



FVM400ベクトルマグネットメーター 取扱説明書



MEDA, Inc.

Macintyre Electronic Design Associates, Inc.

43676 Trade Center Place, Suite 145

Dulles, VA 20166

目次

ページ

| | | |
|-----------|-------|----|
| 概要及び仕様 | ----- | 5 |
| 高分解能 | ----- | 5 |
| 2つのベクトル表示 | ----- | 5 |
| 単位系の選択 | ----- | 5 |
| 相対表示モード | ----- | 5 |
| アナログ出力 | ----- | 5 |
| リモート制御 | ----- | 5 |
| データの取り込み | ----- | 5 |
| 仕様 | ----- | 6 |
| 技術仕様 | ----- | 6 |
| 一般仕様 | ----- | 7 |
| 操作について | ----- | 7 |
| プローブの接続 | ----- | 7 |
| 電源について | ----- | 7 |
| パワーダウンモード | ----- | 7 |
| LCDディスプレイ | ----- | 8 |
| キーパッド | ----- | 8 |
| と | ----- | 9 |
| ALT | ----- | 9 |
| Calibrate | ----- | 10 |
| Coord | ----- | 10 |
| DAC | ----- | 10 |
| Gain | ----- | 10 |
| Manual | ----- | 11 |
| Pwr Dn | ----- | 11 |
| Record | ----- | 12 |
| Rel | ----- | 12 |
| Remote | ----- | 12 |
| RS232 | ----- | 12 |
| Sample | ----- | 12 |
| Screen | ----- | 12 |
| Snapshot | ----- | 12 |
| Suspend | ----- | 12 |
| Units | ----- | 13 |
| アナログ出力 | ----- | 13 |
| センサー形状 | ----- | 14 |

| | | |
|---------------|-------|----|
| リモート操作 | ----- | 15 |
| RS232インターフェイス | ----- | 15 |
| コマンド | ----- | 15 |
| 測定について | ----- | 17 |
| 磁場の単位 | ----- | 17 |
| 磁場外部について | ----- | 17 |
| 地磁気 | ----- | 18 |
| 方位計 | ----- | 18 |
| 地磁気の測定 | ----- | 19 |
| 定磁場の測定 | ----- | 19 |
| 動作等の原理 | ----- | 22 |
| フラックスゲートの原理 | ----- | 24 |
| アナログ磁力計 | ----- | 25 |
| 信号処理 | ----- | 25 |
| 保守 | ----- | 27 |
| センサープローブ | ----- | 27 |
| 計測器本体 | ----- | 27 |
| 乾電池の交換 | ----- | 27 |
| コネクタの洗浄 | ----- | 28 |
| ACアダプター | ----- | 28 |
| 校正間隔 | ----- | 28 |
| 保証 | ----- | 28 |

図

| | | |
|------|-------------------------|----|
| 図 1 | FVM400 ディスプレイ | 8 |
| 図 2 | FVM400 フロントパネル | 8 |
| 図 3 | FVM400 の座標系 | 10 |
| 図 4 | FVM400 アナログ出力コネクタ | 13 |
| 図 5 | フラックスゲートセンサーの物理的な位置 | 14 |
| 図 6 | FVM400 の磁場ベクトル表示 | 17 |
| 図 7 | 対象物の磁気モーメント測定する場合はじめの位置 | 21 |
| 図 8 | FVM400 のブロック図 | 22 |
| 図 9 | リングコアフラックスゲートの動作 | 24 |
| 図 10 | FVM400 の 1 チャンネルのブロック図 | 25 |
| 図 11 | FVM400 の信号ブロック図 | 26 |

表

| | | |
|-----|----------------------------|----|
| 表 1 | FVM400 キーパッドの説明 | 9 |
| 表 2 | 出力ゲインに対するスケールファクター、レンジと分解能 | 11 |
| 表 3 | RS232 D - サブコネクタのピンの説明 | 15 |
| 表 4 | リモートコマンドのリスト | 16 |
| 表 5 | 色々な都市の地磁気成分 | 19 |
| 表 6 | FVM400 の乾電池 | 27 |

概要及び仕様

FVM-400 ベクトルフラックスゲートマグネットメーターは、磁場のベクトル成分を測定するための高精度の測測定器です。この小型で携帯性の良いことは屋外や研究室での測定に適しています。

高分解能

5桁表示のディスプレイは、100,000 nT中の1 nTの読み取りを可能にし、地磁気などの大きい磁場中の小さな磁場の変化を測定することができます。

2つのベクトル表示

測定磁場ベクトルの直行座標表示(X, Y, Z)と極座標表示(R, D, I) を選択できます。極座標表示は、手計算を行わずに、磁場の強さと方向を簡便に測定できます。

単位系の選択

3つの単位系 nanotesla (nT), microtesla (μ T)あるいは milligauss (mG)から一つを変換常数を考慮せずに選択できます。

相対表示モード

相対表示モードは磁場ベクトルの最初の値からの変化を測定できます。RELキーを押すだけで現在の磁場の値をゼロ表示にし、その後はその値からの変化を測定します。再度RELキーを押すと絶対値モードになります。

アナログ出力

処理された信号と同様に 8-pin microDIN コネクタから出力されされる生のアナログの磁力計信号はレコーディングに使えます、さらに処理を行なうことができます。生の信号は、AC 磁場測定に対して有効です。

処理された信号は、選択したベクトル表示値に対応します。より高い出力電圧の分解能をよくなるために、処理信号に対して、8つの選択できるゲインの1つを適応できます。

リモート制御

FVM-400 は 9600 オーレートの標準の RS-232 で制御できます。このリモートモードでは、測定パラメータの設定、データの取り込み、データ保存の開始、保存データの読み出しが行なえます。

データの取り込み

FVM-400 は、Snapshot、Record と Manual の3つのデータ想定モードがあります。

Snapshot は、7.5 秒間、毎秒 69.5 点の取り込みを行ない、Record は、30 秒間、毎秒 17.4 点の取り込みを行います。Manual モードは、いつ測定をし、データを保存するか決めます。取り込まれたデータはディスプレイに表示し、アナログ出力に出力し、RS232 を通して自動で読み出せます。

FVM400 VECTOR MAGNETOMETER

仕様

FVM400の仕様を下の表に示します。

磁場測定

| 成分 | レンジ | 分解能 | 精度 ¹ |
|----------------------------|---------------|------------|-----------------------------|
| X, Y, Z | ± 100,000 nT | 1 nT | ± (0.25% of reading + 5 nT) |
| R(resultant) | 173,205 nT | 1 nT | ± (0.5% of reading + 5 nT) |
| D(eclination) ² | ± 180 degrees | 0.1 degree | 1 degree |
| I(nclination) ³ | ± 90 degrees | 0.1 degree | 1 degree |

¹ 25 ° C ± 5 . ゼロ補正後、ゼロ補正磁場の最大値は 20 nT

² X軸とXY平面への磁場ベクトルの投影ベクトルとの角度

³ 磁場ベクトルとXY平面間の角度.

アナログ出力

| パラメータ | DAC 出力 | アナログマグネットメータ |
|--------|-----------------------------|----------------|
| 数 | 3 ¹ | 3 ² |
| ゲイン | 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 | None |
| 電圧レンジ | ± 2.5V | ± 2.5V |
| スケール係数 | 24.41 × gain μV/nT | 2.4 μV/nT |
| 精度 | フルスケールの± 1% | フルスケールの± 5% |
| 分解能 | 12 ビット | Not applicable |
| ゼロ磁場出力 | 0 ± 5 mV | 0 ± 5 mV |
| 周波数特性 | DC ~ 10Hz(通常) | DC ~ >100Hz |

¹ 選択モードと座標系に基づく真の又は相対的値に対応します。

² 真の直交成分に対応します。

データ保存

| パラメータ | SnapShot | Record | Manual |
|---------|----------|----------|--------|
| 測定ポイント数 | 525 | 525 | 525 |
| 測定時間 | 7.5 秒 | 30 秒 | ユーザ設定 |
| サンプルレート | 69.5 点/秒 | 17.4 点/秒 | ユーザ設定 |

シリアルポート： 3線 RS232 ポート、9600 ボー、one start bit、one stop bit、no parity.

センサー取り付け精度

X と Y 軸センサーは、上面に対し平行で、長手方向と横方向の辺に対して±0.25 度以内、Z 軸センサーは、上面に対して直角で、その面に対して±0.25 度以内で取り付けられています。このセンサーの取り付けは、直角座標系となっています。

一般的仕様

使用動作温度: 0 ~ 50

電源: 2つの9V乾電池、リチウム(長時間駆動)とアルカリ乾電池。通常の動作で550mW、待機時20mW

動作時間: 連続使用-リチウム電池で24時間、アルカリ乾電池で4時間

FVM-400は、10分間操作が行なわれないときはパワーダウン状態になります。この状態では、アナログ回路が停止し電池の消費を抑えます。どれかキーを押すとFVM-400は通常動作に戻ります。FVM-400はリチウム電池が消耗しなければ150時間パワーダウン状態を保持します。

プローブ寸法: 25.4 mm W x 25.4 mm H x 100.6 mm L (1"W x 1"H x 4"L).

本体: 100 mm W x 44 mm H x 193mm L (3.94"W x 1.73"H x 7.60"L).

プローブ用ケーブル: 標準で約2m. 特注で最長約30mまで製作可能

表示: 4列、16キャラクター表示LCD、LCD表示サイズ 60 mm L x 24 mm H (2.36"L x 0.95"H).

操作について

この章では、FVM400 の操作について説明します。本体ケースの左側にある電源 ON/OFF スイッチを押し、本体ケース上のキーパッドを押すことでFVM400 を操作します。LCD は、測定値と機器状態を表示します。

ケーブルで本体と接続しているプローブは、磁場ベクトルの3つの成分を測るための3つの磁気センサーを含んでいます。磁場ベクトルを測りたい場所にプローブを置きます。

本体の右側にある microDIN コネクタは、FVM400 のアナログ電圧信号を外部の記録装置またはオシロスコープに接続するために使用できます。FVM400 は、また標準の3線式RS232 シリアル通信ポートを通して、コンピュータで制御することができます。

プローブの接続

FVM400 の電源を入れる前に、付属のケーブルを使ってプローブをFVM400 本体に接続します。

ケーブルのどの端がプローブでどちらが本体側かは重要ではありません。長さの異なるケーブルを使用しないで下さい。FVM400 の較正が無効になります。

電源

VM400F の電源スイッチは、本体の左側にあります。FVM400 の電源を入れた後、システムをデフォルトの状態(直角座標系、X軸ベクトル、絶対測定モード)に初期化します。X、Y、Z 軸ベクトルの値は、およそ2秒後液晶ディスプレイ上に現れます。もし "0.L." が磁場値の代わりにスクリーンの上に現れた場合は、電源を切って下さい。プローブを別の場所に移動してから、FVM400 を再度オンにして下さい。測定ベクトル成分の値が $\pm 102,400$ nT を越える場合、またはプローブが本体に接続されていない場合、FVM400 は "0.L." を表示します。

パワーダウン モード

電力消費は、パワーダウン機能を使用することによりかなり減らすことができます。パワーダウン機能を有効にしている場合(デフォルトの状態)、FVM400 は10分間キーパッドが押されなかった時はパワーダウンモードになります。FVM400 をパワーダウンの状態に置くことも、パワーダウン機能を無効にすることもできます。フロントパネルキーパッドコントロールを説明している章を参照して下さい。パワーダウン状態では、磁場測定は行われず、アナログ回路へ電気は供給されません。そして液晶ディスプレイに "Press any key to start" とメッセージが表示されます。どれかキーを押すと、FVM400 は測定可能な状態に戻ります。ある期間、磁場の変化をモニターする場合、決められた間隔(例えば1分間隔)で測定をおこなうだけの場合これは便利な機能です。FVM400 を測定と測定の間でオフにすると、電源をいれるその度に、必要な測定状態に機器をリセットしなければなりません。FVM400 が MANUAL サンプル記録モードの場合は、測定値を記録している間、FVM400 をオフにすることはできませんが測定と測定の間、電池の消費を減らすためにパワーダウンの状態にしておくことはできます。

FVM400 VECTOR MAGNETOMETER

LCD ディスプレイ

FVM400 のディスプレイは、16文字×4行表示です。

上の3ラインは、測定ベクトル成分で、一番下には、電池の及び計器の状態を表示します。各測定値に対する座標はその測定値の左に、そして単位は右に表示されます。

一番右には成分に対するDAC出力のゲインが表示されます。もし相対測定モードの場合は、測定値と単位の間に表示されます。一番下の行の右側は、2つの電池の状態で、もしパワーダウンモードが有効(初期設定)の場合は、×が2つの電池の状態表示の間に表示されます。

図2にFVM400フロントパネルを示します。

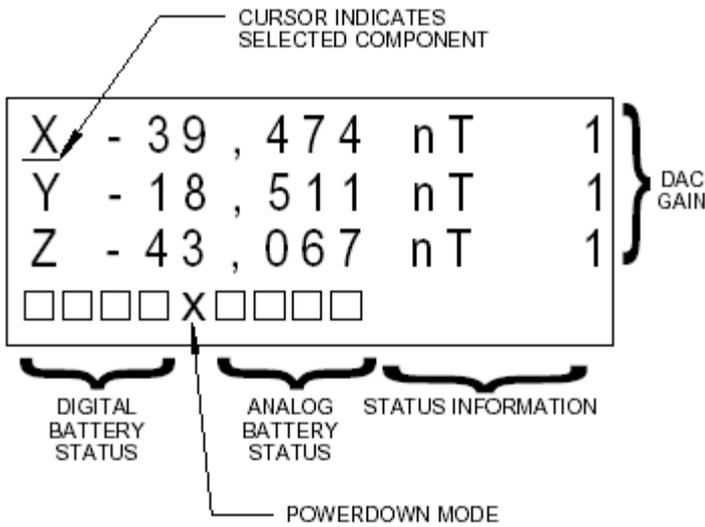


図1 FVM400 ディスプレイ

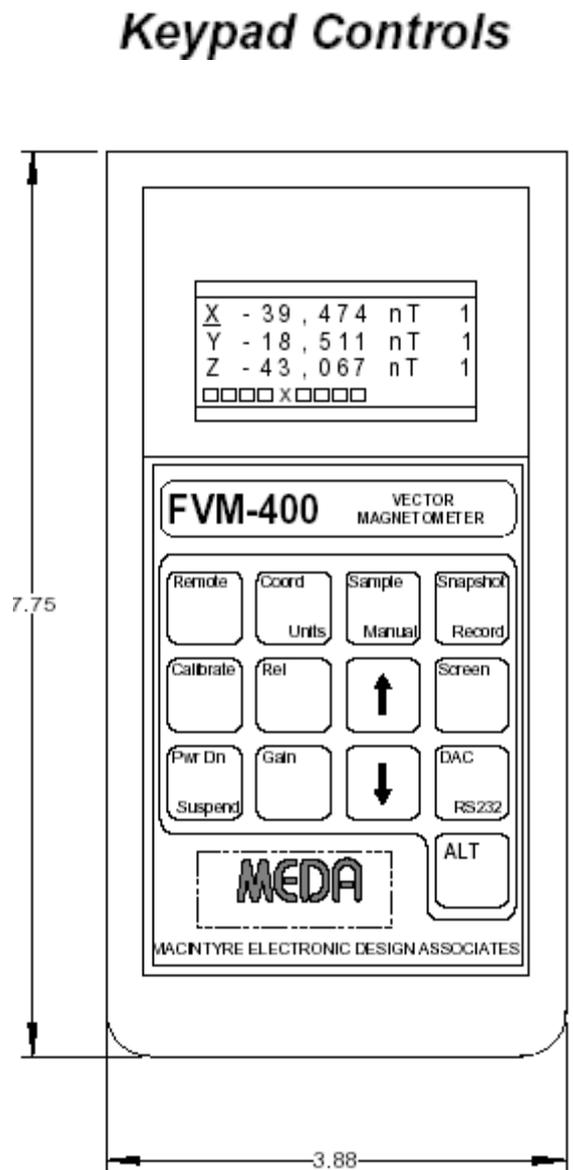


図2 FVM400 フロントパネル

FVM400 VECTOR MAGNETOMETER

下の表にFVM400のキーの説明を示します。

表1 FVM400キーパッドの説明

| キー | 説明 |
|---------------------|--|
| REMOTE | キーパッド制御とRS232シリアルポート制御の切り換え |
| COORD | 直交座標系 (X、Y、Z) と極座標系 (R、D、I) の切り換え |
| UNITS ¹ | 表示単位、nT、mT、mGの選択 |
| SNAPSHOT | 7.5 秒測定の開始 |
| RECORD ¹ | 30 秒測定の開始 |
| MANUAL ¹ | 手動データ記録の有効/無効の切り換え |
| SAMPLE | 1 個の測定値の記録。手動記録モードで |
| CALIBRATE | 電圧の表示とDACへの出力を0、+FS、-FS もしくはステップ状の三角波を出力させる DAC出力または外部の記録装置を補正するために使うことができます |
| GAIN | 表示成分に対する8つのDAC出力ゲイン設定のうちの1つを選択 |
| REL | 絶対値測定モードと相対値測定モードの切り換え 相対値測定モードではこのキーが押されたときの値からの変化量が表示されます |
| SCREEN | LCDに保存データを表示。アローキーで次のデータを表示する |
| PWR DN | キー操作が10分間なかったときに、電源を自動的に切るかどうかの選択 |
| SUSPEND | 電池の消耗を抑えるためにFVM-400を休止状態にする 休止状態のとき、どれかキーを押すとFVM-400は通常動作に戻る REL もしくは GAIN キーを押したときに設定値を選択するとき使用、 また次の保存データ表示の切り替えにも使用 REL もしくは GAIN キーを押したときに設定値を選択するとき使用 また前の保存データ表示の切り替えにも使用 |
| DAC | DAC出力に保存データを出力する |
| RS2321 | RS232ポートに保存データを送信する |

¹ この機能を有効にするには最初ALTキー押す必要がある

と

有効な成分を選択するときに、アップとダウンキーを使います。有効な成分はアンダーラインの付いているものです。

RELとGAIN キーは、実行要素のみに適応します。

これらのキーは、LCDディスプレイでデータを確認したいときにFVM400の内部バッファに保存されているデータの表示を変えるときに使います。

ALT

キーパッドの右下に印字されている機能を使いたい場合にALTキーを押します。標準のキーパッドの機能は、キーパッドの左上に印字されています。ALTキーを押すと、電池の状態表示の右上に^が表示されます。^はキーが押されるか、もう一度ALTキーを押すと消えます。

FVM400 VECTOR MAGNETOMETER

Calibrates

Calibrateキーは、外付けのレコーダーやデータ取り込み装置を校正するときに使用できるように、信号をDACアナログ出力に送ります。このキーが最初に押されたときに、ゼロ(0)値がディスプレイと3つのDAC出力に送られます。次にこのキーを押すと、+FS(100,000 nT)値がディスプレイと3つのDAC出力に送られます。さらにこのキーを押すと、-FS値がディスプレイと3つのDAC出力に送られます。4回目このキーを押すとステップ3角波形信号が出力されます。信号は+FSから始まり、毎秒20,000nTステップで減少し、ゼロで2秒停止し、その後 - FSまで同じ割合で減少します。そこで2秒停止し再び毎秒20,000 nTステップで増加し、ゼロで2秒停止し、+FSまで増加します。この動作は、FVM400を通常の状態に戻すために、Calibrateキーが押されるまで繰り返されます。

Coord

張つこ座標と極座標表示を切り替えるために、Coord キーを押します。座標系は、図3で示すセンサープローブに関して定義されます。直交座標系ではセンサプローブケース上に表示されている各ベクトル成分の矢印の方向が正の値の方向です。

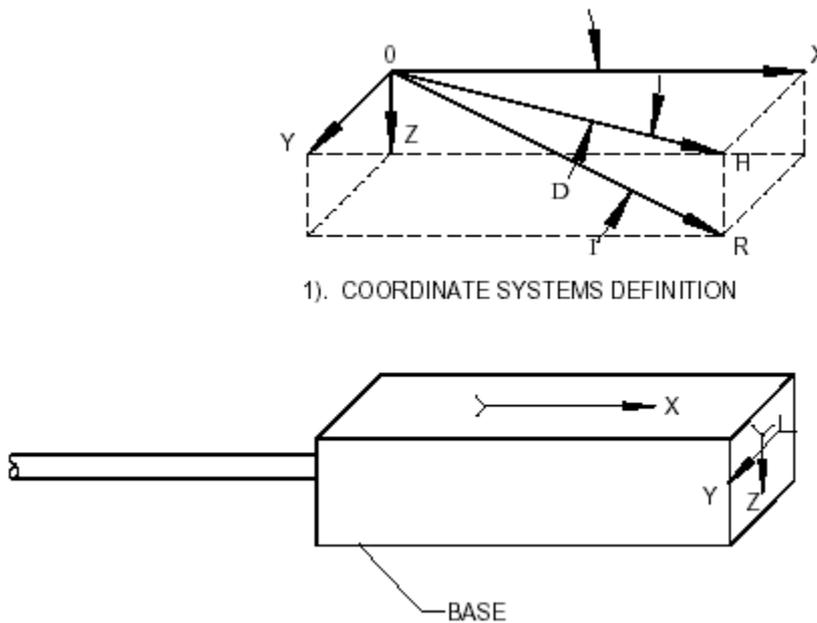


図3 FVM400の座標系

極座標系では、R(resultant)は磁場の大きさを示し、D(declination)とI(inclination)の角度はX-Y平面に対する磁場ベクトルの方向を示します。Dは、X-Y平面上に投影した磁場ベクトルとX軸との間の角度です。

正の角度は、投影ベクトルがX軸に対して時計回りに回転する方向です。

Dの角度範囲は、 -180° から $+180^{\circ}$ です。

Iは、磁場ベクトルとX-Y平面間の角度です。正の値は、磁場ベクトルが基準面に対して下方を向いたときの角度です。

Iの角度範囲は、 -90° (上の方向) から $+90^{\circ}$ (下の方向) です。

DAC

DACキーを押すと、FVM400の内部バッファのデータが、処理されたアナログ出力として出力されます。データが出力されている間は、一番下に、Buffer DACと表示されます。データは、測定されたときと同じレートで出力されます。Snapshotの場合は、30秒の間、毎秒7.5点出力されます。DAC キーを押す前に、Gainとアローキーを使って磁場ベクトル成分に対するゲインを設定することができます。Gainキーの説明のところで、出力のスケールファクター、レンジと分解能に関するゲインの設定の効果について述べます。

Gain

このGAIN キーパッドは、表示されるベクトルの成分に関する DAC 出力のゲインを設定します。GAIN は、DAC 出力スケールファクター ($\mu\text{V/nT}$) とダイナミックレンジを決定します。スケールファクターは、ゲインとゲイン 1 でのスケールファクターの積です。出力のフルスケールレンジはゲインに反比例します。ゲイン 1 の成分に対する DAC 出力のフルスケールレンジは 100,000 nT で、ゲイン 2 に対する成分の DAC 出力は 50,000nT になります。DAC 出力の分解能は、12 ビット (4096 分の 1) です。次の表に、スケールファクター、レンジと 8 つの設定可能なゲインの設定値に対する分解能を示します。

表 2 出力ゲインに対するスケールファクタとレンジと分解能

| Gain | Scale Factor ($\mu\text{V/nT}$) | Range (nT) | Resolution (nT) |
|------|-----------------------------------|---------------|-----------------|
| 1 | 24.41 | $\pm 100,000$ | 50.00 |
| 2 | 48.83 | $\pm 50,000$ | 25.00 |
| 4 | 97.66 | $\pm 25,000$ | 12.50 |
| 8 | 195.3 | $\pm 12,500$ | 6.25 |
| 16 | 390.6 | $\pm 6,250$ | 3.13 |
| 32 | 781.3 | $\pm 3,125$ | 1.56 |
| 64 | 1.56 mV/nT | $\pm 1,563$ | 0.78 |
| 128 | 3.13 mV/nT | ± 781 | 0.39 |

GAIN キーが押されるたびに、ゲインは 128 まで 2 倍ずつ増加します。さらにキーを押すと、1 に戻ります。DAC に磁場変化の高解像度測定値を出力するために、初期の磁場値をゼロにするために、Rel キーを使ってください。それから、見込まれる磁場の変化の範囲で最も大きな分解能を得られる値にゲインを大きくしてください。

Manual

FVM400 をマニュアル測定モードにするために ALT キーを押した後、Manual キーを押します。この測定中は、Manual、Sample、と Suspend キーをのぞくキーは使用できません。そして一番下の行に Man と表示されます。磁場の 3 つの成分は、指定したサンプリングレートで測定されます。測定される値は、マニュアルサンプリングモードを選択した時に選択した座標系と各成分の測定モードに (ABS or REL) 依存します。Sample キーを押すことで測定されます。一番下の行の Man の右側の 3 つの数字は、保存されているデータの数が表示されます。測定を中止するときは、ALT キーを押した後再度 Manual キーを押します。Manual 取り込みモードが開始されるときに、データ保存バッファにはゼロが保存されます。そして Sampl キーが押されると測定値が取り込まれ、カウンターがカウントを始めます。測定終了後は保存されたデータを外部に移すか、記録するまで測定を再開しないでください。新に測定 (Snapshot, Record or Manual) を開始すると、全ての保存されている測定データは消えます。

FVM400 の電源を切ってもデータは消えません。

もしマニュアル測定の時間間隔が長い、たとえば数分の場合、休止 (Suspend) 状態 (パワーダウンではなく) にすることで電池寿命を延ばすことができます (Suspend の項を参照してください)。FVM400 がパワーダウン状態から復帰したときは、パワーダウン前の状態に戻り、マニュアル測定を続けます。マニュアル測定が完全に終わるまで FVM400 の電源を切らないでください。電池の消耗を抑えるためには、休止 (Suspend) 状態にしてください。

Pwr Dn

Pwr D キーを押すたびに、パワーダウンモードが有効と無効に交互に切り替わります。パワーダウンモードは、FVM400 の電力消費を減らしバッテリー寿命を伸ばします。キーパッドの操作が無効になるパワーダウン機能が有効の場合 (FVM400 の電源が入ったときにはパワーダウンモードは有効になっています)、FVM400 は、10 分間キーパッドが押されなかった場合パワーダウン状態に入ります。もしパワーダウンが無効の場合、FVM400 は、電源が切られるまであるいは、パワーダウン機能を有効にするまで、フルパワーで動作します。パワーダウン機能が有効の時には電池の状態表示の間に X が表示されます。パワーダウンの状態であればキーを押すとパワーダウン状態になる前の測定状態に戻ります。表示されたベクトル成分が相対測定モードの場合、表示された値は、相対測定にしたときの磁場値からの変化量となります。FVM400 がマニュアル測定モードの場合、パワーダウンモードから通常状態に戻ったとき、マニュアルサンプルモードを継続して行います。

FVM400 VECTOR MAGNETOMETER

Record

ALTキーを押した後、Recordキーを押すと30秒間データを記録します。その間キーパッドは使用できません。Recが一番下の上に表示され、その右には経過時間が秒で表示されます。3つの磁場ベクトル成分は、毎秒17.4点測定、保存されます。保存される値は、選択した座標系と各成分の測定モード(ABS or REL)に依存します。

Rel

Rel E キーを押すと、選択している成分を、絶対測定と相対測定モードを切り替えます。(と の説明を参照してください) 相対測定時のとき、測定値と単位の間には # が表示されます。相対測定で、表示されている磁場ベクトル成分の値は、このキーが押された時保存された値を、以降の測定からその値を差し引かれたものです。相対測定の間、表示される値はこの初期値からの磁場の変化量です。測定することができる変化の範囲は以下の式によって与えられ、初期値に依存します。

Maximum positive change = +100,000 nT - initial field value

Maximum negative change = -100,000 nT - initial field value

この測定モードは、表示されているベクトル成分にのみあてはまります。各ベクトル成分の測定モードは、独立に設定することができます。たとえば、Z成分が相対モードで、XとY成分が絶対モードということもありえます。DACアナログ出力は、測定モードと表示されたベクトル成分で指定したゲインに依存します。Gain キーについての詳細を参照して下さい。

Remote

Remote キーを押すと、ローカルとリモートモードとを切り換えます。

リモートモードでは、ディスプレイの一番下の行に Rem と表示されます。リモートモードではRemoteキー以外、キーパッドは使用できません。そしてFVM400は、RS232通信ポートを通して受け取られる命令に应答するだけです。またパワーダウン機能は使用できません。リモートモードの詳細は次で説明します。

RS232

RS232キーを押すと、FVM400 の内部バッファに保存されているデータをRS232ポートに送ります。その間、Memory RS232 と一番下の行に表示されます。データフォーマットについては次で説明します。

Sample

これは、マニュアル測定の時のみ有効になります。Sampleキーを押すと現在の磁場の成分を取り込み、保存データ番号をカウントし、ディスプレイに表示します。保存される値は、選択した座標系と各成分の測定モード(ABS or REL)に依存します。

Screen

Screenキーを押すと一番最初の保存されているデータが表示されます。一番下の行の右側に表示される場3つの番号は、データ番号です。キーを押す番号が大きくなり次のデータが表示されます。キーその逆の動作をします。手動での閲覧方法を使い全ての保存データを見ることは退屈です。データを見る場合の便利な方法は、データをDACアナログ出力に出力させるか、RS232ポートでコンピュータにデータを送ることです。

Snapshot

Snapshot キーを押すと、7.5 秒間のデータ記録を始めます。

キーパッドは記録している間は使用不能となり、一番下の行に Snp が表示されます。磁場の3つのベクトル成分は、1秒につき67.5点の速度で測定保存されます。保存された値は、選択された座標系と各成分の測定モード(ABS or REL)に依存します。

Suspend

Suspendキーを押すとFVM400 は直ちに休止状態になり、Press any key to startと表示されます。FVM400が休止状態のとき、どれかキーを押すと休止する前の状態に復帰します。これは測定間隔が数分あるいはより長いマニュアル測定の場合に、電池の消耗を抑える便利な機能です。

FVM400 VECTOR MAGNETOMETER

Units

ALT キーを押した後に、Units キーを押すことで磁場値を表示する単位を選択します。単位選択の順序は、nT- μ T-mG-nT です。選ばれた単位は、全ての表示される磁場値に適応されます。

アナログ出力

アナログ出力はFVM400の右側面の8ピンmicroDINコネクタから取れます。図4にコネクタの形とピン配置を示します。アナログ磁力計出力信号は較正されていませんが、精度は $\pm 5\%$ より良いです。出力は磁場ベクトルの直交座標成分の値と一致します。また出力レンジとスケールファクターは固定されます。アナログ磁力計の周波数応答は100Hz以上です。FVM400の基本的なデジタル信号処理の応答周波数が10Hzなので、これを越える信号周波数の測定をするときに役立ちます。

DAC出力信号は、FVM400によってデジタル的に処理され較正された信号です。DAC出力スケールファクター、レンジ、分解能とベクトル成分の関連は、選ばれた座標系、個々の成分のゲインと個々の成分の測定モード(ABS or REL),によって決定されます。これらの出力がゲインによる影響についての説明は、Gain キーの説明を見て下さい。測定モードがDAC出力による影響についての説明は、Rel キーの説明を見て下さい。

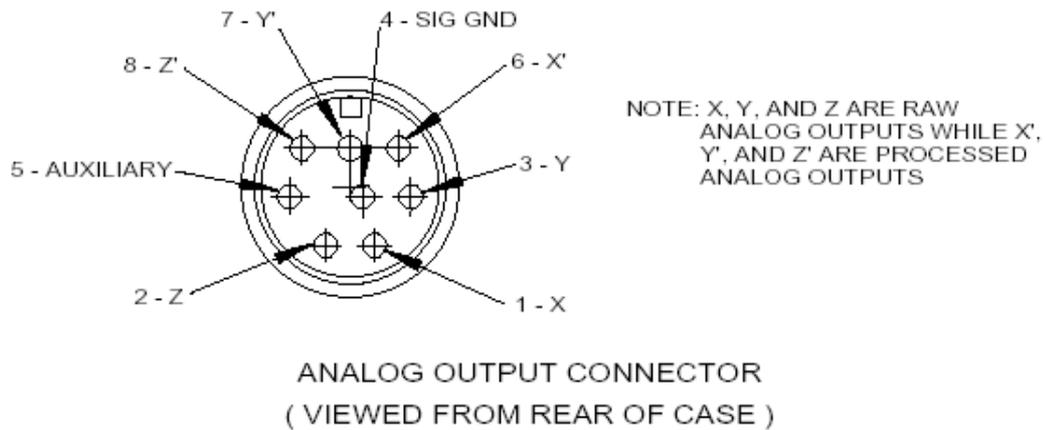


図4 FVM400 アナログ出力コネクタ

注: 極座標表示が選ばれたとき X', Y', Z' DAC 出力は、R、D、I と一致します。

アナログ出力のピンの内容

| ピン | 直交座標系 | 極座標系 |
|----|-------|------|
| 6 | X' | R |
| 7 | Y' | D |
| 8 | Z' | I |

センサー形状

図5 フラックスゲートエレメントの物理的な位置を示します。

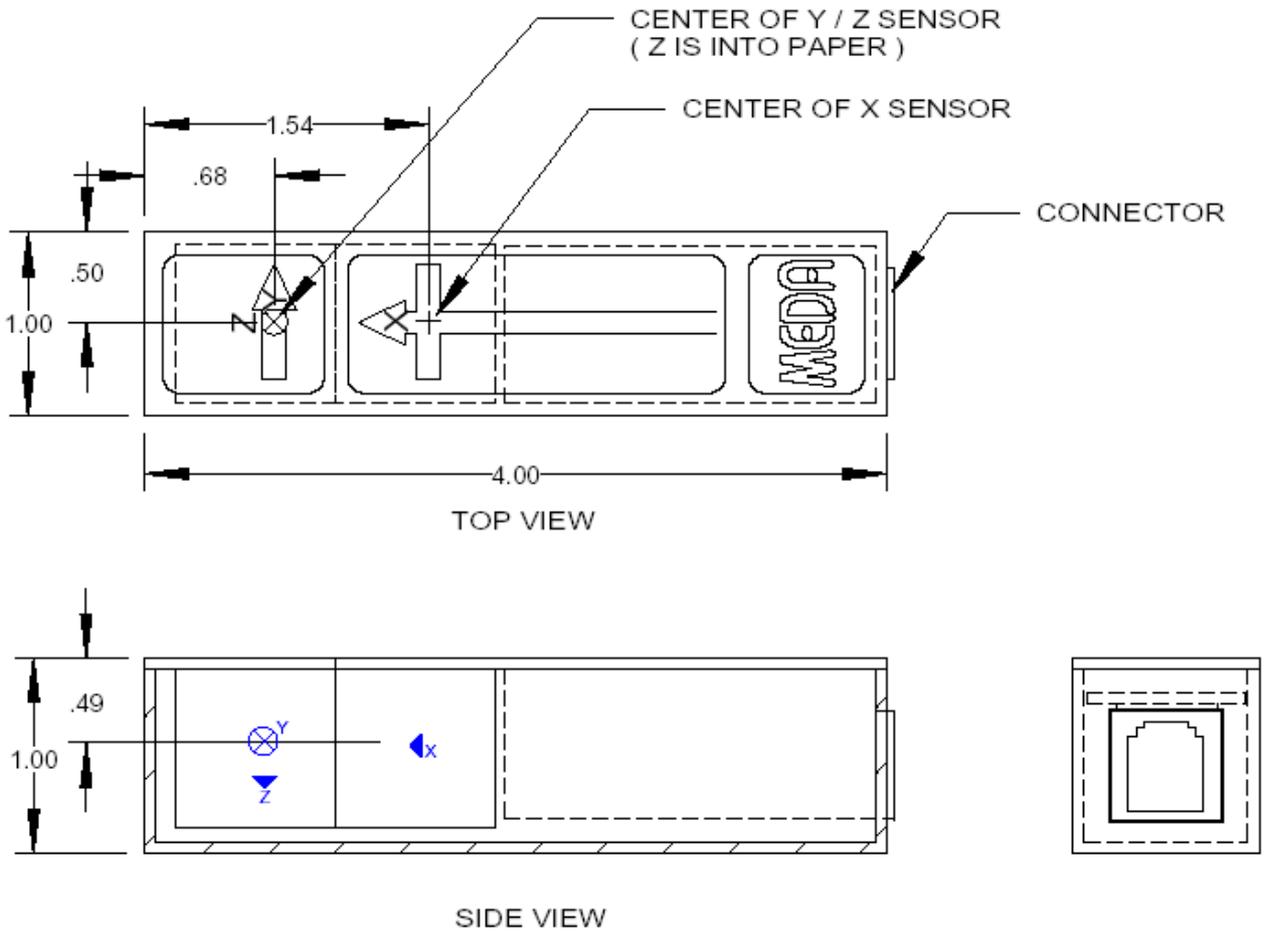


図5 フラックスゲートセンサーの物理的な位置

センサーは、2つのリングコアのフラックスゲートエレメントから成り、1つのリングコアは、お互い直行した2つのシグナルコイルを持ちます。これらのコイルは、磁場のYとZ軸成分を測定します。1つのコイルと、最初のリングコアに対して直角に配置された第2のリングコアは、磁場のX軸成分を測定します。センサーは、本体と標準のRJ45 8芯モジュラーフラットケーブルで接続します。

校正している間、センサー軸調整は、センサーケースの底面と前面のふちに対して相対的に測定されます。測定された成分は行列変換を使ってデジタル処理されます。正しいベクトル成分は、スクリーンに表示され、そして極座標に変換するためにも使用されます。

リモート操作

ここでは FVM400 が RS232 インターフェースを通じてどの様にコンピュータで制御できるかについて説明します。FVM400 は、1つの測定値の送信、*Snapshot* または *Record* 測定の開始、座標系の設定/読み、表示成分の設定/読み、測定モードの設定/読み、記録されたデータバッファの内容の送信、FVM400 をデフォルト状態に設定します。

RS232インターフェース

FVM400 には、接続ケーブルが付属し、このケーブルの FVM400 側の片端は 3 線のミニ電話プラグで、もう片方側のコンピュータあるいはターミナル側は 25 ピン D サブメスコネクタとなっています。D コネクタの配線は、IBMPC 互換のコンピュータのシリアルコネクタ (com) と互換性を持ちます。

それは、DTE オペレーションで構成されます。3 線のみ使用し、ハードウェアまたはソフトウェアハンドシェイクはありません。

表 3 RS232 D - サブコネクタのピンの説明

| ピン | 信号 | 詳細 |
|----|----|-------------------------|
| 2 | TX | FVM400 からのデータ送信 |
| 3 | RX | コンピュータあるいはターミナルからのデータ受信 |
| 7 | SG | シグナルグランド |

データは、9600 のボーレート、one start bit、eight data bits、no parity bit、one stop bit で送られます。全てのデータバイトは、ASCII キャラクタとキャリッジリターン<cr>-制御コード (0AH) または FVM400 からデータ伝送の終わりを示すために使われる送信の終わり<EOT>-制御コード (04H) です。

コマンド

FVM400 に送られる命令は、1 から 3 つまでのキャラクタからなる ASCII 文字列です。FVM400 からの反応は、<EOT>制御コードが続く ASCII 文字列から成る。命令が受け入れられた場合、すぐに 'A' あるいは 'E' が返されます。命令を送って、反応を受けるためには FVM400 がリモートモードでなければなりません。FVM400 がリモートモードのときは、ディスプレイの一番下の行に Rem が表示されています。Remote キーを押すとローカルコントロールに戻ります。

次の表に、命令と FVM400 反応を示します。

表4 リモートコマンドのリスト

| Command | Description | Response |
|---------|---|--|
| * | Set the FGM-5DTAA をデフォルト状態にします。直交座標系、X 成分、ABSOLLUTE 測定モード | A<EOT> |
| ? | 1つのデータを取り、選択した座標系の3つの成分を返します。その値は、成分で選択したモードに基づき絶対値あるいは相対値です。 | A<EOT> <comp 1>, <comp 2>, <comp 3><cr>D<EOT> |
| D | Snapshot、Record、Manual. 測定で測定し保存してあるデータを送ります。 | A<EOT> <type> ¹ , <coord> ² , <mode> ³ , <comp 1>, <comp 2>, <comp 3><cr>..... <comp 1>, <comp 2>, <comp 3><cr>D<EOT> |
| GM | 現在表示されている成分に対する測定モードを得ます。 | AOD<EOT> 絶対値測定の場合。 AID<EOT> 相対値測定の場合 |
| GC | 現在表示している成分を得ます。この成分は、選択している座標系に依存します。 | AOD<EOT> X 成分あるいは R 成分の場合。AID<EOT> Y 成分あるいは D 成分の場合 A2D<EOT> Z or I |
| GX | 現在の座標系を得ます。 | AOD<EOT> 直交座標系。 AID<EOT> 極座標系。 |
| SMO | 測定モードを ABSOLUT にします。 | A<EOT> |
| SMI | 測定モードを RELATIVE にします。 | A<EOT> |
| SXO | 座標系を直交座標系にします。 | A<EOT> |
| SX1 | 座標系を極座標系にします。 | A<EOT> |
| SC0 | 表示する成分を X もしくは R にします。(座標系に依存します) | A<EOT> |
| SC1 | 表示する成分を Y もしくは D にします。(座標系に依存します) | A<EOT> |
| SC2 | 表示する成分を Z もしくは I にします。(座標系に依存します) | A<EOT> |
| RS | 7.5 SEC 測定にします。測定が終了した後に、<EOT>制御の続いて"D"を送ります。 | A<EOT>D<EOT> |
| RR | 30.0SEC 測定にします。測定が終了した後に、<EOT>制御の続いて"D"を送ります。 | A<EOT>D<EOT> |

1<type> Snapshot,は'S'、Recordでは'L'、Manual.では'M'

2<coord> 直交座表系では0、極座標では1

3<mode> 測定モードの表示：0-全て絶対値、1-成分1が相対値、2-成分2が相対値、

3-成分1と2が相対値、4-成分3が相対値、5-成分1と3が相対値、

6-成分2と3が相対値、7-全て相対値

測定について

ここでは、磁気計測の効果と精度を改善する手法について述べます。

磁場の単位

この分野で一般的に使われる単位は、弱い磁場では、ナノテスラ (nT) またはガンマ () です。磁場大きさの単位としては、よくミリガウス (mG) またはマイクロテスラ (μT) が使われます。強い磁場では、ガウス (G)、エルステッド (Oe) または Tesla (T) が使われます。使われているもう一つの単位は、Ampere/meter (A/m) です。

測定のこれらの異なる単位は、磁場計測器のユーザーの間でしばしば混乱を引き起こします。これらの単位の全ては、相互に関係づけられます。エルステッドと Ampere/meter だけは、磁気場の強さを指定するための適当な単位です。他の単位は、透磁性と呼ばれている物質の特性を通して磁気場の強さと関連がある磁束密度をあらわします。それは空気の透磁率が cm-g-s (cgs) 単位系では 1 であり、大部分の測定は空気中で行われます。これらの状況の下で、磁束密度の大きさと、場の強さ大きさは、同じものであって、時々単位を取り換えて使っています。

単位の関係を、下に示します

$$\begin{aligned} 1 \text{ nT} &= 1 \\ 1 \text{ G} &= 10^5 \\ 1 \text{ A/m} &= 4\pi \times 10^3 \text{ Oe} \\ 1 \text{ T} &= 10^4 \text{ G} \\ 1 \text{ mG} &= 0.1 \mu\text{T} \end{aligned}$$

FVM400 では、nT、μT または mG を、表示する磁気場の強さの単位として選ぶことができます。

磁場ベクトルについて

磁場はベクトルです。空間の中のどんな点でも磁場に大きさと方向があります。それを図6に示します。ベクトルは通常ベクトルの方向を示す矢印により表記され、ベクトル大きさと比例して長さを表示します。磁場ベクトルは、お互いに直角の角度である 3 つの成分ベクトル (X,Y,Z) に分けられることができます。これはベクトルの直交座標系と呼ばれています。ベクトルの大きさは、成分ベクトル大きさを 2 乗し、2 乗したものを合計して、その平方根をとることで求められます。ベクトルはまた、その大きさ R と角度 D と角度 I で表記できます。それは極座標系と呼ばれます。

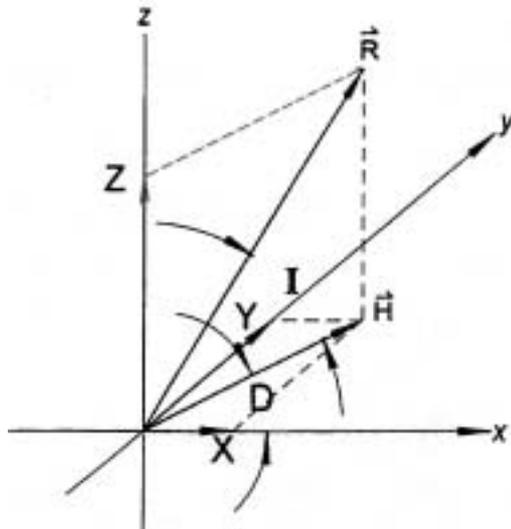


図6 FVM400 の磁場ベクトル表示

FVM400 VECTOR MAGNETOMETER

プローブ上面と先端面上の矢印は、FVM400 の直角座標系を示しています。それは、右手系です。矢の方向は磁場ベクトルの直交座標成分を測るときの、FVM400 の正の読みとなる磁場ベクトルの方向を示します。LCD に表示されるベクトル成分はこの系に基づいています。

ベクトルの直交座標と極座標の成分はお互いに関連があります。

片方の成分から別の系の成分に変換する場合以下の式を使用して下さい。

$$R = \sqrt{(X^2 + Y^2 + Z^2)}$$

$$X = H \cdot \cos D$$

$$Y = H \cdot \sin D$$

$$Z = R \cdot \sin I$$

$$R = \sqrt{(H^2 + Z^2)}$$

$$H = \sqrt{(X^2 + Y^2)}$$

$$D = \tan^{-1}(X/Y)$$

$$I = \tan^{-1}(Z/H)$$

FVM400 はこれらの2つの系のベクトル成分を同等に表示することができます。

地磁気

我々は地球によって作られる静的磁場の中にいます。この磁場の存在は磁場測定において助けにも邪魔にもなります。方位計（コンパス）というものは良く知られています。コンパスの針はそれ自体磁石です。そして地球の磁場中に置かれるとき地理的な北極に非常に最も近い北の磁極の方を指し示します。地球の磁場は極を除いて地球上の至る所で存在するため役に立ちます。FVM400 は磁北の方向を求める為のコンパスとして使うことができます。

地球の磁場も隠された対象物を見つける助けにもなります。多くの対象物は磁場中に置かれる場合、永久にあるいは一時的に磁化する強磁性体でできています。水道管、light poles、自動車そして多くの器具はこのカテゴリーに分類されます。通常、地球の磁場は広い地域内では非常に均一です。しかし、これらの種類の対象物はその近くで地球の磁場のゆがみを生じさせます。埋められた物や隠された対象を見つけたいとき、これは利点となります。いろいろな場所で磁場を測り、一様性における変化を探することができます。磁場の変化の空間的なプロットは、対象の場所を正確に認識し、指摘する為に使える「magnetic signature」をつくります。

次では、磁北の位置を決定するためにFVM400を使う場合の手順と、自分の今いる場所での地磁気の測定法について説明します。

方位計

FVM400 は、磁北を決定するためのコンパスとして使うことができます。最高の結果を得るために、測定をする前に体から鍵、ベルトバックルと腕時計のような全ての強磁性体の物を外します。磁北を求めるために、以下の手順に従って下さい。

1. FVM400 の電源を入れます。
2. FVM400 を極座標モードにする為に *Coord* キーを押します。
3. プローブのベースを水平に維持し、プローブ上面の X 軸をゆっくりと D 成分の読みがゼロになるまでプローブの水平を保ったまま回転(z 軸に対して)します。プローブ上面の X 軸の矢は、現在磁北の方向を向いています。

地磁気の測定

地球の磁場ベクトル成分は、FVM400 を使って測定できます。磁場ベクトルの大きさは、前の1と2のステップに続いて、地球磁場ベクトルの測定成分として R 成分で直接測定できます。この方法では、最も正確な測定結果を得られません。FVM400 プローブの内部のセンサーの取り付け角度に誤差が生じているかもしれません。地球の磁場ベクトル大きさの最も正確な測定を行う場合、次の手順に従って下さい。

1. これの前で記載した手順を行います。
2. プローブが北を指した状態で、直交座標モードにする為に *Coord* キーを押します。
3. X 軸成分の値を、磁場の水平成分としてこの値を記録します。Y 成分はほぼゼロを示します。
4. 極座標モードにし、I 成分を磁場の傾斜角度としてこの値を記録します。
5. I 値がゼロになるまで、プローブを傾けます。
6. X、Y と Z 軸成分が表示されるまで *Coord* キーを押します。X 成分の値を地球の磁場ベクトルの大きさとして、この値を記録します。

地球の磁場ベクトルの大きさの測定は、この方法を使えばかなり正確に測定できます。しかし、傾斜と水平磁場成分の測定は、水平面からプローブを傾ける精度に依存するため非常に正確というわけではありません。最高の水平成分と傾斜角度を得るためには、磁性のない面を使い、そして表面が水平なことを確かめるために、水準器を使って下さい。

下の表に、アメリカのいろいろな都市における標準的な地球の磁場ベクトルの特性を示します。

表5 色々な都市の地磁気成分

| CITY | H(nT) | Z(nT) | R(nT) | I(deg) | D(deg) |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| WASHINGTON, D.C. | 20,535 | 49,866 | 53,929 | 67 | -13 |
| NEW YORK, N.Y. | 19,508 | 51,553 | 55,121 | 69 | -13 |
| MIAMI, FL | 25,721 | 39,768 | 47,360 | 57 | -3 |
| CHICAGO, IL | 18,643 | 53,922 | 57,054 | 71 | -1 |
| DENVER, CO | 21,509 | 50,636 | 55,015 | 67 | 11 |
| SAN FRANCISCO, CA | 20,609 | 49,765 | 53,854 | 67.5 | 19 |
| LOS ANGELES, CA | 25,283 | 42,260 | 49,246 | 59 | 14 |
| SEATTLE, WA | 19,208 | 52,742 | 56,131 | 70 | 20 |
| NEW ORLEANS, LA | 24,797 | 43,902 | 50,421 | 61 | 2 |
| BOSTON, MA | 18,881 | 52,003 | 55,324 | 70 | -16 |

この表に記されている値は、測地学の座標を参照しています。

FVM400 の D 値が表のそれと同じ値を持つまで、水平面上でセンサーを回転させることによってこれらの都市のどこでも測地学の北の位置を決めるために FVM400 を使うことができます。

定磁場の測定

FVM400 は、対象が磁化されているかどうか、そしてそれが作る静磁場を計るために使うことができます。磁化された対象は、距離に対して著しく減少する静的磁場を持ちます。対象とプローブ間の距離が2倍になると、一般的にその本来の値の1/8に低下します (r を対象から測定点までの距離として、 $1/r^3$ に比例して磁場の大きさはだんだん小さくなります)。

磁化された対象による地球磁場中のゆがみは、対象から近いところのみです。強い磁化の対象はさらに離れても見つけることができます。永久磁石の磁場は、比較的離れた距離でも FVM400 で計ることができます。通常地球の磁場で磁化される物は、非常により小さい磁場のため、見つけるためには FVM400 の近くになければなりません。

FVM400 VECTOR MAGNETOMETER

磁化された対象が地球の磁場中にあるため、FVM400によって計られる磁場は両方の磁場の合計となります。それで対象の磁気のみを、測定値から抽出する方法が必要となります。それは対象の存在に起因する極部的な地球の磁場の変化の測定を行うことで目的は達成できます。直交座標系の成分の変化を測定することは、対象の磁性を特徴づける為の1番良い方法です。プローブは地球の磁場中で動かせるので、動かすと直交座標系の成分が変化してしまいます。それで測定をするための1番良い方法は、対象をプローブの方へ近づけたり離して測っている間、FVM400のプローブを固定することです。

対象は、若干の永久磁化と地球の磁場により誘発された若干の磁化を持ちます。

永久の磁化は、存在する磁場に依存しません。対象が回転すると、永久の磁化によって作られる磁場は回転します。誘導磁気は地球の磁場ベクトルの方向と大きさそして対象の磁気的特性に依存します。対象が磁氣的に均一で等方性である（全ての方向で同じ特性）ならば、誘発された磁化は地球の磁場の方向と一致し比例します。誘導磁気に起因する磁場は、対象が回転することによって回転しません。対象の回転を含む一連の測定を通して、これらの2つの磁化の相対的寄与を決定することができます。磁化された対象が十分にFVM400プローブ（少なくとも対象の最も長い寸法の長さの2倍）から遠く離れているならば、それが生成する磁場は、対象が2つの磁気双極子：永久の磁化を表すものと誘導磁気を表すものとしてモデル化し、そう仮定することによって近似することができるかもしれません。

対象により生成される磁場を決定する磁気双極子の特性は、磁気双極子モーメントと呼ばれているベクトルです。双極子モーメントベクトルは、対象と関連する座標系に対し相対的に固定される永久に磁化された双極子モーメントベクトル(m_x, m_y, m_z)と地球の磁場に対する座標系に相対的に固定される誘導双極子モーメントベクトル($m_{x_i}, m_{y_i}, m_{z_i}$)の合計です。括弧の中の各項目は、それぞれのベクトルを表現する座標系での直交座標成分です。これらの成分の値がわかっている場合、対象によって発生する磁場は、磁気に関して書かれている一般的な本の中に載っている式を使用して計算することができます。以下に記述する測定手順は、これらの成分の値を決定するための説明です。

データの取り込み

1. テストされる対象の幾何学的中心を決定します。これは、全ての回転中心軸です。
2. X軸(X方向の寸法)に対する対象の最も長い寸法に印をつけ、そして先に矢印をつけた直線を対象に引きます。
3. YとZ軸と呼ばれているもう2本の軸をX軸とお互いに直角な軸を決めます。対象に向かって引いた矢印のついた直線を使って軸の方向を示します。この参照している座標系は右手系であることを確認します。
4. プローブ上に書かれているX軸の矢を含む平らな表面にFVM400のプローブを固定します。
5. 直角座標系、X軸成分を選択します。
6. プローブから測定対象物をかなり離し（影響の無い状態で）、各成分を相対測定モード(REL measurement mode)に設定します。成分の読みは現在ほぼゼロを示すはずで。
7. 対象の中心とX軸センサーの中心を示している十字カーソルの間の距離が、対象のX寸法の2倍になる場所に、プローブのX軸の延長線上に沿って対象を置きます。（図7を参照）
8. プローブのX、Y、Z軸と対象のそれが一致するように、対象を回転させます。プローブと対象物の軸の矢印は、同じ方向を指していなければなりません。（図7を参照）
9. 対象の中心とプローブのX軸センサーの中心間の距離を測定し記録します。プローブのYとZ軸についても行います。プローブの十字カーソルはセンサーの中心を示します。
10. X、Y、Z軸の磁場値をFVM400で測定し記録します。
11. 対象のX、Y軸の矢印がプローブのそれに対して反対を向く様に、Z軸について180度対象を回転させます。対象の中心が同じ場所にあることを確認します。
12. X、Y、Z軸の磁場値をFVM400で測定し記録します。
13. 対象をはじめの状態に戻します。磁場の値は、ステップ10で記録した値と同じはずで。
14. 対象のXとZ軸の矢印が対応するプローブのX,Z軸の矢印と反対方向を向く様に、対象をひっくり返します。プローブY軸と対象のY軸は、同じ方向を向いています
15. X、YとZ軸の磁場をFVM400で測り記録します。
16. プローブのX軸の延長上で、プローブから1インチの位置に対象を動かします。対象のX、Y、ZとプローブのX、Y、Z軸と同じ方向を向いています。そして10から15のステップを再度行います

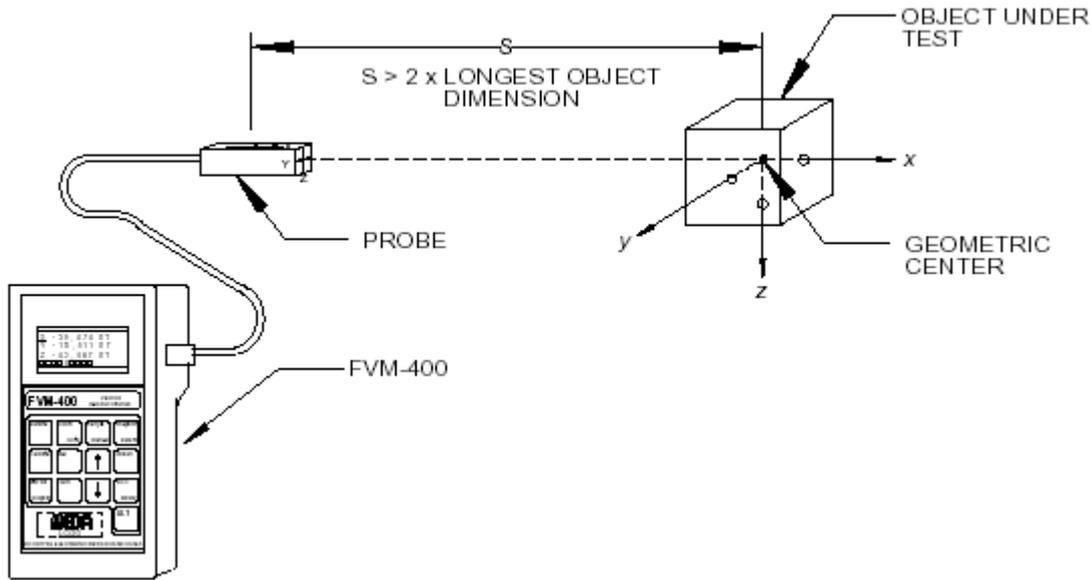


図7 対象物の磁気モーメント測定する場合はじめの位置

データ整理(換算)

プローブから異なる距離での磁場の測定は、磁化された対象が双極子としてモデル化できることを確かめるために行います。もし双極子モデルが正しい場合、データのプロットは、磁場の強さが距離 r の $1/r^3$ の率で減少していることを示しているはずですが。X 軸に対するステップ9の距離の測定は、X 軸センサーの中心が Y、Z 軸センサーの中心より遠いため、Y と Z 軸に対するものより0.5 インチ長くなります。これは考慮に入れておく必要があります。

また、対象の幾何学的中心が、磁気的な中心でないということもありえます。

データが $1/r^3$ 上に乗る様にプロットされた値をシフトすると、磁気的な中心のある位置が明らかになります。シフトの評価は、以下の式を使用し、2つの測定から計算することができます：

$$d = \frac{(s_2 - s_1 \cdot (R_1/R_2)^{1/3})}{[(R_1/R_2)^{1/3} - 1]}$$

R_1 と R_2 は距離 s_1 と s_2 での読み値。そして、 d は測定した距離に、磁気的中心と幾何学的中心間の距離を修正する為に加えるあるいは差し引く値です。以下の式を使用し永久の磁化双極子モーメントの成分を計算します：

$$\left. \begin{aligned} mx_p &= (X_0 - X_{180}) \cdot r^3 / 4 \\ my_p &= (Y_0 - Y_{180}) \cdot r^3 / 2 \\ mz_p &= (Z_0 - Z_{180}) \cdot r^3 / 2 \end{aligned} \right|$$

FVM400 VECTOR MAGNETOMETER

X_0, Y_0, Z_0 は、対象を回転させる前に、最初に測定された値。 X_{180} と Y_{180} は、対象がZ軸（ステップ11）に対して180度回転させられた後に測定された値。そして Z_{180} は、対象をひっくり返した後（ステップ14）測定されたZ軸成分の値です。距離 r は、適切なプローブ中心から対象の幾何学中心までの距離です。

次の式を使用して、誘導磁気双極子モーメントの成分を計算します：

$$\begin{aligned} mX_i &= (X_0 + X_{180}) \cdot r^3 / 4 \\ mY_i &= (Y_0 + Y_{180}) \cdot r^3 / 2 \\ mZ_i &= (Z_0 + Z_{180}) \cdot r^3 / 2 \end{aligned}$$

X、Y と Z の測定は、永久磁気双極子モーメントの成分計算のための記述と同じです。

動作等の原理

ここではFVM400の操作について説明します。図8にFVM400のブロックダイアグラムを示します。

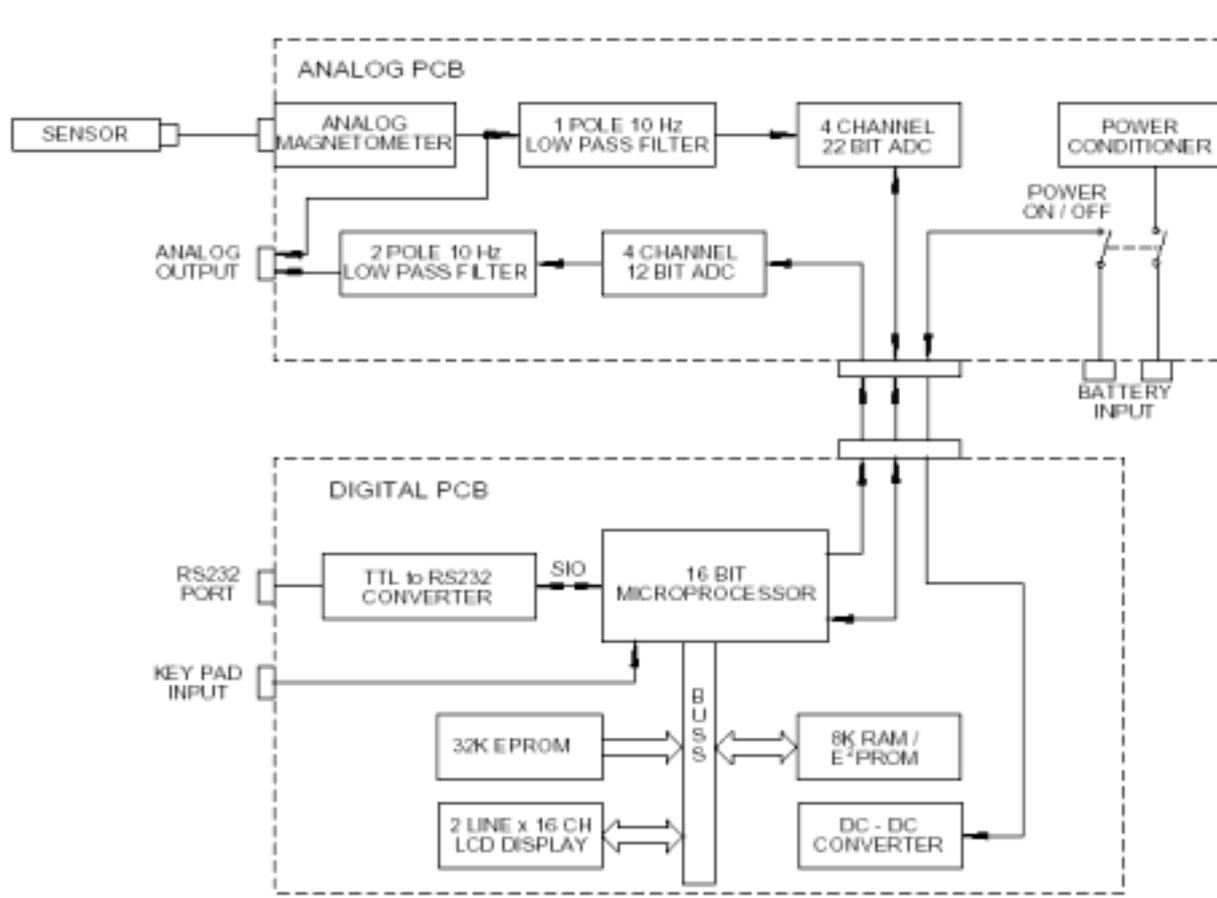


図8 FVM400のブロック図

FVM400 VECTOR MAGNETOMETER

FVM400 は、センサユニット、アナログプリント回路基板 (PCB) とデジタル PCB の 3 つの大きな部分からなっています。センサユニットは、磁場の 3 つの直交成分を測る為の 2 つのフラックスゲートエレメントを含みます。アナログ磁力計は、センサドライブ信号を供給しそしてセンサ出力信号を処理します。アナログ磁力計の出力は、3 つのアナログ電圧です。これらの信号の大きさと極性は、3 つの磁場ベクトル成分の大きさと方向を表します。これらの信号は、マイクロプロセッサで処理された信号と一緒にアナログ出力コネクタから出力されます。

各々のアナログ磁力計信号は、4 チャンネル 22 ビット AD コンバータに入力される前に 1 段の 10Hz ローパスフィルタを通ります。ADC のデジタルフィルタに加えて、これらのフィルタは、ADC のナイキスト周波数 (Nyquist frequency) を越える周波数を伴う信号によるエイリアシングを最小にします。

ADC 出力は、スケールファクター、ゼロオフセットとアライメント補正がなされるマイクロプロセッサボードへ送られます。極座標は、補正された直交座標系の成分から計算されます。これらの補正され、計算された成分の値は平均値になり、それから選択された成分は 1 秒に 2 回の割合で、1 行 16 文字、4 列の LCD ディスプレイに表示されます。

リモートコンピュータまたはターミナルとの通信は、3 線式 RS232 を通して行います。

TTL-to-RS232 コンバータは、TTL 信号を RS232 の信号レベルに変換します。

FVM400 をリモートモードにする場合、測定は一時停止し、そして、FVM400 はリモートターミナルまたはコンピュータからの命令を待ちます。FVM400 が普通のローカルオペレーティングモードの場合、TTL-to-RS232 コンバータは電源を節約するためにオフにされます。

32 キロバイトの EPROM には、FVM400 のオペレーティングプログラムが入っています。

8 キロバイトの RAM は、プログラムによって、*Snapshot*、*Record* と *Manua* 測定で記録されるデータのために、又サンプリング機能を使ってデータを記録する場合も、一時的に必要な記憶領域を提供します。RAM は、FVM400 をオフにした時に、RAM のデータを不揮発メモリに保存するシャドーEEPROM をも持ちます。そして再びオンしたときに、データを元に戻します。

FVM400 は、1 秒につき 69.75 回の割合で磁場の測定をします。訂正されたデータは、同じレートで、4 チャンネル 12 ビットのデジタル-アナログ変換器 (DAC) へ出力されます。DAC の出力は、アナログ出力コネクタに出力される前に、2 段の 10Hz のローパスフィルタを通ります。結合された 10Hz の入力フィルタと 10Hz の出力フィルタは、非常によい性能の 4 段のフィルタ (four pole Butterworth filter.) を作り上げます。

DAC に送られるデータは、選択した座標系と各成分で選択したゲインに依存します。直交座標系の場合、(X、Y、Z) 成分は処理され DAC に送られます。極座標系の場合、(R、D、I) 成分は処理され DAC に送られます。DAC に送られる値は、選択したモードと各成分のゲインにも依存します。モードは信号が、成分の測定値が絶対値であるか相対値であるかどうかを決定し、そして、ゲインは、出力電圧のスケールファクターを決定します。ゲインと DAC 出力信号の関係については、*Gain* に関する説明を見て下さい。

フラックスゲートの原理

磁力計の心臓部は、フラックスゲートです。それは磁場を電圧に変える変換器です。FVM400 は磁場の3つの成分を測るために2つのリングコアフラックスゲートを使っています。1つのリングコアは一つの信号用巻線があり、X軸成分を測ります。第2のリングコアは、2本の直角の巻き線を持ち、YとZ軸成分を測定します。

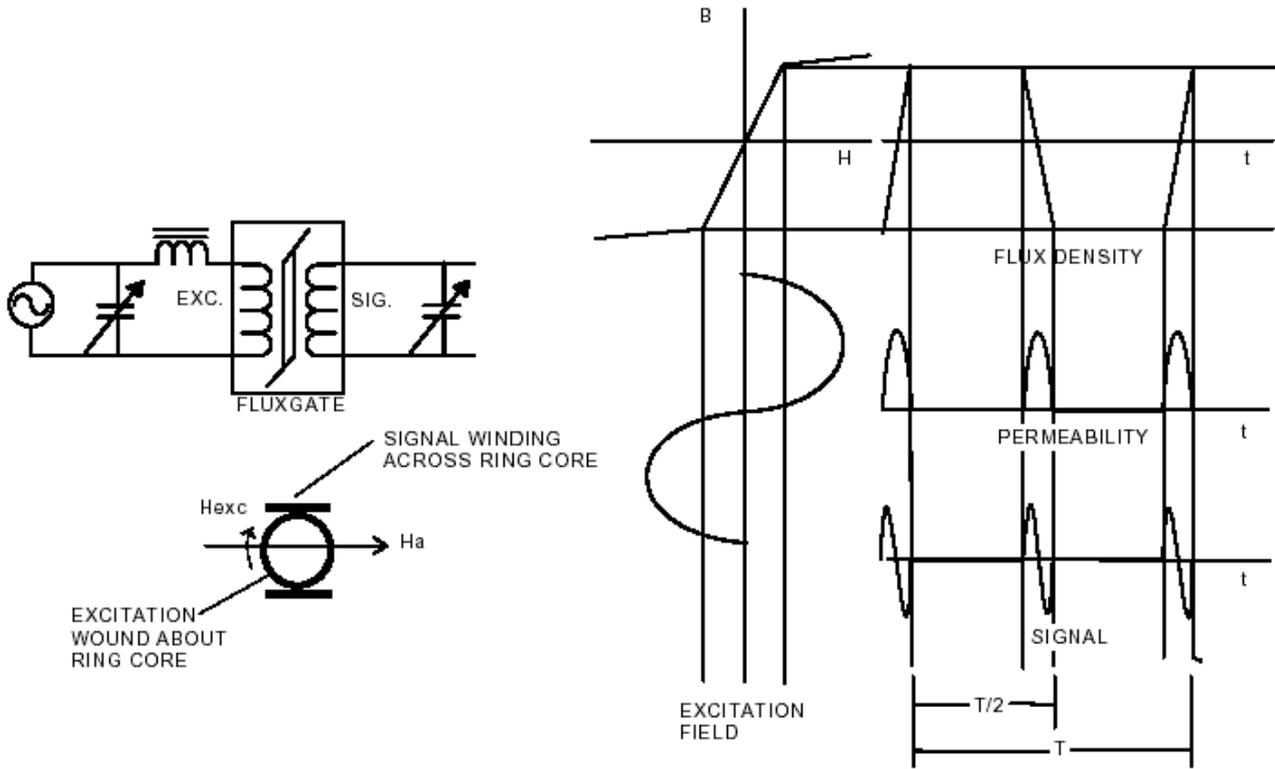


図9 リングコアフラックスゲートの動作

リングコアフラックスゲートは、簡単に飽和する強磁性体の薄いリボンからできています。例えば4-79 パーマロイをリングまたはトロイダルを作り上げるためにボビンに巻きつけたもの。図8で示すように、交流電流はトロイダル状に巻きつけているコイルに供給されます。これは磁性コアのまわりで循環する磁場をつくります。この磁場は最初に時計回りに、そしてそれから反時計回りに周期的に飽和させる鉄系材料内に磁束をつくります。ピックアップ(信号)用の巻き線は、トロイダルの外部に巻かれます。鉄系材料が極端な飽和状態でない場合、それは非常に空気透過率より大きい平均の透過率を維持します。コアが飽和状態のとき、コアの透過率は空気のそれと等しくなります。信号用の巻き線に沿った磁場の成分が無い場合、この巻き線による磁束変化はゼロです。一方磁場の成分が信号用の巻線の軸に沿って存在する場合、鉄系材料が極端飽和状態から極端飽和状態に移るとき、コアの中の磁束は低レベルから高いレベルまで変化します。ファラデーの法則によれば、磁束が変化しているときには、信号用の巻線に磁束の変化率に比例した電圧を生じさせます。

コアの透過率が小さな値から大きい値まで振れるので、外部の磁場の大きさと比例する振幅を持つ信号用巻線の出力と磁場の方向を示す位相を持つ電圧パルスを作ります。信号の周波数は各励起の繰返して、飽和から飽和になる回数が2回起こる為励起周波数の2倍となります。

アナログ磁力計

フラックスゲートからの信号は、励起信号の第二高調波で同期している振幅変調された抑制搬送波信号です。FVM400 アナログフラックスゲート磁力計の簡略図を図 10 に示します。

センサーの左側の回路は励起回路と呼ばれます。それは励起周波数の 2 倍に合わせた発振器、発振器周波数を 1/2 に分けるフリップフロップと励起用巻き線に励起電流を供給する、フリップフロップによって駆動するパワーアンプから成ります。

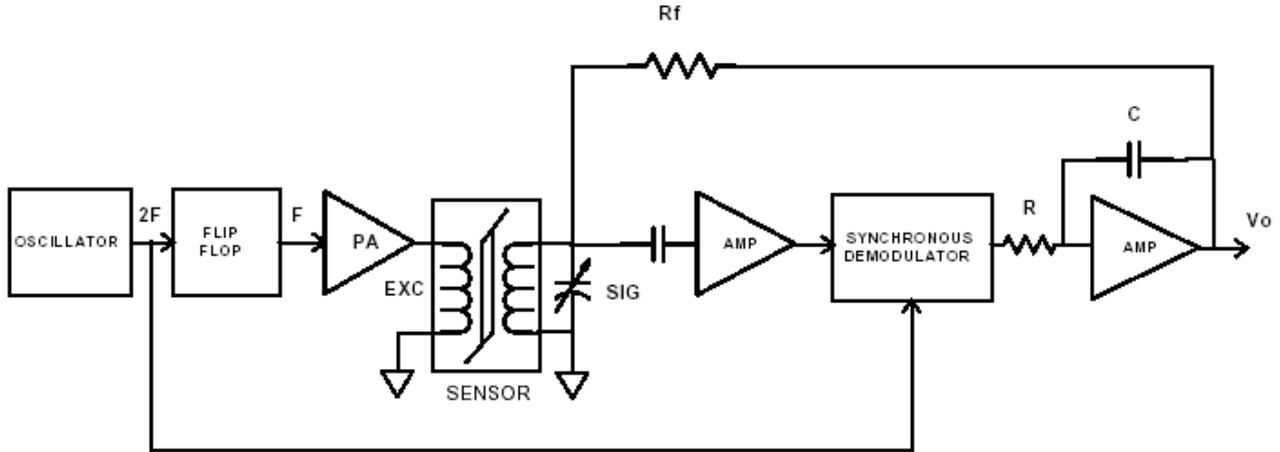


図10 FVM400の1チャンネルのブロック図

フラックスゲートの右側の回路は、信号チャンネル回路と呼ばれます。それはフラックスゲート信号用巻き線からの出力を増幅し、リファレンスとしての発振器信号を使って AC 信号を同期復調して、ベースバンド出力を積分、増幅し、それから信号巻き線に抵抗を通して出力をフィードバックします。フィードバック信号はセンサ内に、外部磁場を打ち消す磁場を作ります。これはセンサ内の磁場をほぼゼロに、そして強磁性コア - の磁化曲線の線形部分にコア - を保持します。

これらの状況の下で、伝達関数はほとんど完全に、センサ巻き線の電流-磁場コイルの定数に対する帰還抵抗との比率によって決定されます。これらの定数の両方ともかなり良く制御することができます。この回路の構造により温度または時間に対する回路部品の変化に対して安定しており、非常に安定した正確な磁力計となります。

信号処理

図11は、アナログ磁力計から受け取られるアナログ信号がどのように処理されるかについて示すブロック図です。アナログ信号は最初に、サンプリングプロセスで起こるエイリアシングを減らすために2段の10Hzバターワースローパスフィルタ(Butterworth low pass filter)を通ります。フィルタを通ったデータは、550 kHzのレートでADCでサンプリングし、73Hzの折点周波数(a corner frequency)でデジタルローパスフィルタをかけられます。デジタルフィルタの伝達関数は

$$|H(f)| = \left[\frac{\sin \pi f / f_s}{\pi f / f_s} \right]^3$$

fs は出力レート (279Hz) で、f は信号周波数です。

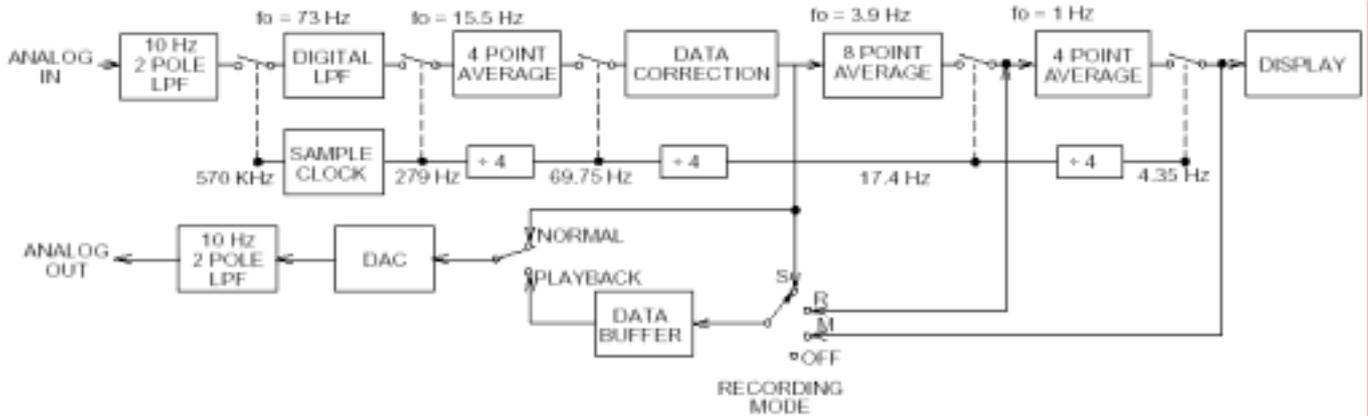


図11 FVM400の信号ブロック図

ADC 出力は 15.5Hz の折点周波数 (a corner frequency) を持つ 8 ポイントアベレージャでデジタル的に処理されます。このフィルタの出力は 1 秒当り 69.75 回サンプリングされ、それから、データはゲイン、ゼロオフセットと角度の訂正がなされます。記録データを表示しないとき、訂正された磁場成分の値は DAC に送られます。DAC 出力信号は、DAC ゲインを掛けられた絶対値あるいは相対値の成分です。

これは *Snapshot* 測定を選択した場合に記録される信号です。

訂正されたデータは、3.9Hz のコーナー周波数の別の 8 ポイントアベレージャに通されます。このフィルタの出力レートは 1 秒当り 17.4 回です。これは *Record* 測定を選択した場合に記録される信号です。この信号の 8 ポイントの平均は、1 秒当り 2 回 LCD の上に表示されます。MANUAL サンプルモードの場合と *Sample* キーを押した場合は、表示された信号は記録されま

保守

ここでは、FVM400の保守に関して説明します。

センサプローブ

センサプローブは、防水ではありませんので、水に浸けないで下さい。

天気の悪い時の測定時には、コネクタから水がセンサ内に入らない様にビニール袋等の保護ケースの中に入れてください。

磁石のような大きい磁場の発生している場所の近くにセンサプローブを置かないで下さい。ゼロ磁場の値が永久にシフトし、センサを元に戻すために消磁する必要があるかもしれません。

センサを硬い面に落さない様にして下さい。ハンマーで叩いたり、ケーブルで吊るさないで下さい。このようなことをするとセンサに永久的な障害が生じます。

測定器本体

プローブ同様、本体も防水ではありません。ケース内部に水気が入りこまない様に保護して下さい。

注意：

ケースを開けないで下さい。FVM400の較正が無効になりますので自分では決して修理しないで下さい。もし測定器に問題が発生した場合は、MEDAの技術サポートが代理店に連絡してください。

乾電池の交換

FVM400には本体の裏蓋の中に2つの乾電池が取り付けられています。電池ケースの一つには、DIGITALと表示され、デジタルPCB回路用のものです。もう一つはアナログPCB回路用の乾電池です。両方の乾電池は、普通に市販されている9Vの乾電池です。表6に対応する交換用乾電池を示します。リチウム電池は最も長く使用できます。FVM400はこれらのどの乾電池でも正しく動作します。デジタルPCBはアナログPCBより多くの電力を必要とする為、電池を交換する頻度が高くなります。アナログPCBにアルカリ乾電池を使用し、デジタルPCBにリチウム電池を使用することで、2つの電池の寿命をほぼ同じにすることができます。

表6 FVM400の乾電池

| Manufacturer | Part Number | Type |
|--------------|-------------|----------------|
| Eveready | No. 522 | Alkaline |
| Duracell | MN1604 | Alkaline |
| Eveready | E146X | Mercuric Oxide |
| Ultralife | U9VL | Lithium |

FVM400 VECTOR MAGNETOMETER

センサ及びケーブルコネクタのクリーニング

長期間、センサケーブルコネクタを本体とセンサのオスコネクタに接続していることで汚れたり酸化したりします。このような状況ではFVM400の測定性能が悪化するかもしれません。センサの位置を変えたり、電源をONとOFFしてもFVM400が普通の動作をしない場合、接触部分をクリーニングしなければなりません。

その場合以下の手順でクリーニングして下さい。

1. 若干のイソプロピルアルコールをコネクタ端子の上にとらします。
2. やさしく、Q-チップか小さい固い剛毛ブラシを前後に動かし、接触部分をこすり洗いして下さい。
3. 洗浄後、最低10分間乾燥してから接続してください。
4. 圧縮空気が利用できる場合、それで乾燥させてください。FVM400は直ぐに使用できます。

FVM400を長時間使っていなかったときはいつでも、FVM400を使う前にセンサケーブルコネクタとそれにつながるコネクタの接触部分をきれいにしてからお使い下さい。

ACアダプター

FVM400には、電池の代わりに使用できるACアダプターが付属します。このACアダプターは北米使用で、120VAC、60Hz入力で、出力は9VDC、200mAです。コネクタは外側がプラスの標準の2.1x5.5 mm DC 電源ジャックです。北米以外で使用する場合は、AC電圧変換アダプターとアダプタープラグが必要です。アダプターの出力電圧は、前に述べた電圧でコネクタの使用に合わなくてはなりません。

注意： 12 VDC以上の電圧を使用しないでください。FVM400の故障の原因になります。修理の場合は販売代理店にご連絡ください。

較正について

FVM400は、少なくとも1年間は仕様を満たすことを保証します。FVM400の性能が仕様を満たすために毎年再調整をしなければなりません。MEDAは、National Institute of Standards and Technology (NIST)に基づいた較正証明書発行を含む較正を実行することができます。

保証

この機器に関し、部品及び製造上の欠陥に対してMacintyre Electronic Design Associates, Inc. (MEDA) が保証します。もし購入日から1年以内に生じた場合は、最初の購入者が、MEDA（販売代理店）に返送する場合修理します。最初の購入者は全ての輸送費を前払いし、欠陥がこの保証によってカバーされることを証明しなければなりません。モデルとシリアル番号を、サービス（販売代理店）に連絡してください。故障の原因が不適切な使用法または通常の使用状況でないことが判明した場合、修理は有償となります。どのような場合においても、MEDAの責任に範囲は、不良部品の修理及び交換の費用のみとさせていただきます。MEDA（販売代理店）の責任は、1年の保障期間の終了とともに完了します。

| |
|--|
| 販売代理店 株式会社 オプティマ 〒134-0083 江戸川区中葛西 5-32-8 圭盟ビル Tel : 03-5667-3051 Fax : 03-5667-3050 e-mail info@optimacorp.co.jp URL http://www.optimacorp.co.jp |
|--|