

ISM関連機器を構成するアナログ回路系の EMC問題に関する研究

井 尻 和 夫*

[要 旨]

近年、電子機器のEMC規制の環境は成熟したものとなり、この環境に適合しないことは国際市場から製品を排除される結果を招くことと一体のものとなっている。国内においても不完全なノイズ対策は、製品の相対的な競争力を低下させる結果を招く可能性があり、早急なEMC問題への対応が求められている。

当センターに持ち込まれたEMC関連の相談の中で、ISM（工業・科学・医用）関連機器に共通するノイズ問題として、連続性の電磁波や、インパルス性の電圧ノイズ等の影響を受けやすく、誤動作や測定誤差の発生などの問題も多く、それを解決するためのローコストなノイズ低減技術が求められている。

本研究は、こうした環境に対応して行くために、アナログ回路網を有するISM関連機器のノイズ低減技術について改めて検証したものである。

1 ISM関連機器のアナログ回路に内在するEMC問題の背景と課題

近年、産業のグローバル化に伴い、製品の安全性と信頼性を国際規格に基づいて保証していくことが、国際市場に受け入れられる必須要件となっている。府内の関連業界においては、EMC規制をはじめとする規格に適合させて行くために多大な時間とコストを要しており、その改善が求められている。

1.1 基幹産業の技術競争力強化の重要な課題

製品の安全・EMC規格適合は、国際市場において製品製造・販売の必須要件となっているが、国内市場においては、医用機器のEMC規制の実施に留まり、工業、科学関連製品の規格化はされてい

るが法的規制がされていないために規格適合品との競争が生じている。

製品選択は、買い手が決めることであり、今日、グローバルスタンダードと位置付けられているEU市場におけるEMC指令、低電圧指令、RoHS指令等への対応の遅れは、製品競争力の相対的低下を招き、市場から放逐されることを意味しており、関連業界の対応を加速させる必要がある。

また、各指令に適合させるためには、製品改良と認証取得に多大なコストがかかるために、弱小ベンチャー企業や機械装置の生産を主とした企業、回路系を外部に依存している中小企業等にとって、この技術依存とコスト負担が致命傷となる可能性もあり、技術の高度化支援の強化が求められている。

1.2 製品ライフサイクルに依存した技術更新の遅れと不完全対策

80年代に採用された量産のための低コスト化を

* 応用技術室 専門員

指向した設計手法が、EMC対策技術と相反するところが多く、関連業界でのEMC問題を複雑化させている現状がある。

今日、EMC問題の多くは、対策部品・ICの高集積化・小電力化と実装基板の高密度化等によって解決されてきたが、ISM関連機器に内在する問題は、低コスト化を指向した設計手法のずさんな見直しと共に、製品のライフサイクルに依存した技術更新の遅れや、シールド不良、共通インピーダンスを無視した不完全接地、フィルタ機能を低下させる機内配線網のクロストーク等が、ノイズの発生源、伝送路、受信経路を複雑化させノイズ問題の解決を困難にしている。

1.3 製品設計技術の更新とそれを担う技術者の資質と技術管理

1.2で示したノイズ問題への対応が、後対策を主とした危機的対応に終始し、基本設計段階からの見直しがされていないことも多々見られる。また、すでに確定しているセンシング技術とアナログ回路系の見直しと、アナログICやノイズ対策部品とその実装技術の更新を遅らせている要因が、製品設計を携わる技術者の技量への依存度が高いことや、製品開発・改良にかかる過度なコスト意識などに起因していることが多く、このことが内外市場への規格適合を困難にしていることも無視できない。

1.4 EMC問題の解決への課題

アナログ回路設計の技術革新を加速する上で重要なことは、次に示すような改良課題を速やかに実現することである。

- ① コモン性外乱の影響を軽減する入力回路と伝送路の形成

従来から多用されている不平衡型差動のプ

リアンプ回路を、並行型差動アンプ回路に置き換えることによって、測定ケーブルを2芯シールドの平衡伝送ケーブルに換えることができ、コモン性外乱ノイズの影響を大幅に軽減することができる。

- ② 耐ノイズ性の高いセンシング技術への移行
センサ技術については、従来のようになりニア特性に固執する必要はなく、非線形応答するものでも測定の確度と再現性を確保できればリニア補正をデジタル処理すれば利用可能である。また、微弱電気変位量を直接周波数変位に変換して計測する等、センサとその周辺回路で耐ノイズ性の高いセンシング技術に移行していくことが必要である。

- ③ アナログ演算処理系のデジタル処理系への移行

センサからA/Dコンバータに至るアナログ処理系をデジタル演算処理系に可能な限り移行させ、回路網を短縮することによって外来ノイズの影響を大幅に軽減することができる。また、従来のアクティブフィルタや積分回路の処理機能を、ロックイン検波法を用いたデジタル系での平均化処理に移行することも測定精度を向上する上で重要である。

- ④ 測定環境と測定回路に重畳されてくる外乱・内乱ノイズの計測とキャンセル回路の利用

測定系に影響する外乱・内乱の暗ノイズを計測して差分補正を行うと共に、マルチプレクサとD/Aコンバータ等を測定系に挿入することによって、センサからA/Dコンバータに至るアナログ回路網のゲイン・ドリフト等の自動補正を実現することは、部品点数の削減とS/N比の改善を図る上で重要である。

- ⑤ 配線網のクロストークの軽減とGND補強

機器内のインターフェイスにシリアルデータリンクを採用してデジタル伝送路を削減すると共に、機外・機内の配線間のクロストークを軽減する配置・配線の実現や、アナログ・デジタルのGND間の等電位接続点でのノイズ電流のリークを抑制することもデジタル系のスイッチングノイズの影響を低減するうえで重要である。

2 主要なノイズ発生原因・伝送路・受信経路の特徴

ISM関連機器に共通するアナログ回路の回路構成を図1に示す。それぞれの回路を構成するOPアンプやデジタルICなどの半導体デバイスは、集積回路の構成上すべての配線ピンが放射・伝導の変調波の照射に対して復調の問題を発生する可能性があり、回路構成によっては、低周波の外乱によっても大きな影響を受けるものもある。

アナログ回路系へのノイズの進入経路は、回路に接続されるDC電源線、センサからの信号線、制御線等の接続ケーブルと、機器内のデジタル回路やパワー回路とこれらの回路に接続されているケーブル等、各種の伝送線路から直接進入してくる経路と伝送線路間のクロストークによる経路である。特に、外部接続されたケーブルは、ケーブル長に依存した共振アンテナとして作用し、放射

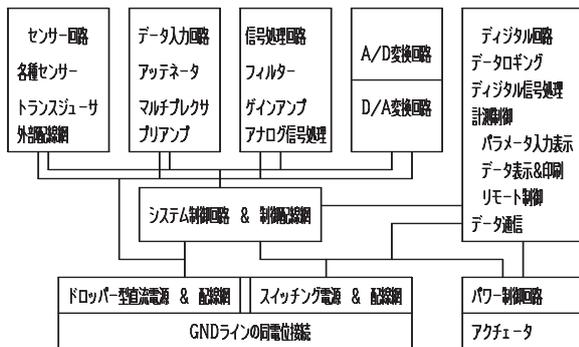


図1 共通するアナログ回路の回路構成

ノイズの送受信経路として作用するため、不完全なシールド接地はノイズの進入経路を補強することになる。筐体を構成するハウジングの接続不良に起因した不完全シールドもまた、平板アンテナとして作用し、放射ノイズの送受信経路を形成する。次に、図1に示した回路ブロックのノイズ問題に係る特徴を列記する。

2.1 センサ部からデータ入力部

センサ部からプリアンプに至る2つの回路例を図2、図3に示す。図2は、不平衡型差動アンプに不平衡ケーブルを接続した回路例である。外乱として照射された電磁波ノイズをインピーダンスの異なるシングルエンド信号としてOPアンプで受信されるため、ケーブルに生じたコモンノイズがノーマルノイズとして出力信号に重畳してくる。対策方法としては、コモンモードチョークをケーブルに挿入する方法が有効である。

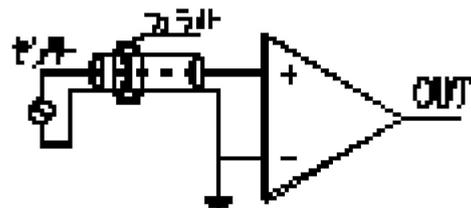


図2 不平衡型差動アンプ

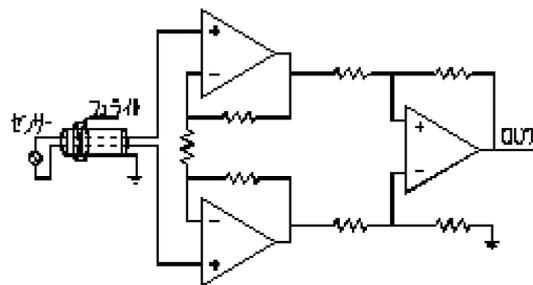


図3 平衡型差動アンプ

である。

ケーブルに重畳されてくるコモンノイズは、OPアンプで相殺され出力には重畳されないため、通過帯域に於いて120dB程度のコモンモード除去比を実現することができる。しかし通過帯域をこえる高周波の電磁波ノイズに対しては有効ではなく、コモンチョークを挿入する必要がある。また、OPアンプの入力インピーダンスは無限大に近く、接続ケーブルが、その長さに依存した共振型アンテナとして作用する。そのために、シールドの不完全なFGへの接地は、電磁波ノイズの主要な送受信経路を形成することになる。また、OPアンプの入力部にダンピング抵抗を挿入して反射によるリングングノイズの発生を抑制することや、CR等のパッシブフィルタを挿入して、高周波ノイズを低減することも有効である。

2. 2 信号処理回路からA/D、D/A変換回路

信号処理回路に多用されているアクティブローパスフィルタの回路例を図4に示す。これらの帰還回路を有するフィルター回路は、通過帯域をこえる閉ループゲインの上限以上の周波数域では周波数応答を制御できないために、受信した高周波の変調波を復調する問題が発生する。この復調を抑制するためには、帰還回路に高域特性の優れた小容量のLCR部品を帰還回路に付加することに

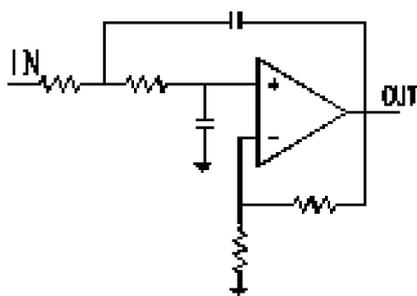


図4 アクティブローパスフィルタ

よって高域特性を改善することが有効である。しかし、高周波のイミュニティ対策の観点から見ると、アクティブフィルタは極力使用せず、復調の問題を低減できるパッシブフィルタに置き換えることが望ましい。

また帰還回路は、高速のスルーレートを持つインパルス電圧やステップ波が侵入してくると、減衰振動波やバースト状のリングング波を発生して不安定となる。さらに、大きな時定数を持つような積分型フィルタ回路では、低周波のパルス変調された電磁波が侵入してくると電圧を積もらせることもある。

これらのことから、変調波の復調問題を解決する最も有効な方法は、アクティブフィルタや積分回路等のアナログ信号処理回路の機能をすべてデジタル信号処理系に移行させることである。ロックイン検波法とデジタルフィルタを併用することで復調の問題を大幅に軽減することができる。

2. 3 システム計測・制御回路と配線網

ISM関連機器の機内には図1に示したような回路ブロックが機能を優先して配置されているために、ブロック間を接続している各種の信号線と、電源線・GND線等が細長く、3次元の様相を呈して配線されている。

また、デジタル信号線、動力線、アナログ信号線を不用意にダクト配線したものや、束ねて固定配線しているものが多々見受けられる。これらの配線方法は、ローコスト化を優先した方法であるが、配線間、配線・基板間など、随所でクロストークを発生させ、ノイズ対策を困難にしている。

クロストークを低減するための回路ブロックの配置・配線とハウジングのシールド性能を見直すと共に、共通インピーダンスとして作用するGND

線の低インピーダンス化、デジタル回路とのゼロ電位接続点のフィルタ補強、機器内インターフェイスへのシリアルデータリンクの採用、外部接続線のフィルタ補強、計測・制御基板の機能分散、機内配線のシールドと接地の補強、パワー回路系のシールドなど、ノイズ対策のための改善が必要である。これらの改善を軽視することは、ノイズ対策を困難にし、多大な時間とコストを必要とすることになる。

3 ノイズ対策に関わる若干の問題

ノイズ対策は、発生源・伝送路・受信経路を特定し、可能な限り発生源に近い箇所での対策が望ましいが、製品完成後の後対策では、シールドリング、フィルタリング等の補強に依存するところが大きく、対策に多大な時間とコストを費やしているのが現状である。速やかに設計段階からノイズ対策を考慮した設計手法を導入し、開発時間の短縮とコスト低減を実現して行く必要がある。

EMC規格では、規制周波数域に発生するノイズのパワーレベルを規定しているために、規格測定に電波暗室を必要とし、EMIレシーバ、スペアナ等の周波数領域の測定器を使用しているが、ノイズ問題の発生源となっている回路網や配線網に内在する共振系とその過渡応答の解析は困難である。ノイズ対策のための測定方法としては、時間・周波数の両領域を総合して解析することが重要であり、問題解決を早めることができる。

近年、デジタルオシロスコープのダウンサイジングが急速に進み、高周波信号のサンプリングが低コストで可能となった。このことによって、共振系とその過渡応答の解析が容易になり、ノイズ対策のために周波数領域の規格測定器に固執する必要がなくなった。

ノイズ問題の検討は、現象を決定付けている原

因を探る下降分析と、複合した原因から問題の全体像を再構成する上方への総合を行う作業の繰り返しであるが、次に示すようなノイズ対策のテンポを決定付けている若干の問題があることに注意を払う必要がある。

- ・他言的、順応的対応をする。
- ・時系列にのみ物事を見る。(視点を変えて見ることが苦手)
- ・思い込み。(これまでの経験を過信する)
- ・オウム返し。(自信がないためか、自分で判断しない)
- ・聞く耳を持たない。(自信過剰)
- ・自分の知識のみで突っ走る。(検証した結果を忘れて同じことを繰り返す)

4 まとめ

今回は、当センターに持ち込まれたISM関連機器に共通する特徴的なノイズ問題として存在する、連続性電磁波の復調の問題やインパルス性のノイズによるリングングの問題等の発生原因とその対策方法について検討した。

アナログ回路系に於けるEMC問題を解決して行くために提示した次の5つの技術課題は、システム計測・制御回路の基幹部品であるアナログICの高機能化と低ノイズ化、CPUやカスタムLSIの高集積化による処理機能の高度化と処理速度の高速化等に伴い容易に実現できるものであり、早期に導入されることを期待する。

- ① コモン性外乱の影響を軽減する入力回路と伝送路の形成
- ② 耐ノイズ性の高いセンシング技術への移行
- ③ アナログ演算処理系のデジタル処理系への移行
- ④ 測定環境と測定回路に重畳されてくる外乱・内乱ノイズの計測とキャンセル回路の利

用

⑤ 配線網のクロストークの軽減とGND補強

今後とも、提示した「EMC問題の解決への課題」に沿って個別企業への技術支援を推進して行く予定である。

また、耐ノイズ性と機能性の高いセンシング技術については、個々に検討して行く予定である。

(参考文献)

実践ノイズ通減技法

ジャテイク出版 出口博一 監訳