

Moderní regulované pohony (1)

Jiří Javůrek

V příspěvku je formulováno několik myšlenek, týkajících se výuky výkonové elektroniky a elektrických pohonů. Jsou dokumentovány některé výsledky vývojových prací, provedených v rámci spolupráce s průmyslem. Hlavní pozornost se soustřeďuje na trakční pohony, přičemž popsané realizace tvoří představitele konkrétních kategorií pohonů.

Úvod

Hlavním úkolem technických vysokých škol by měla být výchova odborných pracovníků pro potřeby průmyslu, schopných orientovat se v rychle se zvyšující úrovni techniky, a tento rozvoj nejen sledovat, ale i ovlivňovat. Těžko se dá předpokládat, že většina absolventů bude pracovat v zahraničí, takže struktura nabízených specializací studia a jeho náplň by měly být v jistém souladu se stavem tuzemského průmyslu.

Výkonová elektronika a její hlavní aplikační oblast – elektrické pohony – jistě tvoří důležitou složku našeho průmyslu a navíc patří k odvětvím, které rychle vstřebávají všechny technické novinky, především v oblasti regulace výkonových systémů. Právě celková šířka problematiky svázané s tímto oborem určuje jeho zajímavost, ale i obtížnost. Je to ale zároveň předpoklad k tomu, že pomáhá vychovávat odborníky, kteří jsou vyhledáváni v mnoha oblastech, kde se neuplatní pracovníci s úzkým a omezeným zaměřením.

Druhá otázka souvisí s globalizací výroby elektrických pohonů. Hlavně v nižší výkonové oblasti existuje ve světě několik rozhodujících výrobců, dodávajících na trh své perfektně fungující výrobky ve značném množství, přičemž hlavním úkolem aplikátorů je tyto systémy přizpůsobit konkrétní aplikaci. Díky tomu se mění i charakter projektantské práce. Již dávno se nejedná o návrh konstrukce měničů, volbu výkonových součástek a jejich dimenzování, ale o výběr celého měniče z nabídky vyráběných řad a jeho přizpůsobení (parametrizování) konkrétní aplikaci. A dokonce i tato činnost je často díky inteligenci řídicího systému automatizovaná. Faktem je, že tuto činnost může potom provádět i méně kvalifikovaný pracovník po několikadenním, maximálně několikátýdenním zaškolení u výrobce. Otázkou je potom, jaká má být náplň výuky na vysoké škole, když navíc moderní průmyslově vyráběný systém tvoří částečně „černou skříňku“. Většina algoritmů je totiž tvořena programem mikroprocesorového regulátoru, výrobce si své duševní vlastnictví chrání a uživatele omezuje na použití faktů uvedených v manuálu. K tomu přispívá i skutečnost, že většina vysokoškolských pracovišť byla v nedávné době vybavena moderní technikou od různých výrobců často i ve formě sponzorských darů. Důležitým dopadem je dobrý reklamní tah, kdy student si v praxi vzpomene na výrobky, s kterými pracoval při studiu a jejich použití prosadí u svého zaměstnavatele. Bohužel, tuto skutečnost většina tuzemských firem nepochopila.

Jaké vědomosti má tedy škola předat studentům? V žádném případě není vhodné vyžadovat podrobné znalosti o konkrétním výrobku, týkající se jeho konstrukčního provedení a designu (předání těchto vědomostí jistě zvládne lépe výrobce pro své nové zaměstnance), podpůrných programových prostředků (do doby ukončení studia mohou doznat podstatných změn) a způsobu ovládání, obsaženém v manuálu (k tomu slouží školení výrobce pro aplikátory). Úloha nastavení pohonu pro konkrétní aplikaci je jistě vhodným námětem pro samostatnou, např. semestrální práci studenta, kdy s pomocí manuálu, vestavěných podpůrných prostředků a v ideálním případě ve spolupráci s konkrétní firmou, která aplikuje dané výrobky, provede tuto projekční práci. V rámci semináře lze potom provést výměnu názorů na výrobky různých firem.

1. Struktura výuky elektrických pohonů

Student by měl tedy každopádně získat základní informace o aplikovaných principech, vyúsťující mimo jiné i ve schopnost orientovat se v nabídkách různých výrobců, předávaných často prostřednictvím ne vždy zcela technicky fundovaných obchodních zástupců. Výsledkem by měla být schopnost vybrat ze současné široké nabídky nejkvalitnější, ale i neekonomičtější řešení. Pokud je čerstvý absolvent postaven před úkol konkrétní vývojové práce ve svém oboru, musí mít možnost opřít se o získané vědomosti o posledním stavu techniky, ale stavět i na získaných předpokladech k samostatné tvůrčí práci. Právě proto je lepší komplexně řešit v rámci studia samostatně jednodušší úlohy, než realizovat mechanicky „podle kuchařky“ složitější zadání. Zde je i nebezpečí jinak velmi vhodného řešení samostatných prací ve spolupráci s partnerskými podniky, kdy je na základě poskytnuté dokumentace práce někdy pouze opsána.

Jaké základní principy lze tedy postihnout v oblasti elektrických pohonů? Podíváme-li se na současný nejběžnější typ regulovaného pohonu všeobecného použití v kW oblasti, vidíme, že skýtá dostatek náplně pro několik semestrů výuky. Navíc jako důsledek rychlého technického rozvoje přestávají platit některá dogmata, která stále ve výuce přetrvávají a vyskytují se i v literatuře. Nazýváme proto dále popsanou strukturu „moderní pohon“, i když budou uvedeny další systémy, které si jistě na vysoké škole zaslouží pozornost. V únosné míře je potom vhodné ve výuce zohlednit i náplň regionálního výrobce, kde pravděpodobně najde zaměstnání část absolventů studia, a velmi opatrně i vlastní zaměření a zkušenosti učitelů, pokud byly získány odbornou praxí.

Ke zmíněným dalším systémům patří bezesporu oblast servopohonů, ve které měli tuzemští výrobci dobré postavení. Je zde tedy dostatek vědomostí, které lze předávat, i se zřetelem k tomu, že např. oblast servopohonů pro obráběcí stroje tvoří vlastní disciplínu s ustáleným souborem požadavků, způsobu ovládání a zkušek. Nezastupitelné místo zde mají synchronní stroje speciálního provedení, špičkové snímače a senzory, propracované vazby na vyšší úrovně řízení atd.

Další kategorií tvoří malé stroje všeobecného použití pro domácí spotřebiče, nářadí, výbavu automobilů atd. Jedná se buď o univerzální komutátorové stroje, nebo o tzv. „brushless DC“ stroje s jednoduchým systémem regulace. Vzhledem k hromadné výrobě je hlavním požadavkem vysoká ekonomičnost, dobrá účinnost a předepsaná (ne vždy nejvyšší) spolehlivost. Postupy k dosažení těchto cílů určitě nejlépe naučí své eventuelní nové zaměstnance výrobce.

V oblasti nejmenších výkonů se jedná často o jednocelové konstrukce pro potřeby automatizační techniky, výpočetní a kancelářské techniky. V této oblasti je nutno si odpovědět na otázku, kolik tuzemských výrobců této techniky existuje, a zda kdokoliv jiný mimo výrobce může proniknout do detailů této výroby a předávat je pak studentům.

Do samostatné skupiny lze zařadit speciální aplikace z oblasti kovové výroby, mechatronických systémů, pohonů mezních výkonů



atd. Patří sem výrobky pro energetiku, trakční systémy, lineární a krokové pohony, různé aktuátory atd. Zde je nutno zohlednit již zmíněné potřeby regionálního výrobce a vlastních zkušeností učitelů.

Poslední skupinu tvoří tzv. „kuriozity“, občas představované na různých výstavách a veletrzích a nezdířka popisované v odborných publikacích. Často uváděné tvrzení, že toto je právě trend, kterým se ubírá vývoj, lze jednoduše vyvrátit fakty, kolikrát se již tyto předpovědi nevyplnily. Z této skutečnosti by měl vyplývat i podíl, jaký dané problematice věnovat ve studiu.

Jak tedy vypadá systém, který byl nazván jako moderní pohon? Především se jedná o složité zařízení, pochopení jeho funkce, hlavně při zachování tradičního pohledu na elektrické stroje, může činit jisté problémy. Jako akční člen se používá asynchronní stroj. U hromadně vyráběných zařízení je předpokladem úspěchu na trhu použití běžného stroje, kusové aplikace používají i speciálně projektované stroje. Vhodnou regulací lze dosáhnout i podstatně vyšší moment, než je moment zvratu na statické momentové charakteristice. Tvrzení, že toto je maximální dosažitelný moment stroje, tedy přestává platit. Další, u zkoušek studentů velmi často vyžadovaná odpověď, že pro daný výkon pohonu má nejmenší rozměry pohon s dvoupólovým strojem, přestává platit u speciálních, např., trakčních aplikací. Systém se musí posuzovat jako celek a příkladem mohou být šestipólové trakční stroje, napájené ze střídačů kmitočtem až 200 Hz, kdy bylo toto řešení zvoleno jako optimální. Chybou je i časté zdůrazňování důležitosti levé části statické momentové charakteristiky, která je u kmitočtové regulovaných pohonů zcela nepodstatná, pokud se nepředpokládá např. v havarijním režimu práce na tvrdé síti. Důležité je, naopak, zdůraznit vliv některých parametrů stroje na funkci regulovaného pohonu a minimálně objasnit požadavky na optimální akční člen pro napěťový a proudový střídač. Faktem je i to, že nový vlastník tuzemských podniků zavedl výrobu strojů dle vlastní dokumentace a požadavky na počty výpočtářů strojů tak klesají.

Moderní regulovaný pohon je napájen z polovodičového měniče, přičemž jeho regulace je bezztrátová. Zajímavé je položení jednoduché otázky, kdy odebírá (to znamená z troleje) lokomotiva (rozumí se moderní, s polovodičovou regulací) maximální proud. Kolik procent odpovědí zní, že při rozjezdu, při záběru atd.? Je proto nutno vypěstovat odlišné představy, lišící se od doby odporové regulace stejnosměrných strojů. Zapojení výkonové části se v poslední době ustálilo na použití můstkového zapojení napěťového střídače s vypínatelnými součástkami. Potřebné znalosti by měli studenti získat v rámci výuky výkonové elektroniky. Skutečný stav dokresluje fakt, že do nedávné doby student ČVUT při dotazu na pulzní měnič začal vysvětlovat komutační obvod klasického tyristoru. Právě podíl klasické měničové techniky ve výuce oproti aplikacím s moderními vypínatelnými součástkami by měl kopírovat vývojové trendy. Použití GTO tyristorů se přesouvá do nejvyšší výkonové oblasti, zajímavé bude sledovat uplatnění součástek IGCT. Faktem je, že v současné době mají rozhodující podíl součástky IGBT, velmi často v integrovaném provedení jako bezpotenciálové inteligentní moduly. V souvislosti s funkcí střídačů je nutno vysvětlit různé modulační algoritmy, generované většinou ve spolupráci SW a HW prostředků regulátorů.

Nesporně nejzajímavější, nejnáročnější a nejrychleji se rozvíjející je oblast regulace. Zahrnuje vývoj technických prostředků, v současné době realizovaných na bázi mikroprocesorové techniky, programovatelných polí a specializovaných zákaznických obvodů. Zde je opět nutno přistupovat k výuce racionálně. Nemá smysl studenta zahltnout množstvím informací od různých výrobců, ale seznámit ho podrobněji s jedním představitelem moderního výrobku s uvedením zajímavých odlišností u konkurenčních výrobců. Získané vědomosti potom využít při samostatné realizaci jednoduchých algoritmů, ze kterých se skládá konkrétní cílová aplikace. Student by tak měl získat základní počítačovou gramotnost. Neměl

by nastat případ, že po absolvování několika semestrů výuky zaměřené na vyšší programovací jazyky a uživatelská prostředí (která se stejně do konce studia s jejich novou verzí změni) je student překvapen, že program se nemůže „zastavit“, ale musí se na základní úrovni zacyklit.

Implementace moderních regulačních algoritmů může dát elektrickým strojům nové vlastnosti. Opět lze položit jednu z otázek, jaký elektrický stroj je nejvýhodnější pro trakční použití. Při nejčastější odpovědi, že stejnosměrný sériový, je třeba již jen požadovat vysvětlení, proč žádný z důležitých výrobců tento systém pro nové aplikace nenabízí a proč se při rekonstrukcích sériové stroje přepojují jako cize buzené. Představa, že trakční charakteristiky jsou zadány projektem vozidla a nejdokonaleji se zajistí přesnou regulací, není zcela vžitá. Naopak se uvádí, že sériový stroj se sám při rozjezdu přibudí (a dělá si tedy tak trochu co chce), a tak zajistí velký záběrný moment. Lze přece definovaným způsobem přibudí i asynchronní stroj. Druhá skutečnost, že moderní vozidla mají tak velký instalovaný výkon, že hlavním problémem je jeho přenesení přes styk kolo – kolejnice bez prokluzu, což předem vylučuje snahu o maximální moment, se nezdůrazní.

S regulací souvisí i potřebný matematický aparát, u studentů ne zcela oblíbený. To, že regulace moderního elektrického pohonu s asynchronním strojem je založena na jeho matematickém modelu, t.j. na soustavě diferenciálních rovnic, není při vysvětlení této teorie vždy zdůrazněno. Naopak, uvádí se pouze jako nástroj pro činnost označenou jako „dělat teorii strojů“, doplní se přívlastky „teorie obecného stroje“ a vypěstuje se tak pocit, že je to pouze nástroj proti studentům. A právě vysvětlení praktického použití rovnic, algoritmů pro jejich numerické řešení a praktické ukázky s demonstrací složení z dílčích algoritmů, samostatně realizovaných v rámci cvičení, může být zajímavé. S tím souvisí i objasnění různých typů transformací. Této problematice lze teoreticky věnovat mnoho přednášek, je však možný i opačný postup. Po vysvětlení principu (někdy záměrně i poněkud „nevědeckém“) demonstrovat formou praktické ukázky a objasnit vlastnosti typických transformací.

Poslední otázka, spojená s aplikací mikroprocesorové techniky je oblast podpůrného programového vybavení. Cílem by mělo být opět vytvoření správných představ u studentů. Pokud se začíná pracovat s novou technikou (a to je případ většiny studentů), je na místě použití podpůrných prostředků výrobce (programové monitory, integrovaná programátorská prostředí). Při dalším soustředění na určitou aplikační oblast (výkonová polovodičová technika, měniče, pohony) je nutno mít k dispozici specializovaný vývojový nástroj. Ten většina výrobců nedává k dispozici, omezuje se pouze na vizualizaci vlastností dodávaných systémů. Zde je potom důležité vytvoření vlastních vývojových prostředků, podporujících vývojové práce na daném pracovišti. Zde se často ukazuje „akademický“ přístup k řešení problémů, který postrádá jakékoliv systémové myšlení. Studentské samostatné práce a vlastní odborná činnost probíhají bez vzájemné koordinace, často na „zelené louce“. Pokud je řešení dotaženo k realizaci (velmi často končí pouze simulací problému), postrádá potřebnou dokumentaci a jakoukoliv reprodukovatelnost. Přitom i ukázka fungujících studentských prací ve cvičeních je může učinit zajímavými, a stát se tak inspirací pro další činnost studentů.

Pokračovanie v budúcom čísle.

doc. Ing. Jiří Javůrek, CSc.

**Katedra elektrických pohonů a trakce
Elektrotechnická fakulta ČVUT**

6