

BALLONS BPS et BSO

Mise à feu par décharge capacitive de la cisaille LXT C5025 avec initiateur DB 5201 B03

Mots Clés : Cisailles – Ballons – Initiateurs – Décharge capacitive

Résumé :

Ce document justifie que le remplacement des initiateurs 5201 A10 par le modèle 5201 B03 n'a pas dégradé la fiabilité de fonctionnement des cisailles LXT C5025 mise à feu par les systèmes de décharge capacitive développés pour les filières ballon BPS et BSO.

Le Rédacteur



19/04/2022
Denis DILHAN

Diffusion :

DOA/BL/PR
DOA/BL/NB
DOA/BL/OB
DTN/QE/BA

S. LOUVEL
F. MIRC - I. ZENONE
A. VERGNAUD
F. POREZ- NADAL

DTN/TVO
DTN/TVO/PR

F. PRESSECQ - S. COUTIET (Alten)
A. ROSSI

Sommaire

1 OBJET	4
2 DOCUMENTS DE REFERENCE	4
3 CONTEXTE	4
4 BASE DE DONNEES	5
4.1 TABLEAU DE SYNTHESE DES TIRS DE VALIDATION (DR3)	5
4.2 TABLEAUX DE SYNTHESE DES TIRS DE RECETTE (DR4 ET 5)	5
4.2.1 LOT 8	5
4.2.2 LOT 9	6
4.2.3 LOT 10	6
4.2.4 LOT 11	6
4.2.5 LOT 12	7
4.3 TABLEAUX DE SYNTHESE DU PV DE CONTROLE DES INFLAMMATEURS LOT 072 DBS 21 (DR6)	7
5 METHODOLOGIE D'ANALYSE	8
6 DEFINITION AVRIL 2022 DES CARACTERISTIQUES DE DECHARGE CAPACITIVE	9
6.1 CONFIGURATION BPS	10
6.2 CONFIGURATION FUTUR BSO	11
6.3 CONFIGURATION SEP-TT	12
7 ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE DE LA MISE A FEU PAR DECHARGE CAPACITIVE	12
7.1 ANALYSE DES RESULTATS DES TIRS DU NSI-1 PAR DECHARGE CAPACITIVE	15
7.1.1 EXTRAIT DU DOCUMENT (DR8)	15
7.1.2 EXTRAIT DU DOCUMENT (DR9)	15
7.1.3 EXTRAIT DU DOCUMENT (DR10)	18
7.2 COMPARATIF DES DECHARGES CAPACITIVES CNES « SEP TT » ET NASA « PIC & SFU »	19
8 CONCLUSION	20
<u>ANNEXE 1</u>	22
<u>ANNEXE 2</u>	24
<u>ANNEXE 3</u>	25

ED.	REV.	DATE	PAGES MODIFIEES	OBSERVATIONS
1	0	19/04/2022	édition initiale	

1 OBJET

Ce document est destiné à justifier les conditions de mise à feu par décharge capacitive de l'initiateur Davey Bickford DB 5201B03 qui équipe les cisailles C5025 utilisées pour les ballons du CNES

2 DOCUMENTS DE REFERENCE

- (DR1) Davey Bickford Fiche technique amorce inflammateur électrique FT3- 5201 B03 indice C
- (DR2) Cisaille BSO –MIR Rapport des essais de validation M200007 : DOC -00010133 A
- (DR3) Test report batch 9 cutter C5025 : DOC-00011161A
- (DR4) PV de recette Lacroix cisaille C5025 : lots 8 – 10 - 11 et 12
- (DR5) PV de contrôle inflammateur DB 5201 B03 lot 072DBS21 : N° 5201 PV 072-21 SO
- (DR6) DSO/TB/PR -2019.0016528 – STB Cisaille Pyrotechnique pour ballons stratosphériques
- (DR7) SKB26100066 Rev. E: Design and performance specification for NSI-1 (NASA Standard Initiator)
- (DR8) NASA CR-184673 Investigation of energy transfer in the ignition mechanism of a NASA Standard Initiator
- (DR9) NASA CR-2461 Capacitance discharge system for ignition of single bridge Apollo standard initiators (SBASI)
- (DR10) Pacific Scientific TR850074 Rev. A : Qualification Test Report Pressure Cartridge Assembly P/N 103377-500

3 CONTEXTE

La cisaille C5025 a été développée pour les fonctions de séparation requises au niveau de la nacelle et du ballon. Pour les ballons BSO, une commande de mise à feu en courant a été développée, elle délivre un pulse de courant conforme à l'exigence ($I > 4A/40ms$) spécifié dans (DR1).

La cisaille C5025 est aussi utilisée au sol lors des phases de lâcher du ballon ; elles sont intégrées dans les séparateurs SEP TT.

Le tir de ces cisailles est alors assuré par un boîtier de mise à feu développé par la Sté Steel qui utilise la décharge d'un condensateur de 6000µF chargé sous 30 Volts minimum. Dans le cadre de la filière ballon BPS avec nacelle EUROS, la chaîne de mise à feu par décharge capacitive est opérationnelle depuis 2019 et a mis à feu sans échec de fonctionnement des cisailles C5025 équipées de l'initiateur DB 5201 A10 chargé en composition pyrotechnique MIRA.

L'application de la réglementation REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) a conduit Davey Bickford à développer une composition pyrotechnique C224 en remplacement de la MIRA.

L'initiateur de référence 5201 B03 (DR1) chargé avec la C224 a fait l'objet d'une qualification Davey Bickford justifiant l'interchangeabilité des performances pyrotechniques et électriques.

La société Lacroix a donc intégré cet initiateur dans la cisaille C5205 et validé la non régression de ses performances au titre du marché CNES 200878-00.

Cette note technique a pour objet de démontrer que la fiabilité de fonctionnement de la cisaille (0,999 avec un taux de confiance de 95%) commandée par la décharge capacitive n'est pas dégradée par le changement d'initiateur.

4 BASE DE DONNEES

La base de données exploitée correspond aux tirs :

- Le rapport des essais de validation « REACH » de la cisaille C5025 (DR3)
- Les PV de recette des lots 8-9-10-11-12 de cisailles C5025 (DR4&5)
- Le PV de recette du lot d'inflammateurs 5201 B03 équipant ces lots de cisailles (DR6)

4.1 TABLEAU DE SYNTHESE DES TIRS DE VALIDATION (DR3)

Tableau récapitulatif des résultats :

N°Tir	N°Cisaille	Résistance avant descente en température (en Ω)	Résistance avant Tir (en Ω)	Température au moment du Tir (en °C)	Niveau du courant de MâF au fonctionnement de la cisaille (en A)	Durée totale du créneau de MâF (en ms)	Temps de passage du courant dans l'inflamateur (en ms)	Délai de découpe (en ms)	Observations
1	1	1,29	1,25	-109,3	3,63	4,36	3,94	4,82	OK
2	2	1,25	1,25	-107,5	3,63	4,06	3,24	3,93	OK
3	3	1,26	1,23	-107,9	3,64	4,82	3,88	5,54	OK
4	4	1,23	1,21	-107,5	3,65	4,66	4,18	4,40	OK
5	5	1,23	1,22	-110,4	3,64	4,98	4,48	5,16	OK
6	6	1,26	1,25	-109,0	3,64	4,44	3,60	4,20	OK
7	7	1,24	1,24	-105,4	3,64	4,56	3,28	4,70	OK
8	8	1,23	1,22	-105,5	3,65	4,26	3,28	4,10	OK
9	10	1,23	1,22	-105,2	3,67	4,84	3,78	5,30	OK
10	9	1,24	1,22	-104,0	3,66	4,62	3,36	5,02	OK
11	11	1,24	1,22	-109,3	3,67	4,22	3,42	4,30	OK

4.2 TABLEAUX DE SYNTHESE DES TIRS DE RECETTE (DR4 ET 5)

4.2.1 Lot 8

Tableau récapitulatif des résultats :

N°Tir	N°Cisaille	Résistance avant descente en température (en Ω)	Résistance avant Tir (en Ω)	Température au moment du Tir (en °C)	Durée totale du créneau de MâF (en ms)	Temps de passage du courant dans l'inflamateur (en ms)	Délai de découpe (en ms)	Observations
1	6	1,26	1,27	19,9	3,0	2,2	3,2	OK
2	15	1,24	1,25	56,8	NON ENREGISTREMENT			OK
3	26	1,26	1,27	56,6	3,8	2,4	3,6	OK
4	37	1,28	1,23	-106,8	3,4	2,7	3,2	OK
5	47	1,25	1,21	-108,8	3,4	2,7	3,5	OK

4.2.2 Lot 9

Tableau récapitulatif des résultats :

N°Tir	N°Cisaille	Résistance avant descente en température (en Ω)	Résistance avant Tir (en Ω)	Température au moment du Tir (en °C)	Durée totale du créneau de MâF (en ms)	Temps de passage du courant dans l'inflamateur (en ms)	Délai de découpe (en ms)	Observations
1	30	1,21	1,20	11,3	2,56	1,28	2,52	OK
2	10	1,25	1,25	56,8	2,20	1,24	2,20	OK
3	38	1,23	1,23	56,6	2,54	1,30	2,46	OK
4	23	1,22	1,17	-108,3	2,96	1,62	2,60	OK
5	50	1,27	1,23	-108,4	2,34	1,50	2,86	OK
6	55	1,29	1,29	55,0	2,00	1,28	2,62	OK
7	56	1,24	1,20	-58,7	2,26	1,56	2,20	OK

4.2.3 Lot 10

Tableau récapitulatif des résultats :

N°Cisaille	N°Tir	Résistance avant mise en température (en Ω)	Résistance avant Tir (en Ω)	Température au moment du Tir (en °C)	Durée totale du créneau de MâF (en ms)	Temps de passage du courant dans l'inflamateur (en ms)	Délai de découpe (en ms)	Observations
4	2	1,33	1,31	56,6	4,12	2,74	3,64	RAS
15	4	1,34	1,29	-109,1	4,20	3,18	4,04	RAS
27	1	1,34	1,33	20,2	4,22	2,90	3,72	RAS
39	3	1,35	1,35	55,0	3,92	2,88	3,58	RAS
53	5	1,34	1,34	-108,6	4,14	3,42	4,06	RAS

4.2.4 Lot 11

Tableau récapitulatif des résultats :

N°Cisaille	N°Tir	Résistance avant mise en température (en Ω)	Résistance avant Tir (en Ω)	Température au moment du Tir (en °C)	Durée totale du créneau de MâF (en ms)	Temps de passage du courant dans l'inflamateur (en ms)	Délai de découpe (en ms)	Observations
5	2	1,35	1,35	56,3	3,58	2,70	4,04	RAS
13	4	1,38	1,38	-109,3	4,28	3,42	4,18	RAS
27	1	1,33	1,33	20,9	3,74	2,84	3,60	RAS
41	5	1,39	1,37	-110,0	4,70	3,48	5,10	RAS
50	3	1,35	1,35	56,4	3,90	2,78	4,58	RAS

4.2.5 Lot 12

Tableau récapitulatif des résultats :

N°Cisaille	N°Tir	Résistance avant mise en température (en Ω)	Résistance avant Tir (en Ω)	Température au moment du Tir (en °C)	Durée totale du créneau de MAF (en ms)	Temps de passage du courant dans l'inflammateur (en ms)	Délai de découpe (en ms)	Observations
10	2	1,20	1,20	56,9	2,76	1,86	3,64	RAS
17	1	1,24	1,24	22,8	2,78	1,76	4,34	RAS
27	4	1,26	1,22	-106,8	2,68	1,90	4,02	RAS
37	3	1,27	1,28	56,1	3,08	1,62	3,88	RAS
47	5	1,31	1,28	-109,0	2,74	1,76	4,36	RAS

4.3 TABLEAUX DE SYNTHÈSE DU PV DE CONTRÔLE DES INFLAMMATEURS LOT 072 DBS 21 (DR6)

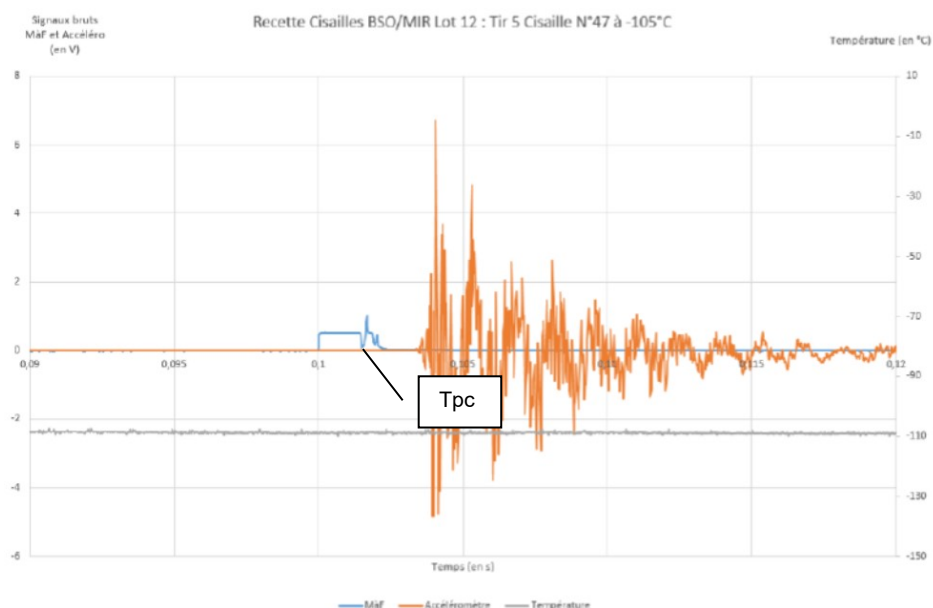
Nature du Contrôle Type of inspection	Exigences Requirements	Moyenne Mean	Ecart-type Stand. Deviat	Max. Max.	Min. Min.	Coef. Coef.	Prévis Samples	Conformité Conformity		
								Oui	Non	
Plan de surveillance										
Caractéristiques dynamiques : Tirs en bombe de 2 cm3 sous 4 A/10ms à -46°C + 82°C										
	n° de plan de bombe : 1158.00.00.00									
	T ₀ ≤ 5 ms	2.51	0.10	2.67	2.39		5	X		
	T _{25b} ≤ 10 ms	2.63	0.10	2.79	2.52					
	PM = 50 ⁻³⁵ ₋₂₅	48.56	2.61	51.64	44.52					
	T ₀ ≤ 5 ms	2.51	0.09	2.60	2.38		5	X		
	T _{25b} ≤ 10 ms	2.64	0.09	2.72	2.50					
	PM = 50 ⁻³⁵ ₋₂₅	48.34	1.66	50.37	46.25					
Caractéristiques dynamiques : Tirs en bombe de 2 cm3 sous 4 A/10ms à l'ambiante après test de sécurité à -46°C + 82°C										
	n° de plan de bombe : 1158.00.00.00									
	T ₀ ≤ 5 ms	2.93	0.19	3.30	2.66		32	X		
	T _{25b} ≤ 10 ms	3.07	0.19	3.46	2.79			X		
	PM = 50 ⁻³⁵ ₋₂₅	44.07	2.94	52.66	39.93			X		
	T ₀ ≤ 5 ms	2.51	0.08	2.65	2.33		16	X		
	T _{25b} ≤ 10 ms	2.65	0.08	2.79	2.46			X		
	PM = 50 ⁻³⁵ ₋₂₅	45.79	2.77	49.59	38.64			X		
	T ₀ ≤ 5 ms	2.50	0.07	2.62	2.35		16	X		
	T _{25b} ≤ 10 ms	2.65	0.07	2.75	2.49			X		
	PM = 50 ⁻³⁵ ₋₂₅	45.31	1.96	49.34	42.26			X		

5 METHODOLOGIE D'ANALYSE

Il s'agit pour chaque cisaille d'identifier les valeurs de :

- La température du tir
- L'intensité du courant de tir I
- La résistance de l'initiateur Ri (nota : la seule valeur disponible est celle à 20°C relevée en fin de fabrication de la cisaille)
- Le temps de passage courant Tpc qui correspond à la rupture de celui-ci lors de l'application du pulse de courant

- Cisaille N°47 – Tir N°5 à Froid -105°C [-5;0] :



L'énergie ($E = Ri \times I^2 \times Tpc$) déposée sur le filament résistif de l'initiateur pour enflammer la composition pyrotechnique d'allumage C224 est ensuite calculée.

La configuration pire cas d'initiation des initiateurs qui fonctionnent par effet Joule est la température froide.

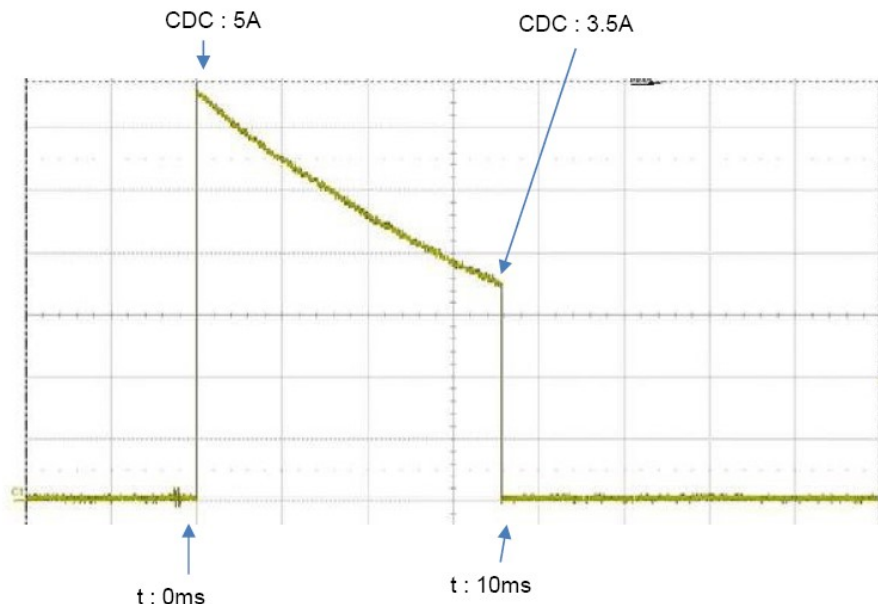
Tous les tirs à froid de recette ont été regroupés en Annexe 1 et la moyenne et l'écart type sur l'énergie d'initiation ont été calculés.

Un coefficient multiplicatif de 3.09 (loi normale centrée réduite) a été appliqué sur l'écart type pour définir l'énergie de tout feu pour une fiabilité de 0.999 avec un taux de confiance de 95%.

Données	Tirs de recette cisailles à froid (-110°C)	Tirs de recette initiateurs (-46°C)
Energie mini (mJ) pour fiabilité 0.999@95%	> 72	> 47

Cette énergie devra être comparée à la valeur minimale délivrée par la décharge capacitive spécifiée dans DR7. (extrait de DR7)

- (CDC) Commande par Décharge Capacitive (graphe ci-dessous) :
 - o A $t = 0\text{ms}$, $I \geq 5\text{A DC}$ avec une décharge capacitive qui conduit à : à $t = 10\text{ms}$, $I = 3,5\text{A DC}$
 - o A $t > 10\text{ms}$, $I = 0\text{A DC}$
- Nota : temps de fonctionnement $< 10\text{ms}$



6 DEFINITION AVRIL 2022 DES CARACTERISTIQUES DE DECHARGE CAPACITIVE

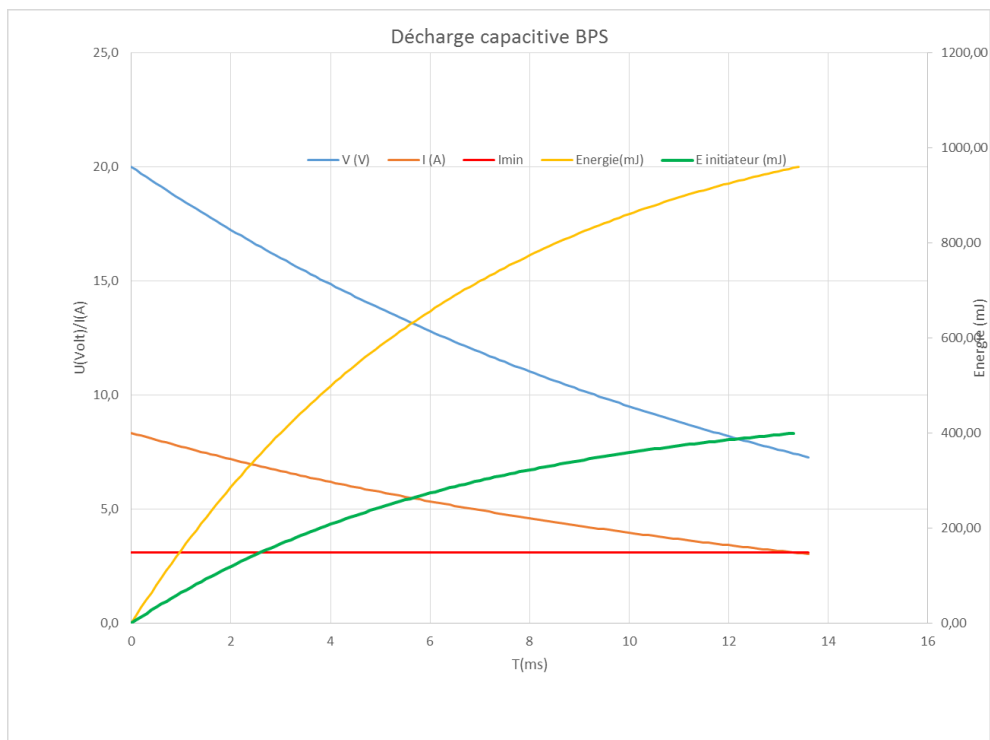
Suivant les types de ballons et de nacelles les caractéristiques des commandes par décharge capacitives s'établissent comme suit :

Configurations	SEP -TT	SEP BPS	SEP Futur BSO
C (F)	3,00E-03	5,60E-03	0,01
R (Ω)	1	2,4	4,5
Ucharge (V)	30	20	25

Pour chacune de ces configurations, les courbes suivantes sont tracées sur le même graphe :

- la courbe de décharge de la tension du condensateur et du courant dans le circuit. Une borne inférieure à 3.1A est définie , elle correspond à la valeur minimale de courant de tout feu spécifiée par Davey Bickford.
- l'énergie totale délivrée par la condensateur dans le circuit,
- l'énergie dissipée dans la résistance de l'initiateur.

6.1 CONFIGURATION BPS



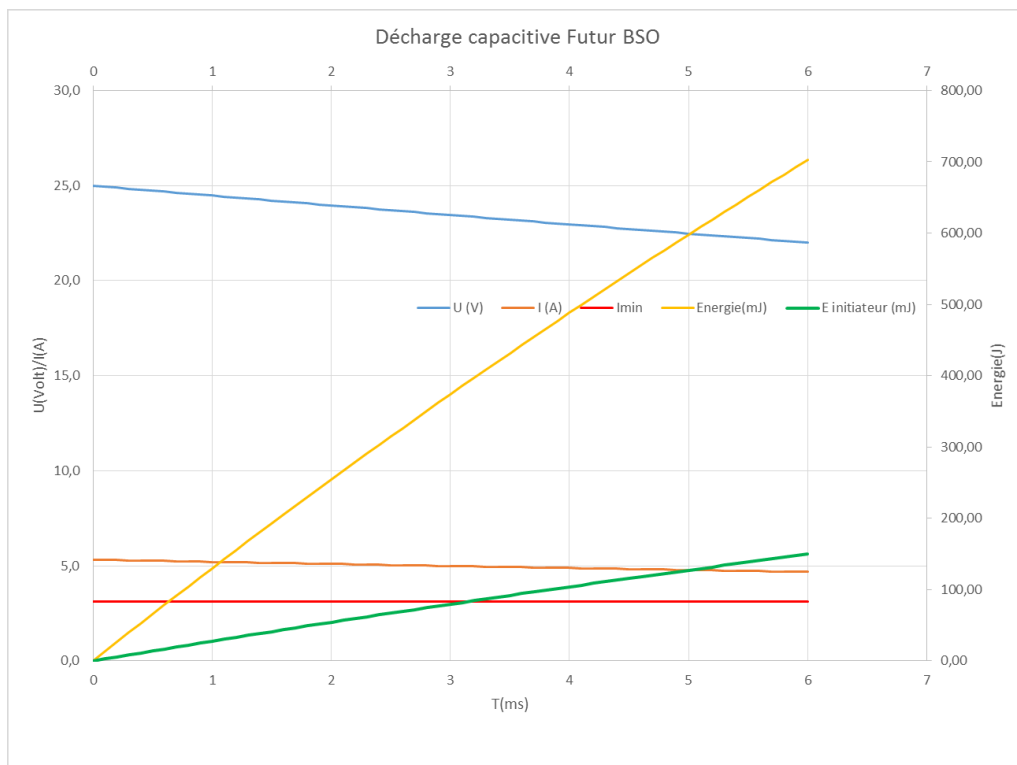
BPS						
C=	5,60E-03					
R=	2,4					
Ucharge=	20					
T (ms)	V (V)	I (A)	Imin	Energie(mJ)	E initiateur (mJ)	
0	20,0	8,33	3,1	0,00	0,00	
0,1	19,9	8,27	3,1	16,42	6,84	
0,2	19,7	8,21	3,1	32,60	13,58	
0,3	19,6	8,15	3,1	48,54	20,22	
0,4	19,4	8,09	3,1	64,24	26,77	
0,5	19,3	8,03	3,1	79,71	33,21	
0,6	19,1	7,97	3,1	94,96	39,56	
0,7	19,0	7,91	3,1	109,97	45,82	
0,8	18,8	7,85	3,1	124,77	51,99	
0,9	18,7	7,79	3,1	139,35	58,06	
1	18,6	7,74	3,1	153,71	64,05	
1,1	18,4	7,68	3,1	167,86	69,94	
1,2	18,3	7,62	3,1	181,80	75,75	
1,3	18,2	7,57	3,1	195,54	81,47	
1,4	18,0	7,51	3,1	209,07	87,11	
1,5	17,9	7,45	3,1	222,40	92,67	
1,6	17,8	7,40	3,1	235,54	98,14	
1,7	17,6	7,34	3,1	248,48	103,53	
1,8	17,5	7,29	3,1	261,23	108,84	
1,9	17,4	7,23	3,1	273,79	114,08	
2	17,2	7,18	3,1	286,17	119,24	
12,7	7,8	3,24	3,1	943,72	393,22	
12,8	7,7	3,22	3,1	946,20	394,25	
12,9	7,7	3,19	3,1	948,65	395,27	
13	7,6	3,17	3,1	951,06	396,27	
13,1	7,5	3,14	3,1	953,43	397,26	
13,2	7,5	3,12	3,1	955,77	398,24	
13,3	7,4	3,10	3,1	958,07	399,20	
13,4	7,4	3,07	3,1	960,34	400,14	

Pour la configuration BPS, on note que la courbe de courant décroît progressivement et son allure peut être assimilée à une commande à courant constant.

L'énergie (>72 mJ) de mise à feu de l'initiateur est atteinte en 1.2ms ; valeur cohérente avec le retour d'expérience.

La décharge capacitive dans l'initiateur jusqu'au courant de 3.1A intervient en 13 ms et délivre jusqu'à 400mJ ce qui permet de dégager une marge de 5,5.

6.2 CONFIGURATION FUTUR BSO



FUTUR BSO						
C=	1,00E-02					
R=	4,7					
Ucharge=	25					
T (ms)	U (V)	I (A)	Imin	Energie(mJ)	E initiateur (mJ)	
0	25,0	5,32	3,1	0,00	0,00	
0,1	24,9	5,31	3,1	13,24	2,82	
0,2	24,9	5,30	3,1	26,43	5,62	
0,3	24,8	5,29	3,1	39,56	8,42	
0,4	24,8	5,27	3,1	52,63	11,20	
0,5	24,7	5,26	3,1	65,65	13,97	
2,1	23,9	5,09	3,1	266,57	56,72	
2,2	23,9	5,08	3,1	278,68	59,29	
2,3	23,8	5,07	3,1	290,74	61,86	
2,4	23,8	5,05	3,1	302,75	64,41	
2,5	23,7	5,04	3,1	314,70	66,96	
2,6	23,7	5,03	3,1	326,61	69,49	
2,7	23,6	5,02	3,1	338,46	72,01	
2,8	23,6	5,01	3,1	350,27	74,52	
3	23,5	4,99	3,1	373,73	79,52	
13	19,0	4,03	3,1	1324,95377	281,91	
13,1	18,9	4,03	3,1	1332,56905	283,53	
13,2	18,9	4,02	3,1	1340,152	285,14	
13,3	18,8	4,01	3,1	1347,70275	286,75	
13,4	18,8	4,00	3,1	1355,22143	288,34	
13,5	18,8	3,99	3,1	1362,70819	289,94	
13,6	18,7	3,98	3,1	1370,16316	291,52	
13,7	18,7	3,97	3,1	1377,58647	293,10	
25	14,7	3,12	3,1	2042,11298	434,49	
25,1	14,7	3,12	3,1	2046,68301	435,46	
25,2	14,6	3,11	3,1	2051,23363	436,43	
25,3	14,6	3,11	3,1	2055,76493	437,40	
25,4	14,6	3,10	3,1	2060,27699	438,36	
25,5	14,5	3,09	3,1	2064,76988	439,31	
25,6	14,5	3,09	3,1	2069,2437	440,26	
25,7	14,5	3,08	3,1	2073,69852	441,21	

On note que la courbe de courant est de type plateau légèrement dégressif et donc comparable à une commande à courant constant.

Bien que la forte résistance en ligne 3.7Ω en série avec l'initiateur (1Ω) consomme quasiment 80% de l'énergie délivrée par le condensateur, le courant dans l'initiateur est toujours supérieur $4 A$

pendant 13 ms (conforme aux conditions de réception des initiateurs 5201B03) et à 3.1 A pendant 25 ms.

En 2.7 ms, l'énergie délivrée dans l'initiateur dépasse la valeur seuil de 72 mJ mini requis pour assurer la fiabilité spécifiée. A T= 13ms la marge dégagée est de 4 et de 6 à T= 25 ms.

La définition SEP futur BSO est satisfaisante pour garantir l'objectif de fiabilité de 0.999 avec une confiance de 95%.

6.3 CONFIGURATION SEP-TT



Pour SEP-TT la durée du pulse de courant est faible (<7 ms pour I_{min} 3.1A), il s'agit d'évaluer si cette durée est suffisante.

Tel qu'envisagé initialement, l'analyse ne peut pas s'appuyer uniquement sur le bilan énergétique de type effet Joule établi pour une mise à feu par courant constant (CC).

En effet, le temps de réponse du filament résistif de l'initiateur est notablement modifié par l'application de forts courants ($>20A$).

7 ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE DE LA MISE A FEU PAR DECHARGE CAPACITIVE

Aussi bien pour l'initiateur DB 5201B03 que pour l'initiateur Dassault Aviation 1 TAPWH40 qualifié CNES/ESA pour les applications satellites et lanceurs, il n'y a pas retour d'expérience pour le mode d'initiation par décharge capacitive.

La seule information qui figure dans le dossier fonctionnel A5 DF-1K7 2100 X 01-DASS du 1 TAPWH40 est la suivante :

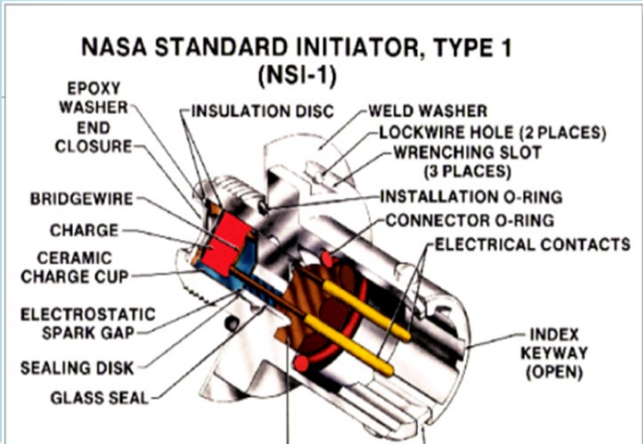
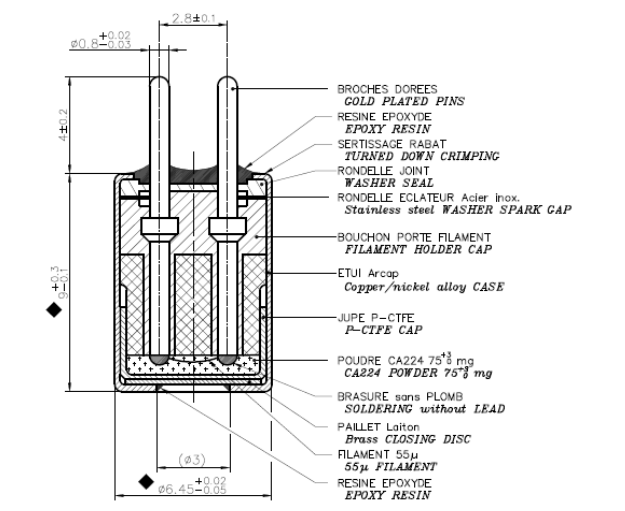
«NOTA : (1) L'initiateur peut être tiré jusqu'à 120 A (temps de fonctionnement $\approx 10 \mu s$) la courbe entre 25 A et 120 A n'est pas disponible.»

Les informations exploitables concernent le Nasa Standard Initiator et ses équivalents commerciaux de Chemring Energetic Devices (CED) ou de Pacific Scientific EMC (PACSCI) pour lesquels la STB Nasa (DR6) spécifie des exigences de mise à feu par décharge capacitive.

La similarité des initiateurs DB 5201 B03 et du NSI porte sur les points suivants:

- conception interne,
- compositions pyrotechniques à base de zirconium
- propriétés électriques analogues (voir comparatif ci-dessous)

permettent de considérer qu'une justification de la fiabilité par analyse et similarité est acceptable.

NSI et équivalents Référence (DR6)	DB 5201 B03 Référence (DR1)
	
<ul style="list-style-type: none"> • Résistance du pont-fusible: 1,05 +/- 0,10 ohm • Tenue sans dégradations au test 1A/1W/5mn NF à +100°C (0.001 probability to fire at 95% lower confidence) • Tenue aux décharges électrostatiques: 25 kV/500 pF : <ul style="list-style-type: none"> . entre masse et broches shuntées . entre broches ou broche et masse avec 5000 ohm en série 	
<u>Courant de mise à feu :</u> <ul style="list-style-type: none"> • Time to first pressure shall be greater than 1.0 millisecond at 3.5 (+0.1 - 0.0) amps • Courant recommandé: 5A/10 ms 	<u>Courant de mise à feu pour fiabilité 0.999 avec taux confiance 95%</u> <ul style="list-style-type: none"> • Minimum 3.1A-40ms à 20°C • Courant recommandé: 4A/40 ms
<u>Décharge capacitive :</u> <ul style="list-style-type: none"> • " 20 (+0.2 - zero) volts from a 1000 microfarad capacitor". <p>"The time to first pressure shall not exceed 1.0 millisecond from application of current."</p> <ul style="list-style-type: none"> • Using the energy output from a 680 microfarad capacitor charged to 40 volts (PIC mode). The pressure shall reach 525 psi within 10 milliseconds from application of current 	<p style="text-align: center;">NON APPLICABLE</p>
Courant de test : 50mA : 25x60s maxi.	Courant de test : <10mA
R. Isolement : > 2 Mohm/ 250 VDC entre masse et broches shuntées	R. Isolement : > 100 Mohm/ 50 VDC entre masse et broches shuntées

7.1 ANALYSE DES RESULTATS DES TIRS DU NSI-1 PAR DECHARGE CAPACITIVE

7.1.1 Extrait du document (DR8)

Ce document est particulièrement instructif car il aborde les aspects de dégradation de la fiabilité du NSI aux températures extrêmes de 21K (H2 liquide) et permet de trouver des références aux temps de réaction (rupture du filament) des initiateurs NSI pour différents modes de tir (courant constant ou décharge capacitive).

Traduction d'éléments pertinents:

« Pour les missions du Shuttle les initiateurs NSI-1 étaient tirés avec le Pyrotechnic Initiator Controller qui consiste en un condensateur de 680pF chargé sous 38V qui se décharge dans une résistance nominale de 1Ω (PIC mode). La résistance initiale des initiateurs est de 1Ω et augmente avec la température ; la résistance maximale avant la fusion du filament est d'environ 1,6Ω, Les initiateurs NSI-1 ont été requalifiés en utilisant le Standard Firing Unit qui consiste en un condensateur de 1000 pF chargé sous 20 V (SFU mode).

Le délai de rupture du filament mesuré pour les modes CC (Constant Current) et SFU (2ms à 21K) est d'un ordre de grandeur plus élevé que celui avec le mode PIC (0.2 à 0.4ms à 21K). ...

Les essais ont démontré que l'énergie maximale était transférée dans le filament en mode PIC (77mJ) et la plus faible en mode CC (56mJ).»

7.1.2 Extrait du document (DR9)

Le tableau ci-dessous permet pour le SBASI (initiateur précurseur du NSI) d'évaluer les temps de rupture du filament en fonction de la tension de charge des condensateurs.

Comme on peut le noter les Tpc (ou T BW BK dans le document NASA) sont inférieurs à 100μs.

TABLE III SBASI CAPACITOR IGNITION SCR SWITCH

TANTALUM CAPACITORS - M39003/01-2072

OBSERVER BEMENT/WARD

35VDC; CIRCUIT RESISTANCE - 0.116

UNIT SERIAL NO.	COLD BW RES	CAP SIZE MFD	CHARGE VOLTS	VOLTS PEAK LOAD	VOLTS BW BREAK OR GATE	VOLTS MEAN	TIME* BW BK OR MEAN PULSE TIME μsec	ENERGY MILLI- JOULES	ENERGY TOTAL AVAIL MJ	TIME* TO FIRST PRESSURE μSEC
SCR GATE										
667	1.05	49.8	49.2	45.1	13.0	22.6	108	52.6	60.2	168
500	1.05	49.8	45.0	40.76	8.0	24.38	144	45.0	50.4	205
457	1.07	233.8	49.2	45.0	37.3	41.15	80	97.4	283.0	149
552	1.07	233.8	40.15	36.2	30.8	33.5	89	71.7	188.4	163
645	1.02	233.8	30.07	27.7	20.0	23.89	130	55.8	105.7	210
534	1.05	233.8	20.0	18.5	4.6	11.55	570	55.7	46.8	611
513	0.985	233.8	17.5		NO FIRE				35.8	
513	0.988	233.8	18.75		NO FIRE				41.1	
661	1.05	509.8	49.2	45.8	43.4	44.6	79	115.1	617	163
647	1.03	509.8	40.1	37.3	30.6	33.96	84	72.3	409.8	163
495	1.06	509.8	30.06	27.7	25.0	26.35	113	56.9	230.3	191
423	1.064	509.8	20.06	17.9	13.6	15.75	252	45.2	102.6	327
429	1.043	509.8	15.05	13.6	5.6	9.6	761	51.7	57.7	813
						45.3	74			
549	1.063	954.6	49.08	45.6	45.0		98.5	109.8	1,149.8	144
492	1.037	954.6	41.2	36.6	36.0		121	96.2	810.0	168
635	1.034	954.6	30.06	27.4	26.6	17.56	238	65.5	431.0	201
540	1.060	954.6	20.01	18.5	16.6			53.2	191.0	318
486	1.059	954.6	10.0		NO FIRE					
486	1.059	954.6	15.06	13.6	10.4	12.0	504	52.7	108.2	542

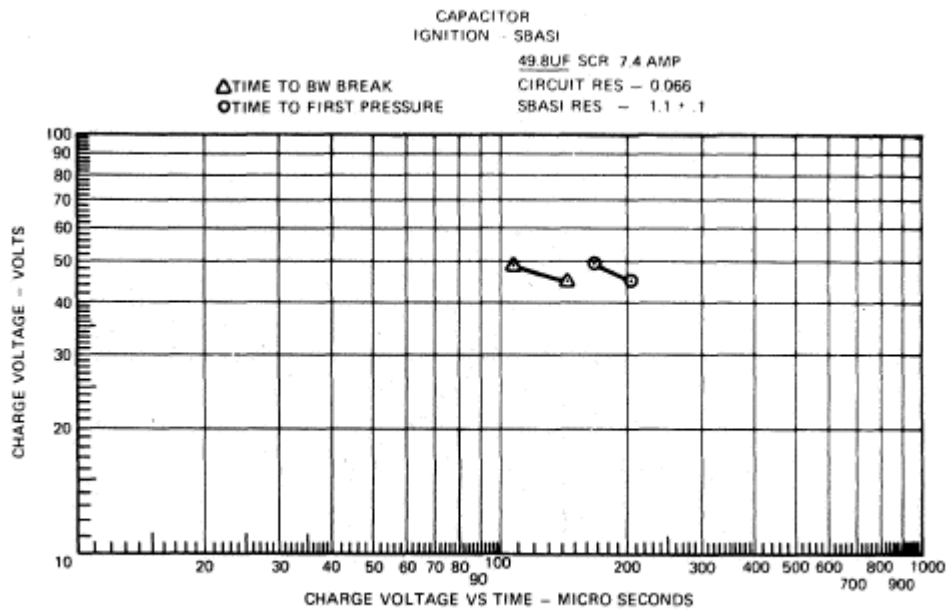


FIGURE 7 CHARGE VOLTAGE VS FUNCTION TIME - 49.8 MFD

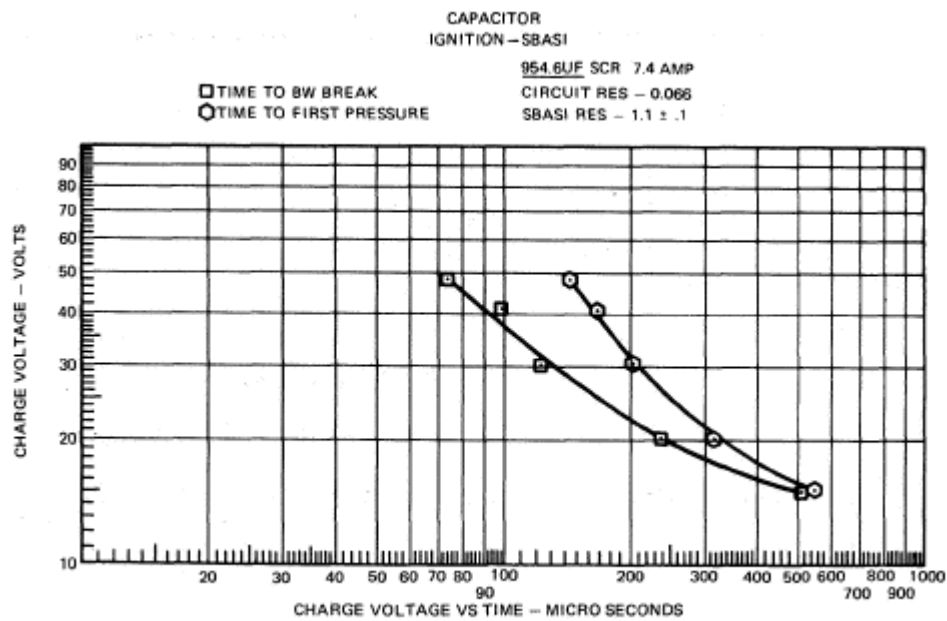


FIGURE 8 CHARGE VOLTAGE VS FUNCTION TIME - 954.6 MFD

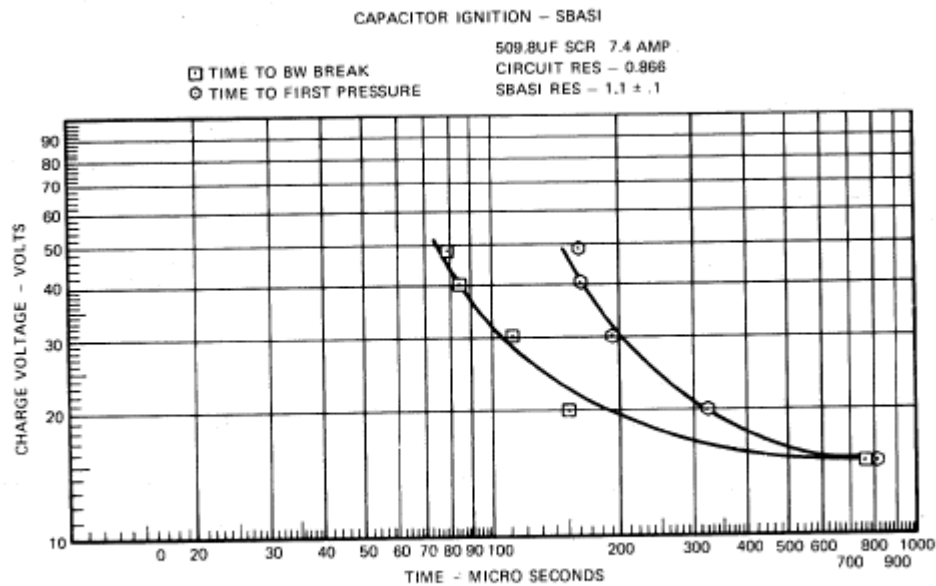


FIGURE 9 CHARGE VOLTAGE VS FUNCTION TIME - 509.8 MFD

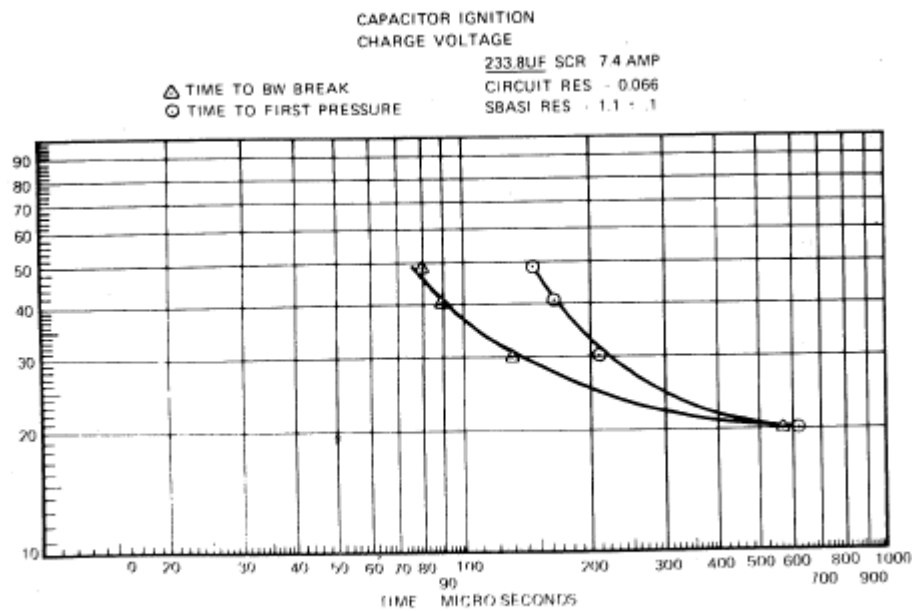


FIGURE 10 CHARGE VOLTAGE VS FUNCTION TIME - 233.8 MFD

7.1.3 Extrait du document (DR10)

Les temps figurant dans ce tableau du rapport de qualification de l'équivalent du NSI-1 développé par PASCI doivent être corrigées car il s'agit du «Time to 1st pressure » au lieu du « Bridge Wire Break » (BW BK).

Table 8 Qualification Pressure & Function Time Result Summary

	3.5 Amps Ambient			20V, 1000µF Ambient			40V, 680µF -260°F
	Pressure (PSI)	T0 to P1 (ms)	T0 to P525 (ms)	Pressure (PSI)	T0 to P1 (ms)	T0 to P525 (ms)	T0 to P525 (ms)
Average	665.8	3.36	3.43	663.4	0.467	0.537	0.299
Std Dev	10.309	0.100	0.100	17.486	0.035	0.036	0.0325
Min	649	3.11	3.18	621	0.414	0.486	0.266
Max	689	3.55	3.62	699	0.584	0.656	0.364

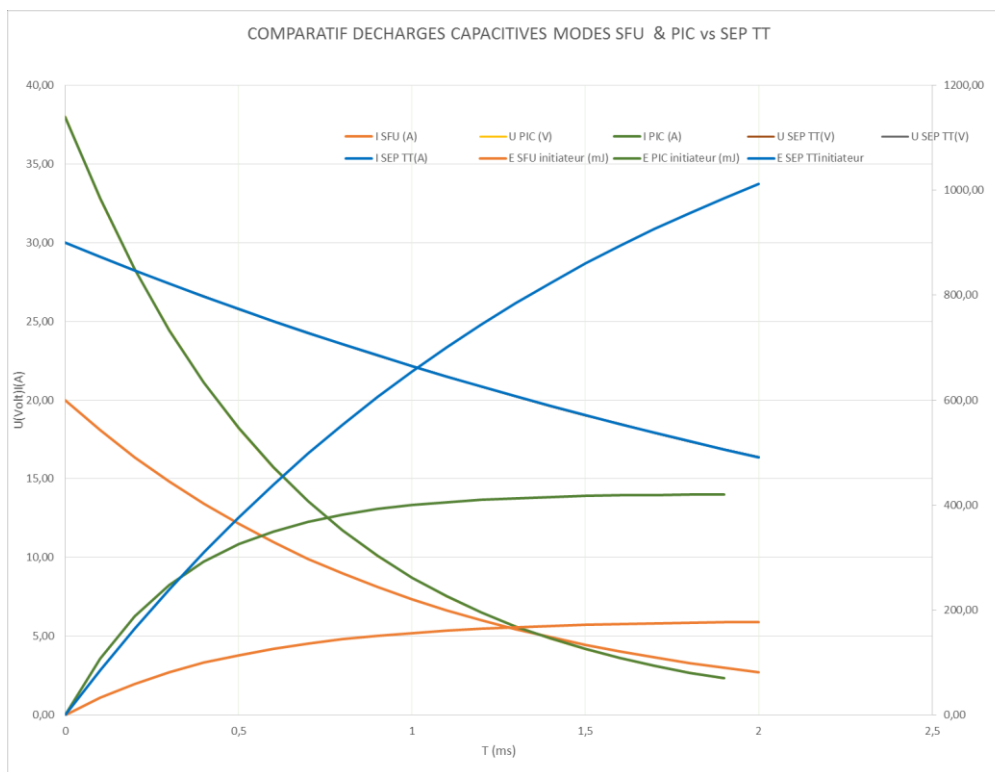
Pour un objectif de fiabilité de fonctionnement de 0.999 avec un taux de confiance de 95%, on applique le coefficient multiplicateur de 3.09 sur l'écart type.

Dans le rapport PASCI, le T BW BK n'est pas donné et il n'est pas possible d'extrapoler avec les résultats cités au §6.1.2 car les essais ont été réalisés à 21K.

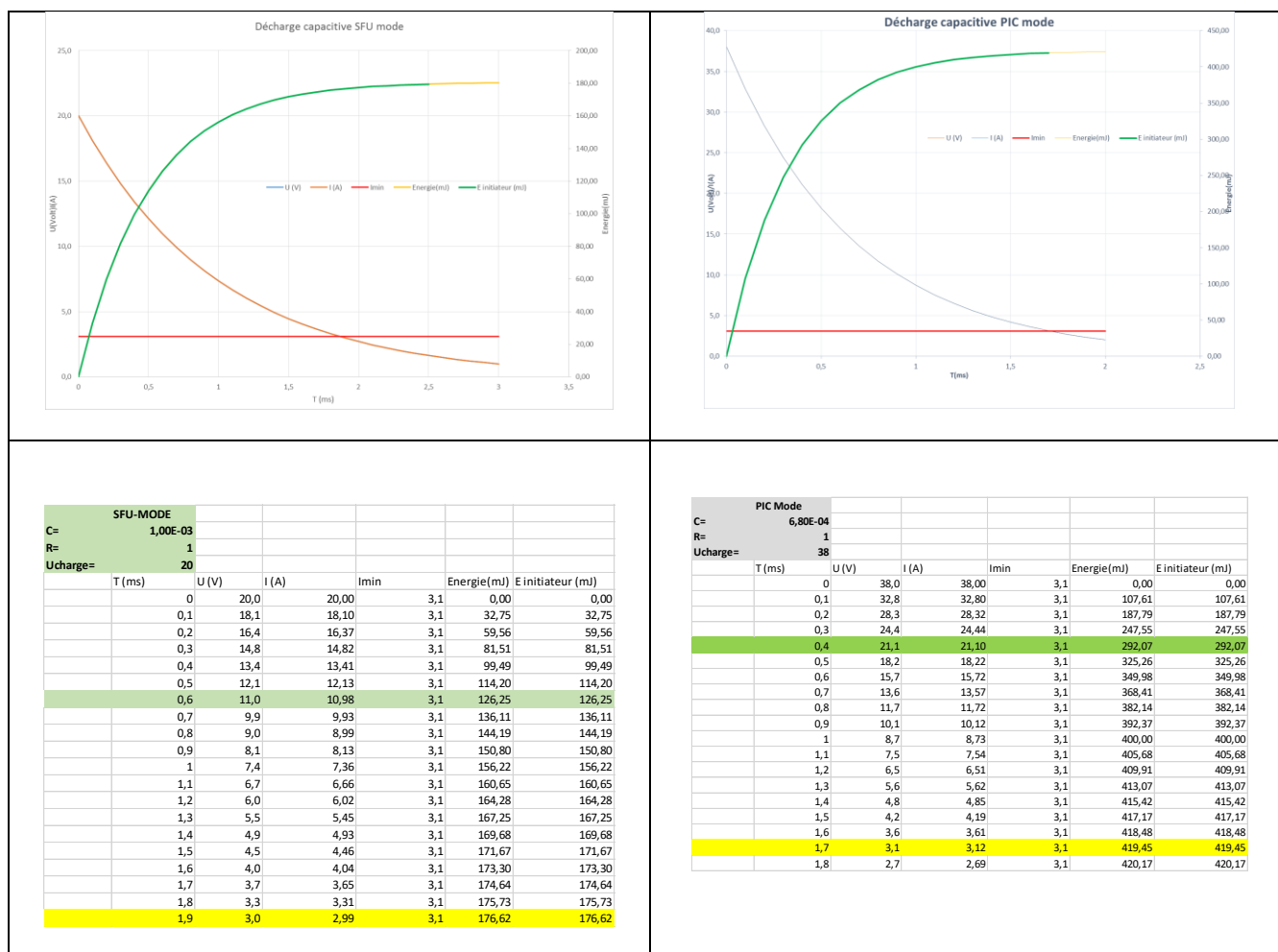
Le T BW BK sera assimilé par défaut au Time to 1st pressure et donc significativement margé.

	SFU mode 20V/1000µF at ambient	PIC mode 40V, 680µF at -260°F
Time to 1st pressure maxi (ms)	0.58	0.4
<i>T BW BK (ms)</i>	<i>0.58</i>	<i>0.4</i>

7.2 COMPARATIF DES DECHARGES CAPACITIVES CNES « SEP TT » ET NASA « PIC & SFU »



Le graphe ci-dessous regroupe les propriétés des décharges capacitives des deux modes NASA.



Le tableau suivant précise l'énergie E BW BK délivrée à l'instant T BW BK correspondant à la rupture du filament de l'initiateur.

	SFU mode 20V/1000µF at ambient	PIC mode 40V, 680µF at -260°F
T BW BK (ms)	0.58	0.4
E BW BK (mJ)	126	292

La décharge capacitive SEP TT délivre une énergie E de 1870mJ pour atteindre en 7 ms la valeur $I_{min} = 3.1A$.

La référence pire cas retenue est l'énergie E BW BK du mode PIC à -206F (-160°C) soit 292mJ.

On peut considérer que, pour une fiabilité de 0.999 avec une confiance de 95%, la décharge SEP TT permet de dégager une marge théorique de 6.

8 CONCLUSION

Cette analyse avait pour objectif de justifier que la mise à feu par décharge capacitive des initiateurs Davey Bickford 5201 B03 de la cisaille LXT C5025 garantit une fiabilité de fonctionnement de 0.999 avec une confiance de 95% dans le domaine opérationnel Sol et Vol.

Davey Bickford spécifie uniquement des exigences de mise à feu en courant constant (CC) (valeurs types 4A à 5A/10ms) qui par effet Joule induit dans le filament résistif de l'initiateur provoque l'inflammation de la composition d'allumage.

Pour la configuration BPS, la faible dégressivité de la courbe de courant est assimilable à une commande à courant constant ce qui a permis de déterminer que la marge positive est importante sur l'énergie de mise à feu.

Pour la configuration Futur BSO, le créneau de courant a une allure de plateau compris entre 5A et 4 A pendant 13 ms environ ce qui correspond aux conditions de tirs de recette des initiateurs par Davey Bickford. Les calculs montrent que la marge sur l'énergie de mise à courant constant est fortement positive.

Pour la configuration SEP TT, le point ouvert mis en évidence par l'étude bibliographie, est la différence de comportement d'un initiateur (temps de réponse – énergie requise) lorsqu'il est soumis à une forte décharge de courant >20A avec un comportement de type fil explosé.

L'initiateur spatial Nasa Standard Initiator et ses variantes commerciales sont spécifiés pour des mises à feu en CC et par décharge capacitive ce qui a permis de mener une étude par analyse et similarité.

La « macro-similarité » du NSI et du DB 5201 B03 au niveau des interfaces filament résistif/ composition pyrotechnique / céramique et de leurs propriétés électro pyrotechniques est prise en compte pour étudier la réponse des initiateurs DB 5201 B03 soumis à une décharge capacitive.

Cette démarche a permis de montrer que la configuration SEP TT dégage aussi des marges positives en assimilant la réponse de l'initiateur DB à celle du NSI.

Il est nécessaire de rappeler les limites de la justification par analyse et similarité en raison de la méconnaissance des échanges thermiques au sein de chaque type d'initiateur.

De plus, la NASA (se reporter aux Annexes 2 et 3) a mis en évidence que la résistance de l'initiateur NSI peut passer de 1Ω à 1.9Ω lorsque la commande est sous dimensionnée.

En conclusion,

Pour l'architecture de commande des initiateurs type 5201 B03 les préconisations suivantes sont proposées :

- afin de s'affranchir des limitations de l'analyse /similarité initiateur DB5201 B03 vs NSI, appliquer une marge de 3 sur l'énergie délivrée par la décharge capacitive dans l'initiateur. Les configurations étudiées BSP- Futur BSO et SEP -TT sont satisfaisantes car elles permettent de dégager des marges de l'ordre de 5.
- soit introduire une limitation de courant permettant de garantir un plateau de courant entre 10A et 4A afin de se rapprocher du mode de commande CC et pour lequel on dispose du retour d'expérience Davey Bickford.
- soit concevoir un système de décharge capacitive de type PIC ou SFU générant de forts courants initiaux ($I > 20A$).

Dans ce dernier cas, il serait intéressant de procéder au Laboratoire de pyrotechnie du CNES à une caractérisation expérimentale de la réponse des initiateurs soumis à de telles décharges capacitatives.

Début 2022, j'ai permis au laboratoire de pyrotechnie du CNES de récupérer chez Thales LAS environ 490 initiateurs DB 5201 A10. Cette version de l'initiateur était montée jusqu'en 2020 sur la cisaille C5025 et a été remplacée au titre du marché CNES 200878-00 par la version 5201 B03. Ce lot d'initiateurs pourrait être utilisé pour mener cette caractérisation.

ANNEXE 1**Exploitation en énergie des tirs de cisailles et initiateurs 5201 B03****Résultats de recette LXT toutes températures confondues**

Température	SN	I(A)	TPC(ms)	Rcisaille (Ω) à 20°C	E(mJ)	Observations
-109,3	1	3,63	3,94	1,02	26,48	LXT DOC 10-00010133
-107,5	2	3,63	3,24	1,02	21,77	LXT DOC 10-00010133
-107,9	3	3,64	3,88	1,02	26,22	LXT DOC 10-00010133
-107,5	4	3,65	4,18	0,99	27,57	LXT DOC 10-00010133
-110,4	5	3,64	4,48	1,01	29,98	LXT DOC 10-00010133
-109	6	3,64	3,6	1	23,85	LXT DOC 10-00010133
-105,4	7	3,64	3,28	1,02	22,16	LXT DOC 10-00010133
-105,5	8	3,65	3,28	1,01	22,07	LXT DOC 10-00010133
-104	9	3,67	3,78	1	25,46	LXT DOC 10-00010133
-105,2	10	3,66	3,36	1,01	22,73	LXT DOC 10-00010133
-109,2	11	3,67	3,42	1,01	23,26	LXT DOC 10-00010133
20	6	3,5	2,2	0,99	13,34	lot8
56,8	15	3,5	NE	0,96	NE	lot8
56,3	26	3,5	2,4	0,98	14,41	lot8
-108,6	37	3,5	2,7	1	16,54	lot8
-106,8	47	3,5	2,7	0,97	16,04	lot8
56,8	10	5,1	1,26	0,99	16,22	lot9 DOC-00011161
-108,3	23	5,13	1,24	0,96	15,66	lot9
11,3	30	5,14	1,3	0,96	16,49	lot9
56,6	38	5,17	1,62	0,97	21,00	lot9
-108,4	50	5,28	1,5	1	20,91	lot9
55	55	5,32	1,28	1,03	18,66	lot9
-58,7	56	5,25	1,56	0,98	21,07	lot9
56,6	4	3,5	1,28	0,97	7,60	lot10
-109,1	15	3,5	1,56	1	9,56	lot10
20,2	27	3,5	2,74	0,99	16,61	lot10
55	39	3,5	3,18	0,99	19,28	lot10
-108,6	53	3,5	2,9	0,98	17,41	lot10
56,3	5	3,5	2,7	1,01	16,70	lot11
-109,3	13	3,5	3,42	1,06	22,20	lot11
20,9	27	3,5	2,84	0,99	17,22	lot11
-110	41	3,5	3,48	1	21,32	lot11
56,4	50	3,5	2,78	1,04	17,71	lot11
56,9	10	3,5	1,86	0,94	10,71	lot12
22,8	17	3,5	1,76	0,99	10,67	lot12
-106,8	27	3,5	1,9	0,99	11,52	lot12
56,1	37	3,5	1,62	1	9,92	lot12
-109	47	3,5	1,76	1,05	11,32	lot12
Moyenne			2,13	1,00	15,87	
Ecart type			0,96	0,03	5,55	
Coeff.	3,09		2,97	0,08	17,14	
Pour fiabilité 0,999 à 95% confiance						
		Temps créneau mini (ms)	5,10	Energie mini créneau (mJ)	33,01	

Résultats des tirs de recette LXT à froid

Température Ttir (°C)	SN	I(A)	TPC(ms)	Rinit (Ω)	E(mJ)	Observations
-109,3	1	3,63	3,94	1,02	26,48	LXT DOC 10-00010133
-107,5	2	3,63	3,24	1,02	21,77	LXT DOC 10-00010133
-107,9	3	3,64	3,88	1,02	26,22	LXT DOC 10-00010133
-107,5	4	3,65	4,18	0,99	27,57	LXT DOC 10-00010133
-110,4	5	3,64	4,48	1,01	29,98	LXT DOC 10-00010133
-109	6	3,64	3,6	1	23,85	LXT DOC 10-00010133
-105,4	7	3,64	3,28	1,02	22,16	LXT DOC 10-00010133
-105,5	8	3,65	3,28	1,01	22,07	LXT DOC 10-00010133
-104	9	3,67	3,78	1	25,46	LXT DOC 10-00010133
-105,2	10	3,66	3,36	1,01	22,73	LXT DOC 10-00010133
-109,2	11	3,67	3,42	1,01	23,26	LXT DOC 10-00010133
-108,6	37	3,5	2,7	1,00	16,54	lot8
-106,8	47	3,5	2,7	0,97	16,04	lot8
-108,3	23	5,13	1,62	0,96	20,46	lot9
-108,4	50	5,28	1,5	1,00	20,91	lot9
-109,1	15	3,5	3,18	1,00	19,48	lot10
-108,6	53	3,5	3,42	0,98	20,53	lot10
-109,3	13	3,5	3,42	1,06	22,20	lot11
-110	41	3,5	3,48	1,00	21,32	lot11
-106,8	27	3,5	1,9	0,99	11,52	lot12
-109	47	3,5	1,76	1,05	11,32	lot12
Moyenne			3,15	1,01	21,52	
Ecart type			0,79	0,02	4,73	
Coeff. 3,09			2,45	1,08	14,61	
Pour fiabilité 0,999 à 95% confiance						
		Temps créneau mini (ms)	5,60	Energie mini créneau (mJ)	36,12	

Résultats Davey Bickford des tirs de recette à froid 5201 B03 lot 72 DBS 2021

PV de contrôle Davey Bickford inflammateur 5201 B03 lot 72 DBS2021						
Courant de mise à feu : 4A/10ms						
Hypothèse pire cas : Rinitiateur = 1,05Ω						
						Pour fiabilité 0,999 confiance 95%
Tir -46°C						
		Moyenne Tpc (ms)	Ecart type Tpc (ms)	3,09 x Ecart type Tpc	Tpc max	Energie mini (mJ)
Sans épreuve (5 initiateurs)		2,51	0,1	0,31	2,82	23,68
Après essais de sécurité (16 initiateurs)		2,51	0,08	0,25	2,76	23,16

ANNEXE 2

National Aeronautics and
Space Administration

Lyndon B. Johnson Space Center
2101 NASA Road 1
Houston, Texas 77058-3696



Reply to ADN of: EP5-98-02

MAR 11 1998

TO: Distribution

FROM: EP/Chief, Energy Systems Division

SUBJECT: NASA Standard Initiator (NSI) Part Number SEB26100001 Firing Mode Advisory

This letter is to document recommended firing modes of the NSI for the benefit of industrial, military, and Government users of the NSI. This advisory was prompted by a recent failure to initiate an NSI in a Space Shuttle flight experiment, Simplified Aid for Extravehicular Activity Rescue, during STS-86. Details of the failure are shown in the enclosure. The NSI is purchased from two vendors by NASA using procurement specification SKB26100066 Rev. D, and certified by NASA as meeting those requirements after completion of acceptance testing and data review. The NSI is then distributed to users within and external to NASA. Firing mode selection for the NSI is within the design prerogative of the user although information regarding firing modes is contained in the SKB26100066 specification.

Specification SKB26100066 identifies two types of firing modes for the NSI: constant current and capacitive discharge. Per specification, the NSI is tested at 3.5 and 22 amperes constant current. Current is supplied to the NSI during lot acceptance testing using a constant current source, a device which maintains the current at a set level regardless of bridgewire heating-induced resistance increases. Capacitive sources include both 1000 and 680 microfarad capacitor devices charged 20 to 40 (+0.2 - 0) volts respectively, discharging through the NSI and firing circuit. The 680 microfarad capacitor circuit is representative of the Space Shuttle NSI firing source, pyrotechnic initiator controller, part number MC450-0018, whereas the 1000 microfarad circuit represents an older firing unit, part number C72-0833, supplied for ground testing of NSI's and NSI-initiated devices. No other firing modes are identified in the specification.

For constant current firing modes, NASA recommends that the users provide a minimum of 5 amperes to the NSI from either a constant current source or a voltage source with current-limiting resistors in series with the voltage source. A firing current of 5 amperes provides initiation current margin and ensures reliable initiation of the NSI. The user is cautioned to ensure that the resultant increase in NSI bridgewire resistance during firing (by approximately 1 ohm) is taken into account. Failure to account for the NSI bridgewire resistance change caused by ohmic heating can result in current-flow drop below the all-fire level of the NSI when using a marginal firing source.

For capacitive discharge firing modes, NASA recommends the two capacitive discharge sources listed in the SKB26100066 specification with a maximum total circuit resistance of less than 1.7 ohms prior to firing, including the NSI bridgewire ambient resistance.

If you have any questions, please contact the JSC Energy Systems Division Pyrotechnics Group at 281-483-9067.


Warren L. Brasher

Enclosure

Distribution:
See List**STS-86 FLIGHT EXPERIMENT ANOMALY SUMMARY**

The Simplified Aid for EVA Rescue (SAFER) II is emergency self-rescue hardware that is attached to the EVA crew member's backpack. In the event of separation from tethers, the crew member can use the nitrogen gas-powered thrusters on SAFER II to stabilize and then fly back to the Orbiter or Space Station. The SAFER II is designed to have approximately 13 minutes of propulsive capability.

The SAFER II was designed for one year on-orbit stowage without servicing. The cold gas nitrogen propulsion tank is hermetically sealed. When needed, an NSI actuated pyrovalve opens up the nitrogen tank to the thrusters.

The SAFER II flight unit was activated during an STS-86 development test objective with the EVA crewman secured in the payload bay in foot restraints. Postflight SAFER II checkout identified that the NSI had not fired. Subsequent trouble shooting revealed that the 5 volt voltage-regulated firing circuit provided only 2.8 amps to the bridgewire. The minimum required all-fire current of the NSI is 3.5 amps. While the voltage regulator was providing 5 volts to the NSI, the current heated the bridgewire causing the resistance to increase from 1.09 ohms to approximately 1.6 ohms. This caused the current to drop down below the 3.5 amp minimum firing current.

ANNEXE 3

DIRECTION DES TECHNIQUES SPATIALES
 SOUS-DIRECTION TECHNIQUES AEROSPATIALES
 DIVISION MECANIQUE, THERMIQUE, ENERGETIQUE
 DEPARTEMENT PROPULSION, PYROTECHNIE & PROPRETE

Edit. : 1
 Rév. : 0
 Nbre pages : 4

Réf. NT 99-141/DTS/AE/MTE/3P

Date : 21/06/99

NASA STANDARD INITIATOR**COURANT DE MISE A FEU****MOTS CLES : STENTOR – NSI – MISE A FEU****RESUME :**

Ce document regroupe les échanges techniques entre la NASA et le Département Propulsion ,
 Pyrotechnie & Propreté du CNES sur les caractéristiques du courant de mise à feu des NSI –1.

Le Rédacteur

Le Chef du département
 PROPULSION, PYROTECHNIE & PROPRETE

D.DILHAN

A. CADIOU

Diffusion interne :

DTS/AE/D	D. ASSEMAT
DTS/AE/MTE/D	A. ROLFO
DTS/AE/MT/3P	A. CADIOU - D. DILHAN – Y. LE DEUFF
DSO/RC/TR/SF	B. CASTETS
DTS/AQ/QP/RC	P. LE TORRIVELLEC
DTS/AE/SEA/ACE	C. PREDINE

Diffusion externe :

1. OBJET

Cette note est destinée à apporter les éléments techniques qui permettront au CNES et aux industriels de se prononcer sur le concept du montage en série des initiateurs sur certaines des lignes de tir du système électropyrotechnique de STENTOR.

2. DOCUMENTS DE REFERENCE

- [DR1] Pyrotechnic EED in series - ref MMS : EUR3.NT.05959.MMT Issue : 0 Rev. 0
- [DR2] Design and Performance Specification for NSI-1 – Rev .D date 3-27-92 - N°21356 SKB26100066 D
- [DR3] Fax MMS date 10/05/99 - Objet : Courrier NASA / JSC - EP5 98-02 March 11-98 : NSI Part Number SEB26100001 Firing Mode Advisory
- [DR4] Fax DTS/AE/MT/3P-99-139 date 20/05/99 attention NASA / JSC – Objet : NSI Firing Mode Advisory
- [DR5] Email NASA/JSC date 20/05/99 JSC – Objet : NSI bridgewire resistance at burnout
- [DR6] CR STENTOR - Réunion CNES / MMS : Pyro en Série - date 07/06/99
- [DR7] Email DTS/AE/MT/3P à NASA/JSC date 15/06/99 – Objet : Courant mise à feu NSI
- [DR8] Email NASA/JSC date 15/06/99 – Objet : Réponse Courant mise à feu NSI

3. BILAN DES ECHANGES AVEC LA NASA

A la suite du problème évoqué dans le document [DR3], la NASA a été contactée et les informations suivantes communiquées par un représentant de "Propulsion and Power Division" du Johnson Space Center :

"The numbers of 5 amps and 10 milliseconds are recommended minimums for the initiator but remember that this is constant current, which means that the firing supply must make up for any increase in resistance that the stainless wire undergoes as it heats up, similar to a light bulb. The resistance of the NSI has been measured at 1.83 to 1.85 ohms at bridgewire opening from many firing traces.

INITIATOR BRIDGEWIRE

The interface between the electrical side of the initiator and the pyrotechnic side is the bridgewire. During manufacture and after the ceramic propellant charge holder cup is installed into the body, the two electrical pin ends extending through the charge holder are ground flush and a thin stainless steel bridgewire is spot-welded to each pin. The weld is located between the centerline of the pin and the inside edge of the pin to minimize variance in bridgewire resistance readings. The diameter of the wire is 0.002 inches and the length is approximately 0.118 inches long. With a wire resistance of 109.5 ohms per foot, the resistance of the bridgewire is approximately 1 ohm at ambient temperature. The NSI bridgewire completes the current carrying path of the firing circuit and is made to glow white hot in the presence of the firing current. It is electrically equivalent to a 1 ohm resistor with a very low wattage rating, less than 1 watt. If any amperage above a few milliamps is allowed to flow through the wire, the wire will begin heating from I^2R losses, causing

the resistance to rise and the current to start to fall. The bridgewire resistance has been measured at approximately 1.9 ohms prior to failure and as low as 0.8 ohm at -420F. A close electrical analog to an initiator is a fast-blow fuse. It is also a small wire with a pre-determined failure current. A standard 1 amp-rated fast-blow fuse will nearly electrically duplicate an NSI when 3.5 amps are passed through it. When current below a given rate (approx. 3.5 amps) is sent through the bridgewire the wire will heat and glow and not disintegrate. It will glow much like a light bulb. This incandescence accelerates energy transfer between the wire and the propellant mix by promoting high heat transfer and will persist until some part of the mix reaches auto-ignition temperature and then the added heat will cause the wire to melt apart. However, when a large discharge of current (20 amps) is sent through the wire, the wire will react from the electrical shock by snapping apart and producing an arc at the failing junction. The arc will cause the metal to vaporize and thus produce enormous temperature rise at the interface of the wire to mix. This heat transfer mechanism is much faster than the glow wire mechanism and is preferred when cryogenic temperatures are involved."

L'analyse du document [DR3] et des commentaires NASA / JSC ont conduit MMS à faire évoluer la définition du dispositif de mise à feu en série décrit dans le document [DR1] dans le but de garantir aux bornes des initiateurs le courant le plus élevé possible [DR6].

En effet, pour obtenir une fiabilité de bon fonctionnement >0,999 pour un taux de confiance de 95% le courant minimum de mise feu des initiateurs type NSI-1 recommandé par la NASA et les fabricants (UPCO/SOS et HISHEAR) est de 5A/10ms. Cependant une partie du prélèvement de recette de lots doit fonctionner sans défaillance avec un courant de 3,5 A.

Cette situation conduit à plusieurs interprétations des spécifications des courants de mise à feu, aussi une nouvelle démarche [DR7] a été menée auprès de la NASA / JSC pour clarifier ce point. La réponse a fait l'objet de l'échange [DR8].

"NASA Standard Initiator : Minimum Required Firing Levels

<i>Constant voltage</i>	<i>Constant current</i>	<i>Capacitive Discharge</i>
<i>AF = 6.5 volts all temps</i>	<i>AF = 3.5 amps all temps</i>	<i>AF = 13.9volt/1000uf @ 70F</i>
		<i>AF = 15volt/607uf @ 70F</i>
		<i>AF = 16volt/680uf @ -260F</i>
		<i>AF = 16.6volt/1000uf @ -452F</i>
		<i>AF = 28volt/88.9uf @ 70F</i>
		<i>AF = 28volt/105.8uf @ -260F</i>
		<i>AF = 40volt/101.6uf @ 70F</i>

"When these are met then the reliability will be achieved. 4 amps constant current (no less than 4 amps allowed) for 10 milliseconds is sufficient. The problem we frequently encounter is people don't use a constant current power supply."

4. CONCLUSION

Les calculs MMS [DR6] en considérant le pire cas avec une résistance d'initiateur de 1,85Ω [DR1] et en utilisant des diodes Zener 7,5V aboutissent à une valeur de courant disponible aux bornes des initiateurs de 3,72 A. Bien que ces hypothèses soient conservatrices, il est préférable de s'orienter vers le choix de diodes Zener de 9,1 Volts qui permettront de dégager des marges par rapport au courant minimum (4A/10ms) recommandé par la NASA / JSC.

Enfin, la fourniture du plan d'expérience envisagé par MMS est demandée au projet STENTOR pour justifier l'approche théorique de ce concept de chaîne électropyrotechnique.