

Alimenter des constellations de petits satellites avec des circuits intégrés plastique

L'émergence de grandes constellations de satellites LEO est en passe de changer l'économie d'une bonne partie de l'industrie spatiale. Ces programmes sont assortis d'un ensemble particulier d'exigences auxquelles doivent répondre les fabricants de semi-conducteurs positionnés sur le marché du spatial. C'est le cas d'Intersil avec un jeu de composants plastique tolérants aux radiations qui s'ajoutent à ses circuits intégrés traditionnels durcis contre les rayonnements.

Si vous suivez l'actualité de l'industrie du vol spatial, vous avez certainement remarqué un regain d'activité dans ce domaine. Avec les missions vers Mars, Jupiter ou vers des astéroïdes, avec les innovations dans la technologie des satellites et des lanceurs, l'industrie spatiale fait de nouveau les premières pages. Nous n'avons pas vu un tel niveau d'engouement public et d'enthousiasme pour cette industrie depuis le début de l'exploration spatiale et le lancement de Spoutnik en 1957, puis le premier vol spatial habité en 1961. Cinquante ans plus tard, c'est un nouveau cycle d'innovation qui s'ouvre, mettant en vedette de petits satellites en orbite terrestre basse (Low Earth Orbit, LEO) destinés à apporter une couverture Wi-Fi et cellulaire à tous les citoyens de la planète. Cette vague d'activité a attiré l'attention et suscité l'intérêt de sociétés de capital-risque et d'investisseurs qui n'avaient jamais auparavant participé à l'industrie spatiale. Les premières centaines de petits satellites lancés dans l'espace ont connu un succès limité et ont créé un marché fragmenté. Ces missions se partageaient entre projets de recherche universitaires, expériences scientifiques, démonstrations technologiques et prises de vue de la Terre en temps

AUTEUR



Josh Broline, directeur marketing en charge des produits de précision mil/aéro, Intersil (Renesas).

quasi réel. Cependant, tout est en train de changer avec le développement de grandes constellations de petits satellites et les efforts ciblés des fabricants traditionnels de satellites qui souhaitent apporter l'Internet à haut débit dans tous les coins du globe. Désormais les principaux fournisseurs de semi-conducteurs cherchent activement comment attirer cette nouvelle clientèle avec de nouvelles approches et de nouveaux modèles économiques.

Cet article examine le marché naissant des constellations de petits satellites et explique pourquoi les fabricants renoncent aux composants traditionnels durcis contre les rayonnements qui sont utilisés dans les vols spatiaux depuis cinquante ans. Nous discuterons de la façon dont les fabricants de composants électro-

niques abordent ce marché potentiellement disruptif, et comparerons les nouveaux circuits intégrés plastique tolérants aux rayonnements avec les circuits intégrés sur étagère (Commercial Off-The-Shelf, COTS) largement disponibles aujourd'hui.

Satellites GEO traditionnels contre constellations satellitaires LEO

Il existe un clivage de plus en plus important dans l'industrie des satellites. Les satellites traditionnels ont généralement une longue durée de vie (15-20 ans) et couvrent un large éventail d'orbites, y compris l'orbite terrestre géostationnaire (Geosynchronous Earth Orbit, GEO) et le vol spatial lointain. Ils affichent également des exigences élevées en matière de niveau de résistance aux

● **A.-** Une constellation LEO (Low Earth Orbit) de satellites en orbite basse forme un réseau de centaines de petits satellites entrelacés.



rayonnements, ainsi que des exigences rigoureuses en matière de fiabilité et de qualité. D'un autre côté, les petits satellites de type LEO – qui sont en orbite sous la ceinture de radiations de Van Allen où la plupart des particules énergétiques sont piégées – ont de faibles exigences par rapport aux radiations et leurs exigences de fiabilité et de qualité sont moins strictes (photo A).

Le large fossé entre ces deux classes génériques de satellites s'estompe. L'apparition de grandes constellations sur orbite LEO supérieure dotées d'une plus grande capacité satellitaire va abaisser les coûts de bande passante. Elles nécessiteront une plus grande quantité de satellites

• B.- Signés Intersil, ces boîtiers en plastique à montage en surface avec des finitions Ni/Pd/Au-Ag sont issus d'un flux de développement et de fabrication significativement différent de celui des produits traditionnels durcis aux radiations.



avec une durée de mission légèrement plus longue (environ 5 ans), des orbites plus élevées (1 100-1 300 km), des niveaux de résistance aux rayonnements plus élevés et des exigences de fiabilité et de qualité plus strictes.

Les défis de l'utilisation de composants COTS

Du fait que ces nouvelles grandes constellations n'ont des exigences techniques que légèrement plus élevées que celles des petits satellites antérieurs, elles devraient générer des ventes en volume de circuits intégrés plus élevées. Malgré le fait qu'il y ait moins de contenu électronique par satellite, comparé aux plus grands satellites traditionnels, le nombre même de petits satellites et de stations de soutien au sol va entraîner un volume de production beaucoup plus important pour

chaque composant. Ce potentiel de volume est sans précédent et devrait naturellement engendrer des coûts inférieurs pour les composants. Bien que les exigences techniques ou liées aux radiations ne soient pas aussi rigoureuses que pour les satellites traditionnels, les besoins des grandes constellations peuvent néanmoins générer des coûts et des risques considérables.

Afin de réduire les coûts, la réaction naturelle du marché pourrait être de sélectionner des composants commerciaux sur étagère (COTS) dont le coût est inférieur de plusieurs ordres de grandeur par rapport aux composants traditionnels durcis contre les radiations. Ensuite, il ne reste plus qu'à formuler un

niveau de produits disponibles dans le commerce.

Comment, dans ces conditions, concilier la nécessité de répondre à certaines exigences au niveau technique, à des exigences de résistance aux rayonnements et à certains critères en termes d'avantage concurrentiel, et l'obligation de disposer de performances comparables à celles obtenues dans le commerce, tout en maintenant des coûts compatibles avec le modèle économique d'un grand programme de constellation satellitaire? Etant donné que les performances du système électrique d'un satellite donné reposent sur les composants sélectionnés, les fabricants de composants doivent contribuer à relever ces défis. Ils sont

au cœur de l'innovation dans les circuits intégrés et sont les mieux informés sur un composant donné et les technologies sur lesquelles il repose.

Cette assertion n'est toutefois que théorique. Malgré le potentiel de volumes plus élevés, de nombreux fabricants de semi-conducteurs se concentrent sur d'autres activités à beaucoup plus fort volume; ils hésitent à soutenir pleinement cette clientèle particulière ou n'ont tout simplement pas le savoir-faire pour s'y intéresser. Par exemple, certains fabricants de circuits intégrés ignorent si tel ou tel composant répond aux exigences de rayonnement requises, et n'ont aucune idée sur sa capacité potentielle à satisfaire ces exigences.

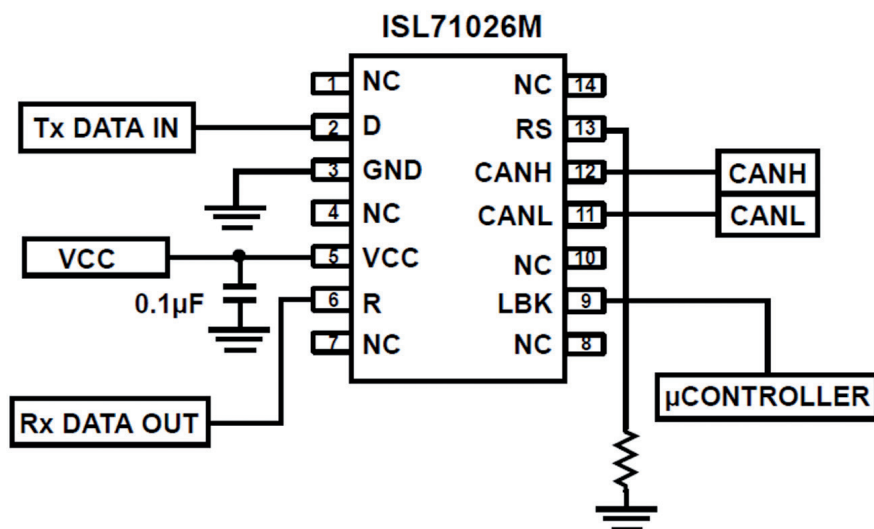
Des flux de fabrication de circuits intégrés tolérants aux radiations

Les fabricants de semi-conducteurs qui s'intéressent au secteur naissant des petits satellites, ou qui ont la capacité et l'expérience de s'y engager concrètement, travaillent à naviguer sur ce marché fragmenté pour trouver les moyens de s'y engager, sans changer radicalement leur modèle commercial. Il n'existe pas de définition claire de spécifications industrielles ou de normes de qualité applicables aux fournisseurs, bien

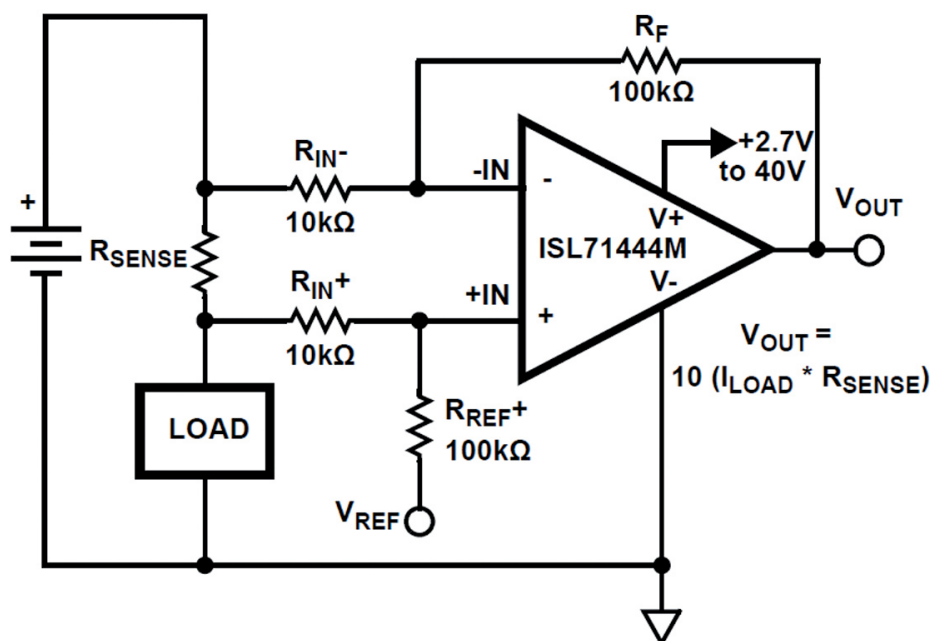
plan de test, exécuter les tests puis rassembler et analyser les résultats. Dans la plupart des cas, les coûts d'externalisation des tests de rayonnement et des tests électriques l'emportent rapidement, car la plupart des sociétés de circuits intégrés n'ont pas la capacité de gérer ces tests en interne. De plus, le nombre d'heures-hommes pour créer le plan de test, l'implémenter et analyser les données est important car il existe une courbe d'apprentissage associée à la compréhension du composant testé ou au traitement des problèmes de configuration de test et/ou des résultats inattendus. Enfin, il existe un risque majeur pour les coûts et les échéances du programme lorsque le circuit intégré ne donne pas les résultats escomptés dans le cadre du programme, ou lorsque des fluctuations importantes des rendements apparaissent en production. Résultat: les risques sont loin d'être négligeables et il est difficile de prévoir les coûts supplémentaires liés à la mise à

1A RÉPARTITION DE L'ASSIGNATION DES BROCHES DE L'ÉMETTEUR/RÉCEPTEUR CAN 3,3V ISL71026M

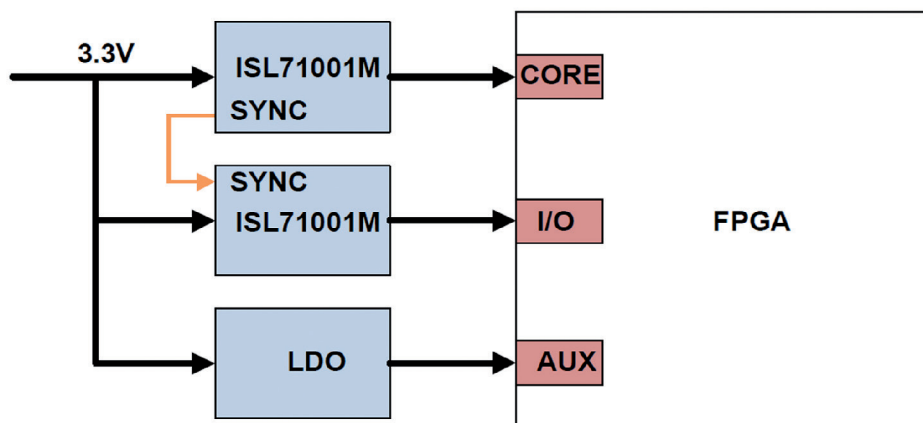
Intersil a récemment lancé trois circuits intégrés en boîtier plastique, tolérants aux radiations : l'émetteur-récepteur CAN 3,3V ISL71026M, l'amplificateur opérationnel ISL71444M 40V avec entrée et sortie rail à rail à quadruple précision et le régulateur de point de charge POL 6A ISL71001M.



1B APPLICATION TYPIQUE DE L'ISL71444M: AMPLIFICATEUR À DÉTECTION DE COURANT, ALIMENTATION SIMPLE, CÔTÉ HAUT



1C APPLICATION TYPIQUE DE L'ISL71001M FOURNISSANT L'ALIMENTATION POL AU FPGA



que l'industrie se soit davantage concentrée sur ce sujet au cours des deux dernières années. Intersil Corporation a noté ce besoin émergent ainsi que la convergence des exigences pour de plus grandes constellations de satellites situées à des altitudes LEO plus élevées. Grâce à de très forts engagements auprès de sa base de clients, Intersil a pu créer un flux rentable de développement et de fabrication de produits tolérants aux radiations pour répondre aux besoins émergents en matière de petits satellites. Le résultat en est une nouvelle famille de produits qui sont proposés dans des boîtiers en plastique à montage en surface et faible facteur de forme, généralement avec des finitions en nickel/palladium/or (Ni/Pd/Au) (photo B). Ces circuits intégrés bénéficient d'une caractérisation unique en cours de développement pour une dose ionisante totale (Total Ionizing Dose, TID) jusqu'à 30krad (Si), pour des effets « singuliers » (Single Event Effects, SEE) avec un transfert d'énergie linéaire (Linear Energy Transfer, LET) jusqu'à 43 MeV et pour une plage de température militaire de -55°C à +125°C. Ces composants sont également dotés d'une qualification de type AEC-Q100 avec des essais jusqu'à 2000 heures de burn-in, 500 cycles de température et des tests de sensibilité à l'humidité. Il s'agit là d'un flux de développement et de fabrication significativement différent de celui des produits traditionnels durcis aux radiations caractérisés par de grands boîtiers céramiques, qui imposent des tests de garantie contre le rayonnement dans le flux de contrôle du produit et des tests de température et de burn-in sur chaque composant en production, tout ceci tirant vers le haut le coût du circuit intégré.

Eviter les effets catastrophiques des événements «singuliers» SEE

La probabilité d'un effet singulier SEE et le niveau d'énergie potentiel associé à cet événement ou à cette particule seraient vraisemblablement plus faibles dans le cas LEO que dans le cas GEO, mais cela reste préoccupant pour une grande constellation de satellites située à une altitude proche de la ceinture de Van Allen. Pour les circuits intégrés à fort

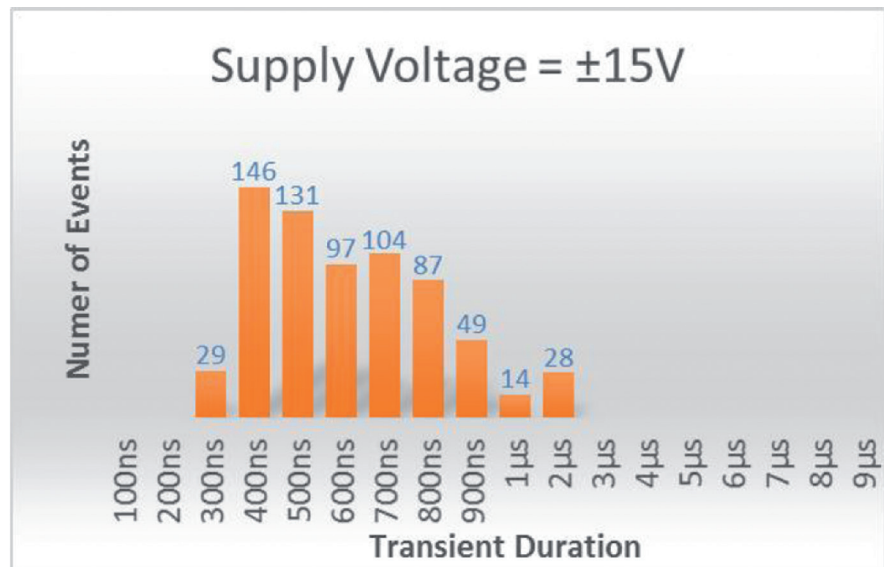
contenu numérique comme un microprocesseur, un effet singulier SEE n'est généralement pas un événement catastrophique, de sorte que la remise en marche ou les corrections logicielles prennent généralement en charge le problème. Cependant, la situation pourrait être plus grave pour le composant qui alimente le microprocesseur ou celui qui traite les signaux de données issues d'un capteur et envoyées vers le microprocesseur.

En fonction du procédé de fabrication, un composant peut avoir un certain niveau de robustesse contre un événement destructeur à une tension nominale donnée, mais cela devient plus préoccupant lorsqu'on a affaire à une impulsion transitoire SET (Single Event Transient), ou une interruption fonctionnelle sur effet singulier (Single Event Functional Interrupt, SEFI). Si un dispositif d'alimentation ou un amplificateur opérationnel est impacté par un ion ou une particule lourde et que leur sortie est perturbée à des niveaux inacceptables par un événement transitoire, ces composants peuvent en effet potentiellement endommager ou détruire le circuit connecté à leur sortie, comme un microprocesseur. Dans certains cas, cela peut signifier un échec de la mission pour l'ensemble du satellite. Dans le meilleur des cas, une interruption de la sortie peut se produire, ce qui pourrait nécessiter une remise sous tension et perturber les fonctionnalités de cette partie du satellite. Au sein d'un circuit intégré spécifique, ce type d'événement ne peut être atténué qu'au niveau de la conception même du circuit intégré.

Dans les composants commerciaux typiques cependant, cet aspect est généralement très éloigné de l'esprit d'un concepteur de circuits intégrés car il n'y a pas nécessité de le prendre en compte et s'y intéresser surchargerait son travail et affecterait potentiellement les performances et la taille du composant. Tout cela va à l'encontre de l'objectif de concevoir et de lancer un circuit intégré commercial hautement concurrentiel. En résumé, il apparaît plus facile de s'en sortir avec un circuit intégré numérique de type COTS pour les applications spatiales LEO. Mais il ne faut pas en déduire que c'est également le cas pour les circuits intégrés

2 PERFORMANCES DE L'AMPLI OPÉRATIONNEL ISL71444M SUR UN PHÉNOMÈNE DE PROPAGATION TRANSITOIRE SET

L'ampli opérationnel quadruple ISL71444M offre des temps de stabilisation de sortie inférieurs à 3 µs sous un maximum de 43 MeV.cm²/mg lors d'un impact d'ions lourds.



analogiques ou mixtes... Cependant, il existe des techniques de niveau système qui contribuent à surmonter ces problèmes, mais elles peuvent ajouter de la complexité au niveau de la conception, de la production, de l'analyse et de la fabrication ou de l'approvisionnement. De plus, elles peuvent faire augmenter la taille, le poids et la consommation (Size, Weight, and Power, SWaP) de la solution système, ce qui va directement à l'encontre des objectifs d'un petit satellite à haute performance et à moindre coût.

Avènement d'une nouvelle classe de circuits intégrés tolérants aux radiations

Intersil a mis au point et vient de lancer trois circuits intégrés en boîtier plastique, tolérants aux radiations. Il s'agit de l'émetteur-récepteur CAN 3,3V (Controller Area Network) ISL71026M, de l'amplificateur opérationnel ISL71444M 40V avec entrée et sortie rail à rail à quadruple précision (Rail-to-Rail Input and Output, RRIO) et du régulateur de point de charge (Point-Of-Load, POL) ISL71001M 6A (figures 1A, 1B et 1C). L'ISL71026M et l'ISL71444M sont disponibles dans un boîtier à montage en surface TSSOP et l'ISL71001M est disponible dans un boîtier QFP à montage en surface. Tous ces circuits ont des finitions Ni/Pd/Au pour éliminer le risque de

croissance de « tin whiskers » (formation de filaments à partir de certains matériaux métalliques).

Ces composants combinent des performances de niveau commercial, des boîtiers fiables et les performances de résistance aux rayonnements nécessaires pour les programmes de constellations de satellites à coûts maîtrisés dont les risques sont réduits. Par exemple, la figure 2 montre que l'ampli opérationnel quadruple ISL71444M offre des performances SET supérieures, et notamment des temps de stabilisation de sortie inférieurs à 3 µs sous un maximum de 43 MeV.cm²/mg lors d'un impact d'ions lourds. Dès lors l'utilisateur n'a pas besoin de se préoccuper d'une amélioration au niveau système s'il utilise cet ampli opérationnel. En outre, depuis qu'Intersil s'est engagé dans l'industrie des satellites (il y a plus de 50 ans), l'entreprise sait que la continuité de l'approvisionnement à long terme est essentielle. Tout est fait pour éviter qu'un produit ne devienne obsolète. Sinon, dans de très rares cas, un programme de substitution pour une fin de vie aménagée est proposé. Au-delà des grands programmes de constellations de satellites, les produits d'Intersil sont d'un usage approprié pour d'autres applications telles que les lanceurs, les équipements médicaux, l'avionique à haute altitude et les centrales nucléaires. ■