

プレジジョンインザループ

Precision-in-the-Loop



クリーンエンジン用の新しい開発ツール

現代の噴射装置では、プリセットされる噴射間隔の代わりにメカトロニックなリアルタイム制御システムが使用されつつあり、その場合にはエンジン制御装置（ECU）が各インジェクタのニードルの開閉を決定し、目標値からの偏差があれば直ちに訂正します。ETAS は高精度の新しい開発ツールで連続生産への道を開き、独自のハードウェアインザループソリューションを市場に投入しました。このソリューションでは、インジェクタの電磁弁の通電および放電のカーブをこれまでになく正確にシミュレートできます。

今日のダウンサイジングエンジンは、驚異的な低燃費と敏しょう性を同時に実現します。そのかぎは最新の噴射装置にあり、そこには、極めて精巧にミリ秒レベルで区分したブレインジェクション、メインインジェクション、ポストインジェクションがミリグラムの精度で燃料を燃焼室に噴射することのできるインジェクタが搭載されています。燃料の量は非常に正確にコントロールされるので、理想的条件下では燃焼後の残渣がほとんどありません。ただし、インジェクタのエイジングや製造上の公差の影響で、この正確さが無になってしまう可能性があります。プリセットされている噴射間隔は、インジェクタの開閉時間が変動する場合には、あまり有効には機能しません。このような理由から開発者は今、電磁制御式インジェクタの開閉時に生じる、電流および電圧の特性を示す信号を解釈できる ECU の設計にとりかかっています。インジェクタのニードルが開閉するタイミングを正確に把握することにより、シ

ステムは噴射される燃料の量および各インジェクタの噴射の正確な瞬間を算出することができます。結果が目標値から逸脱する場合には制御システムが直ちに調整を行うので、システムはインジェクタの挙動の変化を補正できます。将来の車載排ガスモニタリングについて考えた場合、これは燃費および排ガスのレベルを恒久的に安定させるのにも役立つことでしょう。

正確な開発ツールは、厳密な噴射要件に対応するために欠かせません

燃料インジェクタは電磁的メカニズムに基づいて機能しています。ニードルを上昇させるために、電流がインジェクタ内のコイルに流れて磁場を生成し、バルブの閉じ側に作用するスプリング（クロージングスプリング）の圧力に対抗してニードルを上昇させます（図 1）。これにより、レール内の高圧燃料が燃焼室に流れ込みます。燃料噴射は電流が遮断されると直ちに止まり、クロージングスプ

リングがニードルを再び押し下げます。

しかし、コイルに電圧がかかってからバルブが開くまでの時間差は、正確にはどのくらいでしょうか。また、バルブは電流が遮断されてからどのくらいの時間で再び閉じるのでしょうか。必要とする回答は電圧および電流のカーブの特性から得られます。これらのカーブの特性はインジェクタ内のインダクタンスおよびオーム抵抗に依存し、通電および放電のカーブという形で表現されます。ECU はこの情報を使用して、各インジェクタの反応時間の変化に対応して間隔のプリセット値を定義し直すことができます。この処理は既存のソフトウェアルーチンの後に実行されます。

連続生産の装備を成功させるために、制御装置ソフトウェアの部分を、考えられるすべての動作状態で実際に試してみる必要があります。一般的にソフトウェアのテストはエンジンとその制御装置およ



図 1:
インジェクタの各部の名称
(出典: Bosch Fachinformation
Automobil)

執筆者

Robert Geiselmann
ETAS GmbH

テスト・評価の製品考案者、
ハードウェア開発者

Henrik Jakoby
ETAS GmbH

テスト・評価の製品管理
グループリーダー

Frank Ruschmeier
ETAS GmbH

ハードウェア開発の
プロジェクトマネージャ
負荷シミュレーション
ハードウェアなど担当



図 3: 噴射の信号トレース

ソフトウェアベースのどちらのモデリングでも、さらに変数の境界条件を設定しても、インジェクタの挙動を現実的に再現でき、インジェクタのエイジングもシミュレートできることがわかりました。このソリューションの中核となるコンポーネントは ETAS LABCAR プラットフォーム用の ES4452.1 プラグインボードであり、このボードはフィールドプログラマブルゲートアレイ (FPGA) を搭載しています。

短い反応時間

新しい制御ストラテジでは、インジェクタニードルの開閉を最後のマイクロ秒まで決定する必要があります。したがって、ETAS はこの新しいソリューションで、遅延を最短噴射時間より約 50 倍短い 2~3 マイクロ秒以内に確実に抑えました。これはバーチャルインジェクタの開閉ポイントをシミュレートするデジタル出力信号を提供することにより実現されています。これらの信号は最大 4 つのインジェクタシミュレーション用に、クランクシャフト角について互いに同期します。ボード用のコマンドセットには

オープンにアクセスできます。この HiL ソリューションは標準化されているインターフェースである 100Mbit/s Ethernet および SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) を使用するので、既存の開発環境にスムーズに統合できます。また、正確で動的なアナログ出力により、電圧および電流をシミュレートされるインジェクタごとにオシロスコープまたは別の計測インストルメントに表示できるので、コンフィギュレーションの変更を直接見て確認できます。高価な高精度の電流クランプは必要ありません。

レール圧に依存する値、開時間の変更、燃料温度、電圧や電力のしきい値などのコンフィギュレーションを、シミュレーションの前および実行中に SCPI プロトコルにより設定したり変更したりできます。最初のバージョンの ES4452.1 は、2015 年半ばから市販されていて、ガソリン直接噴射用に作られています。ディーゼルシステム用のソリューションである ES4457.1 は、つい最近発表されました。

今後の展望

燃焼効率を高めて排ガスを低減するための取り組みの一環として、現代の噴射装置は燃料消費量をミリグラムレベルまで調整できるようになりました。かくして、アクティブなインジェクタの実際の状態を目標値と比較できるので、インジェクタのエイジングに関連する挙動変化をシステムパラメータの調整により補正することができます。新しい制御ストラテジを開発することができます。メカトロニックな噴射制御システムを連続生産に装備して成功するためには、それらの制御システムもさまざまな機能テストに合格しなければなりません。ETAS は ES4452.1 および ES4457.1 プラグインボードを使用する高精度な LABCAR HiL システムを開発して、これらのコンポーネントをハードウェアインザループテスト環境でバーチャル形式にテストできるようにしました。これは、制御装置ソフトウェアを新しい制御ストラテジに十分に適合できるほど正確にインジェクタの動きをシミュレートできる、初めての HiL システムです。ソフトウェアは、実際にインジェクタグループに組み込まれていなくても、インジェクタの将来の挙動を知ることができます。