

技術紹介

5 レゾルバーデジタル(R/D)コンバータの開発

Development of Resolver-Digital (R/D) Converter

中里 憲一	Kenichi Nakazato	航機事業部 第一技術部 主任
渡邊 真之	Masayuki Watanabe	航機事業部 第一技術部 主任
西村 央志	Hisashi Nishimura	航機事業部 第二技術部

キーワード: レゾルバ、デジタル、集積回路、ASIC、ハイブリッド車、電気自動車

Keywords: Resolver, Digital, Integrated circuits, ASIC, Hybrid car, Electric car

要 旨

レゾルバの出力は、レゾルバに供給する搬送波をレゾルバ回転子角度の正弦波および余弦波で変調された形をしており、出力が角度を直接示す一般の角度センサとは異なり、角度を得るための処理を必要とします。レゾルバーデジタル(R/D)コンバータは、そのレゾルバの出力信号をデジタルの角度データに変換処理する機能を有しています。このため、レゾルバとレゾルバーデジタル(R/D)コンバータを組み合わせることにより、デジタル角度センサとしての役割を果たすことができるようになります。レゾルバは、その耐環境性からモータの角度センサとしての使用が今後とも期待されており、今後、そのレゾルバ出力の処理用として、先に述べた角度変換機能に加えて、アプリケーション側の利便性、及び自己異常検出機能の充実により信頼性を高めたレゾルバーデジタル(R/D)コンバータを開発しました。

SUMMARY

The resolver's output has shape that the signal carrier supplied to the resolver is modulated by the sine wave and the cosine wave of the angle of the resolver rotator, and needs the processing to obtain the angle unlike a general angle sensor by which the output shows the angle directly.

Resolver-Digital (R/D) converter has a function to convert the output signal of the resolver to a digital angle data. Therefore, they come to be able to play the role as the digital angle sensor by combining the resolver and the resolver-digital (R/D) converter.

While use as the angle sensor of the motor is expected from the resistance to environment of the resolver in the future, resolver-digital (R/D) converter for processing of the resolver output was developed this time that improved reliability by convenience on application side and enhancing self-anomaly detection function in addition to angle conversion function described above.

1. まえがき

自動車業界では環境性能向上の観点から、ハイブリッド車、電気自動車、燃料電池車等の開発が進められ、これにより効率の高い IPM (Interior Permanent Magnet: 磁石埋め込み型) モータの需要が増加しています。IPM モータは、回転子の角度に応じてきめ細かく電流を制御することで高い効率を引き出すことができるモータであるため、モータの需要の増加につれて、モータの回転角を検出するための回転角センサの需要も増加しています。

特に、動力系のモータなど、厳しい環境で使用される回転角センサには、高い耐環境性能を持つレゾルバが用いられています。

当社では、可変リラクタンス型レゾルバを開発していますが、レゾルバの出力信号からレゾルバの角度を高精度に検出するためには、レゾルバーデジタル(R/D)コンバータを必要とします。

そこで、レゾルバ出力信号からレゾルバ角度を演算してデジタル信号として出力する基本機能に加え、モータ制御用マイクロコンピュータとの親和性やレゾルバを含めた異常を検出する機能を供えた、レゾルバーデジタル(R/D)コンバータを開発しました。

2. レゾルバーデジタル(R/D)コンバータ

2.1 角度検出原理

レゾルバは、励磁信号を入力することにより、回転子の角度に応じて検出コイル 1、および検出コイル 2 から、それぞれ $\sin \theta$ 、および $\cos \theta$ に依存した 2 つの信号を出力します(図 1、図 2)。

レゾルバの回転角は、この 2 つの信号のアークタンジェントをとることで算出することができます。ところが、アークタンジェントには $\pm 90^\circ$ に不連続点があり、連続的に回転角を得ることが出来ません。

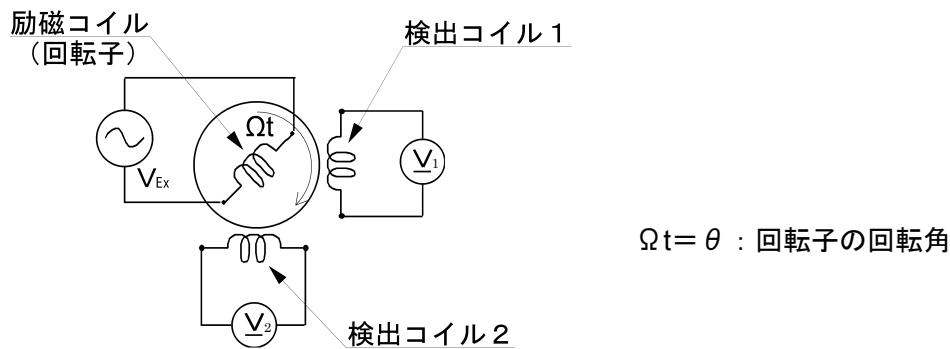


図 1 レゾルバ概念図

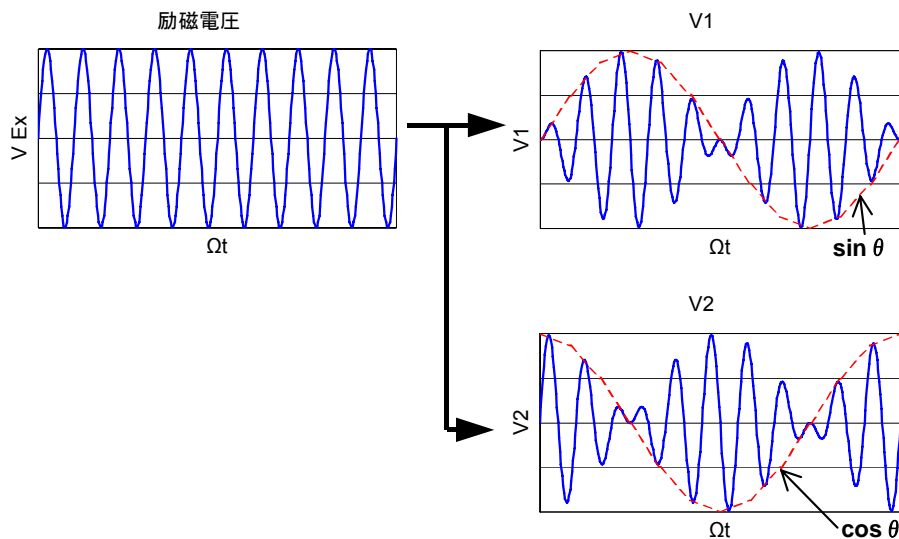


図 2 レゾルバ波形

そこで、回転角の検出にはトラッキンググループを採用しました。トラッキンググループの構成を図 3に示します。

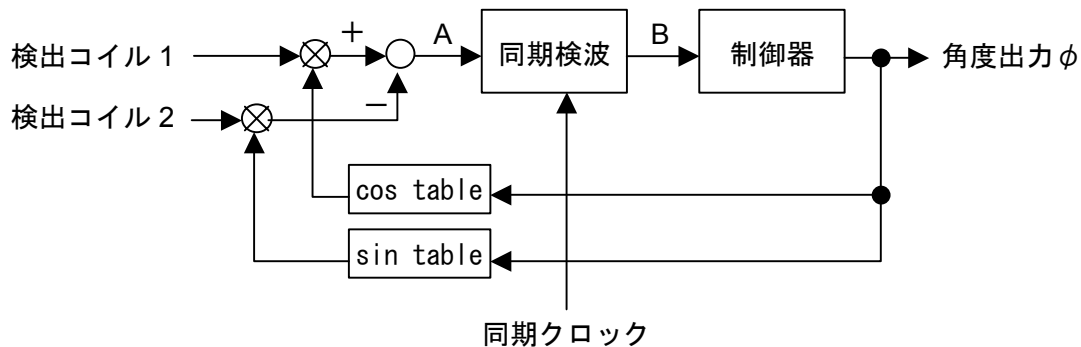


図 3 トラッキンググループ構成図

レゾルバ回転子の回転角を θ 、励磁コイルに供給する励磁信号を $\sin \omega t$ とすると、検出コイル 1、検出コイル 2 の信号はそれぞれ

検出コイル 1: $\sin \theta \sin \omega t$

検出コイル 2: $\cos \theta \sin \omega t$

となります。

この信号をトラッキンググループに入力すると、図 3-A 点での信号は

$$(\sin \theta \cos \phi - \cos \theta \sin \phi) \sin \omega t = \sin(\theta - \phi) \sin \omega t$$

となり、さらに、励磁信号から生成する同期クロックにて同期検波をすることで、図 3-B 点での信号は、振幅が

$$\sin(\theta - \phi)$$

に依存した信号となります。

トラッキンググループは B 点の信号が 0 となるように動作するため、結果として $\theta = \phi$ となり、トラッキンググループ出力よりレゾルバ回転子の角度を検出することが出来ます。

この方式では、全周において不連続点がないため、連続的な角度出力が可能となります。

2.2 特徴

今回開発したR/Dコンバータは、大きく4つのブロックより構成されています(図5)。それぞれのブロックの特長を以下に記します。

①角度演算部

角度演算には、トラッキングループを採用しています。トラッキングループの帯域は、600Hz/1.8kHzの2種類の切り替えが可能です。角度分解能は12bit、最大トラッキングレートは4000rpsです。

角度演算時間(出力遅れ時間)は $1.6\mu\text{s} \pm 0.5\mu\text{s}$ としています。出力遅れがあると、レゾルバ回転時に角度誤差が生じます。ただ、この角度誤差は出力遅れ時間が一定であればレゾルバの角速度に比例した量となり、補正することが出来ます。そこで、出力遅れ時間の変動量に規定を設け($\pm 0.5\mu\text{s}$)、変動量が小さくなるように考慮した設計をしています。

また、励磁信号とレゾルバ出力信号の位相は、 $\pm 45^\circ$ までずれていても自動で補正します。

②異常検出部

下記の異常を検出する機能を実装しています。

- ・ 検出コイル地絡
- ・ 検出コイル断線
- ・ 検出信号振幅異常
- ・ 励磁信号異常
- ・ クロック異常
- ・ トラッキングループ異常

これらによりR/Dコンバータの異常だけでなく、レゾルバの異常、およびレゾルバとR/Dコンバータ間の配線の異常まで検出することができます。

③励磁信号生成部

10kHz、および20kHzの正弦波を出力します。

④入出力I/F部

設定により、パラレルモードと、シリアルモードを選択できます。

- ・ パラレルモード

パラレル信号と、ABZ信号*¹またはUVW信号*²のどちらか一方を同時に出力します。

- ・ シリアルモード

シリアル信号(2系統)、ABZ信号、UVW信号の全ての信号を同時に出力します。シリアル信号は独立したシリアル通信I/Fを2系統実装していますので、一方を角度出力に、もう一方を角速度およびステータス出力に設定することで、角度、角速度、およびステータス(異常状態モニタ)を同時に出力することが可能です。

さらに、モード切り替えも、シリアル通信I/Fから入力して設定することができます。

ABZ信号には、A相信号とB相信号のエッジ間の最小時間を規定する(図 4)回路を実装しています。例えばR/Dコンバータが出力するAB相信号を、モータ制御用マイクロコンピュータに内蔵されたカウンタで読み取る場合、通常AB相カウンタにはA相信号とB相信号のエッジ間の最小時間が規定されています。A相信号とB相信号のエッジ間隔が、ここで規定されている時間よりも短い場合、AB相カウンタは誤動作します。

今回開発しましたR/Dコンバータでは、A相信号とB相信号の最小エッジ間隔を規定していますので、これを満足できるAB相カウンタを選定すれば、カウンタでの誤動作を防ぐことができます。

また、AB相出力信号の角度分解能を11bitとする替わりに、エッジ間最小時間を2倍にするモードも実装しています。

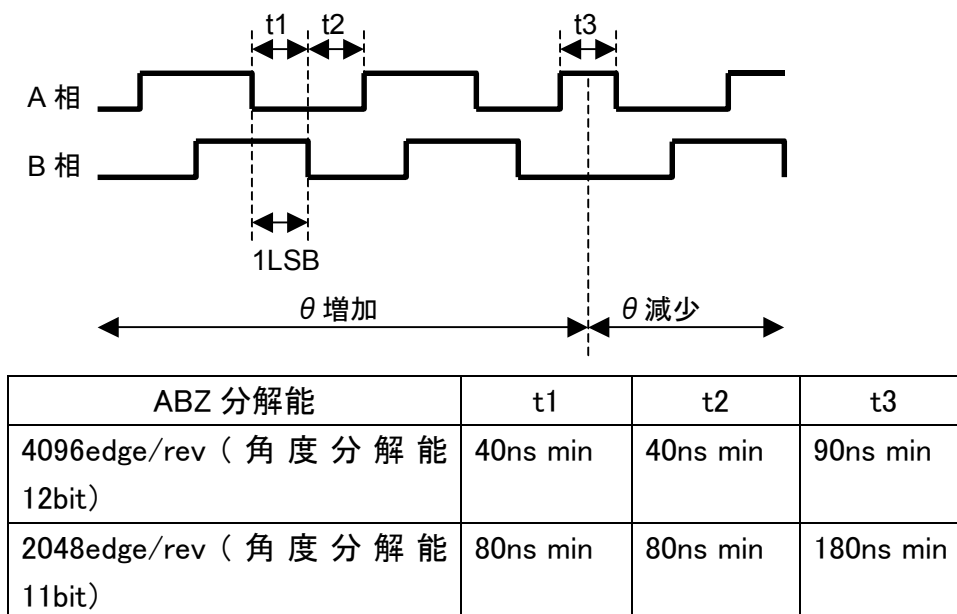


図 4 ABZ 相信号の AC 特性

⑤その他特長

・ アナログ入力部

レゾルバ信号の入力部には、オペアンプを内蔵しています。ゲインを設定するための抵抗を接続するだけで、入力回路を構成することができます。

・ 電源

5V 単一電源で駆動します。

・ IC パッケージ

LQFP-48 ピン。パッケージサイズは 7mm×7mm です。

・ 動作温度範囲

-40～+125℃であり、車載環境で使用する事が可能です。

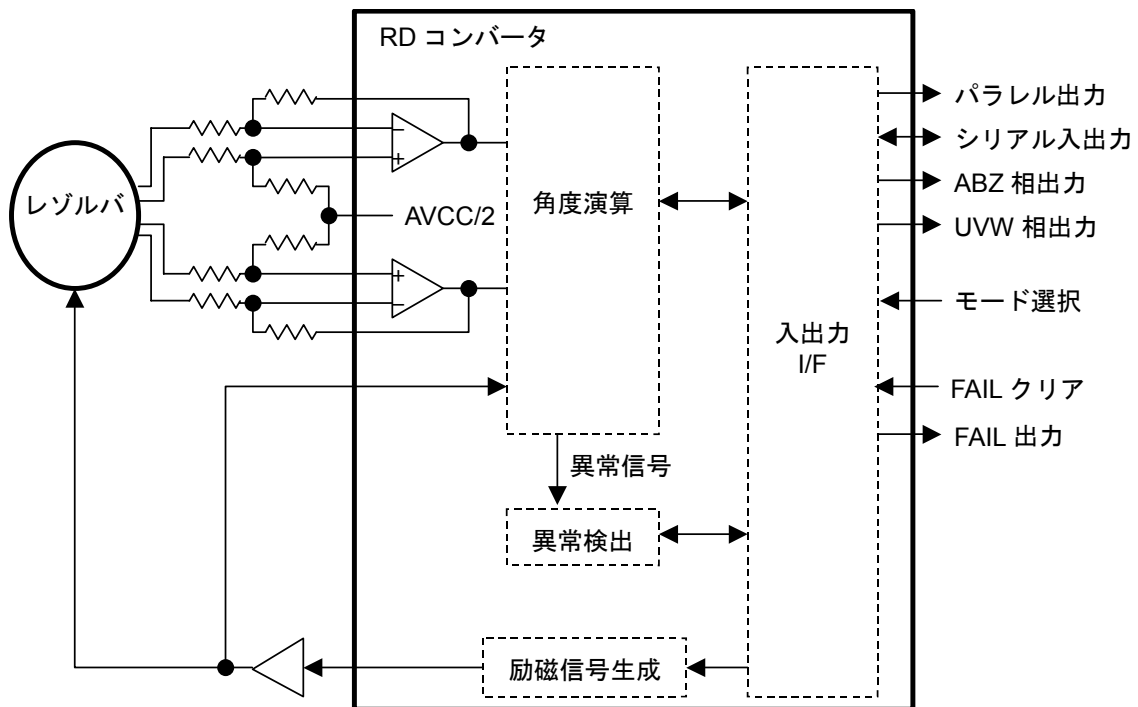


図 5 R/D コンバータ構成図

*1 ABZ信号: A相、およびB相から出力される信号のパルスをカウントすることで相対的な回転角度を算出することができます。また、A相信号、B相信号の位相は 90° ずれており、A相とB相の位相関係が進みか遅れかにより回転方向が検出できます(図 4)。

出力角度 0° の時にZ相信号が出力されるため、この角度を基準にしてA相、B相信号をカウントすることで、絶対角度の検出が可能です。

*2 UVW信号: U相、V相、W相出力から、それぞれ 120° ずつ位相のずれた信号を出力します。極数を1~4まで設定することができ、極数1のときは出力角度1回転で1周期の信号を、極数2、3、4の時はそれぞれ2、3、4周期の信号を出力します(図 6)。

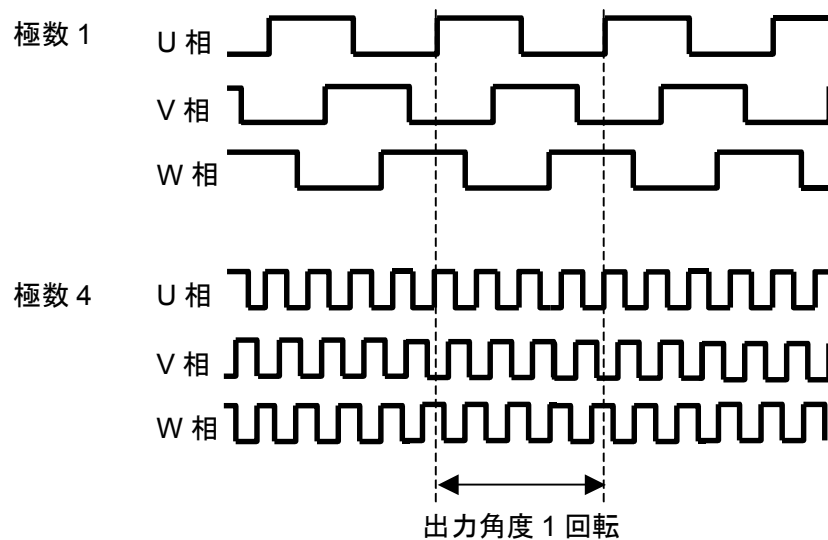


図 6 UVW 信号波形

2.3 性能・外観

主な仕様を表 1 に、外観を図 7に示します。

表 1 R/D コンバータの主な仕様

項目	仕様
角度分解能	12bit
角度精度	±4LSB
最大トラッキングレート	4000rps
最大角加速度	1,000,000rad/s ² (トラッキンググループ帯域 1.8kHz 時)
角度出力遅れ	1.6 μs ± 0.5 μs
トラッキンググループ帯域	600Hz、または 1.8kHz
励磁信号出力	正弦波出力 (周波数: 10kHz、または 20kHz)

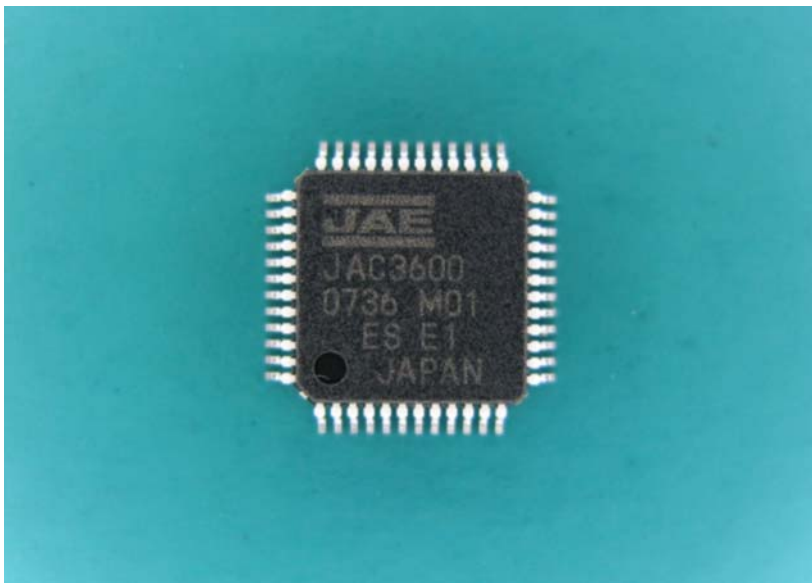


図 7 R/D コンバータの外観

3. まとめ

モータ制御アプリケーション等の、厳しい要求に充分耐えうる R/D コンバータとしてご使用いただける製品を完成させることができました。

今後も変化するニーズ(高精度化、高速化等)に対応すべく開発を推進してまいります。