

LABORATOIRE DE PRODUCTION MICROTECHNIQUE**Thomas Maeder**EPFL-STI-IMT-LPM, Station 17
CH-1015 LAUSANNE, Switzerland

☎: + 41 21 693 58 23

Fax: + 41 21 693 38 91

thomas.maeder@epfl.ch

http://lpm.epfl.ch

ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE2008-08-14 séries MilliNewton Ba 07-200 & Ba' 08-
200.docx**MilliNewton B – version Ba**

Description des préséries / prototypes de production du capteur de force MilliNewton-Ba, avec bumps sur la poutre ; petite correction Ba' ; tests de sensibilité RF des amplificateurs.

Thomas Maeder, 14.8.2008

Projet : MilliNewton**Mots-clefs** : capteur de force, MilliNewton, série de production, bumps

1. SERIE 07-200 / VERSION BA	1
1.1. CARACTERISTIQUES	1
1.2. SATURATION DES AMPLIFICATEURS ET RENDEMENT	2
1.3. AUTRES OBSERVATIONS	3
2. SERIE 08-200 / ITERATION BA'	3
2.1. CARACTERISTIQUES	3
3. SENSIBILITE RF	5

1. Série 07-200 / version Ba**1.1. Caractéristiques**

- Cette série de production, est la première produite de la version B (poutres bumpées + nouveau circuit d'amplification).
- Cette révision majeure du capteur (MilliNewton-A → MilliNewton-B) a été principalement initiée pour deux raisons : 1) la nécessité d'une bonne immunité RF pour les instruments médicaux ; 2) l'amélioration du montage de la poutre, trop fastidieux et pas assez fiable, les plages de contact arrière, confondues avec les trous métallisés, devant souvent être reprises.
- Parallèlement, cette version a été l'occasion de passer à l'électronique de type SH200, nettement plus simple à ajuster et à "blinder", et permettant la correction du span dans les deux sens.
- Pour les contacts arrière, des "bumps" en surface, distincts des trous métallisés, ont été choisis.
- Cette version a également été l'occasion de passer à un système de gestion des variantes et des étapes de l'ajustement, implémenté sur le substrat par des diviseurs résistifs auxiliaires ajustés par laser. Ainsi, les risques d'erreur de manipulation (insertion d'un substrat à une mauvaise étape ou d'une mauvaise gamme de force) sont très fortement réduits.

- L'amplificateur Maxim 4400 sélectionné (MAX4400AUK, CMOS rail-to-rail) a été recommandé comme ayant intrinsèquement une bonne immunité RF. Pour ces tests, trois autres amplificateurs ont également été utilisés : LM321 (version mono du LM358, "MF"), LMV321 (rail-to-rail, "ILT"), et MCP6001 (rail-to-rail, "UT").
- La gamme de force produite ici est principalement 1 N, mais le reste des poutres a été "liquidé", étant donné que nous comptons passer à une autre version de substrat pour les poutre (autres emplacements pour les trous métallisés) dans le futur.
- Pour implémenter la reconnaissance des substrats, cette version n'utilise que 24 capteurs par embase, vu que les anciennes embases sont reprises. Les futures séries utiliseront de nouveau toutes les 28 positions, le temps de commander des embases avec des bords techniques asymétriques (7.62+5.08 mm au lieu de 6.35+6.35).
- La plupart des embases n'ont pas été ajustées en passif – on veut explorer la possibilité de laisser tomber cette étape, ce qui amène un gain de temps et de stabilité, au prix d'un ajustement actif peut-être un peu plus lent.

1.2. Saturation des amplificateurs et rendement

Les tensions de saturation du circuit et les rendements (nombre de mauvais capteurs) sont données au Tableau 1. Tous les autres substrats sont montés avec des MAX4400.

Pour les trois amplificateurs "rail-to-rail", les amplis eux-mêmes vont plus loin, mais la tension de sortie est limitée par le pont diviseur formé par la résistance de sortie et la résistance de gain, ce qui fait initialement $\approx 5\%$ (100 Ω vs. environ 2 k Ω) et correspond assez bien aux tensions mesurées.

On constate, indépendamment de l'amplificateur utilisé, un mauvais rendement de production : 42 / 192 mauvais = 22% ! Après inspection, l'écrasante majorité des problèmes peut être attribuée à une mauvaise brasure de la poutre, et surtout à l'absence de contact au niveau des "bumps" arrière.

Cependant, le problème ne se limite pas qu'au bumps arrière : la résistance mécanique de la plage de brasure principale est très médiocre. Apparemment, il y a deux problèmes :

- Les bumps arrière sont trop petits – la quantité de brasure est donc trop variable → une telle taille nécessite un masque gravé dans une tôle, et ne peut raisonnablement être réalisée avec une trame.
- Le processus d'étamage est mal maîtrisé : les plages étamées sont souvent "brûlées", alors que d'autres sur le même substrat sont bonnes : le processus doit donc être revu, ce qui constitue un des buts du projet de semestre de Sophie Mathis.

Amplificateur	substrat	Mauvais (sur 24)	Saturation inférieure [V]	Saturation supérieure* [V]
LM321	07-230	15	0.08	-1.35
LM321	07-231	0		
LMV321	07-257	1	0.02	-0.25
LMV321	07-258	9		
MCP6001	07-260	2		
MCP6001	07-261	3		
MAX4400	07-232	5		
MAX4400	07-233	7		

Tableau 1. Tensions de saturation de sortie pour les différents amplificateurs.

* Saturation supérieure = tension de saturation – tension d'alimentation (5.00 V).

1.3. *Autres observations*

- **TCO.** TCO à span 0.3...0.4 (span configuré) : de -100 à +300 (voir +400 dans certains cas) ppm/K, par rapport à la tension d'alimentation, ce qui donne -0.03...+0.1%/K par rapport à la pleine échelle – le TCO est donc décentré.
 - o Tolérance sans trim : ± 50 ppm/K ($\pm 0.015\%/K$)
 - o Tolérance pour refaire substrat : ± 400 ppm/K (± 0.13 ppm/K)
- **Span.** Le span configuré est élevé : 0.3...0.4 (nominal = 0.6) avec la 1ère résistance de configuration de gain activée :
 - o Donc 2e résistance de configuration de gain (doublerait le span) pas activée
 - o Gain initial (sans configuration) uniquement pour compensation TCO
- **Span.** L'activation de Rg (résistance d'augmentation de gain, analogique) donne environ un doublement du gain, voire un peu plus (facteurs 1.9...2.4 observés).
- **Processus.** Il faudrait "détruire" les mauvais capteurs pour plus facilement les reconnaître dans les prochaines étapes – il y a souvent une perte de temps...
- **Point neutre.** Il faudra réviser la valeur "standard" du point neutre, afin d'améliorer la précision de l'ajustement du span. Ceci peut cependant attendre la stabilisation de la version B.
- **Système de mise en charge.** Le "doigt" actuel est un peu trop large et haut – certaines coupes d'ajustement sont un peu "limite".

Améliorations proposées / conclusions

- Fiabiliser l'étamage des poutres.
- Agrandir les bumps.
- Amplificateur : MAX4400AUK OK (tests RF très bons)
- Autres améliorations : après stabilisation du processus

2. Série 08-200 / itération Ba'

2.1. *Caractéristiques*

- Pour cette série, le layout de la poutre a été passé sur HYDE, et légèrement remanié afin de maximiser dans la mesure du possible les plages de brasure arrière. Cette série constitue donc en quelque sorte une itération "Ibis" du circuit B original (version Ba'), par rapport à la version originale Ba - série 07-200 (rapports du 4.3.2008 et 14.8.2008).
- Dans ce cadre, on a remplacé la résistance discrète de sortie par un petit méandre de conducteur ayant la même fonction, mais évitant de devoir monter un composant supplémentaire.
- Cette révision a dû être légèrement remaniée en production, car une erreur à la mise en films a obstrué certains vias dans le diélectrique de l'embase ; une autre couche de conducteurs a été rajoutée pour faire les liaisons manquantes, ce qui est normalement sans conséquences. Cependant, la surépaisseur peut gêner mécaniquement les poutres si elles sont montées un peu bas.
- L'étamage des poutres a été réalisé à la plaque chauffante, dans le cadre du projet de semestre de Sophie Mathis, avec un couvercle en verre chauffé (pas encore assez chaud). Dans cette version, on utilise encore la brasure Sn62 (avec Pb).
- Dans cette série, on a choisi de ne pas faire d'ajustement passif de l'embase, vu que la fonctionnalité de l'électronique dépend surtout de l'appariement des deux résistances de

- base, en principe assez bon étant donné qu'elles sont d'assez grande taille. En revanche, le gain du circuit sera assez variable, ce qui peut légèrement rallonger l'ajustement du span.
- La gamme de force produite ici est 1 N, avec des poutres bifaces bumpées (version initiale) de 0.4 mm d'épaisseur. Il reste des embases, qui seront consommées avec le reste des poutres d'autres épaisseurs.
 - La stratégie d'ajustement de l'offset a été légèrement modifiée ; les coupes finales sont désormais systématiquement du côté éloigné de la résistance de compensation en température, pour diminuer le phénomène de "rebroussement" de l'offset.

Observations

- **Span – configuration.** La petite résistance de configuration de gain est activée (R_{a1}), au début de l'ajustement. La résistance d'ajustement analogique (R_g), quant à elle, n'est activée qu'au début de l'ajustement final. La découpe de R_{a1} entraîne une multiplication du gain par 2 ($R_{a0} \rightarrow R_{a0} + R_{a1}$; $R_{a0} = R_{a1}$), et celle de R_g également (facteurs de 1.9...2.4 observés).
- **Span – valeurs observées.** Le span après activation de R_{a1} et de R_g varie très fortement (valeurs observées : 0.35...0.60), ce qui est un problème pour l'ajustement, et provient probablement de la sérigraphie des encres 100 Ω et 10 k Ω .
- **Distance capteur – embase.** Dans certains cas, le span est beaucoup trop petit avant calibration, le capteur apparaissant autrement comme bon. Deux causes possibles ont été identifiées, et devraient être éliminées par un meilleur contrôle de la brasure.
 - o Présence de résidus sous la poutre, probablement facilitée par la surépaisseur induite par la correction (voir ci-dessus) du layout en cours de production
 - o Poutre montée trop basse
- **Bumps.** La fiabilité de montage au niveau des bumps est nettement meilleure que lors de la 1^{ère} itération (B_a), grâce à la plus grande quantité de brasure, ce qui est de bon augure pour la future version avec bumps plus grands, issue du projet de Sophie Mathis. Aussi, la résistance mécanique des bumps refondus à la plaque chauffante est nettement meilleure – le processus est visiblement mieux maîtrisé.
- **Problèmes de layout.** À part les vias manquants, deux autres problèmes ont été constatés :
 - o Les ponts résistifs fixant le type de capteur et l'étape en cours sont inutilisables, car les résistances sont décalées.
 - o Le repère optique est lui aussi décalé.
- **Système de mise en charge.** Le "doigt" actuel est un peu trop large et haut – certaines coupes d'ajustement sont un peu "limite".
- **Coefficient en température de l'offset (TCO).** En général, TCO est fortement décalé vers le haut dans cette version des poutres, ce qui est probablement dû aux efforts pour ajuster les valeurs entre le haut et le bas lors de la production. Cependant, comme cette poutre intègre un ajustement discret du pont de mesure sur la face inférieure, on doit ajuster les futures séries en conséquence, avec un coefficient approprié (de sorte que $R_{sup} = kR_{inf}$).

Améliorations proposées

- Finaliser la procédure d'étamage des poutres développée dans le projet de Sophie Mathis, ainsi que l'infrastructure correspondante (vitre chauffante, etc.).
- Faire une nouvelle itération (version $B_a' \rightarrow B_b$), en corrigeant les erreurs décrites ci-dessus, et en implémentant les gros bumps, sur la poutre et l'embase.

- Améliorer l'appariement des résistances des poutres, de sorte à obtenir des valeurs de TCO plus correctes à la production : documenté dans le tableur "calculs MilliNewton".
- Refaire un "doigt" de mise en charge, plus étroit et moins haut.
- Il faut légèrement améliorer les tolérances de sérigraphie (entre elles) des encres résistives 100 Ω et 10 k Ω , qui ont trop de dispersion.

3. Sensibilité RF

On compare la sensibilité de l'offset des capteurs, standards (A et Ba) et légèrement modifiés (pour la version Ba) à une perturbation RF de ~100 MHz. Cet effet est dû à la démodulation RF, transmise par les câbles / les traces aux pattes de l'amplificateur opérationnel¹, et peut varier passablement entre les différents amplificateurs.

Les résultats sont données au Tableau 2. Le LM321UF et le MCP6001UT sont très peu sensibles aux perturbations, alors que le MAX4400 est un peu plus sensible sans découplage et le LMV321FLT (ainsi que le MilliNewton-A) saturent.

Avec un découplage (utilisé dans le capteur), le MAX4400 et le LM321UF sont essentiellement parfaits, alors que le MCP6001UT bouge de 5 mV avec un plus petit condensateur de découplage de l'alimentation, et le LMV321FLT est encore un peu plus critique – besoin d'un gros condensateur de découplage et d'une résistance plus importante.

Le MAX4400 est retenu par rapport au LM321UF, car c'est un rail-to-rail (Tableau 1).

MilliNewton - sensibilité RF de différents amplificateurs

Version Ae ou B

B avec différentes variantes :

* Amplificateur utilisé

* Condensateur de découplage d'alimentation Cs

* Résistance de découplage d'alimentation Rs

Alimentation : 5.0 V ; perturbation à ~100 MHz --> offset mesuré en V

		Basique			Cs = 100 nF Rs d'origine			Cs = 100 nF Rs = 10 Ω			Cs = 10 nF Rs = 10 Ω		
		repos	RF	RF	repos	RF	Δ	repos	RF	RF	repos	RF	RF
		repos	RF	RF	repos	RF	Δ	repos	RF	RF	repos	RF	RF
MilliNewton-Ba	1	0.510	0.460	-0.050	0.463	0.462	-0.001	0.459	0.458	-0.001	0.460	0.460	0.000
MAX4400	2	0.529	0.494	-0.035	0.462	0.462	0.000	0.459	0.458	-0.001	0.459	0.459	0.000
07-233					0.450	0.450	0.000	0.448	0.448	0.000	0.448	0.448	0.000
"ADNP"					0.448	0.450	0.002	0.448	0.447	-0.001	0.456	0.456	0.000
Rs = 10 Ω													
MilliNewton-Ba	1	0.486	0.501	0.015	0.463	0.465	0.002	0.440	0.439	-0.001	0.441	0.446	0.005
MCP6001UT	2	0.625	0.642	0.017	0.463	0.465	0.002	0.439	0.440	0.001	0.441	0.446	0.005
07-260					0.640	0.643	0.003	0.651	0.652	0.001	0.642	0.648	0.006
"AFSV"					0.640	0.644	0.004	0.651	0.652	0.001	0.642	0.649	0.007
Rs = 0 Ω													
MilliNewton-Ba	1	0.479	0.495	0.016	0.476	0.477	0.001	0.465	0.466	0.001	0.468	0.469	0.001
LM321UF	2	0.473	0.485	0.012	0.477	0.478	0.001	0.466	0.466	0.000	0.469	0.470	0.001
07-230					0.462	0.463	0.001	0.496	0.497	0.001	0.493	0.494	0.001
"A63A"					0.463	0.464	0.001	0.496	0.496	0.000	0.493	0.494	0.001
Rs = 0 Ω													
MilliNewton-Ba	1	0.487	4,6 (SAT)	4,6 (SAT)	0.469	0.476	0.007	0.490	0.491	0.001	0.477	0.494	0.017
LMV321FLT	2	0.480	4,6 (SAT)	4,6 (SAT)	0.468	0.475	0.007	0.490	0.491	0.001	0.477	0.495	0.018
07-257					0.485	0.490	0.005	0.487	0.488	0.001	0.485	0.500	0.015
"K177"					0.484	0.490	0.006	0.488	0.488	0.000	0.486	0.502	0.016
Rs = 0 Ω	3	0.470	4,6 (SAT)	4,6 (SAT)	0.468	0.475	0.007	0.487	0.488	0.001	0.489	0.511	0.022
					0.469	0.476	0.007	0.488	0.488	0.000	0.491	0.518	0.027
MilliNewton-Ae	1	0.450	0,06 (SAT)	0,06 (SAT)									
LM 358	2	0.460	0,06 (SAT)	0,06 (SAT)									

Tableau 2. Sensibilité de l'offset (valeurs & décalages en V) pour les différents

¹. Adrian Rolufs, "Minimizing RF susceptibility in cell-phone headphone amplifiers", Application note 3880, Maxim Integrated, 2006-08-22, <http://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN3880.pdf>.