

Kompaktní servozesilovač AX8000 s funkcí XFC

Firma Beckhoff nabízí servozesilovače řady AX8000. Ty jsou na trhu již pět let a používá je množství spokojených zákazníků. Přestože nejde o novinku, zaslouží si pozornost. Rozšiřování možností hardwaru a softwaru řadí servozesilovače AX8000 mezi nejlepší produkty na trhu ve své kategorii.

AX8000 jsou vícesosé servozesilovače kompaktního tvaru a malých rozměrů pro prostorově úspornou instalaci do rozváděčů. Umožňují velmi přesné a dynamické polohování s mimořádně krátkými cykly řízení. Dalšími výhodami jsou rychlá instalace a uvedení do provozu, jednoduché zapojení modulů jednotlivých os, zapojení jedním kabelem (OCT – *One Cable Technology*) a přímá integrace bezpečnostních funkcí a síťových filtrů. Speciální vlastností je funkce XFC (*eXtreme Fast Control*), která je v kombinaci se sběrníci EtherCAT výkonným nástrojem pro časově kritické úlohy v mnoha průmyslových odvětvích.

Modulární systém

Servozesilovače AX8000 jsou modulární, a proto dovolují řešit široké spektrum úloh. Výhodou jsou velké rozsahy výkonu, od 0,2 do 120 kW, a také krouticího momentu servomotorů, od 0,2 do 180 N·m. Základem jsou čtyři varianty napájecího modulu:

- AX8620-1000 – proud 10 A, napětí 100 až 240 V AC (jednofázové) nebo proud 20 A, napětí 200 až 230 V AC (třífázové),
- AX8640-1000 – proud 40 A, napětí 200 až 240 V AC (třífázové),
- AX8620-0000 – proud 20 A, napětí 400 až 480 V AC (třífázové),
- AX8640-0000 – proud 40 A, napětí 400 až 480 V AC (třífázové).

Součástí napájecího modulu je komunikační rozhraní EtherCAT pro připojení k průmyslovému PC, popř. k dalším modulům EtherCAT. K napájecímu modulu jsou připojeny jednokanálové nebo dvoukanálové moduly os (*obr. 1*):

- AX8108-0000 – modul pro jednu osu 1 × 8 A,
- AX8118-0x00 – modul pro jednu osu 1 × 18 A,
- AX8206-0x00 – modul pro dvě osy 2 × 6 A.

Uveden je jmenovitý proud. Špičkový proud jednoho kanálu je dvojnásobkem jmenovitého. V nabídce je také kombinace napájecího modulu a jednokanálového modulu os s nominálním výstupním proudem 25 A nebo 40 A.

Modul os obsahuje stejnosměrný meziobvod DC-Link a střídač pro napájení motoru. V závislosti na požadované počtu os jsou moduly připojené k odpovídajícímu napájecímu modulu a dohromady tvoří vícesosý servo-



Obr. 1. Vícesosý servoměnič AX8000 od firmy Beckhoff Automation s napájecím modulem AX8620 a s třemi dvouosými moduly AX8206

systém. Aby bylo možné optimalizovat návrh jednotlivých os, lze kombinovat moduly s různým nominálním proudem. Široký rozsah napájecího napětí od 100 do 480 V AC umožňuje připojit modul os k libovolnému napájecímu modulu AX86xx. Tato flexibilita zjednodušuje konfiguraci stroje pro jakýkoliv typ síťového napájení. Elektrické připojení jednotlivých modulů k sobě je možné bez použití nástrojů. Automaticky se propojí DC-Link, 24 V DC a komunikace EtherCAT mezi moduly.

Propojení stejnosměrného meziobvodu DC-Link umožňuje výměnu energie při akceleraci a brzdění. Brzdná energie je primárně uložena ve společném stejnosměrném meziobvodu. Modul kondenzátoru AX8810 rozšiřuje kapacitu ukládání energie a je vhodný zejména v kombinaci s jednofázovým napájením AX8620-1000. Energie, která se generuje při brzdění, je primárně ukládána v kondenzátoru. Tím se snižují ztráty energie, protože je méně využíván brzdný odpor, kde se energie mění na neužitečné teplo. Pomocí modulu kondenzátoru je možné zmenšit celkovou připojenou zátěž i velikost pojistky. Novinkou pro letošní rok bude rozšíření sortimentu o modul AX8820 pro rekuperaci energie.

OCT – připojení jedním kabelem

Servozesilovač AX8000 podporuje připojení servomotorů jedním kabelem (OCT – *One Cable Technology*). Pro napájení servomotoru a zpětnovazební signály je použitý pouze jeden kabel. Toto řešení umožňuje jednak snížit náklady na kabeláž a zmenšit požadavky na prostor v kabelových žlabech a řetězech, jednak eliminovat chyby při zapojení. Servomotory s OCT mají integrovaný elektronický štítek, který obsahuje parametry servomotoru, informace o zpětné vazbě a základní nastavení pro regulátory servozesilovače. Kompatibilní servomotory pro AX8000 jsou AM8000, AM8500, AM8700 a AM8800.

Integrované bezpečnostní funkce pro řízení pohybu

Všechny moduly os AX8000 jsou dostupné ve třech variantách podle EN ISO 13849-1:2008 (kategorie zapojení 3 nebo 4, PL c, d nebo e):

- bez bezpečnostních funkcí (koncové označení -0000),
- s funkcemi STO/SS1 (koncové označení -0100),
- se všemi bezpečnostními funkcemi (koncové označení -0200).

Bezpečnostní funkce jsou:

- funkce STO (bezpečné odpojení momentu), SOS (bezpečné zastavení provozu), SS1, SS2 (bezpečné zastavení po rampě),
- SLS (bezpečně omezená rychlost), SSM (bezpečnostní kontrola rychlosti), SSR (rozsah bezpečných rychlostí), SMS (bezpečná maximální rychlost),
- SLP (bezpečně omezená poloha), SCA (bezpečná vačka), SLI (bezpečně omezený krok),
- SAR (rozsah bezpečných zrychlení), SMA (bezpečně maximální zrychlení),
- SDIp, SDIn (bezpečný směr otáčení),
- SBC (bezpečnostní test brzdy),
- SLT (bezpečně omezený krouticí moment).

Funkce eXtreme Fast Control (XFC)

AX8000 s komunikací EtherCAT kombinuje výkonná hradlová pole FPGA s vícejádrovými procesory ARM. Nová multikanálová regulace proudu umožňuje dosáhnout mimořádně krátkých dob vzorkování a odezvy. Hardwarově implementovaný regulátor proudu kombinuje výhody analogového a digitálního řízení. Reakce na aktuální odchylku od žádané hodnoty proudu je do 1 μ s. Čas cyklu regulátoru rychlosti je 16 μ s při spínací frekvenci 32 kHz. Zpracování dat přenášených

sběrnici EtherCAT (skutečné a požadované hodnoty) nevyžaduje procesor a je téměř bez prodlení v hardwaru, takže minimální doba cyklu sběrnice EtherCAT je 62,5 μs.

Zpracování signálů v AX8000

Při použití sběrnice EtherCAT je možné dosáhnout doby cyklu 62,5 μs. Je ovšem obtížné zajistit, aby tak rychle reagovaly výkonové polovodičové součástky. Zpracování rámce protokolu EtherCAT se spouští signálem distribuovaných hodin (DC – Distributed Clocks).

Víceosý servosystém AX8000 směrem k průmyslovému PC komunikuje prostřednictvím rozhraní EtherCAT na napájecím modulu. Jde o standardní ethernetovou komunikaci. Interně však AX8000 používá sběrnici EtherCAT Terminal System Bus (E-bus), která zpožďuje ethernetové rámce pouze o několik nanosekund. Klíčovou součástí modulů os je výkonné FPGA, které v sobě na jednom křemíkovém čipu kombinuje hardwarově programovatelné logické funkce a dvoujádrový procesor ARM. Programovatelnou logiku používají především tři moduly VHDL IP (Intellectual Property):

- servoměnič (Drive IP), vektorové řízení motoru, naprogramované ve VHDL,
- EtherCAT (EtherCAT IP), zpracování rámců sběrnice EtherCAT metodou „on-the-fly“,
- zpětná vazba (OCT IP) pro připojení snímačů polohy s rozhraním EnDAT.

Regulátor proudu v jádru Drive IP servoměniče, který je hardwarově implementovaný do FPGA prostřednictvím jazyka VHDL (Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language; VHSIC Hardware Description Language), spojuje výhody analogové a digitální regulační techniky a umožňuje reakci na regulační odchylky během jediné mikrosekundy, a to bez rizika vypnutí systému z důvodu nadproudu.

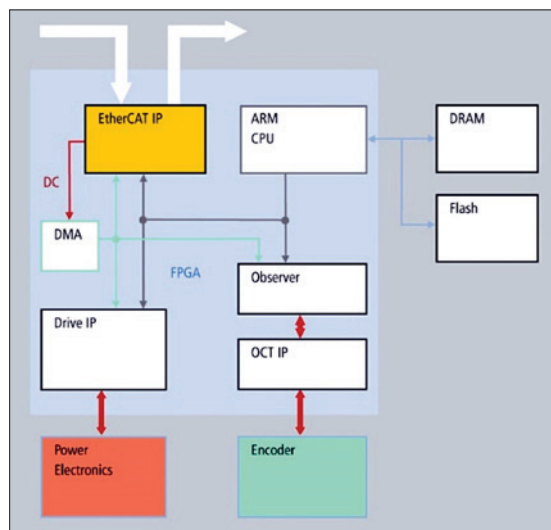
Jádro EtherCAT IP dovoluje implementovat komunikační funkci sběrnice EtherCAT v FPGA. Podle požadavků AX8000 je nakonfigurovaných několik FMMU (Fieldbus Memory Management Unit) a SYNC Manager, velikost DPRAM (Dual-Ported RAM) atd. Tyto vlastnosti jsou kompatibilní se specifikací EtherCAT a EtherCAT ASIC (ET1100, ET1200).

Všechny servomotory Beckhoff z řady AM8000 jsou standardně vybavené jednokanálovým výstupem OCT. Komunikace se snímači polohy integrovanými do motorů probíhá prostřednictvím funkce zpětné vazby implementované jako OCT IP do FPGA, kde dochází k interní synchronizaci se signálem EtherCAT DC (Distributed Clock). Volitelně

lze také použít externí snímače polohy s rozhraním EnDAT.

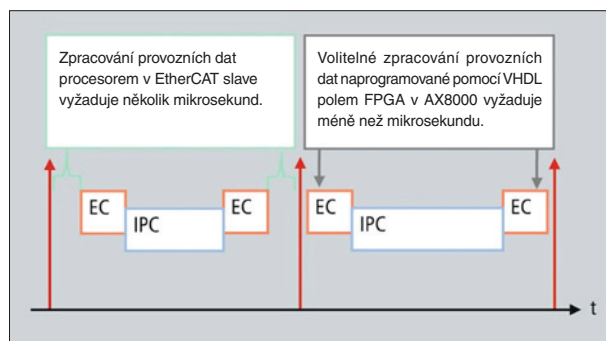
Flexibilní jednotka DMA

Namísto připojení těchto IP pomocí velkého množství signálů a multiplexorů jsou v rámci FPGA podporované dvě možnosti. Datová slova jsou buď čtená, anebo zapisovaná za pomoci procesoru, nebo jsou nezávisle na procesoru kopírovaná jednotkou DMA



Obr. 2. Zjednodušené blokové schéma funkce FPGA s DMA

(Direct Memory Access) s přesností v nanosekundách. Na obr. 2 je znázorněné zjednocené blokové schéma funkce FPGA. Tímto způsobem lze přenášet nastavené hodnoty, které se během několika nanosekund spouš-



Obr. 3. AX8000 může v jednom cyklu zpracovat dva rámce, přestože je doba cyklu 62,5 μs

tějí signálem DC, a to např. z DPRAM jádra EtherCAT IP do IP registrů pohonu. Podobně je možné kopírovat skutečnou hodnotu – rovněž s řízením distribuovanými hodinami – ze snímače polohy do DPRAM EtherCAT IP a dále ji odeslat do řídicí jednotky, přičemž v příštím cyklu dojde opět ke zpracování odpovídajícího rámce protokolu EtherCAT.

Mimořádně krátká doba latence v kombinaci s hardwarovou implementací řídicích funkcí umožňuje, aby byly rámce EtherCAT s nastavenými hodnotami z důvodu přenosu skutečných hodnot zpracované těsně před sig-

nálem DC či krátce po signálu DC. Mimořádně krátká latence poskytuje algoritmům v IPC více času. Alternativně lze zkrátit dobu cyklu (obr. 3). V praxi to znamená, že AX8000 může v jednom cyklu zpracovat dva rámce, přestože je doba cyklu pouhých 62,5 μs. Nicméně je třeba poznamenat, že tak velkého výkonu lze dosáhnout pouze u poměrně malých subsystémů s relativně krátkými ethernetovými rámci. U větších systémů je možné zkrátit doby cyklu rozdělením komunikace průmyslové sběrnice EtherCAT do několika paralelních částí.

IP řízení pohybu

V posledních několika letech se mnoho týmů zabývalo výzkumem a vývojem inovativních algoritmů pro synchronní, reluktanční a asynchronní motory a konkrétními projekty z oblasti kinematiky. Vzhledem k nedostatku otevřených, standardizovaných rozhraní a času se jednotlivé hardwarové komponenty vytvářejí v malých množstvích.

Koncepce otevřených jader IP nebyla na řízení pohonů firmy Beckhoff až dosud aplikovaná. Výrobci hardwaru totiž obvykle ani výrobcům strojů, ani koncovým zákazníkům neposkytují informace o architektuře zařízení. Je tomu tak především z důvodu malého výpočetního výkonu mikrokontrolérů nebo DSP, které se používaly v minulosti a které jsou obvykle naprogramované v assembleru anebo hardwarově orientovaném jazyce C.

Použití koncepce IP je dobrou volbou, avšak jde zde o servozesilovač v prostředí TwinCAT. Díky dostupnosti hardwaru je programování servozesilovače mnohem méně časově náročné. Počet požadovaných úloh v rámci servozesilovače je zredukovaný, a to především proto, že některé z algoritmů uvnitř FPGA jsou implementované pomocí VHDL. Složitě algoritmy lze realizovat výkonnou jednotkou CPU s matematickým koprocesorem (FPU) s procesorem ARM. Kromě toho se zásluhou využití kompilace programu výkon instalovaného procesoru využívá daleko efektivněji.

Často používaným nástrojem pro simulaci systémů s uzavřenou smyčkou je MATLAB/Simulink od firmy MathWorks. V podstatě všechna vývojová oddělení mají alespoň jednu licenci. Připojení prostředí Matlab/Simulink do TwinCAT umožňuje vytváření modulů v prostředí TwinCAT, které byly původně vytvořené jako modely v simulačním prostředí Simulink. Díky integraci s TwinCAT lze parametry a proměnné zobrazit v grafickém uživatelském rozhraní TwinCAT 3 a lze je také prohlížet a upravovat v reálném čase za běhu.

(BECKHOFF Automation s. r. o.)