Assurer les missions satellitaires avec des multiplexeurs durcis contre les radiations

Par Kiran Bernard et Joshua Broline, Intersil Corporation

Les multiplexeurs analogiques sont un élément de base pour la plupart des applications de traitement du signal, particulièrement pour les systèmes de satellites. Les microprocesseurs ont un nombre limité de canaux d'E/S (entrée/sortie) et utilisent donc les commutations des multiples entrées d'un multiplexeur pour gérer les tensions d'alimentation et les signaux de télémesure issus de différents types de capteurs. Un tel concept pourrait paraître simple, et pourtant beaucoup de précautions sont prises en compte au sein des multiplexeurs pour les rendre fiables dans les applications spatiales. Tout circuit intégré (IC) à bord d'un satellite sera exposé à une dose maximale d'ionisation (Total Ionizing Dose, TID) et à des Single-Event Effects (SEE). Ces deux phénomènes peuvent avoir des effets néfastes sur les semi-conducteurs s'ils ne sont pas traités correctement.

Cet article analyse les effets des rayonnements sur les multiplexeurs analogiques en les décomposant selon trois sections différentes – les étages de décalage de niveau pour les entrées numériques, puis, pour chaque canal d'E/S, les décodeurs et les commutateurs. Nous examinons aussi comment les SEE peuvent influer sur le comportement d'un multiplexeur analogique, et présentons les options pour traiter les divers effets des rayonnements rencontrés lors des missions de satellites.

Les effets des radiations

Un étage de décalage de niveau convertit les valeurs des tensions logiques externes appliquées aux broches d'adressage et d'activation en des tensions conformes au niveau logique interne pour piloter le décodeur. Celui-ci contrôle à son tour le commutateur devant être activé (voir la figure 1). Si l'une de ces sections est affectée par les radiations, la performance du multiplexeur sera dégradée. Les SEE et les TID affectent les multiplexeurs de façons très différentes. Nous allons analyser d'abord le cas des SEE. L’appellation Single-Event Effects est un terme générique pour décrire les différentes façons dont les particules de haute énergie peuvent interagir avec un circuit intégré.

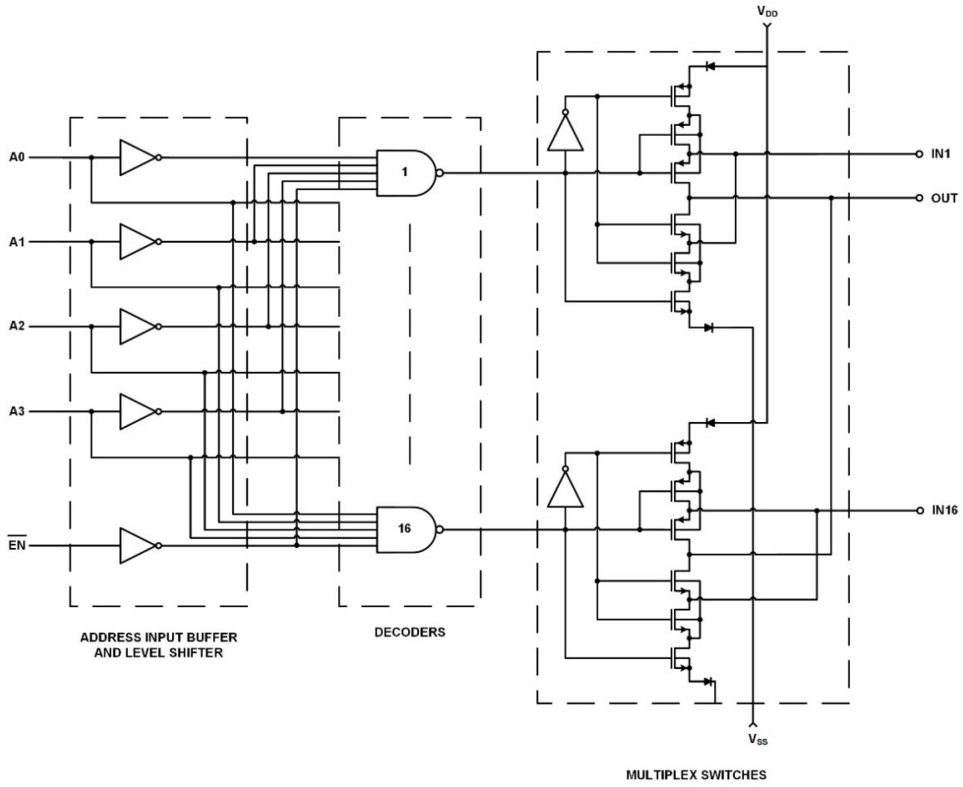


Figure 1 : Bloc diagramme du multiplexeur ISL71840SEH à 16 canaux.
(traduction de la figure 1 : address input buffer and level shifter, buffer d'adresse d'entrée et décalage en tension ; decoders, décodeurs ; multiplex switches, commutateurs de multiplexage)

Les SEE peuvent se diviser en phénomènes destructifs et non destructifs. Les effets destructifs comprennent le latchup, le burnout et la rupture de l'oxyde de grille des transistors MOS, qui peuvent tous conduire à des dommages permanents, rendant des composants non-opérationnels et éventuellement conduire les missions à l'échec. Les Single-Event Latchup (SEL) sont habituellement éliminés en un cycle d'horloge, mais ils peuvent conduire à des dommages immédiats ou latents. Les Single-Event Burnout sont une forme de SEL qui provoque des dommages permanents sur les composants. Les effets non destructifs sont des inversions de bits et des transitoires sur les sorties des fonctions analogiques.

Pour les composants logiques, un changement d'état logique dû à une particule de haute énergie est appelé Single-Event Upset (SEU). Un problème temporaire que le multiplexeur est capable de gérer avec le temps est appelé Single-Event Transient (SET). Il existe de nombreux autres styles de Single-Event Effects, mais du point de vue de l'application, le phénomène décrit ci-dessus représente la principale

préoccupation pour les multiplexeurs analogiques. La figure 2 montre le résultat d'un test de SET de Linear Energy Transfer (LET) sur un multiplexeur ISL71840SEH à 16 canaux.

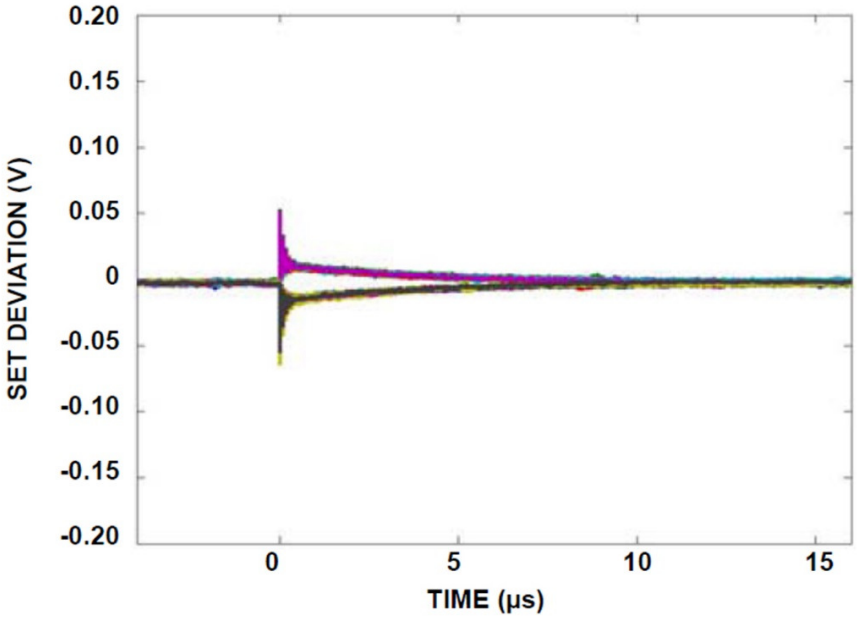


Figure 2: Résultat d'un test de SET pour un LET = 43MeV•cm2/mg test avec des tensions d'alimentation de ±10,8V

Le comportement des multiplexeurs exposés aux rayonnements

Nous allons voir maintenant comment chacun de ces effets peut affecter le comportement d'un multiplexeur analogique. Si une particule de haute énergie entre en collision avec l'étage de décalage de niveau du multiplexeur, elle peut générer un courant de « Shoot-Through », ce qui peut conduire à un Single Event Burnout (SEB) ou à un Single Event Latch-up (SEL). Ces dégâts se produiront s'ils n'ont pas été correctement anticipés et atténués pendant la phase de conception du circuit intégré. Une collision dans l'étage de décodage peut provoquer un changement momentané sur le canal de commutation en cours d'utilisation. Par exemple, même si le canal 5 est adressé, le canal 6 peut être lui aussi sélectionné pendant un bref moment avant de revenir à un fonctionnement correct.

Si une particule frappe un des commutateurs inactifs, un chemin de conduction est créé entre deux des entrées pendant la durée du transitoire. Tous ces scénarios sont potentiellement dangereux, et on peut considérer que le dernier scénario est le pire. Les deux premiers scénarios ne concernent que le multiplexeur, tandis que le dernier pourrait endommager les capteurs reliés aux entrées.

La dose totale d'ionisation a un effet cumulatif et implique un temps d'exposition plus

long (par rapport à celui d'un SEE) pour pouvoir affecter un circuit intégré. Fondamentalement, les TID affectent les dispositifs CMOS en générant des charges piégées dans les couches d'oxyde du composant. Quand une particule ionisante ou un photon traverse un dispositif, il génère des paires électron-trou le long de son chemin. Comme les électrons ont une mobilité très élevée dans l'oxyde, ils sont rapidement éjectés de l'oxyde par les champs électriques appliqués. La mobilité des trous est beaucoup plus faible, donc une forte proportion de trous se retrouvent piégée instaurant une charge nette positive dans la couche d'oxyde. Cette charge piégée peut modifier les seuils des transistors CMOS. Par exemple, les tensions de seuil des NMOS diminuent et celles des PMOS augmentent. Ces décalages dans les valeurs de seuil peuvent être dévastateurs sur un multiplexeur analogique.

En général, l'amplitude des changements de tension de seuil est directement liée à l'épaisseur de l'oxyde de grille, et les dispositifs avec des oxydes de grille plus épais sont plus sensibles en cas d'exposition au rayonnement. C'est là que réside le principal défi pour le durcissement d'un multiplexeur analogique contre les radiations. Un oxyde de grille plus épais est nécessaire sur les multiplexeurs à tension plus élevée, mais épaissir l'oxyde le rend intrinsèquement moins tolérant aux doses totales d'ionisation. Un multiplexeur analogique repose sur la commande numérique pour sélectionner le commutateur adéquat, donc avec de longues durées d'exposition à des TID, les tensions de seuil peuvent changer et faire que le décodeur s'arrête de fonctionner, ce qui se traduit au final en un composant non fonctionnel.

D'un autre côté, si les seuils sur les dispositifs de commutation sont décalés, un canal sélectionné peut se trouver désactivé. Avec des multiplexeurs utilisant des commutateurs CMOS pour toutes les opérations rail-à-rail, un commutateur PMOS pourrait cesser de fonctionner en raison d'un changement de seuil qui le fait sortir de la plage positive de la courbe de tension de mode commun. Le seuil NMOS peut également être décalé au point que le multiplexeur reste tout le temps actif même si le décodeur a sélectionné un canal particulier pour être actif-.

Protéger les satellites

Les satellites coûtent typiquement des centaines de millions de dollars, et les réparations pendant les vols spatiaux orbitaux sont extrêmement difficiles voire impossibles -- il n'y a donc inenvisageable d'avoir une panne. En conséquence, il est extrêmement important de prendre en compte et pallier les effets des TID et SEE afin de répondre aux problèmes de fiabilité de l'ensemble du système. L'un des moyens les plus élémentaires de faire face aux effets potentiellement néfastes du rayonnement est d'utiliser des multiplexeurs de sauvegarde ou des multiplexeurs redondants qui ne se mettent en ligne que si le multiplexeur primaire perd sa fonctionnalité. Le terme

employé pour cette forme de systèmes redondants est le remplacement à froid (cold sparing).

Une autre solution consiste à durcir avec un écran protecteur des multiplexeurs disponibles dans le commerce pour qu'ils puissent fonctionner dans des environnements de rayonnement élevé. Cette option est plutôt avantageuse du point de vue du temps de mise sur le marché, puisque les circuits intégrés sont facilement disponibles et qu'ils sont très économiques en coût. Cependant, il y a quelques inconvénients à cette approche. Il n'est pas toujours certain qu'un composant passera avec succès tous les tests de qualification et de rayonnement. Et parfois la disponibilité de ces composants peut être également un problème car les cycles de vie des IC commerciaux sont beaucoup plus courts que la durée de vie du satellite.

La solution suivante, qui est souvent la plus rentable, est de se procurer des multiplexeurs analogiques prévus pour fonctionner dans des environnements de rayonnement. Par exemple : il existe ainsi le multiplexeur ISL71840SEH 30V à 16 canaux, et le multiplexeur ISL71841SEH 30V 32-canaux. Ces IC sont robustes contre les SEL dans les environnements d'ions lourds. Les deux multiplexeurs offrent une capacité redondante d'échange à froid (cold spare), permettant la connexion de 2-3 multiplexeurs hors-tension supplémentaires à une voie d'entrée de données commune. Ceci est une caractéristique particulièrement importante pour les missions critiques de vols spatiaux pouvant durer jusqu'à 20 ans. Si nécessaire, un multiplexeur redondant est immédiatement activé.

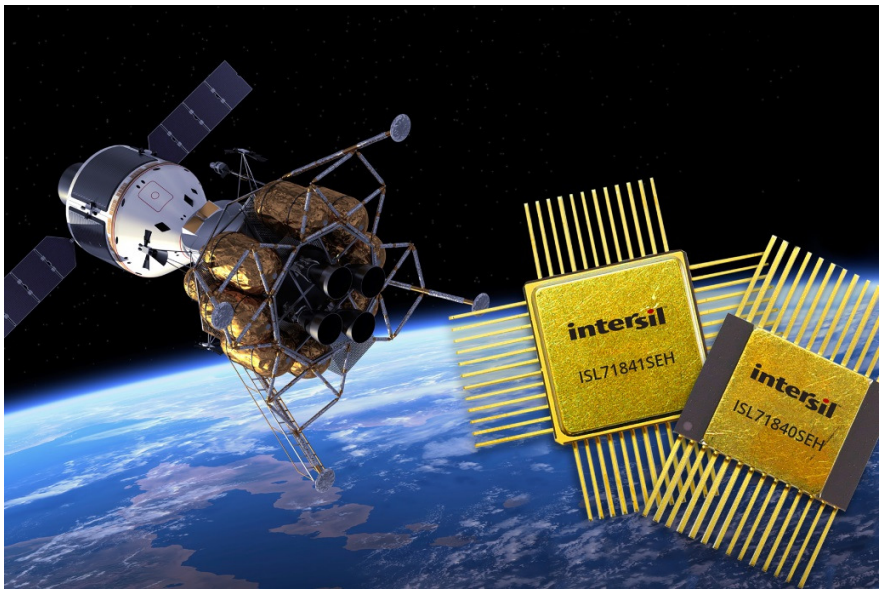


Figure 3: multiplexeur ISL71840SEH 16 canaux et multiplexeur ISL71841SEH 32 canaux, tous deux durcis contre les radiations

Conclusion
Les multiplexeurs analogiques faisant partie intégrante des satellites et des autres applications à haute fiabilité impliquant des capteurs et du traitement du signal, il est important de considérer les effets des TID et SEE, car un multiplexeur non opérationnel ou même aux paramètres dégradés peut fortement paralyser le fonctionnement de l'ensemble du satellite. Afin de s'assurer qu'aucune mission n'échoue, avoir une capacité redondante de remplacement à froid est obligatoire pour les vols spatiaux critiques de longue durée. Si, pour une raison quelconque, un multiplexeur tombe en panne, un multiplexeur redondant peut être immédiatement activé.

Références:
En savoir plus sur l'ISL71840SEH
Regarder une vidéo pour l'ISL71840SEH
Télécharger le rapport des tests SEE du ISL71840SEH
Télécharger le rapport des tests ELDRS du ISL71840SEH

A propos des auteurs:
Kiran Bernard est ingénieur principal d'applications pour le groupe des produits Mil/Aero d'Intersil. Il est spécialisé dans le développement pour la gestion énergétique durcie contre le rayonnement et les circuits intégrés de traitement de signal et leur application dans les systèmes d'acquisition de données pour le vol spatial. Mr. Bernard est titulaire d'un BSEE et d'un MSEE de l'University of Central Florida.

Josh Broline est directeur du marketing produit pour le groupe de produits Mil/Aero d'Intersil. Il est responsable de l'élaboration et la mise en œuvre des plans stratégiques et des feuilles de route des composants résistants aux radiations utilisés dans les applications spatiales. M. Broline est titulaire d'un BSEE de l'University of Central Florida et d'un MBA du Florida Institute of Technology.