

ISO72Xデジタルアイソレータ磁界耐性

Kevin Gingerich

High-Performance Linear/Interface Products

目的

本解析の目的は、デジタルアイソレータISO72Xファミリーの磁界に対する耐性を検討することです。

はじめに

デジタルアイソレータのアプリケーション環境には、大モーターやその他の磁界を発生する装置の近辺が含まれます。そのような磁界曝露によるデータエラーは、重大な問題になります。斬新な容量結合絶縁障壁を適用しているTI社にとって、この件は特に重要です。

ISO72Xアイソレータは、2個のコンデンサ経由で絶縁障壁を通り、データ信号を差動的に伝送します。このコンデンサは、SiO₂誘電体の上下両面におけるメタルのトッププレートおよび導電性シリコンのボトムプレートで形成されています。信号のドライブ回路は一方のサブストレート上にあり、コンデンサおよび信号を受ける回路(レシーバ)は別の

サブストレート上にあります。回路全体を形成する2つのサブストレート間のボンディング・ワイヤを図1に示します。本解析の主題は、これらの差動回路において時間的に変化する磁界による誘導起電力(emf)です。本解析では雑音許容値(割り当て)について展開し、またファラデーの法則を適用して、この雑音許容値を超えるのに必要な磁束密度を見積もります。さらに、CEI/IEC 61000-4-9によるパルス磁界試験の結果により、本解析の実験的な確認を行います。

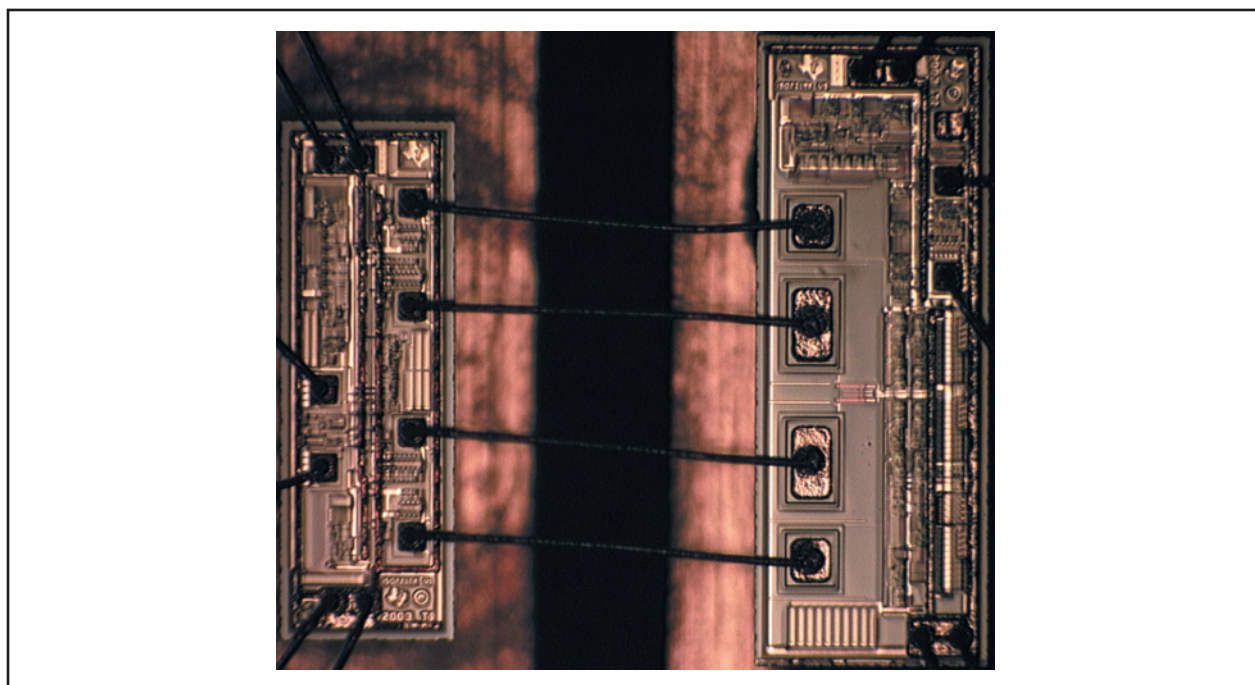


図 1. ISO721のチップ間ボンディング

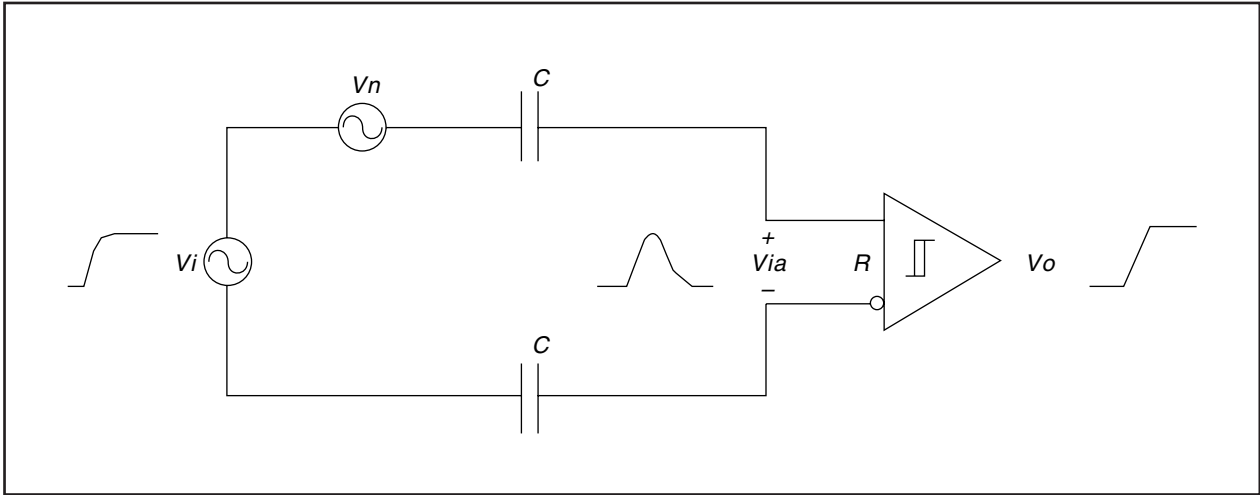


図 2. 障壁差動回路の等価回路図

差動雑音許容値

ISO720Xの絶縁障壁を通る経路の基本回路モデルを図2に示します。図中の V_i は V_{CC1} で動作するCMOSトータンポール形式のドライバであり、 V_n は差動ノイズを表します。絶縁コンデンサは V_i および V_n を微分し、時間変化する振幅情報のみをレシーバ入力に送ります。 V_{CC2} で動作するレシーバは差動信号を増幅して、レベル比較、ラッチ、検証、および出力への送出を行います。

差動ノイズがないときと定常状態の間では、レシーバ入力間に差動電圧がなく、出力は最後のラッチ状態のままです。差動電圧 V_{ia} が正方向スレッシュホールド電圧あるいは負方向スレッシュホールド電圧を十分な時間超えると、レシーバ回路の出力にて状態変化が発生します。好ましくは、この変化は V_n ではなく V_i によって発生すべきです。ノイズによる状態変化を防止するには、定常状態の間に V_n による入力電圧がレシーバの正方向スレッシュホールドを下回り、かつ負方向スレッシュホールドを上回る必要があります。

ISO720Xレシーバの差動入力の最低正方向スレッシュホールド電圧は10mVであり、最高負方向スレッシュホールド電圧は-10mVです。これらのスレッシュホールド電圧は、推奨動作条件および最高約30MHzまでの正弦波周波数にわたって適用されます。この周波数を超えるとレシーバのゲインが低下し、スレッシュホールドを超えるためのより大きな入力電圧が必要になり、入力スレッシュホールド値を上げることが必要になります。したがって、 V_n による V_{ia} の値がノイズ周波数30MHzまで10mVより小さければ、定常状態エラーは生じないと仮定できます。回路シミュレーションによると、100MHzにおけるノイズの最小スレッシュホールドの値は16.7mVになります。

周波数領域における回路の入出力電圧は、伝達関数 $H(\omega)$ により、

$$V_{ia}(\omega) = V_n(\omega) H(\omega) \quad \text{と表されます。}$$

ここで、

$$H(\omega) = \frac{j\omega}{j\omega + \frac{2}{RC}} \quad \text{です。}$$

レシーバの最小スレッシュホールドを V_{ia} とすると、必要条件是 V_{ia} が $V_{IT}(\omega)$ より小さいことであり、

すなわち、

$$|V_{ia}(\omega)| < |V_{IT}(\omega)| \quad \text{です。}$$

これらを代入してまとめると、

$$|V_n(\omega) H(\omega)| < |V_{IT}(\omega)|$$

すなわち、

$$|V_n(\omega)| < \frac{|V_{IT}(\omega)| \sqrt{\omega^2 + \frac{4}{(RC)^2}}}{\omega} \quad \text{となります。}$$

RCの値は約43.8psであり、差動ノイズマージンを計算するのに十分な情報になります。

回路には誘導起電力および同相から差動への電圧変換という、2つの主要な差動ノイズ源があります。ここで、各ノイズ源に控え目な1/2の差動ノイズマージンを割り当てると、誘導起電力のノイズマージンに関する式が次のように得られます。

式(1) 誘導起電力に関する差動ノイズマージン

$$|V_n(\omega)| < \frac{|V_{IT}(\omega)| \sqrt{\omega^2 + \frac{4}{(RC)^2}}}{2\omega}$$

誘導起電力の計算

誘導起電力とは、導体が磁界中を移動する、あるいは磁界が変化することにより生ずる単位電圧です。移動していない回路における電磁誘導に関するファラデーの法則によると、誘導起電力は回路における磁束の時間変化率に比例します。静止した回路に関して、この法則により次のように表すことができます。

$$emf = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_{surface} \vec{B} \cdot d\vec{s} = -\int \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{s}$$

ここに、 \vec{E} は経路長 $d\vec{l}$ に沿った電界強度であり、 \vec{B} は表面 $d\vec{s}$ に垂直な磁束密度です。

\vec{B} が $B_0 \sin \omega_0 t$ であり、表面に対して垂直かつ均一であると仮定すると、上式を時間で偏微分して下式が得られます。

$$emf = -B_0 \omega_0 \cos \omega_0 t \int_{surface} d\vec{s}$$

もちろん、 $d\vec{s}$ を表面について積分したものは単にループで囲まれた面積 S なので、下式が得られます。

$$emf(t) = -B_0 \omega_0 S \cos \omega_0 t$$

ISO72Xの各チャンネルには、高速と低速の絶縁された信号があります。高速信号は入力の状態変化を伝送し、低速信号は内部発生の低周波信号を伝送します。この低周波信号は入出力状態を同一に保つために使用されます。(図1におけるページの上側に最も近いループが高速信号の回路です。) これらの2回路は電氣的にまったく同じですが、物理的なレイアウトがわずかに異なっています。

デバイスの差動回路領域はほぼ長方形であり、チップ間のワイヤーを接続するボンディング・パッドの中心が長方形の角になります。このチップ間のボンディング・ワイヤーの長さは、公称値で 954 E-6m です。差動領域のボンディング・パッド間距離は両チップで等しく、高速回路で 360 E-6m であり、低速回路で 990 E-6m です。したがって、高速差動回路のループ面積は 343 E-9m^2 になり、低速差動回路のループ面積は 944 E-9m^2 になります。最大ループ面積が最大起電力を発生するので、低速回路ループを使って考察します。

この面積値を代入して、

$$emf(t) = -B_0 \omega_0 944 \times 10^{-9} \cos \omega_0 t$$

を得ます。ここでは、起電力の大きさについてのみ検討しているため、起電力は下式になります。

式(2) ループ起電力

$$emf = B_0 \omega_0 944 \times 10^{-9} \text{ V}$$

f	V _{IT}	emf	B ₀
0.001 MHz	10 mV	72,700 V	12.3E+6 Wb/m ²
0.01	10	7,270	122.6E+3
0.1	10	727	1.2E+3
1	10	72.7	12.3E+0
10	10	7.27	122.6E-3
30	10	2.4	13.6E-3
100	16.7	1.2	2.0E-3

表 1. 式(1~3)の解

磁界感度

今までの考察の結果、起電力の大きさをそのノイズマージン内に収めることにより、最大磁束密度を計算することができます。すなわち、

$$B_0 \omega_0 944 \times 10^{-9} < \frac{|V_{IT}(\omega)| \sqrt{\omega^2 + \frac{4}{(RC)^2}}}{2\omega}$$

周波数 ω_0 にてこの不等式を B_0 について解くと式(3)が得られます。

式(3) 磁束密度の限度

$$B_0 < \frac{|V_{IT}(\omega_0)| \sqrt{\omega_0^2 + \frac{4}{(RC)^2}}}{2 \times 944 \times 10^{-9} \omega_0^2} \text{ Wb/m}^2$$

式(1)、(2)、および(3)を異なる周波数($\omega = 2\pi f$)について計算した結果を表1に示します。

上表の磁束密度の考え方として、まず、電流要素により発生する磁束密度は、下式で示されます。

ただし、 $4\pi r^2$ は長さ1の導体に沿った各点に位置する半径 r の球の表面積です。ここで、電流源としての電流要素 l を

$$B_0 = \oint \frac{\mu_0 dl}{4\pi r^2} = \frac{\mu_0 l}{4\pi r^2}$$

0.1m、 $\mu = \mu_0$ 、および $r = 0.1\text{m}$ とすると、12.3 Wb/m²の磁束密度を発生して1MHzのリミットを超えるには、10MA(メガアンペア)より大きい電流が必要になります。

非シールド時のISO721は、IEC61000-4-8の最大100A/m ($125.6 \times 10^{-6} \text{Wb/m}^2$)の電源周波数での磁界、およびIEC61000-4-9の最大1000A/m ($1.256 \times 10^{-3} \text{Wb/m}^2$)のクラス5の磁界耐性条件をともに満足しています。この規格では、クラス5を次のような苛酷な産業用の環境に適用すると定義しています。すなわち、バスバー、中電圧線、あるいは数十kAを流す高電圧線というような産業用の環境です。具体的には、雷電流全体を流す雷保護システムのグラウンド導体や送電塔のような高構造物です。重工業プラントの配電盤や発電設備が、この環境の代表と言えます。

図3のグラフには、ISO721とアナログ・デバイセス社のADuM1100¹の磁界耐性スレッシュホールドを、IEC61000-4-8およびIEC61000-4-9²のクラス5(最高クラス)の試験レベルとともに比較したものです。

<脚注>

- 1 このデータは、ADuM1100データシートのE版の図8から採取し、比較可能な単位に変換しました。
- 2 自由空間の透磁率と仮定し、IEC61000-4-9のパルス形状を次式のように近似しました。

$$\frac{304}{(j\omega + 78.7 \times 10^3)(j\omega + 10^5)}$$

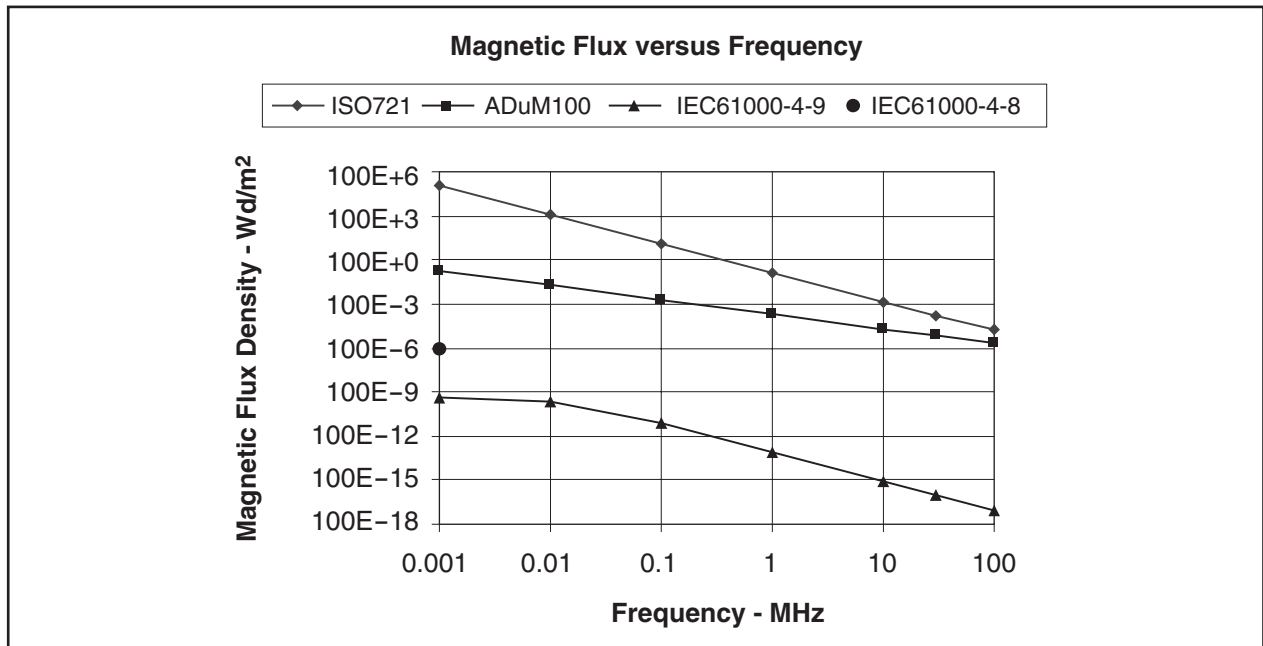


図 3. 磁界耐性および試験のスレッシュホールド

結 論

ISO72Xの低速信号の差動回路における磁気結合が雑音許容値を超えるには、1MHzにて 12.3Wb/m^2 (123Gauss)より大きい磁束密度を要します。この磁束密度は、デバイスから0.1m離れた0.1mの導体を流れる10MA (メガアンペア)以上の電流により発生する磁界に相当します。このようなことは、自然界やあらゆる製造装置においてあり得ないことです。もしそのようなことがあれば、周辺回路がISO720Xの絶縁障壁より先に故障するでしょう。

参考文献

1. Fink, Donald G. "Electronic Engineers' Handbook," McGraw-Hill, 1975 『電子技術者ハンドブック』 マグロウヒル社
2. Hayt, William H. Jr. "Engineering Electromagnetics," McGraw-Hill, 1974 『電磁気工学』 マグロウヒル社
3. McGillem, Clare D. およびCooper, George R. "Continuous and Discrete Signal and System Analysis," Holt, Rinehart and Winston, Inc., 1974 『連続および離散信号とシステム解析』
4. "Electromagnetic Interference Test Report for the ISO721 HIGH-SPEED DIGITAL ISOLATER," Southwest Research Institute, Document no. EMCR 05/019 rev. 00, August 2005 『ISO721高速デジタルアイソレータに関する電磁干渉試験レポート』

ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社(以下TIJといいます)及びTexas Instruments Incorporated(TIJの親会社、以下TIJおよびTexas Instruments Incorporatedを総称してTIJといいます)は、その製品及びサービスを任意に修正し、改善、改良、その他の変更をし、もしくは製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。従いまして、お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかをご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIJとの間取引契約が締結されている場合は、当該契約条件に基づき、また当該取引契約が締結されていない場合は、ご注文の受諾の際に提示されるTIJの標準契約約款に従って販売されます。

TIJは、そのハードウェア製品が、TIJの標準保証条件に従い販売時の仕様に対応した性能を有していること、またはお客様とTIJの間で合意された保証条件に従い合意された仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査およびその他の品質管理技法は、TIJが当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメーターに関する固有の検査は、政府がそれ等の実行を義務づけている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TIJは、製品のアプリケーションに関する支援もしくはお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TIJ製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TIJ製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションについて想定されうる危険を最小のものとするため、適切な設計上および操作上の安全対策は、必ずお客様にてお取り下さい。

TIJは、TIJの製品もしくはサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、もしくは方法に関連しているTIJの特許権、著作権、回路

配置利用権、その他のTIJの知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾することは明示的にも黙示的にも保証も表明もしておりません。TIJが第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TIJが当該製品もしくはサービスを使用することについてライセンスを与えるとか、保証もしくは是認することを意味しません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない場合もあり、またTIJの特許その他の知的財産権に基づきTIJからライセンスを得て頂かなければならない場合もあります。

TIJのデータ・ブックもしくはデータ・シートの中にある情報を複製することは、その情報に一切の変更を加えること無く、且つその情報と結び付けられた全ての保証、条件、制限及び通知と共に複製がなされる限りにおいて許されるものとします。当該情報に変更を加えて複製することは不公正で誤認を生じさせる行為です。TIJは、そのような変更された情報や複製については何の義務も責任も負いません。

TIJの製品もしくはサービスについてTIJにより示された数値、特性、条件その他のパラメーターと異なる、あるいは、それを超えてなされた説明で当該TIJ製品もしくはサービスを再販売することは、当該TIJ製品もしくはサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、且つ不公正で誤認を生じさせる行為です。TIJは、そのような説明については何の義務も責任もありません。

なお、日本テキサス・インスツルメンツ株式会社半導体集積回路製品販売用標準契約約款もご覧下さい。
<http://www.tij.co.jp/jsc/docs/stdterms.htm>

Copyright © 2006, Texas Instruments Incorporated
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

1. 静電気

- 素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。
- 弊社出荷梱包単位(外装から取り出された内装及び個装)又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で(導電性マットにアースをとったもの等)、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。
- マウンタやはんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。
- 前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

2. 温・湿度環境

- 温度：0～40℃、相対湿度：40～85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。(但し、結露しないこと。)

- 直射日光があたる状態で保管・輸送しないこと。
3. 防湿梱包
 - 防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従い基板実装すること。
 4. 機械的衝撃
 - 梱包品(外装、内装、個装)及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。
 5. 熱衝撃
 - はんだ付け時は、最低限260℃以上の高温状態に、10秒以上さらさないこと。(個別推奨条件がある時はそれに従うこと。)
 6. 汚染
 - はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質(硫黄、塩素等ハロゲン)のある環境で保管・輸送しないこと。
 - はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。(不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。)

以上