



Innovative Regelung für Benzin-Direkteinspritzung

Das direkte Einspritzsystem von Delphi für Ottomotoren verfügt über einige regelungstechnische Neuerungen, die sukzessive weiterentwickelt werden. Die mittels modellbasierten Verfahren entwickelte Software ist Basis des Kleinstmengenmanagements und der verfeinerten Klopfregelung.

Das innovative Einspritzsystem von Delphi für Ottomotoren bietet im Wettbewerbsvergleich einige Alleinstellungsmerkmale. So sind das Geräuschverhalten der Pumpe und des Injektors jeweils Benchmark und verlangen vom OEM weniger aufwendige Dämmmaßnahmen und sparen somit Gewicht, Kosten und Kraftstoff. Ein weiterer Vorteil wird das neue Laser-Produktionsverfahren werden, mit dem Delphi in naher Zukunft die Spritzlöcher der Düsen fertigen wird. Denn durch den hohen Wärmeeintrag des Lasers wird das zu erodierende Material sprichwörtlich verdampft, während mit herkömmlichen Verfahren das Material derzeit eher weggeschmolzen wird.

Als Ergebnis sind die Kanten der Spritzlöcher der Delphi-Injektoren sehr

Beste Aufbereitung des Einspritzsprays sorgt für eine effiziente und saubere Verbrennung.

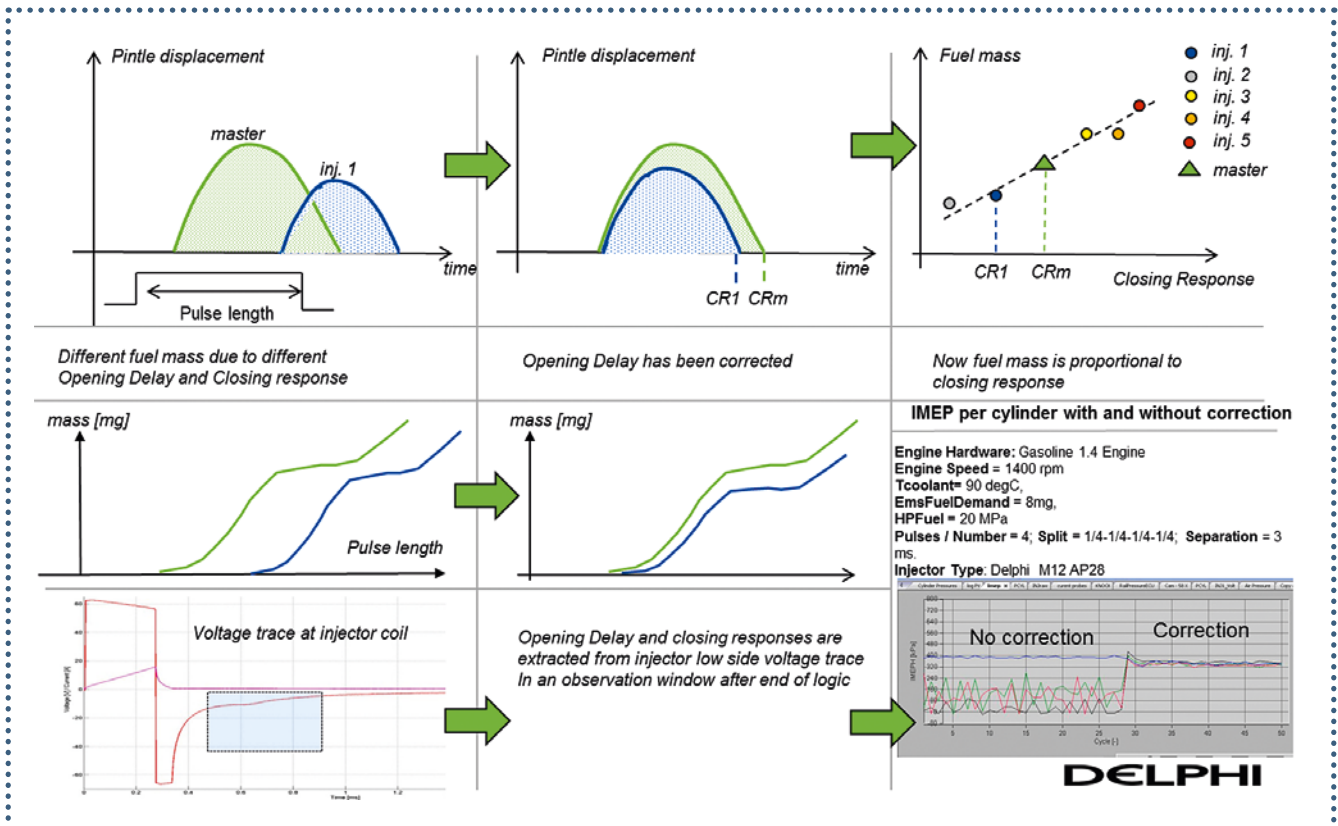


Bild 1: Korrektur der Injektor Öffnungs- und Schließzeiten über Induktionsspannungsverlauf und Effekt auf Verbrennungsstabilität im Kleinstmengenbereich.

präzise und scharf, während herkömmlich erodierte Löcher am Rand noch kraterförmige Unebenheiten aufweisen, die sich ungünstig auf die Geometrie der Spraykeulen des Benzins auswirken. Ein weiterer kundenrelevanter Vorteil ist das neue Hydrauliksystem der Delphi-Injektoren, das jetzt erstmals in einem Dreizylinder-Downsizing-Motor von PSA zum Einsatz kommt und dazu beiträgt, dass dieses Aggregat einen neuen Benchmark im Kraftstoffverbrauch aufstellt.

Innovatives Kleinstmengenmanagement

Viertes Alleinstellungsmerkmal ist die Kleinstmengenregelung der direkten Delphi-Einspritzung für Ottomotoren. Sie ermöglicht sehr präzise Kraftstoffmessungen – vor allem bei kleinsten Voreinspritzungen – und somit Kraftstoffeinsparungen. Delphi hat dieses Kleinstmengenmanagement selbst entwickelt und bereits patentieren lassen. Diese Software umfasst beispielsweise eine komplett neue Signalerfassung und Auswertelgorithmen für den

Stromverlauf. Um einen Eindruck von der Komplexität dieser Funktion zu haben: Insgesamt haben die Delphi-Ingenieure am Standort Luxemburg vier bis fünf Jahren lang an den neuen Algorithmen gearbeitet.

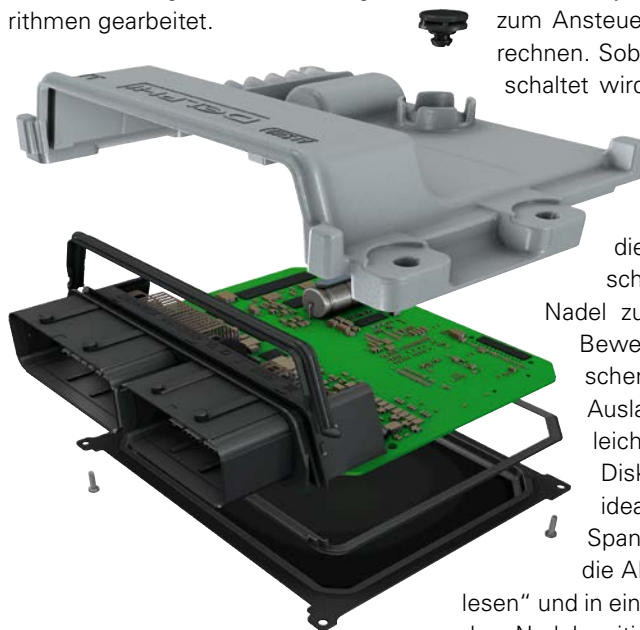


Bild 2: Das Steuergerät kann je nach Wunsch des OEMs alleine oder im Gesamtverbund mit Injektoren, Pumpen und Software von Delphi bezogen werden.

Die Algorithmen analysieren die Spulenspannung des Magnetventils, ermitteln daraus die Bewegung der Armatur und können so die Öffnungszeit des Injektors und der Versatz zum Ansteuersignal in Echtzeit berechnen. Sobald der Injektor ausgeschaltet wird, klingt die Spannung ab und läuft in einer Exponentialfunktion aus, bis der Injektor ruht. Da aber die Feder nach dem Ausschalten des Injektors die Nadel zudrückt, entsteht eine Bewegung im magnetischen Feld, die dann die Auslaufkurve der Spannung leicht beeinflusst. Diese Diskontinuität zwischen idealer und tatsächlicher Spannungskurve können die Algorithmen quasi „auslesen“ und in eine genaue Bestimmung der Nadelposition und Schließzeiten umrechnen.

Das Kleinstmengenmanagement nutzt diese Informationen sofort zur Berechnung der nächsten Einspritzvorgänge. Sie kommen im ballistischen



Bereich bei sehr kurzen Einspritzvorgängen zum Tragen – etwa beim Katalysator-Heizbetrieb, wo nur extrem geringe Einspritzmengen erforderlich sind. In dieser Betriebssituation wird die Nadel nicht komplett geöffnet, sondern während des Öffnungsvorgangs schon wieder auf Schließen gestellt.

Die elektronische Korrektur und Steuerung der Injektoren bei kleinsten Einspritzmengen ist noch aus einem anderen Grund äußerst wichtig. Denn die Injektoren verfügen unweigerlich über eine eigentlich kleine natürliche Streuung. Im normalen Lastbetrieb des Motors ist diese kleine Variabilität der Einspritzmenge angesichts des tatsächlichen Kraftstoffbedarfs zu vernachlässigen. Im Leerlaufbetrieb hingegen kann diese Streuung durchaus 10 bis 20 Prozent der gesamten Einspritzmenge betragen. Mit den erhobenen Spannungs- und Nadeldaten ist dann auch eine Driftkompensation der Injektoren über die Lebenszeit realisierbar.

Verfeinerte Klopfregelung

Hohe Anforderungen stellte auch die Klopfregelung an das neue Einspritzsystem. Denn bei aufgeladenen Downsizing-Motoren mit direkter Einspritzung treten andere Klopf-Phänomene auf als die gut abzuschätzende Klopfneigung bei Saugmotoren. Beispielsweise kann es vor dem Auslösen des eigentlichen Zündfunken durch die hohe Aufladung bereits zur Selbstentzündung kommen. Angesichts der hohen unkontrollierten Drücke in diesem Verbrennungsfall sind Motorschäden nicht auszuschließen. Um geeignete Gegenmaßnahmen zu ergreifen – wie etwa das Zurücknehmen des Zündzeitpunkts sowie die Abschaltung der Kraftstoffzufuhr – muss eine bevorstehende Selbstzündung frühzeitig erkannt werden. Hierzu dienen Piezo-Sensoren, die gewisse Motorfrequenzen nicht nur nach dem Zündfunken, sondern auch schon davor erfassen. Diese Signale werden bei

Delphi für beide Erfassungsfenster separat durch verschiedene Filter – unter anderem drei Bandpassfilter – geführt und analysiert. Im Vergleich zu früher mit nur einem Erfassungsfenster und einem Bandpassfilter hat sich der Rechenaufwand für die Klopfregelung versechsfacht.

Vortreiberstufen und Treibertransistoren statt ASICS

Da noch mit weiteren rechenintensiven Funktionen im Einspritzmanagement zu rechnen ist, hat Delphi für die Einspritzregelung Multicore-Prozessoren in der ECU ausgewählt, die mehr Rechenleistung (50 Prozent mehr als Vorgängergeneration) und Speicherplatz (Flashspeicher 4 bis 8 MB) als bisher bietet. Die Taktfrequenz beträgt aktuell 200 MHz.

Weitere grundlegende Parameter sind eine Öffnungsspannung der Injektoren von 65 Volt, heute der gängige »



Standard. Eine Treiberstufe erhöht die Spannung in der ECU kurzzeitig auf 65 Volt und nimmt sie nach dem Schaltvorgang wieder auf 12/14 Volt zurück. Die Spannungserhöhung wird per Kondensator realisiert, aus Kostengründen und zur Begrenzung der Wärmeverluste beträgt der Spitzenstrom weniger als 15 Ampere. Diese Konfiguration wird auch für Injektoren mit erhöhtem Einspritzdruck von 300 oder sogar 400 bar noch geeignet sein.

Für die Ansteuerung der Injektoren setzt Delphi keine ASICs ein. Zum einen gestaltet sich die Kühlung dieser elektronischen Bausteine schwierig. Zum anderen haben ASICs eine festgelegte Anzahl an Treiberstufen, die nicht immer alle genutzt werden. Delphi setzt stattdessen auf Vortreiberstufen und externe Treibertransistoren: Sie sind flexibel integrierbar und daher nahe am Stecker angeordnet, das bedeutet niedrige Verluste, eine vereinfachte Signalführung auf der Platine und eine bessere Wärmeabfuhr, da sie etwas abseits der großen Chips angeordnet sind. Außerdem können Vortreiberstufen und externe Treibertransistoren nach Bedarf erweitert werden und sind am Markt kostengünstig zu beziehen.

Modellbasierte Softwareentwicklung

Bei der Software geht Delphi jetzt zur modellbasierten Entwicklung über. Die

immer größer werden den Freiheitsgrade der Applikation (zum Beispiel Zündwinkel, Zündzeitpunkt, Einspritzwinkel, Einspritzzeit, Nockenwellenstellung) sind über die Kennfelder nicht mehr effizient abzudecken und ziehen eine aufwendige Kalibration nach sich. Physikalische Modelle hingegen vereinfachen die Kalibrierung und Applikation und bilden das dynamische Verhalten des Motors besser ab. Zunächst entsteht zwar ein erhöhter Entwicklungsaufwand für die Modellerstellung. Er wird aber durch die einfachere Applikation wieder mehr als kompensiert.

Zukünftige Optimierungspotenziale sieht Delphi für sein direktes Einspritzsystem für Ottomotoren sowohl bei der Mechanik als auch der Regelungstechnik. Auf mechanischer Seite werden Potenziale in Kombination mit den Regelungsalgorithmen konsequent bis in den mechanischen Grenzbereich analysiert und bei Bedarf erschlossen – siehe Kleinstmengenmanagement. Diese Algorithmen sind übrigens integraler Be-



Bild 3: Die elektronische Korrektur und Steuerung der Injektoren bei kleinsten Einspritzmengen senken im Leerlaufbetrieb den Kraftstoffverbrauch.

standteil der Delphi-Injektoren – auch wenn die restliche Regelungssoftware und das Steuergerät von einem anderen Zulieferer stammen sollten. Als Schlüssel bei der direkten Einspritzung sieht Delphi die Gesamtsystemkompetenz und das enge Zusammenspiel zwischen Hardware und Software an. Da die OEMs nach wie vor eine Cherry-Picking-Strategie bevorzugen (Injektoren, Pumpen, Software und Steuergerät je nach Projekt oft von verschiedenen Lieferanten), sind in den Produkten und Lösungen von Delphi passende Schnittstellen für eine unternehmensübergreifende Zusammenarbeit integriert. ■ (oe)
» www.delphi.com



Claude Poull ist verantwortlich für die Software-Entwicklung im Bereich Gasoline Systems Development bei Delphi im Technologiezentrum in Luxemburg.

Lüfterloser Micro-PC für Fahrzeuge

Der NUVO-3100VTC von **acceed** ist ein lüfterloses Kompaktsystem, das insbesondere für den Betrieb in Fahrzeugen entwickelt und zertifiziert wurde. Es lässt sich durch Konfiguration der CPU-Performance an die Anforderungen verschiedener Installationsorte anpassen. Das mit 210 x 165 x 59 mm kompakte Gehäuse verfügt über vier GBit-PoE-Schnittstellen mit 25,5 W Leistung. Ferner enthält das Chassis eine Vielzahl von Kommunikationsschnittstellen wie USB 3.0, COM-Ports, mini-PCIe und digitale Ein- und Ausgänge. Als Grundausstattung stehen zwei Varianten mit dem Core i7-3610QE oder dem Core

i5-3610ME von Intel zur Auswahl. Drei unabhängige Monitorausgänge (VGA/DVI) bieten größte Flexibilität für den



Embedded Controller NUVO-3100VTC für den Betrieb in Fahrzeugen.

Einsatz grafischer Interfaces mit einer Maximalauflösung von 2560 x 1600 Bildpunkten. Zwei 2,5"-SATA-Anschlüsse (einer davon mit Hot-Swap-HDD-Einschub) sorgen für die Anbindung an verschiedene Speicherlösungen. Abhängig von den Umgebungsbedingungen können Anwender das System für höchste Leistung, reduzierte Leistung oder den Betrieb im erweiterten Temperaturbereich von 25 bis +70 °C konfigurieren. Per Ignition Power Control lässt sich der Betrieb des Systems mit der Fahrzeugzündung verknüpfen und vielfältig konfigurieren.

» www.acceed.de