

内視鏡および医療イメージング・アプリケーションにおける 安全性が強化された高速デジタル・アイソレータ

AVAGO
TECHNOLOGIES

White Paper

By: Zhang Bin and Harold Tisbe

はじめに

医療機器の患者との接点は、患者を危険な電圧ショックから守るために、AC電源から絶縁されていなければなりません。医療イメージング装置では、センサが患者にショックを与えないように高度の電気的分離を維持しながら、大量の映像データをイメージセンサから画像処理プロセッサに伝送する必要があります。センサと画像処理プロセッサ間の高速デジタルデータ伝送チャンネルは、高度な分離を維持しながらリアルタイム表示するためにデータを最大100Mbaudで転送しなければなりません。

高速伝送と優れた安全性の両要件は、分離設計を難しくし、そのため、そのソリューション(たとえば、光ファイバ)は高価なものになります。アバゴ・テクノロジーが開発したフレックス・テクノロジーをベースにした最新型のトランスにより、高速伝送と医療安全性の両方の要件を満たすコスト効果の高い分離ソリューションを実現しました。

アイソレータは、厚い絶縁バリアを介した電磁結合を使用して、分離性能を損なうことなく高速伝送を可能にします。このアイソレータは、高いデータ転送速度でも消費電力が少なく、さらに小型表面実装パッケージで優れた過渡耐性を提供します。デバイスの最大伝播遅延は36 nsです。

内視鏡システム設計と分離要件の概要

図1に、患者の体内に挿入されるフレックスチューブに光ガイドとCCD画像センサが搭載された内視鏡のブロック図を示します。センサが取得した映像信号が、CCDアナログ・フロント・エンド(AFE)回路に送られ、そこでデジタル化され、画像を再構成するために画像処理プロセッサに送られます。一般に、AFEからのデジタルデータは、16ビット幅で、画像サイズと分解能要件により50MHz以下またはそれ以上の周波数でクロックされます。

ADCの挙動とタイミング・ユニットを構成する制御信号は、実際にはもっと低い速度です。しかし、高速スループットを必要とした高速クロックを使用するので、デジタル・アイソレータを挿入することによってパルス幅歪が大きくなることが重要です。また、同期データを高いデータ転送速度で伝送するために、チャンネル間の伝播遅延スキューを最小限に維持しなければなりません。データ・チャンネルと制御チャンネルが多数ある場合、最も望ましいのは省スペースのために単一パッケージに多数のチャンネルを組み込むことができることです。

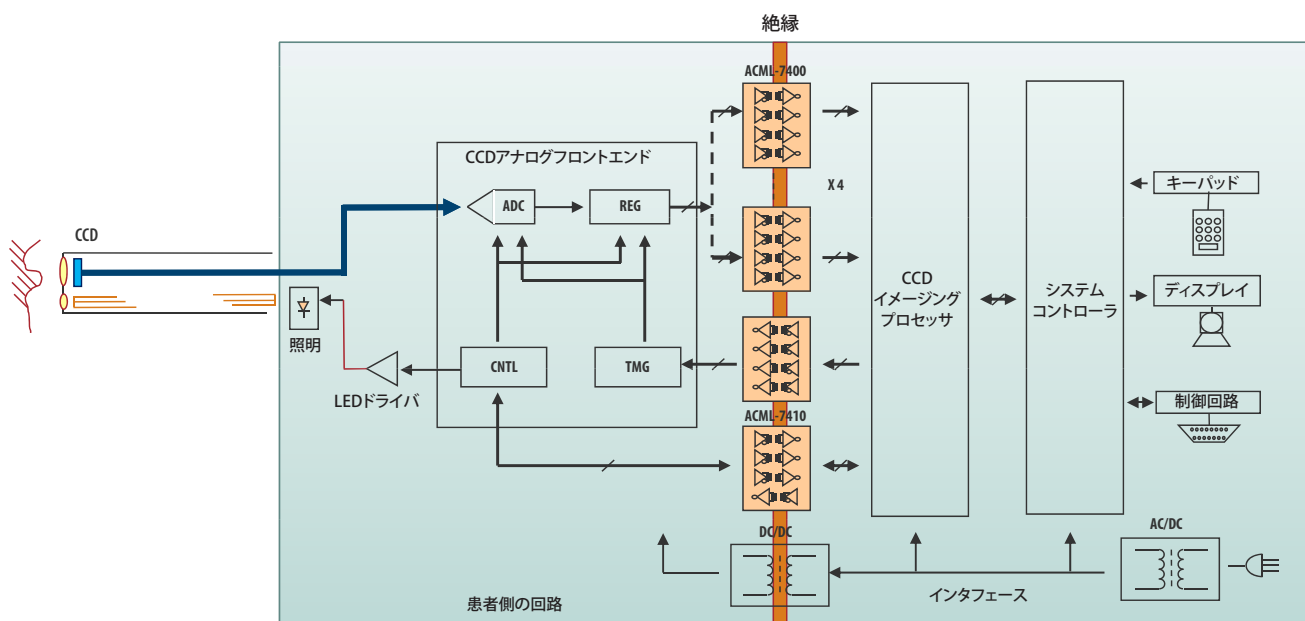


図1. ACML-74xxファミリを使用した代表的な内視鏡のブロック図。

患者との接点回路と画像処理回路は、IEC60601-1の安全要件によりシステムの他の部分および電源から電氣的に分離されていなければなりません。単一故障状態で患者接点の電位が電源電圧まで上昇する可能性があるため、絶縁バリアは、耐故障でかつ、2つの患者保護手段を含む要件を満たさなければなりません。

患者との接点は常に変動し、また患者と医療オペレータによる接触が可能なので、静電放電(ESD)によって分離の両側に高電圧の過渡現象が生じる可能性があります。高電圧ダイオードによる従来のESD保護方法は、ガルバニック安全分離要件を満たさないため、絶縁バリアには適用できません。そのため、デジタル・アイソレータの絶縁材料と構造は、絶縁性を低下させることなく最も高いESD過渡現象に耐えなければなりません。

表1に、240VAC電源に接続された病院環境における典型的な医療イメージング装置の機器とその分離要件を示します。

分離方法の選択

高速データを分離するには、光ファイバ接続とパルス・トランスを使用することができます。しかし、光ファイバ・ソリューションは、光トランスミッタと光レシーバを必要とするため高価です。また医療上の安全要件を満たすパルス・トランスは大型になります。これらの両方のソリューションは、単位面積当たりのチャンネル密度を高めるのに十分な集積化を実現できません。

フォトカプラは、小型サイズ、高い絶縁性能および適切なコストの条件を満たす選択の一つです。今日、アバゴ・テクノロジーから販売されている最高速のフォトカプラはHCPL-0723で、最大50Mbaudの転送速度でデータを転送することができます。これは、中速データ伝送に対応し、また制御信号分離を提供することができます。

この数年の間に、いくつかの半導体サプライヤが、医療アプリケーション向けに、小型化された多重チャンネル高速デジタル・アイソレータ・ファミリを発表してきました。デジタル信号は、オンチップ・マイクロトランスまたは分離キャパシタを介して結合されます。単一チャンネル構成と多重チャンネル構成の両方のカプラが入手可能です。速度の改善とチャンネル密度の向上により、より小型でコスト効果の高い医療イメージング装置を構成することができます。

新しい分離技術は、速度とチャンネル密度の限界を打ち破ることができますが、その分離頑強性は、以下の点により損なわれることが分かります。

1. CMOS ICチップ上に構築されたほとんどの絶縁層の厚さは20 μ m未満です。このような絶縁層は、きわめて高い電界強度(V/ μ m)にさらされる可能性があり、その絶縁材料の経年変化メカニズムは、まだ理解され実証されていません。
2. 「アイソレーション・オン・チップ」技術によって構築されたほとんどのアイソレータは、12kV未満のHBM(人体モデル)ESDストレスで破壊します。
3. 単一薄膜絶縁層は、2つの保護手段の要件を満たしません。

絶縁品質を損なうことなくIC技術の進歩による恩恵を受けるために、アバゴ・テクノロジーは、最近、新しい「トランスフォーマ・オン・フレックス」技術をベースにした高速多重チャンネル・デジタル・アイソレータ・ファミリACML-74xxを開発しました。このアイソレータには、CMOS入力バッファとCMOS出力ドライバが実装されており、入力リミッタ抵抗と出力プルアップ抵抗の両方が不要です。さらに、DC精度を保証するリフレッシュ回路が組み込まれています。

データ・ストリームが「送信」側に送り込まれたとき、ロジック信号が電流パルスに変換されます(図2)。このパルスは、絶縁バリアを越えて受信コイルに結合された電磁界を生成します。受信コイルは、パルス電磁界を電圧パルスに変換し、差動入力レシーバは、この電圧パルスをロジック信号に戻してデータ・ストリームを再現します。

表1. 医療イメージング機器の分離要件

機器要件	アイソレータ・パラメータ	仕様	
高速	データ転送速度	> = 100 Mbaud	
	パルス幅歪	< = 2 ns	
	伝播遅延スキュー	< = 3 ns	
IEC 60601-1に適合	分離間連続動作電圧	> = 120 Vrms	> = 240 Vrms
	過渡絶縁耐圧(1分)	> = 3000 Vrms	> = 4000 Vrms
	400 Vdcでの漏れ電流	< 10 μ A	
ESD分離頑強さ	分離間ESD(HBM)	> = 16 kV	

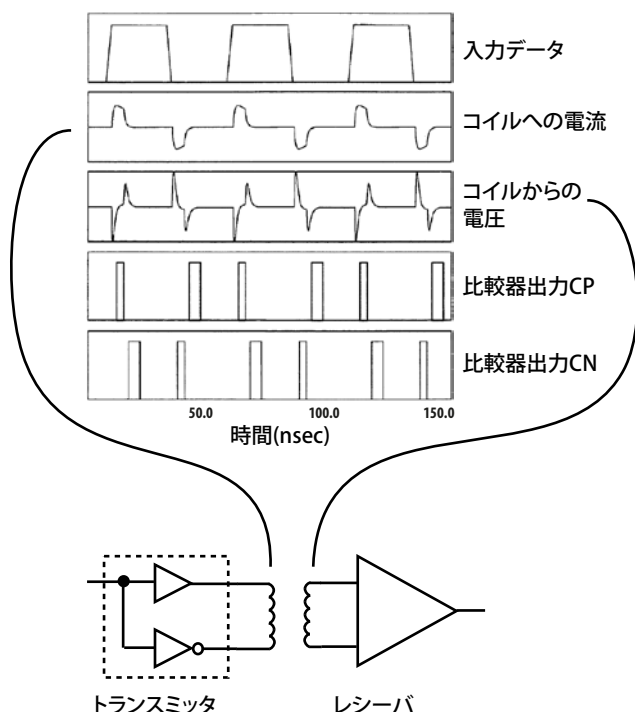


図2. データ入力は、ガルバニック絶縁バリアを越えるために、トランスミッタの一次側コイルで電流パルスに変換されます。受信側で、電磁界は、データに再変換された電圧パルスを生成します。

ファミリには、ACML-7400、7410および7420の3つの初期モデルがあり、それぞれ構成は異なりますが、4つの分離されたチャンネルを備えています。ACML-7400は、4つの「ストレート」チャンネルを備え、ACML-7410は3つのストレート・チャンネルと1つのリバース・チャンネルを備え、ACML-7420は各方向に2つのチャンネルを備えています(図3)。

アイソレータは、CMOSロジック互換の入力と出力を備え、3.3または5V電源で動作することができます。3.3V電源を使用してアイドリングしているとき、チップの消費電流は、1チャンネル当たり入力側で10mA以下、出力側で11mA以下です。25Mbaudデータ・ストリームの場合は、入力供給電流が約17mAに急激に増え、出力供給電流は同じ値まで増えます。100Mbaudデータ・ストリームの場合、供給電流は、入力側と出力側で約30mAまで増えます。5V電源では供給電流が少し高くなります。

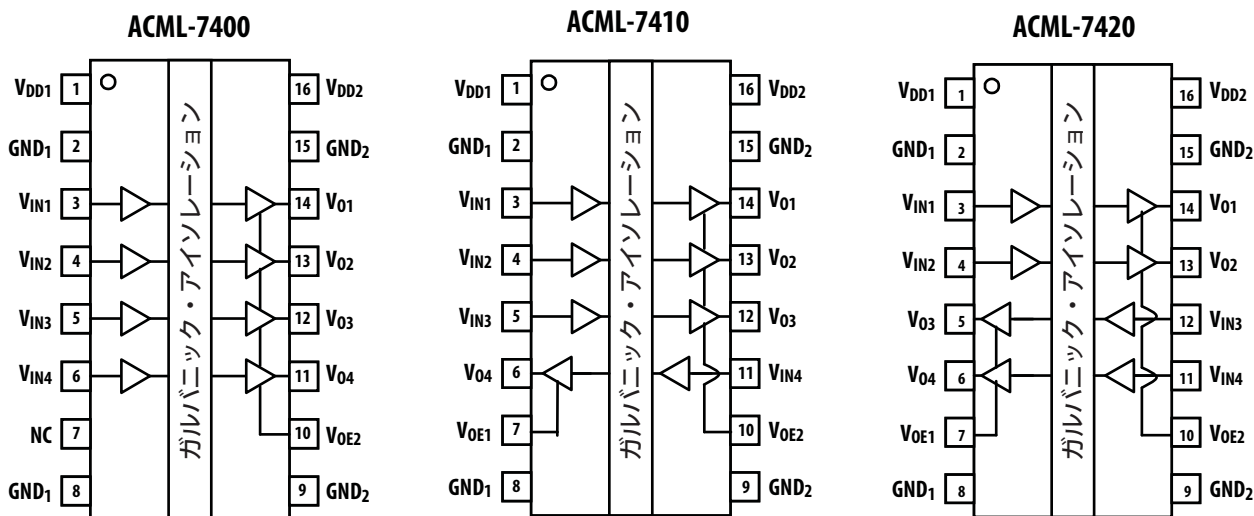


図3. ACML-74xxファミリの3つの初期モデルは、異なるトランスミッターレシーバ構成を備えています。7400は、ストレートの4つのチャンネルを備え、7410は、ひとつの方向の3つのチャンネルと逆方向の1つのチャンネルを備え、7420は、各方向の2つのチャンネルを備えています。

パルス幅歪は3ns未満で、これは、データ伝送エラーの可能性を最小にします。さらに、トランスミッタが差動出力を備え、レシーバが差入力回路を備えており、これにより、同相ノイズ除去性能が最大になり、ノイズの少ない信号を提供することができます。

伝播遅延スキュー(t_{psk})は、並列データ・アプリケーションで考慮すべき重要なパラメータであり、並列データ・ライン上の信号の同期が重要です。並列データが1組のアイソレータを介して送られた場合、伝播遅延の差によって、データはアイソレータの出力に異なる時間に到達します。この伝播遅延の差が十分に大きい場合は、アイソレータを介して並列データを送ることができる最大転送速度が決まります。

伝播遅延スキューは、同じ条件(すなわち、同じ駆動電流、供給電圧、出力負荷および動作温度)で動作している所定の組のアイソレータの最小伝播遅延と最大伝播遅延の差(t_{PLH} または t_{PHL})として定義されます。図4に示したように、1組のアイソレータへの入力と同時にオンまたはオフに切り替えられた場合、 t_{psk} は、最短伝播遅延(t_{PLH} または t_{PHL})と最長伝播遅延(t_{PLH} および t_{PHL})の差になります。

ACML-74xxシリーズ・アイソレータは、伝播遅延、パルス幅歪および伝播遅延スキューの仕様が、推奨温度と電源範囲にわたって保証されています。

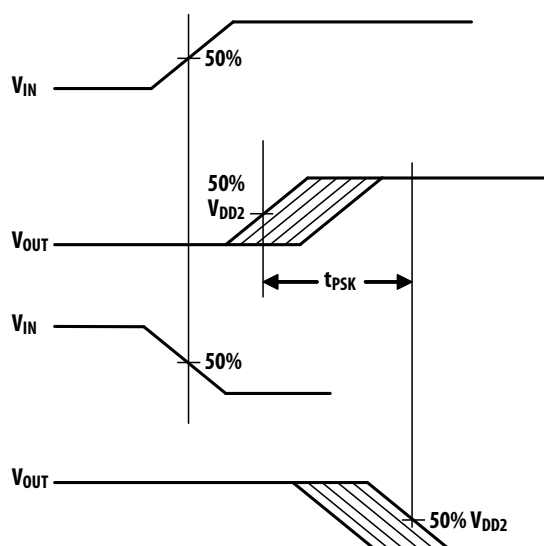


図4. 伝播遅延スキュー(t_{psk})は、データ・チャネルがデータを並列転送するときの重要なパラメータです。スキューは、ある所定の組のアイソレータの最小伝播遅延と最大伝播遅延の差(t_{PLH} または t_{PHL})として定義されます。

他の多重チャネル高速デジタル・アイソレータと同様に、デジタル入力信号は、高速マイクロトランスを介して結合されます。しかし、一次側コイルと二次側コイル間の分離には、一般にKapton®として知られるポリイミド材料でできたフレックス・テープが使用されます。ポリイミド・テープは約 $50\mu\text{m}$ で、「アイソレーション・オン・チップ」技術より厚くなります。このテープは、長年、医療および産業用途で絶縁に幅広く使用されてきました。コイルとテープの間にはさらに $30\mu\text{m}$ の絶縁接着剤があり、絶縁体を含む全距離は、多くのフォトカブラの絶縁距離に近い最大 $80\mu\text{m}$ になります。その結果、絶縁特性と絶縁強度は、フォトカブラのものと同程度になり、これは、1970年代始めに最初に紹介されて以来十分に理解され実証されています。

図5は、アバゴの新しいデジタル・アイソレータの平面図と断面図です。このアイソレータは、左側のトランスミッタIC(Tx)、真ん中の柔軟ポリイミド・テープ上に実装されたマイクロトランス、右側のレシーバIC(Rx)から構成され、これらがすべて基板に実装されています。断面図では、絶縁テープ、接着剤およびトランス巻線が示されています。モールド成形された完全構造は、分離間の両側で16kVを越えるESDストレスに耐えることができますが、他のメーカーの薄層アイソレーション・オン・チップ構造は、12kV未満で破壊されます。

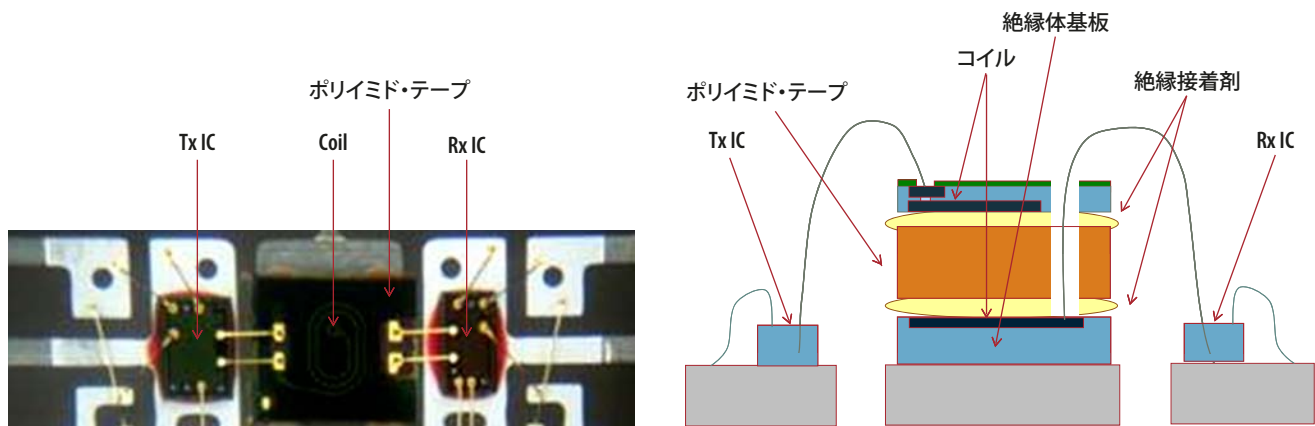


図5. アバゴ・テクノロジーによって開発された「マイクロトランス・オン・フレックス」100Mbaudデジタル・アイソレータの上面図と断面図

表2は、様々な高速デジタル信号の分離技術の主な電氣的分離特性の違いをまとめたものです。

表2. 高速デジタル・アイソレータの電氣的分離性能の比較(各メーカーのデータシートとアバゴのベンチマークテストを参照し作成)

分離技術	単位	アバゴACML-74XX	サプライヤA	サプライヤB
		アイソレーション・オン・フレックス	アイソレーション・オン・チップ	アイソレーション・オン・チップ
結合方法		磁気	磁気	容量
絶縁材料		ポリイミド・テープ	スピンオン・ポリイミド	SiO2
データ転送速度	Mbaud	100	90	150
パルス幅歪	ns	2	2	2
伝播遅延スキュー	ns	3	5	2
絶縁層の数		3	1	1
絶縁体を含む距離	μm	80	20	8
過渡電圧定格(1分)	Vrms	5600	5000	2500
最高通過ESD電圧(HBM)	kV	> 16 kV	10 kV	4 kV
ESD破壊前の漏れ電流@400 Vdc(HBM)	μA	0.00018	0.00028	0.00024
ESD破壊後の漏れ電流@400 Vdc(HBM)	μA	0.00023 (16kVで破壊)	35 (12kVで破壊)	180 (6kVで破壊)

まとめ

医療イメージング装置には、分離された患者側の回路から画像処理回路に大量のデータを送るために、高速の多重チャネル・デジタル・アイソレータが必要です。最新のアイソレーション・オン・チップ技術の多くは、高速かつ高いチャネル密度の要求に応える有望なデジタル・アイソレータを提供していますが、絶縁品質を損なうことのない適正な絶縁部品を選択することがきわめて重要です。患者の安全と人的ミスや材料欠陥を許容するためには、医療安全基準IEC60601-1を満たすだけでなく、高いESD分離定格と多層絶縁が不可欠です。

アバゴ・テクノロジーの最新の高速デジタル・アイソレータ ACML-74XXは、16kVを超えるきわめて高いESD処理性能を持つ耐故障性の高い多層断熱材料上に構成されています。ACPL-74XXIは、多重チャネル構成でかつ高いデータ転送速度で動作する次世代の医療イメージング装置において理想的な選択肢です。

For product information and a complete list of distributors, please go to our web site: www.avagotech.com

Avago, Avago Technologies, and the A logo are trademarks of Avago Technologies in the United States and other countries.
Data subject to change. Copyright © 2005-2011 Avago Technologies. All rights reserved.
AV02-3046JP - September 16, 2011

Avago
TECHNOLOGIES