

TRENDY V OBLASTI VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

Petr Chlebiš, Petr Šimoník, Lukáš Osmančík, Petr Moravčík

VŠB – TUO, Katedra elektroniky, 17. listopadu 15, 708 00 Ostrava, petr.chlebis@vsb.cz
VŠB – TUO, Katedra elektroniky, 17. listopadu 15, 708 00 Ostrava, petr.simonik@vsb.cz
VŠB – TUO, Katedra elektroniky, 17. listopadu 15, 708 00 Ostr., lukas.osmancik.fe@vsb.cz
VŠB – TUO, Katedra elektroniky, 17. listopadu 15, 708 00 Ostr., petr.moravcik.fe@vsb.cz

Abstract:

Příspěvek popisuje trendy v oblasti výkonových polovodičových spínacích prvků a jejich aplikací v moderních polovodičových měničích. Příspěvek se rovněž zabývá moderními koncepcemi polovodičových měničů. Popisy jednotlivých zařízení jsou prezentovány formou rešerše, bez uvedení detailních řešení obvodových struktur. Jednotlivé uvedené polovodičové měniče jsou buď komerčně vyráběná zařízení nebo laboratorní vzorky Katedry elektroniky z FEI, VŠB - Technické univerzity Ostrava

1. Úvod

Světový trend vývoje v oblasti výkonové elektroniky, jde kupředu mnohem zřetelnějším tempem než tomu bylo v předešlých desetiletích. Nehovoříme pouze o aplikacích moderních technologií, stále zvyšujících se mezních parametrech moderních polovodičových součástek i vývoji vysokorychlostních mikropočítačových systémů se signálovými procesory, ale také o vysoké profesionalitě a odbornosti vývojových pracovišť.

2. Historie a současnost v oblasti výkonových spínacích součástek

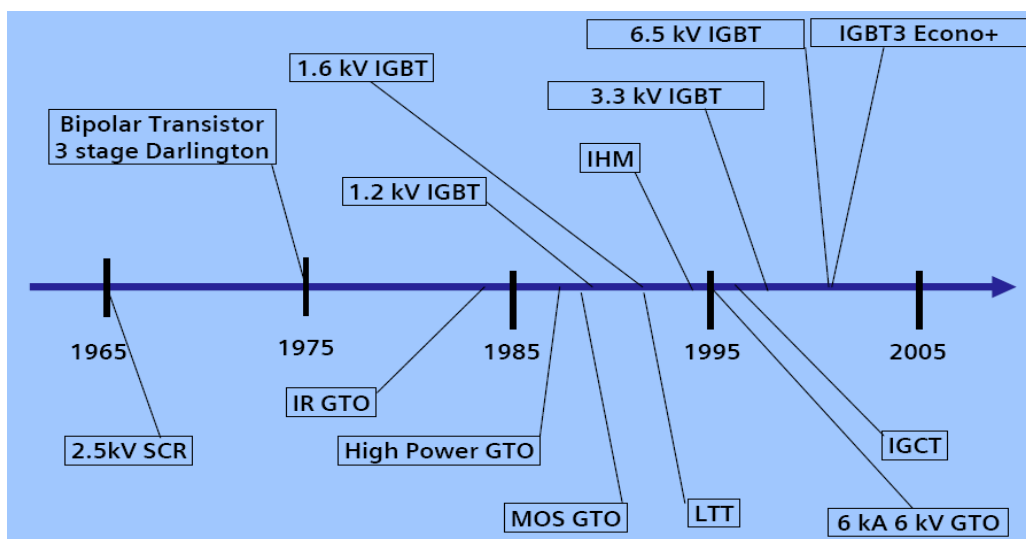
Novou éru vývoje v oblasti vývoje nových koncepčních řešení výkonových polovodičových měničů zahájil v minulosti tyristor. Výkonové tyristory se i v současnosti využívají zejména v řízených usměrňovačích a střídavých měničích napětí. Jsou k dispozici pro proudy řádově v hodnotách kiloampérů a napětí řádově v hodnotách kilovoltů.

Další široce využívanou součástkou je výkonová dioda. Byla využívána v usměrňovací technice již od 50. let dvacátého století. V dnešní době jsou k dispozici výkonové diody s napětovými a proudovými hladinami obdobnými jako u tyristorů. Nemožnost řízeného vypnutí tyristoru a možnost práce pouze při frekvencích do stovek hertzů byly důvodem, který nutil výrobce výkonových součástek k vývoji nových prvků. Zejména ve střídačích a pulsních měničích se začaly využívat výkonové bipolární tranzistory ve spínacím režimu pro proudy řádově stovek ampérů a napětí do 1 000 V. Kromě možnosti řízení vypnutí a možnosti práce při frekvencích do 20 kHz se však vyznačovaly malým proudovým zesilovacím činitelem (asi 10 až 20), což vyžadovalo složité řešení řídicích obvodů. Tato nevýhoda byla odstraněna díky vyvinutí výkonového tranzistoru řízeného polem (FET – Field Effect Transistor). Značnou nevýhodou obou uvedených prvků však byla možnost mnohem nižšího proudového a napětového namáhání oproti tyristoru. V oblasti výkonových měničů menších výkonů (cca do 1000 A a 1000 V) jsou ale v současnosti výkonové FET často využívány a jeví se pro tuto oblast jako nejperspektivnější součástka i do budoucna. Pro měniče, kde je nutné použít vypínatelné prvky s parametry srovnatelnými s klasickým tyristorem nebo jen o málo horšími, byly vyvinuty tyristory označované GTO, které lze vypnout zásahem do řídicí elektrody. Součástky GTO dovolují značně zjednodušit konstrukci střídačů a pulsních měničů a používají se i v současnosti.

V současné době je ve výkonových měničích nejpoužívanějším prvkem IGBT – bipolární tranzistor s izolovanou řídicí elektrodou. IGBT ovládl oblast střídačů pro nízké napětí, ale vlivem neustále rostoucích parametrů těchto prvků se rychle rozšiřuje pole jejich využití i v měničích pro napětí nad 1 000 V (např. běžně v trakčních pohonech tramvají, trolejbusů či pohonech drážních vozidel s napětím 3 000 V). Díky výborným frekvenčním vlastnostem IGBT a díky neustálému vývoji směřujícímu ke zvyšování proudových a napěťových hladin lze v současnosti tento prvek považovat za velmi perspektivní pro výkonovou elektroniku.

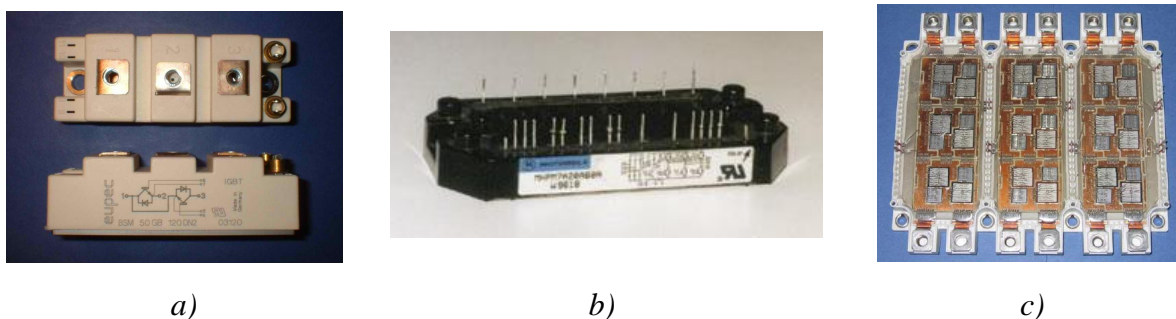
Ve snaze odstranit nevýhody GTO byl vyvinut a v poslední době se v sériově vyráběných měničích začal osazovat nový prvek IGCT – tyristor řízený integrovanou řídicí elektrodou. Jedná se v podstatě o GTO s integrovanými obvody řídicí elektrody.

V poslední době se začínají objevovat práce směřující k využití výkonových polovodičových součástek založených na materiálech SiC a GaN. Tato technologie dovoluje konstrukci součástek s podstatně redukovanými zapínacími a vypínacími časy. Součástky lze potom využívat v měničích pracujících se spínacími frekvencemi až 500 kHz. Zároveň se u těchto prvků výrazně redukuje hodnota spínacích ztrát.



Obr. 1 Sled vývoje v oblasti výkonových polovodičových spínacích komponentů

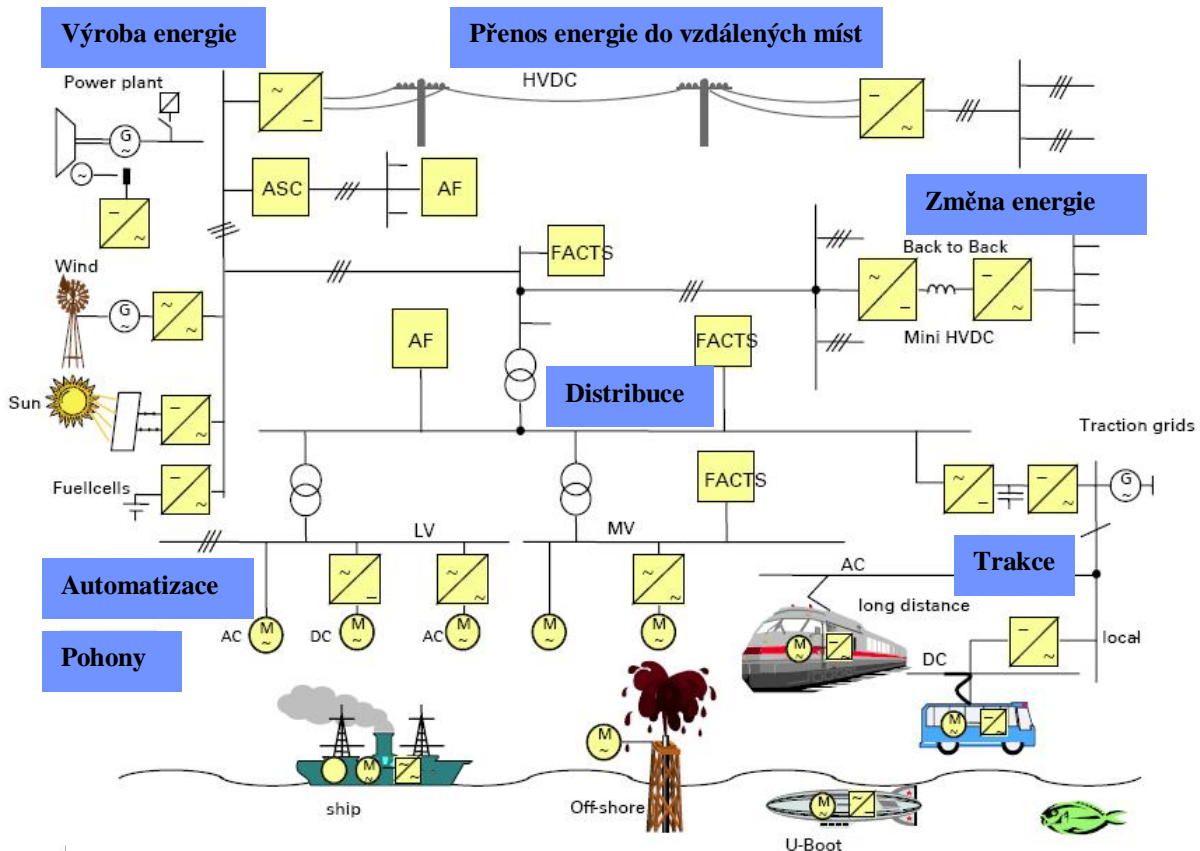
Na obr. 1 je uveden časový sled vývoje v oblasti výkonových polovodičových spínacích komponentů. Je zřejmé, že použití IGBT se v posledních letech a současné době stalo nepostradatelným.



Obr. 2 Výkonové IGBT moduly pro polovodičové měniče
 a) výkonový bezpotenciálový modul tzv. Half Brifge – dvojice IGBT, b) výkonový bezpotenciálový modul tzv. „Six Pack“ pro 3. fázové frekvenční měniče, b) vnitřní struktura bezpotenciálového modulu „Six Pack“ IGBT3 nové generace

3. Výkonové polovodičové měniče

Výkonový polovodičový měnič je obecně zařízení (ať už se jedná o klasický neřízený diodový usměrňovač, moderní měnič frekvence či inteligentní aktivní filtr) sloužící ke změně elektrické energie (DC/DC, DC/AC, AC/DC, AC/AC).



Obr. 3 Výkonová elektronika – klíčové technologie managementu elektrické energie

V současné době již vývoj nových koncepcí zařízení s výkonovými polovodičovými součástkami není omezen dostupností součástkové základny. Špičkové parametry jednotlivých výkonových komponentů, rychlé řídicí systémy se signálovými mikroprocesory a rychlé a přesné snímače napětí a proudu umožňují vývoj vysoce výkonných polovodičových měničů. Tyto skutečnosti mají také vliv na stále více se rozvíjející moderní metody řízení střídavých strojů s využitím např. Neuronových sítí nebo Fuzzy logiky.

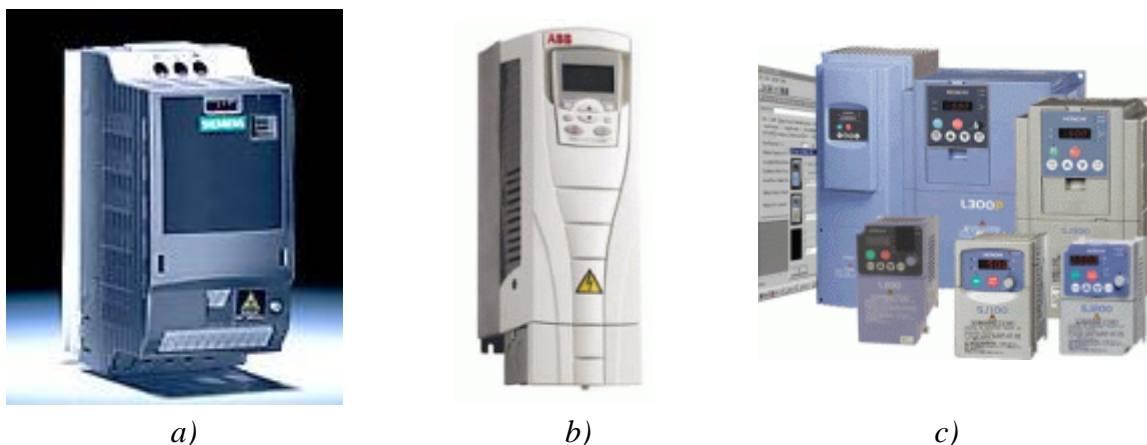
Velmi často se v současné době v oblasti výkonové elektroniky můžeme setkat s pojmem „soft switching“. Jedná se o tzv. měkké spínání, při kterém jsou výkonové spínací součástky měničů (např. IGBT u měniče frekvence či spínaného napájecího zdroje) spínány při nulovém napětí (zero voltage switching) nebo proudu (zero current switching). Tímto tedy dochází jednak k podstatnému snížení ztrát (spínací ztráty u klasických „tvrdě“ spínaných měničů jsou největší) a dále má tento režim vliv na elektromagnetickou kompatibilitu (potlačení rušení od výkonové části).

Uveďme si nyní několik praktických aplikačních příkladů z oblasti výkonové elektroniky.

Frekvenční měniče, střídače

Frekvenční měnič mění napětí obecné napájecí sítě (konstantní frekvence a amplitudy), na napětí variabilní frekvence a amplitudy.

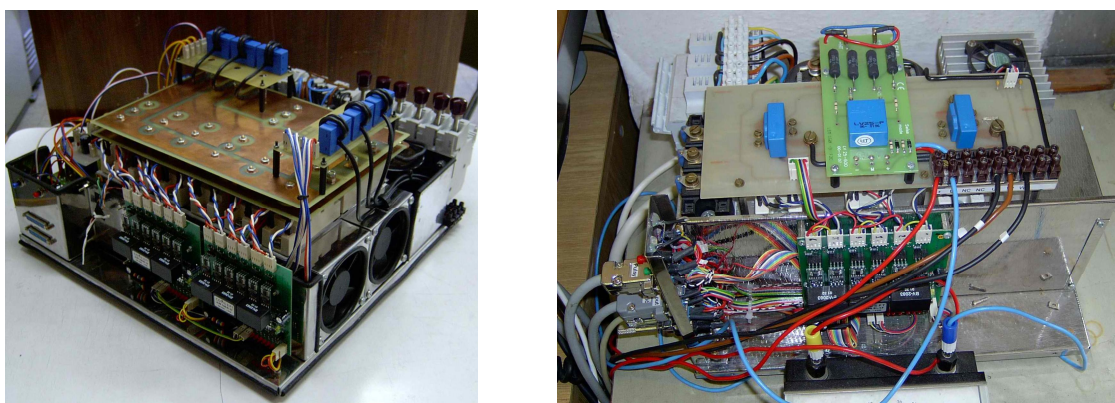
Frekvenční měniče potom umožňují plynule regulovat otáčky jednofázových a trojfázových střídavých motorů.



Obr. 4 Profesionální komerční frekvenční měniče

a) frekvenční měnič MICROMASTER 410, b) frekvenční měnič ABB ACS 50, c) frekvenční měnič HITACHI

Moderní komerční měniče kmitočtu (např. MICROMASTER 410, SIMODRIVE 611U a další) jsou v současnosti běžně instalovány k napájení třífázových asynchronních a synchronních elektromotorů, například pracujících s pulsně šířkovou modulací výstupního napětí. Měníče mají integrováno moderní komunikační rozhraní (CAN bus, PROFÍ bus komunikační rozhraní RS485 či RS232). Zařízení již obsahují takové samozřejmosti jako je volba kompaundního nebo stejnosměrného brzdění s možností nastavení doby brzdění, automatický restart po poruše a mnoho dalšího.



a)

b)

*Obr. 5 Laboratorní vzorky frekvenčních měničů Katedry elektroniky, VŠB – TUO
a) 3-úrovňový střídač – Diplomová práce, b) 3. fázový frekvenční měnič – Diplomová práce*

Aktivní výkonové filtry

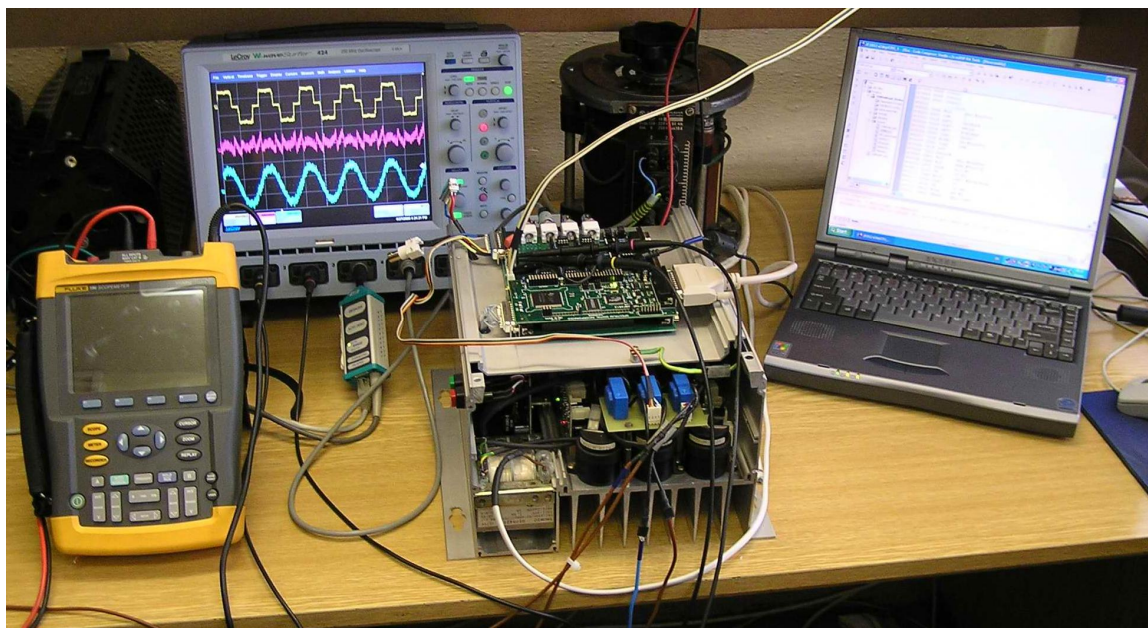
Aktivní výkonové filtry jsou obecně zařízení sloužící k eliminaci nežádoucích zkreslení napájecí sítě vlivem proudových, resp. napěťových harmonických. Zjednodušeně lze říci, že vhodným způsobem zapojení aktivního filtru do sítě lze vylepšit proud, napětí nebo obojí.

Podle těchto požadavků lze v současné době aktivní filtry rozdělit do následujících tří základních skupin:

- Paralelní (derivační) aktivní filtry
- Sériové aktivní filtry – kondicionéry
- Kombinované aktivní filtry

Paralelní (derivační) aktivní filtry upravují vlastnosti sítě směrem od zátěže ke zdroji, jinak řečeno, vyrovnávají rušivé účinky zátěže. Sériové aktivní filtry upravují síť od napájecí strany směrem k připojenému nelineárnímu spotřebiči, tzn. že dodávají zátěži kvalitnější energii a zpravidla se připojují k zátěži citlivé na kvalitu energie. Paralelní aktivní filtry nejsou v současné době tolik rozšířeny (z důvodu komplikované aplikovatelnosti) jako sériové – tzv. linkové kondicionéry sítě. V této oblasti výkonové elektroniky nastává několik posledních let velký rozvoj. Toto je především zapříčiněno přibývajícím počtem používaných nelineárních spotřebičů.

Na obr.7 je uveden funkční prototyp paralelního aktivního výkonového filtru pracujícího v režimu tzv. měkkého spínání. Jedná se o novou koncepci řešení paralelních aktivních filtrů.

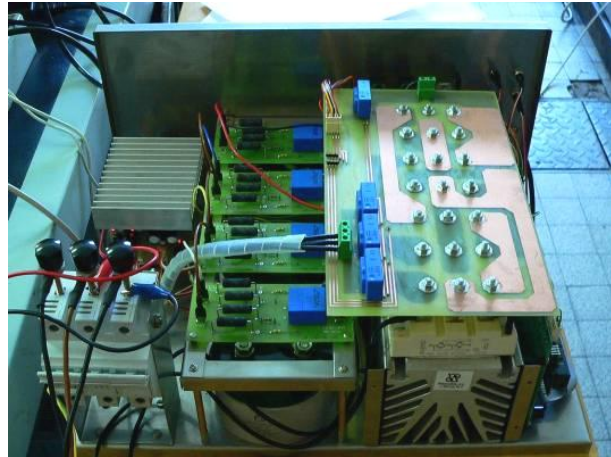
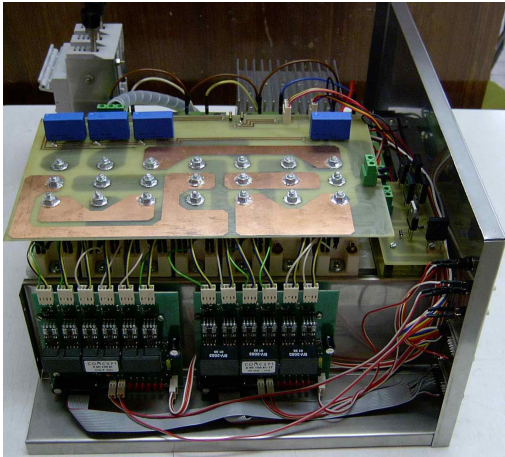


Obr. 6 Laboratorní vzorek paralelního aktivního filtru pracujícího v režimu měkkého spínání, laboratorní vzorek vznikl jako součást Disertační práce na Katedře elektroniky, VŠB – TUO

Pulsní usměrňovače

Pulsní usměrňovač je v podstatě napět'ový střídač, který je svou střídavou stranou „přifázovaný“ k síti a připojený stejnosměrnou stranou k filtračnímu kondenzátoru a zátěži. Pulsní usměrňovač je z principu energeticky dvojsměrný a usměrňovač pracuje se stejným výkonem i jako střídač (odtud plyne jeho nejrozšířenější použití → střídač pro frekvenční řízení střídavých motorů). Při střídačovém režimu pulsního usměrňovače z principu neexistuje negativní jev známý ve střídačovém provozu tyristorových usměrňovačů se sít'ovou komutací – tzv. prohoření investoru (zničení výkonových spínacích tranzistorů). Tuto přednost dokážou náležitě ocenit projektanti a provozovatelé klasických regulovaných stejnosměrných pohonů.

Pulsní usměrňovače jsou v současné době velmi dynamickým směrem výkonové elektroniky a v našich podmínkách umožňují projektantům navrhnout zajímavá technická, ale i cenově velmi příznivá řešení ve spojení s rekonstrukcí stávajících regulovaných stejnosměrných pohonů s tyristory a s fázovým řízením. Např. společnost SIEMENS uvedla z této oblasti na trh svoji „AFE“ jednotku.



Obr. 7 Laboratorní vzorek paralelního pulsního usměrňovače, prototyp vznikl jako součást Diplomové práce na Katedře elektroniky, VŠB – TUO

4. Závěr

Je zřejmé, že intenzita aplikací moderních výkonových polovodičových komponentů různých typů není dána pouze technickou stránkou věci. Velmi podstatný je zájem výrobců výkonových měničů, popř. i koncových zákazníků, a obchodní politika výrobců výkonových součástek.

V posledních letech vévodí u moderních polovodičových měničů použití MOSFET, IGBT a IGCT spínacích prvků (modulů). Nejenom z tohoto důvodu bude i další vývoj směřovat ke zvyšování parametrů komponentů právě těchto typů. Markantní důraz bude zřejmě kladen na IGBT. Vzhledem ke zvyšující se tendenci integrovat stále více prvků na platformu bezpotenciálového modulu, je možné v budoucnu navíc očekávat umístění spínacích prvků a inteligentních integrovaných budičů do společného modulu.

Výkonové polovodičové měniče jsou v současnosti řízeny velmi rychlými řídicími systémy na bázi digitálních signálových procesorů s využitím rychlých A/D, resp. D/A převodníků a moderních snímačů napětí a proudu. Využívají se ale také např. moderní číslicové systémy s programovatelnými hradlovými poli (programování v jazyce VHDL). Právě v oblasti řídicích obvodů je kladen důraz na vývoj „mixed-signal“ (analogové obvody + digitální obvody) modulárních obvodových řešení (např. vývoj nových čipů pro využití ve výkonové elektronice).

Literatura

- [1] Šimoník, P.: *Nové přístupy k řešení aktivních výkonových filtrů*. Doktorská disertační práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava, Duben 2006.
- [2] Dudrík, J.: *High-Frequency Soft-Switching DC-DC Power Converters*. Proc. of the II. Internal Scientific Conference of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics, pp.45-46, Košice, Slovenska, 2001