



小型・薄型スマートフォンに高速シリアル・インタフェースを組み込むOEM各社の抱える新たなEMI問題

TECHNICAL NOTE

スマートフォンは、携帯電話市場の中でも最も急成長している分野です。IDC社の統計[1]によれば、2010年には前年比成長率74%となる3億200万台が出荷されました。携帯電話市場は「オペレーティング・システム」「アプリケーション」「機能セット」にそれぞれ細分化されており、スマートフォンは今後も成長を続けると期待されています。Portio Research社の調査[2]によると、2015年までに携帯電話の出荷台数全体の約40%をスマートフォンが占め、その勢いに乗じようとする新たな企業が続々と参入することが予想されます。

ポケットやハンドバッグに入れてもかさばらない大きさで、ダウンロードの高速化とオーディオの高品質化を図ることが現在求められています。ユーザが強く望んでいるのは、高解像度カメラ(通常800万画素以上)、高品質ディスプレイ(3D機能を含む)、外付けディスプレイ接続ポート、高解像度ビデオ再生機能(MHL (Mobile High-Definition Link)、HDMI (High Definition Multimedia Interface)のいずれかを利用)といったすべてを備えていて、しかも膨大なデータに対処できるアプリケーションとインタフェースを1台で実現したデバイスです。

		Camera	Display	HDMI	USB 2.0
S e r i a l	Typical Configuration	1 clock + 4 data pair (CSI2)	1 Clock + 2 data up to 4 data pair	1 Clock + 3 data pair	1 data pair
	# of Lines	Up to 10 lines	Up to 10 lines	8 lines	2 lines
	Datarate	up to 1Gbps/ lane	up to 1Gbps/lane	up to 2.5 Gbps	480 Mbps
P a r a l l e l	# of Lines	up to 18 lines	up to 24 lines		
	Datarate	up to 96 MHz	up to 48 MHz		
	Operating Voltage	1.8-3.3V	1.8-3.3V		

Figure 1. Comparison of Parallel and Serial Configurations
(Actual speeds dependent upon cable lengths, wire thickness, and interface configuration)

スマートフォンは、ディスプレイ、カメラ、データの各ポートI/Oを接続するインタフェースが必要となるため、携帯電話における新たなシリアル・インタフェース規格(MIPI (Mobile Industry Processor Interface)やUSB (Universal Serial Bus)のほか、前述のHDMIおよびMHLなど)による差動信号伝送を利用することが非常に増えています。差動信号伝送のためのこうした規格は、従来のパラレル・インタフェースに比べてはるかに高速にデータが伝送できます。

しかも、パラレル・インタフェースよりも電圧を下げることができ、信号線数も減らせます。

高速シリアル・インタフェースを利用することは、データ・レートの高速化(図1を参照)だけでなくスマートフォンの小型化にも有効に働きますが、検討しなければならない問題もあります。本資料の目的は、半導体技術の新たな進歩によってこうした問題がいかにかうまく解決できるようになるのかということを示すことにあります。

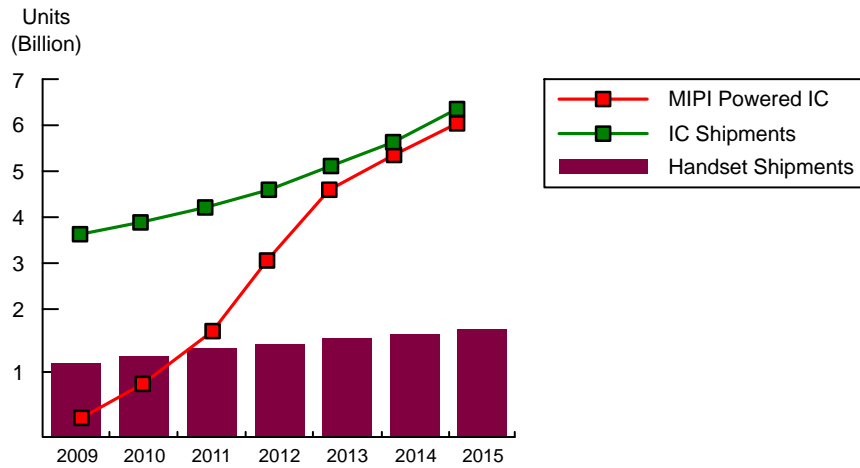


Figure 2. Comparison of Handset Shipments and Related IC Shipments [Source: ABI Research]

高速シリアル・インタフェース

高速シリアルI/Oに利用される差動信号伝送はクロック速度が高速化できるため、高解像度のカメラおよびディスプレイを携帯電話に組み込むことができます。その結果、充実したユーザ体験がもたらされます。また、こうしたインタフェースは比較的低い電圧で動作するので、消費電力が少なく、そのぶん携帯電話のバッテリー駆動時間が延びます。これはすべてのスマートフォン・ユーザにとってメリットです。しかし設計は若干複雑になり、静電放電(ESD)からの保護という問題も生じるうえ、常に電磁干渉(EMI)の問題がスマートフォンにつきまといかねません。もっとも、スマートフォン市場への新規参入企業の多くは、差動信号伝送のことをよく知っています。ノートPCやデスクトップPCでLVDS (Low Voltage Differential Signaling)が利用されているように、標準的なインタフェースの1つとして差動信号伝送の使われるさまざまな家電製品を供給してきた実績があるからです。そのため、従来の携帯電話メーカーは不利になるおそれがあります。

差動信号伝送

差動信号伝送(平衡伝送)は、高速シリアル・インタフェースの事実上の業界標準となっています。不平衡伝送に比べて雑音除去性能にまさるという特徴があります。Figure 3に、差動アンプとしてレシーバを示しました。これを見ると、差動信号伝送の基本的な利点に分かります。差動信号とは、位相が180度ずれた2つの信号(正相、逆相)のことであり、差動アンプは、逆相信号を反転して正相信号と合成したうえで出力する働きをします(左図を参照)。

右の図は、まったく同じ2つの信号を差動アンプに入力しているようすを示しています。レシーバーのどちらの入力端にも同じ信号が入力されるので、この信号は「同相(コモン・モード)信号」と呼ばれます。携帯電話内部のパワー・アンプから発生した高周波がデータ信号線に直接放射されたり、あるいはそうした高周波がグラウンド結合によってデータ信号線に乗ったりすると、それが原因で同相信号の生じるおそれがあります。しかし、たとえ同相信号が生じて、図に示したように差動アンプが打ち消してくれます。

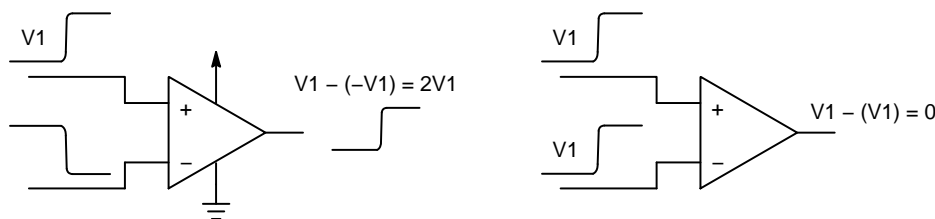


Figure 3. Differential Signaling

受動型のコモン・モード・フィルタは、結合インダクタにおけるトランスとしての働きにより、差動信号および同相信号に対して差動アンプと同じような効果を発揮します。このことを図4に示します。ここでもやはり、左の図は、差動信号伝送を行うために入力電流波形が互いに180度ずれています。一

方のコイルを流れる電流は、反対側のコイルを流れる誘導電流と同相ですので、電流を減衰させる要因はコイルの直流抵抗成分しかなく、差動信号がほぼそのまま通過します。右の図は、結合インダクタに入力された同相電流波形が大きく減衰しているようすを示しています。

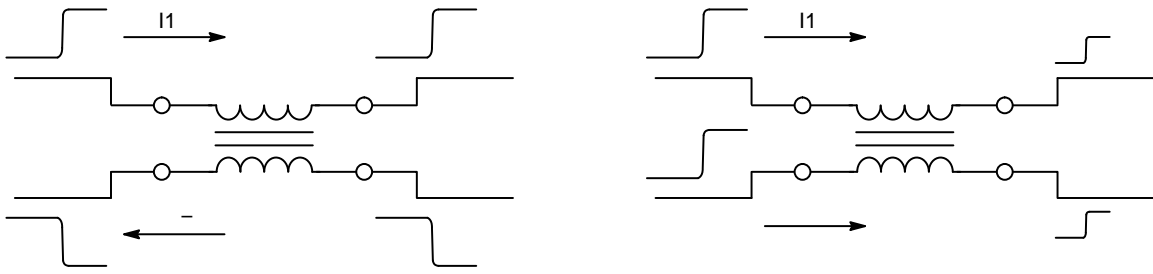


Figure 4. Common Mode Filtering (180° out of phase and in phase)

リジッド基板でもフレキシブル基板でも、その配線パターンを通過するデータによって電氣的雑音が生じるため、携帯電話ネットワークからの信号受信が妨げられたり、スマートフォン自体の機能が妨げられたりすることがあります。携帯電話の内部でデータが移動すると、必ずある程度の雑音が発生しますので、それが原因で、電話の発信・受信や、コンテンツの表示、写真撮影、ビデオ撮影、インターネット・ブラウジングといった重要な機能に影響が及ぶおそれがあります。ごく狭い空間に複数のデータ信号線が密集していると、電磁干渉が激しくなります。スマートフォン時代を迎えたことで、携帯電話は内部に相当な雑音源を抱えることになりました。携帯電話の性能を少しも落とさずに、しかもデータ・エラーの発生を避けるためには、増える電磁干渉を抑えるための対策を講じる必要があります。

すでに述べたように、大きな問題は、スマートフォンがESDに対して弱くなる一方だということです。携帯機器は元々、据置型の電気製品に比べてESDの影響を受けやすいという性質があります。世代を追うごとにどんどん微細化される半導体のおかげで、デジタルICの寸法は今もムーアの法則にほぼ従っていますが、小型化された半導体の組み込まれた回路がESDによって破壊される危険性はますます高まっています。

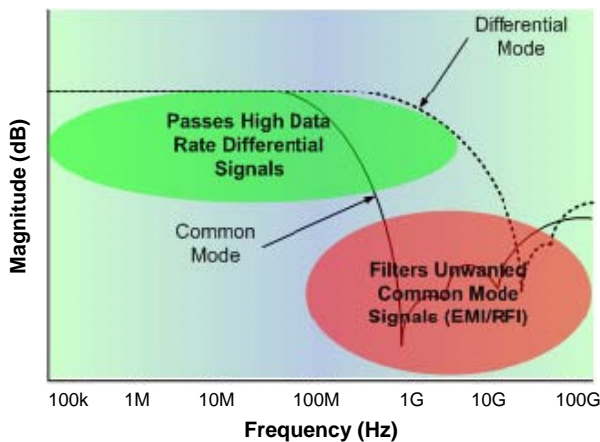


Figure 5. Common Mode Filtering

EMIを抑えるための最新手法

受動型フィルタは、コモン・モード・フィルタ (CMF) を使いますので、データ品質に影響を与えずに高速差動信号を通過させることができます (Figure 5を参照)。差動信号伝送に伴う不適切な成分である同相雑音 (コモン・モード・ノイズ) を減衰させれば、スマートフォンとワイヤレス・ネットワークとの間のデータ通信および音声通信への干渉が抑えられます。携帯電話の通信周波数帯域で同相雑音をフィルタで阻止することは、携帯電話において特に重要です。なぜなら、同相電流によって放射される電波強度は、周波数に比例して強くなるからです [3] そのため、同相雑音を適切にフィルタで除去しない場合は、携帯電話内部の信号伝送路の中でも高周波同相雑音の影響を受けやすい信号伝送路のすべてがEMIの発生源になりかねません。こうした考えに基づいて対策を講ずれば、信号品質に大きな影響を及ぼさずに干渉の作用が著しく減らせます。このことは、従来の携帯電話からの乗り換えを目指すスマートフォンにとって極めて重要なことです。

信号品質も問題の1つです。フェライトとセラミックスとを利用する方法だと、同相雑音減衰率がやや小さくて、700 MHz~2,500 MHzという携帯電話の通信周波数帯域では雑音を強く抑え込むことができません。また、フェライトを利用したコモン・モード・フィルタでは、低周波雑音は減衰しますが、周波数の高くなるほど減衰効果は低く、携帯電話の通信周波数帯域が雑音まみれになってしまいます。ただし機械的耐久性はあります。フェライトやセラミックスを利用する場合は、コイルを作る手段としてフェライトか低温同時焼成セラミックス (LTCC) 基板かいずれかを使います。フェライトやセラミックスを用いて比較的大きなデバイスを構築すれば、確かに大変優れた性能が発揮できますが、基板上で極めて大きな面積を消費してしまいます。フェライトを用いた比較的小さなデバイスでは、同相雑音の減衰率が低く、しかも低い周波数でしか効果を発揮せず、携帯電話の通信周波数帯域では雑音が筒抜けです。要するに、セラミックスやフェライトを利用したコモン・モード・フィルタでは、実用的なESD保護デバイスは構築できないということです。バリスタを使う方法もありますが、インタフェースに対して、ベースバンド・プロセッサやアプリケーション・プロセッサに対して十分に保護できません。

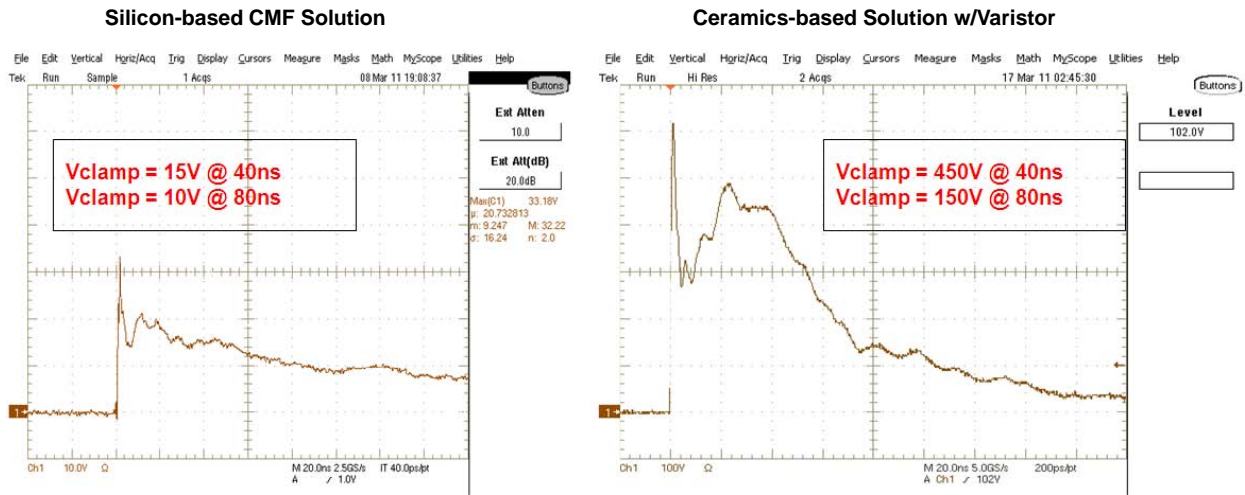


Figure 6. Comparison of ESD Clamping Capabilities of Ceramic and Silicon-based CMF Solutions

差動信号伝送では通常、複数の差動ペアが使われます。例えばHDMIには4組のデータ伝送路があり、コモン・モード・フィルタも4組存在します。MIPI、カメラ・シリアル・インタフェース(CSI)、ディスプレイ・シリアル・インタフェース(DSI)の場合は、差動信号伝送を行うためには最低2組の差動ペアが必要です(1組はデータ用、もう1組はデータ・インタフェースのためのクロック信号用)。

フェライトかセラミックスかいずれかを利用する場合は、比較的大きなLTCC基板の上に複数組のCMFを作り込むという方法で、複数の差動ペアに起因する問題に対処します。LTCC基板を大きくすれば、作り込めるCMFの数も増やせますが、そのぶん、機械的耐久性についての不安が増します。フェライトやLTCC基板は固くて脆いため、誤って落したり、スマートフォンの使用中にユーザがリジッド基板や

フレキシブル基板を誤って曲げたりすると、壊れてしまうことがあります。フェライトやLTCC基板にひびが入ると、CMFのコアが駄目になってしまい、EMIに対する抑制効果もESDに対する保護性能も消えかねません。半導体を利用して同じようなESD対策を講じる場合は、半導体を利用したCMF兼ESD保護デバイスに比べて、インタフェース1本あたりおよそ60%多くの基板面積が必要です。

また、従来型のCMFは、一般温度範囲(特に+85°C)で性能上に問題が生じます。高温になると、フェライト・コアが飽和し、抵抗値が増え、フィルタリング特性が変化してしまうのです。スマートフォンの場合は、パワー・アンプが稼動していて携帯電話システム経由でワイヤレス・デバイスが通信しているときには、内部温度が+85°Cもの高温に達することがあります。

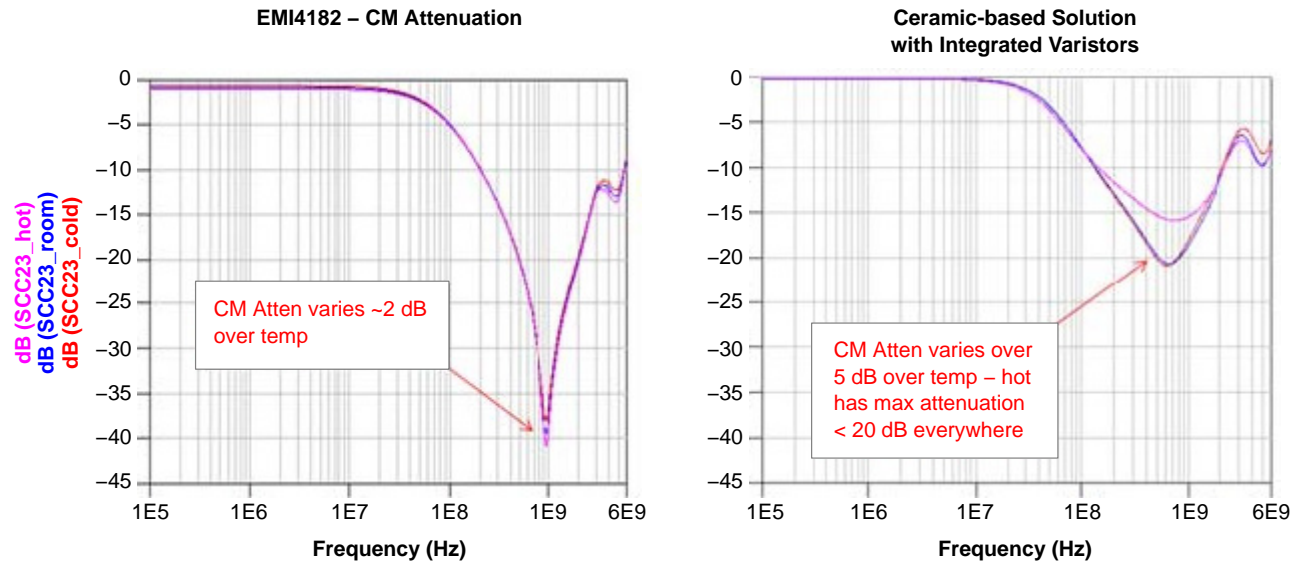


Figure 7. Comparison Common Mode Filter Performance for CMFs versus Ceramic Filters

従来型のCMFは、フェライト・コアかセラミック基板かいずれかを利用して、しかも比較的寸法が大きく、その性質上、用途は1つに限られます。確かにEMIは抑制してくれますが、実装面積や経費削減という点で効果が薄く、最先端のベースバンド・チップセットやアプリケーション・チップ

セットを使うスマートフォンにとって特に重要なESD保護に対しては有効に働きません。コスト/性能比、基板面積/性能比で考えると、従来型のCMFに魅力はないのです。Figure 8は、さまざまなフィルタリング・ソリューションのコストと性能とを比較したものです。

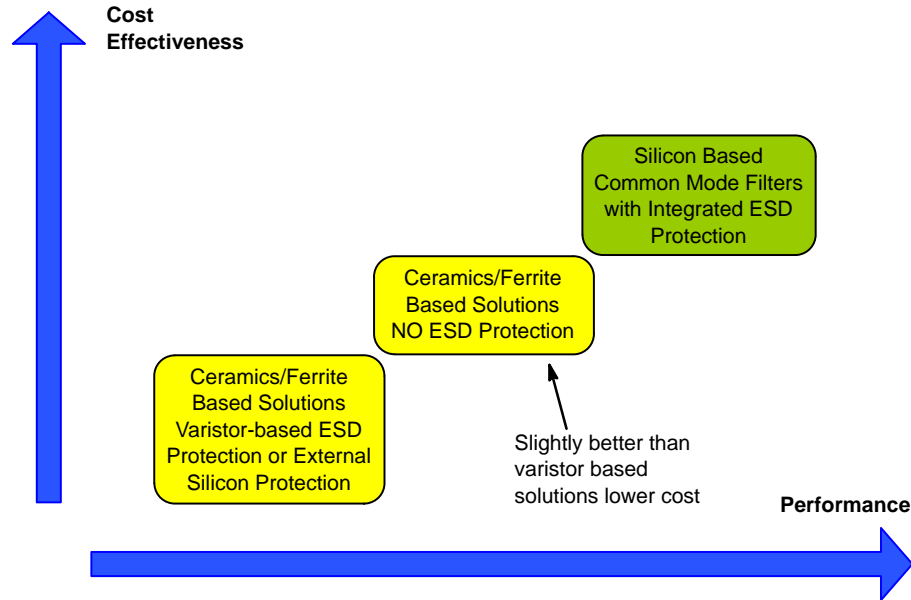


Figure 8. The Cost Effectiveness and Performance of Different Filtering Solutions

バリスタは、一部のコモン・モード・フィルタ・アレイに使われてはいますが、まったくの無駄であると言って構いません。携帯電話業界では知られたことですが、バリスタはESDに対する保護効果が低く、比較的大きなESDスパイクが保護対象のチップのところまで素通りしてしまうのです。そのため、ESD多発環境でのシステム保護に詳しい技術者は、すでに選択肢からバリスタを外しています。

EMI/ESDに対する統合的アプローチ

スマートフォンは今後も進化を続ける以上、従来型のCMFを選んでしまったのでは、スマートフォンをこれ以上複雑にすることができなくなり、機能性にも限界が生じて、大きな問題になるでしょう。しかし現在では、創意工夫を凝らした半導体技術の開発が行われているため、携帯電話メーカー各社は、それぞれの製品ロードマップに掲げた、機能満載のスマートフォンを実現することが可能です。セラミックやフェライトといった素材を組み合わせたフィルタではなく、半導体を用いたフィルタが構築できれば、スマートフォンのさらなる進化が約束されるでしょう。当社オン・セミコンダクターは、パラレル・インタフェースからシリアル・インタフェースへの時代の移り変わりをいち早く察知しました。シリアル・インタフェースの普及を牽引したのは、ディスプレイやカメラのインタフェース規格としてMIPIが採用されたことであり、また外部インタフェ

ース用としてHDMIや各種USBが受け容れられたことでした。当社は大きな期待を胸に、EMI抑制機能とESD保護機能とを兼ね備えた半導体デバイスの一体化されたシリアル・インタフェース用製品群を生み出すための大がかりな開発に乗り出したのです。

当社は、ロー・パス・フィルタ製品用として、アルミに銅を堆積させたインダクタの製造プロセスを開発しましたが、その際に培った技術を応用することにより、同じ製造プロセスでCMFコイルを半導体基板に作り込むことが可能になりました。このCMFコイル(コイル・ペア)は、母材となるアルミ金属を材料として作り、そのあとの半導体工程で銅を堆積させます。こうして作ったCMFコイルは、同相雑音の除去に有効に働いただけでなく、差動信号伝送にほとんど影響しないため、差動信号はほぼ素通りできます。

高いノイズ除去性能を持つ半導体チップ、強力なESD保護用の半導体チップなど、複数の半導体チップを1個にパッケージ化すれば、そのままスマートフォンの設計に利用できます。USB、MIPI、DSI、CSI、HDMIといった、広く普及しているインタフェースとの相性も抜群です。こうしたコモン・モード・フィルタは、将来的には、極低容量のESD保護デバイスに組み込まれ、その結果、集積度が上がって製造プロセスの合理化が図られることでしょう。

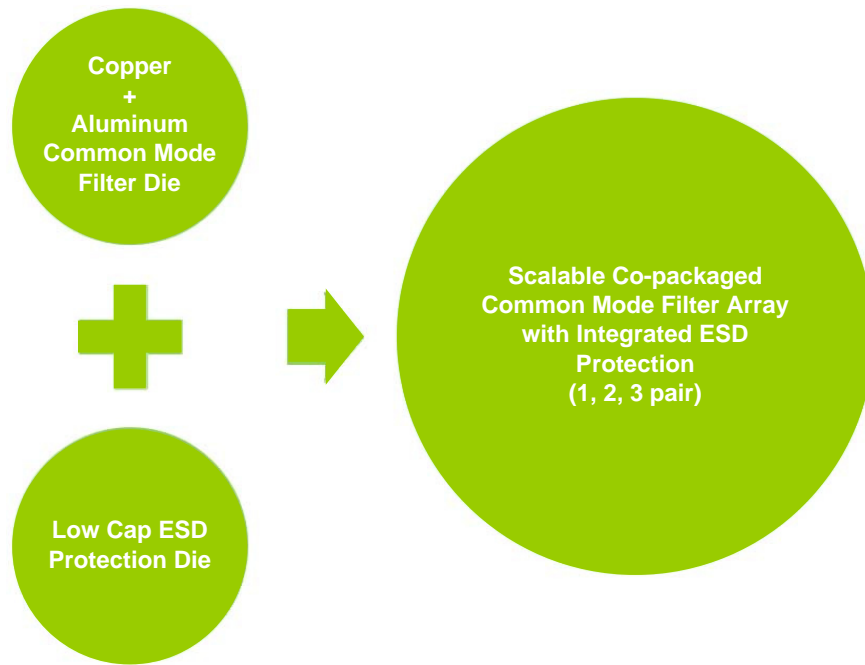


Figure 9. Manufacturing Flow of Silicon-based Common Mode filter

ディスクリート部品で構成したCMFや過渡電圧サプレッサー(TVS)ダイオードを使わずに、EMI抑制とESD保護とが1個のデバイスで実現できれば、スマートフォンの設計にとって大変便利です。なぜなら、基板に占める貴重な面積が少なく済み、部品数も減り、その調達作業も楽になり、さらには、複雑な配線が不要になって組み立て工程が簡単になるからです。

ESD保護機能をCMF基板に作り込んだ場合、信号品質が目に見えるほど落ち込むことはありませんし、ESDが繰り返し発生しても保護してくれます。集積度の高いこうしたデバイスは、基板上に占める面積がずっと少なくて済みます。また、500 MHzでの同相除去率が15 dB、遮断周波数が3 GHz [4]であることを見ても、コイルによる従来型のCMFに対して性能に遜色がなく、はるかに広い周波数帯域でノイズ抑制効果を発揮します。半導体によるこうしたCMFの重要な特徴としては、スマートフォンの通信周波数全域で広帯域に減衰特性を持っていることが挙げられます。例えばLTE通信や4G通信で重要な周波数である700 MHzでは25 dBという同相減衰率が期待できます。

半導体によるESD保護は、±15 kVもの高圧の直撃を受けても高速に反応できるため、バリスタによる製品よりも優れています。バリスタは、構造の違いもあって、相当遅い反応しかできません。反応が遅いということは、それだけ高い電圧にインタフェース部が曝されるということであり、ESDデバイスで保護すべき製品が壊れてしまうおそれがあります。ESDの試験環境では、半導体によるESD保護の抑圧効果はバリスタの15倍以上です。半導体の場合は、0.5 mmピッチのプラスチック・パッケージに収められるので、ピン配列に互換性があり、広く普及しているインタフェース規格との相性も抜群です。HDMI 1080p 24ビット・フル・カラーの信号を乱すことなく通過させることが可能です。

TND6001/D



Figure 10. Signal Integrity Demonstration of Si CMF in HDMI 1.4 Environment

Table 1. ON SEMICONDUCTOR'S SI CMF PRODUCT PORTFOLIO

Device	MIPI Camera Interface	MIPI Display Interface	HDMI Source Interface	USB 2.0 Interface
EMI4182	1 Data Pair, 1 Clock Pair, (Low Res)	1 Data Pair, 1 Clock Pair, (Low Res)	2 EMI4182 Address 8 TMDS	N/A
EMI4183	2 Data Pair, 1 Clock Pair, (High Res)	2 Data Pair, 1 Clock Pair, (High Res)	N/A	N/A
EMI2121	N/A	N/A	N/A	1 Pair Addresses D+, D-

結論として、最新の携帯電話では、大量のデータを用いるアプリケーションが人気で、以前よりも大型で解像度の高いディスプレイが使われています。そのことがデータ伝送を困難にしています。平行・データ伝送路の数を増やせばこの問題は解消されますが、スペース的な制約があって無理です。ユーザは、軽くて小さくてスリムで魅力的な携帯電話にすっかり慣れてしまい、もう元へは戻れません。こうした状況が、平行・データ伝送路からシリアル・データ伝送路への移行を促しているわけですが、移行すればしたで今度はEMI対策が大きな課題となります。

コモン・モード・フィルタとESD保護機能とを兼ね備えた高集積ICの登場によって、携帯電話業界が劇的に変化する可能性があります。フェライトやセラミックスを用いた従来の製品に比べて、携帯電話の通信周波数帯域における減衰率が大きいからです。システムの信頼性が高まり、部品数が減り、コストが下がり、それと同時に、スマートフォンに求められる高速通信が楽に行えるようになるでしょう。

TND6001/D

参考文献

- [1] Worldwide Quarterly Mobile Phone Tracker, IDC, February 2011.
- [2] Smartphone Futures 2011–2015, Portio Research, December 2010.
- [3] Signal Integrity – Simplified, by E. Bogatin, Prentice Hall, 2004.
- [4] ON Semiconductor EMI4182 datasheet, 2011.

HDMI is a registered trademark of HDMI Licensing, LLC.
MIPI is a registered trademark of MIPI Alliance, Inc.

ON Semiconductor及びONのロゴはSemiconductor Components Industries, LLC (SCILLC)の登録商標です。SCILLCは特許、商標、著作権、トレードシークレット(営業秘密)と他の知的所有権に対する権利を保有します。SCILLCの製品/特許の適用対象リストについては、以下のリンクからご覧いただけます。www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf。SCILLCは通告なしで、本書記載の製品の変更を行うことがあります。SCILLCは、いかなる特定の目的での製品の適合性について保証しておらず、また、お客様の製品において回路の応用や使用から生じた責任、特に、直接的、間接的、偶発的な損害に対して、いかなる責任も負うことはできません。SCILLCデータシートや仕様書に示される可能性のある「標準的」パラメータは、アプリケーションによっては異なることもあり、実際の性能も時間の経過により変化する可能性があります。「標準的」パラメータを含むすべての動作パラメータは、ご使用になるアプリケーションに応じて、お客様の専門技術者において十分検証されるようお願い致します。SCILLCは、その特許権やその他の権利の下、いかなるライセンスも許諾しません。SCILLC製品は、人体への外科的移植を目的とするシステムへの使用、生命維持を目的としたアプリケーション、また、SCILLC製品の不具合による死傷等の事故が起り得るようなアプリケーションなどへの使用を意図した設計はされておらず、また、これらを使用対象としておりません。お客様が、このような意図されたものではない、許可されていないアプリケーション用にSCILLC製品を購入または使用した場合、たとえ、SCILLCがその部品の設計または製造に関して過失があったと主張されたとしても、そのような意図せぬ使用、また未許可の使用に関連した死傷等から、直接、又は間接的に生じるすべてのクレーム、費用、損害、経費、および弁護士料などを、お客様の責任において補償をお願いいたします。また、SCILLCとその役員、従業員、子会社、関連会社、代理店に対して、いかなる損害も与えないものとし、SCILLCは雇用機会均等/差別撤廃雇用主です。この資料は適用されるあらゆる著作権法の対象となっており、いかなる方法によっても再販することはできません。

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada
Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910
Japan Customer Focus Center
Phone: 81-3-5817-1050

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com
Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>
For additional information, please contact your local
Sales Representative