インダクトコーダの原理と応用*

鴛 海 幸一郎**

INDUCTCODER Principle and Applications

by Koichiro Oshiumi

Accompanying industry developments, the role of sensors has significantly expanded. Traditional sensors were primarily used for equipment inspection, doing nothing more than monitoring whether the equipment itself was functioning normally. However, for today's sensors, as feedback inputs, an element of motion control has become indispensable. Equipment sensory input devices have been developed having sensors that greatly affect the characteristics and performance of the entire system, using digital control technology provided by the rapid development of microcomputers. Such sensors would require resistance to vibration, impact, temperature extremes, dust, and oil, among other things, and must exhibit adequate reproducibility and precision even in harsh environments. Moreover, they need to be maintenance-free. The INDUCTCODER is composed of original LSI conversion units and ultra-small detecting elements that have excellent environmental resistance and high precision. The INDUCTCODER has an applications record in a wide variety of fields, from industrial machines to consumer goods

1. はじめに

産業の発展に伴い、センサーの位置付けも大きく変貌している。従来のセンサーは、主に装置の監視に使用され、装置自身が正常に機能しているかをモニターするに過ぎなかった。しかし、現在のセンサーは、装置のフィードバック入力としてMOTION制御に不可欠な要素となった。マイクロコンピュータの急速な発展に伴うデジタル制御技術により装置などの五感入力要素として、そのセンサーが、全体のシステム構成の特徴・性能を大きく左右するデバイスに発展した。このような用途に求められるものは、振動・衝撃・温度・塵埃・油等に強く、過酷な環境においても再現性や精度などその性能を十分に発揮し、しかもメンテ

ナンスフリーなセンサーである。インダクトコーダは、超小型・高精度・耐環境性に優れた検出部とオリジナルLSIによる変換部とで構成されており、産業機械から民生品まで幅広い分野での使用実績を持つ。

2. インダクトコーダとは

原理に磁気誘導作用 (Magnetic Induction) を利用したロータリ／リニアエンコーダ (Encoder) の弊社通称で、機械的な変位・位置を信号間の位相差に変換してそれを計測する事で、変位・位置を検出する磁気式センサーである。

3. 基本動作原理

インダクトコーダは図1および図2に示すように、検出内部に1次コイルと2次コイルを持つトランス構造になっている。機械的な変位を信号間の位

*原稿受付 平成16年8月19日
**正 会 員 村田機械株式会社 R&Dセンター (京都市伏見区竹田向代町136)

相差に変換し、その位相を計測することにより変位、位置を検出する。微小から長ストロークまで検出可能で、電磁コイルとコアの組み合わせによる検出部と、オリジナルLSIによる変換部によって構成される。この構造は、一般的に知られている作動トランスによく似ているが、大きな違いは、差動トランスのコアは1コイル分の長さを超えて動く事が出来ない。コアの動ける長さは、単純にはヘッド長の1/3。実際は、1/4～1/6といわれている。

図1 回転型

図2 直線型

各々にE1, E2の電圧を誘起する。図3(a)の場合、コアがコイルの中心にあり出力電圧は $E1a=E2a$ となる。図3(b)の場合は $E1a<E2b$, $E2a>E2b$ となり、図3(C)の場合は $E1c<E1a$, $E2c>E2a$ となる。2次出力電圧は、差動で動作するようになっている。この特性をグラフに表すと、図4のようになり、出力電圧E0はV型になる。差動トランスでは、この範囲を超えては使用できない構造になっている。

図3 差動トランスのコイルとコア位置

3.1 差動トランスの特性 図3 (a), (b), (c) は、差動トランスのコイルとコアの位置を示している。(1次コイルは省略) 1次コイルは、1次交流信号Epで励磁され、磁束が2次コイルと鎖交し、

図4 差動トランスの出力特性

差動トランスの特徴として次の点が挙げられる。

長所

- (1) 構造が簡単で壊れにくい。
- (2) 可動部の駆動力が微小で、ヒステリシスが小さい。
- (3) 耐久、耐震、耐衝撃性に富み、疲労、磨耗部分がない。
- (4) 小型軽量。
- (5) 感度が大きく、直線性が良い。
- (6) 安定で、ドリフトが小さい。

短所

- (1) 温度誤差、周波数誤差がある。
- (2) 残留電位がある。
- (3) 周囲磁界の影響を受ける。
- (4) 1次-2次電圧の間に位相差がある。

3.2 インダクトコーダの動作原理

1次コイルは、基準となる1次交流信号で励磁される。そこに1次コイルで創成される交流磁場内の所定位置に、差動結線された2個の2次コイルが2組ある。この検出ヘッド内でコアが変位すると、各2次コイルには、各位置に対応した交流磁束を誘導させ、2組の出力を誘起する。図7 (a)。変換回路では、基準クロックを基にして、10KHzの一次交流励磁信号 $A \sin \omega t$ を発生し1次コイルに印加する。コアにより誘導された2組の2次コイルの出力信号は、この時点では1次励磁信号 $A \sin \omega t$ と同位相であるが、その位置に応じてそれぞれ波高値も異なる二つの信号

$$a \sin(\theta, X) \cdot \sin \omega t \dots\dots\dots (1)$$

$$a \cos(\theta, X) \cdot \sin \omega t \dots\dots\dots (2)$$

を得る。

次にその $a \sin(\theta, X) \cdot \sin \omega t$ 信号を回路上で、 $\pi/2$ シフトして

$$a \sin(\theta, X) \cdot \cos \omega t \dots\dots\dots (3)$$

とし、もう1つの信号、 $a \cos(\theta, X) \cdot \sin \omega t$ とを回路上で三角関数の加法定理に基づき合成して、図3. 7(b)に示すように

$$a(\cos(\theta, X) \cdot \sin \omega t \pm \sin(\theta, X) \cdot \cos \omega t) = \sin(\omega t \pm (\theta, X)) \dots\dots\dots (4)$$

を得る。

図5 回転型

図6 直線型

こうして得られた信号を基準となる1次励磁信号と比較すると、 (θ, X) 分だけ位相がずれた信号となる。変換器のオリジナルLSI内には、基準クロックを基にして1次励磁信号と同期して1サイクル毎にスタート/リセットを繰り返すカウンタがある。合成された信号 $a \sin(\omega t \pm (\theta, X))$ のゼロクロス点を回路上で検出し、その点でカウンタをラッチすると、その時のカウンタのデジタル値 (θ, X) に合致する。このようにして位相差(時間)をデジタルカウントして、位置データ $(\theta,$

(a) 2次コイル出力

(b) 位相変換

図7 P-D変換

X) を得る。この位置データ出力は、スキャン (1/10000秒) 毎にリフレッシュして得る。

3.3 温度特性の改善 検出部のコイルは、周辺環境の温度変化の影響を受けてインピーダンスが変化し、2次側に誘起される交流信号の電気的位相が温度変化に応じて微妙に変動する。また、検出部と検出回路部との間の配線長の長短や各種回路動作遅れなど検出対象以外の要因の影響を受けて、受信される誘起交流信号の電気的位相が変動する。この変動誤差を変換器において抽出し、除去することで高精度の位相検出が可能となる。

図8において検出対象位置 (θ) に対する2組の誘起された2次信号

$$a \sin \theta \cdot \sin \omega t \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$a \cos \theta \cdot \sin \omega t \quad \dots\dots\dots (6)$$

より三角関数の加法定理により

$$a \sin (\omega t + \theta) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$a \sin (\omega t - \theta) \quad \dots\dots\dots (8)$$

を得る。検出対象位置以外の要因に基づく位相変動分を ($\pm d$) で示すと

$$A \sin (\omega t \pm d) \quad \dots\dots\dots (9)$$

と表す事が出来るので

$$a \sin (\omega t \pm d + \theta) \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$a \sin (\omega t \pm d - \theta) \quad \dots\dots\dots (11)$$

となり、検出対象位置 (θ) に対する位相差が、正負互いに逆方向の位相シフトとして現れるようになる。これに対して位相変動分 ($\pm d$) は、どちらにおいてもその時の条件に応じて、正または負の同一方向に影響を及ぼす。従って、基準交流信号 $\sin \omega t$ に対する位相 ($\pm d + \theta$ 、 $\pm d - \theta$) を各々測定して位相変動分 ($\pm d$) を抽出する。

$$((\pm d + \theta) + (\pm d - \theta)) / 2$$

$$= 2 (\pm d) / 2$$

$$= \pm d \quad \dots\dots\dots (12)$$

が成立し、誤差データ ($\pm d$) を求める事ができる。そこで位相データ的一方から誤差データを取り除く演算より検出位置に正確に対応した位相差 (θ) を示す位置データを得ることができる。図9参照。

$$(\pm d + \theta) - (\pm d) = \theta \quad \dots\dots\dots (13)$$

図8 変換ブロック

図9 温度補償

これらの演算は、アナログ演算部及びデジタル演算部を同一チップ[°]上に形成したオリジナルのデジアナLSI図10 (a)、または、デジタル演算部(ASIC)とアナログ演算部をハイブリッドICとして形成した物 図10 (b)、またはデジタル演算部をM32R/E#4PD RISCマイコン上に形成された変換器図10 (c)で構成されている。

(a) デジアナLSI

(b) ハイブリッドIC

(c) RISKマイコン

図10 変換モジュール

3.4 インダクトコードの特徴特徴 回転角度

や直線変位の検出センサーとして従来にない小型化、高精度化さらに耐環境性向上という特徴をもっている。

(1) アブソリュート位置検出

検出原理から本質的にアブソリュート検出。

(2) 高分解能

検出部の機械的な変位量(1アブソリュート長、角度)を変換部で位相シフト量 2π ラジアンに一致させ、その位相シフト量を $216 = 65536$ 分割して高分解能を得る。

(3) 高速応答

基本励磁搬送波(キャリア)の周波数は、 $10\text{KHz} = 1/10000$ 秒、さらに内挿して、 $1/10000$ 秒を $1/128$ の高速応答を実現。

(4) 繰返し再現性に優れる

位相検出方式のため、ケーブル長に依る波高値の減衰には影響を受けない。

(5) 温度ドリフトが小さい

各検出部は、コイルで構成されている。温度ドリフトは、そのコイルの温度に依る抵抗変化に起因するもので、変換器内部でキャンセルしている。その時の温度データも得る。

(6) 耐環境性

検出部は、コイルとコアのみで構成され、振動や衝撃に強く、油、塵埃および温度にも強い。

(7) メンテナンスフリー

非接触検出

表1に各種センサーとの比較表を示す。

表 1 各種センサー比較表

		大きさ	分解能	耐久性	温度ドリフト (ppm/°C)	出力形式
回転型	インダクトコーダ	$\phi 9 \times 7$	65536 分割	◎	± 16	デジタル (ABS)
	ポテンショメータ	$\phi 22 \times 12$	0.05%	×	± 400	アナログ
	光学式エンコーダ	$\phi 20 \times 15$	100 分割/Rev	○	—	デジタル (INC)
	レゾルバ	$\phi 26 \times 22$	65536 分割	◎	—	デジタル (ABS)
直線型	インダクトコーダ	$\phi 8 \times 13$	$0.125 \mu\text{m}$	◎	± 16	デジタル (ABS)
	リニアポテンショメータ	$\square 22 \times 40$	—	×	± 400	アナログ
	差動トランス	$\phi 17 \times 24$	—	◎	± 100	アナログ
	マグネスケール	ヘッド大	0.001mm	×	—	デジタル (ABS)

日経メカニカル 1996

4. アプリケーション事例

産業用機械等の位置決め制御への適用として、工作機械、プレス機械、土木建設機械、運搬機械、製鉄機械、射出成型機、製紙機械、繊維機械、ダイキャストマシンに採用され、また、各種ロボット油圧機器、空圧機器、特殊車両、各種防災機器および一般消費財などのアミューズメント機器にも採用されている。以下に一部を紹介する。

(1) 回転型

$\phi 10, \phi 29, \phi 53$ 分解能 $19.8''$

防災機器 特殊環境機器

(2) 直線型

$\phi 18 \times 16\text{mm}$ ピッチ, 分解能 $0.25 \mu\text{m}$

$\phi 10 \times 8\text{mm}$ ピッチ 分解能 $0.125 \mu\text{m}$

射出成型機、眼鏡加工機、各種ロボット

(3) ソレノイドバルブ変位検出・制御用

写真2

$\phi 4, \phi 0.6 \times 23\text{mm st.}$

(4) シリンダロッド変位検出用

写真3

製鉄機械・プレス機械・油空圧機器

(5) 圧力計

写真4

写真1

45Mpa

写真5

- (6) 荷重計
10KN

写真6

- (7) ジンバル装置角度計
 $\phi 1 \times 260^\circ$

写真7

- (8) 傾斜計
 $\pm 7^\circ$
防災機器・土木機械

写真8

5. おわりに

本文では、インダクトコーダの原理、特徴およびアプリケーションを解説紹介した。この原理は(株)アミテックで開発し、村田機械で商品化している物である。これからはユビキタス時代と呼ばれ益々マイクロコンピュータシステムが多用されて、安全および自然環境の改善を電子制御にて実現されるであろう。マイクロコンピュータシステムの五感入力装置でもあるセンサーに求められるものは、機能性能は言うまでもなく、信頼性が最も重要な要件であり、インダクトコーダは、コイルおよびコアで構成されたシンプルな構造で、光学式または半導体センサーでは採用できない環境でもその要件を満たしている。故に、高温多湿での環境で多くの実績を持つ。また、デジタル型のセンサーであるので性能を落とさずしてデジタルネットワークに情報を伝達できる事も特徴である。インダクトコーダに要求される機能性能は、様々であるが、このセンサーにてセンサーサイズに合ったアプリケーション対応ではなく、ニーズに合ったセンサーを提供して、その装置の付加価値向上に寄与できれば幸いである。

参考文献

- 1) トランジスタ技術「メカトロセンサ活用ハンドブック」
1994年 CQ出版
- 2) 日経メカニカル 1996.10.14 No.491
- 3) 特許広報「特開平9-126809、特開平10-153402」