualisés par des galvanomètres et accessibles à la mesure par BNC en face avant.

Le contrôle d'ICL se fait par l'interface utilisateur en face avant via un clavier et une sortie affichage.

Les alimentations $+/- 8V$ $+/- 18V$ et $+/- 65V$ se font par les connecteurs de type DIN.

ICL se présente dans un coffret rackable au format 19" de hauteur 4U.

3 Fonctionnement

Les deux électrodes de l'actionneur PZT sont flottantes et permettent donc leur commande individuelle. Ceci est mis à profit pour disposer de deux entrées de commande lors de l'asservissement. Sur une des électrodes (PZT+), on effectue la modulation et le contrôle rapide basse tension tandis que sur la seconde (PZT-), on réalise un contrôle plus lent mais en haute tension.

Toutes les entrées de commandes analogiques disposent de filtres passifs et d'amplificateurs différentiels afin d'imposer un taux de réjection en mode commun important et ceci sur une large bande de fréquences.

3.1 Commande actionneur PZT-BT

Les entrées suivantes permettent de commander l'électrode PZT^+ . Le dernier étage amplificateur permet de délivrer un signal de sortie d'amplitude $+/- 10V$ sous une charge capacitive importante et sur une large bande passante. Sauf indication contraire, les résistances d'entrée sont de $10k\Omega$.

Entrée OSC L'entrée faible niveau *OSC* est l'entrée de modulation qui sert à créer les bandes latérales pour la mesure *MDF*. La bande passante est suffisamment élevée pour ne pas introduire une trop importante rotation (29°) de phase à la fréquence $f_{OSC} = 650kHz$ pour un gain voisin de $0dB$. L'impédance d'entrée est de 50Ω .

Entrée TEST L'entrée *TEST* constitue le point d'entrée pour le test en boucle fermée. Le gain est de $0dB$, la bande passante est supérieure à $100kHz$. L'entrée est appliquée ou non en sortie selon l'état de l'instrument.

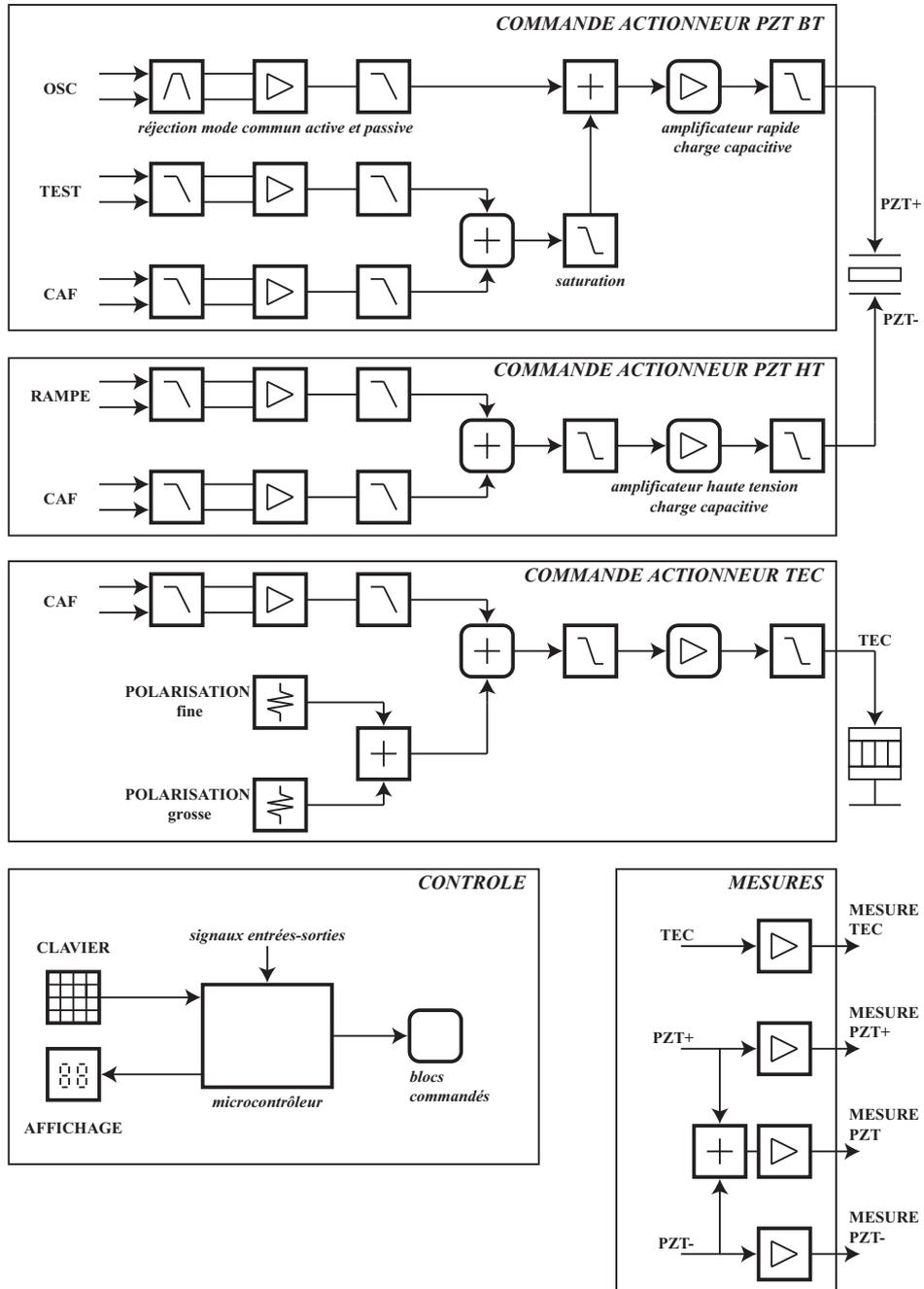


FIG. 1: Plan synoptique des principales fonctions.

Entrée CAF L'entrée *CAF* connecte le signal de commande issu des régulateurs *CAF*. Le gain est de $0dB$, la bande passante est supérieure à $100kHz$. Le signal est appliqué ou non en sortie selon l'état de l'instrument.

3.2 Commande actionneur PZT-HT

Les entrées suivantes permettent de commander l'électrode *PZT*⁻. Les résistances d'entrée sont de $10k\Omega$. L'amplificateur de sortie permet de piloter une charge capacitive de $15nF$ sous $\pm 50V$.

Entrée CAF L'entrée *RAMPE* permet d'appliquer le signal de balayage lors de la recherche de résonances en boucle ouverte. Le gain $G = 5$ permet d'atteindre le maximum de tension de sortie pour une amplitude d'entrée de $10V$. L'amplitude de balayage en sortie de $\pm 50V$ permet d'importantes excursions en fréquences pour le laser. Celle-ci est souvent suffisante pour recouvrir un intervalle spectral libre.

Entrée CAF L'entrée *CAF* permet d'appliquer le signal de commande issu des régulateurs *CAF*. Cette deuxième entrée associée à l'importante dynamique disponible en sortie permet de corriger de fortes perturbations qui auraient entraîné la saturation de l'étage *PZT-BT* et donc un décrochage de l'asservissement. Le gain $G = 5$ est constant dans la bande utile pour l'asservissement. Le signal est appliqué ou non en sortie selon l'état de l'instrument.

3.3 Commande actionneur TEC

Le dernier étage amplificateur permet de délivrer un signal de sortie d'amplitude $\pm 10V$ sous une charge résistive de $2k\Omega$.

Entrée CAF L'entrée *CAF* permet d'appliquer le signal de commande issu des régulateurs *CAF*. Cette entrée présente un gain $G = 1/4$ est constant dans la bande utile pour l'asservissement. Le signal est appliqué ou non en sortie selon l'état de l'instrument.

Polarisation Les commandes disposées en face avant *Commande température-gros* et *Commande température-fin* permettent de décrire la gamme $\pm 10V$ par pas de $150mV$ environs. La polarisation est appliquée ou non en sortie selon l'état de l'instrument.

3.4 Mesures en face avant

Les sorties suivantes permettent de mesurer les tensions de commandes appliquées sur le PZT et le TEC. Elles sont prévues pour être utilisées par un voltmètre ou oscilloscope présentant des impédances de charge de $2k\Omega$ minimum.

Mesure PZT-BT La sortie *Mesure PZT-BT* permet d'accéder au signal basse tension appliqué sur l'électrode *PZT+*. Le gain est de $1V/V$ dans la bande $0 - 100kHz$.

Mesure PZT-HT La sortie *Mesure PZT-HT* permet d'accéder au signal haute tension appliqué sur l'électrode *PZT-*. Le gain est de $0.1V/V$ dans la bande $0 - 1kHz$.

Mesure PZT La sortie *Mesure PZT* permet d'accéder au signal appliqué sur *PZT-*. Il est obtenue par différence entre *PZT-BT* et *PZT-HT*. Le gain est de $0.1V/V$ dans la bande $0 - 100kHz$.

Mesure TEC La sortie *Mesure TEC* permet d'accéder au signal appliqué sur *TEC*. Le gain est de $1V/V$ dans la bande $0 - 1kHz$.

3.5 Contrôle-Etat

Le contrôle d'ICL est assuré par un microcontrôleur chargé de l'application des signaux de commande, de la détection de défauts, de saturations, de la visualisation de l'état du système et de la gestion du clavier.

Contrôle Le contrôle se fait par l'intermédiaire du clavier en face avant qui permet de choisir quel signal est effectivement appliqué en sortie. Le signal est alors appliqué sous réserve que l'état d'ICL le permette. Le contrôleur détecte l'absence d'alimentations et l'absence de la connection du laser (sous réserve d'utiliser le connecteur multipoints).

Toutes les entrées analogiques de commande - à l'exception de l'entrée *OSC* - sont conditionnellement appliquées. Pour que le signal considéré soit appliqué il faut qu'il soit préalablement sélectionné au clavier, qu'aucun défaut ne soit détecté et enfin qu'ICL soit en mode *Connecté*.

Etat L'affichage permet de renseigner sur l'état courant d'ICL. On distingue l'état de configuration de l'état des défauts et saturations. Le premier affiche l'état de l'application des signaux. Le second indique quel type de défaut ou de saturation a été détecté. La détection d'un

défaut implique nécessairement la déconnection des signaux de sortie *TEC*, *PZT+* et *PZT-*.

Défauts Le contrôleur d'ICL détecte différents type de défauts. La présence d'un seul d'entre eux entraîne la déconnection des sorties *TEC*, *PZT+* et *PZT-*. Ainsi *ICL* considère comme un défaut l'absence d'une seule des alimentations, la présence d'un signal externe défaut, l'absence de connection du laser (sous réserve d'utiliser le connecteur multipoints *LAS-1*) et enfin la demande d'une intervention de maintenance. Ces défauts sont visualisés sur les sorties prévues à cet effet.

Saturations Le contrôleur d'ICL détecte si les signaux de commande *TEC*, *PZT+* et *PZT-* sont saturés indiquant ainsi que l'amplitude demandée est trop importante. *ICL* affiche et limite physiquement les tensions de sortie à la gamme admissible par les actionneurs.

3.6 Alimentations

Les alimentations d'ICL se répartissent entre les alimentations de contrôles $+/- 18V$ et $+/- 8V$ faible puissance et les alimentations $+/- 65V$ de l'étage amplificateur *PZT*. A partir des alimentations de contrôle *ICL* élabore des tensions internes requises $+/- 15V$ et $+/- 5V$. Toutes les entrées d'alimentations sont protégées contre les surtensions. L'absence d'une seule des alimentations est interprétée par le contrôleur comme un défaut nécessitant la déconnection immédiate des sorties.

4 Connections

4.1 Face avant

BNC Mesures Les sorties suivantes permettent de mesurer les tensions de commandes appliquées sur le *PZT* et le *TEC*. Elles sont prévues pour être utilisées par un voltmètre ou oscilloscope présentant des impédances de charge de $2k\Omega$ minimum.

Mesure commande température mesure la tension de commande *TEC*.

Mesure commande PZT-BT mesure la tension de commande appliquée sur l'électrode *PZT+*.

Mesure commande PZT-HT mesure la tension de commande appliquée sur l'électrode *PZT-*.

Mesure commande PZT mesure la tension différentielle de commande appliquée sur les électrodes *PZT+* et *PZT-*.

4.2 Face arrière

Important : certains signaux sont présents sur plusieurs connecteurs. Aucune disposition n'étant prise par le contrôleur interne pour gérer la présence de signaux différents sur une même entrée physique, l'utilisateur veillera donc à ce que le câblage n'entraîne aucun conflit .

4.2.1 Entrées BNC

Les entrées BNC connectent les signaux analogiques de commandes mais également des signaux logiques (compatible TTL) pour le contrôle d'*ICL*. Se reporter aux spécifications pour les caractéristiques.

OSC entrée bandes latérales.

RAMPE entrée dent de scie pour balayage.

PZT-HT-CAF entrée de commande pour la régulation haute tension.

TEST entrée de test en boucle fermée.

TEMP-CAF entrée de commande pour la régulation de température.

/DEFAUT entrée logique de mise en défaut externe, active à l'état bas.

VEILLE entrée logique de mise du laser en mode veille. Active à l'état haut. Disponible seulement avec l'emploi du connecteur multipoints.

4.2.2 Sorties BNC

Les sorties BNC connectent les signaux analogiques de commandes mais également des signaux logiques (compatible TTL) pour le contrôle du laser et pour une utilisation distante. Se reporter aux spécifications pour les caractéristiques.

BNC-TEMP sortie de commande *TEC*.

BNC-PZT-POS sortie de commande électrode *PZT+*.

BNC-PZT-NEG sortie de commande électrode *PZT-*.

4.2.3 Connecteur laser LAS-1

Le connecteur *LAS-1* permet de connecter *ICL* au laser considéré. Il correspond au connecteur *Laser control and diagnostics* et son brochage respecte celui donné par le constructeur. Il s'agit d'un connecteur de type DB-15 à contacts femelles. Son emploi élimine l'utilisation des sorties BNC *TEMP*, *PZT-POS* et *PZT-NEG* et permet également de détecter l'absence du laser par *ICL*.

Brochage connecteur *LAS-1* (coté laser)

1 +5V

- 2 entrée masse (GND)
- 3 sortie mesure température diode (DTMP)
- 4 sortie mesure température cristal (LTMP)
- 5 sortie mesure puissance diode (DMON)
- 6 entrée réduction de bruit (NE)
- 7 entrée mise en veille (LASE)
- 8 sortie mesure puissance laser (LMON)
- 9 entrée contrôle température (SLOW)
- 10 sortie mesure intensité diode (CUR)
- 11 entrée ajuste puissance laser (ADJ)
- 12 sortie mesure tension TEC diode (DTEC)
- 13 sortie mesure tension TEC laser (LTEC)
- 14 entrée PZT électrode positive (PZT+)
- 15 entrée PZT électrode positive (PZT-)

4.2.4 Connecteur laser LAS-2

Le connecteur *LAS-2* permet de reprendre point par point le connecteur *LAS-1* ceci afin de pour disposer de toutes les entrées et sorties du laser non exploitées par *ICL*. Par exemple pour disposer la mesure du courant de la diode de pompage...

Il s'agit d'un connecteur de type DB-15 à contacts mâles. Le brochage est identique à *LAS-1*. Il faut toutefois physiquement réaliser la mise en contact via des ponts présents sur le circuit imprimé principal. Par défaut aucun contact n'est réalisé. Pour le brochage, se reporter à *LAS-1*.

4.2.5 Connecteur contrôle à distance CAD

Le connecteur *CAD* permet de mesurer les signaux de contrôle du laser en phase d'asservissement et d'appliquer les signaux logiques pour des mesures de finesse. Ceci peut être fait en connectant par exemple une carte d'acquisition. Il s'agit d'un connecteur de type DB-25 à contacts mâles.

Brochage connecteur *CAD*

- 1 sortie mesure *PZT-BT*
- 2 masse
- 3 sortie mesure *PZT-HT*
- 4 masse
- 5 sortie mesure *PZT*

- 6 masse
- 7 entrée mise en veille (si utilisation *LAS-1*)
- 8 masse
- 9 réservé
- 10 masse
- 11 entrée réduction de bruit (si utilisation *LAS-1*)
- 12 sortie mesure *TEC*
- 13 masse
- 14 non connecté
- 15 "
- 16 "
- 17 "
- 18 "
- 19 "
- 20 "
- 21 "
- 22 "
- 23 "
- 24 "
- 25 non connecté

4.2.6 Connecteur superviseur contrôle automatique SCA

Le connecteur *SCA* permet d'accéder à toutes les entrées analogiques de commande à l'exception de l'entrée *OSC*. Il présente également une entrée logique de mise en veille du laser (sous réserve d'utiliser le connecteur multipoints *LAS-1*). Il s'agit d'un connecteur de type DB-25 à contacts femelles. Toutes les entrées analogiques listées ci-dessous étant différentielles, les suffixes *-POS* et *-NEG* indiquent respectivement les entrées positive et négative de la liaison différentielle concernée.

Brochage connecteur *SCA*

- 1 entrée de commande régulateur *PZT-BT-CAF-POS*
- 2 entrée de commande régulateur *PZT-BT-CAF-NEG*
- 3 entrée de commande régulateur *PZT-HT-CAF-POS*
- 4 entrée de commande régulateur *PZT-HT-CAF-NEG*
- 5 entrée de commande régulateur *TEC-CAF-POS*

- 6 entrée de commande régulateur *TEC-CAF-NEG*
- 7 entrée de test *PZT-BT-TEST-POS*
- 8 entrée de test *PZT-BT-TEST-NEG*
- 9 entrée de balayage *PZT-HT-RAMP-POS*
- 10 entrée de balayage *PZT-HT-RAMP-NEG*
- 11 masse
- 12 réservé
- 13 masse
- 14 entrée mise en veille (si utilisation *LAS-1*)
- 15 masse
- 16 masse
- 17 non connecté
- 18 "
- 19 "
- 20 "
- 21 "
- 22 "
- 23 "
- 24 "
- 25 non connecté

4.2.7 Entrées alimentation

- + / - 18V + / - 8V connecteur DIN 6 broches standard LCAR
- + / - 65V connecteur DIN 3 broches standard LCAR

5 Commande clavier et visualisation

5.1 Clavier

Section *Actionneur PZT*

touche bt-test activation-désactivation de l'entrée *TEST*

touche bt-caf activation-désactivation de l'entrée *CAF* basse tension

touche ht-rampe activation-désactivation de l'entrée *RAMPE*

touche ht-caf activation-désactivation de l'entrée *CAF* haute tension

Section *Actionneur Température*

touche local activation-désactivation du réglage local de la température *TEC*

touche caf activation-désactivation de l'entrée *CAF*

commutateur local gros réglage de la tension continue de commande *TEC*, pleine gamme

commutateur local fin réglage de la tension continue de commande *TEC*, gamme réduite

Section *Laser*

touche veille activation-désactivation de la mise en veille du laser. Les sorties sont déconnectées lors d'une demande de mise en veille.

touche connecte connection-déconnection des sorties *PZT+*, *PZT-* et *TEC* du laser.

5.2 Visualisation

Les descriptions suivantes correspondent à l'état allumé de l'indicateur.

led def ext défaut externe détecté

led def laser défaut laser détecté

led def alim défaut alimentation *ICL* détecté

led sat temp saturation étage commande *TEC* détecté

led sat pzt ht saturation étage commande *PZT-HT* détecté

led sat pzt bt saturation étage commande *PZT-BT* détecté

led temp caf entrée de commande *TEC-CAF* activée

led temp local réglage local *TEC* activé

led ht caf entrée de commande *PZT-HT-CAF* activée

led ht ramp entrée de balayage *PZT-HT-RAMP* activée

led bt caf entrée de commande *PZT-BT-CAF* activée

led bt test entrée de test *PZT-BT-TEST* activée

led en veille laser en veille

led connecté sorties *PZT+*, *PZT-*, *TEC* connectées au laser.

6 Spécifications détaillés

DIVERS

Paramètre	Symbole	Conditions	Min	Typ	Max	Unité
ALIMENTATIONS						
contrôle analogique	$P18V$		17.5	18		V
contrôle analogique	$N18V$			-18	-17.5	V
contrôle numérique	$P8V$		7.5	8		V
contrôle numérique	$N8V$			-8	-7.5	V
étage PZT	$P65V$			65		V
étage PZT	$N65V$			-65		V
Mesure PZT-HT						
sensibilité	$MPZTHT_s$			1/10		V/V
charge résistive	$MPZTHT_{rc}$		2			k Ω
Mesure PZT-BT						
sensibilité	$MPZTBT_s$			1		V/V
charge résistive	$MPZTBT_{rc}$		2			k Ω
Mesure TEC						
sensibilité	$MTEC_s$			1		V/V
charge résistive	$MTEC_{rc}$		2			k Ω
ENTREE MLV						
niveau logique	MLV_n			TTL		
retard commutation	MLV_r ^A				200	ns

^ACharge coaxiale 1m fermée sur oscillo 1M Ω et résistance de tirage 1k Ω .

COMMANDE ACTIONNEUR PZT BASSE TENSION, $C_{charge} = 15nF$

Paramètre	Symbole	Conditions	Min	Typ	Max	Unité
ENTREE OSC						
gain	OSC_g	$OSC = 0.1V_{pp}^D$		-0.4		dB
phase	OSC_p	$OSC = 0.1V_{pp}^D$		-29		$^\circ$
réjection en mode commun	OSC_{rmc}	$OSC = 1V_{pp}^B$	-30		-48	dB
fréquence de coupure	OSC_{fc}			400		Hz
tension de bruit	OSC_{vb}				5	mV_{rms}
résistance d'entrée	OSC_{re}			50		Ω
ENTREE CAF						
gain	CAF_g	$CAF = 0.1V_{pp}^B$	-0.2	0		dB
phase	CAF_p	$CAF = 0.1V_{pp}^B$	-7		0	$^\circ$
réjection en mode commun	CAF_{rmc}	$CAF = 1V_{pp}^B$	-49		-74	
tension de bruit	CAF_{vb}				5	mV_{rms}
résistance d'entrée	CAF_{re}			10		$k\Omega$
ENTREE TEST						
gain	$TEST_g$	$TEST = 0.1V_{pp}^B$	-0.06	0		dB
phase	$TEST_p$	$TEST = 0.1V_{pp}^B$	-7		0	$^\circ$
réjection en mode commun	$TEST_{rmc}$	$TEST = 1V_{pp}^B$	51		73	
tension de bruit	$TEST_{vb}$				5	mV_{rms}
résistance d'entrée	$TEST_{re}$			10		$k\Omega$
SORTIE PZT+						
amplitude	PZT_a^+		-11		+11	V
charge capacitive	PZT_{cc}^+			15		nF
temps de montée	PZT_{tm}^+	$PZT_{tm}^+ = 0.1V_{pp}^C$		170		ns
temps de descente	PZT_{td}^+	$PZT_{td}^+ = 0.1V_{pp}^C$		170		ns

^B Les mesures sont effectuées pour $f_{test} = 50, 500, 5k, 50k(Hz)$.

^C signal carré de fréquence $1kHz$.

^D signal sinusoïdal de fréquence $650kHz$.

COMMANDE ACTIONNEUR PZT HAUTE TENSION, $C_{charge} = 15nF$

Paramètre	Symbole	Conditions	Min	Typ	Max	Unité
ENTREE RAMPE						
gain	$RAMP_g$	$RAMP = 20V_{pp}$, ^C		5		V/V
bande passante	$RAMP_{bp}$			150		Hz
réjection en mode commun	$RAMP_{rmc}$	$RAMP = 1V_{pp}$, ^B	64		74	dB
résistance d'entrée	$RAMP_{re}$			10		kΩ
ENTREE CAF						
gain	CAF_g	$CAF = 20V_{pp}$, ^C		5		V/V
bande passante	CAF_{bp}			150		Hz
réjection en mode commun	CAF_{rmc}	$CAF = 1V_{pp}$ ^B	37		74	dB
résistance d'entrée	CAF_{re}			10		kΩ
SORTIE PZT-						
amplitude	PZT_a^-	note ^C	-56		+56	V
charge capacitive	PZT_{cc}^-	$PZT^- = 100V_{pp}$ ^C		15		nF

^BLes mesures sont effectuées aux fréquences $f_{test} = 50, 500, 5k, 50k(Hz)$.

^CLe signal de test un signal carré de fréquence 5Hz.

COMMANDE ACTIONNEUR TEC.

Paramètre	Symbole	Conditions	Min	Typ	Max	Unité
ENTREE TEC						
gain	TEC_g	$TEC = 20V_{pp}$, ^C		1/5		V/V
bande passante	TEC_{bp}		1			kHz
réjection en mode commun	TEC_{rmc}	$TEC = 1V_{pp}$, ^B	44		74	dB
résistance d'entrée	TEC_{re}			10		kΩ
ENTREE POL. GROSSE						
sensibilité	CAF_{gs}			1.6		V/pas
gamme de variation	CAF_{gg}		-9.9		+9.9	V
ENTREE POL. FINE						
sensibilité	CAF_{fs}			0.16		V/pas
gamme de variation	CAF_{fg}		-0.97		+0.97	V
SORTIE TEC						
amplitude	TEC_a	note ^C	-11		+11	V
charge résistive	TEC_{rc}	$TEC_a = 20V_{pp}$	2			kΩ

^BLes mesures sont effectuées aux fréquences $f_{test} = 50, 500, 5k, 50k(Hz)$.

^CLe signal de test un signal carré de fréquence 5Hz.