エンジン制御コントローラの現状と今後の動向

Present Status and Future of Equipment for Engine Control

中本 勝也 (三菱電機株式会社)

Katsuya Nakamoto, Mitsubishi Electric Corporation

Key Words: <Key Words>

自動車用エンジン制御 運転性能向上 排気ガス低減 低燃費化 メモリ容量 CPU ROM RAM 高密度実装 ECU小型化 電子部品 システムLSI プリント基板 コネクタ 耐環境性能 耐熱性 防水ECU EMI性能

1. まえがき

現在の自動車には多数の電子制御装置が搭載されており、運転性向上、快適性向上、省エネルギー化、地球環境への配慮につき飛躍的な発展を遂げている。そのため電子制御装置に内蔵されているエレクトロニクス関連部品に求められる機能、性能は高度化の一途をたどっている。本稿では、その中心的な役割を担っているエンジン制御ユニットについての処理能力強化、小型化、信頼性向上の技術動向と最近の実装技術の適用事例を紹介する。

2. エンジン制御ユニット概要(Engine Control Unit : ECU)

自動車用エンジン制御に要求される主な項目は、高出力化、低燃費化、排気ガス低減、運転性能向上である。これらの項目に対応して、精密空燃比制御、電子スロットル制御、吸気・排気バルブの可変タイミング制御、各気筒独立制御の増加、等、制御要素の増加と制御の精密化が進んでいる。同時に安全性強化と整備性向上の目的からオンボード自己診断規制対応制御も年々高度化している。更にはオートマチックトランスミッション・電子スロットル制御・シャシー系制御・などとの協調制御の増加により、ECUに要求される処理能力は年々増大している。

Fig 1. Engine Control Unit (ECU)

3. ECUの処理能力

3-1. ECU機能の拡大

制御項目の増加と制御内容の高度化に伴い、センサ等の入力信号とアクチュエータなどへの出力信号の数が年々増加している。この機能拡大はECUのコネクタ端子数より推移を見ることができ、'80年には32極であったものが、'85年には52極、'90年76極、'95年93極、'00年119極、'03年140極と増大傾向にある。但し、今後は車内LAN採用による分散処理化が進むため、140極~160極程度でコネクタ端子数の拡大は止まると予想される。図2に'90年以降の主要制御機能の推移を示す。

3-2. メモリ容量

増加する制御機能を実現するためにはマイコンのROMやRAMなどのメモリ容量を増やす必要があり、加えてソフトウェア作成の効率化と信頼性を確保するための上位言語、ブロック線図からのプログラム自動生成、浮動小数点演算対応、リアルタイムOS採用などの理由で、今後もメモリ容量は増加を続けると考える。

Fig 2. Changes of the ECU main functions

3-3. マイコン処理速度

制御機能の増加と高度化に対応するためにメモリ容量を増加させると同時にマイコン内CPU (中央演算装置) 処理速度の高速化をしなければならない。また、アナログ信号のデジタル処理化などの高速演算機能も拡大傾向にあり、CPU高速化の必要性が年々増している。これには動作周波数高速化やキャッシュメモリ搭載、CPUの機能を補完する浮動小数点演算ユニットやデジタル信号プロセッサの搭載が進むと考える。図3にマイコンの主要性能の変遷を示す。

3-4. メモリの多様化

従来、マイコンのROMにはマスクROMやワンタイムPROMが使用されていたが、近年ではECU組立完了後にコネクタ端子よりプログラムを書込み可能なFLASHメモリを使うことが主流となってきており、これによって、プログラム固定からECU完成までの期間短縮、およびハードウェアの標準化、生産性向上を図っている。又、故障診断結果記憶、センサやアクチュエータの個々の特性値記憶、イモビライザ (盗難防止装置) のIDコード記憶、エンジン制御システムのばらつき記憶など、バッテリーを外しても消えないメモリ搭載の要求が増えてきており、EEPROM(Electric Erasable PROM)搭載が一般化している。

Fig 3. Changes of the microprocessor functions

ECUの機能が加増する一方で、車両における電子制御機器の増大、車室内スペースの居住性への優先的利用や、ECU取付け場所の多様化により、ECUに対する小型化の要求は高い。次に小型化の要素技術について紹介する。

4.1. 電子部品の小型化

現在、ECUの電子部品はガラスエポキシ基板上に表面実装するのが主流であるが、電子部品の実装密度を上げる方法のひとつは電子部品の小型化である。図4にディスクリート部品およびICパッケージの小型化の変遷を示すが、チップ抵抗では1.0mm×0.5mmサイズ、ICではピン間0.5mmピッチが採用されている。今後のさらなるICピン数の増加に対しては、FBGAやCSP(Chip Size Package)へ移行する方向にあり、既に量産化を開始している製品もある。尚、エンジン制御ECUは、信頼性確保と低コスト化を両立させるために、部品の小型化は携帯機器と比較して数年遅れる傾向にあるが、無修正で100%良品を製造することでECUの高品質化を追求するのが特徴である。

Fig 4. Downsizing of the electronic components

4.2. 回路の高集積化

ECUの回路は主にセンサやアクチュエータなどの制御関連部品とのインターフェイス回路と電源回路、マイコン周辺回路から成り立っている。これらのマイコン周辺回路を集約化することによりECUの小型化が可能になるとともに、集約化はコスト低減、部品点数低減による品質向上にも貢献する。従来から集約化の方法として、HiC(Hybrid IC)化、デジタルカスタムIC化、アナログカスタムIC化、アナログデジタル混在カスタムIC化などの手法が用いられ、機能毎にカスタムIC化を行っていたが、最近の事例では、システムLSI技術を活用して複数機能のカスタムICを統合化して行く傾向にある。

それに伴いIC開発工数が大きくなるため、図5に示すように、アナログデジタル混在カスタムICのデジタル部を、システムLSIの設計手法であるHDL(Hardware Description Language)を用いてECU設計者が直接記述することにより、IC開発の設計期間を縮小するとともに、リソースの再活用を可能にする開発方式が採用されている。

Fig 5. Integrated circuit (System LSI)

4.3. プリント基板の高密度化

電子部品を高密度に実装するためには配線の高密度化も必要である。基板の材料としては、ベアチップなどを用いた高密度化には多層セラミック基板が適しているが、コスト高となるため、現在もガラスエポキシ基板が主流となっている。配線の高密度化の方法としては、①配線ピッチの微細化 ②基板の多層化 ③ブラインドパイヤの採用 があげられる。一方、エンジン制御ECUの特徴として、マイコン周辺部はIC小型化とパターン集中により超高密度配線が必要であるが、逆に点火系やアクチュエータのノイズクロストーク抑制のために沿面距離が必要な部分もあり、高密度と電力パターンを1枚の基板上に混在設計する技術が必要である。現在、配線幅と間隔は各々0.15mm、基板層数は2層から6層がエンジン制御ECUでは一般的である。

4.4. コネクタ高密度化

ECUのサイズはコネクタによって制約されると言っても過言ではない。入出力信号数の増加に伴いコネクタのピン数も増加するため、ECUの小型化のためには、コネクタの高密度化が重要なファクターである。高密度化手法としては、ピンの小型化と多段化、小径ワイヤーハーネス採用が上げられ、3.1項のコネクタ極数増加に対してECUサイズを大型化することなく実現している。

5. 耐環境性

5.1. ECU搭載場所

従来ECUは車室内に搭載されていたが、近年では居住スペース確保の目的でエンジンルーム搭載が推進されている。ECUをエンジンルームに搭載するための主要技術である防水性と耐熱性につき紹介する。

5.2. 防水ECU

エンジンルームはオープンスペースであるため、雨天走行時の被水、車両整備時の高圧水で洗浄時の被水に耐え、電子回路が被水しない様に保護しなければならない。このために防水コネクタと密閉ケース構造を取り、運転状態で変化するECU温度による内部圧力変動(呼吸作用)低減の撥水フィルターを設けている。図6に防水ECUの構造例を示す。

Fig 6. Structure of the waterproof ECU

5.3. 耐熱性

エンジンルーム搭載の場合、搭載場所によって最高温度は異なるが、ECU周囲温度が100℃前後まで上昇するため、マイコンに代表される電子部品も105℃、125℃の高温度仕様品を用途に合わせて採用している。また、モータ用など大電流の駆動回路内蔵によるECU内部発熱も課題となっており、低発熱回路の工夫と低発熱素子の採用、並びに放熱構造の工夫を行っている。

5.4. EMI性能 (不要電磁波放射)

ECUの高機能高性能化に伴うマイコンの動作周波数増加やスイッチング制御化、大電流駆動回路内蔵の増加により、ノイズの発生要因が増えている。また一方でオーディオの高機能化やモジュール化によるパワー系ハーネスとオーディオ系ハーネスの近接など、ノイズに対する感度も高くなっている。反面、ノイズ低減に対する要求は年々厳しくなっており、ECU本体からの放射のみでなく、車両のワイヤーハーネスに誘起して放射されるEMIも考慮し、発生ノイズを如何に抑えるかが課題となる。民生機器ではシールドによる遮蔽が一般的に用いられるが、図1に示すECUでは金属による遮蔽を行わず以下の工夫により樹脂ケースで対処している。①マイコン自身のノイズレベル低減、②パターン設計の最適化、③ノイズ吸収部品の最適化、④電子部品の高集積化

以上