

シングルチップ エンコーダー による 制御装置の性能向上

制御装置を設計する場合、動作速度や位置の情報を既存のロータリーエンコーダー や リニアエンコーダーでフィードバックする事が出来ます。標準エンコーダーは 通常の 大部分の設備や制御装置に 機械的 及び 電氣的に 接続可能になっています。

エンコーダーの場合、標準ハウジングに 収まったものや モジュール型が 一般的です。従来からの センサー類は 多くの制御装置設計に使われ 標準形状で設計されています。この様な 標準製品が 大部分の制御の用途に使われていますが、エンドユーザーの選択は 限られた 形状や寸法に 限られます。

そこで 用途に合わせた対応として **シングルチップ エンコーダー** (以下 S.C.エンコーダー、正確には **シングルチップセンサーモジュールと ディスク/ローターとの 組合せのエンコーダーの意味**) を使って 設計を行えば より高度で集約された センサー技術を利用できます。シングルチップ使用により 形状や寸法に 自由度が増し、より 精度の高い 出力信号で システム全体の性能を 向上させる事が 可能です。

この白書では 制御装置の 全般的性能向上の 助けとなる S.C.エンコーダー に関する 説明を致します。

説明内容

- 1) [動作制御装置の性能向上](#)
- 2) [S.C.エンコーダーによる方策](#)
- 3) [S.C.エンコーダーの型式と選択](#)
- 4) [性能向上に役立つ S.C.エンコーダーの 利点](#)
- 5) [纏め](#)
- 6) [関係資料](#)



1) [動作制御装置の性能向上 Increasing Performance in Motion Control Applications](#)

動作制御の場合、設備全体の性能を向上させる 一つの方法は 動作のフィードバック経路の 改善にあります。種々の用途に於いて、ロータリー 或いは リニアエンコーダーは 回転速度や位置情報を データとしてリアルタイムで 制御装置へフィードバックします。

制御装置の性能向上の場合の例としては次の様なものが考えられます。

- 位置決め精度の向上
- 作業速度アップ
- システム効率の向上
- 信頼性と再現性の改善

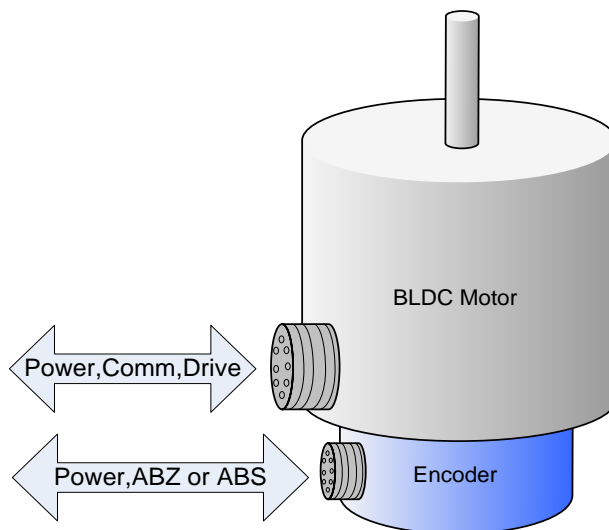
また下記の例の様な事を可能にする事が考えられます。

- 装置全体と組立部品の校正
- リアルタイムでの設定調整
- 寸法公差精度改善
- 機械的位置決め調整
- 予防的メンテナンスの調整

この様な多様なシステム改善がいつも出来れば有り難いのですが、新規や既存の設計に於いて必ずしもこの様な利点を使えるとは限りません。この様な変更を実行すると、設備設計を複雑にしたり、生産性を下げたり、形状やコストに影響したり、市場へ売出すタイミングを遅らせたりしかねません。しかしここでは動作制御に於けるエンコーダーからのフィードバックに照準を合わせて、この様な問題点を総合的に減らしたり取除いたりするエンコーダー設計の方策を議論したいと考えます。

2) S.Cエンコーダーによる方策 The Single-chip Encoder Approach

一つの例として 図-1の標準的モーターの組立に付いて考えてみましょう。



Note: BLDC= Brushless DC

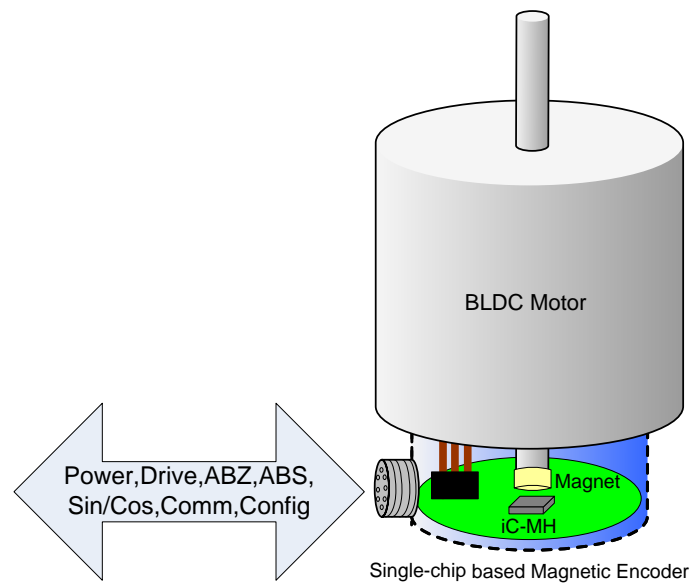
Comm= Commutation, ABZ= Incremental Output, ABS= Absolute Position Output

図-1: 通常のハウジングに入ったエンコーダーを取付けたブラシレスモーター

ここではブラシレスモーターに回転制御の目的で、通常売られている標準的エンコーダーが、軸の位置情報のフィードバックのために取付けられています。一旦モーターに付いたエンコーダーを制御装置に接続すると、装置の性能向上目的で出力や条件設定など、エンコーダー自体に施す必要のある機械的や電氣的な調整はほとんど出来ません。大抵の場合、これで全然問題有りませんが、より高い性能が要求される設備に使われる場合は設計目標に合う様

(2)

にエンコーダーに対してさらに追加の設定が必要になります。次に比較のため 図-2 に示してある S.C.エンコーダーに付いて説明致します。



Note:

Comm= Commutation, ABZ= Incremental Output, ABS=Absolute Position Output
Sin/Cos= Analog Sine and Cosine outputs, Config= Encoder Configuration

図-2: S.C.エンコーダーを使用した場合のブラシレスモーター

ここでは通常のハウジングに入ったエンコーダーの代わりに S.C.エンコーダーが使用されています。チップの設計段階に於いては電気回路とチップ化のためのパッケージ化設計が必要になります。この際、機械的な設計は比較的簡単なのですが、電気回路の設計は最初はかなり困難そうに見えます。しかし高度に集積された S.C.エンコーダーがあると、エンコーダーチップ 1 箇と数個の補助的個別部品があれば事足ります。この場合通常、電気回路参考設計図と部品配置図はエンコーダー用 IC のメーカーから入手できます。

図-2では通常のエンコーダーの代わりに S.C.エンコーダーで設計されていますが、この場合 S.C.エンコーダーは **iC-MH** という磁気エンコーダー IC です。この様な設計によりエンコーダーの条件設定をデジタル接続に合わせることが可能になります。こうする事により、この様に種々の条件に適応して動作制御フィードバックを高度化しシステムの改善が出来ます。

次に S.C.エンコーダー用 IC 自体とは別に、図-1 から 図-2 への設計変更の際に注意すべき点を説明します。既に説明致しました様に電気回路設計はエンコーダー IC と補助的個別部品で構成されます。また必要であれば、他の目的の特別な回路や接続点を追加する事も可能です。例えば、ブラシレスモーターの場合、モーターの電源ケーブルがエンコーダーの回路に取り込まれ、モーター/エンコーダーの電源・信号出力が 1 本のケーブルで制御装置へ接続され、ケーブル取付けを単純化できます。さらに、もし そうしたければ ブラシレスモーターの制御装置(ドライブ)の電気回路さえ追加する事も可能です。図に示してある様に、エンコーダーチップがモーター軸の回転の検出する方法は直径方向に着磁された磁石を通して行われています。

(3)

磁気ローターはモーター軸の外径に直接取付けられており、モーターの軸位置や回転速度を直接エンコーダーチップ
[テキストを入力]

White Paper

へ伝える事が出来ます。面白い事に この場合 ブラシレスモーターであるにも拘わらず、整流用のホール素子が付いていません。このエンコーダーチップは 整流信号を出力する事も 可能なため、この場合 余分な もう一組のセンサーを 付ける必要がなくなります。さて この S.C.エンコーダーの設計に於いて 最も 強調しておきたい事に 動作制御に 複数の異なる信号の検出が 出来る事があります。S.C.エンコーダーの場合、インクリメンタル信号、サイン・コサインの アナログ信号 (関係資料[4]) の出力 また 諸条件設定と 絶対位置のデータ解析 のための デジタル シリアル接続を 同時に行う事が出来ます。図-2の 設計思想を参考にして 設備性能向上のために S.C.エンコーダー設計を もう少し 詳しく進めて行きます。

3) S.C. エンコーダーの型式と選択 Single-chip Encoder Types and Options

S.C.エンコーダーには 二つのタイプが有ります。図-3 に示した様に 磁気式と 光学式の 2種類です。用途により これら二つのタイプの どちらを使うかは 設備の性能に 大きな影響が有ります。例えば、磁気式の場合、大変 厳しい使用環境に 耐えますし、エンコーダーの構造も 大変 簡単になりますが、分解能や 信号精度は通常 類似の 光学式よりは 劣ります。この例として、磁気式用の [iC-MH8](#) と 光学式用の [iC-LNG](#) を 比較してみてください。この様に、エンコーダーが使用される 用途とその環境を 考えて 選択をする事が 重要です。



図-3: シングルチップICを使用した磁気式(磁石ローター)と光学式(LED+ディスク)

(4)

例として、表-4の S.C.エンコーダーIC 型式 仕様比較表を 参考にして下さい。各々の ICの 特徴を比較して、システムの性能の向上に 最も適した対応を 見つけ出す事が出来ます。

[テキストを入力]

www.ichaus.com

Parameter	Single-Chip Optical Incremental Encoder IC's			Single-Chip Magnetic Encoder IC's		
	iC-LTA	iC-PT33xx	iC-PT26xx	iC-MH	iC-MH8	iC-MU*
Resolution	Variable+	1000...2500 CPR	250...1250 CPR	12 bit	12 bit	18 bit
Commutation signals	UVW	UVW	UVW	Diff. UVW	Diff. UVW	UVW
Integrated UVW driver	No	No	No	Yes	Yes	No
Pole pairs supported	Variable	Variable	Variable	1 and 2	1, 2 and 4	1 to 16
Max. motor speed [RPM]	typ. 24,000+	typ. 12,000	typ. 24,000	120,000	120,000	24,000
ABZ output	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
SSI/BISS Interface	No	No	No	Yes	Yes	Yes
Sine/cosine	No	No	No	No	Yes	Yes
SPI Interface	No	No	No	No	No	Yes

+ defined by code disc * In qualification

Parameter	Single-Chip Absolute Optical Encoder IC's		
	iC-LNG	iC-LNB	iC-LG, iC-LGC
Resolution	16 bit	16...18 bit	9...20 bit
Commutation signals	MCU calculation	MCU calculation	MCU calculation
Integrated UVW driver	No	No	No
Pole pair supported	Variable	Variable	Variable
Motor position update	100 ns	500 ns	4 μs
ABZ output	Yes	Yes	No
Serial output	Shift register	Shift reg., SSI	SSI, BiSS
Sine/cosine	512/1024 CPR	1024 CPR	512/.../4096 CPR
Parallel output	14 bit	16 bit	15 bit
Controller interface	SPI	SPI	8-bit MCU

表-4: S.C.エンコーダーIC型式仕様比較表

出力形態 Output Format

図-5にある iC-LNG の様な S.C.エンコーダーICは 複数の異なる信号を 同時に 出せます。その出力形態は 標準のAB + Z 矩形信号、サイン・コサインの アナログ信号、シリアル接続のアブソリュート、パラレル接続のアブソリュートです。



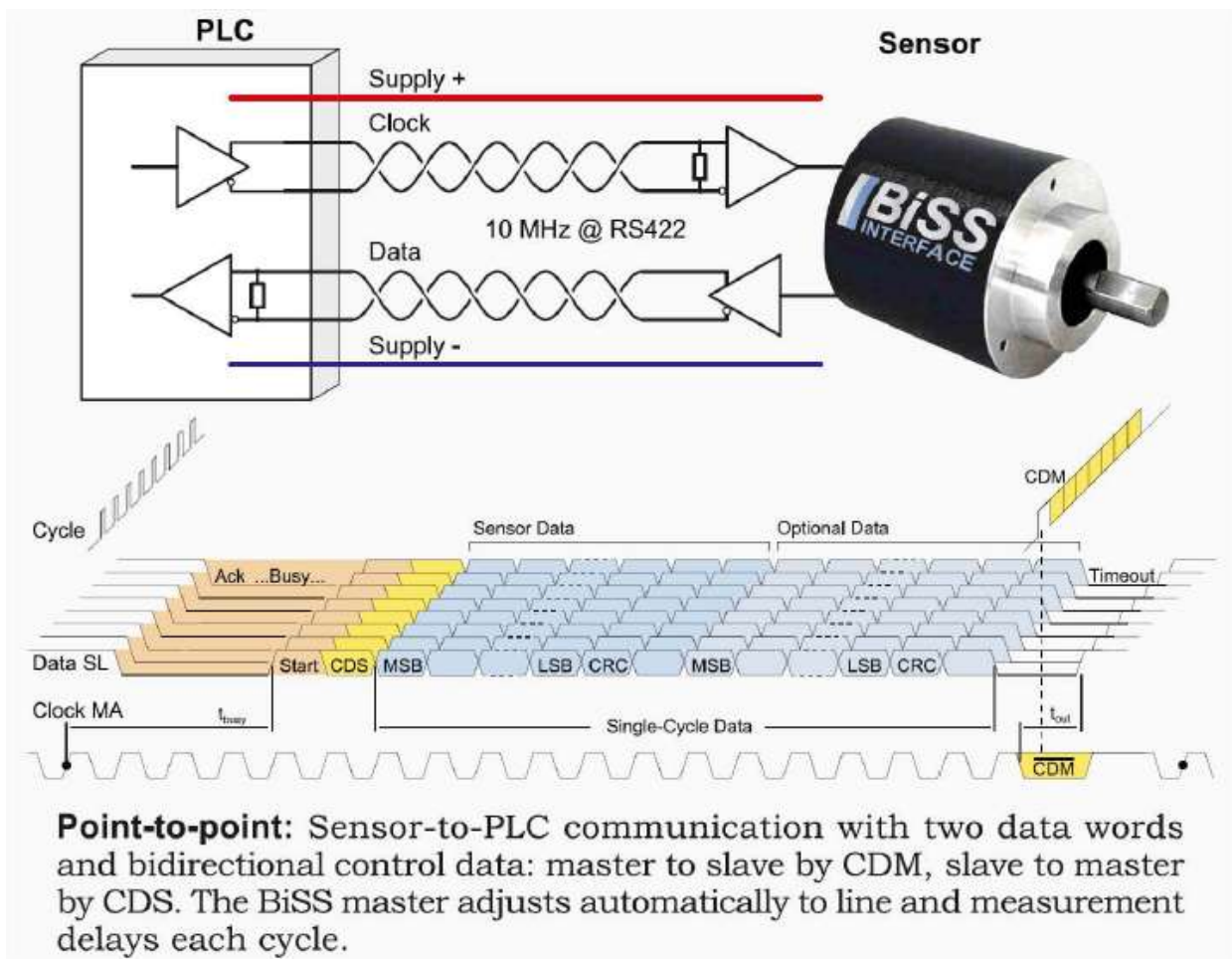
図-5: iC-LNG: 光学式アブソリュートエンコーダーICで 可能な 多種類の信号

(5)

iC-MH8 の様な S.C.エンコーダーには 条件設定と 絶対位置測定のために 高速シリアル接続を 可能にする BiSS

(Bi-directional Synchronous Serial Interface、二方向シクロ直列接続)という 無償公開の シリアル接続のソフトが 有ります。

図-6、に示されている様に、この接続には クロックと 絶対位置読取り用データ 及び エンコーダー条件設定の 読取り・書込み データがあれば 充分です。位置データの 読取りは SSI (server side include)に 似ていますが、ご覧の様に 設定データの 読取りと書込みは 2箇の マスタービットCDM スレーブビットCDS で 上手く 処理されます。BiSS そのもの自体が SSI エンコーダー接続を 可能にするだけでなく、より高い データ処理量や データの精度を 上げるための 繰返し重複チェックの様な ビルトイン機能を持っています。BiSS に関する さらに詳しい情報は [BiSS website](#) 関係資料 [1] で ご覧下さい。



二地点間：2データ言語と2方向制御データでの Sensor-to-PLC 伝達：
 CDMにより マスターから スレーブへ、CDSにより スレーブから マスターへ
 BiSS マスターは 各々のサイクルで ラインと 測定値の遅れを自動的に調整する。

図-6: BiSS 直列接続 - 二地点間接続

4) 性能向上に役立つ S. C.エンコーダーの 利点

Single-chip Encoder Features for Boosting Performance

S.C.エンコーダー内の諸部品機能は チップ上の センサー素子を 上回る進歩をしています。これらの部品は 現在では 多くのビルトイン機能を持ち 一つのチップ上で 集積部品を 形成し 高機能の エンコーダーシステムを 作り上げました。

White Paper

図-7に示されている様にビルトイン機能の例は 下記のようなものが有ります。

- アナログ信号調整
- サイン・コサイン波の 通倍デジタル信号化
- 信号エラーチェック
- ゲインの自動調整
- 複数のエンコーダー信号出力形式
- ブラシレスDCモーター用 整流出力
- デジタル信号設定
- ラインドライバー機能
- システム内 プログラミング機能

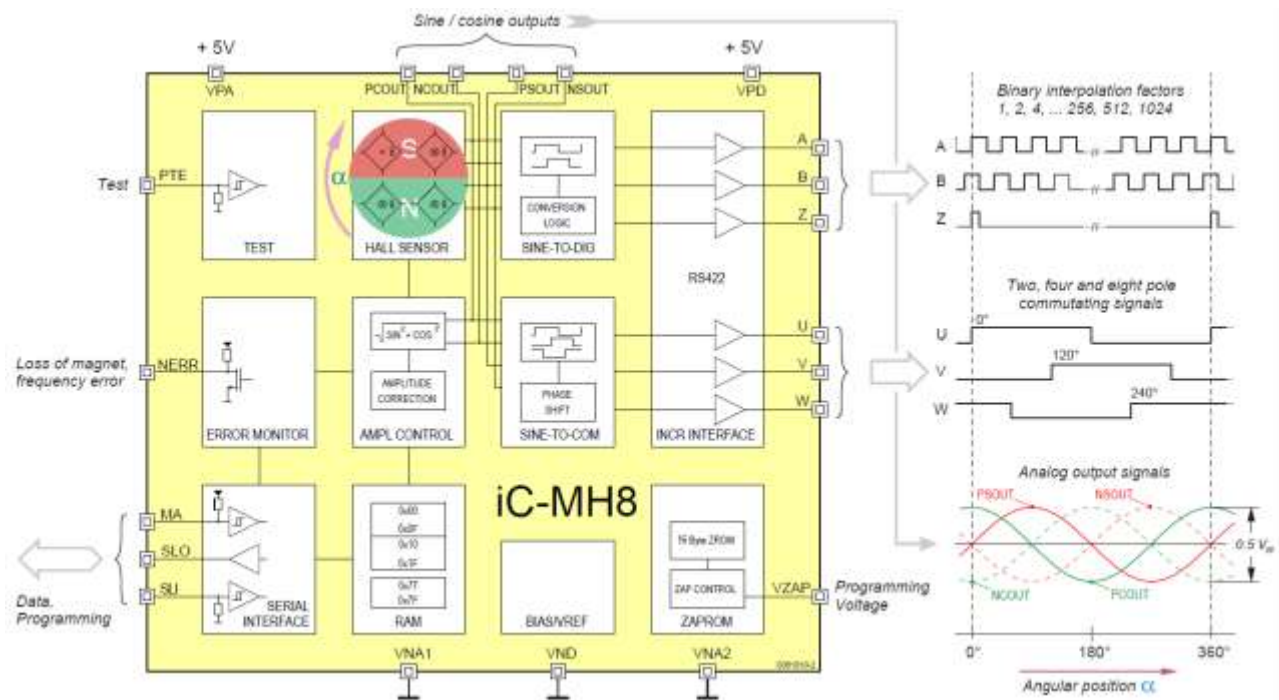


図-7: iC-MH8 磁気式エンコーダーICのブロック図

強調して置きたい事は、一つの エンコーダー部品に この様な 自由度の高い 多様な機能が収まっているだけでなく、これらの機能を用途の必要性に応じて 調整出来るという事です。例えば、アナログ信号を 設定・調整 出来る機能は 高精度信号を出力出来る事に繋がります。また、整流極数を選択できる機能は 多種類の ブラシレスDCモーターへの 対応を 可能にします。この様な 柔軟性に富んだ仕組みが 1箇のエンコーダーチップ内の RAMに収まっているだけでなく、チップ内の信頼性の高い RAMに プログラムされており、この設定が 電源を入れると共に 読取られ働きます。これらの全ての利点により 自由度高く 設定可能な S.C.エンコーダー は システムの機能向上に 貢献する事は 明らかです。

この様に設定可能な部品に於いても それを容易に設定できる簡単な 手段が必要です。この様な設定が 直列接続に対して プログラムされる一方で、**iC-MH** の様な エンコーダーICには 単純でリアルタイム相互作用と 部品のプログラム設計を 可能にする PC.GUI (Graphical Use Interface) の手段があります。電気回路上の エンコーダーICへの接続には パソコンアダプターの プラグが差し込まれますが、このアダプターは USBで パソコンへ接続されます。

(7)

図-8に示された **PC GUI** は S.C.エンコーダー設計の鍵になる システム内設定とプログラミングを 可能にします。

[テキストを入力]

www.ichaus.com

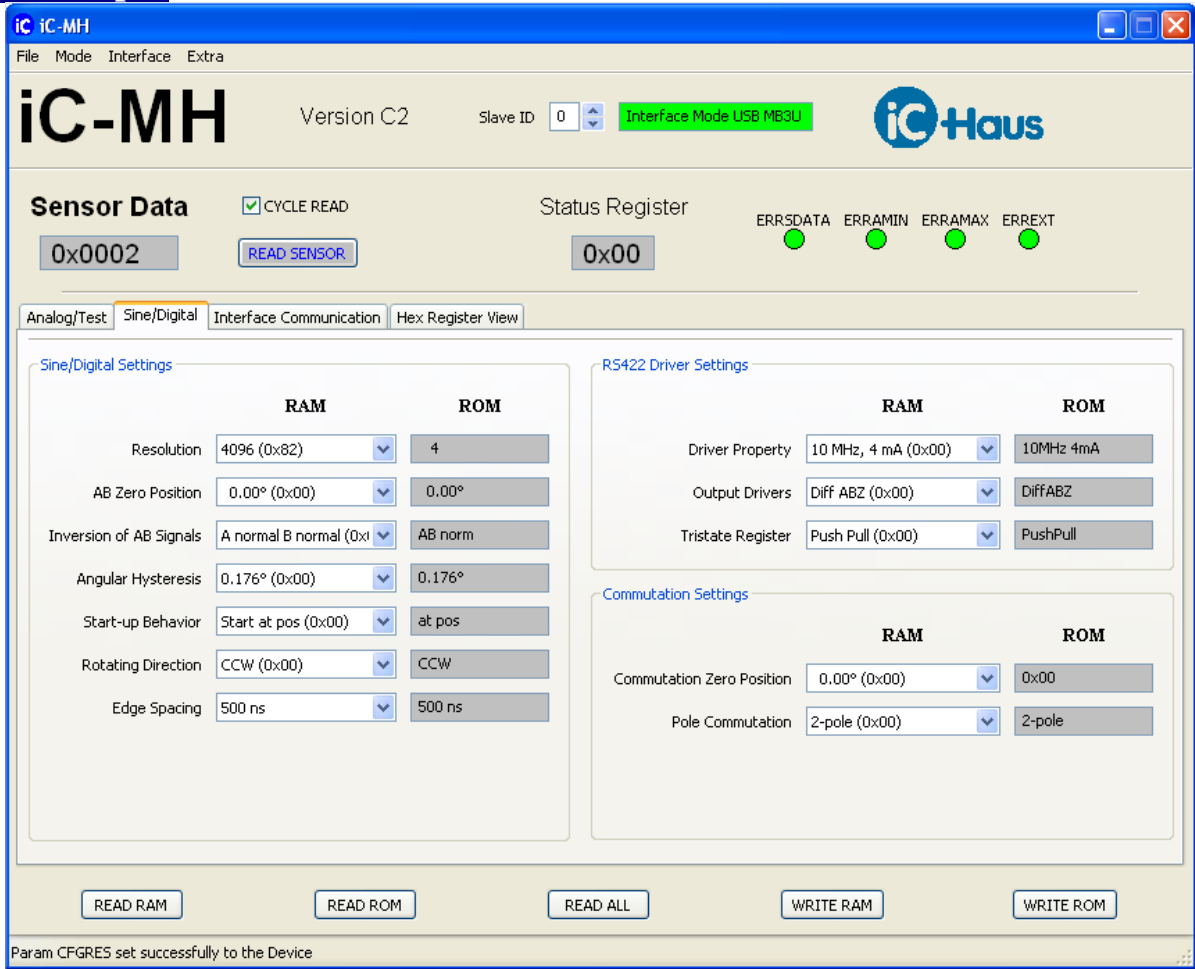


図-8: iC-MH 磁気式エンコーダーIC PC測定GUI (Graphical User Interface)

この個別仕様設定可機能に加えて、これらの多くの利点は機能向上に自由度を増し、制御システムに新設計の助けになります。ここで動作制御のシステムの機能向上に貢献出来る下記の長所に付いて考えたいと思います。

分解能 Resolution

図-1 と 図-2に示されたデザインを振り返って見ましょう。動作制御の機能改善が必要になる場合で最初に思い浮かぶのはエンコーダー信号の分解能です。もしエンコーダーの出力が 100 CPR (cycles per revolution) 或は 400 直角位相 (quadrature edges, 通常エッジと呼ぶ) からより高い値の 1000 CPR 或は 4000エッジに上がれば分解能は 10倍に上がります。これを角度で見ると動作制御システムに取り分解能は 0.9° から 0.09° に跳ね上がります。このような分解能アップを行う際、考えておかなければならない事は動作制御に付いて回るバンド幅と応答時間(関連資料 [3])です。10倍の数のパルスが制御装置 或は 内蔵されているマイクロプロセッサに入ってくる事になります。この増加に対してハードウェアもファームウェア(ハードウェアを制御するためのソフトウェア)もインターラプト(割り込み)とデータプロセッシングに対応出来なくてはいけないという事です。

(8)

しかし、この事を良く考慮して分解能アップを行えば S.C.エンコーダーによる 問題解決が 最も威力を発揮する事になります。多くの場合、分解能アップを行うには エンコーダーの メカニカルの変更も 必要になりますが、条件が揃えば 磁気式でも 光学式でも ICや 磁気ローターを 変える事なしに デジタル変更だけで済む事が 多々 有ります。例えば、[iC-LNB](#) 光学式エンコーダーIC には フレックス カウント モジュール(flexible count module)が 内蔵されているので1cpr から 65,536cpr まで 光ディスクを 取替える事なしに 分解能を 上げる事が出来ます。この事は S.C.エンコーダーが 用途により 複数の異なった分解能を 出力できるという事を 意味します。

省スペース Form Factor

S.C.エンコーダーの 一つの長所として エンコーダーの 形状を 大変 小さく出来る事があります。例えば [iC-MH](#) 磁気式エンコーダーIC は 僅か $5 \times 5 \text{ mm}^2$ の パッケージに入っており、エンコーダーの 電気回路を 非常に小さな寸法にする事が出来ます。このように 省スペースが 可能なため、非常に 制限された空間でも 回転速度や 位置 測定が可能になります。という事は 今までは 使えなかった様な 狭い所にも エンコーダーを 取付けられるという 可能性が出て来ます。この フィードバックを 以前は オープンループで 使っていた システムに 加える事により、オープンループシステムを オーバードライブしなくても、機能と効率のアップが 可能になります。

エンコーダー センサー への入力 Encoder Sensor Input

エンコーダーの出力精度というものは 入力より良くなる事はなく、必ず 入力以下になります。入力の源になるものは 磁気式エンコーダーの場合 円筒状の磁気ローターで 外周に着磁がされ、また 光学式エンコーダーでは LED (発光ダイオード) と スリットの入った 光を通すディスクが 入力の源になります。性能を上げるためには エンコーダーの入力の精度を 良く測定して 改善する事以外には 実現出来ません。磁気式エンコーダーIC の場合、入力の精度アップは 高品質磁製材のローターを使い、IC内の センサーと ローター着磁面の ギャップを 最短距離に調整し、さらに メカニカル精度を上げ ローターの 外径と 内径の 同芯度を 上げる事が重要です。光学式エンコーダーの場合は、高品質の LEDを使い LEDと チップ間の ギャップを狭くし、メカニカル設計を 最適化する事が重要です。いずれの場合も 要するに 最良の入力信号を エンコーダーICに インプットする事が 肝心です。こうする事により エンコーダーからの フィードバックを 最善のものにすることが出来ます。

精度調整 Accuracy Calibration

エンコーダーの精度の目合せまず 基準精度と比較し、それから エンコーダーの メカニカル調整と エンコーダー内蔵のICの 各々のパラメーターの 調整で 行います。メカニカル調整に関しては、S.C.エンコーダーを使用した 設計では 省スペースに 役立つ 小型形状が 従来のハウジング入りエンコーダーに対して種々の優位性を与えてくれます。エンコーダーICは 磁気ローター 或は 光ディスク に対し 微細な位置決めが 可能なため、ICに 最高の信号入力が 可能になります。

一方では メカニカルの調整も 精度アップの 一つの方法ですが、S.C.エンコーダーの デジタル設定による改善も大いに利用すべきです。S.C.エンコーダーは 内部の諸条件を デジタル シリアル接続に対して 設定出来るので、より精度の高いエンコーダーの精度調整が 出来ます。エンコーダーの精度を 最高に上げる事が出来ると、システムの機能が 改善されるだけでなく、高精度のフィードバックにより、モーター制御の効率が上がります。

この目合せの作業は いつも簡単という訳ではありません。場合によっては テストしたい エンコーダーを 既存の標準エンコーダーと 比較する事が 必要になります。それから 専用のデータの入手と パソコンのプログラムにより 精度や 誤差プロットなどの 測定値を 表示する事が可能になります。もし この様な 設計を 最初から 始めると 大変な仕事量になります。幸いな事に エンコーダーの キャリブレーション(目合せ)に 使える 測定装置が あります。

White Paper

図-9に示した様に [SinCosYzer](#) がこのようなデータ作成を 助けてくれる 標準品測定器として売られています。単にサインコサイン波の出力信号を入力する事により、キャリブレーションに 役立つ種々の測定値が 表示されます。リサーチ 図形、誤差曲線、精度 などが 色々な形で 示されるのは 特に 便利だと 強調しておきたいと思います。このような測定値がリアルタイムで 表示されるので S.C.エンコーダーの 迅速な目合せを 行う事が 可能となります。この作業は 図-8 に示された エンコーダーチップPC GUI (graphical user interface)により 簡単に行えます。これらの エンコーダーチップ内での 設定変更は 振幅 オフセットの 内部信号調整や さらには サインコサイン波の 位相調整により行われます。

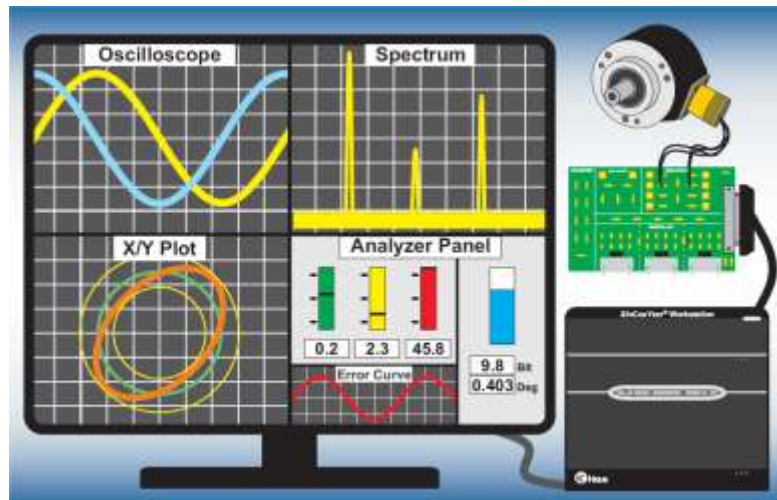


図-9: SinCosYzer エンコーダー用 キャリブレーション(目合せ) 測定器

エンコーダーの信号位置調整 Encoder Signal Position Adjustment 1

エンコーダー信号の 零位置を デジタル調整する事は システムの性能アップに 役立つ もう一つの方法です。図-10 に示されたエンコーダー信号を基にして [iC-MH](#) 磁気式エンコーダーチップの Z信号(インデックス信号)の位置は 1.4° のピッチで 調整する事が出来ます。

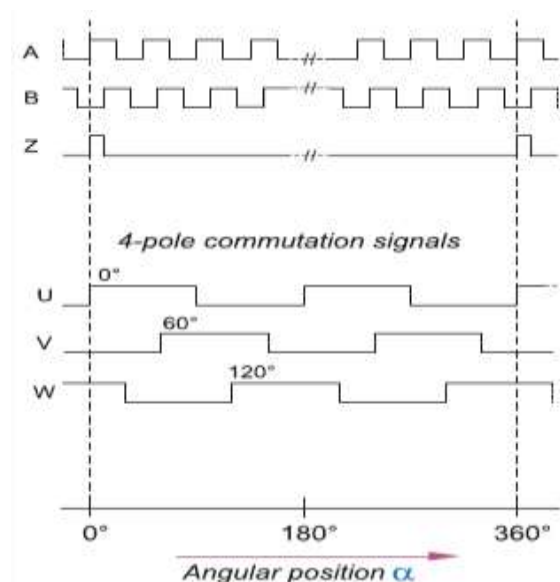


図-10: iC-MH ABZ 及び BLDC UVW モーター整流信号

White Paper

モーター整流の零位置（U信号の立上りのエッジ）も 1.4° のピッチで調整出来ます。デジタルで用途に合わせて零位置が調整出来るという事は 各々の用途において スタート位置の きめ細かな 設定が可能となります。また モーター整流の デジタル 零位置 調整により モーター制御の 効率アップが 可能となります。ブラシレスDCモーターの 磁極の位置を読む 固定された ホール素子センサーとは異なり、S.C.エンコーダーは モーター整流信号を 創造発信して 制御装置 そのものの 機能を高めます。S.C.エンコーダーでは モーターの 回転数 信号と 整流信号の 両方の位置を 完全に調整して プログラムが出来るので 動作制御により柔軟性に富んだ 対応が可能になります。

5) 纏め Summary

シングルチップエンコーダーは 従来からの 標準完成品のエンコーダーや モジュールエンコーダーに比べ 対応性に富み 自由な設定が 可能な フィードバックの選択を 提供します。正確な調整とエンコーダーからの 最適のフィードバックを 必要とする制御に対して S.C.エンコーダーは 柔軟な対応性と 低コストの 新しい対策を 提供致します。S.C.エンコーダーに基づいた新設計では エンコーダーを デジタル接続に 対応させる事が出来ます。この様に 様々な条件に 合わせられるこの製品は 全般的なシステムの 能力アップのために 制御用フィードバックを 改善します。

6) 関係資料 Literature

- [1] BiSS website: <http://www.biss-interface.com/>
- [2] [Interfacing Microcontrollers to the Industrial World](#), iC-Haus White Paper
- [3] [Fast and simple measurement of position changes](#), iC-Haus White Paper
- [4] Flexible Sensor Signal Conditioning and Safe Transmission, Marko Hepp, [SensorsMag, June 2010](#)
- [5] Measure angles on rotating systems with high resolution, Dr. David Lin, [Automotive DesignLine, August 2007](#)
- [6] Using smart drivers to save energy for long transmission lines, Dr. David Lin, [Industrial Control Design Line, July 2009](#)

iC Haus 概要 Introducing iC-Haus

iC-Haus 社は、特定用途向けの標準 IC (ASSP) やカスタム ASIC を製造している、ドイツ有数の独立系半導体メーカーです。25 年以上にわたり、産業用、自動車用、医用機器用の特定用途向け IC の設計、製造、販売を手がけ、世界各地に代理店を持っています。iC-Haus 社では CMOS、バイポーラ、BCD 技術のセル・ライブラリをフルに活用し、センサー用 ASIC、レーザー／光応用 ASIC、アクチュエータ用 ASIC 等を製品化しています。

各 IC は標準的なプラスチック・パッケージで提供されるほか、チップオンボード技術を利用して完全なマイクロシステムやマルチチップ・モジュールとして、また各種センサーと組み合わせた optoBGATM としても提供されます。

【お問い合わせ先】

テクタイト株式会社

東京都墨田区錦糸 1-10-10

電話：03-5611-2527

ファックス：03-5611-2526

E-mail：yasuhara@techtuit.co.jp

担当：安原