

Efektivní vývoj řídicí jednotky automobilu

Jaroslav JIRKOVSKÝ, HUMUSOFT s.r.o.

Vývoj v automobilovém průmyslu kráčí nezadržitelným tempem vpřed, a jednotliví výrobci se předhánějí v efektivitě spotřeby paliva, snižování emisí a zlepšování jízdních vlastností svých vozů. S rostoucími požadavky však roste i složitost softwaru řídicích jednotek, které jsou dnes nedílnou součástí všech automobilů. Efektivní řešení návrhu nabízí metoda Model-Based Design postavená na nástrojích MATLAB a Simulink firmy MathWorks.

Při vývoji řídicích jednotek automobilů (ECU), stejně jako jiných komplexních systémů se striktními požadavky, je naprosto zásadní odhalit jakékoliv nedostatky v návrhu co nejdříve. Pozdní odhalení chyb může vést k rozsáhlým změnám v celém systému a neúměrnému navýšení nákladů. Problémům je možné předejít, pokud je již v raných etapách vývoje ECU k dispozici přesný simulační model motoru.

Modelování a simulaci při vývoji řídicích jednotek využila také společnost Toyota Motor Corporation (obr.1). Modely umožnily začlenit do výrobního programu testování metodami model-in-the-loop (MIL) a software-in-the-loop (SIL) a přenést tak těžiště verifikace do dřívějších fází návrhu systému.

Společnost Toyota využila k modelování svých spalovacích motorů nástroje MATLAB a Simulink firmy MathWorks. Simulink je gra-



Obr.1 Automobilový motor společnosti Toyota

fické prostředí blokových schémat, ve kterém lze modelovat nejrůznější dynamické systémy a simulovat jejich chování. Simulink je platformou pro návrhovou metodu Model-Based Design (obr.2).

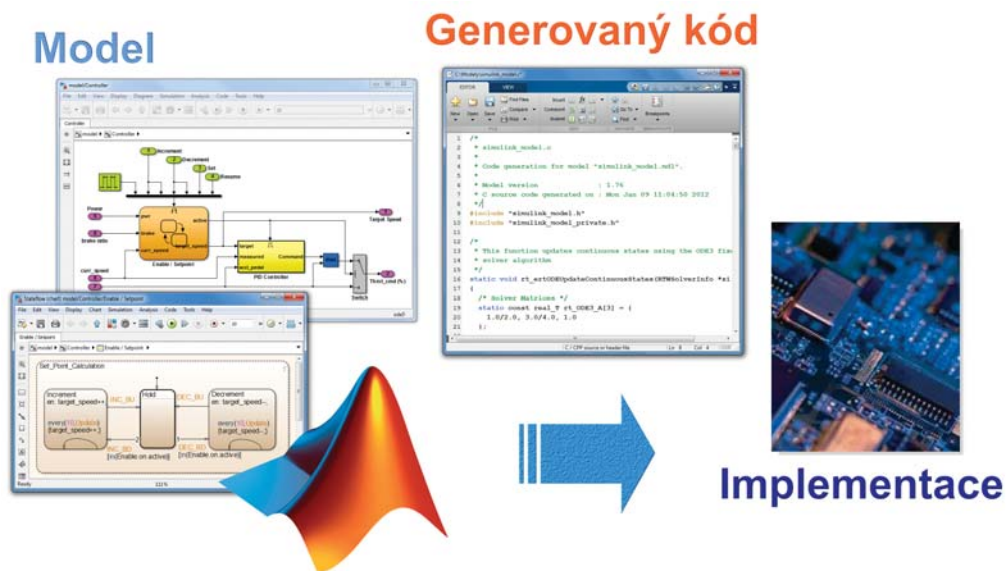
Společnost Toyota využila Simulink nejen k modelování motoru, ale v simulačním prostředí byl modelován i celý řídicí algoritmus a simulátor uzavřené smyčky soustavy

s řízením. Práce v jednotném prostředí tak vývoj řídicího systému velmi zjednodušila.

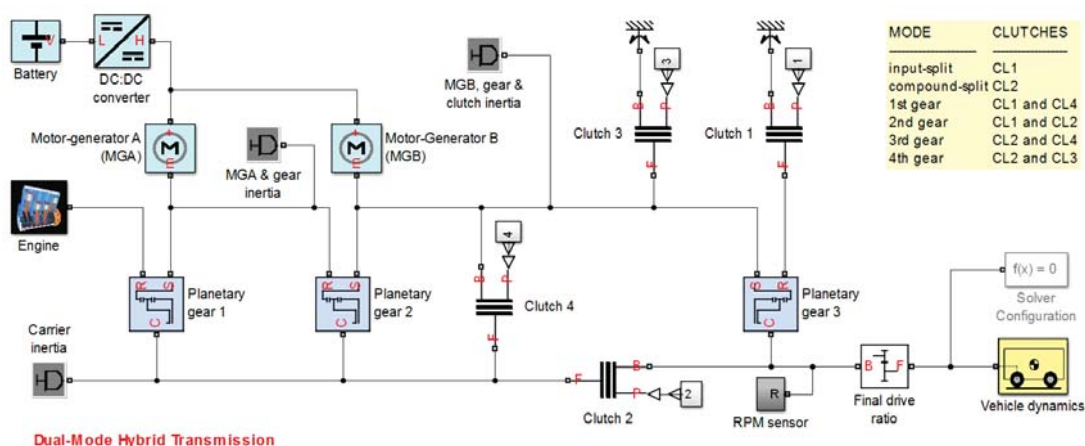
Zařazení návrhové metody Model-Based Design do vývoje ECU vedlo ke zkrácení vývojového cyklu a minimalizovalo dodatečné opravy. Tím bylo možné uvést nové produkty na trh dříve než to zvládaly konkurenční společnosti.

Počátky projektu

Společnost Toyota využívala modelování při vývoji ECU již minulosti. Jednalo se však o relativně jednoduché modely, které do-



Obr.2 Návrhová metoda Model-Based Design



Obr.3
Ilustrační model
v prostředí Simscape

volili testovat jen malou část funkcí řídicí jednotky, bez možnosti zkoušení a optimalizace řídicích algoritmů. K zajištění optimální funkce nového motoru bylo zapotřebí vytvořit takový model, který by pokrýval chování celého pohonu, včetně paliva, spalování a systémů recirkulace spalín (EGR).

K efektivnímu vývoji ECU bylo zapotřebí zlepšit i pružnost a rozšiřitelnost používaných SIL a MIL technologií. Nezbytná byla podpora simulované komunikace mezi řídicími jednotkami (sběrnice CAN), podpora ladění řídicích algoritmů na úrovni zdrojového kódu za běhu SIL simulace a zajištění správného pořadí obsluhy přerušení (ISR) a časovačů.

Od modelu k implementaci

Společnost Toyota využila nástroje MATLAB a Simulink k vytvoření nového modelu motoru, který čítal několik tisíc rovnic. Model byl vytvořen v nadstavbě Simscape, která umožňuje modelování fyzikálních systémů pomocí bloků reprezentujících jednotlivé prvky reálného světa. Bloky jsou při modelování skládány na základě fyzického uspořádání soustavy (obr.3) a matematické rovnice jsou z nich vytvářeny automaticky. Kromě toho lze definovat vlastní uživatelské prvky pomocí jazyka Simscape language.

Vývojový tým společnosti Toyota vytvořil v jazyce Simscape language vlastní knihovny prvků a fyzikální prostředí, které zahrnovalo několik typů plynů, včetně vzduchu, paliva a spalín. Uživatelské prvky reprezentovaly spalovací komoru a cesty proudění plynů (včetně EGR). Kombinací těchto modelů s modely prvků dodávaných s nástrojem Simscape bylo možné modelovat měnič výkonu, automatickou převodovku a další části pohonné soustavy.

Následovala tvorba modelu řídicího systému ECU. Kromě dynamických prvků zde byl využit i stavový popis systému modelovaný v nástroji Stateflow. Nový návrh řídicí logiky byl prověřen simulacemi na úrovni modelu (model-in-the-loop) a umožnil tím zohlednit i dynamické chování připojené soustavy.

Návrh pokračoval automatickým generováním zdrojového kódu v jazyce C, které nástroje pro Model-Based Design nabízí. Zdrojový kód generovaný z modelů řídicího algoritmu byl kompilován a testován v software-in-the-loop simulacích (SIL). Tím byly prověřeny nízkourovňové ovladače, přesná sekvence spouštění ISR a časovačů a další detaily, které není možné prověřit na úrovni modelů. K ladění zdrojového kódu během SIL simulací byla využita spolupráce s nástrojem Microsoft® Visual Studio®. Breakpointy

zadané do zdrojového kódu zastavily simulaci v Simulinku, vývojáři mohli zkontrolovat stav řídicích proměnných, a poté v simulaci pokračovat.

Pomocí MATLABu byly dále automatizovány simulace určené k optimalizaci parametrů a MATLAB sloužil i pro analýzu dat ze simulací a provedených testů.

Závěr

S využitím model-a-software-in-the-loop simulací byl úspěšně navržen nový řídicí modul, který byl následně integrován s řídicím softwarem.

Společnost Toyota v současnosti využívá metodu Model-Based Design ve vývoji řídicích systémů motorů, převodovek i hybridních elektrických systémů.

Prověření návrhu v raných etapách vývoje

Metoda Model-Based Design a SIL simulace přenesly testování návrhu řídicího systému již do raných etap vývojového cyklu. Simulací bylo například možné prověřit řídicí systém motoru a převodovky s konfigurací sběrnice CAN, což následně značně ulehčilo přechod k testování systému v reálném vozidle.

Simulace obtížně testovatelných podmínek

Vývojáři vytvořili v Simulinku vlastní platformu pro SIL simulaci. Ta umožnila podrobné prozkoumání řídicího systému v řadě pracovních podmínek, které byly obtížně nastavitelné v reálném voze nebo testovacím prototypu.

Distributor produktů společnosti MathWorks
v České republice a na Slovensku:
HUMUSOFT s. r. o.
<http://www.humusoft.cz>

