

DIGITAL MOTION CONTROL HARDWARE A SURVEY PAPER

I N Satya Kumara

Staf Pengajar Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Email: ins_kumara@yahoo.com
Kampus Bukit Jimbaran Bali, 80361

Intisari

Teknik pengaturan motor listrik telah berkembang sangat pesat khususnya sejak dua dekade terakhir. Pengaturan kecepatan dan torsi motor yang presisi dan cepat sudah bisa dicapai, khususnya untuk motor ac yang memiliki karakteristik nonlinier dan terkopling. Teknik estimasi untuk mengurangi sensor fisik juga berkembang sebagai upaya meningkatkan keandalan dari drive. Hal-hal di atas dimungkinkan karena perkembangan teknologi mikroelektronika dan semikonduktor daya. Perkembangan teknologi mikroelektronika khususnya VLSI memungkinkan pengimplementasian teknik-teknik pengaturan lanjut untuk menghasilkan sistem pengaturan motor listrik dengan unjuk kerja tinggi dan dengan perangkat keras yang ekonomis. Teknologi semikonduktor daya memungkinkan dihasilkannya konverter statis yang efisien, kompak serta ekonomis. Paper ini mencoba me-review sistem perangkat keras yang tersedia untuk mengimplementasikan pengaturan motor listrik dengan teknik digital motion control.

Kata kunci: pengaturan motor listrik, teknik pengaturan lanjut, perangkat pengaturan digital, mikrokontroler, digital signal prosesor, real time control

1. PENDAHULUAN

Aplikasi motor listrik sebagai sumber energi kinetik sangat luas. Pemakaiannya mulai dari drive berkecepatan tunggal (single speed drive), drive berkecepatan variabel (variable speed drive, VSD atau adjustable speed drive, ASD) hingga drive dengan unjuk kerja tinggi (high performance drive). Drive kecepatan tunggal biasanya tidak menuntut spesifikasi yang terlalu tinggi. Aplikasi jenis ini termasuk kipas angin, kompresor dan pompa listrik. Spesifikasi operasi mulai meningkat dalam variable speed drive khususnya aplikasi yang menuntut pengaturan kecepatan dan torsi motor yang cepat dan akurat. Drive jenis ini biasanya menggunakan teknik pengaturan lanjut seperti sensorless atau direct torque control. Aplikasi drive berunjuk kerja tinggi sudah mulai bisa dijumpai dalam peralatan rumah tangga seperti mesin cuci. Pemakaian industri seperti robot industri, kendaraan listrik (electric vehicle), industri pabrik (manufacturing) dan aplikasi servo.

Pada awalnya motor listrik dioperasikan sebagai drive berkecepatan tunggal yang umumnya dilakukan dengan menghubungkan motor tersebut dengan sumber daya, tegangan dan/atau frekuensi konstan tapi selanjutnya electric drive juga dituntut untuk beroperasi multi speed. Aplikasi yang membutuhkan variable speed sudah bisa dicapai tetapi dengan teknik yang tidak efisien dan tidak ekonomis. Seperti contoh, dalam motor dc pengaturan kecepatan dilakukan dengan menyisipkan tahanan dalam rangkaian jangkar untuk mengurangi tegangan yang dikenakan pada terminal jangkar. Teknik seperti ini tidak ekonomis karena setiap saat drive akan menarik

arus (daya) yang sama dari jala-jala berapapun nilai kecepatan motor tersebut. Sementara itu, dalam pengemudian motor ac, variable speed dicapai dengan menggunakan teknik Ward-Leonard. Dalam teknik ini sebuah motor dc digunakan untuk memutar generator ac yang mencatu suatu pengemudian motor ac. Kecepatan motor ac, yang tergantung dari frekuensi sumber, dirubah dengan merubah kecepatan motor dc. Teknik rotating converter seperti ini sangat mahal karena banyaknya peralatan yang digunakan serta tingkat efisiensi yang rendah. Karena berbagai pertimbangan tersebut teknik-teknik pengaturan seperti disebutkan di atas sudah sejak lama tidak digunakan lagi.

Perkembangan teknologi semikonduktor daya (power semiconductor) dan mikroelektronika menyebabkan era baru dalam desain catu daya dan pengemudian motor listrik. Teknologi konverter statis berkembang sehingga mendukung desain dan fabrikasi catu daya yang handal, efisien (low loss) dan ekonomis (low cost). Perkembangan bidang ini meliputi peningkatan kapasitas komponen (device rating) sehingga densitas arus (currents density) makin tinggi. Teknologi konverter juga berkembang yang meliputi kemampuan switching frequency yang makin tinggi serta topologi rangkaian yang beragam seperti berkembangnya buck-converter, boost-converter serta multi level inverter.

Perkembangan mikroelektronika, khususnya integrated circuit VLSI, menyebabkan tersedianya rangkaian terpadu skala sangat besar dengan harga ekonomis. Sebagai contoh, mikrokontroler dan digital signal prosesor adalah dua teknologi yang berperan

besar dalam meningkatkan unjuk kerja, keandalan dan efisiensi dari suatu sistem pengaturan. Peralatan komputasi ini memungkinkan digunakannya teknik pengaturan digital lanjut (advanced control techniques) serta berbagai teknik modulasi seperti sine-triangular, space vector modulation (SVM) dan space vector delta modulation (SVDM).

Penggunaan teknik kontrol dan modulasi lanjut ini bertujuan untuk menghasilkan output sistem pengaturan yang berspesifikasi tinggi. Spesifikasi utama dalam sebuah electric drive berkaitan dengan kecepatan respon dan keakuratan drive serta kemudahan pengoperasian sistem. Spesifikasi yang lain meliputi kualitas daya (power quality) dari konverter dilihat dari masukan (sistem tenaga listrik) serta keluarannya, ukuran fisik dari sistem kontrol (foot print), keandalan drive secara keseluruhan dan efisiensi pemakaian energi listrik.

2. TEKNIK PENGATURAN LANJUT

Dalam suatu sistem pengaturan motor listrik, khususnya pengaturan dengan loop tertutup, bagian pengatur (controller) bertugas untuk mengatur konverter daya sehingga dihasilkan daya dengan tegangan, arus dan frekwensi tertentu. Daya terkontrol ini digunakan untuk mencatu motor listrik sehingga menghasilkan drive yang mampu beroperasi sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Spesifikasi yang paling penting dalam pengemudian listrik adalah respon kecepatan dan torsi motor yang cepat serta akurat.

Salah satu teknik yang biasa digunakan untuk meningkatkan kualitas respon suatu sistem pengaturan adalah dengan memakai compensating networks. Teknik kompensasi ini diimplementasikan dengan komponen analog seperti tahanan, induktor dan kapasitor. Teknik ini secara umum dikenal dengan pengaturan pid (proportional, integral, derivative). Kelemahan pemakaian komponen analog adalah adanya components drift sehingga diperlukan proses tuning yang rutin. Disamping itu ukuran komponen yang besar menyebabkan secara keseluruhan dimensi dari perangkat sistem pengatur menjadi besar. Hal lain juga adalah harga komponen analog relatif mahal karena harus dibeli sebagai komponen tunggal. Banyaknya jumlah komponen dalam suatu rangkaian akan menambah signal time delay yang pada akhirnya bisa mempengaruhi bandwidth pengaturan. Hal-hal tersebut di atas menyebabkan teknik-teknik pengaturan lanjut agak sulit untuk diimplementasikan walaupun teori teknik pengaturan lanjut itu sendiri sudah berkembang cukup lama.

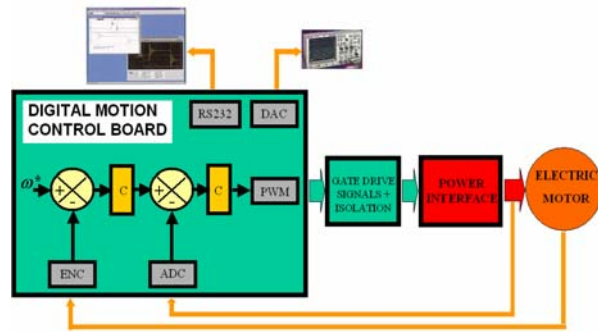
Teknik-teknik pengaturan lanjut yang banyak digunakan antara lain penggunaan fuzzy logic,

genetic algorithms, neural networks, teknik adaptive, model reference adaptive systems (MRAS), sliding mode atau variable structure control (VSC) dan teknik kontrol nonlinear lainnya. Teknik pengaturan lanjut ini digunakan untuk meningkatkan kualitas hasil pengaturan dan untuk mengganti pemakaian sensor fisik. Sebagai contoh teknik estimasi, seperti teknik speed sensorless control digunakan untuk menghilangkan sensor kecepatan dan voltage estimation untuk menghindari pengukuran tegangan terminal. Pemakaian teknik estimasi ini diharapkan dapat meningkatkan keandalan dari drive karena berkurangnya peralatan atau komponen yang digunakan.

Bidang pengaturan pengemudian motor listrik dengan peralatan digital disebut digital motion control (DMC). Dengan DMC maka hampir semua jenis motor listrik dapat digunakan untuk membangun drive yang berunjuk kerja tinggi, handal dan ekonomis. Sebelum DMC berkembang, high performance drive hanya bisa diimplementasikan dengan motor dc karena karakteristik pengaturannya yang sangat baik sehingga tidak memerlukan peralatan pengatur yang canggih. Sekarang ini motor listrik yang bisa digunakan antara lain motor dc (Brushed DC, BDC), motor dc tanpa sikat (BrushLess DC, BLDC), motor induksi, motor stepper, motor sinkron, motor sinkron magnet permanen (Permanent Magnet Synchronous Machine, PMSM) dan motor reluktansi (Switched Reluctance, SR).

3. SISTEM DIGITAL MOTION CONTROL

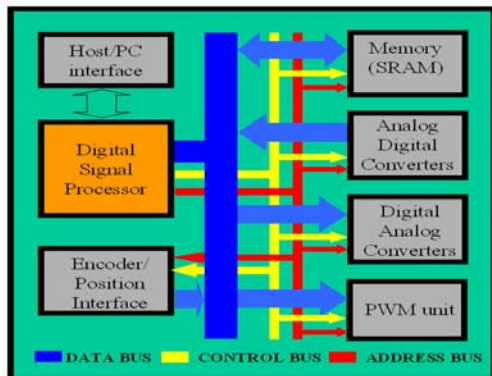
Digital motion control adalah suatu sistem pengaturan motor listrik dengan menggunakan perangkat komputasi digital. DMC digunakan dalam aplikasi electric drive yang menuntut pengaturan kecepatan dan torsi motor yang cepat dan akurat. Dalam digital motor control, sinyal analog drive seperti arus, tegangan serta kecepatan motor merupakan variabel masukan. Besaran-besaran ini perlu dikonversi menjadi besaran digital setelah melalui proses pengkondisian seperlunya. Setelah itu, besaran-besaran digital ini dimanipulasi di dalam unit pengolah sesuai dengan algoritma kontrol yang digunakan. Variabel digital hasil pemrosesan tadi kemudian dikonversi kembali menjadi besaran analog yang selanjutnya digunakan untuk mengatur konverter daya dus motor sehingga tercapai kondisi operasi yang diinginkan. Skematik suatu sistem electric drive berbasis digital motion control dapat dilihat seperti pada Gambar 1. Flowchart tipikal sebuah pengemudian motor listrik dengan digital motor control ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 1 Skematik digital motion control

Komponen utama dari suatu perangkat digital motion control antara lain digital motion control board itu sendiri, rangkaian gate drive signal termasuk pengisolasian (electrical isolation) antara sistem pengendali dengan rangkaian daya, rangkaian elektronika daya (power electronics), antar muka osiloskop untuk memonitor besaran yang diminati serta antar muka monitoring berbasis personal komputer.

Subsistem digital motion control board ini adalah perangkat keras yang terdiri dari unit pengolah, unit pulse width modulation (PWM), unit penyimpanan dan I/O ppheriperal. Gambar 2 menunjukkan arsitektur subsistem ini secara detail.



Gambar 2 Arsitektur digital motion control

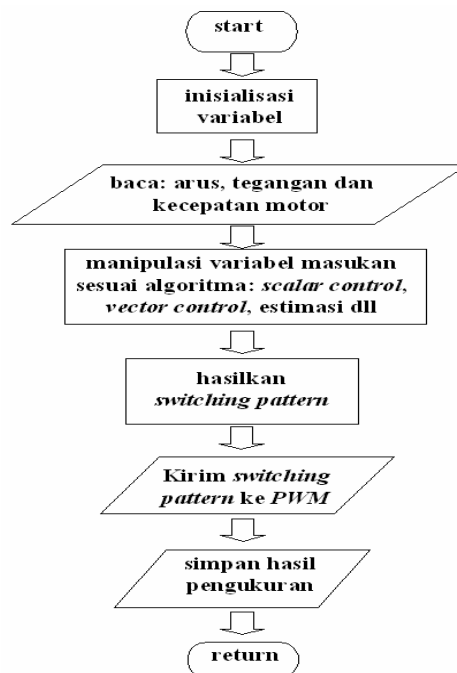
Signal processor merupakan pusat yang mengatur keseluruhan operasi drive. Operasi tipikal dalam pengaturan motor listrik antara lain membaca titik operasi, mengakusisi sinyal arus, tegangan dan kecepatan motor, memanipulasi sinyal masukan sesuai dengan algoritma kontrol, menghasilkan pola switching untuk konverter daya, mengirimkan pola switching kepada gate drive circuit dan terakhir melakukan penyimpanan data. Data yang disimpan antara lain arus, tegangan dan kecepatan motor serta besaran lain yang diminati. Keseluruhan langkah-langkah ini dimasukkan ke dalam suatu interrupt

service routines (ISR) yang dieksekusi secara periodik sesuai dengan switching frequency yang dipilih. Frekwensi yang digunakan biasanya di atas 10kHz untuk mengurangi audible noise.

Memori biasanya dibangun dengan SRAM yang berfungsi sebagai media penyimpanan data dan program. Makin besar memori yang tersedia dalam uC atau dsp makin besar/kompleks algoritma yang bisa di implementasikan.

Encoder interface berfungsi untuk menterjemahkan sinyal yang dikeluarkan oleh encoder/speed transducer menjadi informasi kecepatan. Antarmuka ini biasanya diimplementasikan dengan rangkaian counter. Encoder adalah suatu peralatan kecil yang biasanya dipasang di poros motor untuk mengukur kecepatan putar rotor. Output encoder ini dihubungkan dengan sistem pengatur melalui kabel.

Analog digital converter digunakan untuk mengkonversi arus dan tegangan motor menjadi besaran digital. Unit pulse width modulation (PWM) berfungsi untuk menghasilkan pola switching rangkaian elektronika daya. Digital analog converter berfungsi sebagai antarmuka monitoring. Output dac ini bisa dihubungkan dengan osiloskop atau alat display lain untuk memantau parameter drive yang diminati serta titik operasi drive secara real time.



Gambar 3 Tipikal flow chart ISR

PWM adalah unit yang berfungsi untuk menghasilkan pola switching untuk konverter daya.

Pola switching adalah kombinasi on-off dari switch. Unit ini dibuat sebagai unit terpisah dari uC/dsp untuk mengurangi beban komputasi prosesor sehingga waktu yang tersedia bisa didedikasikan untuk mengeksekusi algoritma kontrol.

Host atau antar muka pc merupakan fasilitas untuk mengatur dan memonitor digital motion control board dengan komputer. Disamping itu, juga berfungsi sebagai fasilitas untuk mentransfer hasil pengukuran real time data yang sudah tersimpan di memori. Data pengukuran ini diperlukan sebagai bahan analisa serta pembuatan laporan kerja. Komunikasi dengan pc ini biasanya diimplementasikan dengan komunikasi data serial RS232.

Secara umum, berdasarkan tingkat kemampuannya, prosesor sinyal yang digunakan dalam digital motion control bisa dibagi menjadi dua kelompok, yaitu sistem perangkat keras berbasis mikrokontroler dan sistem yang digerakkan oleh dsp. Dalam bagian berikut akan diuraikan kedua sistem tersebut secara singkat beserta chip yang tersedia di pasaran.

4. SISTEM BERBASIS MIKROKONTROLER

Mikrokontroler (uC atau mC) adalah suatu perangkat komputasi yang memiliki kemampuan dan fasilitas cukup lengkap untuk digunakan dalam aplikasi pengaturan. Komponen utamanya antara lain CPU sebagai pengolah sentral, memori sebagai penyimpan data dan program, unit PWM dan fasilitas I/O yang semuanya dibangun dalam satu chip. Hal ini sangat menghemat ruang, waktu desain dan timing peripheral serta mengurangi masalah yang berkaitan dengan kompatibilitas elektromagnetik (EMC). Tetapi karena ukurannya yang relatif kompak maka ini juga yang menjadi pembatas kemampuannya, seperti maksimum memori yang tersedia serta fasilitas dan kemampuan I/O. Dengan kemajuan teknologi mikroelektronika, sekarang ini tersedia mikrokontroler dengan lebar data 8, 16 hingga 32-bit dimana sebelumnya hanya dsp yang menggunakan lebar data 32-bit. Bagian selanjutnya akan menjelaskan secara singkat produk mikrokontroler dan dsp yang tersedia di pasaran yang secara khusus didesain untuk pengaturan motor.

Analog Device memproduksi mikrokontroler ADUC7128 dan ADU7129 untuk pengaturan motor. Mikrokontroler ini digerakkan oleh mikrokontroller ARM7TMDI prosesor sinyal 16/32-bits dengan arsitektur RISC. Mikrokontroler ini memiliki spesifikasi yang cukup tinggi antara lain 12-bit ADCs, 10-bit DACs, 6-channel PWM, 128kB Flash dan 8 kB SRAM hingga quadrature encoder. Chip ini akan sangat mencukupi untuk digunakan dalam pengaturan motor dengan teknik skalar sedangkan

untuk pengaturan dengan teknik kontrol lanjut mungkin akan dibatasi oleh jumlah memori yang tersedia. Tetapi ini tergantung sekali lagi dari algoritma kontrol yang digunakan serta data yang akan disimpan.

Atmel mengeluarkan beberapa seri mikrokontroler untuk pengaturan motor listrik. Produk uC ini memiliki spesifikasi/kemampuan/fasilitas yang berbeda-beda tetapi semuanya bisa digunakan dalam aplikasi pengaturan motor. Pemilihan uC didasarkan atas kompleksitas dari drive baik dilihat dari sisi algoritma pengaturan dan perangkat tambahan lain yang digunakan. Produk uC Atmel antara lain seri ATtiny13, ATtiny25, ATtiny45 dan ATtiny85. Seri ini sesuai dengan namanya, tiny, secara fisik berukuran sangat kecil sehingga cocok digunakan untuk aplikasi daya kecil dan kompak seperti kipas pendingin produk elektronik. Mikrokontroler seri ATtiny261 dan (/461 dan /861) sudah bisa digunakan untuk pengaturan motor berdaya lebih besar karena sudah dilengkapi dengan timer yang bisa digunakan untuk menghasilkan sinyal PWM untuk mengatur inverter tiga-fasa. Keluarga ATtiny261 ini hampir sama dengan keluarga ATmega48 dan seri (/88 dan /168). Perbedaannya terletak pada pengaturan dead time inverter. Pada seri tiny, dead time diimplementasikan dengan hardware sedangkan dalam mega dilakukan dengan software. Seri mikrokontroler Atmel dengan spesifikasi tinggi adalah seri AT90PWM2, AT90PWM3 serta AT90CAN128 (/64 dan /32) yang dilengkapi dengan antarmuka CAN.

Microchip mengeluarkan mikrokontroler yang disebut dengan keluarga PIC@micro. Produk uC tersebut antara lain PIC17C42, PIC16F73, PIC16F72, PIC16F684, PIC16F7X7, PIC16F877, PIC18F4431, PIC18F2539, PIC18C452, PIC16F877, PIC18F2331 beserta seri 2431/4331/4431, PIC18F2439, PIC18F4439, PIC18C452 dan PIC18F4539. Seri kelompok mikrokontroler di atas secara umum mencukupi untuk digunakan dalam pengaturan motor listrik dengan teknik pengaturan biasa. Microchip juga mengeluarkan keluarga sinyal prosesor yang disebut dengan digital signal controller (dsc). Keluarga dsc ini memiliki kemampuan serta fasilitas yang hampir mendekati spesifikasi dsp sehingga mencukupi untuk digunakan dalam pengaturan motor baik dengan teknik konvensional maupun teknik kontrol lanjut. Seri dsc ini antara lain dsPIC30F2010, dsPICF3010 dan dsPICF6010.

ST Microelectronics memproduksi mikrokontroler pengaturan motor dengan lebar data 8, 16 dan 32-bit. Mikrokontroler tersebut antara lain ST6, ST7, ST8, ST9, ST10 dan ST52. Seri ST6 cocok digunakan untuk aplikasi drive yang sensitif

terhadap biaya, misalnya aplikasi motor universal dan motor induksi satu fasa. Jika diperlukan pengaturan kecepatan maka bisa digunakan seri ST7, khususnya untuk motor brushless dc. Sedangkan seri ST9 cocok digunakan untuk pengaturan motor induksi tiga fasa dengan teknik skalar seperti variable voltage variable frequency. Untuk aplikasi yang menuntut pemakaian teknik kontrol lanjut seperti vector control dapat digunakan ST10 yang memiliki lebar data 16-bit. Sementara itu satu-satunya produk ST yang memiliki lebar data 32-bit adalah STR-750. Chip ini memiliki spesifikasi yang tinggi dengan 60-Mhz clock. Memori yang tersedia bervariasi yang berkisar antara 64KB hingga 256KB tergantung nomor serinya. Karena kemampuan komputasi dan fasilitas yang dimilikinya STR750 bisa digunakan dalam pengaturan semua jenis motor dan dengan berbagai teknik kontrol dari yang biasa hingga teknik kontrol lanjut. Chip ini dilengkapi dengan berbagai antarmuka komunikasi seperti USB dan CAN.

NEC Electronics memproduksi dua keluarga mikrokontroler untuk pengaturan motor yaitu seri 78K0 dan V850. Seri 78K0 adalah mikrokontroler 8-bit yang cocok digunakan untuk aplikasi drive dengan spesifikasi yang tidak terlalu tinggi sehingga memerlukan peralatan yang berkemampuan tinggi. Seri V850 adalah mikrokontroler 32-bit yang cocok digunakan untuk pemakaian teknik lanjut seperti vector control. Seri V850 antara lain V850ES/IK1, V850E/IA1, /IA2, /IA3, /IA4 dan /MA3. Perbedaan seri V850 ini terletak pada jumlah flash memori yang tersedia serta frekwensi clock yang digunakan. Seri /IK1 memiliki spesifikasi paling rendah dengan 128KB flash dan frekwensi 20 Mhz. Seri /IAx memiliki spesifikasi yang lebih tinggi dengan frekwensi 64-Mhz, 256KB flash memory serta CAN interface. V850E/MA3 merupakan produk uC NEC dengan spesifikasi paling tinggi dengan 80-Mhz clock, 512KB flash serta SDRAM controller.

Texas Instruments mengeluarkan produk mikrokontroler seri MSP430 yang juga bisa digunakan dalam pengaturan motor. Mikrokontroler ini menggunakan 16-bit RISC arsitektur yang memiliki 12-bit ADCs, satu/dua antarmuka komunikasi serial dan juga dilengkapi dengan driver LCD. Untuk aplikasi pengemudian motor, chip ini cocok digunakan untuk motor stepper drive atau aplikasi drive daya rendah seperti fan pendingin yang biasa digunakan dalam peralatan elektronik serta komputer pribadi.

5. SISTEM BERBASIS PROSESOR DIGITAL

Aplikasi pengaturan dengan spesifikasi tinggi biasanya melibatkan pemakaian algoritma pengaturan yang kompleks. Kompleksitas pengaturan ini disebabkan oleh algoritma kontrol itu sendiri yang memang kompleks, jumlah variabel sistem yang

dimonitor serta kemungkinan pemakaian teknik estimasi untuk menghilangkan sensor fisik. Kecenderungan untuk mengurangi peralatan sensor dan menggantikannya dengan teknik estimasi semakin berkembang luas karena teknik estimasi ini memberikan banyak keuntungan seperti keandalan sistem makin tinggi serta mengurangi waktu dan biaya pemeliharaan sistem. Namun demikian, teknik estimasi ini menuntut fasilitas komputasi berkemampuan tinggi untuk dapat melakukan semua proses pengolahan sinyal tersebut secara real time. Untuk aplikasi seperti ini digunakan digital signal processor karena kemampuannya yang lebih tinggi dari mikrokontroler. Selanjutnya dalam bagian ini akan dibahas produk dsp yang cocok digunakan dalam pengaturan motor listrik digital. Perusahaan semikonduktor yang memiliki produk digital signal processor untuk aplikasi pengaturan motor antara lain Texas Instruments (TI) dan Analog Device (AD).

Texas Instruments mempunyai beberapa seri dsp yang bisa digunakan dalam aplikasi digital motor control, antara lain, seri TMS320LF24x (F241, F242 dan F243) dan TMS320F28x (F2810, F2811 dan F2812) serta TMS320C28x (C2810, C2811 dan C2812). Seri F28x dan C28x adalah dua seri prosesor yang sama kecuali pada on-board memory-nya. Devais F28x menggunakan on-chip Flash sedangkan seri C28x menggunakan on-chip ROM. Sementara itu, prosesor seri lama seperti C3x, C5x dan C24x sudah tidak didukung lagi sehingga TI merekomendasikan untuk tidak menggunakan seri-seri tersebut dalam desain baru. Seri LF24x cocok digunakan untuk aplikasi motor yang mensyaratkan ruang yang sempit serta sensitif terhadap biaya seperti peralatan konsumen (consumer appliances). Prosesor seri ini menggunakan 16-bit data dan beroperasi di sekitar 40 MHz clock sehingga tidak terlalu cepat. Sedangkan untuk aplikasi yang menuntut kemampuan yang lebih tinggi cocok menggunakan seri F28x yang merupakan prosesor 32-bit dengan frekwensi clock hingga 150 MHz. Karena kemampuan komputasinya, kedua seri prosesor ini bisa digunakan dalam pengaturan semua jenis motor listrik baik pengaturan secara skalar maupun vektor.

Analog Device memiliki beberapa produk yang didesain untuk aplikasi motor control, antara lain, AADSP-21990, AADSP-21991 dan AADSP-21992. Semua prosesor seri ini memiliki lebar data 16-bit. Namun demikian, Analog Device sepertinya secara perlahan mulai meninggalkan divisi motor control-nya. Hal ini terlihat dari sedikitnya dsp baru yang dirilis serta support yang mulai berkurang.

6. STARTER KIT DAN DEVELOPMENT BOARD

Perencanaan suatu sistem pengemudian listrik banyak dipermudah dengan tersedianya starter kit dan development board yang dikeluarkan oleh setiap produsen dsp dan mikrokontroler. Sebuah starter kit atau development board paling tidak terdiri dari tiga bagian, yaitu digital control board, module daya (power module) serta motor listrik beserta sensornya. Untuk mengoperasikan suatu development board diperlukan software dan asesori seperti kabel penghubung dengan pc. Perangkat lunak seperti source editor, compiler, linker dan debugger biasanya sudah menjadi bagian dari starter kit tersebut. Salah satu keterbatasan yang dimiliki sebuah development board terletak pada kapasitas power module. Biasanya modul yang digunakan berdaya kecil sehingga untuk aplikasi motor listrik berdaya besar diperlukan konverter daya yang besar juga. Modul daya yang sesuai bisa didesain sendiri dan kemudian dihubungkan dengan development board tadi melalui rangkaian antarmuka. Bagian ini selanjutnya akan menguraikan secara singkat starter kit dan development board yang tersedia di pasaran.

Atmel Corporation mengeluarkan starter kit motor control ATAVRMC100 dan ATAVRMC200. Kedua board ini digerakkan oleh mikrokontroler AT90PWM3. Kit C100 bisa digunakan untuk mengatur BLDC motor yang memerlukan dc bus level antara 12V-16V dengan arus maksimum 4A. Kit C200 bisa digunakan untuk pengatur motor induksi dengan tegangan 110/230 V (50/60) Hz dan daya maksimum 370W. Modul daya yang digunakan adalah intelligent power module (IPM). Intelligent power module adalah suatu konverter daya kompak yang sudah dilengkapi dengan berbagai proteksi seperti overload currents dan dc bus undervoltage serta pwm disable pin jika terjadi ketidaknormalan operasi.

Texas Instruments mengeluarkan starter kit untuk mendukung dua dsp seri TMS320LF24x dan seri TMS320F28x atau TMS320FC28x. eZdsp DSP Starter Kit mendukung kedua seri dsp tersebut dan juga dapat diintegrasikan dengan produk third party untuk pengaturan motor tertentu. Sebagai contoh, eZdsp ini bisa digandeng dengan DM1500 dan DMC550 Motor Controller yang dibuat oleh Spectrum Digital. DM1500 bisa digunakan untuk pengaturan motor dengan dc bus sampai dengan 350 VDC dan arus 5A untuk motor ACI, BLDC atau SR. Sedangkan DMC550 bisa digunakan dalam pengaturan BLDC dengan 24V dc bus. TMS320F280eZdsp yang digerakkan oleh TMS320F280 yang secara khusus didesain untuk mendemonstrasikan bahwa satu dsp bisa digunakan dalam pengaturan multi drive. Kit ini bisa digunakan untuk mengatur dua inverter yang mencatu dua PMSM.

Microchip mengeluarkan PIC18F2539-MCE, PICDEM-MCLV dan dsPICDEM-MC1 sebagai platform untuk melakukan tes dan percobaan awal digital motion control. PIC18F2539 digerakkan oleh mcu? PICDEM MCLV digerakkan oleh dsPIC30F3010 atau bisa juga digunakan dsPIC30F2010 untuk aplikasi yang tidak memerlukan kemampuan komputasi terlalu tinggi. Kit dengan dsPIC30F dapat digunakan untuk mengatur hampir semua jenis motor listrik antara lain motor induksi, brushed dc (BDC) brushless dc (BLDC) dan juga PMSM. Kit dsPICDEM MC1 digerakkan oleh dsPIC30F6010A. Kit ini memadai untuk digunakan dalam pengaturan motor dengan teknik kontrol lanjut seperti speed sensorless kontrol karena menggunakan mesin dsp yang mampu melakukan operasi matematik kecepatan tinggi.

NEC Electronics mengeluarkan Low Voltage Motor Control (LVMC) kit yang mendukung pemakaian mikrokontroler seri 8-bit dan 32-bit. Kit ini bisa digerakkan oleh seri 78K0 (8-bit) atau V850ES/IK1 (32-bit). Disamping itu, kit ini juga didesain untuk bisa menggunakan mikrokontroler yang berkemampuan lebih tinggi seperti seri V850/KJ1+ dan V850E/IA4. Starter kit ini dilengkapi dengan inverter module tegangan rendah dan brushless dc motor.

ST Microelectronics mengeluarkan starter kit ST7FMC dan STR-750 MCKIT. Kit ST7FMC digerakkan oleh mikrokontroler ST7 dan dilengkapi dengan brushless DC motor. Disamping BLDC, kit ini bisa digunakan untuk mengatur brushless AC dan motor induksi tiga-fasa dan fasa-tunggal. Sementara untuk kit STR-750 MCKIT digerakkan oleh mikrokontroler 32-bit STR750. Kit ini dilengkapi dengan modul daya serta 24V permanent magnet synchronous motor. Modul daya yang tersedia juga bisa digunakan untuk mengatur motor induksi dengan dc bus level 48V.

National Instruments dikenal dengan produk LabVIEW. LabVIEW adalah suatu sistem perangkat lunak pengembangan berbasis grafik untuk mendesain, mengatur dan menguji (to design, control and test) suatu aplikasi secara cepat dan ekonomis. Dengan sistem ini, pemakai berinteraksi dengan sinyal nyata, menganalisa sinyal untuk memperoleh informasi dan menyajikan hasil analisa tadi dalam bentuk tampilan yang intuitif, laporan cetak dan webpage. Untuk aplikasi pengaturan motor, LabVIEW lebih banyak menggunakan motor stepper yang memang banyak digunakan dalam aplikasi pengaturan proses (process controls). Namun demikian terdapat banyak produk pihak ketiga (third party) yang dikenal sebagai komponen add on, baik perangkat lunak maupun keras, yang bisa diintegrasikan dengan LabVIEW. Sebagai contoh

untuk pengaturan motor dc tersedia sistem Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite (NI ELVIS /Quanser).

7. TREN MASA DEPAN

Di masa depan desain digital motion control platform akan semakin kompak. Ini memberikan banyak keuntungan karena ruang yang dibutuhkan (foot print) makin kecil, masalah yang berkaitan dengan kompatibilitas elektromagnetik (EMC) bisa dikurangi serta time signal time delay yang semakin kecil.

Desain konverter daya juga akan semakin kompak dan modular dengan densitas arus yang meningkat serta penyertaan berbagai alat pengamanan seperti over currents, under voltage dan over voltage dc bus, serta PWM disable pin untuk meningkatkan keandalan sistem tetapi tetap memperhatikan aspek ekonomi dari sistem.

Application specific integrated circuit (ASIC) dan application specific standard product (ASSP) akan berkembang semakin luas karena kemampuan mikrokontroler dan dsp yang semakin tinggi tetapi tetap ekonomis. Ke depan, akan semakin banyak rutin-rutin algoritma standar yang diimplementasikan dalam bentuk chip untuk mengurangi beban kerja prosesor. Sebagai contoh rutin algoritma field oriented control (FOC), khususnya vector rotator yang digunakan dalam aplikasi high performance drive, sudah diimplementasikan dalam bentuk chip. Hal ini mengurangi beban komputasi yang harus dikerjakan oleh prosesor sehingga kemampuannya lebih banyak bisa dimanfaatkan untuk mengeksekusi algoritma kontrol.

8. KESIMPULAN

Dalam tulisan ini telah diuraikan secara singkat bidang digital motion control, arsitektur dan fungsinya sebagai sistem pengemudian motor listrik masa depan.

Dua teknologi yang berperan dalam perkembangan electric drive sudah dijelaskan secara singkat dan diikuti dengan review digital motion control chip, starter kit dan development board yang tersedia di pasaran. Pemakaian starter kit atau development board ini merupakan cara yang efektif dan efisien untuk mempelajari kemampuan mikrokontroler dan dsp dalam aplikasi pengaturan motor.

Pemakaian mikrokontroler atau dsp dalam suatu sistem pengemudian motor listrik, tergantung dari kompleksitas algoritma yang akan digunakan. Pertimbangan yang lain adalah penggunaan komponen luar/tambahan untuk membangun

perangkat pengaturan tersebut. Sistem pengaturan yang menggunakan algoritma kontrol lanjut termasuk penggunaan teknik estimasi dan prediksi memerlukan kemampuan komputasi yang tinggi sehingga cocok diimplementasikan dengan peralatan berbasis dsp. Hal ini karena kemampuan komputasi dsp yang sangat tinggi serta kemungkinan masih tersedianya kemampuan sisa yang bisa digunakan untuk pengembangan sistem di masa depan. Sedangkan untuk aplikasi dengan spesifikasi yang tidak terlalu tinggi dapat diimplementasikan dengan mikrokontroler sehingga diperoleh sistem pengaturan yang ekonomis tetapi masih mampu untuk menghasilkan sistem pengaturan yang baik.

Review devais dan chip digital signal processor serta mikrokontroler ini diharapkan dapat memberikan informasi awal yang cukup lengkap untuk mempercepat proses pemilihan devais yang akan digunakan dalam sistem pengemudian motor listrik..

9. REFERENSI

- [1] Ogata, K., Discrete Time Control Systems, Prentice Hall, 1987, USA
- [2] D'Azzo, J.J., Feedback Control System Analysis and Synthesis, Second Edition, International Student Edition, 1966, McGraw-Hill Kogakusha Ltd
- [3] Chapman, S.J., Electric Machinery Fundamentals, Second Edition, McGraw-Hill, Singapore, 1991
- [4] Mohan, N., Undeland, T.M., Robbins, W.P., Power Electronics: Converter, Applications and Designs, John Willey & Sons Inc, 1995
- [5] Milman, J., Grabel, A., Microelectronics, McGraw-Hill International Editions, Second Edition, 1988
- [6] Dr. Fritz Martin, Power Electronics, SEMIKRON innovation + service, Germany, 1999
- [7] Microchip, Embedded Control Handbook, Volume 1, Microchip 1997
- [8] Texas Instruments, TMS320C3x User's Guide, Texas Instruments, 1997
- [9] Texas Instruments, TMS320 DSP Designer's Notebook, Texas Instruments, 1997
- [10] Gardner, N., A Beginners Guide To The Microchip PIC, Bluebird Electronics, 1995
- [11] Kumara, S., I N, Atkinson, D.J., Speed Sensorless Control of Induction Motor Drive, 1999 Annual Electrical Engineering Conference, United Kingdom, 2000
- [12] Kumara, S., I N, Atkinson, D.J., Model Reference Adaptive System for Sensorless Control, 2000 Annual Electrical Engineering Conference, United Kingdom, 2000

- [13] Kumara, S., I N., Review of Sensorless Control for Induction Motor Drive, Internal Report, Department of Electrical, Electronic and Computer Engineering, University of Newcastle upon Tyne, 1999
- [14] Kumara, S., I N, Sensorless Field Oriented Control for Induction Motor Drive, PhD Thesis, University of Newcastle upon Tyne, United Kingdom, 2006
- [15] National Instruments, The Measurement and Automation Catalog 2002, National Instruments, Texas, USA, 2002
- [16] Texas Instrument, Variable Speed Control of 3 Phase AC Induction Motor, Digital Control System (DCS) Group, Texas, 2000
- [17] Texas Instrument, Push Performance and Power Beyond Datasheet, Texas, 2007
- [18] Texas Instruments, Motor Control Overview, Next-Generation Embedded Motor Control from Texas Instruments, Texas Instruments, Texas, 2004
- [19] Amel, 8-bit AVR Microcontroller AT90PWM2 AT90PWM3, Atmel Corporation, California, USA, 2007
- [20] Atmel, 8-bit AVR Microcontroller ATtiny261 ATtiny461 ATtiny861, California, USA, 2006
- [21] Atmel, AVR Motor Control Evaluation Kit ATAVRMC100, San Jose, USA,
- [22] Atmel, ATAVRMC200 Hardware User Guide, Atmel Corporation, San Jose, USA, 2006
- [23] NEC, NEC Electronics Products and Solutions Guides, NEC Electronic, 2007
- [24] NEC, V850ES/IE2 32-bit RISC Microcontroller for High Performance Inverter Control Systems, Japan, 2006
- [25] NEC, V850E/IF3 32-bit RISC Microcontroller for High Performance Inverter Control Systems, Japan, 2007
- [26] NEC, V850E/IG3 32-bit RISC Microcontroller for High Performance Inverter Control Systems, Japan, 2007
- [27] Analog Device, Precision Analog Microcontroller ARM7TDMI MCU with 12-bit ADC and DDS DAC, Analog Device, 2007