

MECHATRONIC DESIGN OF AUTOMOTIVE EE SYSTEMS

Andrzej Puchalski

Technical University of Radom, Institute of Maintenance of Vehicles and Machines
Chrobrego Street 45, 26-600 Radom, Poland
tel.: +48 48 3617603, fax: +48 48 3617644
e-mail: andrzej.puchalski@pr.radom.pl

Abstract

Hardware/software hybrid technologies used in the vehicles required computer aided simulation and experimental testing during the designing process to make sure about reliability and quality. The growth of the number of mechatronic systems in the typical automobile, increasing legislative safety and environmental mandates, global standardization started virtual vehicle creation process. In the paper the mechatronic design of automotive EE systems is discussed. The modeling, simulation and system integration environment SystemVision that supports various engineering disciplines (electrical, mechanical, thermal, hydraulic and pneumatic) and multiple levels of systems abstraction is presented. Simulation and analysis includes domains: time, frequency and DC with the parametric and statistical design processes. This paper provides some models available in VHDL-AMS (IEEE 1076.1) open-source hardware description language for automotive electrical system design and analysis. The significance of VDA/FAT-AK30, AUTOSAR standards and the software tools with the bridges to MCAD design for management, engineering and manufacturing of automotive on-board network and composite large scale vehicle wiring harnesses is emphasized.

Keywords: mechatronic design, automotive EE systems, modeling and simulation

MECHATRONICZNE PROJEKTOWANIE UKŁADÓW EE POJAZDU

Streszczenie

Hybrydowe techniki sprzętowo – programowe stosowane we współczesnym pojeździe wymagają, w okresie procesu projektowania i produkcji, komputerowej symulacji oraz eksperymentu dla zapewnienia odpowiedniej jakości. Nieustanny wzrost ilościowy systemów mechatronicznych pojazdu, wymagań w zakresie bezpieczeństwa, ochrony środowiska, standaryzacji oraz globalnej konkurencji zapoczątkował proces, który można nazwać mianem wirtualnej produkcji. W artykule omówiono problemy mechatronicznego projektowania systemów elektryczno-elektronicznych (EE) pojazdu. Zakres zagadnień obejmuje modelowanie podukładów różnych dziedzin techniki (elektrycznych, mechanicznych, cieplnych, hydraulicznych i pneumatycznych) w środowisku SystemVision. Poszczególne fazy procesu projektowania mechatronicznego, niezależnie od stopnia szczegółowości, wymagają integracji zastosowanych rozwiązań sprzętowych i programowych. Symulacja i analiza obejmuje badania statyczne i dynamiczne w dziedzinie czasu i częstotliwości oraz wykorzystuje narzędzia statystyczne. Przedstawione zostały zasady i przykłady modelowania wybranych elementów sieci pokładowej i instalacji elektrycznej pojazdu za pomocą platform programowych, opierających się na języku modelowania multidyscyplinarnego VHDL-AMS według normy IEEE 1076.1. oraz standardach samochodowych w zakresie stosowanych modeli podzespołów VAD/FAT-AK30 i struktury oprogramowania AUTOSAR, pozwalających na integrację z narzędziami projektowania MCAD.

Słowa kluczowe: projektowanie mechatroniczne, instalacje EE pojazdu, modelowanie i symulacja

1. Wprowadzenie

Montaż i testowanie w różnych warunkach fizycznych i środowiskowych kilkudziesięciu układów elektryczno-elektronicznych (EE) pojazdu wraz z ich układami sterującymi, czujnikami i elementami wykonawczymi oraz siecią pokładową jest obecnie zadaniem niewykonalnym w krótkim czasie.

Symulacja komputerowa staje się integralną częścią projektowania pojazdu na wszystkich jego etapach [1]. Każdy element systemu rzeczywistego winien zatem mieć swój model. Możliwa jest

wówczas efektywna symulacja zarówno na poziomie systemowym jak i elementów. Brak narzędzi do jednoczesnego projektowania na poziomie systemowym i poziomie elementów był powodem ograniczeń w mechatronicznym projektowaniu układów EE pojazdu. Wirtualna produkcja pojazdu wymaga zintegrowania działań prowadzonych przez różne zespoły specjalistów, na różnym poziomie szczegółowości z podukładami należącymi do różnych dziedzin techniki (elektrycznych, mechanicznych, cieplnych, hydraulicznych i pneumatycznych). Zadanie to można zrealizować posługując się językiem programowania multidyscyplinarnego VHDL-AMS [2], który daje możliwość modelowania zarówno układów analogowych jak i cyfrowych. Wykorzystanie platformy programowej tworzącej wirtualne środowisko projektowania z obszernymi bibliotekami modeli przyspiesza proces projektowania. Wbudowane interfejsy pozwalają na komunikację z innymi programami symulacyjnymi, a narzędzia matematyczne i graficzne dają możliwość analizy i diagnostyki w trakcie projektowania rozwiązań.

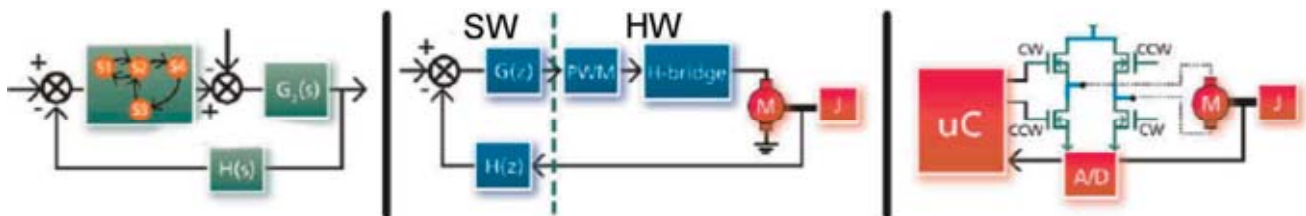
W wirtualnym środowisku projektowania elementy systemu wykonane, jako modele programowe można łączyć z modułami sterującymi, niezależnie od ich typu, poprzez magistralę o zdefiniowanych przez projektanta szybkościach, zabezpieczeniach, opóźnieniach itp. Zgodność elementów programowych z różnymi elementami sprzętowymi systemu, niezależność od zastosowanych technologii komunikacji oraz systemu operacyjnego jest podstawą standardu AUTOSAR [3]. Zasada ta pozwala projektantowi na automatyczne przejście z poziomu projektu funkcjonalnego do generacji kodu wynikowego dla każdego, nie ściśle zdefiniowanego modułu sterującego. Dotychczasowe sposoby projektowania instalacji EE pojazdu charakteryzuje oprogramowanie przypisane do konkretnego sprzętu. Dysponując programowymi platformami mechatronicznego projektowania transformacja modelu symulacyjnego do postaci fizycznego prototypu może być realizowana znacznie później. W wirtualnej produkcji pojazdu olbrzymie znaczenie ma też standard VDA/FAT-AK30, który oferuje biblioteki elementów EE pojazdu, wykonanych za pomocą języka multidyscyplinarnego opisu sprzętu i oprogramowania VHDL-AMS.

2. Architektura wirtualnego środowiska projektowania SystemVision [4]

SystemVision jest narzędziem mechatronicznego projektowania złożonych układów dynamicznych. Modele tworzone są za pomocą języków VHDL-AMS, SPICE lub C. Środowisko pozwala na następujące rodzaje pracy:

- w trybie podstawowym: w dziedzinie czasu, w dziedzinie częstotliwości, w stanie statycznym,
- w trybie zaawansowanym: analizy parametryczne i statystyczne.

Modelowane systemy należą do różnych dziedzin techniki (elektrycznych, mechanicznych, cieplnych, hydraulicznych i pneumatycznych), obejmują zarówno układy programowe SW jak i sprzętowe HW z sygnałami analogowymi i cyfrowymi rozważane na różnych poziomach szczegółowości.

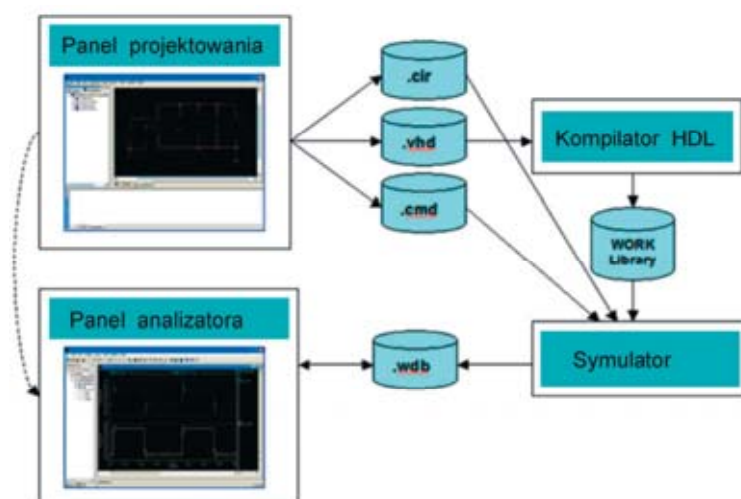


Rys. 1. Projektowanie funkcjonalne, strukturalne i aplikacyjne na platformie programowej wg Mentor Graphics
Fig. 1. Functional, Architectural and Implementation Modeling Using Software Platform (Mentor Graphics)

Biblioteki modeli zorganizowane są w następujące grupy:

- teoria sterowania (układy opisane transmitancją operatorową zmiennej s lub zmiennej z z portami typu „elektrycznego” lub „wartościowego”),

- technika cyfrowa (układy elektroniczne małej i średniej skali integracji z portami typu „elektrycznego”),
- technika analogowa (elementy i układy elektrotechniki z portami typu „elektrycznego”),
- hydraulika (elementy i układy hydrauliczne z portami typu „hydraulicznego”),
- elektromagnetyzm (elementy i układy elektromagnetyczne z portami typu „magnetycznego”),
- systemy hybrydowe (układy z różnych dziedzin techniki o portach różnego typu),
- ruch obrotowy (maszyny i urządzenia o portach typu „wirującego”),
- ruch postępowy (maszyny i urządzenia o portach typu „przesuwnego”),
- technika cieplna (urządzenia o portach typu „termicznego”),
- technika samochodowa (podzespoły samochodowe o różnych typach portów wg standardu VDA-FAT-AK30).



Rys. 2. Funkcje, pliki i bazy danych środowiska SystemVision
 Fig. 2. Functions, Files and Databases that Constitute SystemVision Product

Projektowanie, symulacja i analiza systemów pojazdu obejmuje maszyny elektryczne, akumulatory, silniki spalinowe, podzespoły wtryskowe i zapłonowe, mechanizmy przenoszenia napędów, elementy systemów bezpieczeństwa i komfortu oraz niezbędne do ich funkcjonowania instalacje elektryczne i pokładowe sieci komputerowe CAN, LIN, MAST wraz z układami przewodowego i bezprzewodowego sterowania i regulacji.

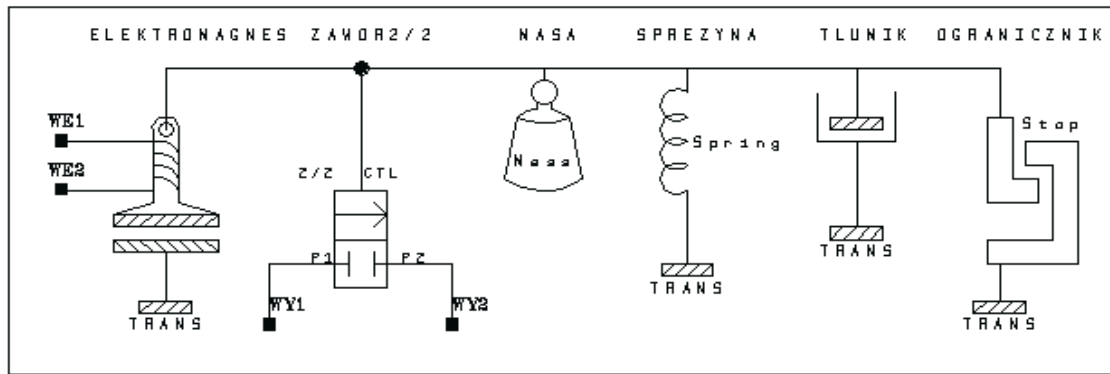
3. Modelowanie instalacji EE systemu bezpieczeństwa pojazdu

Dla zilustrowania mechatronicznego projektowania instalacji EE systemów bezpieczeństwa pojazdu [5] przedstawiono modele VHDL-AMS zaworu elektromagnetycznego 2/2 oraz elektrycznej pompy paliwa. Część mechaniczną zaworów dopływowych i odpływowych hydraulicznego układu hamulcowego reprezentuje układ masa, sprężyna, tłumik oraz ogranicznik dwupołożeniowy. Zjawiska przepływowe odwzorowuje zawór 2/2, natomiast sterowanie elektromagnes. Porty wejściowe WE1-WE2 są typu „elektrycznego”, a wyjścia WY1-WY2 są portami typu „hydraulicznego”.

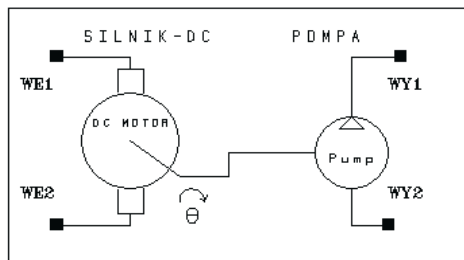
Model pompy układu ABS zawiera bloki silnika elektrycznego prądu stałego oraz pompy hydraulicznej. Silnik zamodelowano jak układ z portami typu „elektrycznego” i „wirującego”, pompa zawiera porty typu „wirującego” i „hydraulicznego”.

Modele pokazano na rysunkach 3 i 4, a równania opisujące wybrane elementy w załączonych listingach.

Inne modele VHDL-AMS podukładów instalacji elektrycznej pojazdu wraz z wynikami wykonanych symulacji przedstawiono w [1].



Rys. 3. Model zaworu elektromagnetycznego 2/2 układu hamulcowego ABS (SystemVision Professional 5.1)
 Fig. 3. 2-Way Electromagnetic ABS Valve Model Topology



Rys. 4. Model pompy elektrycznej układu hamulcowego ABS (SystemVision Professional 5.1)
 Fig. 4. Electromechanical Pump Model Topology

Tab. 1. Listing wybranych modeli elementów układu hamulcowego
 Tab. 1. Listing of the Selected Models of Brake System's Elements

a) elektromagnes	b) pompa
entity ElectroMagnet is generic (r_wind: resistance; - Magnet winding resistance i0: current; - Calibration current at which both forces - are measured F_max: force; - Maximum force at current i0, gap = 0 gap1: displacement; - Gap at which F1 is measured F1: force); - Force at current i0, gap = gap1 port (terminal elec1, elec2: electrical; terminal trans1, trans2: translational); end entity ElectroMagnet; - Behavioral architecture architecture behavioral of ElectroMagnet is quantity v across i through elec1 to elec2; quantity gap across tforce through trans1 to trans2; quantity l: inductance; - Inductance quantity mflux: flux; - Flux constant k: real:= (sqrt(F_max/F1) - 1.0)/gap1; constant L_max: inductance:= 2.0*F_max/((i0**2)*k); begin if gap < 0.0 use - Limit force to Fmax (scaled by i**2) l = L_max; mflux = l*i; v = i*r_wind + mflux'dot; tforce = F_max*(i**2)/(i0**2); else	entity pum_mot is generic (displ: real:= 1.0e-3; - Volumetric displacement per rev.(m**3/rev) leak: real:= 1.0e-12); - Leakage per unit pres. diff. ((m**3/s)/(N/m**2)) port (terminal p1, p2: fluidic; terminal shaft: rotational_v); end entity pum_mot; architecture simple of pum_mot is constant ktorq: real:= displ/(2.0*math_pi); - Torque factor, Torque/(unit delta pressure) constant pcav: real:= -95.0e3; - Value ofpcav (N/m**2) constant patm: real:= -101325.0; - Value of patm (N/m**2) quantity p1p across q1 through p1 to fluidic_ref; quantity p2p across q2 through p2 to fluidic_ref; quantity pres across qnet through p1 to p2; - Net pump flow (m^3/s) - and pressure differential across pump (N/m**2) quantity w across torq through shaft to rotational_v_ref; -Shaft rotational velocity (rad/s) quantity qleak: real; - Leakage flow due to pressure diff. (m**3/s) quantity qcav: real; - Flow loss due to cavitation (m**3/s) quantity qideal: real;- Ideal flow (no losses) (m**3/s) quantity cav_fact: real; - Relative state of cavitation (nu) begin if (p1p <= pcav and w < 0.0) use

<pre> l = L_max/(1.0 + k*gap); mflux = l*i; v = i*r_wind + mflux'dot; tforce = 0.5*k*L_max*(i**2)/(1.0 + k*gap)**2; end use; break on gap'above(0.0); end architecture behavioral; </pre>	<pre> cav_fact = (pcav-p1p)/(pcav-patm); elsif (p2p <= pcav and w > 0.0) use cav_fact = (pcav-p2p)/(pcav-patm); else cav_fact = 0.0; end use; if(cav_fact > 1.0) use cav_fact = 1.0; end use; qleak = leak*pres; qideal = -ktorq*w; qcav = qideal*cav_fact; qnet = qideal-qcav+qleak; torq = -pres*ktorq; end architecture simple; </pre>
<p style="text-align: center;"><i>c) sprężyna</i></p> <pre> entity spring_t is generic (k: real; - Spring Rate [N/m] length_f0: displacement:= 0.0); - Length where force=0 [m] port (terminal trans1, trans2: translational); end entity spring_t; architecture linear of spring_t is quantity position across force through trans1 to trans2; begin force = k*(position - length_f0); end architecture linear; </pre>	<p style="text-align: center;"><i>d) tłumik</i></p> <pre> entity damper_t is generic (d: real); - Damping coefficient [N/(m/s)] port (terminal trans1, trans2: translational); end entity damper_t; architecture ideal of damper_t is quantity velocity: velocity; quantity position across force through trans1 to trans2; begin velocity = position'dot; force = d*velocity; end architecture ideal; </pre>

4. Podsumowanie

Według opinii przedstawicieli ośrodków R&D firmy GM „90% inowacji przewidywanych w systemach samochodowych będzie konsekwencją elektronizacji pojazdu”.

Konieczność rozwoju wirtualnych metod projektowanie pojazdu wynika także z coraz krótszego cyklu opracowywania nowych konstrukcji i większej różnorodności modeli oraz utrzymywania na stałym poziomie budżetu przewidzianego na prace badawczo-rozwojowe.

Projektowanie mechatroniczne układów EE pojazdu za pomocą platform symulacji programowej, opierających się na języku modelowania multidyscyplinarnego VHDL-AMS według normy IEEE oraz standardach samochodowych w zakresie stosowanych modeli podzespołów VAD/FAT-AK30 i struktury oprogramowania AUTOSAR otwiera możliwość rozwiązania problemów zarówno produkcyjnych jak i eksploatacyjnych.

Obecność kilkudziesięciu układów mechatronicznych w instalacji elektrycznej pojazdu wymaga nowoczesnych narzędzi programowych do ich zintegrowania [6]. Platforma SystemVision wraz z oprogramowaniem bazującym na danych (data-centric) CHS, pozwala na zrealizowanie pełnego cyklu projektowego od definiowania podukładów, poprzez ich integrację i optymalizację do przygotowania danych niezbędnych w procesie produkcyjnym oraz dokumentacji technicznej. Wirtualnego prototypowania wymaga w szczególności projektowanie pokładowych sieci komputerowych pojazdu. Zespół narzędzi programowo-sprzętowych Volcano wykorzystuje metody modelowania matematycznego do analizy przetwarzanych sygnałów i pozwala na komunikację z magistralami CAN, LIN, MAST pojazdu.

Literatura

- [1] Puchalski, A., *Modelowanie i symulacja podukładów mechatroniki samochodowej*, IV Międzynarodowy Kongres Diagnostyki Technicznej, Olsztyn 2008.
- [2] Asheden, P. J., Peterson, G. D., Teegarden, D. A., *The System Gesigner's Guide to*

VHDL-AMS, Elsevier Science, USA 2003.

- [3] Teegarden, D., *Improving Automotive EE Design with SystemVision*, Copyright Mentor Graphics Corporation, 2007, www.mentor.com.
- [4] *SystemVision Reference*, Copyright Mentor Graphics Corporation, 2006-2007.
- [5] Cooper, R. S., *The Designer's Guides to Analog & Mixed-Signal Modeling*, Copyright Synopsys, Inc., 2004, www.synopsys.com.
- [6] Ortega, E., Smith, N., Heurung, T., Swanson, R., *Arriving at the Need for a Design-to-Manufacturing and Design-for-Service Flow in Automotive Electronic/Electrical Engineering*, Copyright Mentor Graphics Corporation, 2006, www.mentor.com.