



日本ウッドワードガバナー株式会社
〒261-7119 千葉県千葉市美浜区中瀬 2-6
ワールドビジネスガーデン・マリブウエスト 19F

電子ガバナ・システムの
電磁干渉の制御



警告：マニュアル原文の改訂に注意

この文書の元になった英文マニュアルは、この翻訳後に再び加筆、訂正されている事があります。このマニュアルを読む前に、このマニュアルのレビジョン(版)と最新の英文マニュアルのレビジョンが一致しているか、必ず確認してください。

人身事故および死亡事故防止の為の警告



警告—マニュアルの指示を厳守する事

この装置の設置、運転もしくは保守を行う場合には、事前にこの操作説明書とその他の関連する印刷物をよく読んでおく事。プラントの運転方法、その安全に関する指示、および注意事項についてよく理解しておかなければならない。もしこのような指示に従わない場合には、**人身事故**もしくは物損事故が発生する事もあり得る。



警告—マニュアルの改訂版に注意する事

この説明書が発行された後で、この説明書に対する変更や改訂が行われた可能性があるため、読んでいる説明書が最新であるかどうかを弊社のウェブサイト www.woodward.com/pubs/current.pdf でチェックする事。各マニュアルのマニュアル番号の末尾に、そのマニュアルの最新のレビジョン・レベルが記載されている。また、www.woodward.com/publications に入れば、ほとんどのマニュアルを PDF 形式で入手する事が可能である。もし、そのウェブサイトが存在しない場合は、最寄の弊社の支社、または代理店に問い合わせる事。



警告—オーバースピードに対する保護

エンジンやタービン等の様な原動機には、その原動機が暴走したり、その原動機に対して損傷を与えたり、またその結果、**人身事故**や**死亡事故**が発生する事を防止する為に、オーバースピード・シャットダウン装置を必ず取り付ける事。

このオーバースピード・シャットダウン装置は、原動機制御システムからは完全に独立して動作するものでなければならない。安全対策上必要であれば、オーバテンペレイチャ・シャットダウン装置や、オーバプレッシャ・シャットダウン装置も取り付ける事。



警告—装置は適正に使用する事

本製品の機械的、及び電気的仕様、または指定された運転条件の限度を越えて、許可無く本製品の改造、または運転を行った場合、**人身事故**並びに、本製品の破損も含む物損事故が発生する可能性がある。そのような無許可の改造は、(i)「製品およびサービスに対する保証」に明記された「間違った使用方法」や「不注意」に該当するので、その結果発生した損害は保証の対象外となり、(ii)製品に関する認証や規格への登録は無効になる。

物的損害および装置の損傷に対する警告



注意

この装置にバッテリーをつないで使用しており、そのバッテリーがオルタネータまたはバッテリー充電装置によって充電されている場合、バッテリーを装置から取り外す前に必ずバッテリーを充電している装置の電源を切っておく事。そうしなければ、この装置が破損する事がある。

電子制御装置の本体およびそのプリント基板を構成している各部品は静電気に敏感である。これらの部品を静電気による損傷から守るには、次の対策が必要である。

- 装置を取り扱う前に人体の静電気を放電する。（取り扱っている時は、装置の電源を切り、装置をアースした作業台の上にのせておく事。）
- プリント基板をプラスチック、ビニール、発泡スチロールに近付けない事。（ただし、静電気防止対策静電破壊防止対策が行われているものは除きます。）
- 手や導電性の工具でプリント基板の上の部品や導通部分（プリント・パターンやコネクタ・ピン）に触らない。

警告／注意／注の区別

警告： 取り扱いを誤った場合に、死亡または重傷を負う危険な状態が生じることが想定される場合

注意： 取り扱いを誤った場合に、軽傷を負うかまたは物的損害のみが発生する危険な状態が生じることが想定される場合

注： 警告又は注意のカテゴリーに記された状態にはならないが、知っていると便利な情報

改訂されたテキスト部分には、その外側に黒線が引かれ、改訂部分であることを示します。

この出版物の改訂の権利はいかなる場合にもウッドワードガバナー社が所有しています。ウッドワードガバナー社からの情報は正確かつ信頼できるものでありますが、特別に保証したものを除いてその使用に対しては責任を負いません。

© Woodward Governor Company, 1988

All Rights Reserved

電子ガバナ・システムの電磁干渉の制御

要約

電子ガバナ・システムは、他の電気／電子装置のすぐ近くに設置され、運転されますが、このような電気／電子装置は、電磁波を放射します。電磁放射は、SCRの整流器やモータや発電機やリレーやスイッチング電源が動作する時に、発生します。電磁放射が無線の送信器やレーダや航路標識から行われている場合は、恒常的なものになります。このような電磁放射が他の装置に悪影響を与える場合に、これを電磁干渉(EMI: Electromagnetic Interference)と言います。

本書では、電磁干渉が発生するメカニズムと、その防止方法を説明します。通常の前動機制御システムの配線を行うに際して、実際に電磁干渉をどのように克服するかという事のみについて、解説します。

干渉の経路

電磁干渉によるノイズが電子装置に進入するには、基本的に2つの経路があります。

1. 2台以上の電子装置が同一のグラウンドに接地されている場合、ある装置からグラウンドに流れる電流によって、他の装置のグラウンド・レベルが変動する。
2. ノイズが激しい場所に信号線を通した為に、信号線がノイズを拾って、それが電子回路に影響を与える。

ノイズ低減の方法

電磁干渉によるノイズを低減するには、以下のふたつの方法があります。

1. 装置の接地を正しく行う。
2. 配線をシールドする。

上記の方法を使用すれば、電子ガバナ・システムを組み込んだどのような制御システムでも、電磁干渉によるノイズを除去できるはずです。

装置の接地

以下のような理由から、装置の接地は必ず正しく行わなければならない。

1. 落雷や部品の故障による高電圧の発生を防止する為

2. 制御システムに接続されている全ての装置のグラウンド・レベルを一定にする為

各装置のグラウンドを正しくすると、電磁干渉によるノイズの影響を非常に受けにくくなります。

グラウンド

グラウンドとは、電位がある一定の点または平面であり、電子制御システムの電位の基準になります。グラウンドは、保護接地に接続して大地と同じ電位にする事もありますし、大地に対して浮かす事もあります。グラウンドで重要な事は、等電位であると言う事です。現実には、どのような物体にでも電気抵抗(インピーダンス)がありますので、電流が流れている物体の2点間で電位が同じになるという事はありえません。従って、良いグラウンドとは、グラウンド内部の電位が常に一様で、どこに接地しても同じ効果が得られるグラウンドの事です。

グラウンド・システム

以下の理由があるので、グラウンドは注意深く設置しなければなりません。

1. コモン・グラウンドにインピーダンスがある時に、2台以上の装置からコモン・グラウンドに流れ込む電流によって、グラウンド・レベルでノイズが重畳する事を防止する為
2. 磁場およびグラウンドの電位の差によって、グラウンド・ループが発生する事を防止する為

正しい接地を行う為にまずすべき事は、電子制御システムのシグナル・グラウンドを別にとる事です。通常の電子制御システムには、3種類のグラウンドがあります。

1. ハードウェア・グラウンド(筐体接地)。このグラウンドは、装置の筐体や、シャーシや、ラックを接続する為のものです。交流の電源を使用している場合、ここに、緑色の保護接地線を接続します。
2. パワー・グラウンド。モータや、リレーや、SCRのようなノイズを発生し易い装置からの電流の戻りラインです。
3. シグナル・グラウンド。制御システムの電子装置の電圧の基準点になります。他のグラウンドを接地アースする時に、その接地アースの近くで、シグナル・グラウンドと他のグラウンドを接続する事ができます。

図1は、シグナル・グラウンドを分離する事の重要性を示しています。

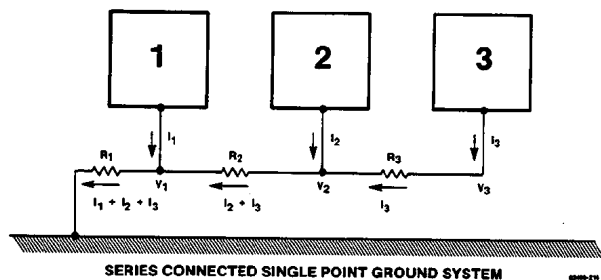


図1. 1点グラントを連結した場合

図の抵抗値は、グラントのインピーダンスを表します。回路1と回路2と回路3から流出する電流によって、(装置1の)グラントに電位が発生します。

$$V_1 = R_1 (I_1 + I_2 + I_3)$$

装置2のグラントの電位は、以下のようになります。

$$V_2 = R_1 (I_1 + I_2 + I_3) + R_2 (I_2 + I_3)$$

装置3のグラントの電位は、以下のようになります。

$$V_3 = R_1 (I_1 + I_2 + I_3) + R_2 (I_2 + I_3) + R_3 I_3$$

簡単でしかも安価である為に、このようなグラント・システムがよく使用されます。ノイズの発生を防止する為に、最低限、このようなグラント・システムを設置すべきです。このようなグラント・システムを使用する場合、グラントの電位ができるだけ低くなるように、電子制御装置をできるだけ接地アースの近くに据え付けます。

図2は、低周波ノイズを抑える為に設計されたグラント・システムです。ハードウェア・グラントとパワー・グラントとシグナル・グラントには、それぞれ別個の戻り電流が発生します。各グラントで検出されるグラント電圧は、単に、グラントを流れる電流にグラントのインピーダンスを掛けたものです。

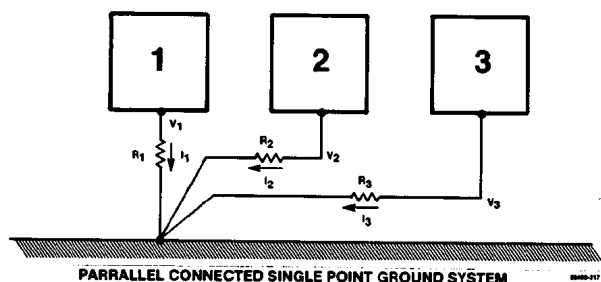


図2. 各グラントを1点グラントに並列に接続する場合

高周波に対する接地

上のグラント・システムは、10 MHz 未満の周波数のノイズに対して有効です。しかし、場合によっては、高周波の送信器

の近くに原動機制御システムを設置しなければならない事があります。このような場合、グラントの配線が長くなるので、1点グラントを使用するのは適切ではありません。例えば、10 AWG の電線の 1m あたりのインピーダンスは、周波数 60 Hz では 0.0033Ω ですが、27 MHz では 225Ω になります。

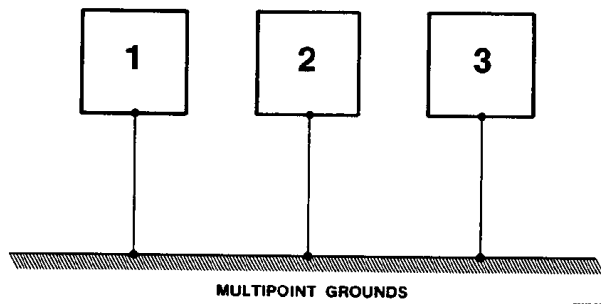


図3. 高周波ノイズに対処する為の多点グラント・システム

高周波ノイズを除去するには、グラントへの多点接続が適しています。コモン(0V)の端子は全て、シャーシ・グラント(筐体接地)に直接接続します。それから、筐体全て、太い銅の電線で接続します。そして、装置のできるだけ近くに接地極を打ち込み、装置と接地極を太い電線で接続します。装置の電源ラインを配線する時に、パワー・グラントが筐体を通らないように配線して、シグナル・グラントとパワー・グラントを分離すると、一層効果的です。

グラント・ループ

グラント・ループ発生の原因は、以下のふたつです。

1. グラント(上の2点間)の電位差
2. 電磁場の乱れ

前のセクションでは、どのようにしてグラントの電位差が発生するかを説明しました。図4は、グラントの電位差が、どのようにして電子制御システムに干渉するかを説明しています。

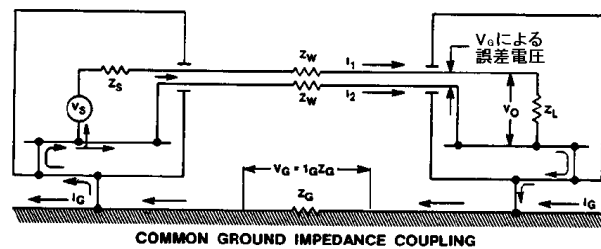


図4. コモン・グラントのインピーダンス・カプリング

接地電流 I_G が、インピーダンス Z_G のコモン・グラントを流れる事によって、グラントの電位差 V_G が発生します。この電位差によって、信号の受け側と送り側の間の配線で形成するループに電流が発生します。この電流は、信号の受け側の負荷の両端に、誤差電圧を発生させます。

負荷分担システムで、グラントに直流の電位差が生じると、負荷の不均衡が生じる事になります。グラントの電位差が交流であれば、負荷分担の動作が不安定になったり、制御システムの応答が遅くなったりします。従って、グラントの電位差が生じないように、電子装置は、専用のグラント線で接続します。

電磁波も、ループに電流を発生させます。図5は、信号線とグラント(コモン・ライン)によって構成されるグラント・ループです。電磁場の変動が配線のループを縦断すると、それに伴って(発電機などで発生する誘導)電流が発生します。これにより、受け側の装置の負荷(抵抗)の両端に(誤差)電圧が発生し、これが測定誤差の原因になります。

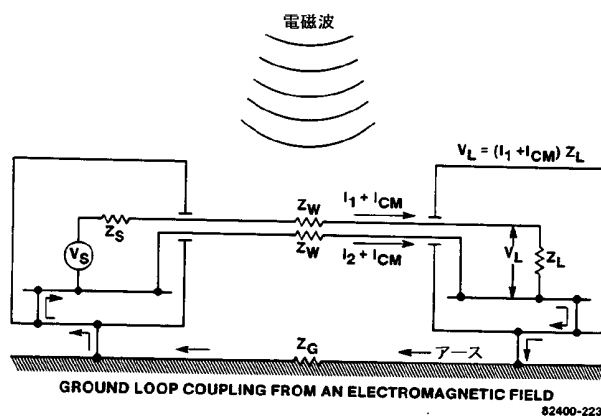


図5. 電磁波によるグラント・ループのカプリング

ループ電流の大きさは、電磁波の強度と、ループの面積に比例します。従って、ループ電流を抑えるには、電磁波の強度とループの面積を小さくします。ループの面積は、電子装置どうしをできるだけ近づけて配置し、信号線とグラントをできるだけ近づけて配線すれば、小さくすることができます。電磁波の影響は、信号線を電磁波の発生源からできるだけ離して配線し、配線の向きが電磁波に対して直角になるようにすれば、抑える事ができます。電磁波の発生源と配線の間にシールドを置けば、ループ回路に到達する電磁波の強度が減少します。シールドの設置の項で、詳しく説明します。

電磁干渉によるグラント・ループの問題を解決する為の最も効果的な(かつ最もコストのかかる)解決方法は、ループを切断する事です。図6は、信号の送り側(の0V)がグラントに対して浮いているので、図4や図5にあるようなループができていません。

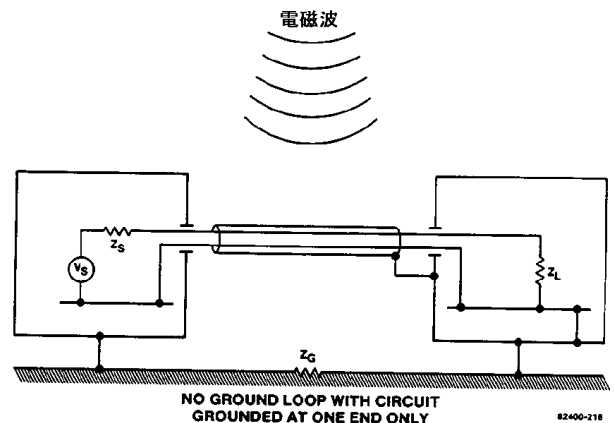


図6. 回路が一方の側でのみ接地されているのでグラント・ループがない場合

送り側または受け側の回路にアイソレート電源を入れる事によって、グラント・ループを切断する事ができます。また、4-20mA や 1-5V のようなプロセス信号を使用するのであれば、ループ・アイソレータを使用します。アイソレートされた回路を、シールドなどを経由して、知らないうちにグラントに接地しないように、配線時にはよく注意してください。グラントに接地すれば、ループを切断した意味がなくなります。

接地には関係ありませんが、図7に示すように、電磁波の影響によって、信号線とグラント・ラインで形成されるループに電流が発生します。

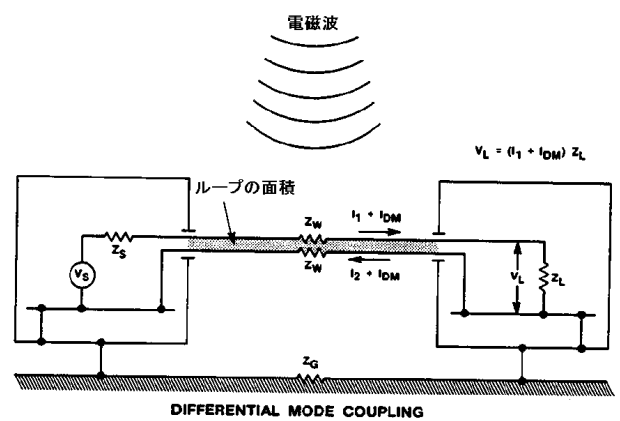


図7. 信号線とグラント・ラインによって形成されるループへのノーマル・モード・ノイズ

この場合でも、電磁干渉を抑えるには、ループの面積を小さくし、電磁波の強度を弱めます。ループの面積は、配線にツイスト・ペア線を使用し、端子付近の信号線の開きを最小にする事によって、小さくすることができます。また、ツイスト・ペア線を使用すると、低周波ノイズの影響を除去する事もできます。

まとめ

低周波の電磁干渉を抑える最も効果的な方法は、グラウンドの設計・配線を正しく行う事です。設計時には、以下の事に注意します。

1. (装置間)にグラウンドの電位差が発生しないようにする為に、電子装置のシグナル・グラウンドをパワー・グラウンドや保護接地から分離する事。
2. 電磁干渉を抑える為に、信号線のループの面積を最小にする事。
3. 電気関係の配線を、電磁波の発生源からできるだけ遠く離す事。
4. シグナル・グラウンドを一点のみで接地し、他の点では接地しない事によって、グラウンド・ループを除去する事。

シールドの設置

ノイズを抑える為に次に重要な事は、信号線をシールドする事です。シールドのとり方は、干渉するノイズの周波数と、干渉波が電氣的に起こされているのか、磁氣的に起こされているのかによって違ってきます。ノイズ源からノイズの影響を受け易い回路を引き離しても、なお、ノイズの影響がなくならない場合、これは電氣的なノイズです。磁場の強さは、距離の3乗に比例して弱くなりますが、電場の強さは、距離に比例して弱くなります。大電流を搬送する交流の電線は、磁氣的なノイズの発生源になりますが、高電圧・小電流の電線は電氣的なノイズの発生源になります。

電場(電波)に対するシールド

電場によって発生するノイズから装置を保護する事は、比較的簡単です。以下のふたつの指示に、従います。

1. シールドから露出する電線の長さをできるだけ短くする。
2. シールドの接地を正しく行う。

信号線の、シールドから露出する分の長さは、50 mm 以下になるようにしてください。信号線を途中でシールドから露出させる事は、極力避けてください。ケーブルの途中で中継端子台などを設けると、その為に、かなりの範囲で信号線がシールドから露出する事になります。

低周波の電気ノイズであれば、グラウンド・ループの発生を防止する為に、1点アースにします。この1点アースを、どこで行うかが重要です。大抵の場合、シールドの接地は、信号の受け側の装置でまとめて行います。グラウンドは、信号のレベルの基準となる電位です。グラウンドが正しく設置されていれ

ば、グラウンドとはシグナル・グラウンドの事であり、シャーシ・グラウンド(筐体接地)や保護接地の事ではありません。図8は、シグナル・グラウンドをシールドから分離して、シールドを筐体に接地した例です。グラウンド・ループにインピーダンスがある為に、ノイズ電流が流れれば、シールドと信号線の間にコモンモード電圧が発生します。ノイズ電圧によって、制御装置の回路に容量性の電圧変動が発生します。その結果、シールド全く行わない場合よりも、かえってノイズに弱くなります。

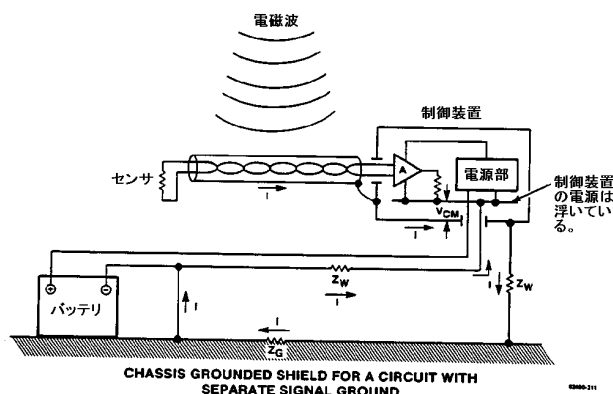


図8. シグナル・グラウンドとシールドを分離して、シールドを筐体に接地する場合

ある回路が浮いていれば、その回路のシールドは回路のグラウンド(コモン)に接続しなければなりません。この場合、シールドを筐体に接続しても、何の意味もありません。

場合によっては、例外的に、シールドを回路の受け側で接地する事があります。アンプ付きの熱電対でアンプのグラウンドが浮いているものを使用する場合、シールドの接地は熱電対側で行います。もうひとつの例外に、負荷分担ラインがあります。負荷分担ラインでは、信号線の両端は、信号の送/受信器です。制御回路がアイソレート(グラウンドから分離)されていなければ、シールドを(接地ループの)途中で切断・分離します。制御回路がアイソレート(グラウンドから分離)されていれば、制御装置とグラウンドの間にグラウンド・ループができるような配線がない場合に限り、シールドをケーブルの両端で回路のグラウンド(コモン)に接続してもかまいません。

高周波のノイズに対するシールドのとり方は、低周波のノイズに対するシールドのとり方とは、違います。シールドの長さが、ノイズの波長の $1/20$ 以上になると、シールド付きツイスト・ペア線を使用しても、あまり効果はありません。周波数 60 Hz では、波長は 3000 マイル以上です。しかし、周波数 27 MHz であれば、波長は 37 フィートです。シールドの長さが 2 フィート以上になれば、27 MHz のノイズによる影響を受ける可能性があります。シールド付きツイスト・ペア線の 1 点アースは、低周波のノイズに対してのみ有効です。

(シールド線を)2フィートおきに接地するのは、工事が大変であり、接地ループ形成の原因にもなります。高周波ノイズに対しては、金属製の導管を使用して、シールド、すなわち導管の全域に渡って接地すると、効果的です。幸いな事に、電磁干渉を行うような高周波ノイズは、滅多に発生しません。通常、電子装置をキャビネット内に収納すれば、電磁波の影響を防ぐのに十分です。

磁場(磁力線)に対するシールド

磁場に対するシールドは、電場に対するシールドに比べると、多少難しくなります。磁場は、接地ループの中に電流を発生させます。ループ全体をシールドで覆わなければ、シールドしても意味はありません。図9に、接地ループの面積と、磁場によって発生する電流を示します。ケーブルをシールドしても、接地ループの影響が無くならない事に注意してください。電場に対して行うようなシールドでは、磁場に対して効果はありません。

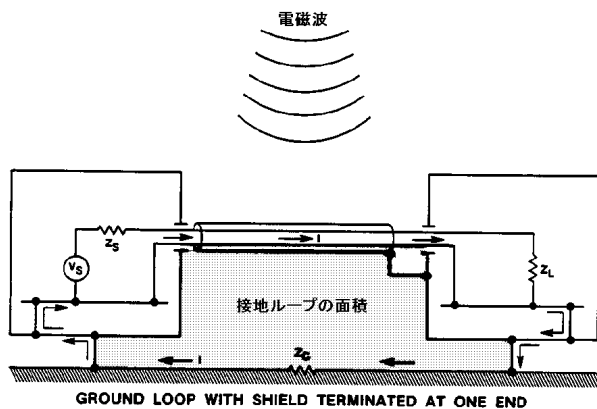


図9. シールドを一方の側だけで接地しても、磁場に対するシールドにはならない

図10のように、配線の両端でシールドを接地すると、信号線に接地ループが発生しないようになります。しかし、たとえそうしたとしても、シールドの中にグランド・ループができて、これに大きな電流が流れれば、信号線の中にノイズが発生する事になります。

磁場に対して回路をシールドするには、ループの面積を小さくし、磁場の強度を弱め、電源をアイソレートする事によってグランド・ループをなくす方法が、最も効果的です。

シールドを(磁力を発生させる装置に向けて置いて)両端で接地すると磁場の強度を弱める事ができますので、磁力線を発生させる装置の前面にシールドを置きます。鉄などの磁性体で、磁力線の発生源を完全に覆います。非常に大きなグランド電流が発生する事がありますので、アーク放電の発生を防止する為に、(磁性体である)キャビネットやドアの接

地を入念に行う必要があります。電子部品や配線を、このキャビネットの中に入れないでください。

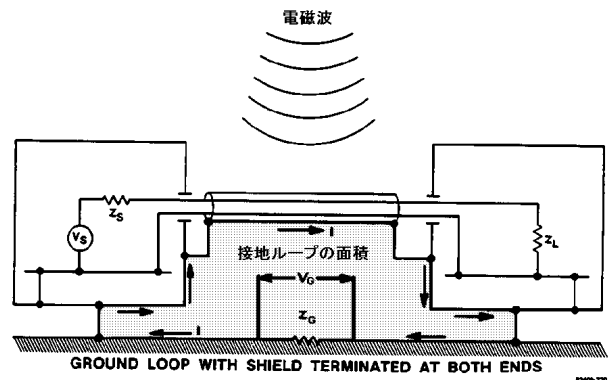


図10. シールドを両端で接地した場合のグランド・ループ

まとめ

電場に対するシールドを行うには、

1. 低周波の電波に対しては、1点グランドが有効である。
2. シールドの終端で露出する信号線の長さは、最小限にする。

磁場に対するシールドを行うには、

1. ループの面積を縮小するか、ループをなくす。
2. 磁場の発生源を遮蔽物(シールド)で覆う。

電磁干渉を効率的に除去するには

システム設計を行う段階で、どのようにしてノイズを除去するか、検討します。接地とシールドを正しく行えば、ほとんど、どのような電磁干渉でも予防する事ができます。システム・テストを行う段階で電磁干渉の問題が発生したなら、これを除去するのは大変困難であり、高い代償を支払わねばならない事があります。具体例を挙げれば、設計時に、ノイズに弱い信号線と、ノイズを発生させる電線を分けて配線する事で、コストを全くかけずに、ほとんどの問題を予防する事ができます。問題が発生した後で配線をやりなおすと、多額の費用と納期の遅れが生じる事にもなりかねません。

まず、ノイズの発生源でノイズが出ないようにします。ノイズ・サプレッサが付いていないリレーは、ノイズを発生させ、これが制御システムの他の装置に悪影響を及ぼす事があります。

制御システムをよく考えて設計すれば、ノイズがほとんど発生しないようにし、発生したとしても、それが他の装置に悪影響を及ぼさないようにする事ができます。

このマニュアルに付いて何か御意見や御感想がございましたら
下記の住所宛てに、ご連絡ください。
〒261-7119 千葉県千葉市美浜区中瀬 2-6 ワールドビジネスガーデン・マリブウエスト 19F
日本ウッドワードガバナー株式会社
マニュアル係
TEL: 043-213-2191 FAX: 043-213-2199



PO Box 1519, Fort Collins CO 80522-1519, USA
1000 East Drake Road, Fort Collins CO 80525, USA
Phone +1 (970) 482-5811 . Fax +1 (970) 498-3058

Email and Website—www.woodward.com

Woodward has company-owned plants, subsidiaries, and branches,
as well as authorized distributors and other authorized service and sales facilities throughout the world.

Complete address / phone / fax / email information for all locations is available on our website.