

テクニカルノート 22

..... 振動センサーの配線とケーブル



R6Q コネクタと防水型ケーブル

はじめに

このテクニカルノートは、加速度センサーやその他の振動センサーの、基本的な配線とケーブルの使用法について述べられています。これを読めば様々な用途や環境で、振動センサーの性能を最大限に引き出すことができます。以下に述べるもののいくつかはセンサー取り付けの一般的な方法であり、また部分的には特定の用途で使われるものです。ここに書かれていない他に必要な情報があれば、メグITT社のスペシャリストがアドバイスします。

取り付けは、まず測定ポイントに適したセンサーを選ぶことから始まります。センサーの選択に関しては、ウィルコクソン社テクニカルノート No.16 を参照して下さい。

センサーの要求事項や、能力、測定限界をよく理解し、測定する機械や振動源を考慮したうえで取り付け場所や取り付け方法を決めます。取り付けに関しては同じくテクニカルノート No.21 を参照して下さい。センサーが適切に取り付けられれば、次はケーブル配線です。

センサーが適切に取り付けた後は配線を行います。このテクニカルノートには、センサーの永久設置に必要な、適切なワイヤリングについて述べられています。

配線が終わって動作を確認します。もしもシステム全体が完成していなければ、テクニカルノート No.14 のトラブルシュートを参照して下さい。No.14 にはセンサーの動作と電源供給についての詳細な説明を含んでいます。

電源供給

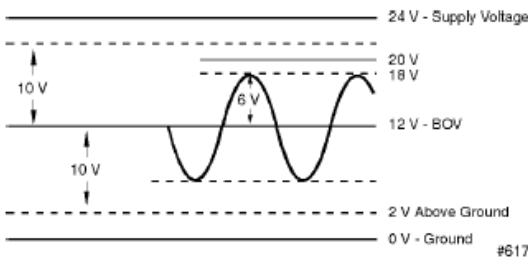
アンプ内蔵型の振動センサーは通常、定電流 DC 電源を供給する必要があります。一般的にこの電源には、2~10mA の定電流ダイオード (CCD) と 18~30V 供給を含みます (図1参照)。もしこれ以外の電源を使用するのであればセンサーメーカーと検討したほうがよいでしょう。以下に電源供給についてさらに説明されています。

AC カプリングと DC バイアス電圧

センサー出力は受ける振動に比例した AC 信号です。この AC 信号は、バイアス出力電圧 (BOV) と呼ばれる DC バイアス信号にスーパーインポーズされます。この信号の DC 成分は、コンデンサーによってブロックできますが、そのことで AC 出力を残します。振動データ解析器、モニター、センサー電源ユニットの多くは AC カプリングのための内部阻止コンデンサーを含んでいます。

振幅範囲と供給電圧

図 1-振幅範囲対供給電圧



センサーメーカーは通常バイアス電圧を、ノミナルの供給電圧の半値に設定します。このバイアスとカットオフ電圧の差異によりセンサーの出力で得られる電圧スイングが決まります。この出力電圧スイングによりピークの振幅範囲が決まります(図1参照)。このように、100mV/gの感度、5Vのピーク出力スイングをもつ加速度センサーは50gピークの振幅をもつことになります。加速度センサーによっては通常の5V以上の電圧スイングが可能なものもあります。検討中のセンサー電圧スイングの詳細についてはメーカーに問い合わせが必要です。

電源供給が18Vよりも低い場合、それに応じて振幅も小さくなります。バイアス電圧をより高く、または低くしたカスタム品も用途に応じて供給できます。

定電流ダイオード(Constant Current Diode)

アンプを内蔵している振動センサーはすべて CCD によって整流された電源が必要になりますが、この CCD によりセンサーへの電流が制限されます。また、上限を設けていない電源電流を使えば、ほとんどの場合アンプ内蔵型センサーに損傷を与えます。

この理由により、市販されているデータ収集装置や振動モニターは、センサーへのパワーを制御するため CCD を含む電源回路になっています。供給されるパワーはほとんど例外なく2-10mAの範囲に入っています。また、ほとんどのバッテリー電源の場合、バッテリーの長寿命化のため2mAの CCDが入っています。ライン電源の場合(消費電力は問題にはならない場合)は、長いケーブルで駆動させるため6~10mA用の CCDが入っていることが望めます。100℃以上での操作の場合、加速度センサーの内蔵アンプの過熱を防ぐため、電流値は6mA以下が望めます。市販品の CCD としてはビシエイシリコニクス社の J500 シリーズ(J507、J509)などがあります。この CCD はダイオードの適切な極性をみながら電源の電圧出力へシリーズに取り付けます。

配線の重要ポイント

振動センサーの取り付けにもっとも重要な要素のひとつはケーブルですが、これには4つのポイントがあります。①ケーブル長と電気容量 ②ルーティング ③接地 ④固定などです。

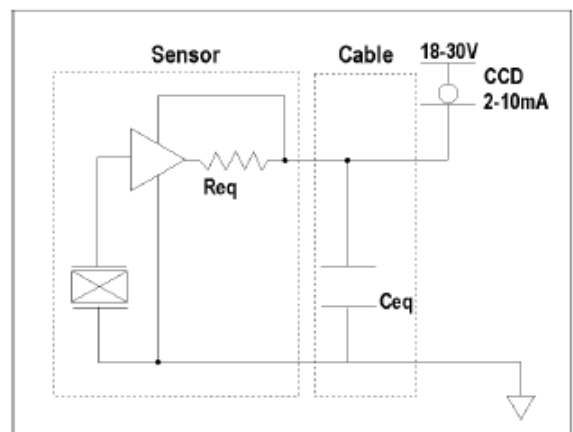
長いケーブルを使用

近年の産業用圧電型加速度センサーは通常電圧モード型ですが、これにより測定対象物の振動に応じた電圧を発生します。この振動信号電圧は AC 電圧であり、AC 信号の制限の対象となります。高周波の AC 信号は AC 回路における容量により影響を受け、その結果容量性リアクタンスを引き起こします。

多くのユーザーは RF 信号に比べて振動信号は高周波ではないと思いがちですが、これらの信号は回路中の容量性リアクタンスによっても影響を受けます。

電圧モード振動センサーのユーザーにとってこれは何を意味するのでしょうか？センサー電源とセンサー間のケーブル長が短い場合(<30m)、振動データでの回路の容量はそれほど影響を受けません。しかし、長いケーブルを使用した場合、振動信号を歪ませるに十分な容量をもつことになり、結果エラー信号となってしまいます。この余分な容量はセンサーアンプの出力において容量性負荷を生み出してしまいます。アンプはある程度の電流を抑えられますが、キャパシタンスを駆動するための無制限な電流量を供給することはできません。

図 2-センサー出力等価回路



回路図 2 では、信号電圧が正の時にケーブルの容量をチャージするため CCD がすべての電流を供給する必要があります。センサー内蔵のアンプから出る AC 信号の各サイクルでケーブル容量をドライブするのに十分な電流があることが重要です。アンプ自身が使うための電流として約 1mA が必要です。このオンボードアンプに必要な電流とケーブルをドライブするための電流が不十分な場合、アンプからの電圧は回転率限界となります。こうなると一般的には出力信号は、正弦波が正しい信号を反映することができなくなります。

図 3-回転率限界信号

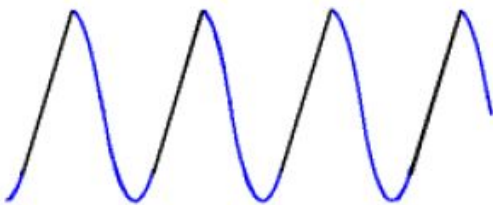


図 3 は回転率限界のサイン波を示しています。このサイン波の正の部分は、ケーブル中の信号をドライブするのに十分な電流値がないことを示し、そのため「直線」になってしまいます。サイン波の負の部分ではコンデンサーにより出る電流を低下させるか、または吸収させる必要がありますが、この場合アンプはこの電流を吸収するには十分な能力があり、よって高周波操作における制限要素がケーブル容量をチャージするのに必要な電流を供給できる CCD の能力を持つこととなります。

電流制限値が近づいた場合、正の部分のみの信号が影響を受けることとなりますが、この場合の実際の影響というのは、信号が歪み高調波が発生します。これにより振動信号は高調波成分により信頼性が低くなってしまい、極端な場合、信号が三角波に近くなってきます。三角波というのは複数の基本周波数において強い高調波成分をもっています。

最大周波数を算出する

コンデンサーを通しての電流値は次のような微分方程式によって算出できます。

$$I = C \frac{dv(t)}{dt}$$

ここでは $v(t) = V \sin \omega t$, また $\omega = 2\pi f$
 $f =$ 対象周波数
 $V =$ ピーク電圧

$v(t)$ 関数 を微分すると以下の通りになります。

$$\frac{dv(t)}{dt} = V \omega \cos \omega t \quad \text{または} \quad I = CV(2\pi f) \cos(2\pi f) t$$

ここではピーク電圧を満たすための電流値を見ているため、値がピークになるポイントをこれにより算出します。

$\cos \omega t = 1$ のとき電圧はピークとなり、制限周波数を求める場合次のようになります。

$$I = CV(2\pi f) \text{ここで } I \text{ はコンデンサーに必要な電流値}$$

しかし、コンデンサーに必要な電流は全電流の一部であり、全体の電流を求めるには以下のようになります。

$$I_{\text{ccd}} = I + 1\text{mA}$$

ここでは I_{ccd} は定電流供給による電流で、また 1mA はセンサーのオンボードのエレクトロニクスに供給する必要があります。

この式を再計算すると、

$$I = I_{\text{ccd}} - 1\text{mA}$$

これらの式を合わせると以下の通りとなります。

$$I_{\text{ccd}} - 1\text{mA} = CV(2\pi f)$$

項の式を書き換えて周波数 f を求めるには、以下の式となります。

$$f = \frac{I_{\text{ccd}} - 1\text{mA}}{2\pi(C)V}$$

これで周波数限界が求められますが、再度これらの項を書き換えて換算係数を追加し、代表的な用途での計算をする必要があります。

ケーブルの最長寸法を算出する

$$f_{max} = \frac{10^9}{2\pi CV / (I_{cccd} - 1mA)}$$

ここでは f_{max} = 最大周波数 (Hz)
 C = ケーブル容量 (pf)
 V = センサーからのピーク信号出力 (v)
 I_{cccd} = シグナルコンディショナーからの定電流(mA)
 10^9 = 単位をあわせるための換算係数

この方程式では、式のバランスを取り信号の歪をなくすために、ケーブル容量が増えると、定電流値を増やさなければならないか、または使用可能な最大周波数を落とさなければならないことを示しています。

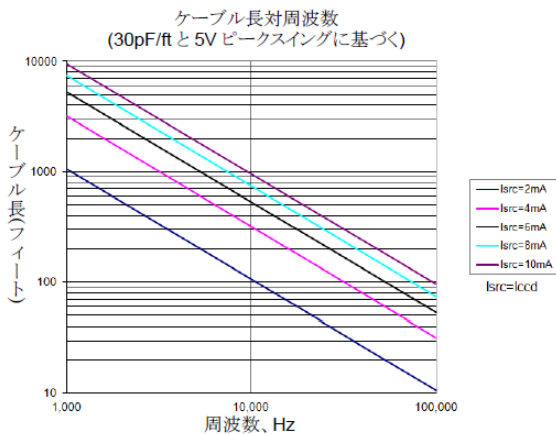


図 4- 複数電流ドライブレベルのケーブル長限界対周波数

図 4 は式で求められたケーブル長の限界を示したものです。最大電圧スイングは 5V で、ケーブル容量は 30pF/ft となります。30pF/ft がメギット社のケーブルでは一般的で、5V というのは加速度センサーのダイナミックレンジを計算する場合一般的に許容されるスイングです。

例えば、ユーザーが振動を 50g レベル(50g x 100mV/g = 5Volts)まで測定するのに 100mV/g の感度加速度センサーを使用したい、この加速度センサーを 4mA 定電流電源で駆動、また 10,000Hz での信号測定をしたい場合、ケーブルの長さはどこまで使用できるでしょうか？

図下部の 10,000Hz のポイントから上に上がり 4mA の線までいくと約 300 フィート強のケーブル長になります。従って、上記の条件で使用する場合、300 フィートまでのケーブルを使って信頼性の高い振動測定をすることが可能になります。

ケーブル長の限界を算出するための計算プログラムは、メギット社ホームページの “Knowledge Desk” にありますので活用して下さい。

振幅の過負荷

これまでの説明が根本的に意味することは、高周波数、高振幅信号は信号の歪を生み出し、低周波においてエラー信号を引き起こすことがあるということです。その他高周波負荷の要素としては、ギヤのインパクトや蒸気リリースバルブのヒス音などがありますが、メギット社製品のほとんどはウォッシュオーバーフィルターにより、適度の高周波負荷から防御されるよう設計されています。

高温でのセンサー電源供給

100°C以上の温度でセンサーを使用する場合、オーバーヒートによる加速度センサーの内蔵アンプへのダメージを避けるため電流は 6mA 以下にします。

ケーブル設置ルートと電磁干渉

トランシーバ、送電線、電気スパークなどは信号干渉の要因になります。以下のガイドラインにより EMI や ESD による測定エラーの大部分を取り除くことができます。

適切にシールドされたケーブルが望ましいことは言うまでもありません。ケーブルが途中で接合された場合も完全にシールドして下さい。

適切なケーブル設置ルートも推奨されます。AC ラインの近くにケーブルを置かないよう配慮し、AC ラインと交差するところでは適切な角度を持つことが推奨されます。可能であれば、ケーブル用導管に入れることが望ましく、またモーター、発電機、トランスなど電波発生装置からは遠ざけて設置するようにします。最後に ESD が発生しそうな場所も避けます。センサーが ESD 対策をしていたとしても、激しい ESD 発生の結果一時的に信号が歪むこともあります。

電磁モーターの近くにケーブルを設置する場合、ケーブルの方向がローターの軸に直交するようにします。またケーブルはモニタリング場所から常に遠くに置き、ステーターの磁界からもっとも遠くなるようにして下さい。DC モーターの場合、モーターブラシから発生するブロードバンド RF ノイズを避けるためできるだけ遠くに設置するようにして下さい。

ケーブルのグラウンドとグラウンドループ

装置の回路では、グラウンドは電氣的パワー配線回路とは違ったふるまいをします。

電源での接地は、人と高いポテンシャル間にバリアを設けることで電氣的ショックを防ぎ安全を確保するのが主な目的ですが、一方電氣配線によっては電流の一部を伝える場合もあります。

測定装置の配線における接地は、測定対象の信号に影響するような予期せぬ電磁場やノイズから測定装置をシールドしたり防護するために使います。この場合唯一の適切な接地はループをもたないもので、装置の接地系統においてグラウンドされたポイントのうちただひとつ接地する道筋となります。交差したり接触したりする大きな枝がない特徴的な構造になっているため、たびたび接地ツリーと呼ばれます。測定装置の配線では通常すべてのケーブルは電磁ノイズを拾わないようにシールドされていますが、このシールドは導壁やジャンクションボックスに決して触れないようにします。さもなければ偶発的な接地ループができてしまいます。

配線に接地ループがあると、接地系統を通して電流が流れてしまい、装置の配線におけるループ回路があれば産業用機器の周辺で引き起こされた電磁場をソースとして配線内部に電流が発生します。図5にあるように、このシールドにおけるループ電流は振動測定回路電磁カップリングを起こさせます。電源ライン、モーターのステーターフィールド、モーターのローターフィールド、それにRF装置は産業用の現場では一般的なソースとなり得ます。

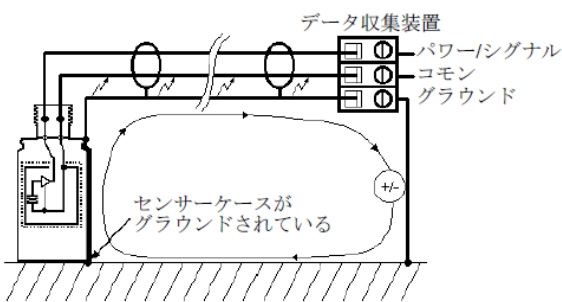


図5-加速度センサー設置における不適切なグラウンド

オンライン監視システムやその他の永久接続されているシステムは、すべて各プラント装置のグラウンド接続をもってはいますが、装置のグラウンドは電氣回路の接地に使用してはいけません。もし使用された場合、装置のグラウンドの統一性を犠牲にすることになり、装置システム全体がノイズを拾うこととなります。

振動モニタリングではシールドされた、ツイストペアのケーブルを使用することがベストです。このケーブルは2つの導線をもっており、それぞれがケーブル長でツイストされて作られています。この導線はツイストさせることで交流ワイヤループを作っており、これにより電磁場にさらされた場合、ワイヤーにおける誘導電流をキャンセルし、その結果マグネチックピックアップを低減します。同様の技術が電話用ワイヤリングなどテレコム業界でも使用されており、高圧パワートランスミッションラインでもツイストされたケーブルが同じ理由により使用されています。

振動監視システムで使用される装置シールドは、ケーブル配線の一端にのみ接続しなければなりません。図6ではケーブルのデータ取り込み装置側ではシールド接続されていますが、センサー側の接続では絶縁されています。

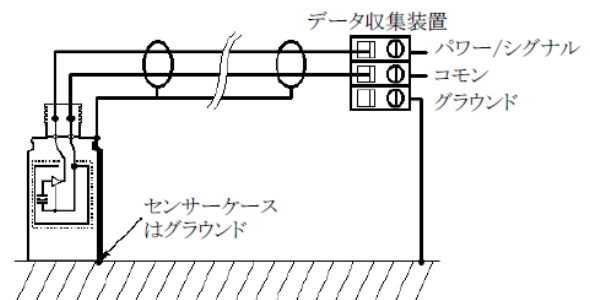
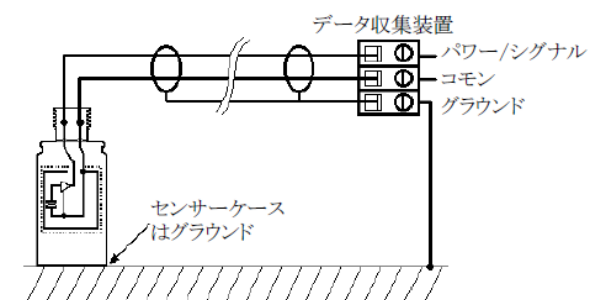


図6-装置側でグラウンド、加速度センサー側で絶縁

その他の装置配線用のグラウンドとしては、ケーブルのセンサー側でシールドを接地させる方法があります。この方法は図7に書かれています。センサー側のケーブルが接地されている場合は、装置側ではシールドを接地させない



ように注意して下さい。

図7 装置側では絶縁、加速度センサー側で接地

ポータブルのデータ収集装置で永久設置されたセンサーからの信号を集める場合、グラウンドの問題はそれほど重要にはなりません。ポータブルのデータ収集装置では、回路でコモンとして使われる内部リファレンスを装置自身もっているためです。データ収集装置はバッテリー駆動されるため、装置の電源からアース接続がありません。いかなるアース接続もセンサー配線を経由して行って下さい。アース接続は1系統のみで行われるため、グラウンドループは形成されません。

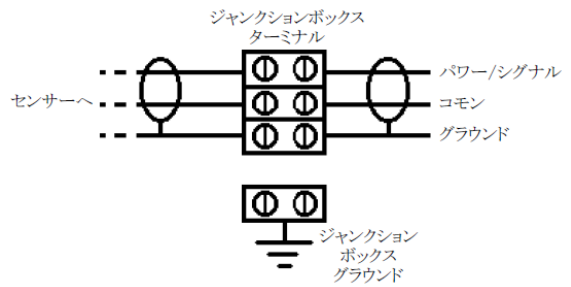
ケーブルの種類

永久設置の振動センサーに最適なケーブルはシールドされたツイストペアです。このシールド・ツイストペアのケーブルはまた、プロセスコントロール用プラント設備でも一般的に使用されています。センサーのパワー/シグナル用の2芯で、また装置回路を完成させるための回路コモン接続として使われます。このツイストペアの外側はシールドされています。フォイルタイプのシールドよりも低周波数シールド能力で優れているブレードシールドが、振動センサー用に最適なシールドです。フォイルはRFシールドが必要な場合に良く使用されます。

同軸ケーブルは仮設置またはポータブル用途でしばしば使われますが、ケーブルが引っ張られるような導管やその他密閉されたケーブル管を通して同軸ケーブルは決して使用しないで下さい。ケーブルジャケットの絶縁が引っ張られ破損した場合、シールドは接地導管やトレイに触れたりし接地ループを作ります。同軸シールドはセンシング回路の一部であるため、振動測定装置が拾うノイズはシビアになります。ノイズの最も目立つものは電源ライン周波数で、振動信号を見えなくしすべてのデータが使えなくなります。

ジャンクションボックスを経由して永久設置センサーの配線を行う場合、グラウンドに接地しないで常にボックスまでシールドをもっていきます。このシールドはセンサー回路の両端の間で、グラウンド接続から絶縁されたままにしておく必要があります。図8ではジャンクションボックスの適切な接続が示されています。唯一のグラウンド接続はセンサー側か測定装置側のいずれかのみになります。

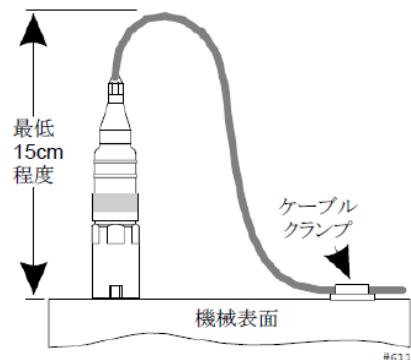
図8 シールドを絶縁したままのジャンクションボックスの接続



ケーブルを固定する

ケーブルの止め部でのストレスを低減し、ケーブルの振動やインパクトにより発生するエラー信号を防ぐため、センサーを取り付けたあとにはケーブルを固定します。過剰な動きを与えられたケーブルは、最終的にケーブル材料や絶縁構造の疲労が起きます。この疲労によりワイヤースtrandが壊れ、絶縁不良が起り、その結果データにノイズが乗ったり接続が破壊されたりします。これを防ぐためには図9のように十分余裕を持たせ振動物に取り付けるようにします。またこのことは高い変位振幅をもった機械には特に重要となります。

図9-適切なケーブル固定



まとめ

振動監視のためのケーブルの設置は、振動信号のノイズを最小化するよう細心の注意を払って下さい。ケーブルを走らせる場所は電磁干渉を避けて下さい。ケーブル長が60メートルを超える場合や、振動信号の振幅が大きい場合、ケーブル長からくる影響を、より慎重に検討して下さい。シールドされたツイストペアはすべての振動センサーの接続に推奨されます。同軸は仮設置またはポータブルデータ収集装置だけに使用するようして下さい。