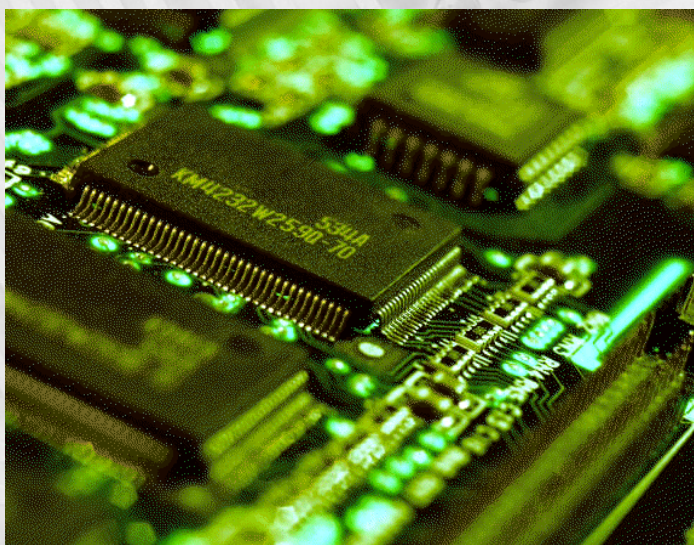




Perspektivy elektroniky 2007

5. celostátní seminář učitelů středních škol ČR

29. březen 2007



SBORNÍK PŘEDNÁŠEK

Rožnov pod Radhoštěm

ISBN 978-80-239-9006-5

Motto:

„Vše, co si myslím, vše co si představuji, zůstane vždy pod pravdou, protože přijde čas, kdy díla vědy překonají všechny představy“.

Jules Verne

Perspektivy elektroniky 2007

5. celostátní seminář učitelů středních škol ČR

**Střední škola informatiky, elektrotechniky a řemesel
Rožnov pod Radhoštěm**

29. březen 2007

Redakční rada PEL 2007:

Mgr. M.Trefil
Ing. F. Kandrnl
Ing. B. Kuřík
Ing. Z.Biolek, Ph.D.
Ing. J.Král
Ing. J.Kubeša
Ing. B.Federmann
Mgr. P.Fuchs

Grafický návrh obálky:

Mgr. P.Fuchs

Sazba a tisk:

SŠIEŘ Rožnov pod Radhoštěm, Školní 1610,
Mgr. Petr Fuchs
© 2007

Obsah:

Využití obnovitelných zdrojů energie v podmínkách ČR	9
Tomáš Kukuczka, Petr Klimek, Tomáš Nenička	
Návrh energetických opatření a uplatnění OZE při rekonstrukci objektu Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze	17
Jiří Sedlák, Radim Bařinka, Petr Klimek	
Aplikace měničů frekvence u malých větrných elektráren	23
Václav Sládeček	
Součástky na bázi karbidu křemíku	31
Tomáš Křeček	
Současné možnosti akumulace elektrické energie ve fotovoltaických aplikacích	39
Petr Křivák, Petr Bača	
Mobilní robotika	45
Karel Košnar	
MATLAB jako všestranný nástroj vizualizace signálů	51
Bohuslav Doňar	
Aplikace signálových procesorů v řízení pohonné jednotky elektromobilu Tatra Beta	57
Petr Palacký, Ivo Neborák	
Nízkoteplotní palivové články H₂-O₂	65
Peter Barath, Jiří Kliment, Marie Sedlaříková, Jiří Vondrák	
Moderní trendy v programovatelné logice, aplikace v automatizační a měřicí technice	73
Soběslav Valach	
Trendy v oblasti výkonové elektroniky	81
Petr Chlebiš, Petr Šimoník, Lukáš Osmančík, Petr Moravčík	
Nové pohledy na aprotické polymerní elektrolyty	87
J. Vondrák, M. Sedlaříková, O. Krejza, P. Barath, J. Kliment,	
Virtualizace	93
Vladimír Holub	
Počítačové simulace v elektrotechnice: ORCAD-PSpICE versus programy typu „SPICE-LIKE“ a „SPICE-COMPATIBLE“	99
Dalibor Biolk	
Trendy v elektronických součástkách – další zmenšování rozměrů unipolárních tranzistorů	109
Vladislav Musil	
Perspektivy elektroniky v prostředí střední školy	119
Jiří Král	
E-learningový kurz v MOODLE realizovaný na SŠIEŘ Rožnov p/R.	123
Petr Fuchs	
Energeticky optimální nabíjení kapacitoru	129
Zdeněk Biolk	

Program semináře Perspektivy elektroniky - PEL07

- 8.00 - 9.15 **Prezentace účastníků v kinosále školy**
- 9.15 - 9.25 **Uvítání hostů - zahájení**
Ing. Bohuslav Kuřík, statutární zástupce ředitele SŠIEŘ Rožnov p.R.
Zástupce města Rožnov p.R.
- 9.25 - 9.30 **Organizační servis**
Ing. Bohuslav Kuřík, statutární zástupce ředitele SŠIEŘ Rožnov p.R.
- 9.30 - 9.45 Vystoupení zástupce technického nakladatelství BEN.
Vystoupení zástupců firem dovážejících a vyrábějících elektroniku.
- Vystoupení přednášejících - dopolední blok**
- 9.45 - 10.15 Aplikace signálových procesorů v řízení pohonných jednotek elektromobilů.
Doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D., VŠB-TU Ostrava.
- 10.15 - 10.45 OrCADPSpice versus programy typu "SPICE-compatible".
Prof. Ing. Dalibor Biolek, CSc., UO Brno.
- 10.45 - 11.15 Součástky na bázi karbidu křemíku. Trendy ve světě polovodičových technologií.
Ing. Tomáš Křeček, VŠB-TU Ostrava.
- 11.15 - 11.45 Gelové elektrolyty a jejich využití v superkondenzátorech a elektrochrom. prvcích.
Doc. Ing. Marie Sedlaříková, CSc., VUT Brno.
- 11.45 - 12.15 LonWorks, technológia nielen pre priemyselnú automatizáciu.
Juraj Tomlain, T-industry Myjava, Slovenská republika.
- 12.15 - 12.45 Mobilní robotika.
Ing. Karel Košnar, ČVUT Praha.
- 12.45 - 13.15 Trendy v oblasti výkonové elektroniky.
Ing. Petr Šimoník, Ph.D., VŠB-TU Ostrava.
- 13.15 - 13.35 **Přestávka na oběd**
- 13.35 - 14.00 Prohlídka expozice firem, nákup knih, konzultace s lektory, pedagogická anketa.
- Vystoupení přednášejících - odpolední blok**
- 14.00 - 14.30 Trendy ve vývoji elektronických součástek, další zmenšování unipolárních tranzistorů.
Prof. Ing. Vladislav Musil, CSc., VUT BRNO.
- 14.30 - 15.00 Virtualizace.
Ing. Vladimír Holub, DATA-INTER, Opava.
- 15.00 - 15.30 Moderní trendy v programovatelné logice, aplikace v automatizační a měřicí technice.
Ing. Soběslav Valach, VUT Brno.
- 15.30 - 16.00 Vývojové trendy ve fotovoltaických systémech.
Ing. Martin Chudoba, Solartec, Rožnov p.R.
- 16.00 - 16.10 **Zakončení semináře**
Ing. Bohuslav Kuřík

Slovo úvodem ...

František Kandrnal

SŠIEŘ Rožnov pod Radhoštěm, Školní 1610, 756 61 Rožnov pod Radhoštěm

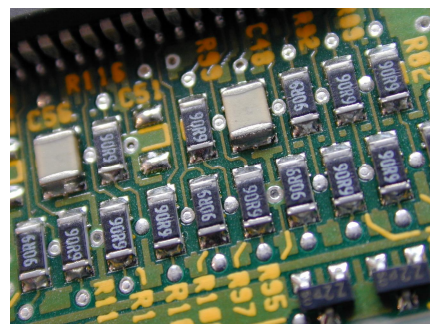
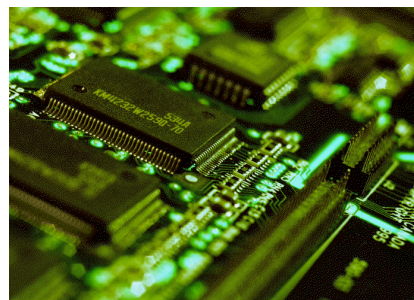
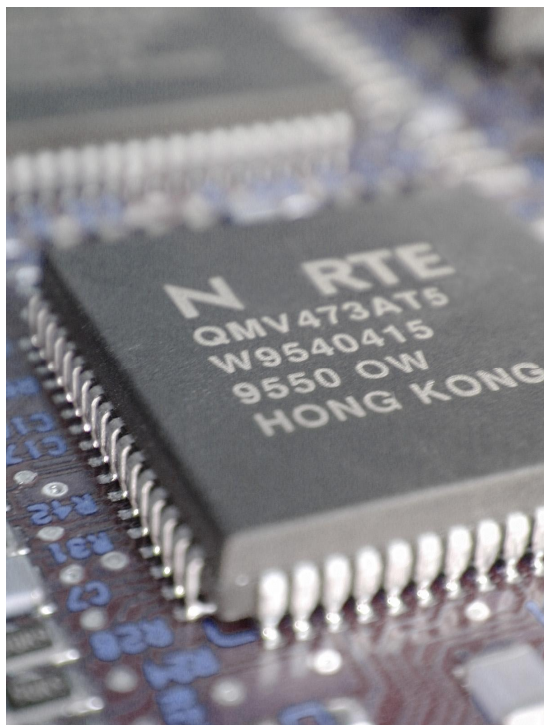
frantisek.kandrnal@roznovskastredni.cz

Když jsme zahajovali práce na organizaci 5. ročníku semináře PERSPEKTIVY ELEKTRONIKY, zvažovali jsme, jaká témata by zde měla zaznít, co středoškolské učitelé vnímají jako aktuální. Každý asi něco jiného, podle své aktuální specializace.

Již v dřívějších ročnících jsme s účastníky diskutovali, zda seminář zaměřit monotématicky, nebo zda se dotknout více problémů. Vašimi doporučeními jsme byli přivedeni k myšlence širšího záběru. Proto jsme do programu zařadili aktuální témata mikroelektroniky, nových zdrojů energií a jejího uchovávání. Neopomněli jsme trendy rozvoje mikrokontrolerů, automatizační techniky, informatiky a robotiky.

Sám jsem učil dlouhou dobu elektroniku, informatiku, automatizační techniku, a když s časovým odstupem zpětně pročítám své přípravy, tak si říkám, že jsme mnohdy sledovali slepé větve vývoje. Žáci dostávali pětky za neznalosti poznatků, které se ukázaly jako nepotřebné a byly praxi zapomenuty. Je těžké rozhodnout, které vědomosti budou aktuální v době, kdy současní žáci budou vstupovat do praxe. Proto bych rád poděkoval VŠ pedagogům a specialistům z praxe, kteří se s námi dělí o své vize rozvoje oborů, které jsou předmětem jejich výzkumné činnosti. Oni dohlédnou dále než my. Již samotné setkání tak širokého spektra středoškolských a VŠ pedagogů z různých míst naší republiky i ze Slovenska je přínosné.

Na každé škole dělají něco, co může být inspirací pro ostatní a co pomůže posunout kupředu naše školství. Na seminář přijíždějí ti aktivnější a kreativnější z pedagogů, se zájmem o odbornou komunikaci a výměnu informací. *Snad se nám podaří naplnit jejich očekávání.*



Využití obnovitelných zdrojů energie v podmínkách ČR

Tomáš Kukuczka, Petr Klimek, Tomáš Nenička
Czech RE Agency, o.p.s.,
Televizní 2618, 756 61 Rožnov pod Radhoštěm
tomas@czrea.org, tomas.nenicka@czrea.org, petr@czrea.org

Abstrakt:

Tento příspěvek byl zpracován v rámci výzkumného projektu Ministerstva životního prostředí VaV/SN/3/174/05 „Výzkum synergických vazeb v aplikacích s obnovitelnými zdroji energie“. Obnovitelné zdroje energie se v současné době v souvislosti se zákonem č. 180/2005 Sb. na podporu výroby elektřiny z OZE dostávají do popředí zájmu vlád, investorů, průmyslu i široké veřejnosti. Tento zájem následně vyúsťuje v podobě řady programových dokumentů a dotačních programů, zvyšování výrobních kapacit firem zabývajících se OZE, zájmu bank v nabízených úvěrových produktech pro OZE, technologického rozvoje a zaměření se na výzkum a vývoj v této perspektivní oblasti. Využití synergických vazeb mezi jednotlivými OZE a jejich vzájemné kombinace mohou významně přispět k jejich širší aplikaci v klimatických podmínkách ČR.

1. Stav OZE v ČR

Energetické potřeby lidstva se zvyšují neudržitelným tempem a podle mnoha odborníků nám v blízké budoucnosti hrozí energetická krize. Jedním z ekonomicky a sociálně přijatelných řešení, které vyspělé ekonomiky světa začínají akceptovat, jsou i obnovitelné zdroje energie (OZE), což jsou technologie produkující teplo a elektřinu za využití energie slunce, vody, větru, biomasy a bioplynu, geotermální energie, okolního prostředí a kapalných biopaliv.



Obr. 1 Semitrparentní FV panel

Evropská unie deklarovala svou vůli podporovat OZE několika normami, mezi které patří zejména Bílá kniha o obnovitelných energetických zdrojích a Směrnice 2001/77/EC Evropského parlamentu a Rady EU ze dne 27. září 2001 „O podpoře výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie na vnitřním trhu s elektrickou energií“. Evropská unie si také stanovila za cíl v roce 2010 vyrábět až 12 % veškeré energie z OZE, přitom elektřinu by měly OZE pokrývat z 21 %. Česká republika směrnicí implementovala prostřednictvím zákona č.180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie.

Při podpisu Smlouvy o přistoupení k Evropské unii se Česká republika zavázala přijmout opatření k dosažení cílového podílu domácí výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů na hrubé národní spotřebě v roce 2010 ve výši 8 %. Dosavadní hrubá výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů v ČR je 3,1 TWh (údaje z r. 2005, zdroj MPO), což odpovídá 4,5 % hrubé národní spotřeby energie a na celkové tuzemské hrubé výrobě elektřiny se podílela 3,8 %. Výroba elektřiny z nově instalovaných obnovitelných zdrojů do r. 2010 potřebná ke splnění převzatého závazku je zhruba 3,7 TWh/rok, což je vzhledem k meziročnímu růstu 0,39 TWh (2004-2005) bez masivní podpory OZE **cíl nereálný a nesplnitelný**.

2. Fotovoltaika - perspektivní zdroj budoucnosti

V souvislosti se zákonem č. 180/2005 Sb. na podporu výroby elektřiny z OZE se otvírá prostor pro rozvoj těchto technologií i u nás. Nicméně o dlouhodobě nejperspektivnější a z hlediska životního prostředí nejšetrnější technologii – fotovoltaice - se toho příliš neví.

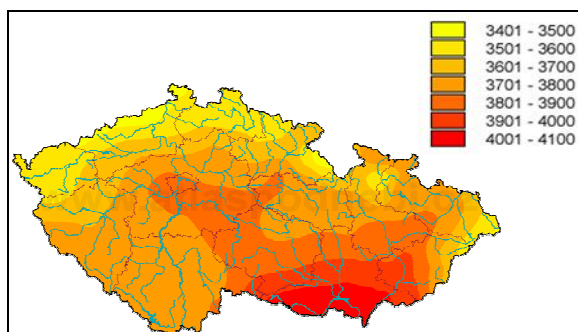
Fotovoltaika je obor, který získává elektrickou energii přímo ze slunečního záření a je z hlediska životního prostředí nejčistší a nejšetrnější způsob elektrické výroby. Technická řešení pro využití sluneční energie k výrobě elektrické energie jsou již v uspokojivé podobě k dispozici. Účinnost přeměny slunečního záření na elektřinu se v současnosti pohybuje v rozmezí 10 – 15 %, tzn., že umožňuje získat se současnými solárními systémy z jednoho metru aktivní plochy až 110 kWh elektrické energie za rok. Zatímco v mnoha aplikacích na odlehlých místech bez připojení k elektrorozvodné síti je fotovoltaika technicky i ekonomicky výhodnější řešení, ve srovnání se stávajícími klasickými zdroji při dodávce do sítě je elektrická energie z fotovoltaických systémů stále ještě dražší.

Existuje však dostatek důvodů, proč vyvíjet úsilí na další rozvoj fotovoltaiky. Nejenom vyspělé země světa více či méně intenzivně podporují nejen rozvoj fotovoltaiky, ale i ostatních obnovitelných zdrojů energie jako strategického prostředku pro zajištění kontinuity energetických zdrojů v časovém horizontu do roku 2050. Fotovoltaika nabízí časově neomezenou možnost výroby elektrické energie. Technologie využívající sluneční záření má teoreticky neomezený růstový potenciál. Fotovoltaika by se měla stát významným prvkem trvale udržitelného energetického systému s minimálním dopadem na životní prostředí.

Fotovoltaika patří k nejperspektivnějším obnovitelným zdrojům energie. Potenciál rozšíření je ze všech OZE největší (5 300 MW). Ke svému provozu nepotřebují palivo ani nemají žádné specifické požadavky na lokalitu. Fotovoltaické zdroje v rozvinutých a rozvojových státech mohou zvýšit zaměstnanost, upevnit ekonomickou situaci, zlepšit stav životního prostředí, zvýšit spolehlivost infrastruktury a zajistit větší bezpečí. Celosvětově instalovaný výkon z fotovoltaických elektráren přesahuje 5 000 MW, meziroční nárůst výroby je vyšší než 35 % a obrat se pohybuje ve výši 10 miliard Euro. Za posledních 20 let se cena FV článků v důsledku výzkumu a vývoje snížila o 80 % a energetická návratnost se pohybuje již mezi 2 až 3 léty. V ČR je fotovoltaika teprve na začátku svého vývoje a v blízké budoucnosti se očekává její výrazný rozvoj a využití.

3. Podmínky slunečního záření ČR

Na území České republiky je celková doba slunečního svitu (bez oblačnosti) od 1400 do 1700 hod/rok a dopadající sluneční záření na území České republiky je homogenní. Na plochu 1 m² dopadne ročně průměrně 1100 kWh energie, což je srovnatelné s množstvím energie uvolněné při spálení 250 kg uhlí a vzhledem k prakticky nevyčerpatelné rozloze využitelných ploch představuje vydatný energetický potenciál. Elektrifikovaná domácnost spotřebuje 15 -20 MWh ročně, tedy tolik, kolik dopadne za rok na méně než 20 m².



Obr. 2 Sluneční záření na území ČR

4. Legislativní a ekonomické předpoklady ČR

Milníkem v rozmachu fotovoltaiky v ČR se stal rok 2006 kdy byl implementací směrnice 2001/77/EC „O podpoře výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie na vnitřním trhu s elektrickou energií“ do české legislativy splněn jeden ze závazků ČR při vstupu do EU.

V srpnu roku 2005 vstoupil v účinnost zákon č. 180/2005 Sb. splňující požadavky výše jmenované směrnice. Tento zákon patří mezi nejmodernější v Evropě a zavádí dva základní mechanismy podpory výroby zelené elektřiny – mechanismus výkupních cen (feed-in tariff) a zelených bonusů. Princip výkupních cen spočívá v tom, že každou kWh vyrobenou za pomoci technologií OZE, je povinen distributor nebo provozovatel přenosové soustavy po dobu patnácti let vykupovat za pevně stanovené ceny. Tyto ceny stanovuje Energetický regulační úřad a za předpokladu splnění určitých technicko-ekonomických parametrů garantují investorovi návratnost investice do OZE během patnácti let. Bohužel zákon v současné podobě nepodporuje výrobu tepla z těchto zdrojů.

Výkupní ceny však nejsou jediným systémem podpory OZE, investorům a fyzickým osobám jsou také k dispozici státní a evropské dotační tituly. Mezi národní programy patří zejména Státní program na podporu úspor energie a využití OZE pro rok 2007, který má dvě části administrované Státním fondem životního prostředí a Českou energetickou agenturou. Množství finančních prostředků poskytovaných státem však každoročně klesá a význam získávají zejména evropské peníze distribuované prostřednictvím Operačních programů. V oblasti OZE budou významné zejména Operační program Podnikání a inovace a Operační program Životní prostředí. První z nich má na programovací období 2007-2013 vyčleněno zhruba 4,5 mld Kč a je určen především podnikatelům, zatímco druhý z nich je určen pro nepodnikatelské subjekty a disponuje částkou okolo 21 mld Kč.

V souvislosti s tímto zákonem pak byl vydán i prováděcí předpis – vyhláška č. 475/2005 ze dne 30. listopadu 2005, kterou se provádějí některá ustanovení zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů. Pro FV systémy byla cenovým rozhodnutím ERÚ č. 8/2006 pro rok 2007 stanovena garantovaná cena 13,46 Kč/kWh (zelené bonusy 12,75 Kč/kWh) po dobu 15 let (po tuto dobu je vyplácení výkupních cen garantováno zákonem) a zároveň tímto zaručuje investorovi 15-ti letou návratnost jeho investice (toho lze v kombinaci se státní dotací na koupi systému snadno dosáhnout). Navíc, životnost systémů je dnes odhadována na 25 let a více, takže v dalších letech je možné vyrobenou a prodanou energii považovat za čistý zisk (ať už bude výkupní cena jakákoli). Výše výkupních cen již pomalu začíná být odpovídající současné ceně fotovoltaické energie a blíží se tak i úrovni fotovoltaické velmoci - Německa (0,52 €/kWh na 20 let).

Prozatím je však vývoj FV instalací v ČR poměrně nepříznivý. V roce 2006 činil celkový instalovaný výkon FV systémů cca 595 kWp, a to je v porovnání s vyspělými evropskými ekonomikami velmi málo (2005 – Německo cca 1771 MWp, Lucembursko 23 MWp, Rakousko 21 MWp atd.). Srovnání s novými členskými státy EU už vyznívá přeci jen lépe. ČR figuruje mezi těmito státy v množství instalovaného výkonu na prvním místě.

Avšak trh s fotovoltaikou se rozvíjí, byť pomalu, i v České republice. Od roku 1999 bylo v ČR realizováno okolo 270 instalací připojených k rozvodné síti a 700 ostrovních systémů. Zároveň je v ČR nejméně 50 firem s velmi dobrou znalostí instalace FV systémů a nejméně 10 firem schopných kvalitně FV elektrárny projektovat, zatímco výrobci a dodavatelé zajistí školení instalatérů sami. Na začátku roku 2007 se díky dotacím a zákonu na podporu výroby elektřiny z OZE se počet již realizovaných a plánovaných instalací v ČR výrazně zvýšil. Celkový výkon FV systémů v ČR v současné době činí 1388 kWp a vývoj napovídá obdobnému tempu růstu i v následujících letech.

5. Využití synergických vazeb mezi OZE

Vzájemnou kombinací jednotlivých OZE lze dosáhnout jejich optimálního využití v podmínkách polohy České republiky a lze aplikovat synergické vazby jednotlivých OZE pro jejich celkově efektivnější využití a zajištění stabilnějšího systému v dodávce elektřiny z OZE do rozvodné sítě.

Biomasa a fotovoltaika

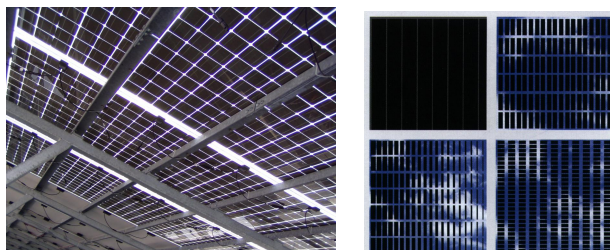
V této kombinaci dvou, z pohledu vhodnosti pro ČR perspektivních, obnovitelných zdrojů energie je nutno experimentálně zjistit vliv zastínění na růst vybraných energetických rostlin. Výsledky by

měly napovědět, zda je z pohledu náročnosti na přímé sluneční světlo možné pěstovat energetické rostliny ve stínu fotovoltaických elektráren umístěných na nezastavěné půdě. Pokusy budou simulovat pěstování rostlin mezi FV panely na dvouosých trackech a mezi rovnoběžnými řadami FV polí. Bude nutno provést výzkum a vývoj vhodné konstrukce solárního panelu s ohledem na optimální míru propustnosti, navrhnout vhodné umístění fotovoltaických panelů s ohledem na pěstební podmínky energetických plodin a prozkoumat vliv fotovoltaického pole na růstové vlastnosti rostlin.

Jako vhodné provedení pro všechny typy instalací se jeví semitrparentní modul s vhodně zvolenou mírou transparentnosti. Solární panely vhodné pro polní instalace by měly být v neaktivních částech transparentní, tak aby co nejvíce slunečního světla dopadalo na rostliny pod FV panely. Považka slunečního světla za solárním panelem bude závislá na materiálech použitých ve struktuře solárního panelu. Z tohoto hlediska bude dále studována v oblasti aktivních částí rostlin intenzita slunečního záření a její plošné rozložení, spektrální složení procházejícího světla a rovněž teplota pod solárními panely. Lze očekávat, že stíny vytvářené obrysy solárních článků budou mít v rovině rostlin dosti ostrá rozhraní. Proto se nabízí možnost vytvořit rozptylující strukturu v transparentních místech fotovoltaických skel. Rovněž výběr pouzdřících materiálů by měl respektovat spektrální povahu fotosyntézy s maximy citlivosti v modré oblasti 420 nm - 453 nm a potom v červené oblasti 645 - 663 nm. Struktura sklo/PVB/sklo začíná propouštět sluneční záření od vlnové délky 400 nm. Propustnost strukturou potom postupně klesá od 600 nm do 900 nm (tj. v červené a infračervené oblasti). Fotosyntéza by proto neměla být výrazně omezena. Za poznámku stojí skutečnost, že rostliny nepotřebují k fotosyntéze zelenou část spektra tj. od 480 nm do 620 nm. Bylo by výhodné tuto část spektra využít v solárních člancích. Možný způsob extrakce pouze této části spektra a její další zpracování bude předmětem dalších úvah.

Teplota pod solárními skly nebo také povrchová teplota listů je rovněž velmi důležitý faktor ovlivňující intenzitu růstu. Jak bylo uvedeno v kapitole o biomase, maximální rychlost u rostlin s Calvinovým cyklem je při teplotě 25°C.

Semitransparentní solární panel je možné zhotovit jak s krystalickými křemíkovými solárními články, tak rovněž s tenkovrstvými strukturami amorfního či mikrokrystalického křemíku.



Obr. 4 Semitrparentní FV panely

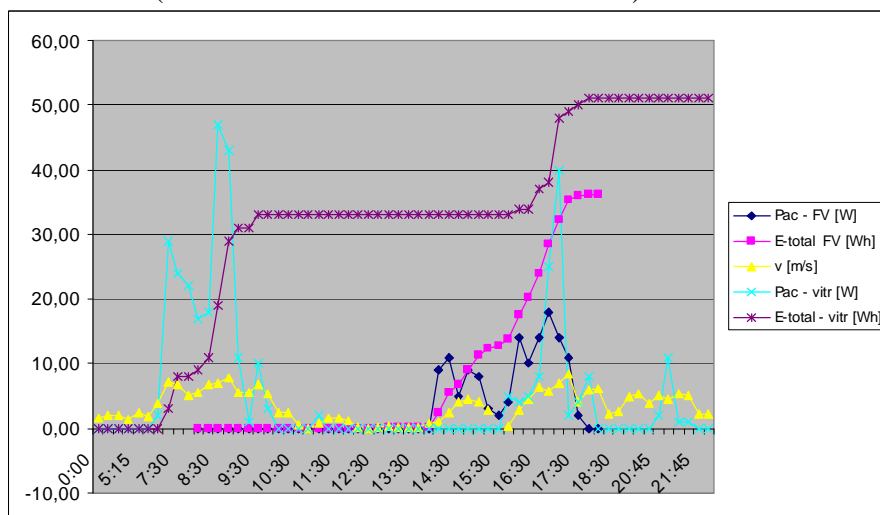
Zatímco míra propustnosti u krystalických článků je dána velikostí solárních článků a jejich roztečí, tak u panelů s tenkými vrstvami lze vytvořit téměř libovolný rastr aktivních a neaktivních ploch. Při zvyšování míry propustnosti je samozřejmě snižován špičkový výkon solárního panelu. Aplikovaná míra propustnosti bude v konečném důsledku dána nalezením optima mezi energetickým ziskem fotovoltaiky a hmotnostním výtěžkem sušiny z dané plochy.

Větrná energie a fotovoltaika

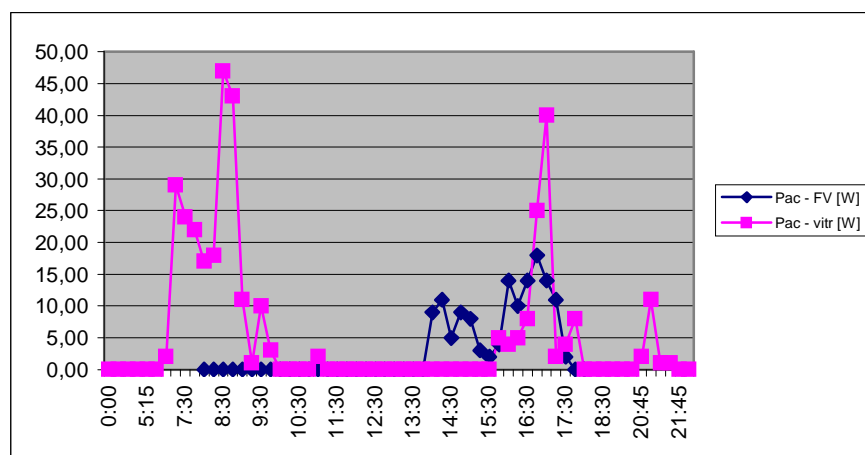
Tato kombinace dvou OZE vychází z předpokladu, že větrná elektrárna může tvořit doplněk fotovoltaické elektrárny (případně naopak) a tvořit spolu jeden celek, který se navzájem doplňuje, tak aby byla výroba el. energie co nejrovnoměrnější. V zatažených a větrných dnech je energie dodávaná systémem vyráběna z větší části větrnou turbínou a ve dnech kdy je jasno a rychlost větru nižší je převážná část energie vyráběna fotovoltaickým generátorem.

Jako příklad „typického dne“, dne kdy je část dne zataženo a větrno a část slunečno a bezvětří, lze uvést průběhy z 30.4.2006. Z průběhu vidíme, že v dopoledních hodinách bylo zataženo a největší část energie byla dodána větrnou částí (cca 30 Wh v čase 7:15 – 9:30). Kolem poledne došlo k uklidnění větru, ale vzhledem k tomu, že bylo i nadále zataženo, byl objem výroby minimální. V odpoledních

hodinách došlo k částečnému vyjasnění a začala vyrábět nejdříve FV část a poté i větrná. Za celý den bylo tak vyrobeno 87 Wh (z toho 36 Wh FV částí a 51 Wh větrnou).



Obr. 2 Denní průběhy vyrobené energie fotovoltaikou a větrnou elektrárnou ze dne 30.4.2006



Obr. 3 Srovnání okamžitého výkonu z FV a větrné elektrárny ze dne 30.4.2006

Tepelná čerpadla a fotovoltaika

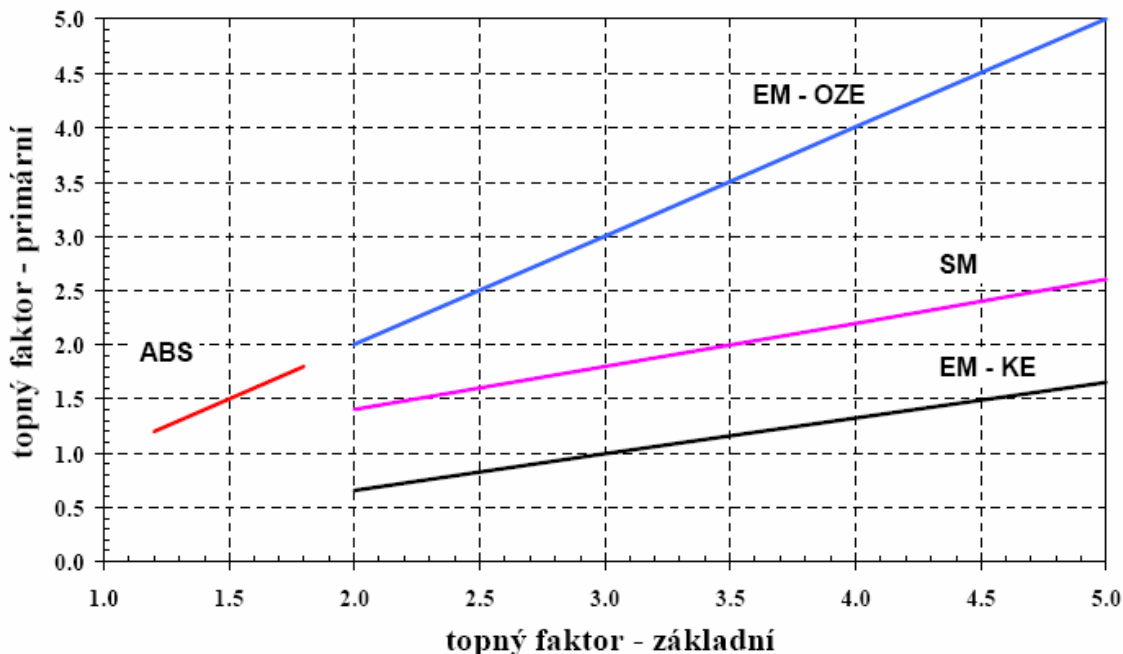
Tepelné čerpadlo je zařízení napájené elektrickou energií. Z jednotky elektrické energie je pomocí tepelného čerpadla získán několikanásobek tepelné energie proti případu přímé spotřeby například v odporových topidlech. Fotovoltaika není vhodný zdroj energie pro vytápění budov, nicméně v případě tepelných čerpadel je pro jejich vysokou účinnost možné uvažovat i o napájení tepelného čerpadla z fotovoltaiky. Nicméně, největší potřeba energetického krytí práce tepelného čerpadla je v zimním období, kdy je naopak výkon fotovoltaického systému vzhledem k intenzitě slunečního záření v celoročním srovnání nejmenší. Proto je třeba dále zkoumat vzájemnou možnou součinnost tepelného čerpadla a fotovoltaiky a optimalizaci takového systému.

Pro stanovení energetické efektivity práce tepelných čerpadel je nutno vycházet nejen ze základních, ale i primárních topných faktorů. Základní topné faktory jsou použitelné pro srovnání práce tepelných čerpadel v rámci jednoho typu, primární pak poskytují obraz o efektivity práce různých typů čerpadel v rámci celostátní energetické soustavy.

U tepelných čerpadel absorpčních a tepelných čerpadel poháněných elektřinou z OZE elektráren je tudíž základní topný faktor ideálně roven faktoru primárnímu, u ostatních typů se pak liší. Srovnání základního a primárního topného faktoru pro výše uvedené případy je provedeno na obrázku 4.

Legenda označuje průběhy pro tepelná čerpadla:

- EM-KE kompresorová, poháněná elektřinou vyrobenou v kondenzační tepelné elektrárně,
- SM kompresorová, poháněná spalovacím motorem,
- EM-OZE kompresorová, poháněná elektřinou vyrobenou v netepelných elektrárnách využívajících OZE,
- ABS absorpční.



Obr. 4 Závislost topného faktoru primárního a základního pro různé typy TČ

Graf umožňuje srovnání tepelných čerpadel z makroenergetického hlediska. Absorpční tepelná čerpadla dosahují reálných topných faktorů v rozmezí 1,2 - 1,6. Porovná-li se tedy tepelné čerpadlo absorpční (ABS) s topným faktorem 1,5 bude muset jemu z hlediska využití primární energie rovnocenné tepelné čerpadlo kompresorové poháněné elektřinou vyrobenou v kondenzační tepelné elektrárně (EM-KE) dosahovat základního topného faktoru cca 4,5. Porovnáme-li absorpční tepelná čerpadla a kompresorová tepelná čerpadla poháněná spalovacím motorem, pak odpovídající TČ se spalovacím motorem bude muset mít základní topný faktor vztažený na mechanickou práci cca 2,2, aby jeho primární topný faktor dosáhl hodnoty 1,5. Zatímco uváděné topné faktory absorpčních tepelných čerpadel je možno v současné době považovat za hraniční, u tepelných čerpadel kompresorových je možno považovat uvedený minimální základní topný faktor 3 za snáze překročitelný (zvýšením základního topného faktoru TČ poháněného spalovacím motorem na 3,5 se změní primární topný faktor na 2).

V dlouhodobém horizontu je možno očekávat rozmach tepelných čerpadel poháněných spalovacími motory na bioplyn, absorpčních tepelných čerpadel, kde je "pohonné" teplo také získáváno spalováním biomasy. Tyto aplikace kombinující využívání několika druhů obnovitelných zdrojů pomohou dále intenzifikovat využití OZE. Výhledově budou zajímavé i kombinace elektrických tepelných čerpadel a palivových článků. Při detailnějším a komplexním hodnocení je nutno dále zohlednit i ztráty během transformací a přenosu energie, podíl elektřiny získané z obnovitelných zdrojů energie, výši modulu teplotní výroby elektřiny v rámci státu, ekologické a ekonomické aspekty.

Solární termální a fotovoltaické systémy

Výroba tepelné a elektrické energie v rámci jednoho hybridního solárního kolektoru je bezesporu zajímavým řešením využití a synergií mezi dvěma blízkými zdroji obnovitelné energie. Existují však různé přístupy k těmto systémům v návaznosti na ekonomické možnosti řešení.

FV/termický panel je kombinace FV článků se solárním fototermickým kolektorem. Tvoří jeden celek, který konvertuje solární záření do tepla a elektřiny současně. Obecně můžeme uvést dva typy FVT:

- **sklem zakrytý FVT kolektor**, který vyrábí hodně tepelné energie, ale málo elektrické energie, a
- **nezakrytý FVT panel**, který vyrábí méně tepelné energie, ale má poněkud lepší elektrickou konverzi.

Lze uvést, že prototypy FVT kolektorů dosáhly účinnosti přeměny zářivé sluneční energie na elektrickou asi 11,2% a tepelnou cca 77 % s koeficientem tepelných ztrát $23 \text{ W/m}^2\text{K}$. Teplo generované ve FV člancích – Jouleovo teplo, ztrátový výkon, ohřev tmavého tělesa – je odstraňováno a konvertováno v užitečnou tepelnou energii termickým kolektorem. Shrnuto – FVT panely vyrábějí více energie na jednotku plochy, než samostatné FV panely a fototermické kolektory. Dále FV panely zachovávají přednosti estetického vzhledu při aplikaci v architektuře.

FVT kolektory, stejně jako většina klasických fototermických kolektorů, mají krytí vysoce transparentním sklem a tím omezují tepelné ztráty do okolí a zlepšují tepelnou účinnost při relativně vysoké teplotě kolektoru. FVT kolektory mohou být tudíž použity v solárních kombinovaných systémech, které generují teplo pro ohřev TUV a pro vytápění a elektřinu s poněkud nižší účinností než klasické FV panely. Srovnáním tepelné účinnosti FVT kolektoru s fototermickým kolektorem vidíme o něco nižší účinnost danou nižší absorpcí solární energie FVT kolektorů. FVT panely mají nižší tepelnou účinnost a prudší pokles s rostoucí teplotou kolektoru jako důsledek větších tepelných ztrát do okolí.

Důvodů pro kombinaci obou způsobů získávání sluneční energie a vytvoření tzv. fotovoltaicko-termálního (FVT) modulu je více:

- zvýšení celkové účinnosti běžného FV systému, jelikož je využito odpadní teplo. Účinnost FV jevu je dána technologií a kvalitou zpracování článku (snaha o maximální propustnost světla přední stranou, minimální odrazy, minimální sériový a maximální paralelní odpor článku aj.). Limity jsou stanoveny též použitými materiály vlastního PN přechodu, tj. místa, kde vzniká po dopadu fotonů elektrický náboj. Žádný materiál není schopen využít celého spektra slunečního záření. Pro speciální aplikace, kde není cena limitujícím faktorem, se proto používají tzv. tandemové články obsahující více těchto PN přechodů. Záření je pak lépe využito. V nejobvyklejších křemíkových člancích však musíme počítat s účinností mezi 12% - 17%. Zbylá energie záření se mění v teplo či reflektuje.
- zajištění dostatečného chlazení fotovoltaických článků. Účinnost přeměny záření na elektrickou energii klesá s rostoucí teplotou článku, a to zhruba lineárně. Především v oblastech s teplým podnebím či v místech, kde není zajištěno dobré odvětrávání (např. leží-li FV modul těsně na střeše bez vzduchové mezery), je třeba brát tento fakt na vědomí a zajistit vhodný způsob chlazení. U koncentrátorového systému je zajištění dostatečného chlazení FV článků nepostradatelné. Pasivní chlazení je použitelné jen pro systémy s koeficientem koncentrace < 50 .
- při ostrovním provozu může elektrická energie sloužit pro pohon čerpadla kapaliny termální soustavy či větrání v případě aktivního chlazení vzduchem
- lepší estetický vzhled systému nežli dva oddělené systémy
- v případě sériové výroby cca o 10% nižší výrobní náklady FVT modulu (je použit jednotný rám modulu), unifikované díly mohou zajistit jednodušší montáž než dva oddělené systémy

Literatura

- [1] Výzkumný projekt „Výzkum synergických vazeb v aplikacích s obnovitelnými zdroji energie“
VaV/SN/3/174/05, MŽP Praha 2006.

Návrh energetických opatření a uplatnění OZE při rekonstrukci objektu Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze

Jiří Sedlák, Radim Bařinka, Petr Klimek
Czech RE Agency, o.p.s.,
Televizní 2618, 756 61 Rožnov pod Radhoštěm
sedlakjiri@atlas.cz, petr@czrea.org, rbarinka@solartec.cz

Abstrakt:

Návrh energetické koncepce řešení rekonstrukce výškového objektu kateder MFF (obr. 1) byl proveden na základě požadavku uživatele MFF v rámci projektu MŽP VaV/SN/3/173/05 „Integrace obnovitelných zdrojů energie do struktury budov“ [0] Návrh energetických opatření vychází z energetického auditu 0 a z aktuálních údajů o energetickém provozu a stavebně-fyzickém stavu objektu. V návrhu energetické koncepce bylo vedle tepelně technických opatření v maximální míře využito potenciálu obnovitelných a alternativních zdrojů energie, které lokalita v Praze-Holešovičkách a vlastní objekt výškové budovy umožňuje. Návrh optimální varianty energeticky a ekonomicky úsporného projektu rovněž vychází z nových požadavků zákona č. 406/2006 a nové metodiky a předpisů pro energetického hodnocení budov v roce 2007, která vyplývá z přijaté Evropské směrnice EPBD 2002/91/EC.



Obr. 1 Pohled na jihozápadní část Katedrového objektu MFF Univerzity Karlovy v areálu V Holešovičkách 2, Praha 8

1. Návrh energetické koncepce rekonstrukce objektu výškové budovy MFF UK.

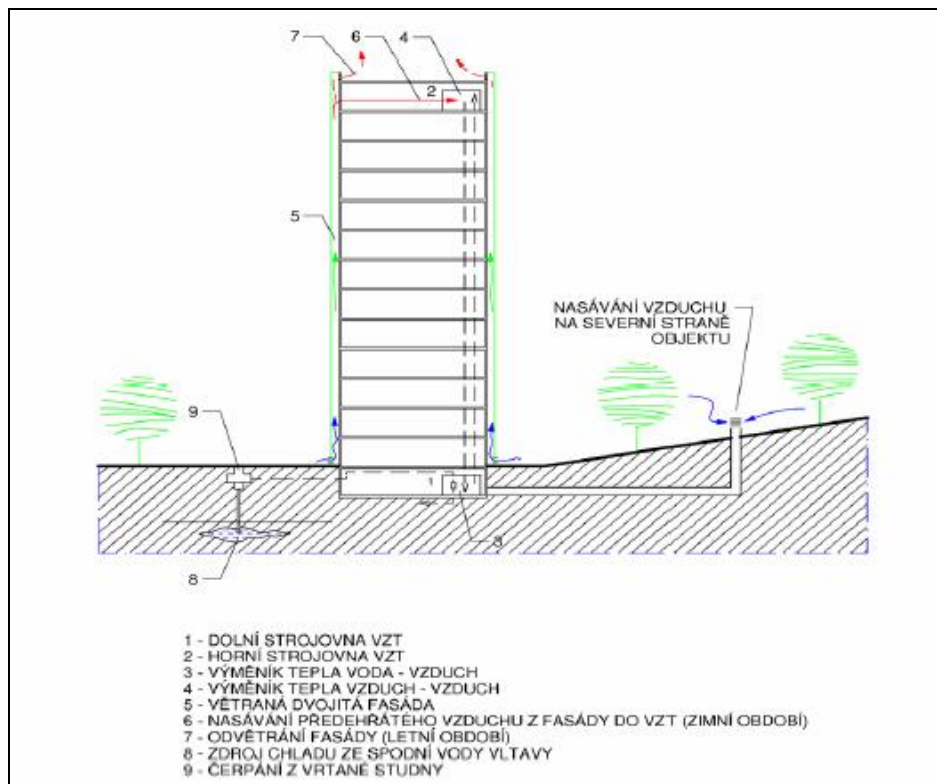
Návrh optimální varianty energeticky úsporného projektu zahrnuje stavebně tepelně-technická opatření a energeticky efektivní úsporná řešení v technických zařízeních budovy s maximálním využitím obnovitelných zdrojů energie. Návrh energeticky úsporného projektu řeší požadavek tepelné stability a tepelného komfortu jak v zimním, tak i v letní období s velmi nízkými energetickými a provozně ekonomickými nároky na budoucí užívání budovy a další funkční požadavky na denní osvětlení a ochranu proti vnějšímu hluku při zajištění kvality vnitřního prostředí budovy. Poloha výškové budovy MFF UK a hydrogeologické poměry areálu MFF v Holešovičkách v blízkosti řeky Vltavy poskytují rovněž možnost využití spodní vody pro klimatizaci budovy s mimořádně vysokou energetickou efektivností a rychlou ekonomickou návratností. Okolí budovy na severní straně objektu současně umožňuje umístění zemního registru a využití bioklimatických vlivů středně vysoké zeleně pro chlazení vzduchu v centrálním systému větrání a klimatizace. Komplexní řešení energetické koncepce rekonstrukce objektu vychází z geografických a místních klimatických podmínek a efektivně využívá slunečního záření a energie prostředí v dané lokalitě. Na základě provedeného průzkumu klimatických a hydrogeologických podmínek v areálu MFF UK v Praze- Holešovičkách a v okolí objektu výškové budovy kateder MFF, byly analyzovány následující využitelné obnovitelné a alternativní zdroje energie:

- sluneční záření pro vytápění, klimatizaci s využitím solární termiky a fotovoltaiky, pro získání slunečního tepla a elektrické energie, integrovaných ve dvojité větrané hybridní fasádě na jižní, východní a západní straně objektu kateder,
- energie zemního prostředí v zemním registru pro chlazení a vytápění budovy,
- energie spodní vody pro chlazení a klimatizaci budovy.

2. Návrh energetických opatření s využitím solární termiky a fotovoltaiky

V návrhu energetických opatření pro rekonstrukci objektu kateder MFF je dominantním prvkem dvojitá větraná hybridní fasáda (Obr. 2), která umožňuje řešit:

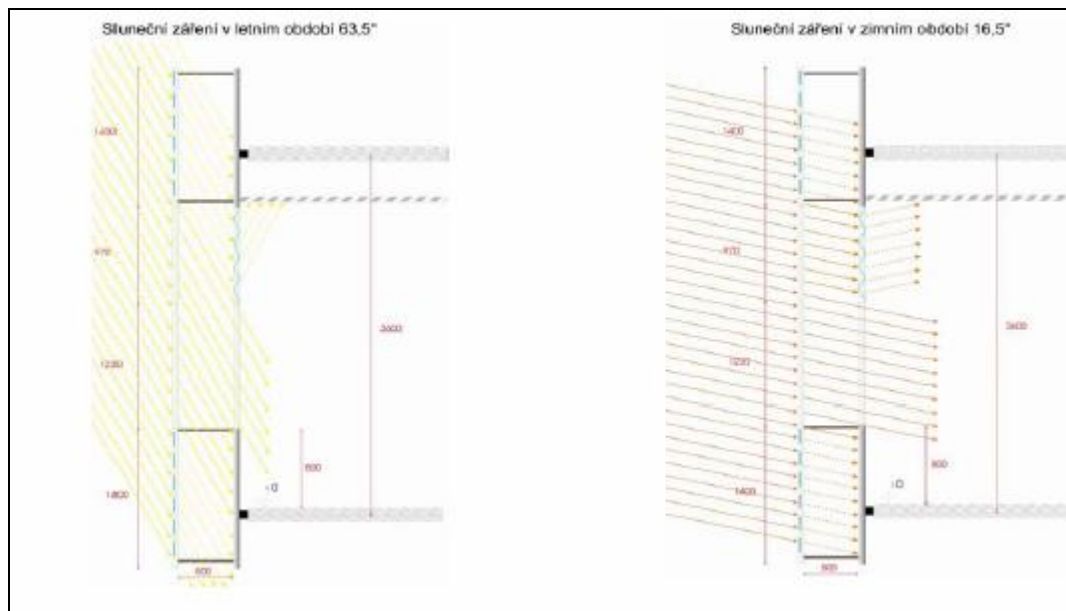
- využití slunečního záření pro ohřev vzduchu ve fasádě pro větrání a vzduchotechnické vytápění budovy,
- využití slunečního záření pro výrobu elektrické energie integrací solárních fotovoltaických článků v neprůsvitných částech jižní fasády,
- snížení tepelné zátěže budovy použitím stínících prvků uvnitř dvojité fasády při zachování požadovaného architektonického vzhledu budovy,
- dvojitá fasáda umožňuje dostatečnou tepelnou ochranu a zajištění tepelné stability v letním i v zimním období snížením tepelné zátěže a tepelných ztrát budovy.



Obr. 2 Energetická opatření rekonstrukce objektu kateder MFF. Schéma teplovzdušného vytápění a klimatizace budovy využívajícího funkce dvojité hybridní solární fasády, zemního registru a spodní vody za účelem snížení spotřeby primární energie.

Navržená hybridní fasáda s použitím prostorových modulárních dílců umožňuje plnou integraci solárních prvků fototermických a fotovoltaických systémů. Snadnou a rychlou montáž při provozu objektu v cenových relacích porovnatelných s jednoduchou fasádou, která by v sobě nutně zahrnovala externí stínící konstrukce nezbytné pro účinnou ochranu proti slunečnímu záření v letním období. Návrh modulární dvojité fasády vyplývá ze zahraničních zkušeností s využitím progresivních technologií výroby a montáže v oblasti fasádní techniky, která přináší nesporné výhody ve vysoké kvalitě prováděných prací při zajištění vyšší bezpečnosti a rychlosti montáže s nižšími investičními náklady při porovnání s převážně v praxi využívaným cenově nevýhodným standardním řešením z jednotlivých fasádních prvků.

Využití energie ve struktuře dvojité hybridní fotovoltaické a fototermické fasády je patrné z obrázku č. 3. Struktura dvojité hybridní fasády je členěna do systému samostatných fasádních modulů (modulárních prvků) zavěšovaných na stropní desky v jednotlivých podlažích budovy. Ve struktuře vnějšího pláště dvojité fasády bylo navrženo jednoduché zasklení. V parapetní části jsou integrovány místo jednoduchých neprůhledných skel, skla se zalaminovanými solárními články ve struktuře lamináčnických plastových fólií. Fasádní modul s elektricky propojenými solárními články je opatřen kabelem s konektorem pro jeho připojení do struktury pevné kabeláže umístěné v parapetní části. Vnitřní plášť je v návrhu s pásovými okny z nízkoemisivního dvojskla a s tepelně a požárně izolovaným parapetem.



Obr. 3 Využití sluneční záření v letním a zimním období ve dvojité hybridní fasádě

3. Předpokládané energetické zisky a energetická bilance budovy MFF

Výsledná bilance jednotlivých energetických opatření pro vytápění a chlazení s vysokým potenciálem využití obnovitelných a alternativních zdrojů energie pro energeticky úsporný projekt rekonstrukce objektu kateder v areálu MFF v Praze-Holešovičkách je přehledně uvedena v tabulce 1. Z navržených energetických opatření pro rekonstrukci katedrového objektu MFF UK vyplývá celkový energetický potenciál OZE ve výši 819 MWh/rok a ekonomický přínos za energie v cenách roku 2006 ve výši 1 782 tis. Kč/rok.

Stavebně a tepelně technickými opatřeními jsou dále sníženy tepelné zisky v letním období a ztráty v otopném období ve výši 294 MWh/rok. Po provedení navržených opatření s využitím OZE činí nároky na primární energie pro vytápění budovy MFF UK v Praze včetně klimatizace pouze 326 MWh/rok a vypočítaná hodnota měrné spotřeby tepla e_v činí 9,88 kWh/m³.

4. Závěr

Návrh energetických opatření s využitím OZE a jejich plnou a optimální integrací ve struktuře budovy s využitím nejnovějších poznatků bylo dosaženo mimořádných energetických úspor a rychlé ekonomické návratnosti 11,9 roku. Při požadované hodnotě spotřeby tepla $e_{vn} = 26,26$ kWh/m² pro geometrickou charakteristiku budovy $A/V = 0,22$ a měrnou spotřebu tepla $e_v = 9,88$ kWh/m³ po provedených opatřeních činí stupeň energetické náročnosti SEN 37,6 % < 40%. Při provedení navržených energetických opatřeních lze budovu klasifikovat jako mimořádně úspornou v klasifikaci A. Při uvažování stávající měrné spotřeby tepla $e_v = 63,56$ kWh/m³ (pro vytápění dle energetického auditu za období 2002-04) bude současná spotřeba energie snížena na pouhých 15,5 %, přičemž uvedená opatření současně navíc zajišťují naléhavé potřeby letního provozu na klimatizaci budovy.

Tento příspěvek a uvedené výsledky byly získány za podpory výzkumného projektu MŽP VaV-SN-173-05 „Integrace obnovitelných zdrojů energie do struktury budov“.

Tabulka 1 Souhrn energetických opatření využívajících obnovitelné a alternativní energie u výškového objektu kateder MFF University Karlovy v Praze, V Holešovičkách

	Druh využití obnovitelného, alternativního a druhotného zdroje energie	Energetické zisky	Cena energií	Finanční zisky za	Investiční náklady	Prostá návratnost v letech
		MWh/rok	Kč/MWh	v tis. Kč/rok	v tis. Kč	
Úspora vytápění	Solární tepelné zisky dvojité fasády pro vytápění VZT(3.1)	371	932	348	13 050 ¹⁾	13,8 ¹⁾
	Využití zemního registru pro vytápění VZT (3.2)	81	932	75	- ²⁾	5 ²⁾
	Solární absorpční kolektory pro vytápění (3.4)	70	932	65	- ³⁾	8,3 ³⁾
	Energie z OZE pro vytápění celkem	522	932	487	-	-
Úspora chlazení	Využití zemního registru pro chlazení VZT (4.1)	111	2 575	288	1 800 ²⁾	5 ²⁾
	Využití spodních vod 4kg/s pro chlazení VZT (4.2)	110	2 575	283	1 150	4
	Solární absorpční kolektory pro chlazení VZT (4.3)	26	2 575	67	1 100 ³⁾	8,3 ³⁾
	Energie z OZE pro chlazení a klimatizaci celkem	247	2 575	636	-	-
FV	Integrované FV moduly ve fasádě (el. energie) (5)	50	13 200	660 ^{EL}	11 340	17,2 ⁴⁾
OZE	Energetické zisky z OZE na vytápění, chlazení a výroba elektřiny celkem	819	-	1 783	28 440	-
Úsp. dvoj. fasádou	Snížení tepelných ztrát vlivem dvojité fasády	86	932	80	-	- ¹⁾
	Snížení tepelné zátěže budovy vlivem dvojité fasády v letním období	208	2 575	536	-	- ¹⁾
Celkem	Celkové energetické zisky z OZE a snížení tepelných ztrát a zátěže	1 113	-	2 398	28 440	11,9
Potřeba tepla dle Energ. auditu před rekonstrukcí E _r		2 098	932	-1 955	-	-
Potřeba tepla dle Energ. auditu po rekonstrukci (jednoduchá fasáda) E _r		848	932	-790	-	-
Nároky na primární energie pro vytápění s využitím OZE		326	932	-304 ^{EL}		
Roční zisk při využití OZE z prodeje el. energie po odpočtu nákladů na primární energie pro vytápění včetně chlazení objektu KO MFF UK				(příjem za elektřinu 660tis. - vydání pro teplo 304tis.) 356		

Poznámky k tab. 1

- 1) společné položky pro výpočet prosté návratnosti dvojité hybridní fasády
- 2) společné položky pro výpočet prosté návratnosti zemního registru
- 3) společné položky pro výpočet prosté návratnosti solárních absorpčních kolektorů
- 4) bez započtení dotace na investici, kterou předpokládá Cenové rozhodnutí ERÚ č. 8/2006 ERÚ pro splnění podmínek Zákona o podpoře výroby elektřiny z OZE č. 180/2005 Sb. (navrhovaná verze programu řízeného MŽP v programovacím období 2007–2013 předpokládá dotace pro OZE u nepodnikatelských subjektů až do výše 85 %)

Literatura

- [1] Energetický audit areálu UK MFF v Holešovičkách, zpracovaný na základě vyhlášky č. 213/2001 Sb. a zákona č. 406/2000, Ing. Tomáš Zajíc energetický auditor MPO ČR č. 116, Praha 2003.
- [2] Výzkumný projekt „Integrace obnovitelných zdrojů energie do struktury budov“
VaV/SN/3/173/05, MŽP Praha 2006.

Aplikace měničů frekvence u malých větrných elektráren

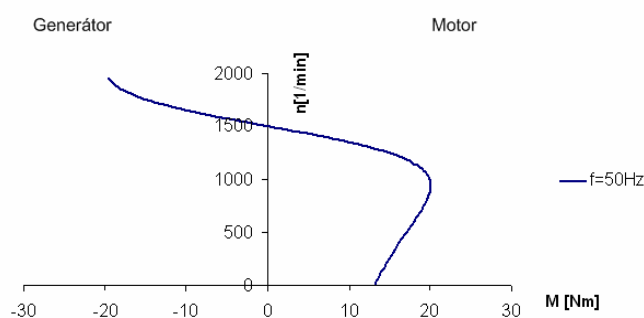
Václav Sládeček
VŠB-TU Ostrava, FEI, Katedra elektroniky, 17. listopadu 15,
708 33 Ostrava - Poruba

Abstrakt:

Příspěvek se zabývá možnostmi využití nové řady měničů frekvence SIEMENS, umožňujících čtyřkvadrantový provozní režim. V příspěvku jsou uvedeny požadavky na nutnou konfiguraci hardware měniče, který umožní rekuperaci energie do napájecí sítě. Této možnosti je využíváno při provozu malé větrné elektrárny realizované pomocí asynchronního generátoru, který umožňuje dodávku energie do napájecí sítě prostřednictvím tohoto měniče. V příspěvku jsou uvedeny zkušenosti získané při ověřovacím provozu v laboratorních podmínkách na zařízení o výkonu jednotek kilowattů.

1. Princip činnosti asynchronního generátoru

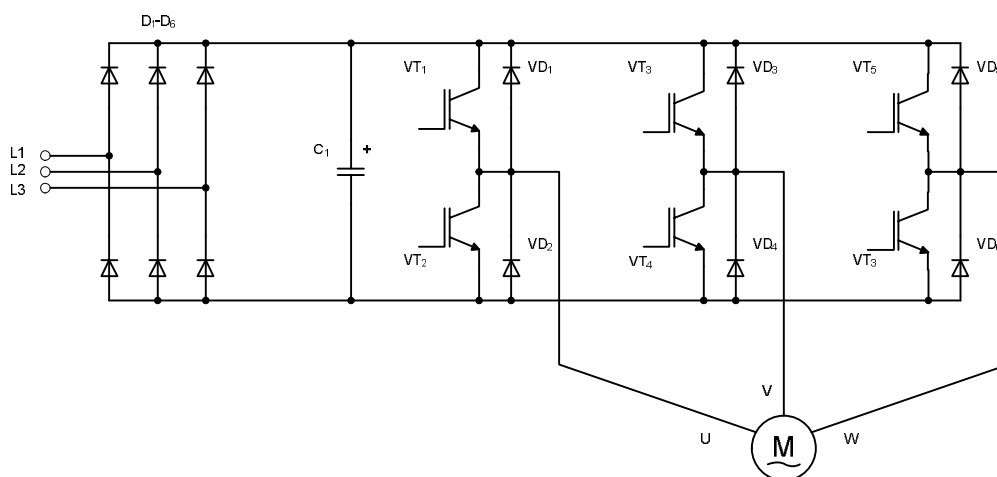
Model malé větrné elektrárny je realizován prostřednictvím asynchronního motoru, pracujícího v generátorickém režimu. Jde vlastně o případ, který je v odborné terminologii nazýván jako „generátorické brzdění asynchronního motoru“. Při tomto způsobu brzdění zůstává indukční stroj připojený na síť tak, jako kdyby pracoval v motorickém režimu. Nemění se ani směr otáčení rotoru, ale mění se jeho rychlost. Točivý moment způsobený zátěží (kterou představují lopatky vrtule větrné elektrárny), působí ve stejném smyslu, jako točivý moment motoru. Jestliže se otáčky rotoru zvětší nad otáčky točivého pole (synchronní otáčky), změní se smysl relativní rychlosti vinutí rotoru k točivému poli statoru. Tím se změní smysl indukovaného napětí ve vinutí rotoru k točivému poli a současně i směr proudu rotoru. Vlivem toho, že se změní směr proudu rotoru, změní se i směr činné složky statorového proudu. Motor neodebírá činný proud, ale dodává ho do sítě a pracuje jako generátor. Jalová složka proudu statoru (magnetizační proud) zůstává stejná, jako kdyby stroj pracoval v motorickém režimu. Stroj odebírá ze sítě jalový proud, aby mohl dodávat do sítě činný proud. Otáčky rotoru jsou větší než otáčky točivého pole $n_s > n_z$. Vlivem toho bude skluz záporný a záporný bude i elektrický výkon rotoru. Rotoru tedy musí být přiveden mechanický výkon, aby stroj mohl běžet jako generátor. Uvedená problematika je zřejmá z obr.1.



Obr. 1 Mechanická charakteristika asynchronního motoru v motorickém a generátorickém režimu.

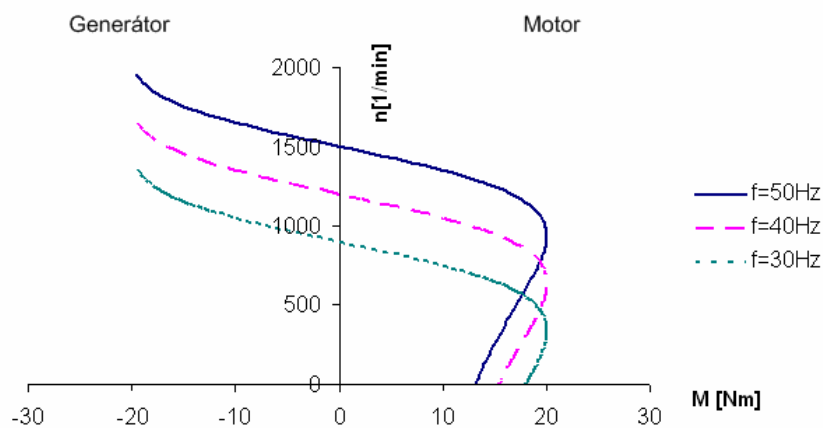
Z uvedených průběhů je zřejmé, že asynchronní motor může v generátorickém režimu při přímém připojení k napájecí síti pracovat pouze v případě, kdy vstupní otáčky budou větší, než jsou synchron-

ní otáčky motoru, které jsou pevně dány kmitočtem napájecí sítě $f=50$ Hz. V případě, kdy budeme požadovat generátorický chod i při nižších vstupních otáčkách se u malých větrných elektráren jeví jako velice výhodné, použít napájení prostřednictvím měniče kmitočtu (pracujícího například s režimem $U/f = K$), který zajistí možnost generátorického brzdění i pro nižší otáčky než jsou jmenovité otáčky použitého asynchronního motoru.



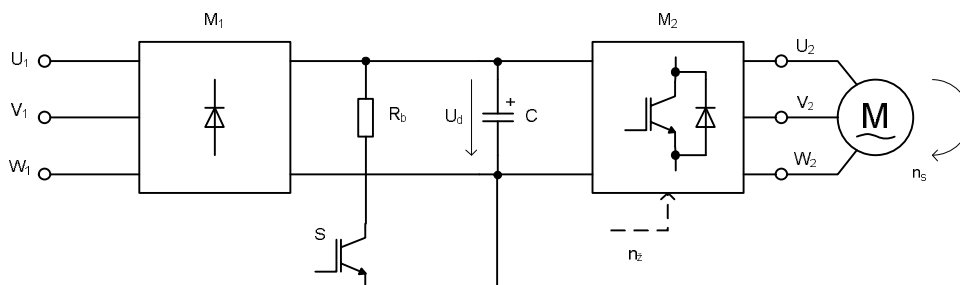
Obr. 2 Zapojení výkonové části standardního měniče frekvence

Na obr. 2 je pro názornost uvedeno zapojení výkonové části standardního měniče frekvence. Toto zapojení umožňuje provozovat asynchronní stroj v motorickém režimu v rozsahu otáček, odpovídajících změně výstupního kmitočtu. V případě brzdění, tj. když jsou otáčky stroje větší, než je kmitočet napájecího napětí dochází k vracení energie do meziobvodu, tvořeného kondenzátorem C_1 . Pokud nedojde k odebrání energie z meziobvodu, začne na kondenzátoru stoupat napětí a při překročení jeho kritické velikosti dojde k zablokování měniče.

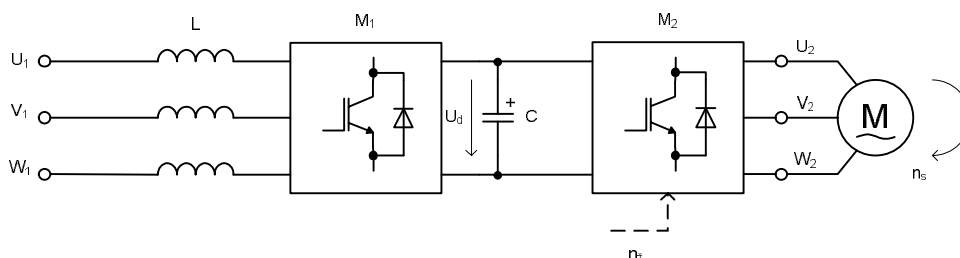


Obr. 3 Mechanická charakteristika asynchronního motoru v motorickém a generátorickém režimu při frekvenčním řízení $U/f = K$

2. Měníče kmitočtu pro generátorický provoz



Obr. 4 Zapojení asynchronního generátoru při napájení z měniče kmitočtu bez možnosti rekuperace



Obr. 5 Zapojení asynchronního generátoru při napájení z měniče kmitočtu s možností rekuperace

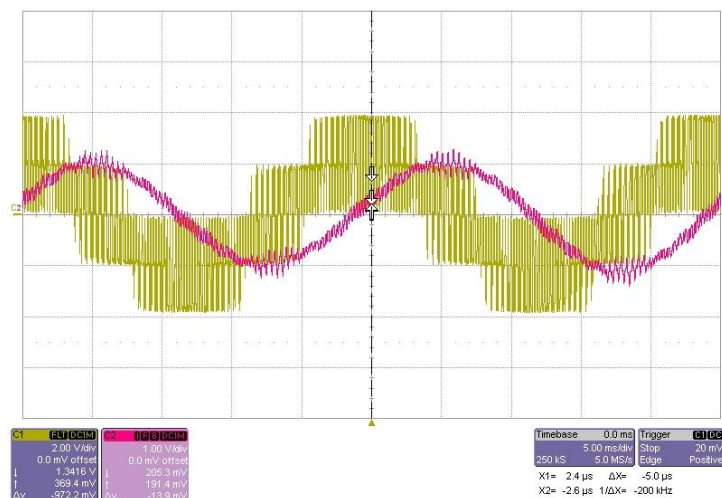
Na obr. 4 je uvedeno zapojení používané, např. u měničů SIEMENS Masterdrives 6SE70... Výkon, získaný při generátorickém režimu je mařen v odporu R_b , spínaného spínačem S, podle velikosti napětí v meziobvodu. Teoreticky je sice možné již i na tuto stejnosměrnou stranu připojit požadovanou zátěž, tato aplikace však má jen velmi omezené využití.

Podstatně lepších vlastností je možné dosáhnout s novou řadou měničů SIEMENS Sinamics S120 (viz. obr.5), jehož vstupní strana je realizována prostřednictvím pulzního usměrňovače, čímž je zajištěn čtyřkvadrantový chod celého měniče, tzn., že tato koncepce umožňuje dodávat výkon zpátky do napájecí sítě. Obě tyto varianty pochopitelně umožňují i provoz v tzv. „ostrovním režimu“, tj. i při nepřipojení na napájecí síť. Pak je však nutno zajistit před vlastním spuštěním měniče počáteční aktivaci (nabití kondenzátoru) meziobvodu.

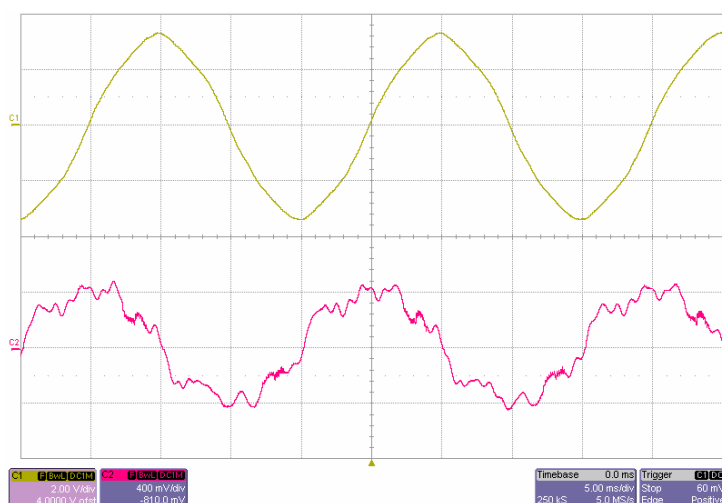
Žádaná hodnota výstupní frekvence měniče je zadávána prostřednictvím rekonstrukce otáček asynchronního generátoru v závislosti na rychlosti proudění větru, přičemž v požadovaném pracovním rozsahu musí být vždy splněna podmínka $n_s > n_z$.

3. Dosažené výsledky

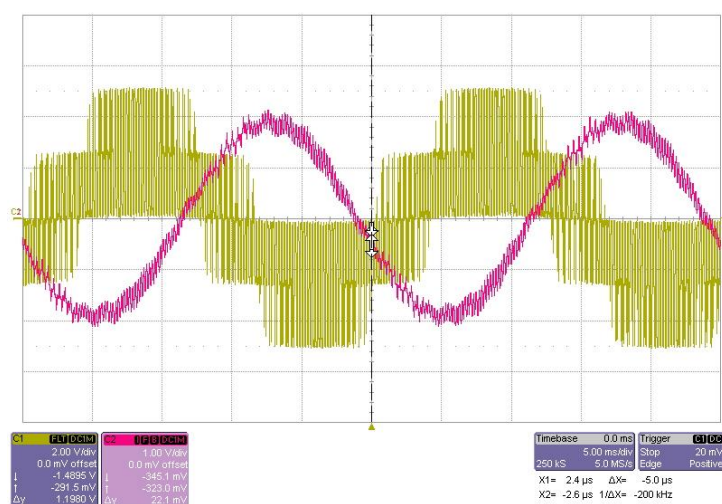
Na následujících obrázcích jsou uvedeny výsledky, dosažené při brzděném režimu čtyřpólového asynchronního generátoru se jmenovitým výkonem $P_n = 7,5 \text{ kW}$.



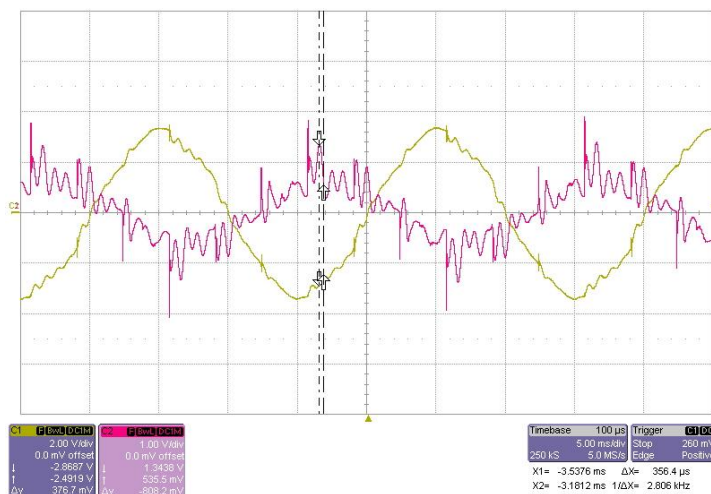
Obr. 6 Průběh napětí (C1) a proudu (C2) na výstupní straně měniče při chodu naprázdno.



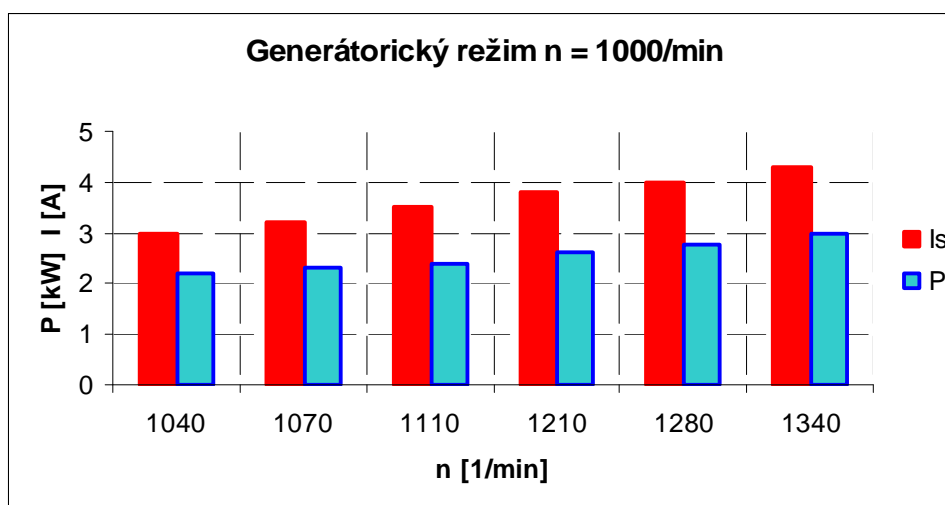
Obr. 7 Průběh napětí (C1) a proudu (C2) na vstupní straně měniče při chodu naprázdno.



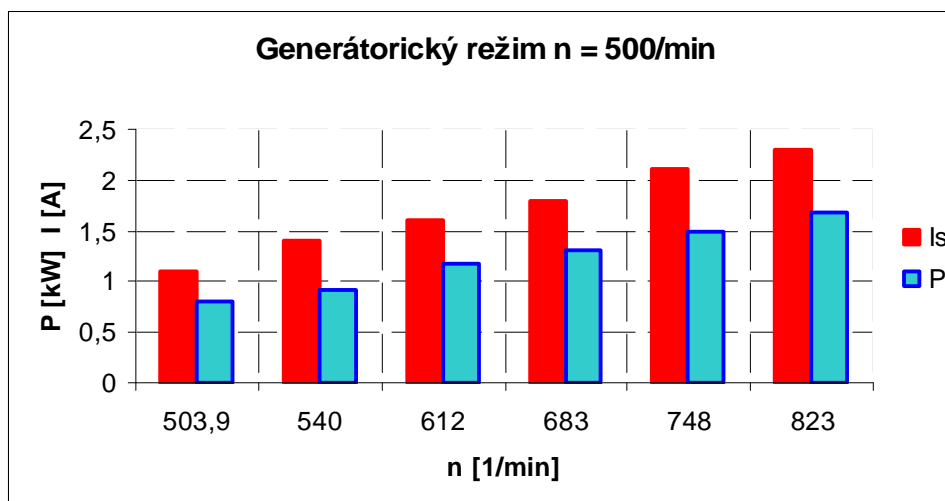
Obr. 8 Průběh napětí (C1) a proudu (C2) na výstupní straně měniče při generátorickém režimu.



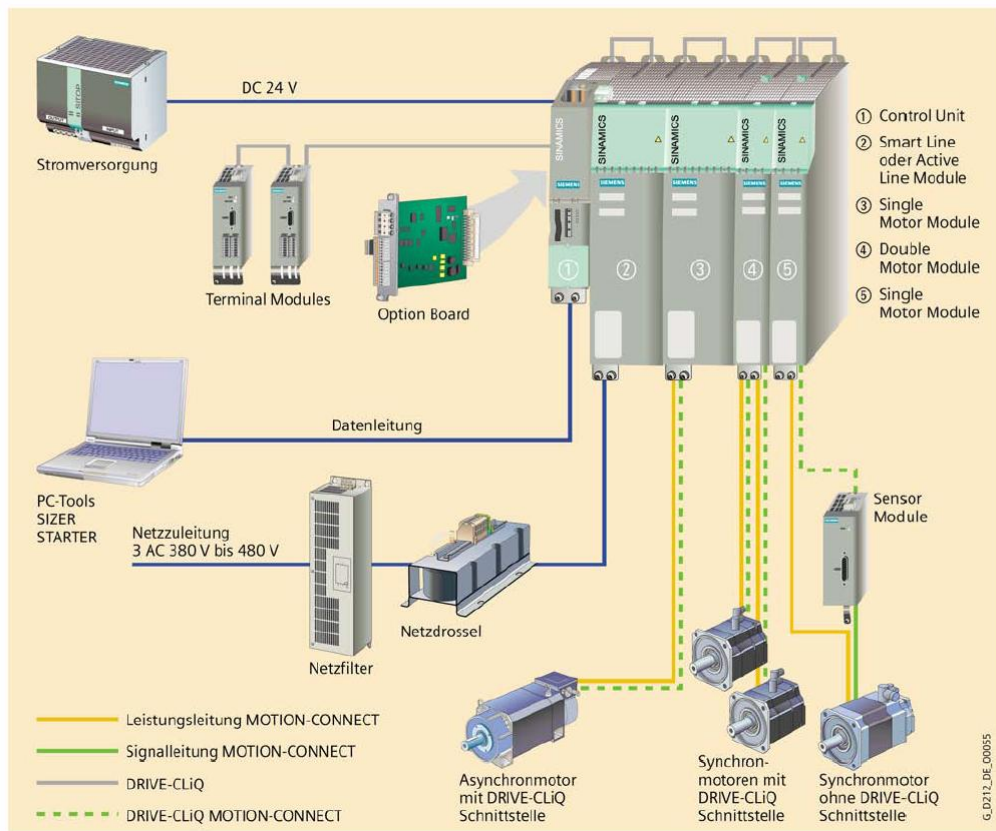
Obr. 9 Průběh napětí (C1) a proudu (C2) na vstupní straně měniče při generátorickém režimu.



Obr. 10 Proud a výkon při generátorickém režimu při $n_z = 1000/\text{min}$.



Obr. 11 Proud a výkon při generátorickém režimu při $n_z = 500/\text{min}$.



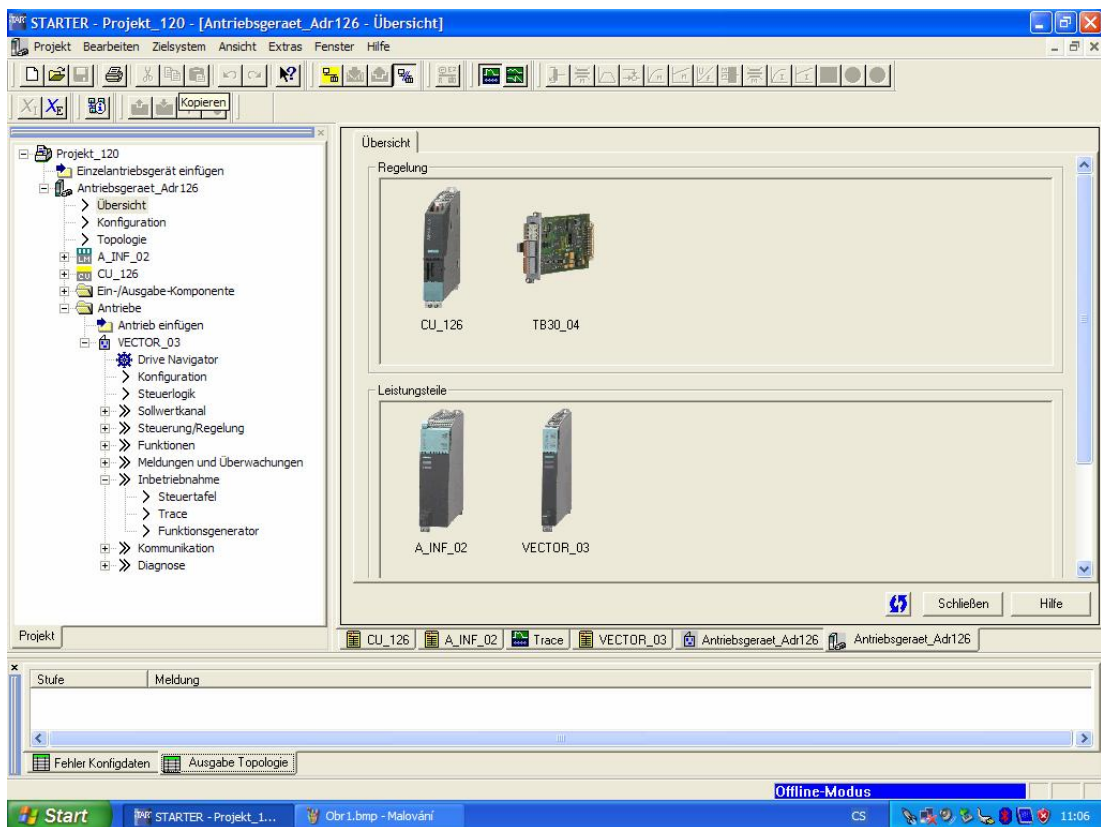
Obr. 12 Blokové schéma měniče kmitočtu SINAMICS S120



Obr. 13 Realizované vývojové pracoviště



Obr. 14 Zatěžovací stanoviště



Obr. 15 Způsob komunikace s měničem

Komunikace s vlastním měničem kmitočtu byla realizována prostřednictvím programu STARTER (viz. obr. 15), prostřednictvím univerzální sběrnice PROFIBUS DP. Výhodou tohoto způsobu je relativně jednoduchá změna požadovaných parametrů s možností jejich vizualice jak v off-line, tak i on-line režimu.

4. Závěr

Cílem tohoto příspěvku bylo, poukázat alespoň v základních rysech na možnosti uplatnění nových moderních měničů kmitočtu i mimo jejich standardní možnosti použití. Zároveň lze na zatím provedených měřeních demonstrovat možnosti použití popisované metody a rozšířit oblasti použití takto koncipovaných malých větrných elektráren i v oblasti relativně malých otáček.

Literatura

[1] Sinamics S120 Vector Control Antriebsystem, Katalog D 21.1 2005

[2] <http://www.siemens.cz/pohony>

Příspěvek vznikl za podpory projektu MSM: 6198910007.

Součástky na bázi karbidu křemíku

Tomáš Křeček

VŠB-TU Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra elektroniky,
17. listopadu 15, 708 33 OSTRAVA-PORUBA

tomas.krecek.fe@vsb.cz

Abstrakt:

Substrát karbid křemíku (SiC-Silicon carbid) je relativně dobře známý a byl poprvé komerčně použit pro realizaci prvních, modré světlo emitujících diod (LED). Nyní je používán jako substrát (základní materiál) pro vysoce výkonné LED. Tento materiál však umožňuje zlepšit elektrické vlastnosti diskretních výkonových součástek. Jako příklad lze uvést SiC diody (nejjednodušší polovodičový prvek), které už za pár let budou dostupné a běžné. Tento příspěvek by měl, ve velmi stručné formě, čtenáře seznámit s touto nastupující technologií a s obecnými vlastnostmi diod na bázi SiC. Další součástky, které budou zmíněny a jejíž elektrické, tepelné a mechanické vlastnosti se dají vylepšit pomocí SiC substrátu, jsou JFET, SIT a MOSFET transistory.

1. Úvod

Elektronická polovodičová součástka založená na SiC substrátu, byla (vývoj ještě zdaleka není u konce) vyvinuta pro použití do vysokých teplot, velkých výkonů, dynamických aplikací a pro zařízení s vysokou dávkou radiace. Jednoduše do podmínek, ve kterých by tradiční Si (křemíková) součástka nemohla fungovat. Karbid křemíku je velmi odolný proti působení těchto vlivů a tím se od něj očekává výrazné zlepšení různých aplikací a systémů. Toto zlepšení se hlavně týká vysokonapěťových spínačů (vyžadujeme hlavně úsporu energie), obecně v řízení elektrických pohonů, v mikrovlnných radioelektronických systémech, v oblasti komunikace a také senzorů až po vylepšené řízení spalování paliva v motorech letadel či automobilů. Ať tak nebo jinak, velmi důležité je vytvoření vhodného krystalu a s tím řešením souvisejících problémů, které musí být vyřešeny ještě před tím, než začleníme SiC součástku do nějakého systému. Tento příspěvek provede malý průzkum do nedávných pokroků v této oblasti.

Karbid křemíku je už dlouho znám jako perspektivní polovodičový substrát. Dokonce byl považován za slibnější než samotný křemík na počátku polovodičové technologie. Ale v šedesátých letech se našla metoda, která pomohla snížit hustotu defektů (poruch) ve struktuře křemíku. A to definitivně ukončilo možnost existence SiC jako materiálu pro průmyslové zařízení, protože obrovská množství výzkumů byla „odkloněna“ na substrát křemíku. Výroba velkých průměru monokrystalického SiC je dalším úskalím pro přijetí SiC součástek. Hlavním důvodem je finanční náročnost (technologie výroby je velmi složitá a tudíž drahá), a proto jsou momentálně ekonomicky pouze vhodné pro armádní, kosmický a letecký průmysl.

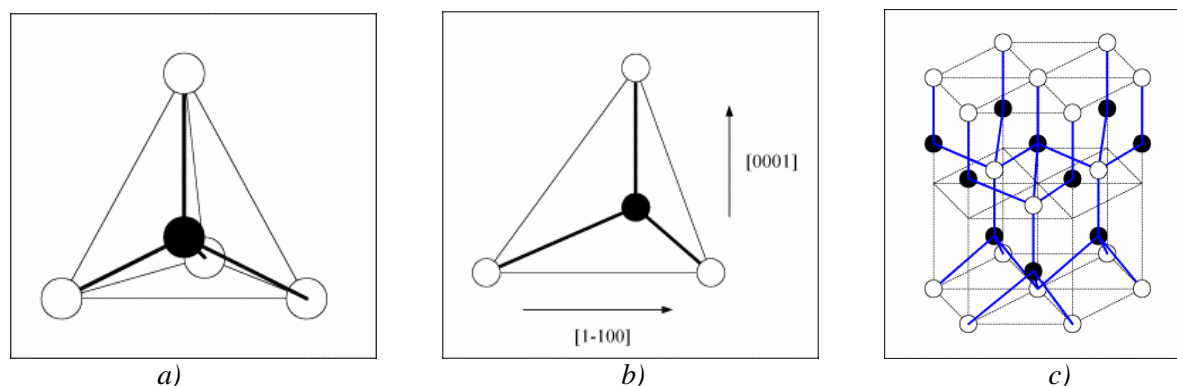
V poslední dekádě nastalo jakési „obrození“ zájmu o SiC technologii. Hlavně v oblasti řešení hustoty poruch v monokrystalickém SiC, přičemž se počet poruch zmenšuje. Nyní celá řada firem (viz níže) má vyvinuté metody pro výrobu monokrystalického SiC.

2. Krystalová struktura SiC

Všechny látky se skládají z tzv. elementárních částic (protonů, elektronů a neutronů). Počet a rozmístění těchto částic určuje kvalitativní různorodost atomů. Pevné látky můžeme rozdělit podle vnitřní struktury do dvou základních skupin: a) amorfní látky b) krystalické látky. Atomy nebo ionty krystalických látek se podle povahy atomů a vnějších činitelů (teploty, tlaku atd.) seskupují do větších souvislých celků s určitou pravidelností. Prostorový útvar rozložení atomů v krystalu se nazývá krystalická mřížka. Je možné konstatovat, že vlastnosti polovodiče jsou v podstatě určeny vlastnostmi atomů a tvarem krystalické mřížky. Mezi parametry, které určují povahu látky, patří zejména: počet valenčních elektronů, hmotnost jader a rozměry základních buněk krystalové mřížky. K těmto veličinám dále náleží druh a počet defektů krystalové mřížky.

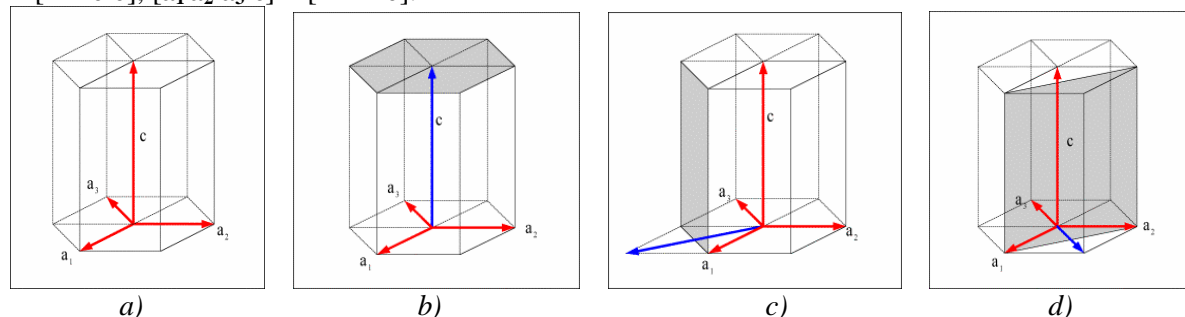
Karbid křemíku se sestává z mnoha různých krystalových struktur, nazývané polytypy viz. *obr. 1c*. Polytypy vznikají různými způsoby uspořádání dvojrozměrných strukturálních jednotek tj. vrstev. Jednotlivé polytypy těžé látky se tak liší svou strukturou a často patří do různých krystalových soustav. Z důvodu odlišného uspořádání atomů křemíku a atomu uhlíku uvnitř krystalické mřížky má každý polytyp SiC jedinečné elektrické a optické vlastnosti. Zatímco existuje přes 170 známých polytypů SiC, jen několik jich je vhodných pro použití v oblasti polovodičů. Nejběžnější polytypy vyvinuté pro elektroniku jsou 3C-SiC, 4H-SiC, 15R-SiC a 6H-SiC. Pozn.: Ramsdelovy symboly (3C, 4H, ...) mají tvar nX . Číslo n udává počet vrstev (viz níže), které tvoří jednu opakující se sekvenci ve struktuře polytypu. Písmeno X označuje krystalovou soustavu, do níž polytyp náleží (C kubickou, H hexagonální, R trigonální s romboedrickou mřížkou).

3C-SiC také označovaný jako β -SiC, je jediná forma SiC s krychlovou krystalickou strukturou. SiC s jinou než krychlovou krystalickou strukturou jsou někdy nazývány α -SiC. 4H-SiC a 6H-SiC jsou dva polytypy s hexagonální krystalovou strukturou. Podobně 15R-SiC je nejběžnější (z mnoha možných) polytypů s klencovou krystalickou strukturou. U polytypů s jinou než kubickou strukturou nejsou elektrické vlastnosti izotropní, to znamená, že některé vlastnosti jsou závislé na směru toku proudu, nebo na směru aplikovaného elektrického pole!



Obr. 1 a) Prostorové rozložení atomů v elementární buňce SiC. b) Plošné zobrazení těžé buňky (projekce do směru $[1\ 1-2\ 0]$ -vysvětleno níže) c) Polytyp 2H-SiC.

Obr. 1a ukazuje prostorové uspořádání atomů v elementární buňce SiC. Jestliže propojíme všechny čtyři atomy křemíku, vznikne v prostoru čtyřstěn (atom uhlíku je uvnitř vzniklého čtyřstěnu). *Obr. 1b* ukazuje projekci elementární buňky SiC do směru $[1\ 1-2\ 0]$. Na *obr. 1c* vidíme rozložení atomů v polytypu 2H-SiC. Na *obr. 2* je názorně ukázána hexagonální krystalická mřížka spolu s vysvětlením určování směru a ploch. Směr a taktéž plochu udává modrá šipka (je výsledkem vektorového součtu). Zleva: Zobrazení směrových vektorů $[\mathbf{a}_1 = \mathbf{a}_2 = \mathbf{a}_3]$, $[\mathbf{a}_1\ \mathbf{a}_2\ \mathbf{a}_3\ \mathbf{c}] = [0\ 0\ 0\ 1]$, $[\mathbf{a}_1\ \mathbf{a}_2\ \mathbf{a}_3\ \mathbf{c}] = [1-1\ 0\ 0]$, $[\mathbf{a}_1\ \mathbf{a}_2\ \mathbf{a}_3\ \mathbf{c}] = [1\ 1-2\ 0]$.

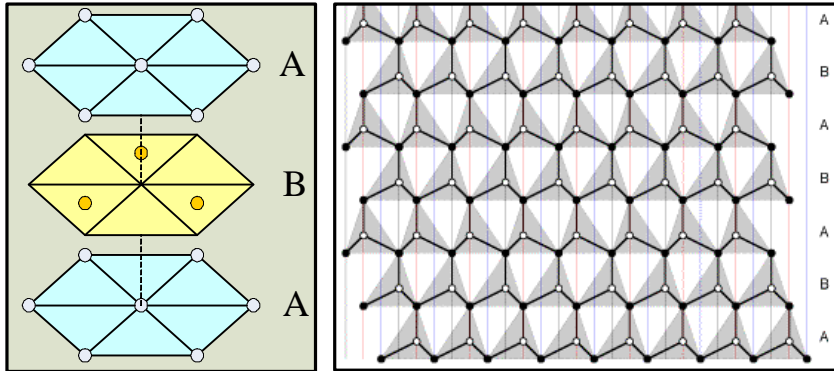


Obr. 2 Hexagonální krystalová mřížka s definicí směru a ploch

Podíváme-li se znovu na *obr. 1c*, všimneme si, že tento polytyp lze rozdělit na tři (4, 6, 15 podle typu SiC) dvouvrstvé vrstvy (na dvojevrstvy). Toto uspořádání je jedinečné pro každý SiC. Rozkreslení polytypu společně se sekvencí vrstvení monokrystalu SiC, lze vidět na *obr. 3*. Pozn.: pro charakteristiku polytypů se (vedle jiných způsobů) používají tzv. ABC symboly a Ramsdelovy symboly. ABC symbolika je vhodná zejména pro popis polytypů založených na nejtěsnějších směštnáních stej-

ných atomů. Každá jednotlivá vrstva může zaujímat polohu A, B nebo C. Sekvence AA, BB, CC u nejtěsnějších směsnání stejných atomů nejsou možné!

- Atom křemíku Si
- Atom uhlíku C
- Označení různých prostorových rovin



Obr. 3 Rozdělení polytypu na tři dvojvrstvy a sekvence vrstvení monokrystalického 2H-SiC

dalšími hojně vyskytujícími se materiály ukazuje tab. 1. Jak lze vypořádat u materiálu SiC, je většina parametrů výrazně lepších (s výjimkou pohyblivosti elektronů) než u Si, což umožňuje značné zlepšení celkových vlastností substrátu použitého jako polovodič.

Jak už víme, 3C-SiC má jako jediný kubickou krystalovou strukturu (stejně jako Si) a tudíž jeho parametry nejsou závislé na směru mřížky viz tab. 1. Lze si, ale povšimnout zhoršené pohyblivosti elektronů v porovnání s Si. Snížením tohoto parametru, se zjednodušeně řečeno, zmenšuje vodivost materiálu. Ta je, ale vykompenzována vodivostí dotující příměsí! V konečném důsledku (jak si ukážeme) je pak materiál SiC, použitý jako polovodič, zatím nepřekonaný.

Parametr	Si	GaAs	4H-SiC	6H-SiC	3C-SiC
Šířka zakázaného pásma [eV]	1,1	1,42	3,2	3	2,3
Relativní dielektrická konstanta	11,9	13,1	9,7	9,7	9,7
Průrazné elektrické pole při $N_D=10^{17} \text{ cm}^{-3}$ [$\text{MV}\cdot\text{cm}^{-1}$]	0,6	0,6	s c-osou: 3	s c-osou: 3,2 ⊥ s c-osou: >1	>1,5
Tepelná vodivost [$\text{W}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	1,5	0,5	3-5	3-5	3-5
Intristická koncentrace nosičů n_i [cm^{-3}]	10^{10}	$1,8\cdot 10^6$	$\approx 10^{-7}$	$\approx 10^{-5}$	10
Pohyblivost elektronů při $N_D=10^{16} \text{ cm}^{-3}$ [$\text{cm}^2\cdot\text{V}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$]	1200	6500	s c-osou: 800 ⊥ s c-osou: 800	s c-osou: 60 ⊥ s c-osou: 400	780
Pohyblivost děr při $N_D=10^{16} \text{ cm}^{-3}$ [$\text{cm}^2\cdot\text{V}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$]	420	320	115	90	40
Nasycená elektronová rychlost [$10^7\cdot\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]	1	1,2	2	2	2,5
Přidávané typy donorů	P,As	Si	N,P	N,P	N
Přidávané typy akceptorů	B	Be, Mg, C	Al, B	Al, B	Al
Komerčně vyráběné (rok 2003) pláty [cm]	30	15	8	8	-

Tab.1 Porovnání základních elektrických vlastností Si, GaAs a SiC

V první části obr. 3 vidíme rozdělení na tři vrstvy (dvojvrstvy). Ve struktuře se opakuje sekvence dvou různě uložených vrstev. Tyto dvojvrstvy si lze představit jako plochu složenou z atomů křemíku spojeného s plochou atomů uhlíku. Samozřejmě pro 3C-SiC, 4H-SiC, 15R-SiC a 6H-SiC bude sekvence vrstvení jiná, ale stejně popsána.

Elektrické vlastnosti nejběžnějších polytypů SiC s porovnáním se dvěma

3. Elektrické vlastnosti a výhody

Tři základní hlavní parametry, ve kterých převyšují SiC nad Si jsou: tepelná vodivost, velikost průrazného elektrického pole a velká šířka zakázaného pásma energií. Všechny veličiny ukázané v *tab. 1* jsou rozdílně teplotně závislé. Nízká anizotropní pohyblivost elektronů 6H-SiC je hlavním důvodem vyšší popularity 4H-SiC. Široké pásmo zakázaných energií a nízká intrinzická (vlastní) koncentrace nosičů dovoluje pracovat polovodiči ve velmi vysokých teplotách na rozdíl od křemíku. Intrinzická koncentrace nosičů je přímo úměrná N_c a N_v , což jsou hustoty stavů vyskytující se ve vodivostním a valenčním pásmu. Nicméně následkem tepelné roztažnosti mřížky a vazeb fononů (tzv. kvazičástice šířící vibrační kvantum v krystalové mřížce) má tato koncentrace exponenciální průběh na teplotě (stejně jako šířka pásma zakázaných energií). Tedy koncentrace intrinzických nosičů je důležitý parametr polovodiče, protože zbytkový proud v polovodičích je normálně úměrný n_i nebo dokonce n_i^2 . SiC má v daném rozsahu teplot jen zanedbatelné množství koncentrace intrinzických nosičů, takže vodivost je úmyslně ovládána prostřednictvím dotující příměsi.

Jak se teplota zvyšuje, intrinzická koncentrace nosičů se zvyšuje exponenciálně. Zbytkový proud se zvyšuje nepřijatelně a až při vysokých teplotách se stane vodivost neovladatelná, protože vlastní nosiče převyšují dotovanou příměs. V závislosti na provedení konkrétní součástce intrinzická koncentrace nosičů křemíku omezuje práci polovodičového přechodu na méně než 300 °C. Mnohem menší intrinzická koncentrace nosičů SiC dovoluje součástce pracovat při extrémních teplotách přechodu (převyšující teoreticky 800 °C), přičemž byla experimentálně ověřena teplota 600°C.

Momentálně je těžké, si představit práci při takovýchto teplotách hlavně z důvodu omezení použitých pouzder. Polymerové pouzdra a nynější způsoby pájení jsou pouze pro „nízké“ teploty. Pouzdra LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic) jsou považovány za slibné druhy uložení SiC čipů. Ale pouzdra LTCC mohou drasticky zhoršit manipulační schopnosti v porovnání s nynějšími součástkami. Proto aplikace pro velmi vysoké teploty budou muset vyčkat až do vyvinutí vyhovujících pouzder, které se přirozeně vyvíjí.

Vysoké průrazné elektrické pole a vysoká tepelná vodivost SiC spolu s vysokými pracovními teplotami dovolí polovodiči přenášet extrémně vysoké hustoty energie a výkonu.

Porovnáme-li vysoké průrazné napětí SiC s Si, pak při stejném závěrném napětí bude součástka SiC asi 10x tenčí a 10x více dotována, což je ve finále zhruba 100 násobné snížení rezistence blokující oblasti a s tím 100 násobné zmenšení délky čipu viz *obr. 9b*.

Vysoké průrazné napětí a široká oblast zakázaných energií SiC umožňuje vyrobit extrémně rychlé výkonové součástky. Proto výkonové měniče používající součástky na bázi SiC, mohou pracovat ve vyšších spínacích kmitočtech s vyšší účinností (menší spínací ztráty). Použití vysokých spínacích kmitočtů u měničů je velmi žádoucí, protože dovoluje použití menších kapacit, indukčností a transformátorů, které v konečném důsledku sníží celkovou velikost a hmotnost.

Menší odpor při sepnutém stavu a rychlejší spínací kmitočet SiC pomáhá minimalizovat energetické ztráty, a tím pádem nižší vytváření tepla. Vyšší tepelná vodivost umožňuje účinnější odvod tepla ze součástky. Důležité je si také uvědomit, že vyzařování tepla se značně zvyšuje s rostoucím teplotním rozdílem mezi součástkou a okolím. A tedy čím větší pracovní teplota součástky, tím je účinnější její chlazení. Schopnost součástky (na bázi SiC) pracovat ve vysokých teplotách, dovoluje mnohem účinnější chlazení a tedy menší chladicí systém nebo jeho úplnou eliminaci.

Dotování SiC polovodičů příměsí funguje na stejném principu jako u Si. Elektricky aktivní příměsí nahradí prázdná místa v krystalové mřížce. Dotující prvky jsou uvedeny v *tab. 1*. Kde hliník je nejběžnější pro typ P, protože má nejnižší aktivační hladinu akceptoru (asi 300meV).

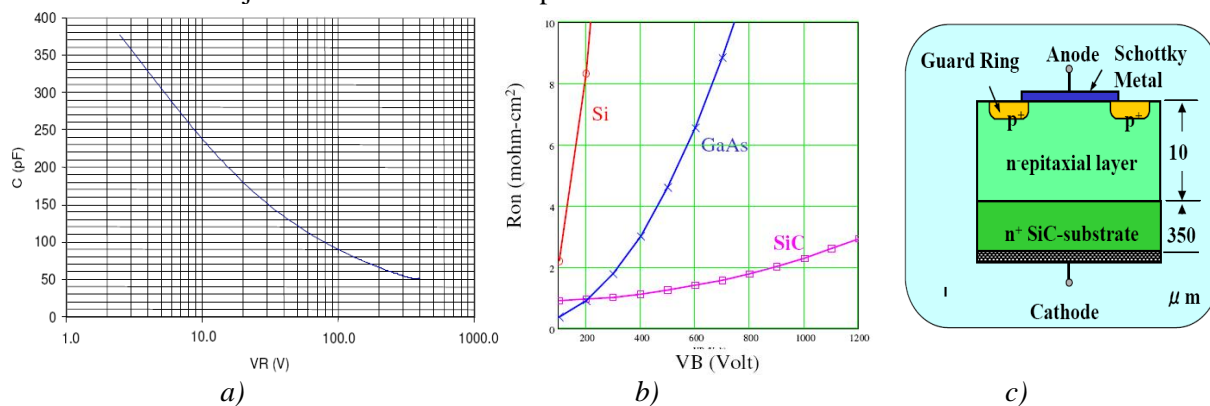
4. Schottkyho SiC SBD diody

Tomuto typu diod je věnována větší pozornost z důvodu jejich perspektivy a asi největší dostupnosti (hlavně díky firmám CREE a INFINEON).

SBD na bázi SiC budeme porovnávat s Si PiN (struktura je na *obr. 7a*) diodami, protože SBD na bázi Si není vyrobitelná do tak vysokého závěrného napětí!

SiC SBD (Schottky barrier diode) jsou momentálně komerčně přístupné v rozsahu 600V-1200V/1-30A. Strukturu řezu přechodu SBD vidíme na *obr. 4c*. Polovodič obsahuje navíc epitaxní vrstvu pro zvýšení závěrného napětí a doplňující ochranný PN přechod. Hlavní výhodou SBD jsou

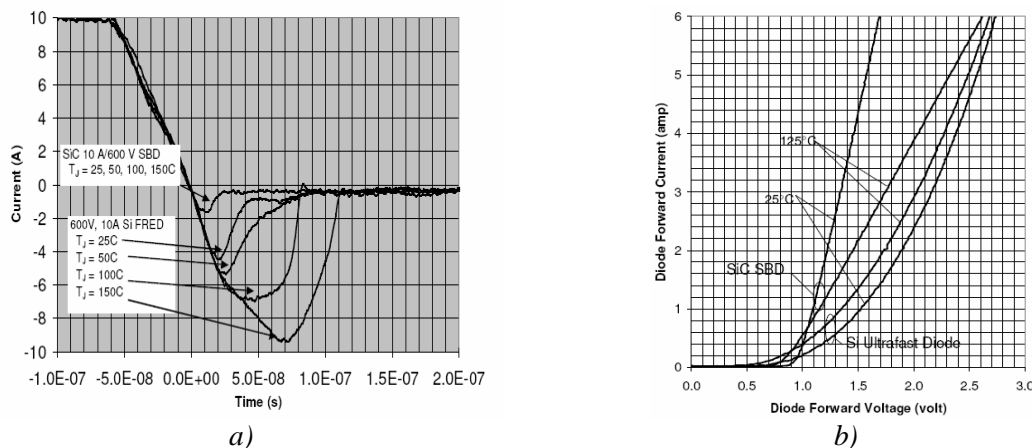
jejich dynamické vlastnosti (obecně dány přechodem kov-polovodič). Zotavovací náboj přechodu je < 20 nC a je následkem kapacity přechodu (obr. 4a) a ne následkem hromadění minoritních nosičů v oblasti PN přechodu, jak je běžné u Si PiN diod. Mimo to, na rozdíl od Si diod je tento náboj nezávislý na di_f/dt , I_f a teplotě čipu. Toho všeho lze dosáhnout při maximální pracovní teplotě přechodu SiC SBD 175 °C. Protože vyšší průrazné elektrické pole SiC nám dovolí více dotovat polovodič, má toto za následek větší vodivost v sepnutém stavu. Vodivosti v propustném směru SiC SBD, Si a GaAs diod v závislosti na jmenovitém závěrném napětí diod můžeme vidět na obr. 4b.



Obr. 4. a) Kapacita přechodu v závislosti na závěrném napětí. b) porovnání vodivosti v závislosti na jmenovitém závěrném napětí. c) Struktura řezu SBD.

Tyto průběhy dále taky vypovídají o ztrátách v propustném směru.

Jelikož polovodič SiC má širší pásmo zakázaných energií, je napětí potenciálové přehrady větší a to je důsledkem extrémně malého závěrného proudu i při vysokých teplotách. Kapacita přechodu v závislosti na závěrném napětí je vynesena na obr. 4a. Při 300 V je vstupní kapacita asi 50 pF, což je srovnatelná hodnota s nízkonapěťovou Si Schottkyho diodou.



Obr. 5. a) Komutace SiC SBD 10 A / 600 V v porovnání s Si FRED 10 A / 600 V. b) charakteristiky v propustném směru SiC SBD a Si FRED.

Obr. 5b ukazuje typickou teplotní závislost charakteristik v propustném směru 5 A / 1200 V 4H-SiC SBD a Si FRED (Fast REcovery diode). Odpor v sepnutém stavu se zvětšuje s teplotou z důvodu snížení pohyblivosti elektronů. $U_f \approx 1,6$ V je při jmenovitém proudu a teplotě přechodu 25 °C. Pro teplotu 125 °C pro stejné U_f je jmenovitý proud $\approx 2,4$ A. Tento záporný teplotní koeficient propustného proudu umožňuje paralelní spojení více SiC diod v pouzdře, což se běžně používá. Toto chování od Si diod nelze očekávat.

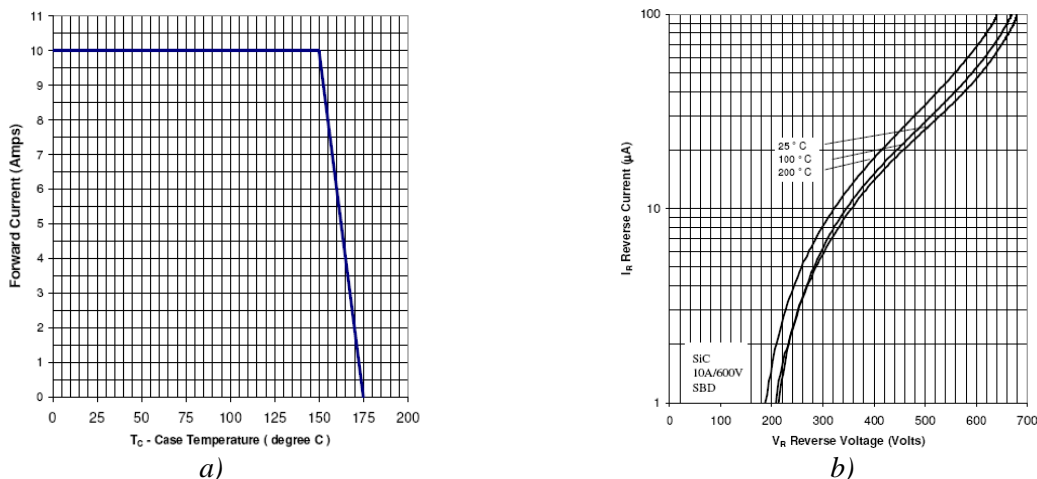
Obr. 5a názorně ukazuje komutaci SiC SBD 10 A / 600 V a Si FRED 10 A / 600 V při různých teplotách. U SiC SBD nedochází k akumulování náboje minoritních nosičů injektovaných do kvazineutralních oblastí PN přechodu při změně napětí. U SiC SBD se vedení proudu účastní pouze majoritní nosiče a tedy difúzní kapacita přechodu je mnohem menší. Což má za následek malý akumulovaný

náboj a jeho rychlé odvedení při komutaci. Avšak je potřeba, jakýsi vybíjecí proud pro vybití kapacity přechodu (z obr. 5a je < 2 A). U SiC SBD je tento vybíjecí proud nezávislý na teplotě, I_f a di/dt na rozdíl od Si diody, u které se tyto parametry s teplotou mění přímo drasticky. Například na obr. 5a je Q_{rr} Si FRED přibližně 160 nC při pokojové teplotě a asi 450 nC při 150 °C, zatímco u SiC SBD je tento náboj mnohem menší a nezávislý na okolních vlivech. Toto nadměrné množství Q_{rr} u Si FRED zvyšuje její spínací ztráty. V aplikacích jako jsou spínané zdroje a aplikacích řízení motorů jsou takové ztráty dominantní. Např. firma CREE uvádí, že se spínací ztráty SiC SBD diody zmenší až o 80 %. A v případě použití diody jako nulové, pak sníží také spínací ztráty použitého Si tranzistoru až o 50 %!

Obr. 6a nám v praxi ukazuje důsledek tepelných vlastností substrátu SiC. Při 150 °C by dioda na bázi Si materiálu byla na konci svých možností, kdežto materiál SiC a s ním i dioda má stále vlastnosti jako při 25 °C. Přičemž maximální dovolená teplota přechodu je 175 °C a maximální dovolená teplota pouzdra je 150 °C. SiC substrát je totiž uložen v klasickém pouzdru TO 220.

Obr. 6b je vynesena teplotní závislost závěrného proudu na teplotě 10 A / 600 V SiC SBD. Typická hodnota závěrného proudu je 50 μ A při 25 °C a 70 μ A při 200 °C, což jsou pro výkonové diody zanedbatelné hodnoty. Tyto hodnoty proudu se v literatuře uvádí jako nevýhoda SBD.

Kvalita SiC substrátu byla zlepšována (a stále je) posledních 5 let. Nyní je tedy možné elegantně pokrýt velkou výkonovou oblast čipů. Jako příklad lze uvést SiC SBD 30 A / 600 V. Jak bylo zmíněno výše, paralelním spojením tří čipů lze velmi jednoduše vytvořit (samozřejmě v jednom pouzdře, protože čipy musí mít stejnou teplotu) diodu 80 A / 600 V se závěrným proudem 125 μ A při 25 °C.



Obr. 6. a) Snížení proudového zatížení pro 10 A/600 V SiC SBD. b) Charakteristika závěrné oblasti 10 A/600 V 4H-SiC SBD.

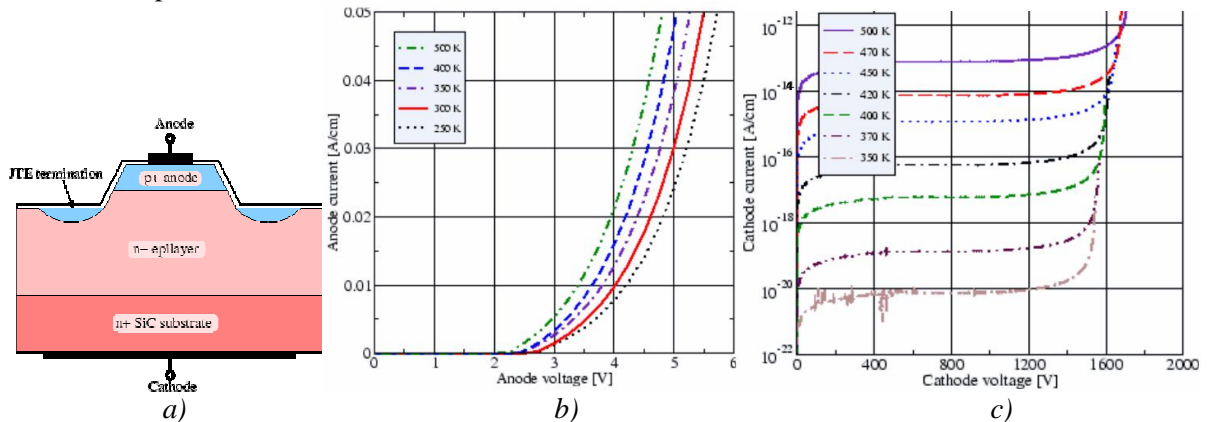
5. SiC diody s PiN (PN) přechodem

Jestliže vyžadujeme větší závěrné napětí, ochuzená vrstva musí být tlustší a méně dotovaná. To vede ke zvětšenému odporu v propustném stavu a snížení maximální hustoty proudu v propustném směru. V bipolárních součástkách jako PiN dioda, BJT, a GTO, injekce minoritních nosičů do ochuzené vrstvy je doprovázena zvýšením hustoty majoritních nosičů k tomu, aby byla udržena nábojová neutralita. Tyto další nosiče náboje zvýší vodivost a tedy odpor při sepnutí je menší. To představuje výhodu PiN SiC diod nad SBD.

Protože má substrát SiC větší šířku zakázaných energií než křemíkový substrát, musí se v závislosti na tomto zvětšit difúzní napětí PN přechodu. Typický úbytek napětí PiN SiC diody je okolo 3V viz obr. 7b. Tedy celkový ztrátový výkon diody je určen napětím přechodu a odporem v propustném směru ochuzené vrstvy. Dioda SiC PiN má tedy menší odpor v propustném směru, ale větší úbytek na diodě oproti SiC SBD.

Výhoda menšího odporu v propustném směru je částečně kompenzována vyšším napětím v propustném směru PiN diody ve srovnání s SBD. Jak je závěrné napětí zvětšováno, odpor v tomto směru tvořený odporem ochuzené vrstvy se stává dominantním a dává diodě PiN výhodu nad SBD. Obr. 7c ukazuje charakteristické rysy závěrného napětí SiC PiN diody. Tato dioda blokuje 1600 V pro 4H-SiC a mírně vyšší napětí pro 6H-SiC kvůli jeho vyšší průrazné intenzitě elektrického pole. Kladný tep-

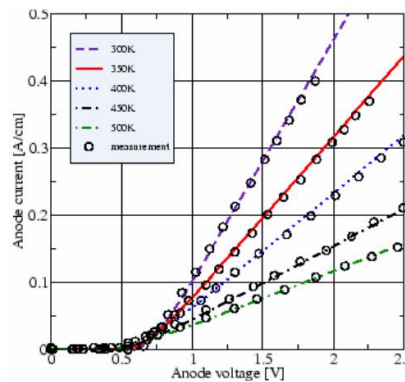
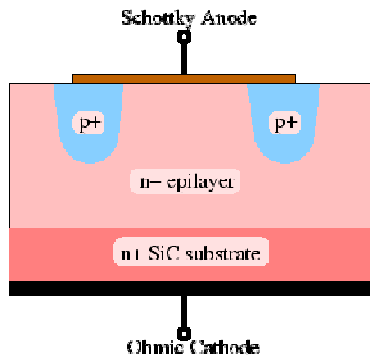
lotní součinitel může být pozorovaný v závěrné charakteristice PiN diody. V závěrné oblasti má SiC PiN dioda lepší vlastnosti než SiC SBD.



Obr. 7. a) Struktura PiN diody. b) propustná oblast PiN 6H-SiC diody. c) závěrná oblast

6. MPS diody

MPS (Marged PiN Schottky) slučují výhody SBD a PiN diod. To jest, slučují vynikající dynamické vlastnosti SBD spolu s vyhovující propustnou charakteristikou a vynikajícími vlastnostmi PiN diod v závěrné oblasti. Jak vidíme na obr. 8, při přiložení závěrného napětí je aktivní PiN přechod a naopak při přiložení propustného napětí je aktivní přechod kov-polovodič.



Toto je zjednodušený princip MPS diody. Propustná oblast je vidět na obr. 7c. Pozn.: tři poslední VA charakteristiky jsou vyneseny také s vlivem (A/cm) délky epitaxní vrstvy konkrétní diody, která je v našem případě rovna 10,5 μm .

Obr.8. Struktura MPS diody a propustný směr MPS diody

7. Aktuální stav SiC součástek

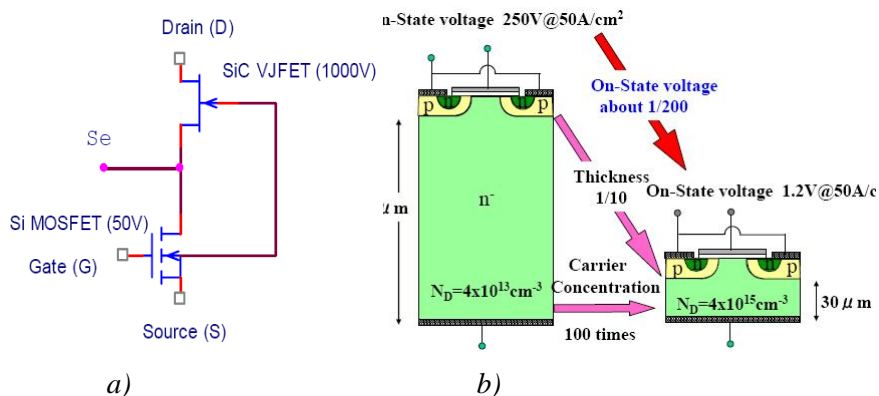
V posledních letech jako prototypy. Jejich spolehlivost v počátku byla mizerná (což se více či méně očekávalo). Se zlepšením kvality monokrystalických plátů SiC nastala drastická změna a součástky začaly být spolehlivější.

Součástky, které jsou vyráběny jako prototypy jsou MOSFET, JFET, SIT, a v poslední době BJT transistory. Hlavními hráči v této oblasti jsou: NASA Glenn, Cree, SemiSouth, Northrop Grumman, Rockwell Scientific, GE, Purdue University a SiCED.

Nejčastěji dostupné JFET / SIT (jsou téměř stejné až na rozdíly ve vzdálenostech ve struktuře) jsou klasické součástky, které potřebují záporné napětí na svorce GATE, aby došlo k vypnutí. JFET (MESFET) / SIT byly vyvinuty především pro RF aplikace. S JFET transistory souvisí používání kaskádních struktur (schéma je na obr. 9a). Tyto získávají důležitost ve výkonovém polovodičovém průmyslu. Kaskádní spojení obsahuje SiC JFET i klasický Si MOSFET. Taková struktura se používá pro výkonové spínače a v ochranných obvodech. Součástka má 4 vývody. Pomocí pinu (Se) lze SiC JFET jakoby izolovat a charakterizovat odděleně. MOSFET je dimenzovaný na nízké napětí a nízkou teplotu. MOSFET ovládá vysokonapěťový a vysokoteplotní JFET. Pomocí MOSFETu je buzení takovéto součástky velmi snadné. Odpor v sepnutém stavu je nízký kvůli malému odporu driftové oblasti SiC JFET. Hlavní nevýhodou JFET je jejich normální stav, ve kterém jsou sepnuty. A tedy krátká změna napětí v budícím obvodu sepne všechny JFETy ve výkonovém obvodu a ty se mohou zničit nebo zničit své okolí.

MOSFETy na bázi SiC dělíme na: UMOSFET, DMOSFET a MESFET. Kde UMOSFET byl prvním realizovaným SiC MOSFETem. Tento typ trpí několika problémy související s vertikální strukturou tranzistoru. Výhodou je však velmi velké závěrné napětí (až 2000 V).

Obecně transistory MOSFET jsou na tom hůře než JFET, protože přestávají být spolehlivé při teplotě přechodu okolo 200 °C. Toto vylučuje MOSFETy z vysokoteplotních aplikací, tedy alespoň do té doby než dojde ke zkvalitnění izolačního oxidu. Dynamicky jsou na tom SiC tranzistory velmi dobře (byl vyroben MESFET s $f_{\max} = 25$ GHz). Další výkonové součástky jako IGBT, GTO tyristory atd. jsou ve fázi výzkumu a nejsou očekávány na trhu v následujících letech. Většina dostupných součástek jsou ještě příliš drahé a nespolehlivé pro hromadnou výrobu.



Obr. 9. a) schéma kaskádní struktury. b) Srovnání 3000V Si a SiC MOSFETů. Přičemž spínací a vypínací časy SiC se pohybují v desítkách ns a R_{on} může být až $4 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$.

Literatura

- [1] www.cree.com
- [2] www.nasa.gov
- [3] Ayalew, T.: SiC Semiconductor Device Technology, Modeling, and Simulation. In *Diploma thesis*. Wien, Januar 2004.
- [4] Avinash S. Kashyap, B. Tech.: Compact Modeling of Silicon Carbide Junction Field Effect Device. In *Diploma thesis*. Arkansas, May 2005.
- [5] Brandštetter, P.: Elektronika. In *skriptum VŠB-TU*. Ostrava, 1999. ISBN 80-7078-966-2

Současné možnosti akumulace elektrické energie ve fotovoltaických aplikacích

Petr Křivák, Petr Bača

Ústav elektrotechnologie, Vysoké učení technické v Brně, Údolní 53, 602 00 Brno,
krivak@feec.vutbr.cz, baca@feec.vutbr.cz

Abstrakt:

Příspěvek rozebírá možnosti jednotlivých alternativních sekundárních zdrojů elektrické energie, které připadají do úvahy k akumulaci elektrické energie pro fotovoltaické (pv) systémy

Úvod

Životní úroveň velkého podílu světové populace je omezená nedostatkem dodávky energie. Finální zpráva G8 úkolového uskupení o obnovitelných zdrojích uzavřelo svou zprávu tím, že „moderní energetické služby jsou základem k ekonomickému, sociálnímu, a politickému rozvoji a jsou podstatné pro udržení lidského života a zlepšení lidského blahobytu“ [1].

Odhad Světové banky hovoří o tom, že cca dvě miliardy lidí žijí bez přístupu k elektřině a další miliony mají přístup k elektrické energii omezený. Obyvatelstvo žijící mimo dosah rozvodných systémů velkých elektráren mohou využívat energii jen z tzv. autonomních energetických systémů RAPS (remote area power supply systems).

Úsilí přivést elektřinu dosud zanedbaným oblastem by mělo být součástí snahy o udržitelný rozvoj v globálních podmínkách. V tomto kontextu, udržitelný rozvoj byl definován [2] tímto způsobem: „udržitelný rozvoj je vývoj který splní potřeby současnosti bez omezení schopnosti budoucí generace vyhovět svým vlastním potřebám“. Tedy technický vývoj vedoucí ke zlepšení dostupnosti elektřiny by měl uchovat zemské zdroje (minerály, atd.) a chránit životní prostředí, při zlepšování životních podmínek lidí.

V mnoha vzdálených oblastech, je nyní primárním způsobem vytváření elektřiny dieselový generátor. Zatímco generátory jsou relativně levné a snadno instalovatelné, používají drahou naftu a produkují významná množství emisí, včetně skleníkových plynů. Logická cesta k získání většího objemu elektrické energie ve shodě s udržitelným rozvojem je využít skutečnosti, že v průměru, 235W slunečního záření dosáhne povrchu země [3] a to znamená využívat obnovitelný zdroj energie.

V RAPS aplikacích musí splňovat sekundární elektrochemické zdroje (akumulátory) následující kritéria:

- spolehlivost za specifických PV podmínek
- nízké samovybíjení
- nulový požadavek na údržbu
- vysoká nabíjecí účinnost
- široká provozní teplota
- robustní design
- nízké Wh náklady
- vysoká koncentrace energie na jednotku objemu i hmotnosti
- bezpečnost
- uskladnění i použití v jakékoli pozici
- možnost dlouhodobého stání ve vybitém stavu

Existují tři alternativní, komerčně dosažitelné typy akumulátorů, které splňují většinu výše uvedených kritérií, a zvláště splňují „kritické“ požadavky na bezpečnost, bezúdržbovost a cenu. Jsou to:

Ni-Cd (Nikl Kadmiové) akumulátory

Ni-Cd akumulátory mají následující atributy: osvědčená spolehlivost za extrémních provozních stavů, vysoká hustota energie na jednotku hmotnosti i objemu ($100\text{Wh}/\text{dm}^3$), dobrá tolerance na přebíjení i převybití (přepólování), malé samovybití, odolnost proti zvýšeným teplotám. Také životnost je více než 500 cyklů nabití/vybití při 80% DOD. Na druhé straně Ni-Cd akumulátory jsou dražší než adekvátní VRLA (cca 700 Euro/kWh), cena je 6-8 krát větší. Baterie jsou také citlivé na tzv. paměťový efekt. Jeden z mála výrobců, který vyrábí produktovou řadu speciálně pro PV aplikace je francouzská fa. SAFT s výrobkem SUNICA PLUS. Technologie výroby není veřejně prezentovaná, předpokládáme, že mají sintrovanou pozitivní elektrodu a plastem pojenou zápornou. Jejich udávaná životnost je 20 let, ovšem pouze při 15% DOD vytěžování. Jedná se o zaplavenou konstrukci s doplňovacím systémem vody, bez rekombinace plynů vznikajících při nabíjení.



Obr. 1.: Ni-Cd akumulátor SUNICA PLUS výrobce SAFT

Je potřeba připomenout největší problém, a tím je ohrožení životního prostředí i člověka při výrobě i recyklaci Ni-Cd baterií, kdy oba kovy jsou jedovaté a Cd je vysoce nebezpečný karcinogenní kov. Proto výrobce musí zabezpečit zpětný odběr a recyklovatelnost svých výrobků (SAFT udává recyklovatelnost 99,9% všech kovových součástí). Pro výše uvedené problémy se na celém světě upouští od výroby těchto akumulátorů a jako neperspektivní systém je opuštěn.

Ni-MH (Nikl Metal Hydridové) akumulátory

Ni-MH články mají vynikající objemovou koncentraci energie, typicky $300\text{Wh}/\text{dm}^3$. Také životnost je více než 500 cyklů nabití/vybití při 80% DOD. Ačkoliv Ni-MH akumulátory mají podstatně větší kapacitu a výkon na jednotku hmotnosti i objemu než olověné akumulátory, jsou výrazně dražší (1100 Euro/kWh). Cena je tak 10 až 12krát větší než ekvivalentní olověný VRLA. Je to především kvůli ceně slitiny prvků titan-zirkon, která je užívaná ve výrobě Ni-MH akumulátorů. Také současná technologie výroby Ni-MH akumulátorů je složitá a drahá. Navíc Ni-MH mají relativně vysoké samovybití a je problematické určit stav plného nabití (článek Ni-MH má málo výrazný pokles napětí po dosažení plného nabití). Tím se zvyšuje pravděpodobnost přebití, nadměrného vytváření tepla, špatně určené kapacity a kratší životnosti. Řídící metody nabíjení jsou tudíž komplexní a založené na následujících technikách:

- hlídání růstu teploty na konci nabíjení dT/dt
- detekce maximálního napětí

- hlídání poklesu napětí článku po dosažení maxima $-dV/dt$

Výrobců, kteří vyrábějí Ni-MH akumulátory speciálně pro PV aplikace je více (SAFT, SEC), jako příklad si vezměme opět francouzský SAFT s typem NHE, který je bezúdržbový se 100% rekombinací plynů. Protože je citlivý na teplotu, podle způsobu provozu jej výrobce vybavuje chladicím systémem. Kladná elektroda je pěnová (FOAM), záporná nikl metal hydridová (slitina typu AB5).

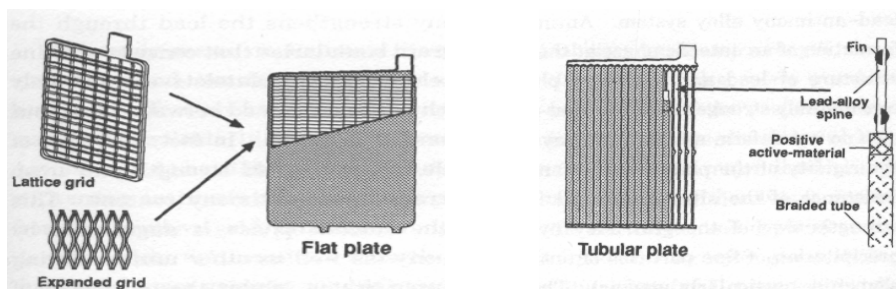
Celkově lze říct, že Ni-MH baterie jsou dobrým kompromisem mezi výkonem, energetickou spotřebou a cenou pro dražší produkty, jako jsou např. přenosné počítače, bezdrátové spotřebiče a komunikační zařízení.



Obr.2: Ni-MH akumulátor fy. SAFT typ NHE

Olověné akumulátory

Díky níže uvedeným vhodným vlastnostem se na celém světě v PV aplikacích používá z 99 % olověný akumulátor. Tyto akumulátory lze podle provedení rozdělit na dva základní typy: otevřené akumulátory se zaplavenou konstrukcí a akumulátory bezúdržbové ventilem řízené (VRLA). Další dělení může být podle typu elektrod na akumulátory s elektrodami deskovými a akumulátory s elektrodami trubkovými (někdy též nazývané pancéřové).



Obr.3: deskový typ elektrod

a

trubkový typ elektrod

Deskové olověné akumulátory se zaplavenou konstrukcí (automobilový design) jsou cenově jednoznačně nejvýhodnější (50 Euro/kWh), nicméně na úkor hustoty energie na jednotku objemu (50 Wh/dm³). Také životnost tohoto systému je pouze 0,5 až 3 roky podle podmínek provozu. Díky ceně se tento typ akumulátoru používá v PV aplikacích v rozvojových zemích pro domácí solární systémy. Díky malé životnosti však celkové náklady stoupají.

Trubkové olověné akumulátory se zaplavenou konstrukcí vykazují mnohem větší životnost – cca 8 let při 50 % DOD a jejich cena se pohybuje kolem 150 Euro/kWh. Tento typ se používá ve velkých, stacionárních PV aplikacích se zaškolenou obsluhou (velké elektrárenské systémy na bázi PV, nebo hybridních systémů, venkovských elektrifikací, domácích aplikací). Příkladem může být typ SEC-T-RANGE (USA) s garantovanou životností 2000 cyklů při vytěžování 80% DOD v každém cyklu.

Při jejich použití pro PV aplikace nastává výrazná stratifikace kdy dochází k hromadění elektrolytu o vyšší koncentraci u dna nádoby s důsledkem postupné nevratné sulfatace elektrod akumulátoru

a ukončení životnosti. Tomuto problému lze předejít nuceným pohybem elektrolytu. Pohyb je obstaráván buď speciálním míchacím zařízením, nebo upraveným dobíjecím režimem s úmyslným vývinem plynů při přebíjení. Základní problém akumulátorů se zaplavenou konstrukcí však spočívá ve vlastní konstrukci, která klade zvýšené nároky na obsluhu. Tyto akumulátory nejsou bezúdržbové a vyžadují kontrolu stavu elektrolytu s doléváním destilované vody. Olověné akumulátory se zaplavenou konstrukcí není možno provozovat v jakékoli poloze.



Obr.4: Olověný akumulátor zaplavené konstrukce fy SEC (USA), model SEC-T-RANGE, kladná elektroda trubková, záporná elektroda desková pastovaná

VRLA akumulátory mají dva rozdílné koncepty znehybnění elektrolytu uvnitř článků akumulátoru, a to elektrolyt nasáknutý v pórech separátoru ze skelných vláken (AGM) a elektrolyt ve formě gelu.

VRLA akumulátory s deskovým typem elektrod ať už AGM, nebo GELové konstrukce vykazují středně dlouhou životnost – cca 5 let a cena je kolem 100 Euro/kWh. AGM akumulátory na rozdíl od GELových vykazují problémy především s částečnou stratifikací a může u nich docházet k teplotnímu zkratu (thermal runaway), proto výrobci začali dávat přednost GELové konstrukci. Tento typ akumulátoru se často používá pro malé profesionální PV aplikace např. v telekomunikacích.

VRLA akumulátory používající trubkovou konstrukci elektrod se znehybněným GELovým elektrolytem nevyžadují údržbu po celou dobu života - tj. cca 8-10 let. Nevýhodou je cena, která přesahuje 200 Euro/kWh. Jejich použití je pro vysoce profesionální systémy s důrazem kladeným na spolehlivost a životnost bez ohledu na výši nákladů.

Akumulátory typu AGM jsou značně citlivé na pracovní teplotu, kdy za vysokých teplot může dojít k teplotnímu zkratu (thermal runaway) s výsledkem generování velkého množství kyslíku (který rekombinuje exotermicky na záporné elektrodě), vysoušení elektrolytu, vzrůstu vnitřního odporu článku a porušení těsnosti akumulátorové nádoby. V extrémním případě může dojít k roztavení olověných komponent a explozi akumulátoru. Celkově AGM akumulátory nelze používat za extrémních teplotních podmínek a pro řízení jejich činnosti je vhodná teplotní kompenzace. Svým určením jsou vhodné do záložních zdrojů (UPS) s trvalým dobíjením na konstantní napětí. Pro PV aplikace jsou typické nízké vybíjecí rychlosti, hluboké vybíjení a málo časté nabíjení s jen občasným plným nabitím.

Pro tento režim se ukazuje mnohem výhodnější druhý typ VRLA konstrukce s elektrolytem ve formě gelu. GEL-VRLA akumulátory vyvinuté pro PV aplikace používají speciální postupy při výrobě aktivní hmoty s omezením tvorby sulfátů. S tím souvisí konečná vyšší cena těchto akumulátorů.



Obr. 5.: Novinka fy. SEC (USA) – model 2TLGM -VRLA akumulátor deskové konstrukce s AGM separátorem s možností horizontálního i vertikálního uložení. Kromě kyslíkového cyklu je umístěn ve ventilu katalyzátor-minimalizace vývinu plynů a koroze záporné elektrody

Tato práce byla sponzorována výzkumným záměrem MŠMT ČR č. MSM0021630516.

Literatura

- [1] G8 Renewable Energy Task Force, Final Report, July 2001.
- [2] World Commission on Environment Development, Our Common Future, Oxford Press, 1987, s. 43.
- [3] A. Maurellis, J. Tennyson, Phys. World 16 (2003), s. 29.

Mobilní robotika

Karel Košnar

Katedra kybernetiky, Fakulta elektrotechnická, České Vysoké Učení Technické v Praze

kosnar@labe.felk.cvut.cz

Abstrakt:

Příspěvek se zabývá současným stavem mobilní robotiky. Přináší přehled používaných přístupů a metod využívaných při řízení, mapování a lokalizaci robotu. Nastiňuje možnosti využití mobilních robotů v průmyslu i běžném životě člověka.

Úvod

Robot je obvykle elektromechanický stroj, který je schopen vnímat svoje okolí a toto okolí ovlivňovat. Mobilní robot je takový robot, který se dokáže přesunovat v prostoru. Mobilní robot může mít rozdílnou míru autonomie od teleoperovaného až po plně autonomního.

Teleoperovaný mobilní robot pouze vykonává příkazy lidského operátora. Robot může být ovládan úplně (podobně jako autíčko na vysílačku) nebo mohou být některé činnosti částečně autonomní. Takový robot bývá označován za semiautonomní. Plně autonomní robot je schopen činnosti zcela bez lidského zásahu případně je činnost lidského operátora omezena na zadávání cílů robotu, který sám volí nejlepší způsob dosažení zadaného cíle. Nadále budu pojmem mobilní robot rozumět plně autonomní mobilní robot. Tam, kde by hrozila záměna bude explicitně uvedeno, jakou míru autonomie robot má.

Kinematika

Mobilní robot (autonomní i teleoperovaný) může k přesunu využít různé kinematické modely pohybu v závislosti na prostředí, ve kterém se má pohybovat.

Pro pohyb na pevné zemi se nejčastěji používají kolové roboty. Kolo má oproti jiným způsobům pohybu jednoznačně nejlepší účinnost. Pro náročnější prostředí, se dá využít pásových robotů.

Kolové roboty můžeme dále dělit, podle uspořádání kol a jejich os na holomické a neholomické. Holomický robot má fíditelný stejný nebo větší počet stupňů volnosti než je celkový počet generalizovaných souřadnic nutných k popisu polohy robotu. Typickým příkladem neholomického robotu je automobil, který není schopen kontrolovat pohyb ve směru kolmém na podélnou osu automobilu. Holomický robot je vozík vybavený všesměrovými koly, který se může kontrolovaně pohybovat v libovolném směru stejně tak jako otáčet.

Kráčející roboty napodobují přírodu a snaží se pohybovat podobně, jako hmyz nebo savci tedy po dvou nebo více končetinách. Aby byl vůbec pohyb možný, je nutné, aby každá končetina disponovala alespoň dvěma stupni volnosti, (nejčastěji zvednutí a pootočení). Kráčející roboty mají teoreticky lepší prostupnost terénem.

U kráčejících robotů můžeme definovat dva typy pohybu: statickou chůzi a dynamickou chůzi. Při statické chůzi je robot v každém okamžiku ve statické pozici. To je obvyklý případ u čtyř a vícenohých robotů. Při dynamické chůzi se robot v některých fázích pohybu dostává do nestabilní polohy, např. se nedotýká podložky vůbec. Příkladem takového pohybu je běh nebo skákání. Výhodou dynamické chůze je možnost dosažení vyšší rychlosti, než u chůze statické. Nevýhodou je řádově vyšší náročnost na řízení takového stroje a nemožnost zastavit pohyb v každém okamžiku pohybu.

Pro vzdušný prostor se využívají létající roboty. Nejčastěji se jedná o bezpilotní letouny (UAV). Ale i letadlo s pilotem se dá považovat za teleoperovaný robot. Často se využívají pro robotické účely helikoptéry, u kterých se s výhodou využívá jejich schopnost zůstat „na místě“. Využívají se také robotické vzducholodě, které umožňují výrazně snížit hluk při činnosti robotu.

Pro pohyb ve vodním prostředí se využívají nejčastěji robotické ponorky. Pohon v tomto případě obstarává lodní šroub. Zajímavou alternativou je pohyb robotu napodobující pohyb ryb. Jako hlavní motivace slouží výzkum ryb, kde robot napodobující rybí pohyb nenarušuje přirozené chování sledovaných ryb. Plánuje se i nasazení takovýchto robotů v rybolovu, kde robot putující s hejnem ryb předává svou polohu na rybářskou loď.

Řídící architektura

Mobilní roboty můžeme dále dělit podle řídicí architektury. Řídící architektura určuje jak robot plánuje své akce na základě vstupů. Těmito vstupy jsou zejména údaje ze senzorů zprostředkovávající informace o okolí i o vnitřních stavech robotu.

Reaktivní architektura

Reaktivní řídicí architektura je příkladem dekompozice zdola nahoru. Jsou definovány základní moduly robotu představující nejnižší chování robotu. Z těchto modulů jsou postupně (zesponu) sestavovány složitější struktury chování. Celý přístup je orientován na chování robotu (behavior based). Jednotlivé moduly mají přímý přístup k senzorickým datům a výsledné chování je dáno poskládáním výstupů modulů. Prostředí není vůbec nebo jen velmi hrubě modelováno. Prostředí samo o sobě slouží jako svůj model a jsou proto v nejvyšší možné míře využívána přímá senzorická data.

Paradigmatem reaktivní architektury je řetězec sense – act (vnímej a jednej). Typickým uspořádáním u reaktivní architektury je jeden senzor pro každé uvažované chování. Jako příklad uveďme úlohu sledování čáry. Pak můžeme říct, že jeden senzor barvy na levé straně robotu má na starosti zatáčení doleva a druhý senzor na pravé straně ovládá zatáčení doprava. Výsledné chování je dáno součtem těchto dvou vlivů.

Reaktivní architektura je výhodná zejména pro jednodušší úkoly. Její výhodou je vysoký stupeň robustnosti a necitlivosti na nepředpokládané změny prostředí. Svoji neocenitelnou roli hraje ve vysoce dynamickém prostředí. Jednotlivé moduly mají vysoký stupeň znovupoužitelnosti. Nevýhodou reaktivního přístupu je právě nepřítomnost modelu prostředí a tedy možnost uvážnutí v lokálním extrému řídicích funkcí. Na mnohé úlohy robotiky se reaktivní přístup vůbec nedá použít.

Funkční dekompozice

Funkční dekompozice je klasickým přístupem dekompozice shora dolů. Návrh postupuje postupným dělením složitější úlohy na jednodušší podúlohy. Jednotlivé moduly řešící rozložené podúlohy jsou řetězeny za sebe, kdy následující modul využívá výstupu předchozího. Výsledné akce ovlivňuje přímo pouze poslední modul v řetězci. Prostředí je modelováno na různých stupních abstrakce. Jednotlivé moduly tedy nepracují přímo se senzorickými daty, ale pracují s modelem, který vytváří předcházející moduly.

Paradigmatem funkční dekompozice je řetězec sense – plan – act (vnímej, plánuj a jednej). Pokud se přidržíme předchozího příkladu sledování čáry, pak robot nejprve pomocí senzorů, například kamery, vytvoří model světa (čáry). Na základě tohoto modelu vytvoří plán (časový průběh rychlostí koleček) a tento plán potom provádí.

Výhodou funkční dekompozice je schopnost řešit i ty nekomplexnější úlohy. K řešení je možné využít klasických algoritmů umělé inteligence, matematiky, teorie grafů apod. Nevýhodou je distribuce chyb. Chyba v jednom modulu ovlivní všechny následující moduly. Systém se také obvykle nedokáže přizpůsobit situacím, na které nebyl připraven.

Na jednoduchém příkladu sledování čáry můžeme částečně demonstrovat výhody a nevýhody obou přístupů. Jednoduchost úlohy ovšem zvýhodňuje reaktivní systém, neboť výhody funkční dekompozice se uplatňují zejména u složitějších úloh.

U reaktivního přístupu je robot schopen sledovat čáru po jakémkoliv povrchu, případná křížovka nebude mít na jeho chování téměř žádný účinek, přestože v návrhu s existencí křížovatek nebylo počítáno. Na druhou stranu nemusí být schopen projet velmi ostré zatáčky a jeho pohyb určitě nebude optimální. Pokud bude čára přerušena, robot se ztratí.

Funkční dekompozice bude klást na povrch jisté požadavky (např. rovinnost) aby bylo možné vytvořit model. Pokud nebude při návrhu uvažována možnost výskytu křížovatek, mohou způsobit selhání systému. Na druhou stranu, je možné naplánovat globálně optimální trajektorii, která nemusí

kopírovat čáru v místech, které jsou pro robot neprůjezdná. Díky modelu je možné rekonstruovat chybějící části čáry a sledovat její fiktivní polohu.

Odstranění nedostatků a využití předností obou se snaží hybridní architektura. Většina reálně používaných systémů využívá hybridní přístup. Při řešení složitých úloh je možné tyto úlohy dekomponovat a některé části řešit reaktivně zatímco jinde využít modelu prostředí.

Multirobotické systémy

Multirobotické systémy využívají součinnosti několika robotů k dosažení funkcionality přesahující schopnosti jediného robotu nebo tam, kde nasazení více robotů výrazně sníží časovou, energetickou nebo jinou náročnost úkolu. Komunikace, koordinace a kooperace jsou klíčové činnosti multirobotického systému.

Komunikace je nejčastěji realizována rádiovým spojením, ať už se jedná o technologii wi-fi, bluetooth, zigBee nebo proprietární rádiové spojení. Často se také používá optická komunikace (IrDA). Komunikace ovšem nemusí být explicitní a je možné použít i komunikaci založenou na modifikaci společného prostředí, nejčastěji použitím značek. Jako komunikaci můžeme využít i sledování chování ostatních členů týmu.

Koordinace je zajištění koherentního chování jednotlivců ve skupině. Cílem koordinace je zajistit, aby činnost jednoho člena týmu negativně neovlivnila činnost jiného člena. Typickým příkladem koordinovaného chování je pohyb ve formaci. K zajištění koordinace je nezbytně nutná nějaká forma komunikace nikoliv však nutně komunikace explicitní. Pro zajištění pohybu ve formaci stačí komunikace ve formě pozorování činnosti ostatních. Informace o pozici ostatních spolu s několika málo pravidly zajistí koordinované chování celé skupiny.

Kooperace je nejvyšší forma skupinového chování. Kooperace, tedy spolupráce, je činnost při které je také vyžadována komunikace. Při spolupráci je dosahováno takových cílů, k jejichž dosažení nestačí schopnosti jediného robotu. Takovou činností může být například spolupráce při přesunu velkého břemene, kterým jediný robot není schopen pohnout. V multirobotických systémech nemusí být kooperace přítomna.

K dosažení skupinového chování multirobotického systému jsou využívány dva základní přístupy centralizovaný a distribuovaný.

Centralizovaný přístup

Centralizovaný přístup je výhodný zejména při návrhu řešení. Existuje v něm jeden centrální prvek, který zajišťuje komunikaci, koordinaci a případně kooperaci a který má přístup k informacím od všech členů týmu. To je zároveň i nevýhoda centrálního přístupu. Tento centrální prvek je úzkým hrdlem celého systému. Pokud centrální prvek přestává fungovat nebo je jenom komunikačně nedostupný, přestávají fungovat všechny prvky systému.

Distribuovaný přístup

Distribuovaný přístup řešení problému rozprostírá na všechny členy týmu. V případě selhání libovolného prvku systému je zbytek systému schopen činnosti. Stejně tak přerušení komunikace narušuje činnost systému tak výrazně.

Multiagentní přístup je jedním z distribuovaných systémů řízení skupiny robotů. Rozdělování úkolů, koordinace a kooperace je řešena pomocí vyjednávání. Každý agent má své individuální cíle a schopnosti. Tyto schopnosti nabízí ostatním a naopak ostatní využívá k řešení svých individuálních cílů. Typickým mechanismem je aukce a vyjednávání.

Rojová robotika (swarm robotics) je distribuovaný přístup založený na interakci velkého množství velmi jednoduchých jedinců. Inspiraci čerpá u sociálního hmyzu jako jsou mravenci, termiti vosy apod. Složitější chování vyvstává z interakce mezi jedinci (emergence behavior). Velmi často je využívá nepřímé komunikace prostřednictvím modifikace prostředí. Prostředí se v takovém případě stává nedílnou součástí řídicího procesu.

Hybridní týmy

Zajímavou oblastí mobilní robotiky jsou hybridní týmy. Členové týmu jsou mobilní roboty spolu s lidmi. Metody řízení takového týmu se výrazně liší od řízení čistě robotického týmu. Výzvou v hybridním týmu je zejména sdílení znalostí mezi lidmi a stroji. Jak zprostředkovat informace robotů

lidem a opačně. Lidé a roboty potřebují odlišnou reprezentaci znalostí k tomu, aby s nimi byli schopni pracovat.

Při převádění informací od robotů lidem se spolupracuje i s psychology aby bylo dosaženo optimálního předávání informací. Informace je třeba filtrovat a uspořádat tak, aby člověk byl schopen přijmout a zpracovat co možná nejvíc relevantních informací s co možná nejmenší zátěží.

Obrácený postup je stejně náročný. Člověk musí být schopen předávat své znalosti a informace robotům. Opět je třeba navrhnout způsob předávání informací tak, aby lidem připadal jednoduchý a pohodlný.

Problematiku hybridních týmů a řešení jednotlivých úloh ověřoval evropský projekt *PeLoTe – Building Presence Through Hybrid Telematic System* na jehož řešení se významně podílela i Katedra kybernetiky ČVUT.

Lokalizace

Každý mobilní robot řeší základní otázky, „Kde jsem?“, „Kam se chci dostat?“ a „Jak se tam dostanu?“. Aby byl robot schopen si odpovědět na tyto otázky musí být schopen vnímat svoje prostředí, lokalizovat se v něm a naplánovat cestu.

Nejjednodušší metodou lokalizace je lokalizace na základě informací o změnách vnitřního stavu robotu (dead reckoning). Nejrozšířenější je určování polohy robotu z odometrie, tedy integrace polohy na základě otáčení kol robotu. všechny metody založené na dead reckoning jsou zatíženy kumulativní chybou. Malé chyby v senzorických datech se časem sčítají až dosáhnou takové hodnoty, že je výsledná poloha nepoužitelná. Přesto se tato lokalizace používá často, avšak většinou jako součást složitější lokalizace a informace jsou skládány s dalšími informacemi od jiných senzorů.

Další možnou metodou je lokalizace využívající aktivních prvků (majáků) dodaných do prostředí, ve kterém se robot pohybuje. Taková lokalizace je i lokalizace prostřednictvím GPS, která využívá družic rozmístěných na oběžné dráze. Ve vnitřních prostorech se využívá majáků vysílajících ultrazvukové nebo světelné signály. Poloha robotu je určena vzhledem k jednotlivým majákům a není třeba mít mapu prostředí.

Lokalizace může probíhat vůči existující mapě prostředí. Protože mapu obvykle nemáme k dispozici, řeší se problém současné lokalizace a mapování (SLAM). V tomto případě se inkrementálně rozšiřuje známá mapa a robot se lokalizuje vůči této částečné mapě. Při SLAMu se často využívá toho, že změna polohy robotu je malá mezi jednotlivými kroky rozšiřování mapy.

Pokud máme známou mapu prostředí a nevíme počáteční polohu robotu, pak můžeme využít metod lokalizace sledujícími více hypotéz o poloze robotu (např. metoda monte carlo). Metoda je založena na výpočtu rozložení pravděpodobnosti výskytu robotu, podmíněné danými senzorickými daty. Na začátku je pravděpodobnost výskytu robotu stejná ve všech místech prostoru. Čím déle se robot pohybuje prostředím, tím více se profiluje místo s nejvyšší pravděpodobností.

Mapy

Mapa je vnitřní model prostředí, který robot používá k plánování a lokalizaci. Mapa může být zadána z vnějšku nebo si ji robot autonomně buduje během svého pohybu v prostředí. Druhá varianta je výrazně častější neboť mapy ve vhodném formátu nebývají k dispozici a téměř nikdy neodpovídají aktuálnímu stavu prostředí. Mapy lze dělit do tří skupin: senzorická mapa, geometrická mapa a topologická mapa.

Senzorická mapa

Senzorická mapa je nejnižší možná reprezentace prostředí. Jedná se pouze o vhodně reprezentovaná a uchovaná senzorická data. Takovou senzorickou mapou je například mřížka obsazenosti. Prostor je rozděleno na dílky uspořádané do mřížky. Každá buňka mřížky v sobě uchovává pravděpodobnost, že je prostor obsazený nějakou překážkou nebo je volný. Výhodou je snadná tvorba a možnost fúze dat přímo při tvorbě mapy. Nevýhodou je paměťová náročnost reprezentace. Navíc nemusí být taková reprezentace příliš vhodná pro další zpracování jako je plánování trasy.

Geometrická mapa

Geometrická mapa reprezentuje prostředí geometrickými primitivami, jako jsou přímky, polygony, kružnice apod. Takto vystavěná mapa má určitou míru abstrakce. Abstrahuje model od přílišných detailů. Tvorba takové mapy je už výpočetně náročnější, neboť je třeba najít takové geometrické primitivum, které nejlépe modeluje naměřená data. Je ovšem přívětivější pro další práci a pro plánování trajektorie. Také díky abstrakci není tak náročná na paměťový prostor.

Topologická mapa

Topologická mapa je ještě abstraktnější model prostředí než geometrická mapa. Prostředí je modelováno grafem, ve kterém uzly reprezentují jednotlivá místa, která jsou pro robot nějakým způsobem význačná či zajímavá. Hrany uzlu reprezentují způsob, jak se robot přemístí z jednoho místa do druhého. Topologické mapy nemusí obsahovat žádnou geometrickou informaci. Typickou ukázkou topologické mapy je mapa linek pražského metra. Stavba takové mapy klade vysoké nároky na zpracování sensorických dat, ve kterých je nutné rozpoznat význačná místa. Pro plánování je možné použít symbolické metody plánování nebo algoritmy z teorie grafů.

Aplikace

Nejvíce aplikací mobilních robotů nacházíme v průmyslovém, výzkumném a armádním prostředí. všechny tyto prostředí mají společnou vlastnost, že se v něm nepohybují osoby nepoučené o možnostech daného robotu. To snižuje nároky na použitého robota, který není nucen se vyrovnat s nepředvídatelným chováním lidí.

V průmyslu se mobilní roboty nasazují ve výrobních halách k dopravě materiálu. Můžeme najít automatické sklady, kde mobilní roboty optimalizují umístění jednotlivých položek, automatizovaný rozvoz materiálu k obráběcím strojům apod. Častým důvodem nasazení mobilních robotů je prostředí nebezpečné nebo nevhodné pro člověka, jako jsou provozy s vysokou hladinou hluku, vysokou teplotou, nebezpečnými plyny apod.

Automobilový průmysl využívá značné množství robotických přístupů při vývoji různých asistenčních zařízení usnadňující řízení. GPS navigace, udržování odstupu od předchozího automobilu, sledování krajnice. Všechny tyto zařízení sledují trend vývoje autonomního automobilu. Paradoxně je pro autonomní automobil největší problém člověk. Nepředvídatelné reakce ostatních řidičů a chodců vytvářejí z projektu autonomního automobilu náročnou výzvu.

Armádní prostředí také nahraňuje mobilním robotům. Bezpilotní letouny schopné plnit úkoly v autonomním nebo teleoperovaném režimu. Mobilní roboty se používají k odstranění námořních i pozemních min, k průzkumu nebezpečných oblastí. Mobilní roboty Sherpa se používají k nošení břemen těžko prostupným terénem. Tento krácející robot sleduje vojáka stejně jako pes.

Automatické řízení aut v zásobovací koloně přispívá k bezpečnosti vojáků. Stačí řídit první vůz kolony, a ostatní následují autonomně.

Výzkumné prostředí využívá mobilní roboty všude, kam se nemůže dostat člověk. Mobilní roboty prozkoumávají hlubiny oceánu stejně jako hlubiny vesmíru. Dálkově řízené ponorky pomáhají v průzkumu vraků (natáčeli i film Titanik), hlubokomořských příkopů, pomáhají sledovat chování mořských živočichů bez ovlivnění přítomností člověka.

Při průzkumu Marsu se také využívalo mobilního robotu. Vzhledem k časovému zpoždění rádiového signálu musel být robot vybaven velkou mírou autonomie. Vědci zadávali cíle, které je zajímaly, ale robot sám vybíral nejlepší cestu k dosažení cíle.

Do vědeckého oboru také můžeme zařadit soutěže jako je Grand Challenge nebo robotická kopaná. Takové soutěže pomáhají urychlovat vývoj robotické vědy. A nejedná se jen o takto velké soutěže. Zajímavé jsou i soutěže méně nákladné, zejména v kontextu výuky. Takovou soutěží je jistě Eurobot. Každoroční změna pravidel umožňuje rovnocenné zapojení nových týmů, dobře definované prostředí zjednodušuje řešení.

Nezapomínejme ani na využití mobilních robotů v záchranných akcích. Teleoperované roboty se využívají při zneškodnění náloží. Podobně se využívají roboty při prohledávání trosk a vyhledávání obětí.

Velký potenciál má také vývoj robotů pro zábavu. Robotický pes Aibo nebo Robotsapien jsou prvními pokusy o roboty pro zábavu. Z takových robotů se můžou vyvinout robotičtí společníci, ošetřovatelky, zdravotní sestry. Také připravují laickou veřejnost na přítomnost robotů v běžném životě.

Literatura

- [1] V. Mařík, O. Štěpánková, J. Lažanský a kol.: Umělá Inteligence (5). Academia, Praha, in press
- [2] V. Mařík a kol.: Umělá Inteligence (1-4), Academia, Praha, 1993-2003
- [3] D. Kortenkamp, R. Bonasso, R. Murphy: Artificial Intelligence and Mobile Robots, AAAI Press/ The MIT Press, 1998
- [4] R. Siegwart, I. Nourbakhsh: Introduction to Autonomous Mobile Robots, The MIT Press, 2004
- [5] M. Havel, *Robotika - Úvod do teorie kognitivních robotů*. SNTL, Praha 1980.
- [6] Projekt PeLoTe IST-2001-3887 [on-line], URL <<http://labe.felk.cvut.cz/~pelote/>>
- [7] [Eurobot \[on-line\]](http://www.eurobot.org/), URL <<http://www.eurobot.org/>>

MATLAB jako všestranný nástroj vizualizace signálů

Bohuslav Doňar

Univerzita obrany v Brně, Fakulta vojenských technologií, Kounicova 65, 612 00 Brno,
bohuslav.donar@unob.cz

Abstrakt:

Softwarový balík MATLAB v posledních verzích dospěl do všestranně použitelného nástroje v mnoha oblastech (nejen) techniky. MATLAB je představen v jeho základní verzi bez Toolboxů. Jsou zhodnoceny jeho přednosti, jakož i nedostatky s důrazem na použití ve výuce zvláště fyziky a elektrotechniky. Je uveden konkrétní příklad výuky především diskretních signálů a systémů.

1. Úvod

MATLAB (MATrix LABoratory) bývá nezdědka označován za světový standard pro technické výpočty. Představuje mohutné integrované matematicko-grafické prostředí [1], v němž lze provádět zejména:

- matematické výpočty,
- modelování a analýzu fyzikálních dějů,
- měření, analýzu a vizualizaci dat,
- vývoj algoritmů,
- návrhy řídicích a komunikačních systémů, atd.

První odrážka výčtu uvádí, že v MATLABu můžeme provádět matematické výpočty. To lze chápat různě. V užším smyslu musíme říci, že v MATLABu můžeme provádět „jen“ matematické výpočty. V širším smyslu můžeme větu obrátit a říci, že v MATLABu můžeme provádět prakticky všechno, co lze matematicky popsat. A to, co lze matematicky popsat, můžeme pomocí grafických nástrojů MATLABu velmi efektivně (a vyspělejší uživatelé i velmi efektně) zobrazit.

2. Základní vlastnosti MATLABU

Veškeré objekty MATLAB považuje za prvky pole. Prvky pole jsou především čísla. První, co nás v této souvislosti napadne je „tradiční“ lineární algebra – maticový počet. Takto skutečně byl MATLAB ve svých prvních verzích zamýšlen, a skutečně provádí nejen veškeré operace maticového počtu, a je nedostižný v operacích s jednotlivými prvky. Prvky nějakého pole však mohou být nejen čísla, proměnné, ale i složitější struktury jako například obrázky. Práce v MATLABU už se zcela vzdálila tradičnímu chápání lineární algebry.

MATLAB je Windows-like aplikací. Nabízí intuitivní uživatelské rozhraní - MATLAB Desktop. Používá programovací jazyk 4. generace s více než 1000 funkcí.

3. Práce v základním prostředí

Hovoříme-li o práci v základním prostředí, máme tím na mysli, že budeme používat pouze základní MATLAB bez tzv. Toolboxů. Toolboxy jsou knihovny specializovaných funkcí, které významně rozšiřují a zjednodušují použitelnost MATLABu i mimo technické obory.

3.1 Vytváření signálů

V systému MATLAB lze se signály pracovat několika způsoby [3]:

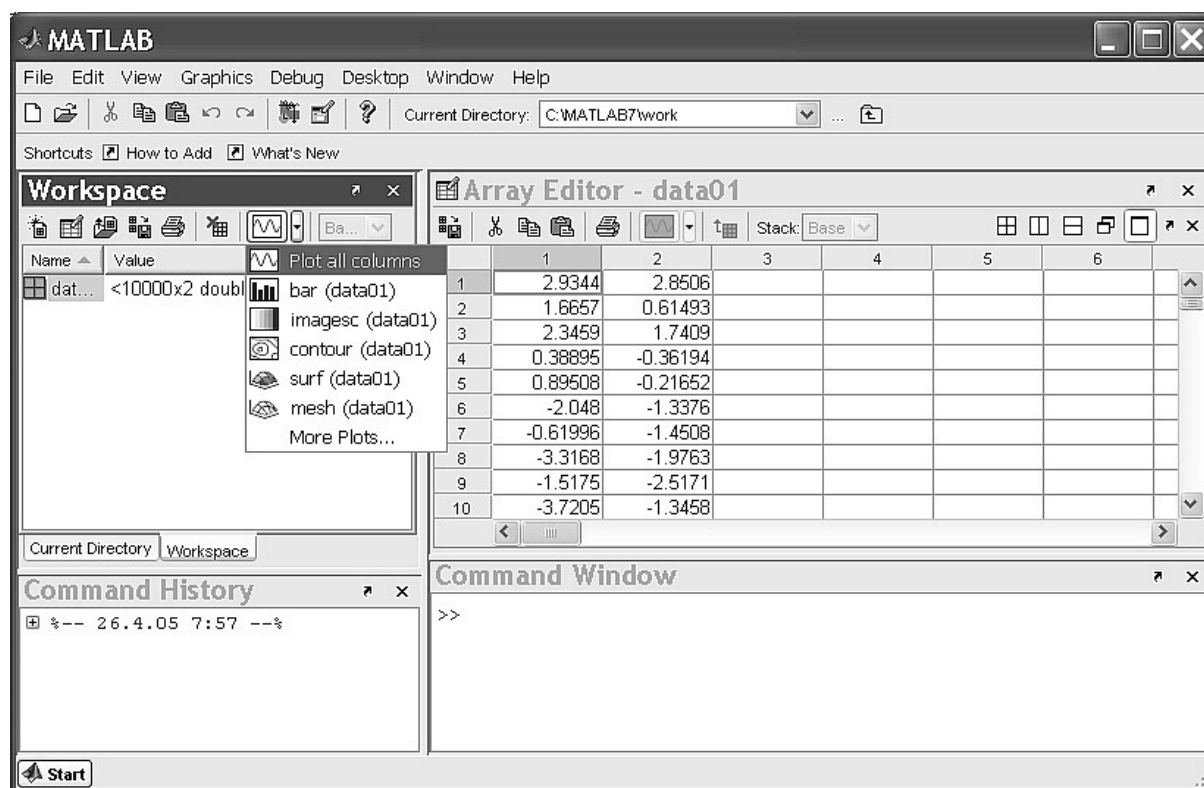
1. Vytvářet své vlastní posloupnosti (vektory) dat, časové či jiné, v *Command Window* pomocí příkazů.

MATLAB používá tzv. klíčová slova, což jsou ve velké většině případů běžná anglická slova, nebo matematické funkce: sin, cos, ... (viz *Obr. 3*)

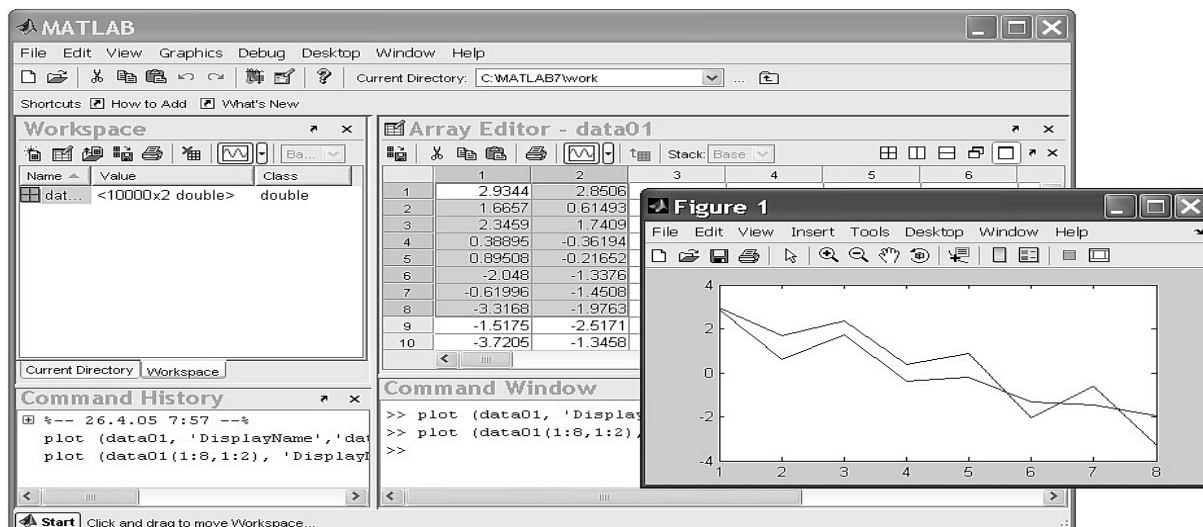
2. Načítat externí data - txt, xls, ASCII, ...

xlsread, wavread, imread, aviread – k těmto klíčovým slovům jistě není bližšího výkladu třeba.

3. On-line načítat data z měřicích karet.



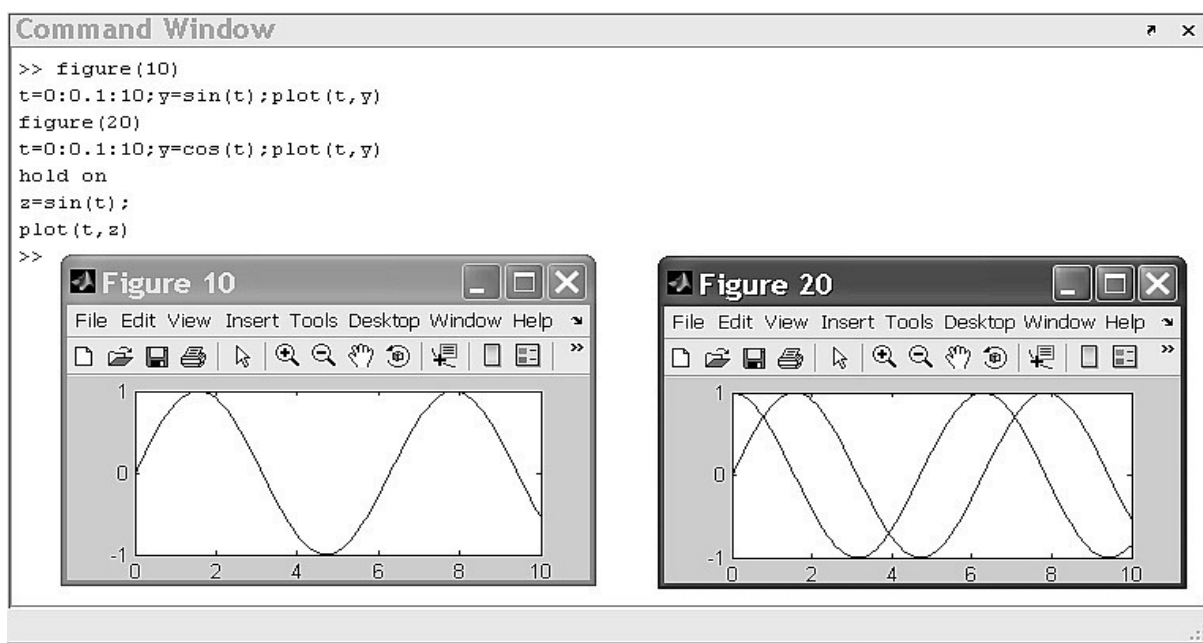
Obr. 1 Základní prostředí s načtenými daty ve formátu .xls a výběr typu grafu z nabídky



Obr. 2 Výběr části dat a jejich okamžité zobrazení jako spojnicový graf

3.2 Zobrazování signálů

1. příkazem v programu, či dialogovým způsobem v příkazovém řádku: plot, stem, stairs, pie, ...

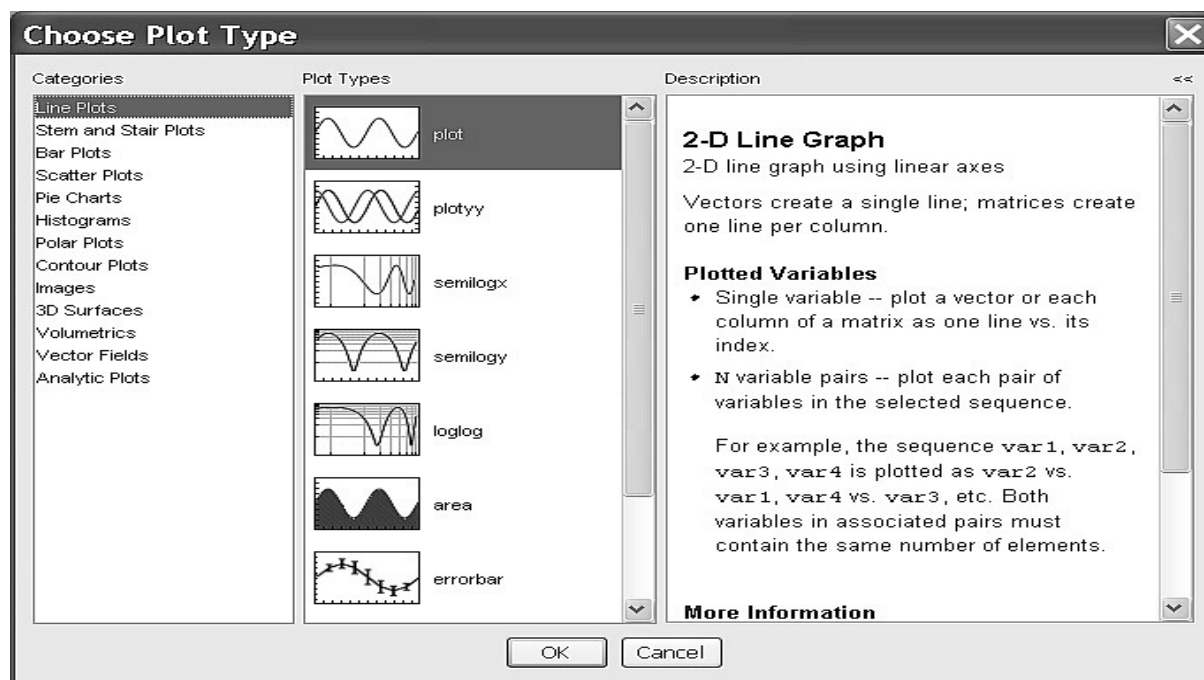


Obr. 3 Tvorba a zobrazení signálů pomocí příkazů MATLABu

Jediné klíčové slovo (na Obr. 3 příkaz **plot**) zde zastupuje celý podprogram. Založí obrázek (příkaz figure(10) znamená pouze název), zobrazí graf, „samočinně“ nastaví rozsah os, barvy, atp., vše okamžitě. Pokud je třeba cokoliv upravit, pak kliknutím pravým tlačítkem myši na příslušném objektu (čára, osy, barevná výplň, význačné body,...) se zobrazí kontextové menu s nabídkou možností [1]. Další možností je vyvolání nástroje *Property Editor* [2], nebo přímý programový příkaz.

Na Obr. 3 jsou zobrazeny sinus a cosinus (zcela intuitivní příkazy **sin** a **cos**) jako spojité grafy. To zdánlivě odporuje povaze MATLABu, který uvažuje všechny hodnoty diskrétně. Vysvětlení je jednoduché. Pokud zvolíme dělení časové osy dostatečně jemné, graf se zobrazí jako spojitý a nemusíme se dále „zatěžovat“. Konkrétně na Obr. 3, je časová osa jako proměnná t zadána od 0 do 10 s krokem 0,1 – tedy 100 hodnot, což, jak vidíme, je pro spojitě zobrazení dostatečné.

2. Výběrem z nabídky



Obr. 4 Nabídka typů grafů MATLABu včetně nápovědy

3.3 Grafické uživatelské rozhraní

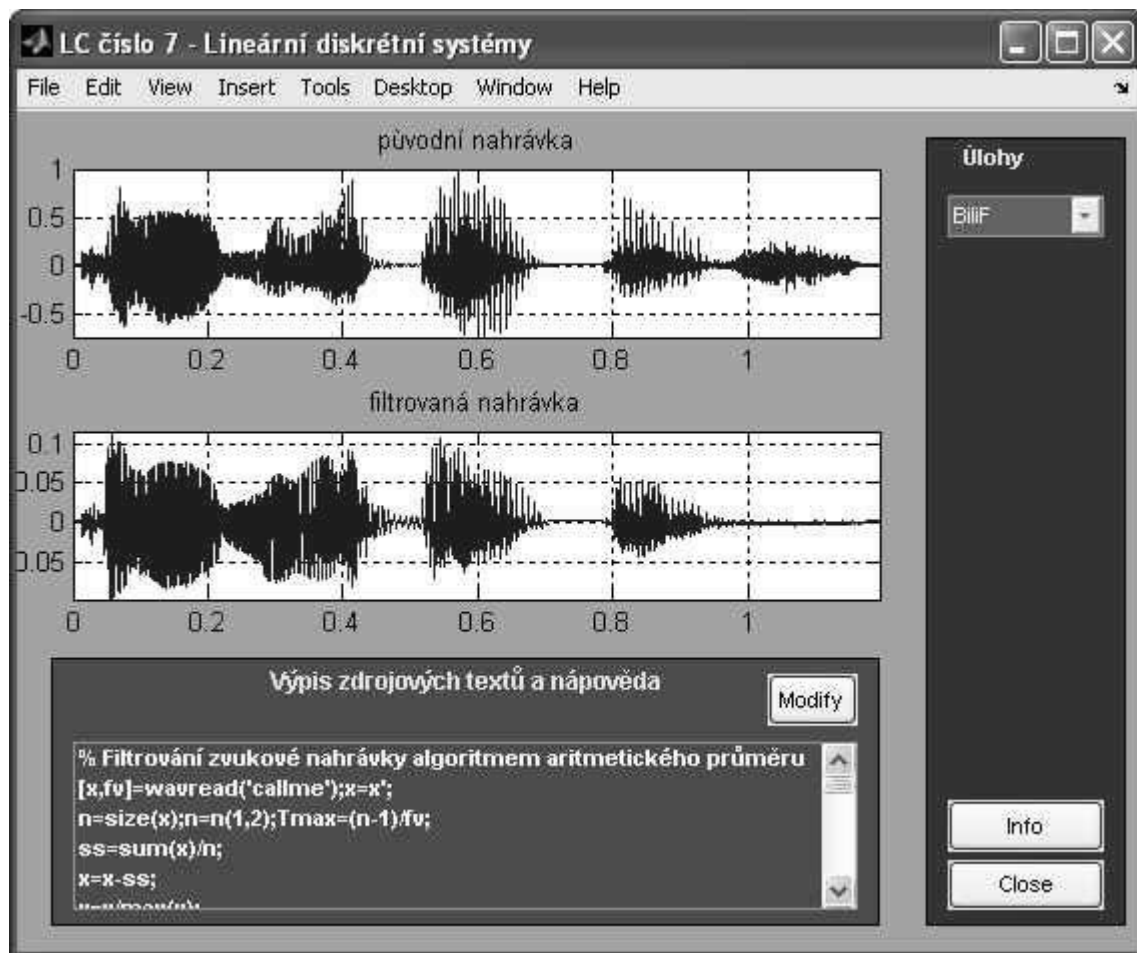
MATLAB má implementovanou „velmi silnou“ grafiku nejen pokud se týká zobrazování jakýchkoliv funkčních průběhů, ale navíc umožňuje tvorbu Grafického uživatelského rozhraní (GUI). Tedy jistého panelu, kterým je aplikace překryta, takže uživatel nemusí o MATLABu vědět vůbec nic. Toto GUI lze v MATLABu vytvořit dvěma způsoby:

1. přímým naprogramováním,
2. pomocí vestavěného nástroje.

První způsob je obtížnější. Programátor už musí mít zvládnutu filosofii grafiky MATLABu na poměrně vysoké úrovni. O to jednodušší je způsob druhý. Spuštěním vestavěného nástroje, zvaného GUIDE, se otevře plocha budoucího rozhraní se čtvercovou sítí a předpřipravenými všemi ovládacími a zobrazovacími objekty (tlačítka, posuvníky, rozbalovací nabídky, zaškrťovací políčka, radiobuttony, zobrazovací plochy s osami,...). Potřebné objekty v potřebném množství uživatel myší „natahá“ na plochu budoucího rozhraní, pomocí dalších funkcí prvky upraví (velikost, barva, ...) a zarovná. Až je spokojen se vzhledem, nechá MATLAB automaticky vygenerovat patřičný program. Do něj pak už jen dopíše několik programových řádků nezbytných zpětných vazeb mezi jednotlivými prvky

a rozhraní může fungovat. Takto vygenerovaný program sice není optimální, neboť je automaticky složen z robustních programových modulů, které musí fungovat za všech podmínek. Z hlediska požadované funkce je zcela spolehlivý [2].

Ukázka hotového funkčního GUI je na *Obr. 5*. Jedná se o jednu z laboratorních úloh autorů Doc. Karla Zaplatílk a Doc. Antonína Krtičky z katedry elektrotechniky Univerzity obrany v Brně. Slouží k výuce lineárních diskretních systémů. Uživatel (student) ji ovládá pomocí rozbalovacího menu a tlačítek v pravé části. V dolní části má k dispozici i zdrojový text úpravy signálu (ve formátu wav), který může (dle pokynů učitele) modifikovat a po stisku tlačítka „Modify“ sledovat okamžitě účinky jak graficky, tak akusticky.



Obr. 5 Ukázka výukové aplikace digitálního zpracování signálů

4. MATLAB pro a proti

- + jazyk 4. generace používající klíčová slova;
- + intuitivní nabídky, rychlý výběr, okamžitá odezva,
- + každou akci lze uskutečnit více způsoby – příkaz, pravé tlačítko myši, výběr z menu;
- + všechny vlastnosti ovlivnitelné a nastavitelné nejen v aplikaci, ale i v prostředí;
- + bohatá nápověda v HTML a pdf;
- + import a export dat v mnoha běžných formátech,
- + interaktivní nástroj na tvorbu uživatelských rozhraní,
- + spolupráce s externími aplikacemi a jazyky jako C, C++, Java, COM, .NET, Fortran, ...;

+ tvorba a šíření na MATLABu nezávislých aplikací.

- velké množství klíčových slov;
- angličtina,;
- všechny vlastnosti ovlivnitelné a nastavitelné nejen v aplikaci, ale i v prostředí.

5. Závěr

Tento příspěvek, na rozdíl od případné „živé“ prezentace, je jen malou ukázkou možností využití MATLABu v základní konfiguraci, bez specializovaných Toolboxů. Primárním hlediskem tohoto přístupu byla otázka finanční, přestože školám je poskytována výrazná sleva. Toolboxy v mnohém usnadňují a rozšiřují možnosti MATLABu, ale zakupují se zvlášť. Avšak jen trochu zkušený uživatel (záměrně neříkám programátor) dokáže sestavit v MATLABu velmi zajímavé aplikace. Navíc poslední verze MATLABU jsou schopny produkovat samospustitelné soubory fungující na PC bez nainstalovaného programového prostředí. Tvrzení, že MATLAB se stává světovým standardem pro vědeckotechnické výpočty, opravdu není jen pouhou reklamou, ale skutečností. Protože MATLAB si už před lety našel cestu i na české vysoké školy, je žádoucí, aby ani na středních školách nebyl opomíjen.

Literatura

- [1] Zaplatílek, K. a Doňar, B.: MATLAB pro začátečníky. BEN Praha, 2. vydání 2005. ISBN 80-7300-175-6.
- [2] Zaplatílek, K. a Doňar, B.: MATLAB – tvorba uživatelských aplikací. BEN Praha 2004. ISBN 80-7300-133-0.
- [3] Zaplatílek, K. a Doňar, B.: MATLAB – Začínáme se signály. BEN Praha 2006. ISBN 80-7300-200-0.

Aplikace signálových procesorů v řízení pohonné jednotky elektromobilu Tatra Beta

Petr Palacký, Ivo Neborák
VŠB-Technická univerzita Ostrava, katedra elektroniky,
17 listopadu 15 708 33 Ostrava-Poruba,
petr.palacky@vsb.cz.

Abstrakt:

Při současné snaze co nejvíce snížit obsah škodlivých látek v ovzduší se začíná stále více v automobilové dopravě uvažovat o alternativních pohonech a zdrojích dopravních prostředků. Cílem tohoto příspěvku je popis aplikace moderních způsobů řízení elektrického pohonu elektromobilu s využitím nových signálových procesorů.

1. Úvod

Digitální signálové procesory již nacházejí uplatnění v procesech, v nichž je třeba měřit, analyzovat, vyhodnocovat, uchovávat či jen předzpracovat značné množství informací a v určité fázi zpracování vyvodit akční zásah. Vysoký výpočetní výkon tyto procesory předurčuje i pro velmi náročné aplikace, které vyžadují řízení v reálném čase.

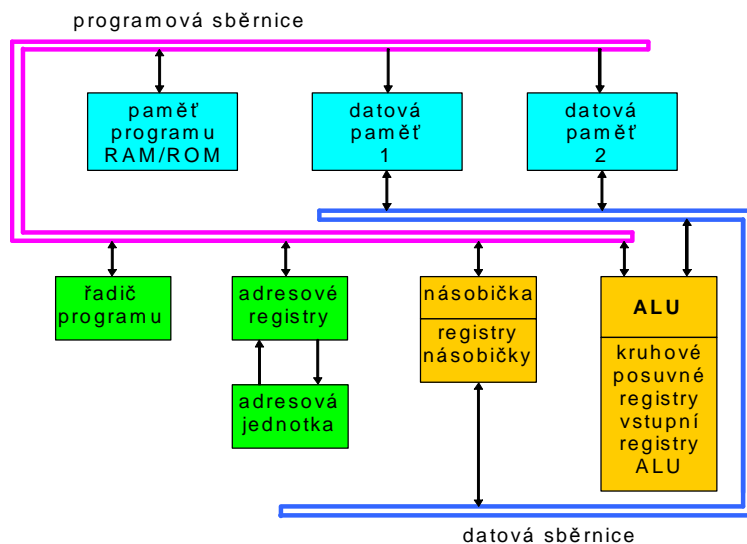
Tyto procesory jsou specializovány na rychlé provádění aritmetického násobení, sčítání, rotací a přesunových instrukcí, což jsou operace, na nichž je založeno číslicové zpracování signálů. Tomu je přizpůsobena struktura i instrukční soubor DSP. Prošly několika vývojovými etapami a univerzální i specializované signálové procesory nacházejí stále širší pole použití v komunikačních digitálních systémech, digitálním záznamu zvuku, zpracování řeči a signálů v lékařské elektronice, televizi, navigaci a radiolokaci. Jen pro příklad, v přijímači digitálního rozhlasu je použito šest DSP.

V nemalé míře se signálové procesory také využívají v aplikacích průmyslové elektroniky. Příkladem mohou být řídicí systémy výkonových měničů a elektrických pohonů.

2. Signálové procesory

2.1 Architektura signálových procesorů

Signálový procesor DSP má obdobné vlastnosti a způsob programování jako univerzální procesor, ale jeho architektura a instrukční soubor právě podporují rychlé a účinné provedení matematických operací, které se uplatňují ve zpracování signálů. Mezi tyto operace patří spektrální analýza provedená algoritmem rychlé Fourierovy transformace (FFT), komprese obrazu transformací *wavelet*, práce s polynomy, maticemi apod. Většina DSP má harvardskou architekturu s odděleným zpracováním instrukcí a dat. Toto uspořádání dovoluje současné provádění operací s daty a adresami. DSP má redukovanou instrukční množinu a je vybaven větším počtem výkonných jednotek, pamětí a vnitřních sběrnic.



Obr. 1 Modifikovaná harvardská architektura

Vysoká rychlost výpočtu se dosahuje obdobnými cestami jako u univerzálních mikroprocesorů, a to zvyšováním hodinového kmitočtu, architekturou procesoru a paralelním zpracováním úloh více procesory. Obecně dokáží DSP provést nejméně jednu operaci násobení a sčítání v jednom instrukčním cyklu. U mnoha DSP je navíc možné násobičku (např. 16×16 b \uparrow 32 b) fiktivně rozdělit např. na dvě jakoby nezávislé (8×8 b \uparrow 16 b) a jednou instrukcí provést dvě operace násobení s menší „přesností“. Obdobně lze rozdělit aritmeticko-logickou jednotku. V závislosti na architektuře dokáží DSP ještě v toméž instrukčním cyklu provést např. operaci nepřímého adresování, bitových posuvů či rotací, vyhodnotit podmínku vykonání instrukce, příp. jiné operace.

Jak už bylo řečeno, mají signálové procesory modifikovanou harvardskou architekturu s minimálně třemi paralelně pracujícími aritmetickými jednotkami. Jedna slouží ke zpracování dat, druhá k výpočtu adres a třetí umístěná v řadiči k obsluze programového čítače a k obvodové podpoře programových cyklů. Modifikace je dále podpořena několikanásobným sběrnicovým systémem.

Dalšími možnostmi pro zvýšení výpočetního výkonu signálových procesorů je využití architektury VLIW (Very Long Instruction Word), superskalární architektury a paralelních systémů. Pro omezení častých přístupů do relativně pomalých externích pamětí bývá někdy integrována instrukční paměť cache (i dvoustupňová), případně i datová paměť cache.

Ve srovnání s procesory pro všeobecné použití mají DSP menší spotřebu, nižší cenu a vyšší výkon v úlohách zpracování signálů. Většina instrukcí trvá jeden instrukční cyklus a DSP má garantovanou dobu, během níž se dostane do smyčky aktivního přerušení (např. čtyři instrukční cykly), což je přínosem pro systémy reálného času. Na druhou stranu se u DSP s rostoucím výpočetním výkonem rozrůstá jejich architektura o další výpočetní jednotky, další sběrnice a zvětšuje se hloubka zřetězení (*pipelining*), což přinejmenším snižuje efektivitu využití procesoru [1].

Největšími výrobci jsou firmy Motorola, Texas Instruments, Analog Devices a další. Všechny pak mají v nabídkách jak samotné signálové procesory, tak i vývojové kity s těmito čipy a vývojová prostředí pro ladění a implementaci algoritmů. Samotné procesory mohou mít na čipu integrované různé typy paměti RAM, ROM a FLASH.

2.2 Programování DSP

Psaní kódu pro DSP je dnes běžné jazykem symbolických adres a jazykem C. Výhodou jazyka symbolických adres je, že výsledný kód bude nejspíše kratší a procesor jej rychleji provede. Obtížně se však pomocí něj programují velké projekty, na kterých může pracovat i více programátorů. Naopak v jazyce C bude velký projekt rychleji napsaný, ale bude na DSP probíhat pravděpodobně pomaleji. Jazyk C je vhodný pro DSP se složitější architekturou (VLIW, CLIW a superskalární) a jeho výhodou je snadnější přenositelnost kódu na jiný DSP. V poslední době se objevují nástroje pro grafický vývoj

aplikací, kde jsou jednotlivé části programu tvořeny bloky propojenými šipkami naznačujícími návaznost programu a každý blok má funkci definovanou jazykem C, příp. jazykem symbolických adres [1].

2.3 Signálové procesory pro průmyslové využití

Tyto procesory jsou v podstatě hybridy jejichž výpočetní výkon odpovídá DSP a nabídka periférií integrovaných na čipu odpovídá klasickým mikrořadičům. Jsou tedy s výhodou nasazovány do průmyslových aplikací vyžadující řízení v reálném čase.

3. Elektromobil Tatra Beta

Na katedře elektroniky VŠB-TU Ostrava je v současné době upravován elektromobil Tatra Beta. Tento elektromobil byl sestaven rovněž na již zmíněné katedře ve druhé polovině 90. let. V posledních dvou letech dochází k úpravám elektromobilu, které jsou obsahem několika diplomových a disertačních prací. Elektromobil a především jeho napájecí a řídicí část slouží i k výukovým účelům.

K jakým změnám oproti původní koncepci došlo. Rozdělme pohon elektromobilu na tři základní části:

- napájecí část
- řídicí část (popř. akční)
- pohonná část s převody

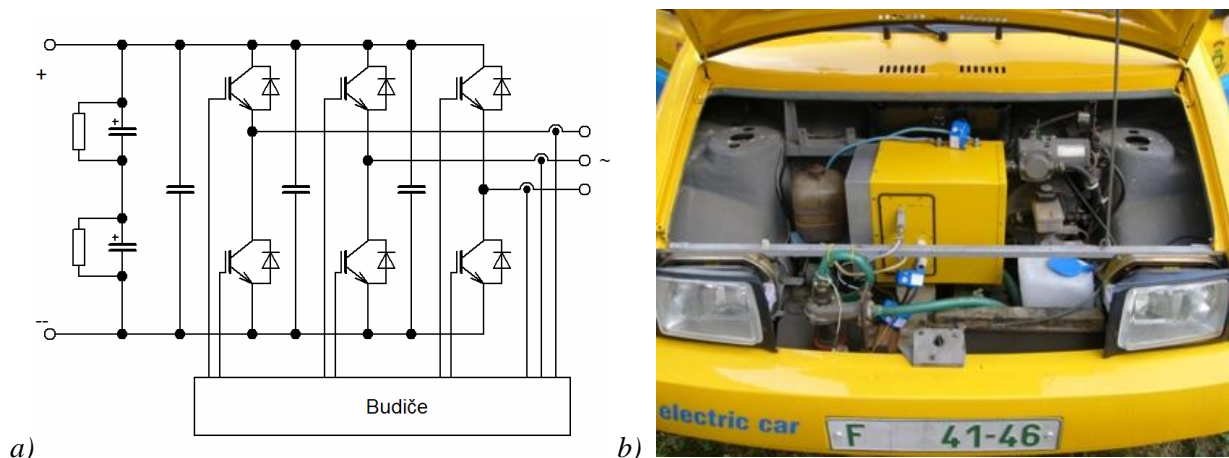
Z těchto tří základních částí zůstala zachována pohonná část s převody. V roce 2005 došlo k výměně napájecí jednotky a v letošním roce řídicí části.

3.1 Konstrukce elektromobilu

Elektromobil je realizován úpravou automobilu Tatra Beta, Škoda Ejpovice. Jedná se o lehké užitkové vozidlo, karoserie pick-up. Karoserie je vyrobena z kompozitního plastu vyztuženého skelnými vlákny. Povrch vozu je rezistentní vůči korozi i proti mechanickému poškození. Karoserie je vyztužena bezpečnostním ocelovým rámem. Jeho součástí je ochranný oblouk, který zajišťuje bezpečnost posádky i při převrácení vozu. Řízení je hřebenové s bezpečnostním kloubovým hřídelem volantu.

3.2 Pohonná jednotka

Pohonnou jednotku elektromobilu tvoří kapalinou chlazený třífázový asynchronní motor s kotvou nakrátko Siemens 1 PV 5105-4WS15-Z. K motoru je přes převodovku se setrvačником a kluznou spojku připojen diferenciál s nápravami. Motor je napájen výkonovou částí měniče frekvence s IGBT tranzistory a je umístěn pod přední kapotou nad elektromotorem (obr. 2). Měnič je tvořen třemi bezpečnostními moduly s dvojicí IGBT umístěnými na žebrovém hliníkovém chladiči. Každý modul tvoří jednu větev napěťového střídače. Jsou dimenzovány na proud 150 A a napětí meziobvodu 900 V nebo 1200 V na tranzistoru. Bezprostředně na modulech je upevněna deska inteligentních budičů.



Obr. 2 a) Blokové schéma napěťového střídače
b) Umístění napěťového střídače ve vozidle



Obr.3. Použitý napěťový střídač s IGBT

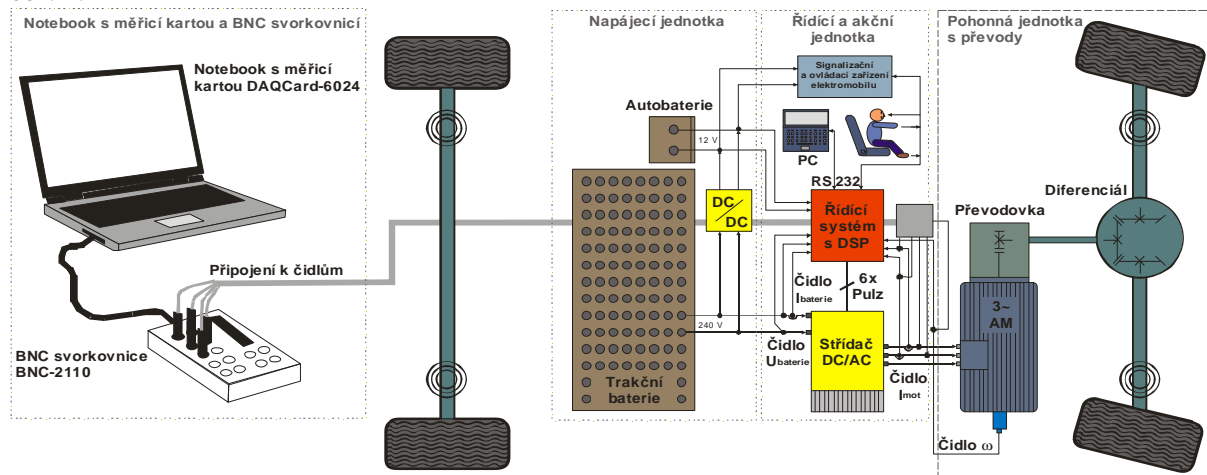
3.3 Napájecí jednotka

Napájecí část je tvořena trakčními olověnými bateriemi, které tvoří 120 článků po 2 V o kapacitě 46Ah a celkové váze 492 kg. Trakční baterie jsou umístěny ve vanách v podlaze vozidla za sedadly osádky. Přívod od trakční baterie ke střídači je jištěn pojistkou. Napájecí část dále obsahuje 12 V autobaterii, která je umístěna taktéž v zadní části vozidla. Autobaterie nám zajišťuje napájení řídicí jednotky pohonu včetně periférií (např. čidla), ovládacích a signalizačních zařízení elektromobilu (běžná zařízení instalovaná v automobilu). Autobaterie je při provozu dobíjena z hlavních trakčních baterií přes DC/DC měnič. Z trakčních baterií je odebírána energie potřebná pro pohon elektromobilu.

3.4 Řídicí jednotka

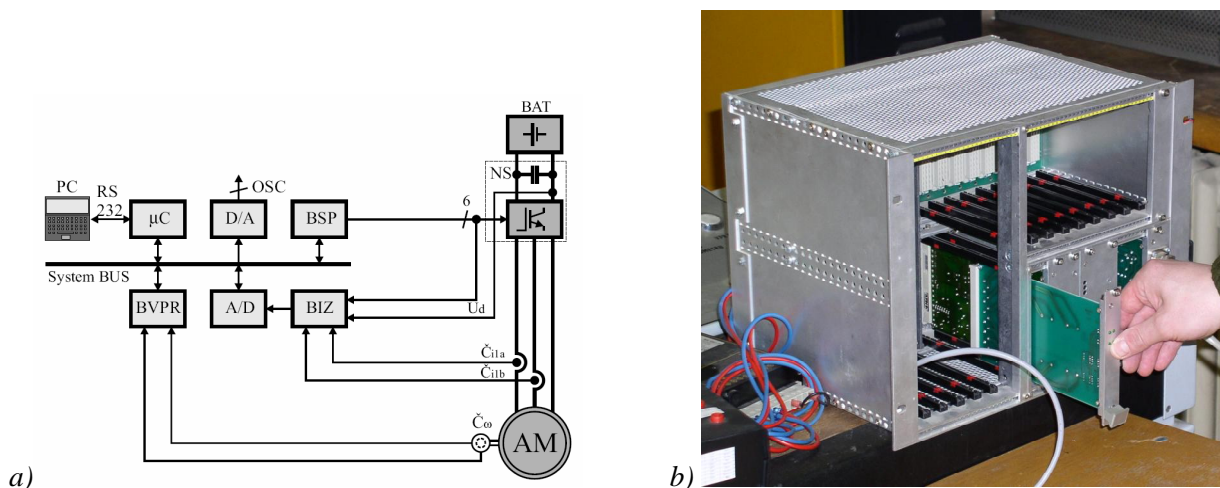
Řídicí část pohonu elektromobilu je tvořena mikropočítačovým systémem se signálovým procesorem TMS 320C40 (případně se signálovým procesorem TMS 320F2812). Řídicí systém je napájen přes DC/DC měniče z 12 V autobaterie. Do řídicího systému dále vstupují zpětné vazby z čidel napětí, proudů v meziobvodu, fázových proudů motoru a čidla rychlosti. Dalším vstupem/výstupem systému je komunikace s externím počítačem připojeným přes sériové rozhraní RS232. Počítač nám v tomto případě zastává funkci nadřazeného systému, kterým provádíme komunikaci s řídicím systémem pohonu a můžeme pomocí něj zadávat jak požadované veličiny, tak i odečítat měřené a vnitřní veličiny pohonu. V řídicí části je dále zahrnuta i lidská osobnost, neboť v tomto případě při jízdě člověk aktivně ovlivňuje chování vozidla (např. sešlápnutí pedálu = změna žádané hodnoty momentu motoru). Výstupem řídicího systému jsou pulsy vstupující do akčního členu napájecího elektromotor. Akční

člen je v našem případě tvořen napěťovým střídačem s IGBT. Struktura řízení a vizualizace dat je na obr. 4.



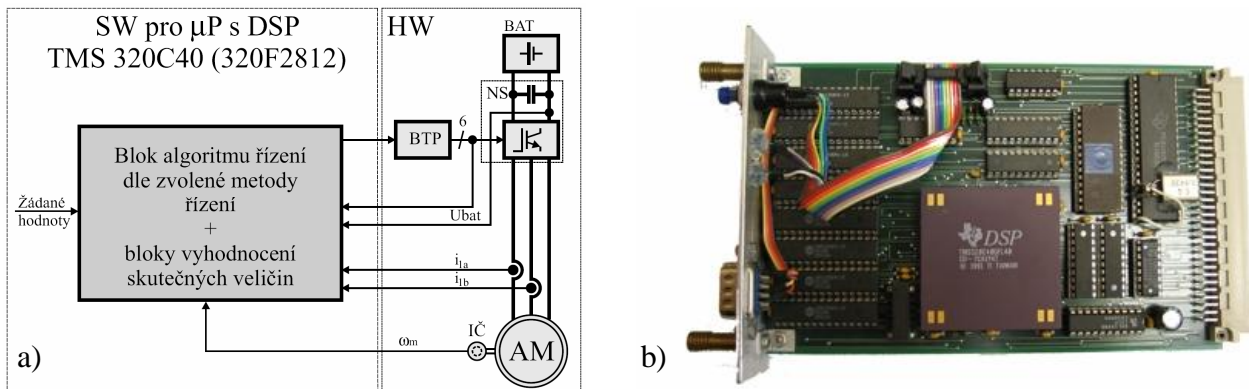
Obr. 4 Blokové schéma pohonu elektromobilu

Pro řízení je použit mikropočítačový systém se signálovým procesorem TMS 320C40 (případně je možné použít i jiný DSP např. TMS 320F2812). Blokové schéma tohoto řídicího systému i s jeho vazbami je zobrazeno na obr. 6a. Jak je patrné z blokového schématu, hlavní části řídicího systému tvoří deska s digitálním signálovým procesorem (μC) komunikující přes systémovou sběrnici (SYSTEM BUS) s blokem vyhodnocení polohy rotoru (BVPR), s blokem D/A převodníku sloužícím pro zobrazení potřebných veličin, s blokem A/D převodníku, do kterého vstupují signály upravené z čidel požadovaných veličin a s blokem zajišťujícím tvorbu pulsů pro řízení měniče [4].

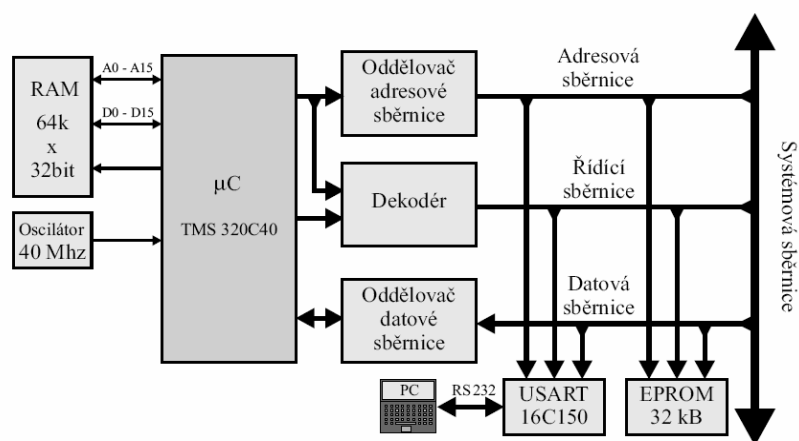


Obr.5. a) Blokové schéma řídicího systému
b) Řídicí mikropočítačový modulární systém

Na obr. 5b můžeme vidět použitý laboratorní systém se zmíněnými kartami umístěný na polici za sedadly. Na obr. 6a je znázorněno schéma regulovaného pohonu z jiného pohledu. Pohon je zde rozdělen na softwarovou a hardwarovou část. Hardware zde zahrnuje výkonovou část pohonu (motor, střídač, napájecí baterie a blok tvorby pulsů). Software je tvořen řídicími algoritmy, jejichž struktura závisí na použité metodě řízení pohonu (vektorové řízení, přímé řízení momentu, skalární řízení - s čidlem otáček, bez čidla otáček).



Obr. 6 a) Blokové schéma řídicího systému
b) Mikročítač s DSP TMS 320C40



Obr.7 Blokové schéma řídicího mikročítače s DSP TMS 320C40

Signálový procesor TMS 320C40 použitý v pohonu elektromobilu se vyznačuje vysokým výpočetním výkonem při vybraných aritmetických operacích, kde pracuje s 32-bitovými daty. Je vybaven 12 registry (R0-R11), které pracují s 40-bitovými čísly s plovoucí řádovou čárkou (32bit mantisa, 8bit exponent). Zmíněné registry se využívají jako operandy při aritmetických operacích v jednom strojovém cyklu. U procesoru jsou hardwarově podporovány součin, dělení a druhá odmocnina. Dále procesor obsahuje: čítač (pro generování přerušení), 8 pomocných registrů (pro nepřímé adresování), 4 externí maskovatelná přerušení. Instrukční cyklus procesoru trvá 50ns (většina instrukcí proběhne v jednom cyklu). Je vybaven 64x32bit (256kB) pamětí RAM, pevnou pamětí EPROM pro uložení programu, monitor a asynchronní sériové rozhraní pro komunikaci s PC. Mikročítač je dále z důvodu komunikace s ostatními perifériemi vybaven rozhraním pro systémovou sběrnici. Deska se signálovým mikroprocesorem je zobrazen na obrázku 6b a blokové schéma řídicího mikročítače na obr. 7.

3.5 Nová koncepce řídicí jednotky

V současné době probíhá další vývoj řídicí jednotky pohonu elektromobilu. Vzhledem k velmi malé kapacitě napájecích článků spočívá řešení jednak ve vývoji a implementaci nových metod řízení umožňující snížení ztrát při řízení momentu pohonu a bezztrátovou rekuperaci náboje při brzdění, a jednak v řešení dobíjení napájecí jednotky elektrocentrálou, jež pracuje v optimálním režimu s nejnižší spotřebou a produkcí nežádoucích zplodin nebo palivovým článkem. Toto by pak umožnilo velkou část napájecích článků nahradit superkapacity (obr. 9).

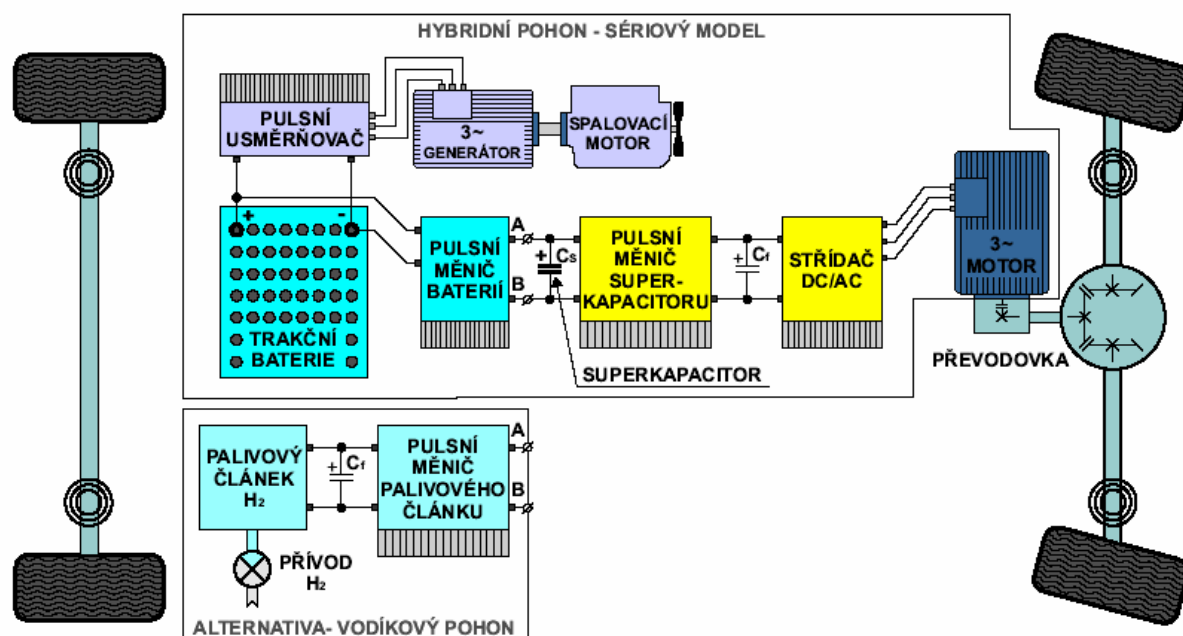
3.5.1 Řídicí systém se signálovým procesorem TMS 320F2812

TMS 320F2812 patří do skupiny 32-bitových signálových procesorů TMS 320F28xTM DSP, které představují vysoce integrovatelné, výkonné řešení pro náročné řídicí aplikace např. v elektrických pohonech. C28F2812 je vytvořen tak, že jeho zdrojový kód je kompatibilní s řadou signálových procesorů 24x/240x. Díky schopnostem pracovat s programem C/C++ umožňuje uživatelům ve vyšším jazyce vyvinout nejen jejich systémový řídicí software, ale také umožňuje vyvinout matematické algoritmy. C2812 je účinný jak v matematických úkolech tak i v systémových řídicích úkolech, které jsou typické pro řízení mikrořadičem. Tato schopnost odstraňuje potřebu druhého procesoru v mnoha systémech. 32 x 32-bitová MAC kapacita procesoru C2812 a jeho 64-bitová zpracovací schopnost umožňuje efektivně ovládat vyšší numerické problémy, které by jinak vyžadovaly řešení s mnohem dražším procesorem s pohyblivou řádovou čárkou. V důsledku rychlé odezvy přerušování s automatickou kontextovou ochranou kritických registrů, je zařízení schopné ovládat mnoho asynchronních událostí s minimálním zpožděním. C2812 má osmi úrovněv chráněnou linku přístupnou s linkou paměti. Toto zpracování umožní C28x pracovat ve vysokých rychlostech bez dalších investic do drahých vysokorychlostních pamětí. Speciální hardware minimalizuje zpoždění pro podmíněné zpoždění. Speciální operace pro ukládání do paměti dále zlepšují výkon.

Základní parametry mikropočítače:

- taktovací frekvence 150 MHz
- instrukční cyklus 6,67 ns
- podpora JTAG snímacího rozhraní
- 16 x 16 and 32 x 32 MAC operací
- 16 x 16 Dual MAC
- Harvardská architektura sběrnice
- rychlé přerušování odezvy a běhu programu
- jednotný model programovací paměti
- použitelný kód v C/C++ a Assembleru
- Flash: Až 128K x 16 Flash čipová paměť
- ROM: Až 128K x 16 ROM čipová paměť
- Boot ROM (4K x 16)
- čipový oscilátor
- podpora dynamických změn PLL proměnných
- Watchdog časový modul
- 3 vnější přerušování
- možnost rozšíření periferním přerušováním (PIE) - blok podporuje 45 periferních přerušování
- tři 32-bitové CPU-časovače
- periferní řízení motoru- 2 správci (EVA, EVB), kompatibilní pro 240 dalších zařízení
- 12-bitový A/D převodník, 16 kanálů
- až 56 samostatně programovatelných, několikanásobných, univerzálních vstupů / výstupů





Obr.9 Blokové schéma nové koncepce hybridního pohonu.

4. Závěr

S rozvojem mikropočítačové techniky dochází stále častěji k nasazení signálových procesorů do oblastí průmyslové elektroniky. K jedné z mnohých těchto oblastí využití patří řízení moderních výkonových polovodičových měničů a elektrických pohonů. Na katedře elektroniky VŠB-TU Ostrava probíhá vývoj nových metod řízení pohonné jednotky elektromobilu s použitím nových signálových procesorů. Tento výzkum se pak dále zaměřuje na využití i dalších možných zdrojů elektrické energie, což v současnosti, kdy se vědecká veřejnost stále více začíná zabývat otázkou poklesu světových zásob ropy, nabývá velkého významu.

Literatura

- [1] Družbík, T., Vlček, K., Neumann, P.: Digitální signálové procesory v průmyslu. Automatizace, ročník 47, č. 10, 2004.
- [2] Plachta, M.: Příspěvek k řešení elektrického pohonu s asynchronním elektromotorem a olověnými akumulátory ve vozidle Tatra Beta, Disertační práce, VŠB – Technická Univerzita Ostrava, 2000
- [3] Adamovský, Z.: Simulace algoritmu vektorového řízení pohonu s asynchronním motorem pro pohon elektromobilu, Sborník EPVE 2005, Brno, Vysoké učení technické v Brně, p. 83-88, SIEMENS s.r.o., ISBN 80-214-3052-4
- [4] Palacký, P.: Moderní metody řízení pohonů s asynchronním motorem s využitím nových signálových procesorů. Habilitační práce, Ostrava, 2005

Nízkoteplotní palivové články H₂-O₂

Peter Barath, Jiří Kliment, Marie Sedlaříková, Jiří Vondrák

¹ Ústav elektrotechnologie FEKT VUT v Brně, Údolní 53, 602 00 Brno

²SOLARTEC Ltd., Televizní 2618, 756 61 Rožnov pod Radhoštěm, Czech Republic

jkliment@solartec.cz

Abstrakt:

Tento článek pojednává o vodíkovo-oxidačních procesech na elektrodách nízkoteplotního palivového článku H₂-O₂. Měření a vyhodnocování elektro-kinetických a difúzních procesů na elektrodách palivového článku.

1. Úvod

Palivové články patří mezi zařízení, v nichž na základě elektrochemických procesů dochází k přímé přeměně vnitřní/chemické energie paliva na energii elektrickou. Princip palivového spočívá na kontinuálním přísunu reakčního plynu (vodíku). Nedochozí tedy k vybití článku. Chemické složení se v článku nemění a látky se nespotřebovávají. Mízí zde tedy i pojem „kapacita článku“. Kromě napětí se mezi parametry řadí i velikost proudu či výkonu odebíraného z 1dm² (1cm²) velikosti elektrod.

Palivové články můžeme rozdělit dle pracovní teploty na: vysoko, středo a nízkoteplotní nebo dle provozního tlaku na: vysoko, středo a nízkotlaké.

Rozdělení dle druhu paliva nebo oxidantů

1. reaktant plyn (H₂, CO₂, N₂H₄)
2. reaktant kapalina (CH₃OH)
3. reaktant pevná látka (Na,Mg,Zn,Cd)

Z praktického hlediska palivové články rozdělujeme na základě typu elektrolytu jak je známo z publikací:

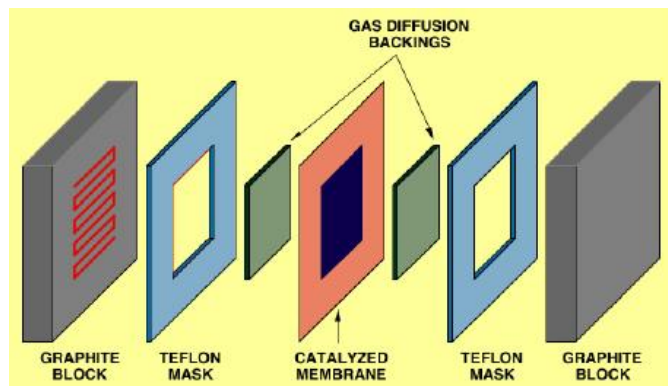
- alkalické palivové články (AFC)
- palivové články s kyselinou fosforečnou (PAFC)
- články s roztavenými uhličitany (MCFC)
- články s tuhými oxidy (SOFC)
- články s tuhými polymery (PEM)

Nejvíce průmyslově využívané jsou palivové články typu PEM H₂-O₂

Komponenty článku:

Typické složení PEM článku

- iontoměničová membrána
- elektricky vodivá uhlíková elektroda
- katalyzátor dopovaný v uhlíkové matici
- difúzní vrstva



Obr. 1 struktura složení PEM článku

Porézní uhlíková vrstva (porous backing layer)

Funkce této vrstvy:

1. působí jako difúzní vrstva pro přiváděný plyn
2. poskytuje dobrou mechanickou odolnost
3. poskytuje elektricky vodivé vrstvy pro pohyb elektronů
4. vytváří odvodňovací kanálky pro vznikající vodu

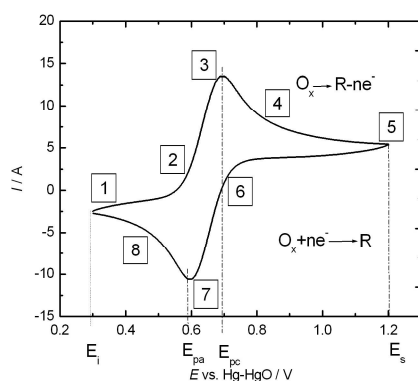
Elektrodové katalyzátory

Zajišťuje kontakt s membránou. Vrstva obsahuje pojivo (zpravidla PTFE). Pojivo zastává více funkcí: zajišťuje pevnost struktury elektrody a poskytuje specifické rozložení struktury elektrod s velkou porézností. Zvyšuje rychlost elektro-katalytického procesu v třífázovém rozhraní palivového článku a zvyšuje vodivost protonů/ záporných iontů.

Metody pro měření elektrodoých procesů

1. Cyklická voltametrie

Ke studiu reverzibility systému se často používá potenciálový pulz ve tvaru rovnoramenného trojúhelníka. Studuje se zde redukce i oxidace analytu - depolarizátor zredukovaný v první fázi se následně reoxiduje. Výsledkem je katodicko anodická křivka. Při reverzibilní elektrodové reakci se získá stejně vysoký katodický i anodický pík.



Legenda:

1. neprobíhá žádný děj
2. počátek oxidačního procesu
3. maximum anodického proudu
4. pokles anodického proudu s vyčerpáním oxidované formy
5. počátek redoxního děje
6. redukce látky na elektrodě
7. maximum katodického proudu
8. pokles katodického proudu s vyčerpáním redukované formy

Obr.2: katodicko-anodická křivka: voltamogram

Přímý běh potenciálu vede ke vzniku nového oxidačního stavu, který se pak testuje při zpětném kroku. Vnucený elektrodový potenciál kontroluje poměr koncentrací daného redoxního páru (Nerstova rovnice):

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[c_{ox}]}{[c_{red}]} \quad (1)$$

Logaritmická závislost působí prudké nárůsty proudu v přechodových oblastech. Proud je přitom úměrný profilu elektrody (Cottrellova rovnice):

$$I = nFA \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right)_{x=0} \quad (2)$$

Při určování velikosti potenciálu a proudu ze záznamu je vždy třeba správně určit odpovídající základní linie. Lze vypočítat standardní redoxní potenciál pro daný děj:

$$E_0 = (E_{pa} - E_{pc}) / 2 \quad (3),$$

počet vyměněných elektronů n , platí:

$$\Delta E = E_{pa} - E_{pc} = (59mV) / 2 \quad (4),$$

předpoklad reverzibility redoxních dějů.

U pomalých procesů (ireverzibilní děje) se zvětšuje separace obou maxim: u reverzibilních (rychlých) dějů pak navíc jsou velikosti katodického a anodického maxima přibližně shodné. (Pokud neprobíhá nějaká chemická reakce generující/spotřebující jednu z látek). Aplikace CV zahrnuje široké pole kvalitativního studia redoxních reakcí. Plocha pod maximy jsou úměrná množství látek navázaných na plochu elektrody. [1,3,10]

2. Rotační techniky CV

Tyto postupy jsou vhodné při studiu reakce, kdy je třeba znát jeho povrchovou koncentraci. Výhodou je kontrola hydrodynamiky, lze reprodukovatelně nastavit a řídit látkový transport mezi rotující elektrodou a okolním roztokem. Rotující elektroda pumpuje čerství roztok z okolního prostředí ke svému povrchu. Před elektrodou se tvoří stacionární vrstva, která také rotuje (difúzní), mimo ní pak existuje dokonalé míchání roztoku.

Tloušťka této vrstvy x_D lze vypočítat ze vztahu:

$$x_D = 0.643.D^{1/3} n^{1/6}.w \quad (5)$$

Pro rychlou elektrodovou reakci dostáváme velikost limitního proudu (Levichova rovnice)

$$I_L = 1.554.n.F.A.D^{2/3} n^{-1/6} c_{\infty}.w^{1/2} \quad (6)$$

Z těchto rovnic lze blíže určit popsat mechanismy na rotační diskové elektrodě. Průchod difúzního a kinetického proudu třífázovým rozhraním.

3. „Logaritmická analýza“

Katalytické křivky, získané metodou cyklické voltametrie, lze popsat Nerstovou rovnicí

$$E = E_{1/2} - \frac{R.T}{\alpha.n.F} \ln \frac{i}{i_{lim} - i} \quad (7)$$

kde $E_{1/2}$ – půlvlnný potenciál
 I_{lim} – limitní proud
 α - koeficient přenosu náboje

Tyto důležité kinetické parametry lze získat „logaritmickou analýzou“ pomocí softwaru GPES a jsou shrnuty v tabulce 1. Podle hodnot \square erstovy potenciálů lze katalyzátory srovnat takto:

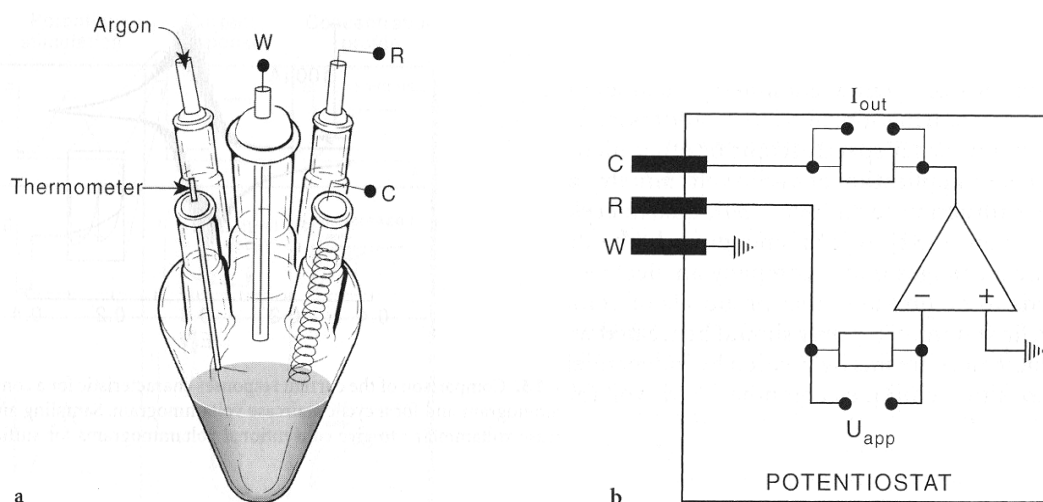
$$Zn > Ni - Mg > Cu > Mn > bez příměsí > Ag > Pb$$

Jedním z dalších kritérií pro hodnocení katalyzátorů může být tzv. „onset potenciál E_{ON} “. Tento parametr je nezávislý na geometrických rozměrech elektrody i na transportu látek k elektrodě a proto je pro porovnávání katalyzátorů velmi vhodný. Odvozením z Nernstovy rovnice lze E_{ON} vypočítat podle vztahu:

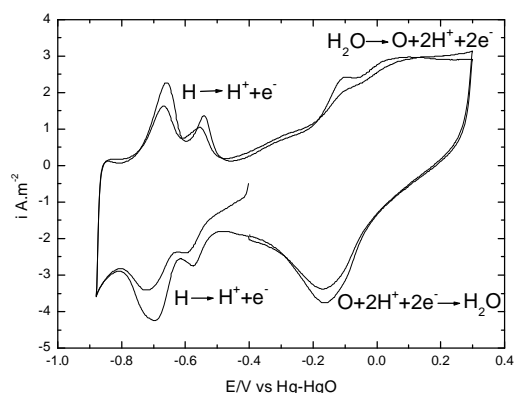
$$E_{ON} = E_{1/2} + 2 \cdot \frac{RT}{a \cdot n \cdot F} \quad (8)$$

2. Experimentální část

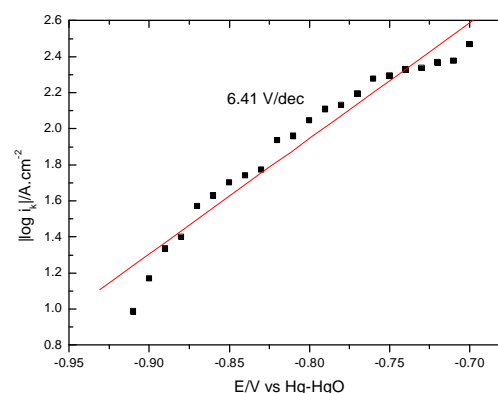
- Vodíkovo oxidační proces na 10hm% Pt v uhlíkové matici Cabot Vulkan XC byl charakterizován na GC (0,198cm²) nástavci, jako nanesený depozit. Materiál byl testován v třibodovém zapojení rotační diskové elektrody (obr.:3). Experiment byl prováděn při teplotě 30°C v 1 M hydroxidu draselném. Počet elektronů vyloučených na elektrodě byl sledován rotační technikou CV (obr. 4) a proudová hustota HOR stanovena z K-L modelu (obr. 4, 5, 6).
- Katalytické materiály byly připravovány redukcí KMnO₄ na uhlíkových sazích typu Chezacarb A. Ve 300ml destilované vody a byla rozmíchána sůl příslušného dopantu (dusičnan Mn, Mg, Zn, Ag, Cu, Ni, Pb). Roztok byl za stálého míchání přiveden k varu. Následně byl přidán 1g uhlíkových sazí. Po 10 minutách bylo přidáno 1,46g KMnO₄ (10% molárního množství sazí) rozpuštěného ve 100ml H₂O. Po pěti minutách varu byla vzniklá směs odstavena, dekantována, filtrována a sušena po dobu pěti hodin při teplotě 130°C.



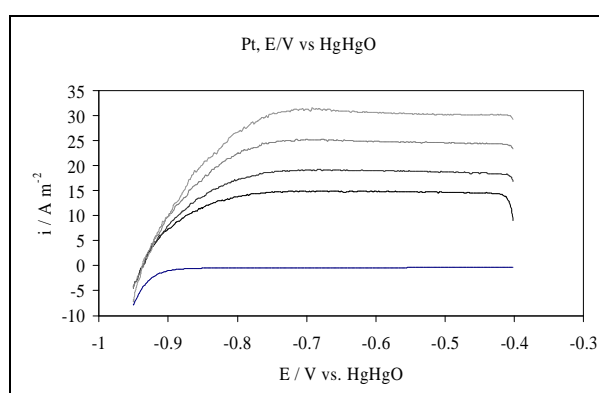
Obr.3: a- měřící cela, b- schéma zapojení měřícího systému



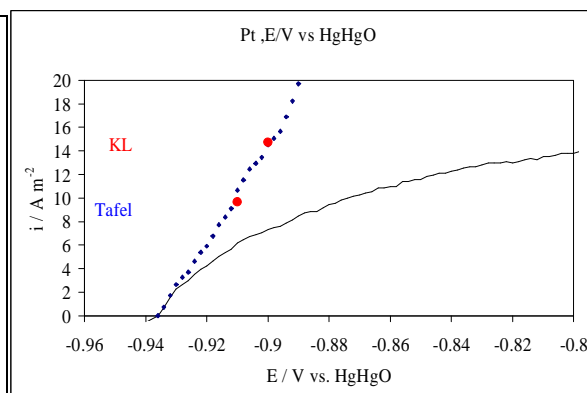
Obr.4: CV Pt/C , Argon



Obr.5: Nárůst napětí na dekádu



Obr.6: Hydrodynamika při změně otáček



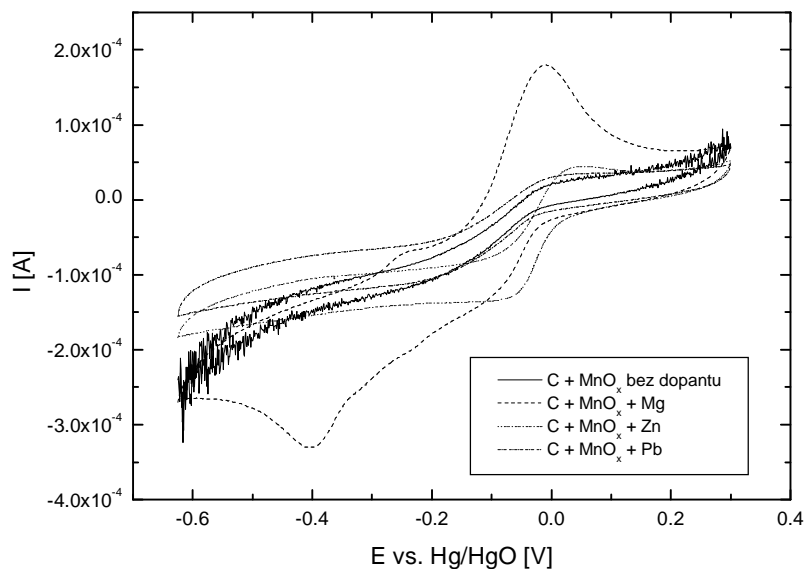
Obr.7: K-L model

Použitý matematický model:

$$\frac{1}{I} = \frac{1}{1.554 \cdot n \cdot F \cdot A \cdot D^{2/3} \cdot \omega^{-1/6} \cdot \nu^{1/2} \cdot c_{\infty}} + \frac{1}{n \cdot F \cdot A \cdot k'_{ME} \cdot c_{\infty}} = i \cdot a \cdot \sqrt{\Omega} \quad (9)$$

Tabulka 1: Kinetické parametry elektrodoých materiálů získané logaritmickou analýzou pro rychlosti nárůstu potenciálu 1mV/s,

Materiál	$E_{1/2}$ [V vs Hg/HgO]	I_{lim} [μ A]	$\alpha \cdot n$ [-]	E_{ON} [V vs Hg/HgO]
C+MnOx	-0,059	-83,1	1,274	-0,019
C+MnOx+Ag	-0,073	-83,1	1,079	-0,025
C+MnOx+Cu	-0,052	-79,2	2,096	-0,028
C+MnOx+Mg	-0,049	-77,6	2,081	-0,024
C+MnOx+Ni	-0,049	-69,2	2,000	-0,023
C+MnOx+Mn	-0,058	-77,3	1,300	-0,019
C+MnOx+Pb	-0,096	-77,1	0,634	-0,015
C+MnOx+Zn	-0,023	-103	1,742	0,006



Obr. 8 Příklady voltmetrických křivek. Rychlost nárůstu potenciálu 1mV/s, elektrolyt 1M KOH, referenční elektroda Hg/HgO (1M KOH)

Závěr

V současné době jsou nejrozšířenější palivové články typu PEM [1]. V tomto článku se používá, jako elektrolyt, membrána polymerního typu vysoce kyselého povahy Nafion[®]. Jediným použitelným katalyzátorem je platina pro své výborné antikorozivní a katalytické vlastnosti[1,2]. Naším cílem je výzkum membránových polymerů alkalického typu pro palivové články H₂-O₂, kde se dají použít i jiné katalyzátory.(MnO_x, Raney Ni, NiOx).[4,5,6,7,8,9] To by umožnilo podstatné snížení ceny “vodíkové technologie“.

Námi zkoumané katalytické materiály pak lze srovnat v řadě:



Poděkování

Práce je podporovaná Ministerstvem životního prostředí (grant VaV SN/3/171/05),

Literatura

- [1] Handbook of Fuel Cells: Fundamentals, Technology, Applications, Vol. **1-3**, W. Vielstich, A. Lamm, H. Gasteiger, Eds., Wiley, New York (2003)
- [2] N. Vassal, E. Salmon, J.-F. Fauvarque, *Electrochim. Acta* **45** (2000) 1527
- [3] Electroanalytical Methods, Guide to Experiments and Applications, F. Sholz(Ed.), Berlin 2002
- [4] J. Vondrák, M. Sedlaříková, V. Novák, *J. New Mater. for Electrochem. Syst.*, **1**, 25 (1998).
- [5] P. Bezdička, T. Grygar, B. Klápště, J. Vondrák, *Electrochimica Acta*, **45**, 913 (1999).
- [6] B. Klápště, J. Vondrák, J. Velická, *Electrochimica Acta*, **47**, 2365 (2002).
- [7] J. Vondrák, B. Klápště, J. Velická, M. Sedlaříková, R. Černý, *J. Electrochem. Solids*, **8**, 44 (2003).
- [8] J. Vondrák, B. Klápště, J. Velická, M. Sedlaříková, V. Novák, J. Reiter : *J. New Mater. for Electrochem. Syst.*, in press (2005).
- [9] J. Vondrák, B. Klápště, J. Velická, M. Sedlaříková, J. Reiter, I. Roche, E. Chainet, J. F. Fauvarque, M. Chatenet, *J. New Mat. for Electrochem. Syst.* (2005) in press
- [10] P. Skladal, Biosenzory, Brno 2002
- [11] Vobecký, J.: Nové trendy polovodičových součástek. In *Perspektivy elektroniky*. Rožnov p.R., březen 2005, str. 5 - 8.

Moderní trendy v programovatelné logice, aplikace v automatizační a měřicí technice

Soběslav Valach
UAMT FEEC VUT Brno, Kolejní 2906/4, 612 00 Brno
valach@feec.vutbr.cz

Abstrakt:

Článek popisuje základní principy moderních programovatelných hradlových polí typu FPGA, se zaměřením na základní funkční bloky. Dále se také zaměřuje na vývojové nástroje a v poslední části na praktickou aplikaci FPGA v automobilovém průmyslu.

1. Úvod

Moderní elektrotechnický průmysl neustále stupňuje nároky na výpočetní výkon, kompaktnost řešení, rekonfigurovatelnost, a také pochopitelně uplatňuje ekonomické požadavky minimální ceny, a co nejkratšího vývojového cyklu produktu. Takto formulované požadavky jsou v ostrém rozporu a není vždy snadné je splnit.

Výrobci moderních elektronických součástek hledají řešení v neustále se zvyšující integraci a funkčnosti elektronických součástek. Typickým příkladem tohoto trendu jsou programovatelné struktury. Ať už se jedná o mikrokontrolery převážně zpracovávající sekvenční kód, nebo o digitální a analogová programovatelná hradlová pole zpracovávající operace paralelně. Není neobvyklé, že se kombinace výše zmíněných struktur vyskytuje na jednom čipu, respektive v jednom pouzdru.

Následující text bude zaměřen na digitální hradlová pole, popis vnitřních struktur, obecné principy funkce a vývojové nástroje vhodné pro efektivní návrh složitých struktur obsahujících více jak sto tisíc ekvivalentních hradel.

2. Motivace

Důležité je, položit otázku, proč vlastně došlo k vývoji těchto struktur. Motivačních prvků bylo několik. V první řadě šlo o pokus zavést prvky rekonfigurovatelnosti (změny zapojení) na desky plošných spojů, protože pevně zapojené struktury postavené na bázi jednotlivých hradel, nebylo možné modifikovat bez změny zapojení, nebo jen komplikovaným systémem propojek. Druhým motivačním krokem byla jakási protiváha k zákaznickým obvodům, jejichž vývoj je zdoluhavý, velmi nákladný a je určen především pro velko-objemové série. Třetím bodem bylo zvýšení výkonu systému postavených na dosavadních strukturách složených z jednotlivých hradel. Je logické, že systém integrovaný v jednom pouzdru, bude dosahovat lepších parametrů, než systémy, které jsou tvořeny motivem na plošném spoji, s čímž je spojena i nižší cena a vyšší spolehlivost. Jednou z posledních výhod je zvýšení bezpečnosti návrhu – je problematické kopírovat struktury uložené uvnitř obvodů. Současná praxe v elektrotechnickém průmyslu ukazuje, že nastoupená cesta byla krok správným směrem.

3. Historie

Historie vývoje digitálních hradlových polí je poměrně dlouhá, a byla zahájena v roce 1975 uvedením jednoho z prvních digitálních hradlových polí FPLA (Field Programmable Logic Array) na světě firmou Signetics Corporation. Jednalo se o obvody typu FPLA a PLA, tedy maskou programované logické obvody využívající paměť PROM. Logické funkce byly tvořeny pomocí programovatelného pole AND, za kterým následovalo programovatelné pole OR. Další vývoj pokračoval v doplňování stavebních bloků logických sítí jako jsou klopné obvody, které umožnily uživatelům vytvářet sekvenční obvodové struktury. Jednalo se o obvody typu PLD (Programmable Logic Device). V osm-

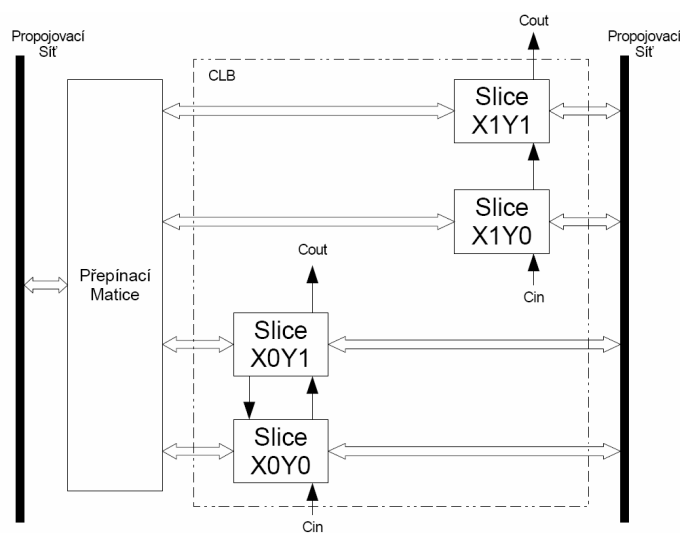
desátých letech dochází k rozvoji mazatelných obvodů, které byly a neustále jsou vyráběny firmou Lattice Semiconductor známé pod obchodním názvem GAL (Generic Array Logic). V této době dochází k rozvoji obvodů, které nejsou tvořeny logickou sítí AND a OR funkcí, ale jsou tvořeny na bázi konfigurovatelné tabulky (Look up Table). Technologie LUT je využívána dodnes jako hlavní stavební prvek moderních programovatelných struktur.

4. Architektura

V současnosti jsou digitální hradlové pole rozdělena na dvě skupiny. První a historicky starší tvoří obvody CPLD (Complex Programmable Logic Device) a druhou velkou skupinou jsou obvody FPGA (Filed Programmable Gate Array). Z pohledu moderních trendů v elektrotechnice je jisté, že pole typu CPLD budou v průběhu několika let prakticky nahrazeny poli typu FPGA, kterým se budeme dále podrobně věnovat v následujících odstavcích.

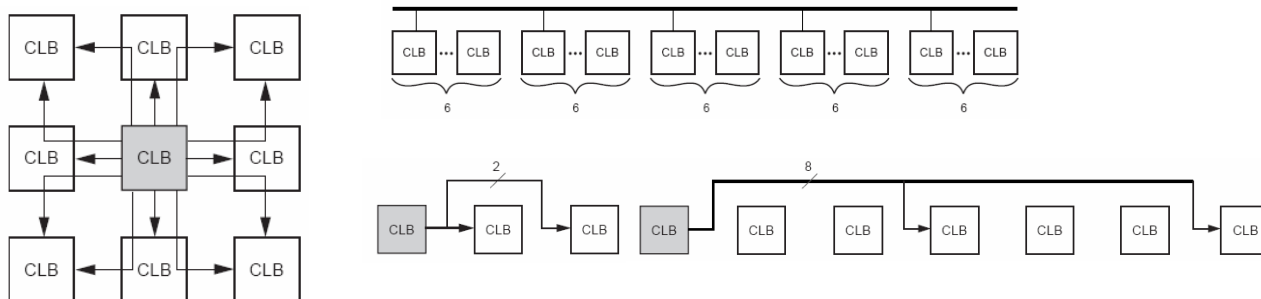
Pro doplnění přehledu uvedme největší hráče na trhu s FPGA. Jedná se o firmy Xilinx se zastoupením asi 48% podílu na trhu, na druhém místě je Altera s podílem 45% a zbývající část trhu zaujímá Lattice Semiconductors (vysoce kvalitní a speciální pole zaměřené na protokolové vrstvy), Actel (interní programovací paměť Flash pro kompaktní řešení), Atmel (spojení procesoru a hradlového pole) a jiní minoritní výrobci.

V hradlových polích jsou dva základní stavební bloky. První skupinu tvoří konfigurovatelné logické bloky (CLB), které zajišťují generování logických funkcí a návaznost na sekvenční logické prvky. Každý CLB blok obsahuje čtyři tzv. slice (viz. Obr. 1), které jsou připojeny na propojovací matice, nebo jsou přímo spojeny se sousedními slices. Dále každý slice obsahuje dva úplné generátory čtyř vstupních logických funkcí a dva konfigurovatelné klopné obvody (typ D nebo Latch, s volbou synchronního-asynchronního resetu, povolením hodin a možností přednastavení). Logika slice je doplněna o obvody nezbytné pro přenos přetečení čítačů z předcházejících stupňů (polovina vnitřní struktury slice je vyobrazena na Obr. 3).



Obr. 1 CLB v hradlovém poli firmy Xilinx

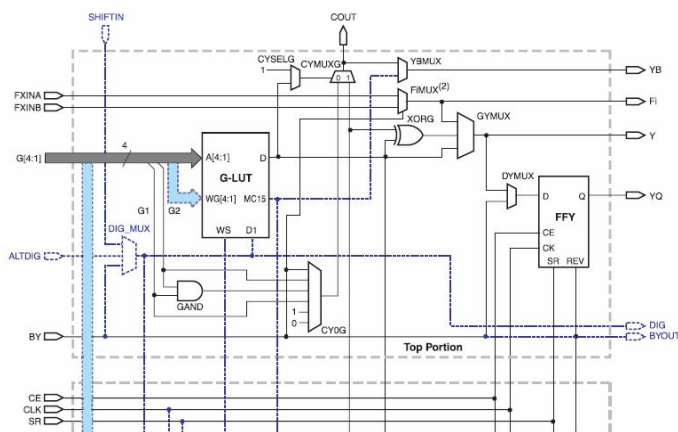
Druhou skupinou jsou propojovací sítě, které zajišťují propojení mezi konfigurovatelnými logickými bloky navzájem, funkčními bloky a také vstupně - výstupními obvody. Propojovací sítě se dělí u obvodů Xilinx na Long Line, Hex Line, Double Line a Direct Line (viz. Obr. 2). Speciálním případem propojovací sítě jsou rozvody hodin, kterých je omezený počet a mají speciální vlastnosti (nízká kapacita, velmi malé rozdíly ve zpoždění signálů v různých částech čipu).



Obr. 2 Schéma propojovací sítě (vpravo - Direkt Line, Long, Hex a Double Lines)

Long Lines slouží k propojení mezi CLB, které jsou od sebe ve vzdálenosti 6 CLB (viz. Obr. 2). Propojovací sítě Hex Lines jsou určeny pro propojení mezi CLB ve vzdálenosti 3 bloků. Pro bližší propojení slouží Double Lines, které umožňují propojení ob jeden blok. Vůbec nejužší propojení poskytují Direct Lines, které dovolují libovolné propojení se sousedem. Navržená struktura umožňuje propojení prakticky jakýchkoliv funkčních bloků na čipu při minimálních nákladech a optimálním výkonu (zatížení sběrnic, zpoždění signálu).

Výše zmíněné struktury v podobě, která byla uvedena výše, jsou prakticky známy od roku 1985 a svoji podobu si udržují až do současnosti (pochopitelně není možné srovnávat podobu buněk z roku 1985 s dnešním stavem, který vidíme na Obr. 3, ale princip, jako takový byl zachován).

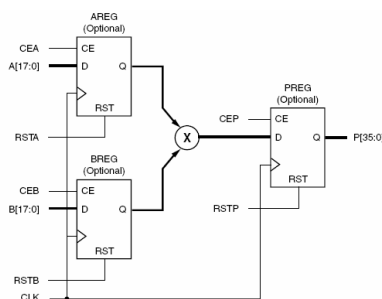


Obr. 3 Polovina slice v hradlovém poli Spartan3

Zlomovým bodem ve vývoji hradlových polí, bylo přidávání dalších funkcí do vnitřních struktur. Jednou z prvních funkcí byl konfigurovatelný vstup - výstupní blok, kde si uživatel mohl vybrat logický standard, který bude používat, popřípadě zda použije pull-up, pull-down nebo bude udržovat poslední úroveň (keeper). S rozvojem digitálního zpracování signálu následovalo přidávání funkčních bloků zajišťujících rychlé a jednoduché vytváření DSP operací bez nutnosti doplňovat pole externími součástkami.

Jako první (rok 1998) se objevily tzv. blokové paměti typu RAM. Bloková paměť je opět konfigurovatelný blok, který umožní nastavit šířku vstupní/výstupní sběrnice, typ paměti – jedno-bránová nebo dvou-bránová. Blokové paměť obvykle souží jako vyrovnávací paměť, paměť pro mezivýsledky, zpoždění průchodu signálů při digitální filtraci, nebo dokonce jako paměť programu pro procesory

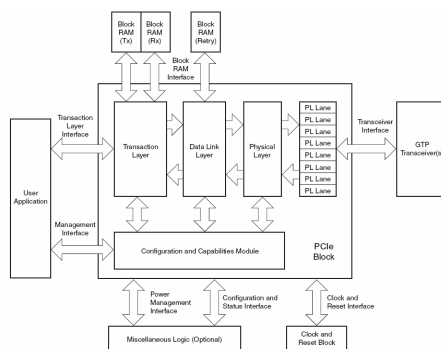
vytvořené, nebo integrované v FPGA. Logickým důsledkem bylo rozšíření o funkční bloky násobení (18 x 18 bitů s 36 bitovým výsledkem). Takto navržená struktura již umožňuje provádět složité matematické operace v reálném čase (jen pro představu uveďme, že low cost hradlové pole Spartan3E (v ceně 17USD za kus při odběru 1000ks) dokáže provést 4,8 miliardy násobení za sekundu).



Obr. 4 Blokové schéma násobičky

Moderní hradlové pole jsou dále doplněny o syntezátory frekvence a fázové závěsy pro úpravu vstupních hodinových signálů – jednotky DCM nebo PLL. Výhodou je, že přímo na čipu hradlového pole může být vyrobena takřka libovolná frekvence s prakticky libovolným fázovým posunem. Obvykle je možný fázový posun v rozlišení pod 100 ps.

Trendy posledních let vedou k integraci stále nových jednotek, které nacházejí uplatnění hlavně v oblasti komunikací - integrací rychlých transceiverů (obvykle se jedná o fyzické vrstvy protokolů Ethernet 100Mbit-10Gbit, SONET, PCI Express, OC48 a RapidIO). S tím souvisí postupná integrace vyšších vrstev protokolů a jader procesoru do struktur FPGA. Poslední hradlová pole rodiny Virtex 5 firmy Xilinx umožňují přímé připojení na sběrnici PCI Express se všemi vrstvami, které definuje standard PCI Express pro Endpoint zařízení. Typické zapojení Endpointu uvnitř FPGA je uvedeno na Obr. 5. Prosím, povšimněte si, využití blokových pamětí u transakčních a linkových vrstev, a připojení transceiveru tvořícího výstup z fyzické vrstvy.



Obr. 5 Endpoint sběrnice PCI Express v FPGA

Procesorové jednotky jsou děleny na dvě velké skupiny. První skupinou jsou tzv. soft procesory, vytvořené pomocí základních stavebních bloků v hradlovém poli. Výhodou soft struktur je snadná konfigurace a přenositelnost mezi jednotlivými řadami hradlových polí. Řady soft-procesorových jader jsou velmi rozmanité od 8-bitových procesorů, zabírajících několik desítek, až po systémy vyžadující desetitíci slices. Obvykle jsou soft-jádra dodávána výrobcem hradlových polí (firma Xilinx – 8 bitový procesor Picoblaze, 32 bitový Microblaze, od firmy Altera je známý 32 bitový procesor Nios, a firma Lattice nabízí procesor LatticeMicro32). Nevýhodou soft řešení je nižší pracovní frekvence (např. již zmíněné low cost řešení dosahuje pracovní frekvence u 32bitového mikroprocesoru kolem 66MHz).

Druhou skupinou jsou jádra integrovaná přímo do křemíku. V těchto případech je velmi omezená konfigurace procesoru, ovšem procesory pracují až do frekvence 500MHz s podporou jednotek správy paměti MMU. Firma Xilinx integruje přímo na čip procesory PowerPC řady 405.

Jedním z posledních trendů v oblasti hradlových polí je tzv. částečná rekonfigurace pole. V případě potřeby, lze dynamicky měnit obsah části pole za chodu. To znamená, nahrazení jedné funkce, funkcí druhou (např. výměna transformace FFT za matematický koprocesor). Tato technologie je podporována jen u některých řad hradlových polí firmy Xilinx a obecně se dá říct, že není běžně nasazována do praxe, ale dá se předpokládat prudký nárůst nasazení v budoucnu.

5. Programovací techniky

V předchozí části jsme zjednodušeně popsali strukturu hradlového pole a některé jeho funkční bloky. Problém neustále zůstává v tom, jak uživatel “vysvětlí” konfigurovatelnému hardwaru, co po něm požaduje. Jedna z možností, která se používá od prvopočátku, je popis ve schématech. Ten je názorný a snadno pochopitelný, ovšem jen v omezeném rozsahu využití. Pokud budeme předpokládat strukturu s několika desítkami či stovkami hradel, asi nenastane žádný větší problém v pochopení funkce daného zapojení. Problémy lze očekávat v případech, kdy budeme nuceni část zapojení modifikovat nebo přepracovat. V případě, kdy bude nutné pracovat se strukturami, které používají pro svoji činnost tisíce, statisíce nebo dokonce miliony hradel, je tento postup nepoužitelný a nevede k dosažení požadovaného cíle.

Z tohoto důvodu byly vytvořeny programovací jazyky, které pomocí jisté formy abstrakce oddělí programátora od fyzického hardwaru a zajistí přenositelnost kódů mezi jednotlivými řadami hradlových polí a dokonce ne jen mezi výrobci ale i mezi technologiemi (FPGA – ASIC). Tyto jazyky se souhrnně označují jako HDL (High Definition Language) a patří mezi ně jazyk Verilog (používaný hlavně v Asii a Americe) a jazyk VHDL, vyvinutý pro potřeby americké armády (používaný v USA, Evropě a minoritně v Asii). V těchto jazycích je možné popisovat problémy, od těch nejjednodušších (kombinační logika), až po struktury typu procesor, koprocesor, řadič paměti nebo rozhraní sběrnice PCI Express. Další nespornou výhodou strukturovaných textů je možnost týmové práce, správy verzí a simulace zapojení.

V současnosti se dále rozvíjejí techniky využívající grafické prostředí, které spojuje a integruje jednotlivé bloky psané v HDL jazycích dohromady a umožňuje tak vytvářet tzv. struktury typu SoC (System on Chip).

6. Příklad využití struktur FPGA v automobilovém průmyslu

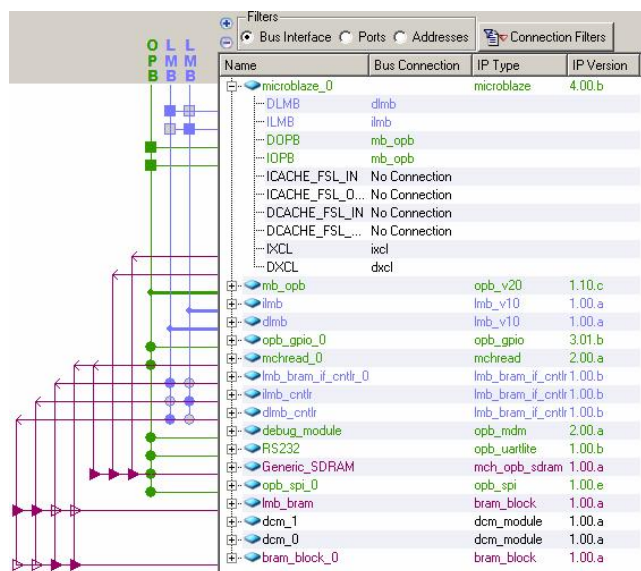
Jako jeden z příkladů moderního trendu v řízení a automatizaci uveďme projekt řešení dle požadavku firmy Volkswagen pro generování obrazových dat na palubních přístrojích. Pro řešení projektu bylo vybráno zapojení s hradlovým polem Spartan3E (XC3S1200E – odpovídá asi 1,2 milionu ekvivalentních hradel).

Systém byl vybaven externí pamětí SDRAM o velikosti 16MB s šířkou datové sběrnice 32 bitů a 8MB pamětí Flash pro program a statická data (pozadí, palety, fonty, ukazatel směru, ABS a jiné komponenty, které je nutné za provozu vozidla zobrazovat nebo předávat jako informaci směrem k řidiči). Systém byl dále doplněn o oscilátor, ze kterého se odvozuje ostatní kmitočty (pomocí DCM bloků uvnitř FPGA) potřebné pro spolehlivou činnost jednotky. Hradlové pole bylo doplněno o celou řadu periferních zařízení zajišťujících komunikaci mezi zobrazovací jednotkou a okolním světem. Jednalo se především o rozhraní sériové linky RS232 sloužící pro nastavování parametru, rozhraní I2C pro komunikaci s řídicí elektronikou ve vozidle, USB systém pro komunikaci uživatelskými zařízeními (flash disk), obecné vstupy a výstupy pro signalizaci stavů systému a JTAG rozhraní pro rychlé protypování a testování navržené struktury v FPGA .

Stěžejním bodem úspěšné implementace a realizace zobrazovací jednotky je vhodná vnitřní architektura struktury hradlového pole. Návrh byl rozdělen na dva moduly. První modul využívá vlastností a předchystaných komponentů vývojového prostředí EDK (Embedded Development Kit) firmy Xilinx viz. *Obr. 6* – a druhá skupina modulů je určena pro uživatelské funkce, které budou vytvořeny a zahrnuty do prostředí EDK. Programovacím jazykem pro tvorbu, nebo úpravu všech

modulů je VHDL, který nám poskytuje dostatečnou formu abstrakce a odděluje programátorskou činnost od vrstev hardwaru.

Hlavním stavebním prvkem je 32 bitový soft core procesor Microblaze. Jak již název napovídá nejedná se o procesor připravený uvnitř křemíkové struktury, ale o procesor, který je tvořen pomocí propojení jednotlivých elementárních bloků uvnitř FPGA. Díky popisu struktury ve vyšším jazyku je možné procesor přeložit pro libovolného hradlového pole firmy Xilinx – tato vlastnost zajišťuje neomezenou životnost navrženého řešení. Další výhodou je možnost konfigurovat procesor dle požadavků na využívané zdroje (cache, debug moduly, přerušeni, sběrnice) a jejich případnou emulaci v softwaru (operace násobení, dělení, operace v pohyblivé řádové čárce, atd).



Obr. 6 Příklad zapojení systému v EKD Xilinx

Při implementaci zobrazovací jednotky bude procesor zajišťovat vyšší řídicí funkce jako nastavování parametrů výkonných jednotek, kreslení a renderování textu, změnu pozadí, zobrazení symbolů a komunikaci s okolním světem viz. blokové schéma na Obr. 7.

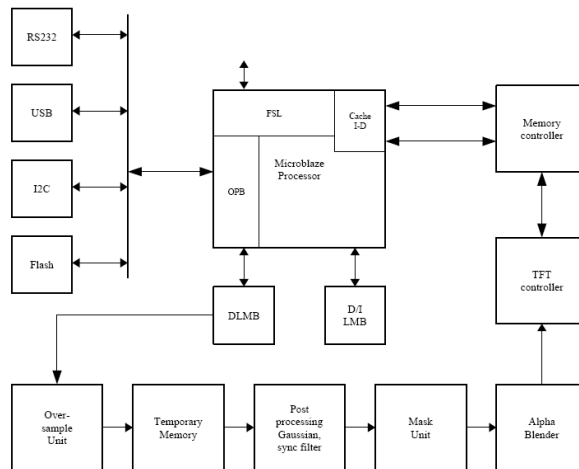
Periferní zařízení jsou připojena k procesoru pomocí systému sběrnic, které jsou rozděleny podle rychlosti a latence přístupu.

Sběrnice OPB (On Chip Peripheral Bus) je využívána pro komunikaci s „pomalými“ periferními zařízeními (RS232, I2C, Flash a USB) a dále umožňuje spojení s hlavní pamětí pro přístupy generované debuggerem.

Rychlá zařízení, která potřebují poměrně nízkou latenci a přístup k velkému objemu dat, jsou připojena po dedikovaných kanálech typu FSL(Fast Simplex Link) k multiportému řadiči paměti. Jedná se především o instrukční a datovou sběrnici procesoru (instrukční i datové část má vlastní obousměrný kanál), dále je k rychlému kanálu připojen řadič zobrazovače, kde standardní datový tok dosahuje 60MB/s.

Zvýšení propustnosti dat je dosahováno pomocí vnitřních pamětí BlockRam, které jsou využívány jako buffery, paměti cache a v neposlední řadě jako paměti pro mezivýsledky grafických operací.

Poslední a nejdůležitější částí systému jsou výkonné jednotky, které zajišťují kreslení rafrčky přístroje 50x za sekundu. Řetězec uživatelských výkonných jednotek je uspořádán tak, aby bylo dosaženo co nejlepších vizuálních efektů na cílovém zobrazovači. Především se jedná o plynulost pohybu a potlačení nežádoucích rušivých jevů jako je aliasing. Proto, aby došlo k co nejlepšímu potlačení aliasingu, je každý objekt, který se zobrazuje v průhledné oblasti převzorkován (jednotka oversampling) využívá se rastr 7 x 7 bodů výsledek je uložen do přechodné paměti, ze které je vybírán a filtrován jedním z 2-D filtrů (muže byt zvolen filtr s Gaussovým rozložením, sync nebo obdélník, volba zatím zaleží na subjektivním posouzení pozorovatele).



Obr. 7 Blokové schéma vnitřní struktury FPGA

V poslední kroku se vytvoří maska, která je smíchána s obrazem pozadí a výsledně zobrazena na displeji. Pro výpočet hodnoty bodu se používá vztah $P_n = PF_n * \alpha + FB_n * (1 - \alpha)$, kde α je hodnota alfa kanálu, PF_n je hodnota složky (R,G,B) bodu na popředí a FB_n je hodnota složky bodu pozadí. Sekvence těchto operací se provádí 25 milionkrát za 1s pro každou složku (zhruba 150 milionů celočíselných násobení za sekundu). Dosažené výsledky je možno vidět na Obr. 8.



Obr. 8 Grafická obrazovka palubního přístroje

7. Rekapitulace

Struktury hradlových polí nacházejí pro svoji flexibilitu neustále větší uplatnění v různých oborech lidské. Rozvoj technologie posouvá hranice a možnosti těchto struktur neustále dopředu. V současnosti je poměrně běžné nasazování „levných“ hradlových polí v telekomunikační technice, v obrazových přenosových trasách, automobilovém průmyslu a lékařství. Přechodem na výrobní technologii 65nm lze očekávat snížení ceny a nárůst pracovní frekvence.

Literatura

- [1] Xilinx: Spartan-3 Generation FPGA User Guide, December 2006
- [2] Altera: Cyclone II Device Family Data Sheet, 2006

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, petr.simonik@vsb.cz,
lukas.osmancik.fe@vsb.cz, petr.moravcik.fe@vsb.cz

Abstrakt:

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 mikro počítačových systémů se signálovými procesory, ale také o vysoké profesionalitě a odbornosti vývojových pracovišť.

2. Historie a současnost v oblasti výkonových spínacích součástek

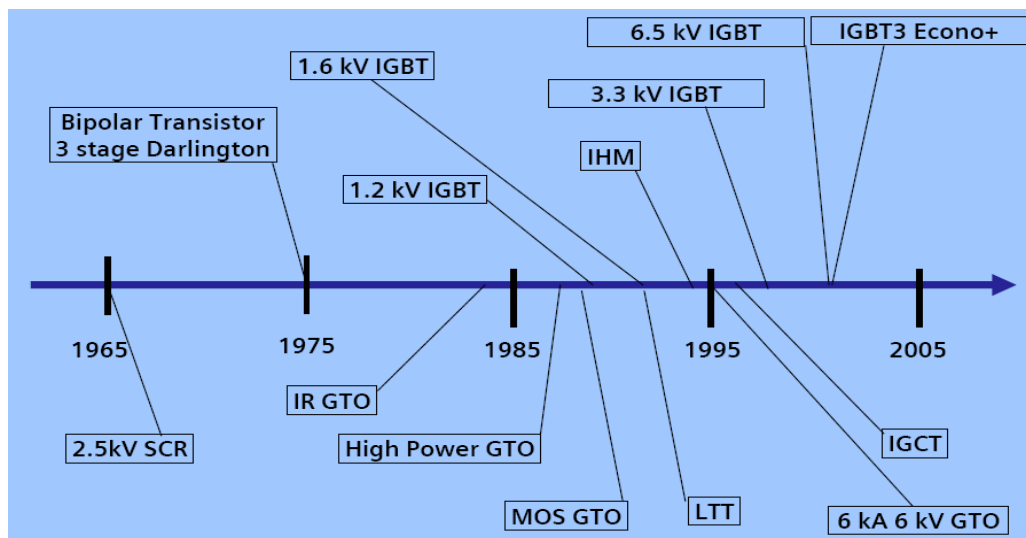
Novou éru vývoje v oblasti vývoje nových koncepčních řešení výkonových polovodičových měničů zahájil v minulosti tyristor. Výkonové tyristory se i v současnosti využívají zejména v řízených usměrňovačích a střídavých měničích napětí. Jsou k dispozici pro proudy řádově v hodnotách kiloampérů a napětí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

Další široce využívanou součástí 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 napětových hladin lze v současnosti tento prvek považovat za velmi perspektivní pro výkonovou elektroniku.

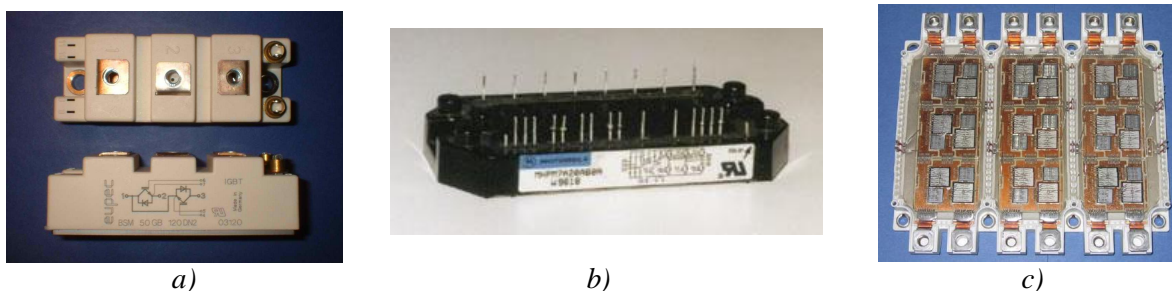
Ve snaze odstranit nevýhody GTO byl vyvinut a v poslední době se v sériově vyráběných měničích začal osazovat nový prvek IGCT – tyristor řízený integrovanou řídicí elektrodou. Jedná se v podstatě o GTO s integrovanými obvody řídicí elektrody.

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.

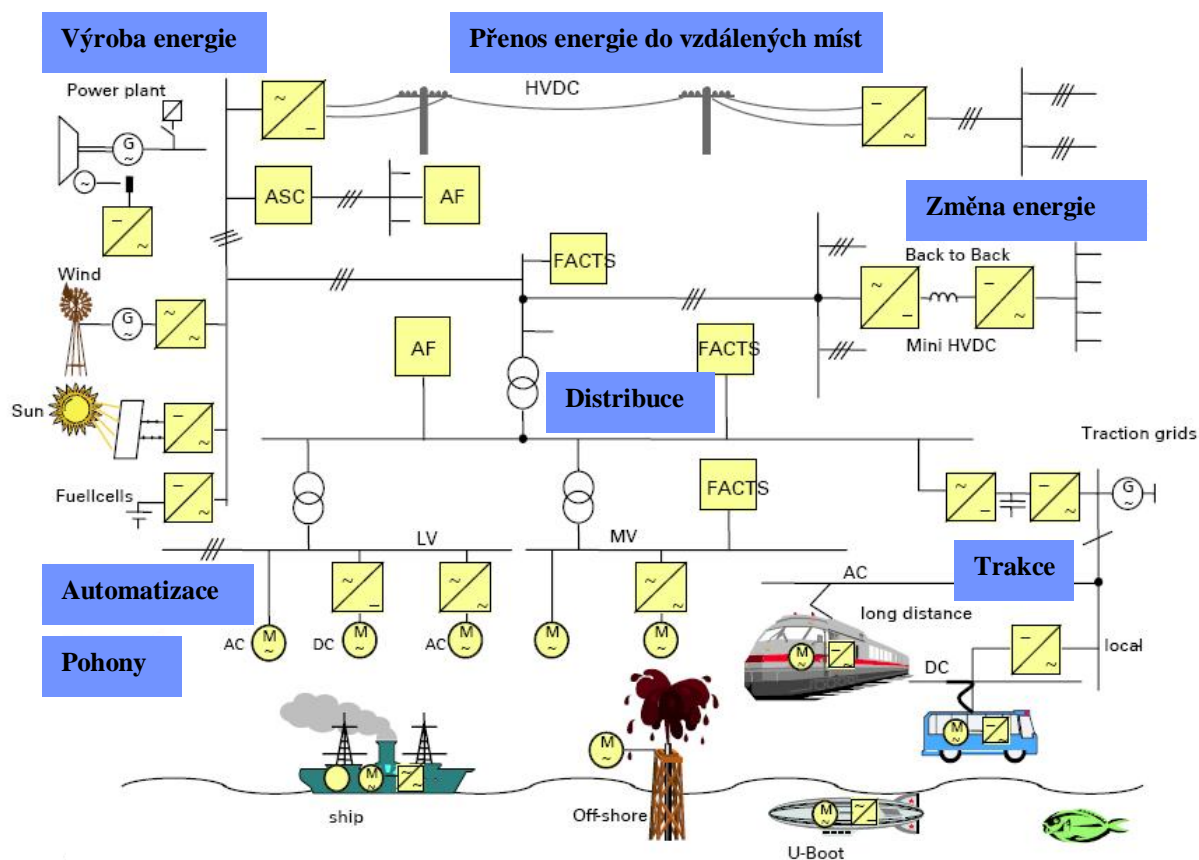


Obr. 2 Výkonové IGBT moduly pro polovodičové měniče

a) výkonový bezpotenciálový modul tzv. Half Brifje – 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.



a)



b)

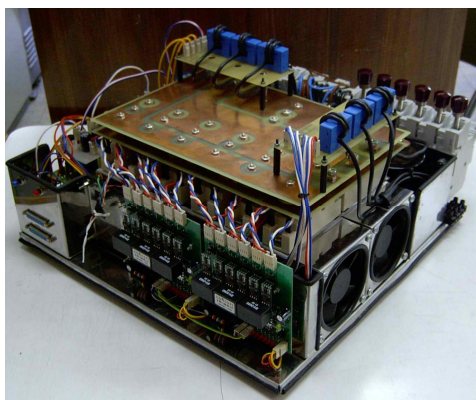


c)

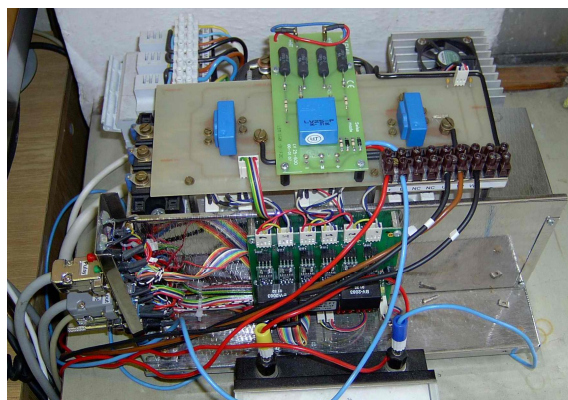
Obr. 4 Profesionální komerční frekvenční měniče

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, PROFI 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

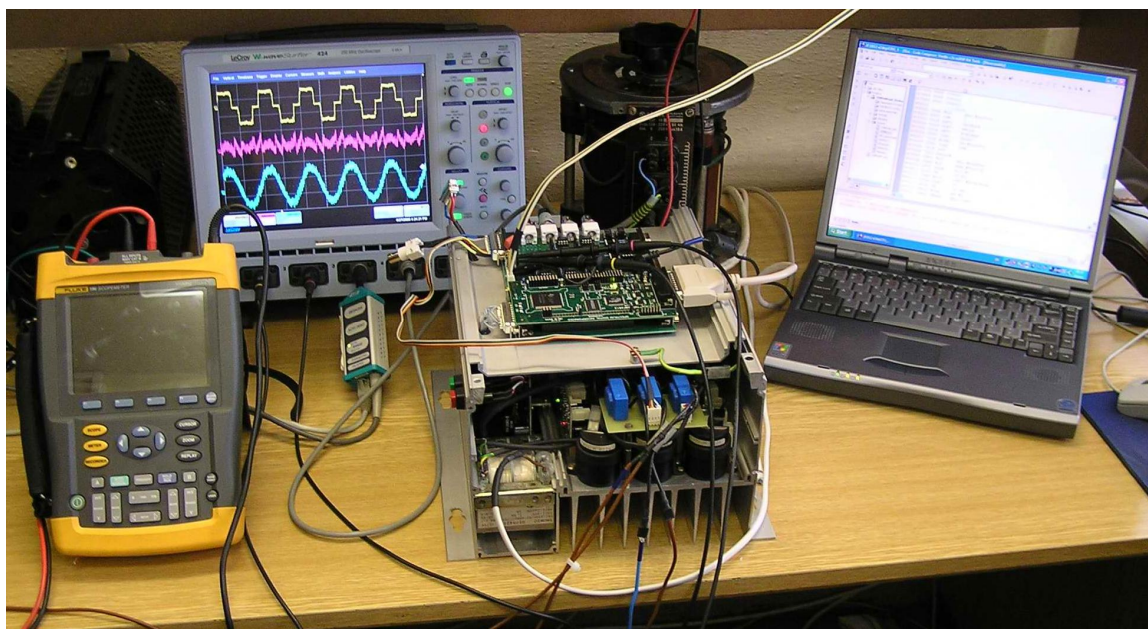
Aktivní výkonové filtry jsou obecně zařízení sloužící k eliminaci nežádoucích zkreslení napájecí sítě vlivem proudových, resp. napěťových harmonických. Zjednodušeně lze říci, že vhodným způsobem zapojení aktivního filtru do sítě lze vylepšit proud, napětí nebo obojí.

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.

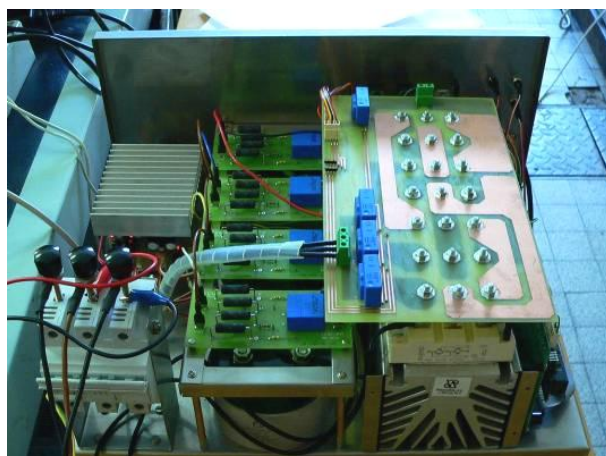
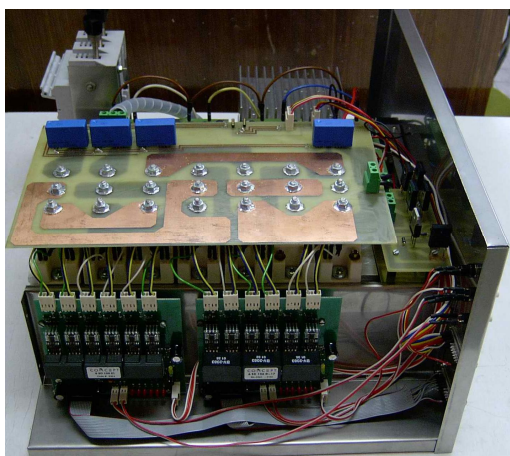


Obr. 6 Laboratorní vzorek paralelního aktivního filtru pracujícího v režimu měkkého spínání, laboratorní vzorek vznikl jako součást Disertační práce na Katedře elektroniky, VŠB – TUO

Pulsní usměrňovače

Pulsní usměrňovač je v podstatě napěťový 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 sítovou 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 puslného 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

Nové pohledy na aprotické polymerní elektrolyty

J. Vondrák,
Ústav anorganické chemie AV ČR, Řež

M. Sedlaříková, O. Krejza, P. Barath
Ústav elektrotechnologie FEKT VUT Brno

J. Kliment,
Solartec, Rožnov p. Radhoštěm

Polymerní aprotické elektrolyty zaujímají místo ve výzkumu a vývoji nových elektrochemických zdrojů proudu a elektrochromních prvků a dalších speciálních komponent. Mohou se uplatnit všude tam, kde je zapotřebí získat bezvodý elektrolyt schopný činnosti v jakékoli poloze a to v poměrně širokém rozmezí teplot.

Pracovní kolektiv soustředěný na UACH AV ČR a UETE FEKT VUT v Brně se zabývá již několik let polymerními elektrolyty založené na bázi roztoků bezvodých solí v PC, které jsou imobilizovány přítomností vybraných polymerů. Jejich konzistence je gelovitá, obvykle jsou ohebné a transparentní.

Příprava těchto gelů probíhá různými způsoby:

- způsob zvaný „casting“, spočívající v přidavku roztoku soli v aprotickém rozpouštědle do roztaveného polymeru
- přímá polymerace monomeru s přidavkem požadovaného roztoku soli v aprotickém rozpouštědle

Náš kolektiv vyvinul metodu přípravy ad (b), která umožňuje výrobu fólií nebo polymeraci *in-situ* přímo v mezielektrodoovém prostoru vytvářené součástky. Jako polymer jsme zvolili PMMA nebo jeho deriváty a jako elektrolyt PC nebo jemu podobné látky (EC, DMC-EC apod.).

1. Příprava gelových elektrolytů

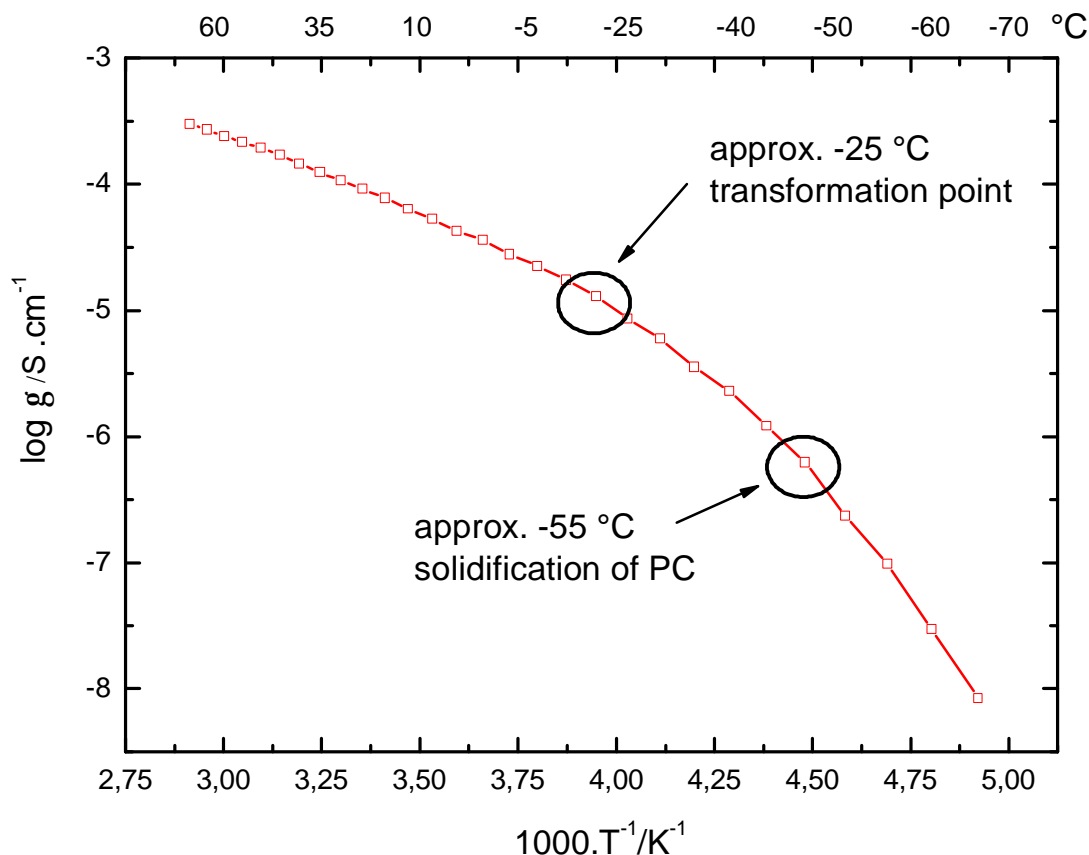
Používáme při tom tyto metody polymerace:

- Polymerace pomocí komerčně vyráběným přípravkem SUPERAKRYLEM (částice polymeru o \varnothing 10 – 200 μm , na nichž je zakotven dibenzoylperoxid)
- Polymeračním činidlem ABIN
- Polymerace UV zářením

Mezi způsoben (a) a ostatními dvěma jsou značné rozdíly. Ukazuje se, že polymer připravený pomocí Superakrylu je mikroheterogenní a skládá se z pevných částic a prostor mezi nimi je vyplněn v podstatě kapalným elektrolytem. Naproti tomu, chemicky připravované gely metodou (b) nebo (c) jsou v podstatě homogenní, patrně obsahují samostatné makromolekuly a ty ovlivňují transportní vlastnosti

2. Elektrické vlastnosti gelových elektrolytů

Již v počátcích našich prací jsme ukázali, že měrná vodivost gelů obsahujících menší kationy je menší než vodivost gelů s kationy většími. Např. vodivost gelů obsahujících lithné ionty je menší než vodivost gelů s ionty sodnými.



Obr. 1 Teplotní závislost měrné elektrické vodivosti gelových polymerních elektrolytů

1. Transportní vlastnosti iontů v gelových elektrolytech.

Pro objasnění paradoxu dle bodu (2) jsme zahájili měření převodových čísel námi vyvinutou metodou měření potenciálu koncentračních článků. Metoda sice potvrdila poměrně malé převodové číslo iontů Li v LiCoO_4 (přibližně 0,3), není však dostatečně přesná. Bude třeba ji upřesnit nebo vyvinout metodu lepší.

2. Stanovení mikroskopické pohyblivosti alkalických iontů pomocí NMR

Spektroskopie NMR umožňuje stanovit relaxační doby, které odpovídají schopnosti iontů s lichým hmotnostním číslem (Li^7 nebo Na^{23}) konat pohyby ve svém bezprostředním okolí. Ukázalo se, že takto určená pohyblivost iontů Na je řádově vyšší než iontů Li. To vysvětlujeme tak, že ionty Na jsou v gelu vázány jinak než ionty Li. Ty patrně tvoří malé solvatované útvary, které se polymerem hůře pohybují než ionty Na, i když v rámci solvátového obalu jsou poměry rozdílné. NMR pohyblivost je patrně otázka pohyblivosti v atomárním měřítku, zatímco elektrolytická migrace je pohyblivost na značně větší vzdálenosti a řídí se jinými zákony.

Pomocí NMR rovněž lze studovat „zamrzání“ iontů v gelu jak při teplotách pod nulou (sledováno do -50°C), tak i během tuhnutí gelu.

3. Elektrická dvojvrstva

V rámci studia elektrochemických superkondenzátorů byly měřeny i jevy kapacitní. Přitom se jednoznačně ukazuje, že kapacita dvojvrstvy sklovitého uhlíku v gelech je výrazně nižší než kapacita stejné elektrody v elektrolytu kapalném. To vysvětlujeme tak, že – zejména při polymeraci *in situ* – je

povrch elektrody obsazen polární, avšak málo vodivou vrstvou makromolekul bránících vzniku klasické elektrické dvojvrstvy.

4. Elektrochromní prvky

Původním zdrojem zájmu o gelové elektrolyty byla představa elektrochromních displejů a oken, u kterých právě gelovitá konzistence nabízí řadu možných aplikací. Tak byly pokusně sestrojeny elektrochromní prvky s elektrodami interkalačního typu (WO_3 nebo V^2O^5) i prvky heterogenní se systémem jód – jodid na kladné elektrodě. Tyto pokusy byly prováděny ve spolupráci s kolektivem prof. B. Orla v Lublani.

5. Vliv nanočástic na vodivost gelů

Jedním z nejnovějších poznatků je to, že přidavek nanočástic (alumina, silika apod.) do gelového elektrolytu zřetelně zvyšuje elektrickou vodivost gelů. Tento údaj jsme získali v r. 2004 na 12. konferenci IMLB v Japonsku (město Nara). Ve své podstatě je velmi překvapivý. Proto jsme provedli jeho pečlivé a systematické ověření. K tomu účelu jsme porovnávali tyto materiály:

Gely připravené ze Superakrylu a za pomoci činidla ABIN

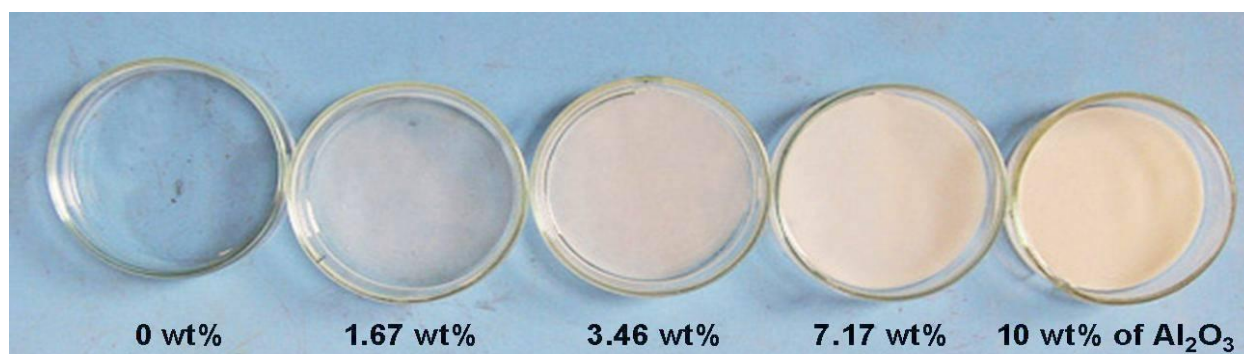
Gely sodné a lithné

Kapalné elektrolyty obsahující porovnatelná množství solí Li nebo Na v PC

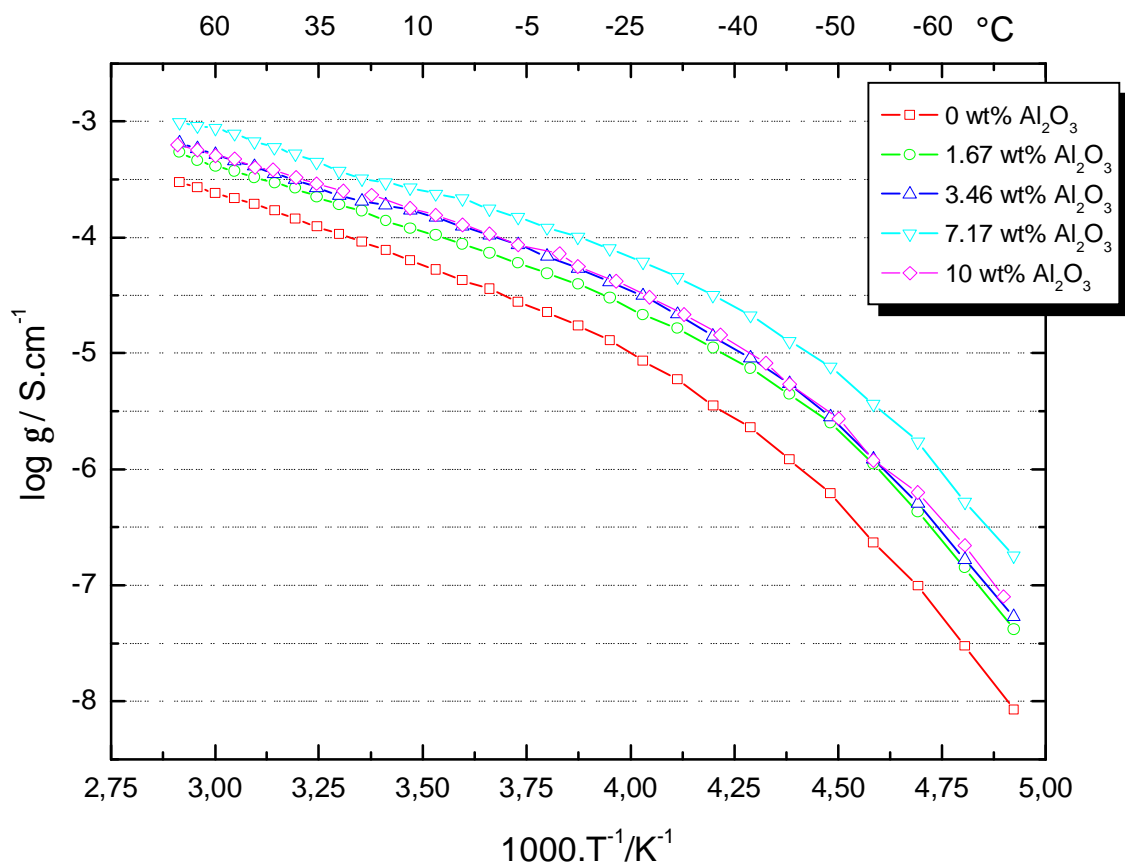
Přídavek dvou druhů nano Al_2O_3 (Aldrich) o velikosti částic kolem 40 a 100 nm

Výsledek byl velmi pozoruhodný.

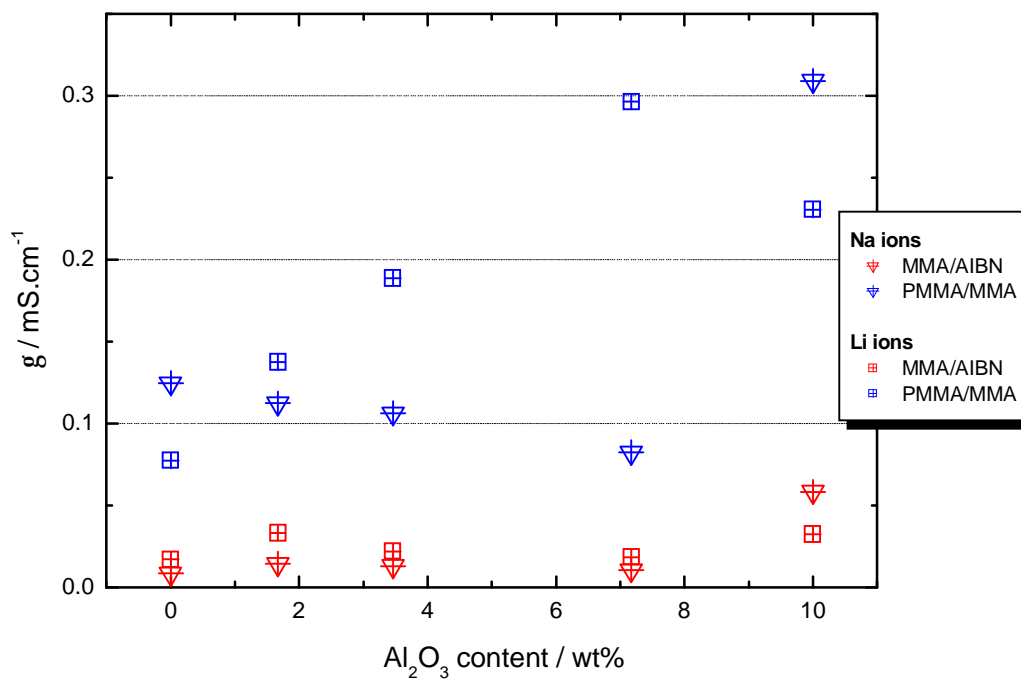
- vodivost kapalných elektrolytů se přítomností gelů nepatrně snížila (asi o 5 – 10 %)
- vodivost gelů lithných výrazně stoupá, při přídavku 7,5 % hm. Je nejvyšší a navýšení činí dvojnásobek – až trojnásobek v případě gelů připravených Superakrylem
- vodivost gelů sodných se z počátku téměř nezvyšuje a jisté zvýšení se začíná jevit až u přídavku 10 % hm. Aluminy
- gely vyráběné pomocí činidla ABIN toto zvýšení rovněž jeví, ale ve výrazně menší míře



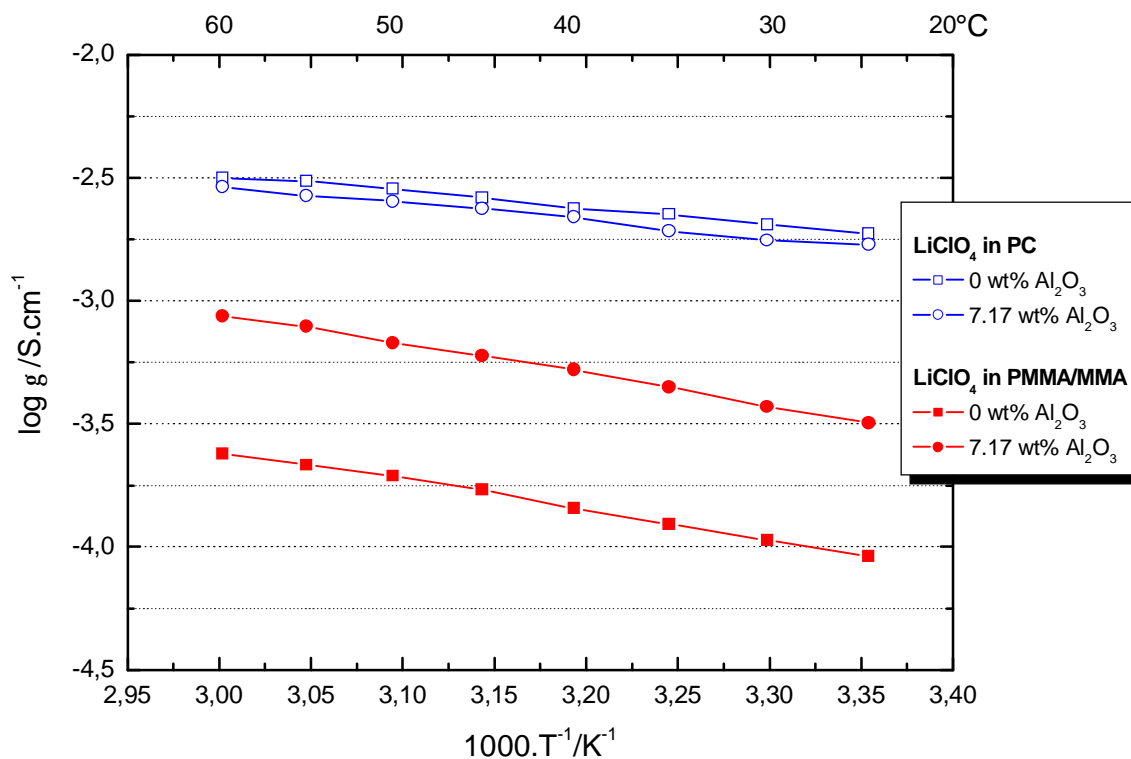
Obr. 2 Gelové polymerní elektrolyty s nanostrukturním Al_2O_3



Obr. 3 Arrheniův průběh specifické vodivosti GPE(gelových polymerních elektrolytů) na bázi PM-MA/MMA s obsahem Al_2O_3 (-70 až 70 °C)



Obr. 4 Grafická závislost specifické vodivosti GPE v závislosti na obsahu Al_2O_3 při teplotě 25°C



Obr. 5 Arrheniův průběh specifické vodivosti GPE na bázi PMMA/MMA ve srovnání s kapalnými elektrolyty, oboje s obsahem Al₂O₃ (25 až 60 °C)

Vysvětlit tyto jevy je zřejmě úkolem na nejbližší dobu.

6. Lithno- iontové baterie

Gelové elektrolyty lze použít i místo kapalného elektrolytu v lithno- iontových akumulátorech. O výhodnosti tohoto použití svědčí i výsledky z galvanické tvorby kovů v kapalných a v gelových elektrolytech. Základním nedostatkem lithiových akumulátorů je tvorba a prorůstání dendritů lithia na záporné elektrodě a tím možnost vzniku vnitřních zkratů. Tomu polymerní elektrolyty mohou zabránit.

7. Očekávaný vývoj

Z hlediska dalšího vývoje lithiových baterií bude třeba hledat systémy iontových sloučenin, jejichž převodové číslo t_{Li} je co nejbližší jedničce. Z dosud zkoumaných látek jsou soli, jejichž aniony jsou odvozeny od útvarů B₁₂, B₁₁C a B₁₀C₂ nejen velmi málo rozpustné v PC i monomeru MMA. Nadějně by mohly být iontové kapaliny, což jsou soli s velkými aniony, často makromolekulárními, které jsou za normální teploty kapalné. I když jejich elektrochemické vlastnosti jsou zajímavé, vytvoření gelů s jejich obsahem dosud brání malá rozpustnost v monomerním prekurzoru nebo výsledném gelu.

Virtualizace

Vladimír Holub, DATA-INTER Ostrava

Virtualizace

Pojem virtualizace

Virtualizace je abstraktní vrstva, která oddělí nebo izoluje nosnou komponentu, tj. fyzický hardware nebo software, od provozovaného operačního systému nebo aplikace za účelem vyšších IT zdrojů, flexibility a nebo bezpečnosti...

Řešení virtualizace

A/ Virtuální server (VS)

- Na jednom operačním systému jsou virtualizovány (isolovány) současně provozované aplikační servery (FTP, WWW, SMTP, ...)

B/ Virtuální stroj/ Virtual Machine (VM)

- Na jednom počítači jsou virtualizovány (isolovány) současně provozované operační systémy
- Virtual Machine Monitor (VMM, Hypervisor) = nástroj, který koordinuje tyto systémy

Předmětem tohoto semináře je softwarová virtualizace dle varianty B.



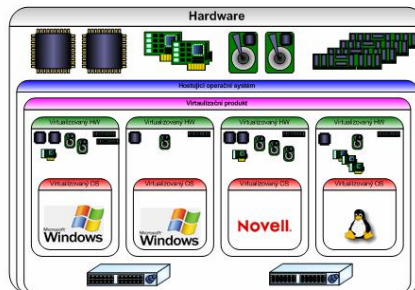
WIKIPEDIA
The Free Encyclopedia

DATAinter

Pojmy

Virtualizace

Schéma virtualizace



DATAinter

Schéma

Virtualizace

Výhody (důvody) virtualizace



- využití výkonu hardware (90 až 95% je nevyužito)
- současné provozování různých oper. systémů a jejich verzí (Linux, Windows, Novell, Mac OS, ...) na jednom hardware
- izolace operačních systémů a aplikací nebo jejich rozdílných verzí
- testování a výuka oper. systémů a aplikací
- prezentace „živých“ aplikací
- klonování instalovaných oper. systémů (rychlá instalace dalších podobných VM)
- vzdálené instalace a řešení problémů i při restartu oper. systému
- simulace a testování netypických situací (aktualizace, havárie, obnova,...)
- tvorba a testování rozsáhlých sítí
- provozování clusterového nódu na „jednoduchém“ hardware
- dokonalé zálohování
- bezproblémový přesun mezi různým hardwarem (= zkopírování image) => nezávislost na HW
- monitoring útoků
- instalace a podpora starších verzí oper. systémů
- existence hotových VM ke stažení (Linux distribuce, firewally, SMTP servery, ..., cca 150 image)
- možný start oper. systému z read-only medií (CD/ DVD)
- Web hosting
- eventuální navýšení rychlosti
- manuální nebo dynamické rozložení zátěže na více serverech
- úspora energie (servery, podpůrné zařízení, klimatizace, ...)

Poznámka:
Některé argumenty jsou totožné s argumenty pro serverovou konsolidaci, proto virtualizace bývá jedním s typů její praktické realizace



Nevýhody virtualizace

- eventuální potřeba lépe dimenzovaného hardware (CPU, RAM, HDD,...)
- nelze virtualizovat jakýkoliv hardware
- vyšší závislost na funkcionalitě hardware

DATAinter

Důvody

Virtualizace

Typy virtualizace 1/ emulace



- aneb plná virtualizace celého hardware s dynamickou rekompilací
- není nutná modifikace hostovaného OS, provoz možný i na jiném CPU
- velmi vysoká režie



- ZX Spectrum, Atari, ...

Produkt	CPU	Virt. CPU	OS	Virt. OS	Licence
Bochs	Intel x86, Sparc, PowerPC, Alpha, MIPS	Intel x86	Windows, Linux, OS X, IRIX, AIX, BeOS	DOS, Windows, xBSD, Linux	LPGL
PearPC	Intel x86	PowerPC	Windows, Linux	OS X, Darwin, Linux	GPL
QEMU	Intel x86, IA64, PowerPC, Alpha, Sparc, ARM, S390, m68k	Intel x86, ARM, Sparc, PowerPC, MIPS	Windows, Linux, OS X, FreeBSD	...	GPL
DOSEMU	Intel x86	Intel x86	Linux	DOS	GPL2

DATAinter

Typy virtualizace

Typy virtualizace

2/ OS-level virtualizace

- virtualizace dalších totožných OS na úrovni hostujícího OS (jeho kernelu)



Produkt	CPU	Virt. CPU	OS	Virt. OS	Licence
FreeVPS	Intel x86	<	Linux	Linux	GPL2
FreeBSD Jail	Intel x86	<	FreeBSD	FreeBSD	FreeBSD
Linux-VServer	Intel x86, IA64, Alpha, PPC/64, hppa/64, sparc/64, ARM, s390/x, sh/66, MIPS	<	Linux	Linux	GPL2
OpenVZ	Intel x86	<	Linux	Linux	GPL
Virtuozzo	Intel x86	<	Linux, Windows	Linux, Windows	GPL

DATAinter

Typy virtualizace

Typy virtualizace

3/ aplikační virtualizace

- virtualizace poskytuje jen základní komponenty potřebné pro běh aplikace, tj. systémové soubory, registry
- rychlejší chod než v originálním OS



Produkt	CPU	Virt. CPU	OS	Virt. OS	Licence
Wine	Intel x86	Intel x86	Linux, FreeBSD,	DOS, Windows	LGPL

DATAinter

Typy virtualizace

Typy virtualizace

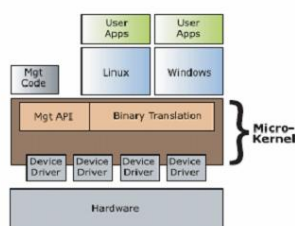
4/ paravirtualizace



- neemuluje hardware, ale poskytuje speciální API
- bez VT v CPU vyžaduje modifikaci oper. systému (Microsoft Windows)
- velmi malá režie (typicky 1 až 5%)

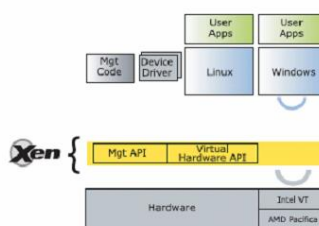
Produkt	CPU	Virt. CPU	OS	Virt. OS	Licence
Xen	Intel x86	<	Linux	Linux, FreeBSD, Windows	GPL a \$

MICRO-KERNEL VIRTUALIZATION



DATAinter

PARAVIRTUALIZATION



Typy virtualizace

Typy virtualizace

5/ native virtualizace



- aneb plná virtualizace s částečnou emulací hardware
- nevyžaduje modifikování hostovaného OS, CPU musí být totožné
- malá až středně velká režie

Produkt	CPU	Virt. CPU	OS	Virt. OS	Licence
VMware Server, Infrastructure	Intel x86	Intel x86	Windows, Linux	DOS, Windows, Linux, FreeBSD, Netware, Solaris	Free a \$
Microsoft Virtual Server	Intel x86	Intel x86	Windows XP, 2003	Windows NT, 2000, 2003, XP, UNIX, Linux	Free
HP Integrity Virtual Machine	Itanium	Itanium	HP-UX	HP-UX (Linux, Windows, OpenVMS)	\$

DATAinter

Typy virtualizace

Virtualizace v CPU

- Hardwarová podpora virtualizace
- Virtualizační software pak plní úlohu „pouhého“ managementu



Dva zástupci:

Intel – Vanderpool (VT)

Pentium 4 6x2, Pentium D-9x0, XEON 3xxx, 5xxx, 7xxx, Core 2 Duo

AMD – Pacifica, druhá polovina roku 2006

Opteron 2200 a 8200, Athlon 64 x2, Turion 64 x2

přichází později, ale má toho umět víc, např. virtualizaci paměťového řadiče

Poznámky:

- nutná podpora v biosu a chipsetu
- update bios – enable virtualization



Historie

XEN 2.x (free)

VMware:

- WorkStation 5.x (cca 5000,- Kč)
- GSX Server 3.x (cca 45000,- Kč)
- ESX Server 2.x (od 110000,- Kč)

Microsoft:

- Virtual PC (cca 3000,- Kč)
- Virtual Server (od 15000,- Kč)



Virtualizace

XEN

- Open Source projekt university v Cambridge
- za VT v CPU vyžaduje modifikaci oper. systému, což např. licence Microsoftu nedovoluje
- součást Linuxových distribucí, Fedora 5, Suse, RedHat, ...
- Složitější management může řešit další Open Source aplikace zvaná Enomalism VMC



Jak XEN funguje?

- Opirá se o tzv. protection mód v procesorech x86, kdy je možné používat 4 ringy (úrovně ochrany)
- za běžných okolností v ringu 0 běží převážná většina OS, v ringu 3 pak jednotlivé aplikace.
 - XEN nabootuje do ringu 0
 - do ringu 1 nainstaluje tzv. privilegovaná doména dom0 (základní oper. systém)
 - dom0 pak v ringu 1 spouští další neprivilegované domény domU (virtuální stroje)
 - aby virtuální oper. systém mohl běžet v ringu 1, musí být jeho kernel modifikován
 - aplikace z jednotlivých domén domU bez změny běží v ringu 3
 - doména dom0 vytváří backend ovladače zařízení, s kterými komunikují frontend ovladače z jednotlivých domU

DATAinter




XEN

Virtualizace

XEN – edice

1/ Open Source XEN 3.0 RPM

...

	 Xen Enterprise™ Multi-OS virtualization	 Xen Server™ Windows virtualization	 Xen Express™ On-ramp to Xen
User Type	Enterprise IT, OEMs	Windows IT Pro	IT Enthusiast/Developer
Concurrent VMs	unlimited VMs	8 concurrent VMs	4 concurrent VMs
Physical RAM	unlimited RAM	8 GB	4 GB
Physical CPUs	up to 32 sockets	dual socket	dual socket
P2V	Linux P2V included; Windows P2V via partner co-bundles	via P2V partner co-bundles	Linux P2V included
Live Migration	Q2 '07	N/A	N/A
Shared Storage	Q2 '07	N/A	N/A
Windows Guest support	Now: Windows Server 2003, Windows XP March 2007: Windows 2000	Now: Windows Server 2003, Windows XP March 2007: Windows 2000	Now: Windows Server 2003, Windows XP March 2007: Windows 2000
Linux Guest support	Now: Red Hat EL 3.6, 3.7, 3.8, 4.1, 4.2, 4.3, 4.4; SUSE SLES 9.2, 9.3; Debian Sarge	N/A (<i>Windows only</i>)	Now: Red Hat EL 3.6, 3.7, 3.8, 4.1, 4.2, 4.3, 4.4; SUSE SLES 9.2, 9.3; Debian Sarge
Admin model	Multiple server	Multiple server	Single server
Price	\$750 perpetual per dual socket; \$488 annual subscription per dual socket	\$99 annual subscription	FREE
Maintenance	20% of MSRP for perpetual license; included in subscription	Included as part of subscription	N/A
Maintenance Entitlement	All service packs, minor ("dot") releases, and major (whole number) upgrades for same product	All service packs, minor ("dot") releases, and major (whole number) upgrades for same product	N/A
Support	Available from XenSource Partners	Available from XenSource Partners	Not Supported

Další informace o virtualizaci včetně kompletní prezentace k uvedené problematice budou k dispozici na přednášce dne 29. 3. 2007 nebo na webových stránkách SŠIEŘ Rožnov pod Radhoštěm věnované PEL 2007: www.roznovskastredni.cz.

Počítačové simulace v elektrotechnice: ORCAD-PSPICE vesus programy typu „SPICE-LIKE“ a „SPICE-COMPATIBLE“

Dalibor Biolek

Katedra elektrotechniky, Univerzita obrany Brno, Kounicova 65, 612 00 Brno,
dalibor.biolek@unob.cz

Abstrakt:

V přednášce je uveden rozbor základních vlastností simulačních programů pro elektrotechniku se zaměřením na programy typu SPICE. Na základě této analýzy a dlouhodobých zkušeností autora jsou formulována doporučení pro využívání těchto programů na středních školách.

1. Úvod

V roce 1971 vytvořil student „University of California“, Berkeley, USA Larry Nagel program SPICE1 (SPICE = Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) jako vývojově vyšší verzi svého předchozího programu CANCER (Computer Analysis of Nonlinear Circuits Excluding Radiation). Program umožňoval analýzu dějů v obvodech, obsahujících zejména bipolární a unipolární tranzistory. O věrohodnost výsledků bylo usilováno propracovaností modelů i matematických algoritmů řešení rovnic. Uživatel měl navíc možnost prakticky neomezeného rozšiřování sortimentu analyzovaných součástek technikou makromodelů zakládáním tzv. podobvodů (subcircuits) SPICE.

Protože program byl v podstatě volně šířitelný, stal se brzo standardním simulačním nástrojem pro elektrotechnické úlohy. Usilovně se pracovalo na jeho zdokonalování.

V roce 1975 byla představena verze SPICE2 s podstatně vylepšenými modely i numerickými algoritmy. Tato verze byla v průběhu téměř 20 let postupně zdokonalována na Berkeleyjské univerzitě až do dnes všeobecně známého standardu SPICE2G.6, který byl v r. 1983 zpřístupněn k volnému používání.

Zdrojové texty SPICE1 a SPICE 2 byly napsány ve Fortranu. Vzhledem k zvýšenému využívání unixových pracovních stanic padlo v Berkeley rozhodnutí přepsat SPICE 2 do jazyka C. Tak začala vznikat verze SPICE3. Dnes je rozšířena verze SPICE3F.2. Oproti SPICE2G.6 se vyznačuje řadou vylepšení, ovšem z různých důvodů došlo k ztrátě zpětné kompatibility se SPICE2G.6.

S růstem výkonnosti počítačů PC byly programy, dosud běžící na výkonných pracovních stanicích, přepisovány na programy spustitelné na „PCčkách“. Tak vznikl standard PSpice.

Dnes existuje více simulačních programů, které využívají v podstatě tři ne zcela kompatibilní standardy: SPICE2, SPICE3, PSPICE. Všechny lze rozdělit na tzv. „Spice-like“ a „Spice-compatible“ simulátory [1].

Označení „Spice-like“ znamená, že simulátor je schopen generovat podobné výsledky analýzy jako SPICE, avšak nemusí být schopen číst standardní vstupní soubory SPICE. Typickými příklady jsou staré verze programů Micro-Cap nebo TINA, program SABER apod.

Termínem „Spice-compatible“ se označují simulační programy, které dokáží číst standardní vstupní soubory SPICE, provádět klasické SPICE analýzy, a generovat výsledky v standardním SPICE2G.6 tvaru. Ze současných programů jsou to například PSpice, HSpice (standard SPICE3), WIN-Spice (standard SPICE3), MicroCap od verze IV, Multisim a další.

Kromě toho existují programy pro simulaci obvodů, které nemají s výše uvedenými skupinami programů mnoho společného. Jedná se zejména o jednoúčelové programy, specializované na analýzy obvodů, které nelze realizovat programy typu SPICE.

Programy typu „SPICE-compatible“ jsou široce využívány mimo jiné proto, že umožňují neomezené rozšiřování sortimentu modelovaných součástek o nové typy, jejichž modely se průběžně objevu-

jí na webu a následně i v inovovaných knihovnách nových verzí programů. Na akademických pracovištích i v průmyslu je oblíbeným produktem OrcadPSPice. V současnosti je k dispozici verze 15.7. Tento program je vyučován například na FEKT VUT v Brně. Na UO v Brně dávají přednost programu Micro-Cap. Zřejmě nejrozšířenějším programem, využívajícím jazyka SPICE3, je známý HSpice. Hodně je oblíben i volně šiřitelný WinSpice, zejména na FEL ČVUT v Praze. Tam se využívá i program CIA, vytvořený doc. Dobešem [2]. Tento program však spadá do třídy programů "SPICE-like".

2. Pro který simulační program se rozhodnout

Dalo by se lapidárně říci, že z hlediska výsledného efektu uživatel očekává od simulačního programu jedinou věc: Aby mu program ukázal co nejuhospodárnějším způsobem, jak se konkrétní obvod bude chovat ve skutečnosti. Dále se očekává, že cesta od „vlození“ zadání obvodu do programu až po získání výsledků bude rychlá, nenamáhavá a pokud možno příjemná.

Do jaké míry budou tato očekávání uživatele konkrétního programu naplněna, závisí na pěti faktorech:

1. Na sortimentu a kvalitě a možnosti získávání a rozšiřování matematických modelů součástek v programu a na způsobu, jak je uživatel použije k modelování svého obvodu.
2. Na kvalitě matematických algoritmů analýzy, které jsou zabudovány v programu.
3. Na sortimentu analýz, které jsou uživateli k dispozici.
4. Na sortimentu analyzačních režimů a módů v programu.
5. Na tom, jak se programátorům podařilo, aby byl program „user-friendly“.

Pro studenty, učitele a další běžné uživatele bude rozhodování o tom, s kterým programem pracovat, jistě ovlivněno dalšími faktory, zejména:

6. Zda je možno daný program získat zdarma a pokud ano, jaká má omezení oproti plné verzi.
7. Za jakou cenu je možné pořídit plnou verzi, zejména pro zabezpečení výuky na více počítačích, a jak je finančně náročný upgrade na nové verze.
8. Jaké jsou nároky na instalační proces (velikost instalačních souborů, legalizace licence, nároky na HW a SW), na provoz a na údržbu instalace v podmínkách výuky.
9. Jak rychle trvá zaškolení uživatele do základů práce s programem a kolik času tím pádem zbude učitelům na efektivní využívání programu pro výuku a studentovi pro samostatnou práci. Jsou k dispozici kvalitní učební texty?
10. Jak je to s přenositelností datových souborů mezi profesionální verzí programu (na učebně) a omezenou studentskou verzí (na osobních počítačích studentů).

První dva faktory hovoří v prospěch „SPICE-compatible“ programu, prostě programu, který využívá standardních SPICE modelů součástek a jehož vnitřní matematické algoritmy řešení soustav rovnic jsou osvědčené a dostatečně spolehlivé. Jednotlivé programy se však liší v naplňování dalších bodů. V následující kapitole 3 se proto zaměříme jednak na společné rysy programů „SPICE-compatible“, jednak na srovnání odlišností dvou typických produktů: programu OrcadPSPice, který představuje konvenční PSpice s relativně neměnnými výpočetními možnostmi, a Micro-Capu, což je dynamicky se vyvíjející produkt s pečlivě zabezpečenou SPICE-kompatibilitou.

Uvědomíme-li si, že od vzniku standardu SPICE již uběhlo více než 35 let, pak nás asi nepřekvapí, že programy, založené na tomto standardu, mají v některých situacích problémy s nalezením řešení v přijatelném čase. Na typické problémy je upozorněno v kapitole 4. K analýze obvodů určitého typu jsou dokonce zcela nepoužitelné. Pak je nutné využít jiných softwarových nástrojů, o nichž se stručně zmiňuje kapitola 5.

3. Co umí programy „SPICE-compatible“

3.1. Modelování součástek

Filozofie jazyka SPICE je jednoduchá: Prakticky jakýkoliv elektrický obvod lze modelovat na základě několika mála elementárních součástek, resp. bloků. Pro simulaci analogových obvodů jsou k dispozici:

- Pasivní prvky R, L, C. Induktory mohou mít definovány vzájemné magnetické vazby a nelineární jádra.
- Polovodičové prvky typu dioda a tranzistor (bipolární, MOSFET, JFET, IGBT, GaAsFET).
- Nezávislý zdroj napětí a nezávislý zdroj proudu.
- Zdroj napětí a zdroj proudu, řízený dalším napětím nebo proudem.
- Spínač řízený napětím a spínač řízený proudem.
- Přenosové vedení.

Další součástky či celé bloky lze získat skládáním z elementárních součástek do tzv. podobvodů (Subcircuits) SPICE, což jsou jakési makroobvody, komunikující s okolím pouze prostřednictvím vybraných pinů. Pomocí podobvodů jsou modelovány například operační zesilovače, napěťové reference a další komerční integrované obvody. Uživatel má možnost vytvářet vlastní podobvody.

K pasivním prvkům R, L a C je možné definovat teplotní součinitele odporu, indukčnosti a kapacity, jakož i tolerance jmenovitých hodnot. Indukčnost a kapacitu je možno modelovat jako lineární nebo kvadraticky závislé na proudu, resp. napětí.

Polovodičové prvky mají relativně velmi složité modely s řadou fyzikálních parametrů, které jsou většinou extrahovány měřením přímo u výrobce nebo specializovanou firmou. Modely jsou pak uloženy v knihovnách, které bývají součástí instalačního programu a kromě toho jsou dostupné na Internetu. Existuje zde možnost modifikace modelů a tvorba modelů vlastních.

Nezávislé zdroje napětí a proudu jsou primárně určeny k modelování zdrojů konstantního napětí a proudu, ovšem není problém přiřadit těmto součástkám konkrétní časový průběh například pilovitého, obdélníkového nebo jiného tvaru. S využitím dalších standardních technik (řízené zdroje, STIMULY) jsou dosažitelné jakékoliv průběhy signálů včetně signálů, dopředu sejmutých například z digitálních osciloskopů a posléze v simulátoru použitých k buzení analyzovaného obvodu.

Často využívanou technikou modelování je tzv. „behaviorální modelování“, kdy nás nezajímají vnitřní děje ani vnitřní „podoba“ obvodu, pouze jeho vstupně-výstupní chování. Toto chování popisujeme bloky, definovanými jednoduchými vzorci. Například celou integrovanou analogovou násobičku, což je poměrně složitý integrovaný obvod se vstupy Vin1 a Vin2 a výstupem Vout pak modelujeme jediným řízeným zdrojem napětí. Výstupní napětí je dáno například vzorcem $V_{out} = V_{in1} * V_{in2} / 10$. Většina modelů integrovaných obvodů od výrobců, které jsou ve formě podobvodů SPICE, využívá kombinace modelování na úrovni součástek (polovodičů) a behaviorálního modelování tak, aby výsledný model byl vyváženým kompromisem mezi složitostí a věrohodností modelování.

Z uvedeného vyplývá, že součástí behaviorálního modelování je arzenál matematických funkcí a operací, který je v PSpice poměrně rozsáhlý.

Kromě řízených zdrojů jsou důležitými prvky behaviorálního modelování i řízené spínače, jejichž stav (sepnuto, vypnuto) je řízen buď napětím, nebo proudem. V PSpice existují dva druhy modelů spínačů, buď se spojitou závislostí odporu spínače na řízené veličině, nebo s možností modelovat hysterezi.

Přenosová vedení tvoří jediný prvek s rozprostřenými parametry, přímo modelovaný v SPICE. Jsou dostupné tzv. ideální modely, popsané charakteristickou impedancí a dalšími obdobnými parametry, a modely ztrátové, umožňující popsat vedení ztrátovým odporem, indukčností, kapacitou a svodovou vodivostí na metr délky.

Zde je třeba zdůraznit, že zejména modely polovodičů jsou precizně rozpracovány tak, aby v příslušných analýzách poskytovaly co nejvěrohodnější výsledky včetně efektů, spojených s teplotními změnami, s respektováním, že se jedná o zdroje šumu, apod.

V jednotlivých vývojových verzích programového produktu OrcadPSpice jsou prostředky modelování relativně neměnné, založené na standardu PSpice. Příliš se nerozšiřuje ani sortiment zabudovaných matematických funkcí pro behaviorální modelování. K výraznějšímu posunu došlo až přechodem verze 10.5 programu PSpice A/D programového balíku OrcadPSpice na verzi 15.7, kde přibylo několik matematických funkcí a autoři přistoupili k rozšíření množiny bloků pro behaviorální modelování v prostředí schématického editoru CAPTURE.

Současná verze 9 programu Micro-Cap má v sobě integrovány všechny výše popsané prostředky klasického i behaviorálního modelování SPICE a uživatel může rovněž využívat volně dostupné podobody SPICE. Poradí si i se syntaxí jazyka SPICE3. Kromě toho využívá celou řadu svých dalších modelů, které v SPICE neexistují, např. modely operačních zesilovačů, speciálních funkčních zdrojů, transformátorů atd. Má rovněž daleko rozsáhlejší množinu matematických funkcí pro behaviorální modelování. Uživatelům programů SPICE umožňuje přímo práci na úrovni vstupního souboru SPICE. Pokročilý uživatel může kombinovat modelování v Micro-Capu s modelováním dílčích bloků přímo netlistem SPICE.

3.2. Kvalita matematických algoritmů analýzy

Matematickým základem veškerých analýz SPICE jsou metody řešení rozsáhlých soustav rovnic různého typu, od lineárních rovnic s reálnými a komplexními koeficienty až po nelineární rovnice. Vnitřní algoritmy v „SPICE-compatible“ programech je možné považovat za malý zázrak. Kladou se na ně extrémní požadavky, totiž nalezení řešení za každých okolností, nezávisle na charakteru modelovaného obvodu.

Uživatel může ovlivnit způsob výpočtů modifikací tzv. globálních podmínek simulace, což je řada čísel, definujících např. velikosti přípustných chyb, maximální počty iterací apod. Tyto hodnoty jsou standardně přednastaveny tak, že představují optimum při řešení typických obvodů.

Zdrojové texty k SPICE jsou volně dostupné na Internetu, takže se dá očekávat, že základ matematických algoritmů bude v řadě „SPICE-compatible“ programech tvořen jednotným a léty ověřeným jádrem. Porovnáme-li výsledky analýz téhož modelu obvodu různými programy při stejných globálních podmínkách simulace, nedospíváme k zásadně odlišným výsledkům. Při testování programů OrcadPSpice 15.7 a Micro-Cap 9 na extrémně náročných úlohách, jako je třeba rozběh krystalového oscilátoru, měl první z programů problémy s konvergencí řešení a našel ustálený stav, zřetelně se lišící od výsledků z programu Micro-Cap, které se zdály být fyzikálně v pořádku. Analýza Micro-Capem trvala asi o třetinu kratší dobu. O tomto programu se tvrdí, že je vůbec nejrychlejším „SPICE-compatible“ simulátorem, běžícím pod Windows.

Závěrem je možné shrnout, že omezujeme-li se na analýzu běžných elektrotechnických úloh, poskytují různé programy, založené na algoritmech SPICE, prakticky totožné výsledky. Kvalita algoritmů pak není rozhodujícím hlediskem pro volbu programu.

3.3. Sortiment analýz v „SPICE-compatible“ programech

Společnou vlastností „SPICE-compatible“ programů je schopnost realizace tří **základních analýz**:

- DC neboli stejnosměrná analýza: Program simuluje funkci **charakterografu**, neboli snímače stejnosměrných charakteristik součástek nebo celých obvodů. Příklad: analýza ampérvoltové charakteristiky diody.
- TRANSIENT neboli přechodová nebo taky časová analýza: „Softwarová náhrada“ **osciloskopu**. Příklad: analýza přechodového jevu v obvodu.
- AC neboli střídavá nebo taky kmitočtová analýza: Program imituje **obvodový analyzátor** k snímání kmitočtových charakteristik obvodů. Příklad: amplitudová kmitočtová charakteristika hifi zesilovače, nebo rozložení střídavých napětí a proudů v obvodu v harmonickém ustáleném stavu pro konkrétní kmitočet budících signálů.

K těmto analýzám přistupuje několik **rozšiřujících analýz**:

Standardní součástí časové analýzy je analýza FOURIER neboli spektrální analýza časových průběhů, získaných během časové analýzy. Program tak zastává funkci **spektrálního analyzátoru**.

Standardní součástí střídavé analýzy je analýza NOISE neboli šumová analýza. Program analyzuje kmitočtové rozložení výkonu šumu, generovaného interními součástkami, a z něj odvozených dalších charakteristik šumu. Program tak mj. využíváme jako **analyzátor spektrální výkonové hustoty** šumového výkonu.

Standardní součástí stejnosměrné analýzy, které se však dají na rozdíl od předchozích případů spouštět nezávisle na základní analýze, jsou analýzy TRANSFER FUNCTION (přenosová funkce) a SENSITIVITY (citlivostní analýza). Přenosová funkce počítá poměr dvou čísel: ve jmenovateli je „malá“ změna stejnosměrného napětí nebo proudu zdroje. V čitateli je změna výstupní veličiny, která je vyvolaná změnou napětí nebo proudu zdroje. Takto lze například počítat diferenciální vstupní odpor tranzistoru v okolí nastaveného stejnosměrného pracovního bodu, ovšem na nízkých kmitočtech. Citlivostní analýza počítá rovněž poměr dvou podobných změn, ale nyní může být „příčinná“ změna ve jmenovateli dána variací (téměř) libovolného parametru obvodu, například odporu rezistoru. Citlivostní analýzou tak například můžeme zjistit, jak se změní stejnosměrné napětí na kolektoru tranzistoru, když se kolektorový odpor zvětší o 1%.

U programů, které jsou založeny na standardu SPICE3, jsou navíc k dispozici analýzy POLEZERO (hledají se tzv. nulové body a póly linearizovaných obvodových funkcí) a DISTORTION (počítají se zkreslení signálů, vyvolané nelineárním chováním obvodů).

Některé „SPICE-compatible“ programy nabízejí nad rámec uvedených rozšiřujících analýz další analýzy. Z těch uživatelsky velmi atraktivních to jsou **dynamická stejnosměrná** (Dynamic DC) a **dynamická střídavá** (Dynamic AC) analýza v programu Micro-Cap. Uživatel nejenže vidí přímo ve schématu hodnoty napětí a proudů, případně dalších veličin v stejnosměrném a střídavém režimu, ale tyto hodnoty se dynamicky mění podle toho, jak uživatel schéma upravuje, modifikuje hodnoty součástek, doplňuje zapojení apod.

Oproti Micro-Capu nabízí OrcadPspice další typy analýz, jako je třeba analýza „Smoke“, ovšem jen v rámci nadstandardního programového balíku „Advanced Analysis“, který je třeba dokoupit k základní sestavě programu.

<i>analizační módy</i>	<i>základní typy analýz</i>	<i>analizační režimy</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Klasický - Probe (sonda) 	<ul style="list-style-type: none"> - Transient (časová)... + ss. prac. bod + Fourier. analýza a DSP - AC (kmitočtová, střídavá) + šumová analýza a DSP - DC (stejnosměrná) 	<ul style="list-style-type: none"> - Klasický - Stepping (krokování jednoduché a vícenásobné) - Teplotní analýza - Performance Analysis (vyhodnocovací analýza) - Monte Carlo a Worst Case (statistická analýza) - Optimization (optimalizace)
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p><i>rozšiřující typy analýz</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Transfer Function (přenosová funkce) - Sensitivity (citlivostní analýza) - Dynamic DC (dynamická stejnosměrná) - Dynamic AC (dynamická střídavá) </div>	

Obr. 1. Typy analýz, analizační režimy a módy pro „Spice-compatible“ program Micro-Cap. Škrty jsou vyznačena omezení Pspice [3].

3.4. Sortiment analizačních režimů a módů v „SPICE-compatible“ programech

Na obr. 1 je znázorněno, že základní analýzy je možno „provozovat“ v klasickém režimu (analýza proběhne jednou), v režimu krokování nebo teplotní analýzy (analýza je opakována s různými hodnotami krokované veličiny, například napětí baterie nebo teplota). S krokováním je spojena vyhodnoco-

vací analýza, kdy zkoumáme závislost sledované veličiny na krokované veličině a vynášíme ji do grafu (například závislost rezonančního kmitočtu RLC obvodu na napětí, které „ladí“ varikap). Statistická analýza zkoumá závislost fungování obvodu na tolerancích součástek a na statistickém rozložení parametrů těchto součástek v okolí jmenovitých hodnot. Velmi praktický je optimalizační režim, kdy program „doladí“ vybrané součástky tak, aby celý obvod splňoval určité kritérium, například aby jeho kmitočtová charakteristika procházela definovanými body.

Srovnáme-li programy OrcadPSpice15.7 (1) a Micro-Cap 9 (2), pak:

- možnosti teplotní analýzy jsou rovnocenné,
- statistická analýza probíhá v obou programech obdobně, různé pojetí je však u metody Worst Case,
- krokovat je možné současně jen jeden parametr (1), resp. 20 parametrů (2),
- vyhodnocovací analýza je podstatně lepší v OrCADu díky koncepci tzv. měřicích funkcí v postprocesoru PROBE,
- optimalizace je lepší v OrCADu, ovšem v demo verzích obou programů jsou možnosti optimalizace omezeny.

Na obr. 1 je znázorněno, že základní analýzy TRANSIENT, DC a AC mohou být uskutečněny v klasickém a Probe módu. Slovo Probe zde nemá nic společného s grafickým postprocesorem PROBE, který je součástí OrcadPSpice. Jde o interaktivní mód, kdy klikáním myši na jednotlivé součástky ve schématu obvodu simulujeme přikládání měřicí sondy (Probe) a okamžité vykreslování příslušného grafu, například časového průběhu proudu danou součástkou. Tento mód je specialitou programu Micro-Cap.

3.5. Je program „User-Friendly“?

Měřítka, podle kterých posuzujeme uživatelskou přívětivost daného programu, jsou do jisté míry subjektivní a výsledek posuzování může být značně ovlivněn i tím, na co je uživatel zvyklý. Dále bychom měli srovnávat srovnatelné, například schématický editor OrCADu se schématickým editorem Micro-Capu. Srovnávání celých programových balíčků bývá ošidné, neboť běžný uživatel většinou využívá jen některé jejich části.

OrcadPSpice je mohutný softwarový balík, který není primárně určen jen k simulaci obvodů. Jeho další nejznámější využití je návrh plošných spojů. Tato univerzalita se negativně projevuje na růstu složitosti ovládání jednotlivých modulů obvodu, které jsou vzájemně propojené, tedy i schématického editoru. Jmenujme konkrétní věc: atributové okno součástky, například rezistoru nebo tranzistoru, obsahuje řadu položek, které nejsou bezprostředně spjaty s analýzou a kterým běžný uživatel nerozumí. Je sice možné část těchto atributů skrýt po aplikaci masky „Orcad-PSpice“, mimo jiné se však skryjí i některé atributy, které k simulaci občas potřebujeme, například „PSpice Template“.

OrcadPSpice je založen na klasickém modulárním principu, tj. s blokově oddělenými poslopnostmi „zadávatel dat pro simulaci“, „simulace“, „prezentace výsledků simulace“. Uživatel si nejprve založí tzv. projekt. V rámci projektu vytvoří ve schématickém editoru model obvodu. Pak musí založit tzv. simulační profil, v rámci něhož nadefinuje typ analýzy. Následně spustí analýzu, lépe řečeno, spustí se samostatný program s výpočetním jádrem. Po ukončení analýzy nebo již v jejím průběhu (závisí na nastavení) se spustí grafický postprocesor PROBE a uživatel si může prohlédnout výsledky v grafické formě.

Potřeba jiné analýzy nutí uživatele k opuštění prostředí PSpice a k návratu do schématického editoru, k modifikaci nebo založení nového simulačního profilu, atd. atd. Vznikne-li potřeba definice globální proměnné nebo dalšího standardního úkonu, jakým je použití příkazu .NODESET apod., vše se řeší poměrně pracným způsobem, tj. umístěním tzv. pseudosoučástek na kreslicí plochu. Ještě nepříjemnější je definice nových součástek, jejichž modely nejsou v knihovnách na disku.

V OrcadPSpice je možný i jednodušší způsob práce, při němž odpadá řada výše vyjmenovaných problémů: schématický editor Orcadu se vůbec nepoužije a pracuje se pouze s programem PSpice, jemuž jsou data o obvodu připravována na úrovni vstupních souborů. Pro mnohé uživatele je však tento způsob práce nepřijatelný, protože jednak ztrácejí pohodlí při tvorbě modelu obvodu schématem, jednak by museli znát syntaxi jazyka SPICE a pravidla pro tvorbu vstupních souborů.

Program Micro-Cap sice rovněž pracuje na modulárním principu, ten je však realizován v rámci jediného spustitelného souboru tak, že uživatel si této modularity není vlastně vědom. Po nakreslení schématu se hned spouští vybraná analýza, otevře se předvyplněná nabídka parametrů analýzy, a následně je analýza provedena se současnou vizualizací výsledků. V každém okamžiku jsou k dispozici jak okna s výsledky simulace, tak i se schématem. Mezi danými okny „proudí data“ v rámci jediného spuštěného programu: ve schématu se zobrazují výsledky analýzy, případně interakcí se schématem měním obsah okna s výsledky analýzy (mód PROBE).

Mnozí uživatelé, kteří dobře znají oba programy, tj. OrcadPSpice i Micro-Cap, nemají pochyb o tom, že Micro-Cap je uživatelsky příjemnější a snadněji naučitelný. V zájmu objektivity je však třeba dodat, že znalci Orcadu, kteří se snažili rychle naučit pracovat v Micro-Capu, vyhodnotili schématický editor v Orcadu jako podstatně lepší než schématický editor Micro-Capu, který se jim zdál příliš komplikovaný.

3.6. Co ještě zajímá uživatele (nejen) na školách

V následující tabulce je provedeno srovnání programů OrcadPSpice a Micro-Cap z hlediska bodů 6-9 ze strany 2.

	OrCadPSpice 15.7	Micro-Cap 9
omezení „free“ verze	Obvod do 64 uzlů, 10 tranzistorů, dvou podobvodů SPICE nebo 65 základních digitálních obvodů, a 10 přenosových vedení. Schéma, nakreslené v editoru CAPTURE se nedá uložit, obsahuje-li více než 30 součástek. Omezené knihovny součástek (asi 39 analogových a 134 digitálních), uživatel je však může rozšiřovat.	Obvod do 50 součástek a současně počet uzlů + cívek + zdrojů musí být do 100. Analýza je až 4x zpomalena u složitých obvodů oproti plné verzi. Některé nadstandardní funkce jsou zablokovány nebo omezeny. Omezené knihovny součástek (stovky analogových a stovky digitálních), uživatel je však může rozšiřovat.
orientační cena plné verze pro školy bez DPH	60000 Kč za Ultra 5-Pack*) plus 3600 Kč za HW klíč, 15000 Kč za další 5-Pack, tedy cca 79 tisíc za 10 licencí plovoucích v síti	980 Euro za 1 licenci, sleva 5% za 5-10 licencí, 10% za více než 10 licencí, tedy cca 262 tisíc Kč za 10 licencí
cena upgrade na novou verzi	v rámci každoročního „maintanance“ poplatku 10.500 Kč za 5-pack	upgrade MC8 na MC9 jednorázově 250 Euro za každou licenci
instalační soubory „free“ verze v MB	713 MB (obsahuje další SW**) 713 MB samorozbalovací archív	19 MB (1xCD), 7.6 MB archív
instalační soubory plné verze v MB	1161 (obsahují nejen PSpice)	96
podmínky práce s plnou verzí	HW klíč + instalace licenčního manažeru	HW klíč
dostupná literatura v češtině	například [4], [5], [6], [7]	například [3], [4], [5], [6]

*) Obsahuje 5x Capture CIS, 5x Layout, 5x SPECCTRA for OrCAD a 5x PSpice A/D

**) Obsahuje demo verze produktů Capture, Capture CIS Option, PSpice® A/D, PSpice AA, PCB Editor, SPECCTRA® for OrCAD

Z tabulky je zřejmé, že „free“ verze obou programů jsou koncipovány velkoryse a že uvedené limity nás podstatně neomezí ani při analýze poměrně rozsáhlých obvodů. U Orcadu však může způsobovat určité omezení podmínka maximálně dvou podobvodů SPICE a rovněž fakt, že do uvedených limitů se počítají i vnitřní prvky podobvodů.

Pracuje-li student na učebně s programem a potřebuje-li pokračovat v práci na svém počítači, kde má svoji, většinou „free“ verzi programu, musí si přenést tato data:

- **OrcadPSpice:** Všechny soubory včetně podadresářů, vytvořené v průběhu zakládání projektu a proběhnutých simulací. Výjimku tvoří výstupní soubory a zejména datové soubory pro post-procesor PROBE, které je vhodné odstranit, neboť mnohdy jsou značně rozsáhlé a program si je stejně při další analýze opět vygeneruje. Pokud se v projektu používají modely prvků, které nejsou v omezených knihovnách „free“ verze, vznikne problém, který se sice dá vyřešit, ale většinou to není v možnostech průměrného studenta.
- **Micro-Cap:** Stačí přenést jediný vstupní soubor, který obsahuje i informaci o schématických značkách použitých součástek a dvojným kliknutím myši lze do něj přenést i veškeré matematické modely, takže obvod pak lze analyzovat i v demo verzi programu s omezenou knihovnou.

4. S čím mají programy „SPICE-compatible“ problémy

Základem všech „SPICE“ analýz je vnitřní algoritmus programu pro **hledání stejnosměrného pracovního bodu** v obvodu. Pracovní bod se hledá prakticky před vykonáním každé analýzy a dokonce i tehdy, pokud programu nepředepíšeme výkon žádné z analýz. Uživatel tak má možnost prohlédnout si rozložení stejnosměrných napětí a proudů v obvodu bez toho, že by musel spouštět konkrétní analýzu. Určitou výjimkou je program Micro-Cap, jehož uživatel může výpočet pracovního bodu zakázat.

Ve skutečnosti může mít nelineární obvod i více stejnosměrných pracovních bodů. Příkladem je klasický bistabilní klopný obvod s dvojicí tranzistorů. Zde existují kupodivu tři možné pracovní body, odpovídající těmto situacím: **1.** První tranzistor je otevřený a druhý je zavřený. **2.** První tranzistor je zavřený a druhý je otevřený. **3.** Oba tranzistory jsou zčásti otevřeny. První dva případy v praxi běžně nastávají. Třetí stav je teoreticky možný, zvláště pokud je model obvodu přísně symetrický. Ve skutečnosti je ovšem tento stav nestabilní, tedy dlouhodobě neudržitelný. Modelujeme-li však v programu klopný obvod symetricky, tj. s identickou dvojicí tranzistorů a podpůrných pasivních součástek, nalezneme SPICE právě onen nestabilní pracovní bod. Naštěstí existují prostředky (zejména použití příkazu .NODESET), které umožní uživateli donutit program nalézt řešení, které nás zajímá. K tomu jsou však potřebné určité znalosti uživatele programu.

V řadě případů má program vůbec problémy s nalezením jakéhokoliv řešení. Příčin může být několik, ale obvykle se jedná buď o nesprávnou techniku či chybu v modelování, nebo o tzv. konvergenční problémy, proti nimž lze bojovat např. modifikací globálních podmínek simulace. V každém případě se jedná o složité problémy, které student bez pomoci zkušeného učitele ztěží zvládnout.

Klasické programy SPICE bývají „nemotorné“ při TRANSIENTní analýze obvodů, které postupně přecházejí do periodického ustáleného stavu. Příkladem může být již dříve zmíněné zkoumání průběhu krystalového oscilátoru, kdy náběh do ustálených kmitů může trvat i desetitisíce opakovacích period. Pak vzniká potřeba opakovaně spouštět právě skončivší analýzu tak, aby program pokračoval v řešení „tam, kde skončil“. Realizace tohoto zdánlivě jednoduchého požadavku je v OrcadPSpice velmi komplikovaná a vede přes ukládání výsledků simulace do souboru na disk, ruční modifikaci tohoto souboru a opětovné spuštění simulace, to vše opakováno tak dlouho, dokud se nedosáhne ustáleného stavu. V Micro-Capu existuje zdatný pomocník v této záležitosti, totiž režim, kdy podmínky na konci analýzy jsou automaticky uchovávány a posléze použity jako počáteční podmínky pro následnou analýzu. Nicméně algoritmus automatického nalezení ustáleného stavu chybí všem programům „SPICE-compatible“.

Tranzientní analýza pomocí „SPICE-compatible“ programů může být velmi neefektivní, tj. časově náročná a zatížena chybami, u obvodů, v nichž probíhají současně rychlé i pomalé děje, jako jsou například modulátory (rychlá nosná, pomalý modulační signál) nebo obvody s periodicky řízenými spínači, například spínané DC-DC měniče. Délka výpočetního kroku se totiž musí přizpůsobit rychlému ději, takže například na jednu periodu nízkofrekvenčního obálky AM signálu mohou připadat i statisíce výpočetních bodů. Pokud potřebujeme efektivně modelovat obvody tohoto typu, nezbyvá než použít některý ze speciálních programů, uvedených v kapitole 5.

5. Na co programy „SPICE-compatible“ nestačí

Existuje několik zdánlivě jednoduchých požadavků na analýzu obvodů z technické praxe, jejichž přímá realizace klasickými programy typu SPICE není možná. Jmenujme například potřebu nalezení kmitočtových charakteristik filtru se spínanými kapacitami (i když v SPICE existuje analýza AC) nebo zjištění šumových poměrů v nelineárních systémech typu směšovač (i když v SPICE existuje analýza NOISE). Jak vyplývá z předchozí kapitoly, SPICE je prakticky nepoužitelný pro simulaci tzv. RF obvodů, které se vyznačují velkým poměrem mezi maximálním a minimálním kmitočtem působících signálů a kde vzniká mj. potřeba identifikace ustálených stavů. Tento rozpor mezi praktickými potřebami simulace speciálních obvodů na straně jedné a limitacemi programů typu SPICE na straně druhé je řešen dvěma různými přístupy: jednak vznikají speciální jednoúčelové programy, založené většinou na behaviorálním modelování, obsahující nové algoritmy, neslučitelné s výpočetním jádrem SPICE. Druhá cesta je představována vývojem programů „SPICE-like“, tedy programů, poskytujících základní analýzy jako v SPICE a využívajících v podstatě standardních SPICE modelů součástek, jejich výpočetní jádro je však budováno odlišně. Z této skupiny jmenujme programy SpectreRF firmy Cadence Design Systems, Advanced Design System (ADS) od Agilent EEsof, SP/XL-RF od Avista Design Systems, SmartSpice-RF firmy SILVACO, SSpice („public domain“ programy Univ. California at Berkeley), a CIA z ČVUT Praha. Tyto programy však nejsou volně dostupné a jejich cena většinou přesahuje finanční možnosti individuálního zájemce.

6. Namísto závěru

Namísto klasického závěru dovolte stručné shrnutí: Bez simulačních programů se dnes v elektrotechnice neobejdeme. Je rozumné a nutné pracovat s programy, které jsou „SPICE-compatible“, avšak s vědomím toho, že tyto programy jsou pro některé velmi speciální simulační úlohy nevhodné nebo dokonce nepoužitelné. Rozhodování o tom, do kterého programu optimálně investuji čas a případně peníze tak, aby mně pak dobře sloužil, by mělo probíhat s ohledem na 10 základních kritérií z kapitoly 2. Dosavadní zkušenosti autora tohoto článku směřují k závěru, že oním programem by měl být v podmínkách středního školství program Micro-Cap: jeho evaluační verze je zdarma, ze všech „free“ verzí programů jeho třídy má nejmenší omezení na rozsah analyzovaných obvodů, je SPICE kompatibilní, přičemž poskytuje více možností modelování různých analýz než klasický SPICE, je uživatelsky velmi příjemný. Netrpí některými omezeními standardu SPICE (zákaz nulových hodnot odporů, indukčností a kapacit, problémy s nedefinovanými stejnosměrnými cestami na zem, atd.), které dělají studentům problémy. Je výborným východiskem pro pozdější praktické zvládnutí komerčních produktů typu OrCadPSPice. O programu existuje česká kniha [3] a středoškolské učební texty [4], kde je jednoduchou formou ukázáno, jak vyučovat SPICE prostřednictvím Micro-Capu.

Literatura

- [1] Kielkowski, R.: Inside SPICE. McGraw-Hill, Inc., 1994.
- [2] Dobeš, J., Žalud, V.: Moderní radiotechnika. BEN technická literatura, 2006, 768 s. (Obsahuje popis modelování obvodů v programu CIA).
- [3] Biolek, D.: Řešíme elektronické obvody aneb kniha o jejich analýze. BEN technická literatura, 2004, 520 s. (Obsahuje podrobný popis principů práce s programy „SPICE-compatible“ se zaměřením na Micro-Cap).
- [4] Biolek, Z.: Úvod do SPICE pomocí programu MicroCap. Učební texty SPŠE v Rožnově p.R. SENSIT HOLDING s.r.o., 2004, 34 s.
- [5] Podrobná elektronická skripta a další učební texty na OrcadPSpice a Micro-Cap: <http://user.unob.cz/biolek>
- [6] Láníček, R.: Simulační programy pro elektroniku. BEN technická literatura, 2000, 113 s.
- [7] Krejčířík, A., Burian, Z.: .Simuluj! Ben technická literatura, 2001, 291 s. (Popis SPICE).
- [8] www stránka OrcadPSpice: <http://www.cadence.com/products/orcad/index.aspx>
- [9] www stránka Micro-Capu: <http://www.spectrum/soft.com>

Trendy v elektronických součástkách – další zmenšování rozměrů unipolárních tranzistorů

Vladislav Musil

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií,
Ústav mikroelektroniky, Údolní 53, Brno
musil@feec.vutbr.cz

1. Úvod

Mikroelektronika je již po čtyři desetiletí vedoucí oblastí elektroniky. Je spojena s vytvářením elektronických zařízení malých rozměrů (integrovaných obvodů, IO) s velkou funkční schopností, vysokou spolehlivostí, malou spotřebou energie a nízkou cenou. Na jejím vzniku a vývoji se výrazně projevilo a projevuje úsilí po zmenšování rozměrů, hmotnosti a spotřebovaného výkonu (ruku v ruce s digitalizací elektronických systémů) a sám rychlý rozvoj mikroelektroniky je výsledkem rovnováhy mezi rozhodujícími faktory technologického a materiálového výzkumu, vývoje elektronických systémů, vývoje jejich aplikací a souvisejícími aktuálními ekonomickými aspekty.

Mikroelektronika je charakterizována dvěma principy: **mikrominiaturizací** a **integrací** (obvodových prvků i funkcí). Do oblasti mikroelektroniky jsou zahrnuty všechny oblasti zabývající se procesem vytváření integrovaných obvodů a jejich aplikacemi. Proces vytváření integrovaných obvodů má čtyři hlavní části - návrh IO, technologický proces, simulaci a modelování a sledování kvality procesu vytváření IO.

Význam a možnosti mikroelektroniky ukazuje současná výpočetní a telekomunikační technika, které jsou její nejdůležitější aplikace. Vlastní rozvoj mikroelektroniky je podmíněn jednak rozvojem mikroelektronických technologií (především monolitických), jednak zásadní změnou pojetí struktury elektronických obvodů samých a metod jejich návrhu. Ve všech průmyslových zemích se neustále rozšiřuje počet pracovníků, kteří se věnují navrhování mikroelektronických obvodů, zvláště zákaznických a polozákaznických.

Základními stavebními prvky mikroelektroniky jsou integrované obvody. Tisíce až milióny tranzistorů (spolu s diodami, rezistory, kapacitory) a příslušnými spojovacími vodiči jsou umístěny a společným technologickým postupem vytvořeny na jedné křemíkové destičce. V tomto příspěvku se podíváme na vývoj unipolárních tranzistorů, jejichž rozměry se daří stále zmenšovat, a tím zvětšovat hustotu integrace. Rozhodující množství navrhovaných i vyráběných integrovaných obvodů je v technologii CMOS.

2. Perspektivy vývoje mikroelektroniky

Integrované obvody mají relativně velmi krátkou historii. Od svého vzniku až do dnešní doby však zaznamenaly nebývale dynamický vývoj. *"Kdyby výroba automobilů postupovala stejně rychle jako polovodičový průmysl, ujel by Rolls-Royce na jeden galon paliva půl miliónu mil a bylo by levnější ho vyhodit než zaparkovat."* G.E. Moore, spoluzakladatel firmy Intel).

Tempo rozvoje mikroelektroniky je stále mimořádně vysoké. Také výhledy polovodičového průmyslu do blízké budoucnosti jsou velmi nadějná a vyplývají ze stability růstu výrobních objemů finálních výrobků. Mikroelektronická výroba se stále více internacionalizuje. Na její rozvoj se věnují obrovské prostředky i z celospolečenských zdrojů. Z technického hlediska dochází stále k větší integraci prvků na čipu a ke zmenšování rozměrů těchto prvků. Přitom je zřejmé, že současný prudký rozvoj mikroelektroniky je vyvolaný zásadními inovacemi v technologii. Prudce se rozvíjí i optoelektronika a mikromechatronika.

Aktuální trendy současné mikroelektroniky se týkají

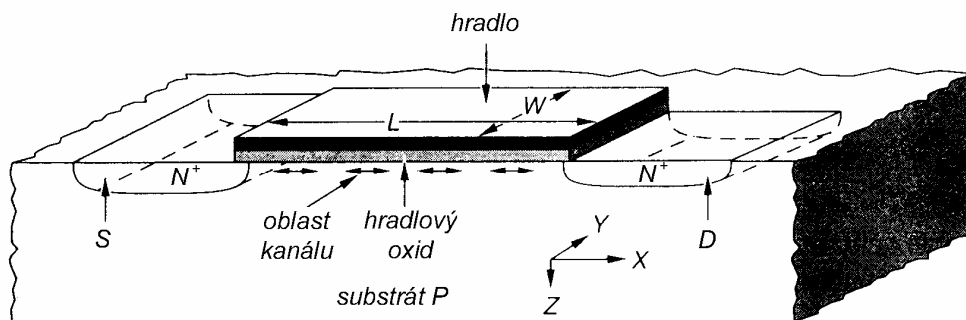
- vlastních integrovaných struktur a jejich zmenšování
- technologických procesů a příslušných technologických zařízení
- návrhu integrovaných obvodů a jejich testování
- ekonomie a spolehlivosti výroby

Zvyšování integrace (tj. počtu prvků na čipu) je možné v zásadě dvěma způsoby:

- zvětšováním plochy čipu při zachování velikosti struktur,
- zmenšováním rozměrů struktur na čipu

Obě metody je možné kombinovat, což je v praxi nejčastější. Přitom zvětšováním plochy čipu přináší vyšší cenu a nese problémy s klesající výtěžností. Na začátku 70. let byl typický rozměr čipu 3x3 mm, na začátku devadesátých let to již bylo 1x1 cm a nyní 2x2 cm. Při druhém způsobu se zmenšují horizontální i vertikální rozměry struktur. Ovšem zmenšování se týká hlavně délky hradla (tj. vodivého kanálu - na obr. 1 je označen jako L) u unipolárních struktur (hlavně MOS) a tloušťky báze u bipolárních struktur. Současný vývoj IO vede k realizaci struktur, ve kterých se rozměry detailů posunují do výrazně submikrometrové oblasti.

Zmenšování rozměrů v IO je doprovázeno nejen výrazným zlepšením jejich (některých) vlastností, ale i výskytem nových a často nežádoucích vlastností (spojených se základními fyzikálními ději). Teprve usilovným výzkumem a vývojem se pak dá dosáhnout prakticky použitelných a samozřejmě i lepších výsledků v porovnání s dřívějším stavem.



Obr. 1. Struktura tranzistoru MOS

Zmenšování geometrických rozměrů mikroelektronických struktur je umožněno zdokonalováním fotolitografických procesů, uplatňováním nových technologických postupů (plasmatické leptání, nové materiály a způsoby propojování), zvyšováním čistoty technologického procesu a kvality vstupních materiálů. Struktury pod 0,5 μm již vyžadují menší napájecí napětí než 5 V.

Problémy přináší i propojování prvků na čipu, především časové konstanty RC dlouhých vodičů. Nejdelší vodiče mají délku srovnatelnou s rozměry čipu a jejich délka může tedy dosahovat 10 až 50 mm. Absolutní zpoždění se tedy nezmenšuje úměrně se zmenšováním rozměrů aktivních součástek. Nově konstruované čipy mají 5 až 8 propojovacích úrovní. Prvořadý význam má materiál propojovacích vodičů. Vodiče z poly-Si (30 $\Omega/\text{čtverec}$) nejsou přijatelné pro spoje delší než 10 μm . Pro delší spoje se užívají silicidy kovů (např. silicid tantalu s 2,5 $\Omega/\text{čtverec}$) nebo vrstevnaté struktury (polycidy). Z hlediska odporu je ovšem stále nejlepší hliník (asi 2,5 $\text{m}\Omega/\text{čtverec}$) a nově vyvinutá technologie (původně firma IBM) s použitím mědi, která také řeší problémy s elektromigrací.

Vyšší integrace přináší uživateli tyto výhody:

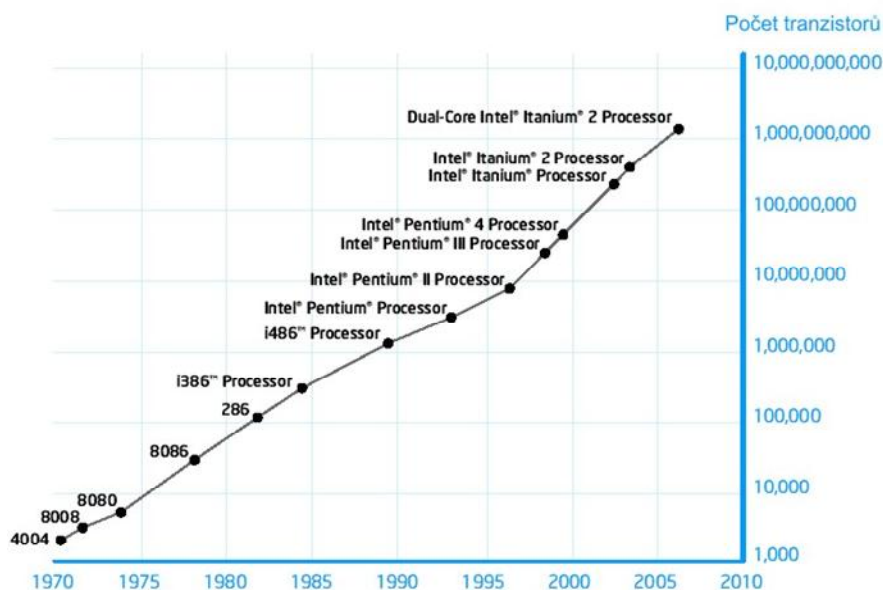
- zvýšení spolehlivosti systému (propojení více prvků na čipu je spolehlivější než propojení IO na desce plošných spojů)
- zmenšení počtu IO, a tím úsporu prostoru a hmotnosti (řada aplikací je již „jednočipových“)
- snížení nákladů vzniklých zmenšením počtu IO, zvláště pokles plochy potřebných pl. spojů.

Zvyšování integrace nese s sebou tyto problémy:

- problém nárůstu počtu vývodů a složitosti pouzdrění
- udržení příkonu obvodu v mezích daných schopností pouzdra odvést a rozptýlit ztrátový tepelný výkon
- potřeba zabudování pomocných obvodů pro diagnostiku
- vyřešení požadavků ekonomické výroby

Pokroky ve zvyšování integrace jsou nejen otázkou technickou, ale, a to hlavně, ekonomickou záležitostí.

Měřítkem technologické úrovně jsou **paměti DRAM** a **paměti FLASH**. Dosahuje se u nich největší hustoty integrace. Často jsou označovány jako "hnací motor mikroelektroniky". V posledních letech se zvyšovala kapacita pamětí RAM čtyřnásobně přibližně každé tři roky (v literatuře se hovoří o tzv. Moorově zákoně). V praxi se ukázalo, že hustota integrace nevzrůstá tak rychle u všech typů integrovaných obvodů jako u polovodičových pamětí. Doplnujícím údajem proto bývá složitost **mikroprocesorů** (zde přistupují problémy s návrhem) nebo složitost **obvodů ASIC** (obvykle hradlových polí), které považujeme za nejsložitější z hlediska návrhu. Poznamenejme, že všechny tyto úvahy se týkají obvodů CMOS.



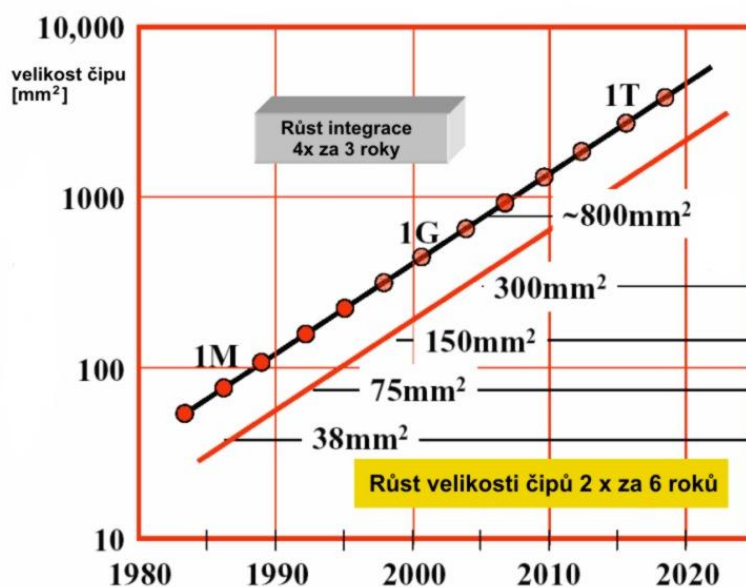
Obr. 2. Vývoj mikroprocesorů z hlediska hustoty integrace (podle www.intel.com)

Vývoj integrovaných obvodů z hlediska hustoty integrace ilustruje obr. 2 (na příkladu mikroprocesorů Intel), který předpokládá, že hustota elektronických prvků v integrovaném obvodu roste exponenciálně s časem se základem čísla 2 (Moorův zákon), pomaleji potom roste plocha čipu a klesá minimální rozměr struktury:

Složitost čipů	- index růstu 4 x za 3 roky
Minimální rozměr struktury	- index růstu 0,5 x za 3 roky
Plocha čipu	- index růstu 2 x za 6 roků

mikroprocesor	zahájení výroby	počet tranzistorů
4004	1971	2 300
8008	1972	2 500
8080	1974	4 500
8086	1978	29 000
286	1982	134 000
386	1985	275 000
486	1989	1 200 000
Pentium	1993	3 100 000
Pentium II	1997	7 500 000
Pentium III	1999	9 500 000
Pentium 4	2000	42 000 000
Itanium	2001	25 000 000
Itanium 2	2003	220 000 000
Itanium 2 (9 MB cache)	2004	592 000 000

Tab.1. Počty tranzistorů v mikroprocesorech Intel

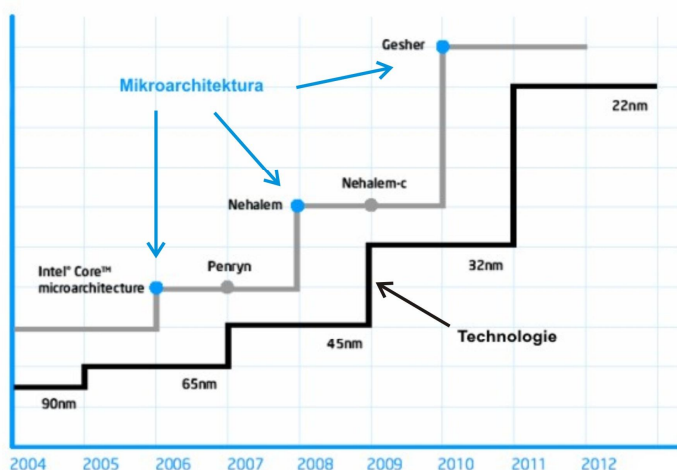


Obr. 3. Ilustrace Moorova zákona (pro paměti platí horní čára a pro mikroprocesory spodní)

V dubnu 1965 časopis Electronics slavil 35 let existence. Redaktoři požádali G. Moora, aby se pokusil odhadnout vývoj polovodičového průmyslu na dalších 10 let. Ten pak v článku *Cramming more components onto integrated circuits* napsal: Množství komponent na čipu vzroste každý rok přibližně na dvojnásobek. Jistě lze předpokládat, že se tento trend v kratším časovém horizontu udrží, či dokonce vzroste. V dlouhodobém výhledu už to není tak jisté. Není však důvod, proč by zmíněná rychlost růstu nemohla zůstat skoro konstantní nejméně 10 let. Tato předpověď Gordona Moora proslavila a vstoupila do historie jako Moorův zákon.

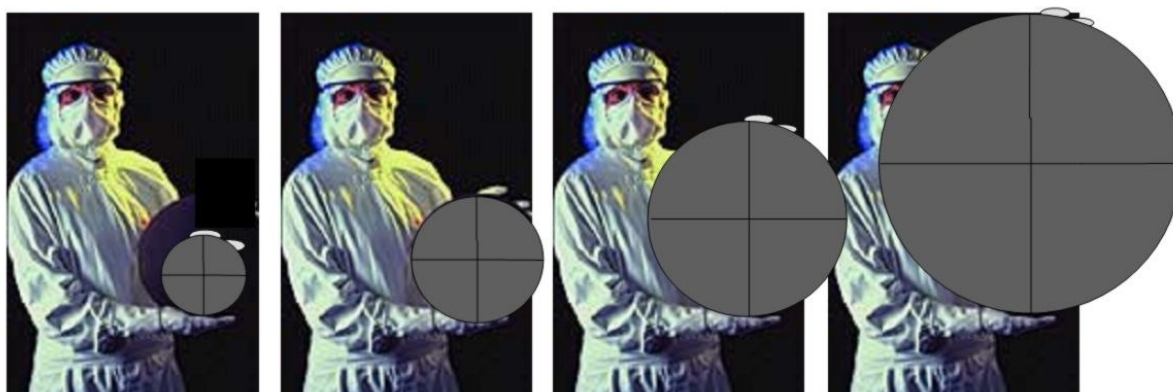
A přitom integrovanému obvodu bylo tenkrát teprve 5 let a analýza vycházela z pouhých tří experimentálních bodů! Po deseti letech byl zákon poopraven na "zdvojnásobení každých 18 měsíců", ale jinak překvapivě dobře popisuje vývoj až do dnešních dnů. Dnes se Moorův zákon uvádí v této podobě: *Hustota obvodu nebo kapacita paměti se zdvojnásobuje každých 18 měsíců, neboli zčtyřnásobuje každé tři roky.*

Význam Moorova zákona je velký, často je vnímán jako barometr polovodičového průmyslu, měřítko pro hodnocení inovace a pokroku. Především jde o výrok, který je srozumitelný i lidem, kteří nejsou odborníci v mikroelektronice. Moorův zákon podnítl vznik několika doplňků, z nichž velmi názorný je tzv. Rockův zákon (někdy označován jako druhý Moorův zákon): Investice do nových zařízení na výrobu čipů se zdvojnásobuje každé 4 roky. Tento zákon překvapivě dobře platí a má zásadní význam pro ekonomiku polovodičového průmyslu.



Obr. 4. Ilustrace vývoje rozměrů unipolárních tranzistorů (pro firmu Intel)

Od roku 1971 vzrostla spotřeba mikroprocesorů z 0,3 W na více než 20 W, počet vývodů stoupl z 18 na 387 a více, rychlost stoupla ze 108 kHz na cca 500 MHz (Pentium III) až 3500 MHz (Pentium IV). Technologie nyní dovoluje osm úrovní propojení. Napájecí napětí pokleslo z 12 V na 2,2 V a technologie se měnila z PMOS na NMOS, BiCMOS a dnešní CMOS. Předpokládá se, že kmitočet již příliš stoupat nebude (jak jsme byli celá léta svědky tohoto „závodu“).

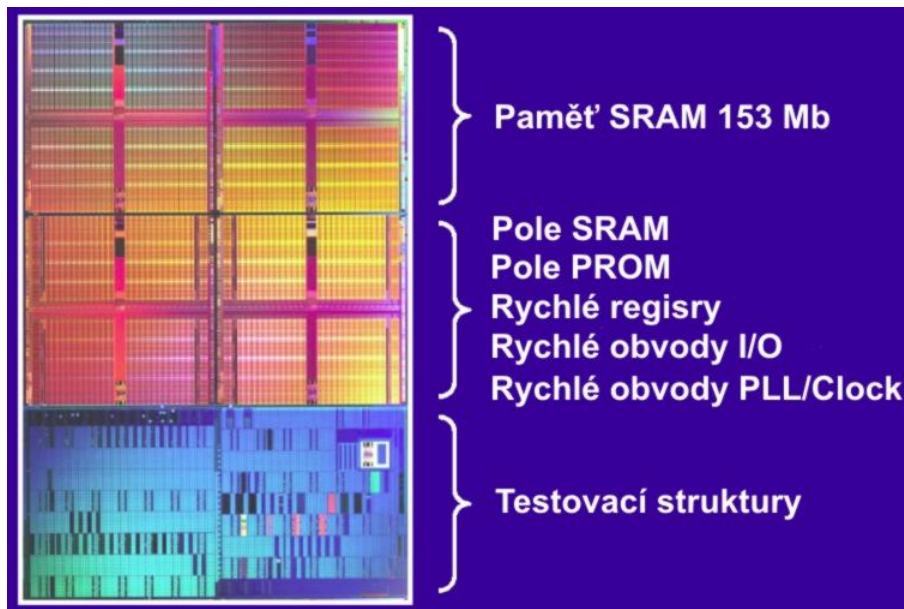


Obr. 5. Ilustrace zvětšování průměru zpracovávaných křemíkových desek (podle www.intel.com)

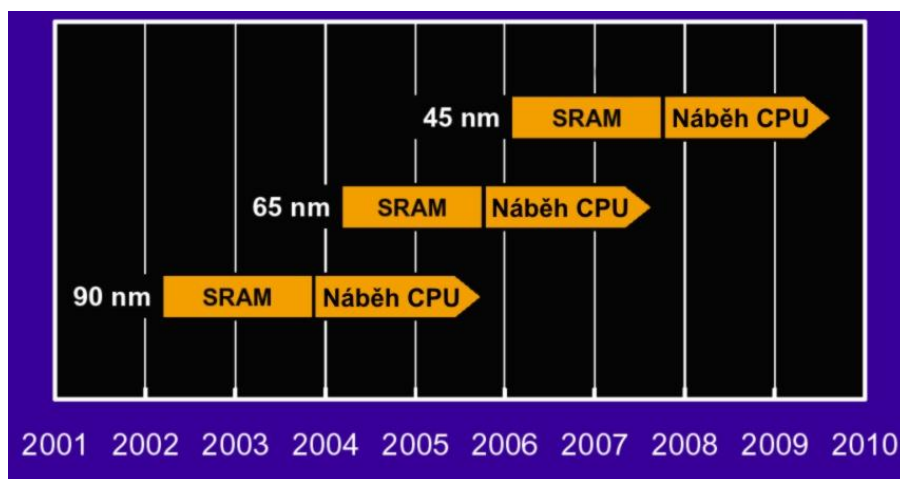
Desky o průměru 200 mm se začaly používat po roce 1990, desky o průměru 300mm používají výrobci pro paměti a mikroprocesory od roku 2001, o deskách 450 mm se uvažuje po roce 2012 a o deskách 675 mm po roce 2020 (jako opravdu dalekém perspektivním výhledu).

3. Nové struktury tranzistorů MOS

Firma Intel v lednu 2006 představila funkční obvod v technologii s délkou hradla 45 nm. Šlo o paměť SRAM 153 Mb s cca 1 miliardou tranzistorů. Paměťová buňka je 6 tranzistorová s plochou 0,346 μm^2 . Paměť byla vyrobena v závodě v Oregonu (Hillsboro). Od podzimu 2007 předpokládá



Obr. 6. Ověřovací čip v technologii 45 nm



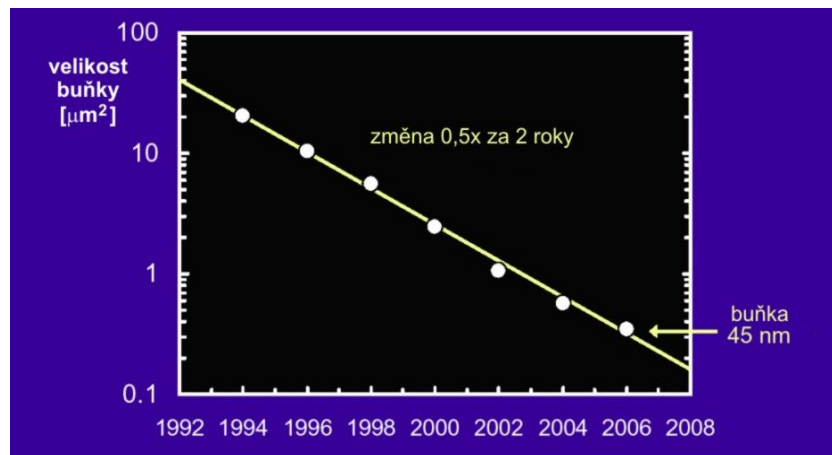
Obr.7. Časový průběh náběhu výroby obvodů v technologii CMOS 90 nm, 65 nm a 45 nm

Tab. 2. Vývoj technologií Intel

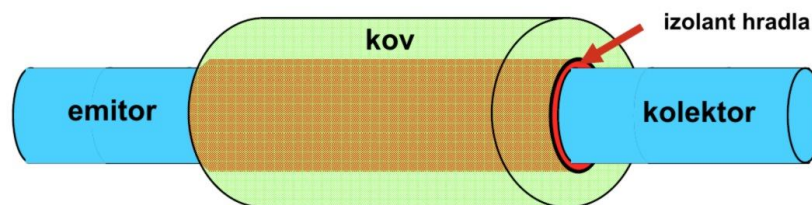
délka hradla	90 nm	65 nm	45 nm	32 nm
nástup výroby	2003	2005	2007	2009
hradlový oxid	oxid křemíku		oxid hafnia	

firma Intel dodávky mikroprocesorů v této technologii. K tomu se staví další výrobní závod v Novém Mexiku. Technologie 45 nm představuje svým způsobem revoluci v technologii CMOS. Byl opuštěn oxid křemičitý a nahrazen oxidem hafnia pro oblasti hradel (hradlový oxid). Tento oxid se vyznačuje “velkou” hodnotou permitivity. Pro ostatní oblasti (tzv. polní oxid) se používá směs oxidů, která docílí nízkou permitivitu (snižují se parazitní kapacity). Epitaxní křemík je tzv. napjatý na mezivrstvě

germania. Předpokládá se, že technologie 32 nm bude poslední s litograficky vymezeným kanálem. V dalších generacích tranzistorů se předpokládá přechod na vertikální struktury, kde minimální motivy nebudou vymezovány litograficky (obr. 9 a 10), a na aplikace nanotrubic a podobných struktur.



Obr. 8. Trend zmenšování paměťové buňky paměti SRAM (ve shodě s Moorovým zákonem)



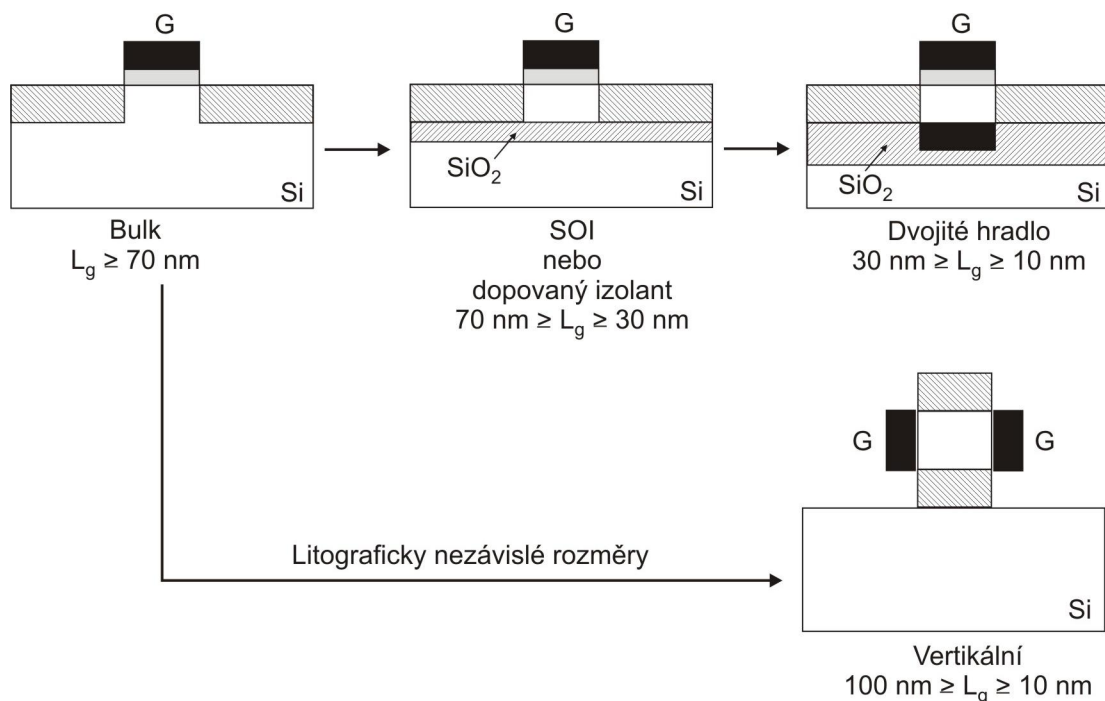
Obr. 9. Teoretický princip tranzistorů MOS nové generace

4. Materiály a technologické procesy

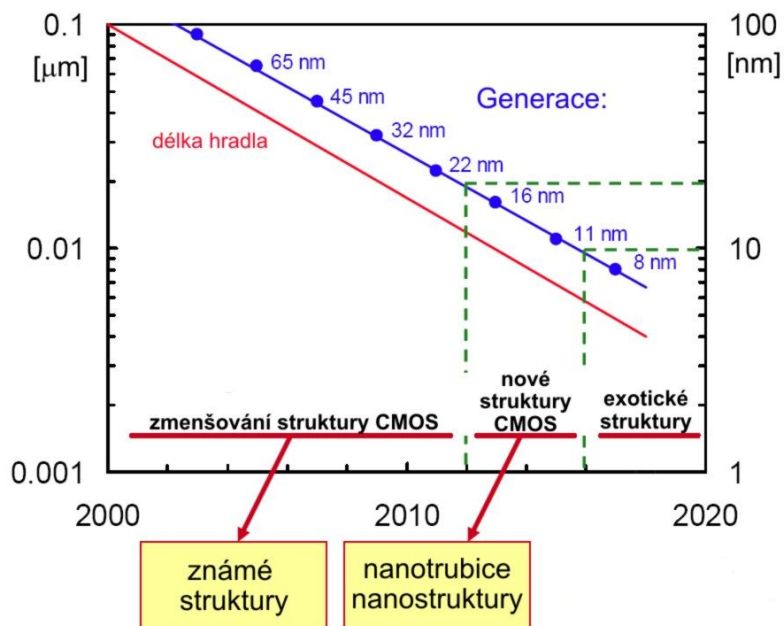
Hlavním materiálem pro výrobu IO je v současné době křemík a své postavení si udrží i v dalších letech. Průměr zpracovávaných desek se stále zvětšuje (1,5", 2", 2,5", 3", 4", 5", 150 mm, 200 mm, 300 mm (Pizza-Wafer) a výhledově i 450 (Family Pizza-Wafer) a 675 mm), viz obr. 5. Možnosti technologie jsou dány zvládnutím následujících procesů:

- Kvalitní litografické metody (především fotalitografie - hluboké UV)
- Vysoce přesné a homogenní selektivní leptání (iontové)
- Vytváření velmi tenkého homogenního hradlového oxidu
- Vytváření mělkých implantovaných dotačních profilů
- Snižování času a teploty při vysokoteplotních operacích
- Vylepšení technologie vytváření vodivých spojů (víceúrovňové spoje)
- Omezení procesů vyvolávajících radiační poruchy
- Zvyšování spolehlivosti

Rozhodující úlohu ve vývoji technologie sehrává litografie (litografie včetně následného leptání reprezentuje asi 60 % technologických operací). Rozhoduje také o ceně hromadných operací a tím v podstatě i o ceně čipu. Pro kalkulaci je důležitá cena výchozího litografického zařízení a jeho průchodnost. Od 70tých let se používal tzv. měkký (proximity soft) kontaktní způsob exponování motivu masek do rezistu. Od začátku 80tých let se používá projekční expozice se zmenšením motivu čipu 1:10 nebo 1:5. V současnosti se používají vysokovýkonné krokovací optické stroje pracující v UV oblasti spektra (365 nm, čára **i**) a pro menší rozměry je třeba použít záření z hluboké ultrafialové oblasti (DUV, Deep UV) s vlnovou délkou 248 nebo 193 nm.



Obr. 10. Postupné zmenšování struktury unipolárního tranzistoru, tendence je k izolovanému substrátu a použití dvojitého nebo trojitého hradla, jehož rozměry nezávisí na litografii



Obr. 11. Předpokládané další generace tranzistorů MOS

Z hlediska časového je zajímavé, že výroba IO vyžaduje cca 65 hodin čistého výrobního času, ale celý cyklus trvá celkem 2 až 3 měsíce (od začátku až po zapouzdření a označení). Nová továrna vyžaduje nákladu cca 1 mld USD (propustnost 20 000 desek o průměru 200 mm měsíčně). Přitom dodací lhůty technologických zařízení jsou cca 3 roky.

Literatura

- [1] Waser, R. (editor): Nanoelectronics and information technology. Wiley-VCH (2003), ISBN 3-527-40363-9.
- [2] Luryi, S. - Xu, J. - Zaslavsky, A.: Future trends in microelectronics. The road ahead. Wiley (1999), ISBN 0-471-32183-4.
- [3] Luryi, S. - Xu, J. - Zaslavsky, A.: Future trends in microelectronics. The nano millenium. Wiley (2002), ISBN 0-471-21247-4.
- [4] <http://public.itrs.net>, *The International Technology Roadmap for Semiconductors*, Semiconductor Industry Association (SIA), San Jose.
- [5] <http://www.intel.com>
- [6] <http://www.isi.edu/mosis/>
- [7] <http://www.sematech.org/public/about.htm/>
- [8] <http://www.te.ri.ac.uk/europractice/>
- [9] <http://tima-cmp.imag.fr/>
- [10] <http://www.pcmp.caltech.edu/>
- [11] <http://nano.xerox.com/nano/>
- [12] <http://www.icsi.berkeley.edu/>
- [13] Hodges, D.A. - Jackson, H.G. - Saleh, R.A.: Analysis and Design of Digital Integrated Circuits in Deep Submicron Technology. McGraw Hill, 2003, ISBN 0-07-118164-4
- [14] Franssila, S.: Introduction to Microfabrication. Wiley, 2004, ISBN 0-470-85106-6
- [15] Goser, K. - Glosekotter, P. - Dienstuhl, J.: Nanoelectronic and nanosystems. Springer, 2004, ISBN 3-540-40443-0

Perspektivy elektroniky v prostředí střední školy

Jiří Král

SŠIEŘ Rožnov pod Radhoštěm, Školní 1610, 756 61 Rožnov pod Radhoštěm

jiri.kral@roznovskastredni.cz

Abstrakt:

Obory spjaté s elektronikou se bouřlivě rozvíjejí. Střední škola pak musí být schopná na tento rozvoj reagovat. Příspěvek ukazuje, jak se to daří na SŠIEŘ Rožnov pod Radhoštěm.

Snad každého fascinují moderní technologie a možnosti, které nám v životě poskytují. O to víc pak musí být fascinován člověk, který se na tomto vývoji nějakým způsobem podílí. Tento vztah jistě posiluje fakt, že prakticky nemůže existovat nikdo, kdo by byl schopen dnešní technologie zvládnout v celé šířce a hloubce. Pravda je taková, že je potřebná velká specializace, ale přitom znalost širokých souvislostí.

Vypořádat se s touto situací je velmi obtížné pro každého a troufám si tvrdit, že pro střední školy obzvlášť. Pokud si uvědomíme, že středoškoláci mají před sebou ještě dalších pět i více let studia, je velmi těžké říct, kam se technický vývoj za tu dobu posune a jak se změní i vlastní zájem studentů. Navzdory tomu je třeba využít maximálně dobu středoškolského studia, tak, aby se dnešní studenti dokázali po nástupu do praktického života orientovat v moderních technologiích.

Proto jsme na naší škole současnou situaci pojali jako výzvu a vykročili jsme cestou inovace výuky tak, aby se žáci seznamovali s moderními technologiemi.

První krok jsme učinili v oboru jednočipových mikropočítačů a jejich programování ve vyšších programovacích jazycích. Dnešní moderní jednočipové mikropočítače jsou přes svoji principiální podobnost s obvodem i8051, kterým před dvaceti lety ohromila svět firma Intel, přece jen jiné. Tento segment polovodičové výroby se za tu dobu velmi rozkošatil jak v počtu výrobců tak především v sortimentu. To nás v okamžiku přípravy inovačního plánu postavilo před nelehký úkol, jaký typ jednočipového mikropočítače pro výuku vybrat. Nakonec padlo rozhodnutí na obvod z rodiny AVR firmy Atmel a to na v této chvíli nejvýkonnější typ Atmega2560. Otázka programovacího jazyka byla proti volbě typu velmi jednoduchá. Samozřejmě assembler a jako vyšší jazyk C.

Sebelepší záměr však je k ničemu, pokud nedojde k jeho realizaci. A ta bývá spojena s řadou potíží. Obvykle převažuje problém peněz. Proto jsme se chopili příležitosti, kterou v roce 2006 nabízel program MŠMT „Projekty do škol“. Náš projekt „Programování moderních jednočipových mikropočítačů ve vyšších programovacích jazycích“ uspěl a tak byl položen základ pro praktickou realizaci záměru.

Základem bylo vybavení jedné učebny počítači na nichž výuka probíhá. Každý žák má pro výuku k dispozici počítač v konfiguraci:

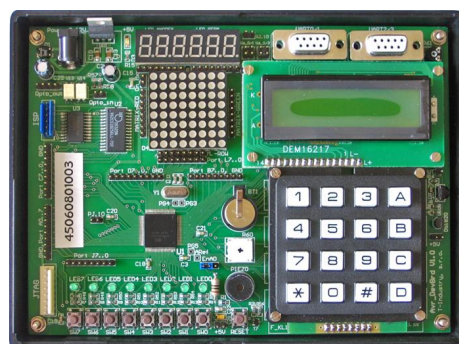
- procesor AMD Sempron 2800+
- RAM 1GB
- HDD 80GB
- DVD-R/RW vypalovací mechanika
- LCD displej 19"



Obr.1 Ukázka pracoviště studenta

Pro odzkoušení odladěných a odsimulovaných programů mají studenti k dispozici vývojové kity se spoustou zabudovaných periférií

- Atmega2560
- LCD displej 2x16
- 8 x LED
- 8 x tlačítko
- klávesnice 4x4
- 7 segmentový 6 místný LED displej
- maticový displej
- externí SRAM 32 kB
- externí EEPROM 2 kB
- bzučák
- hodiny reálného času s bateriovým zálohováním
- teplotní senzor
- 2 + 2 RS232 komunikační porty
- ISP a JTAG
- 2 opto oddělené výstupy



Obr.2 Vývojový kit

Některé porty jsou vyvedeny na konektory a není tedy problém připojit cokoliv dalšího.

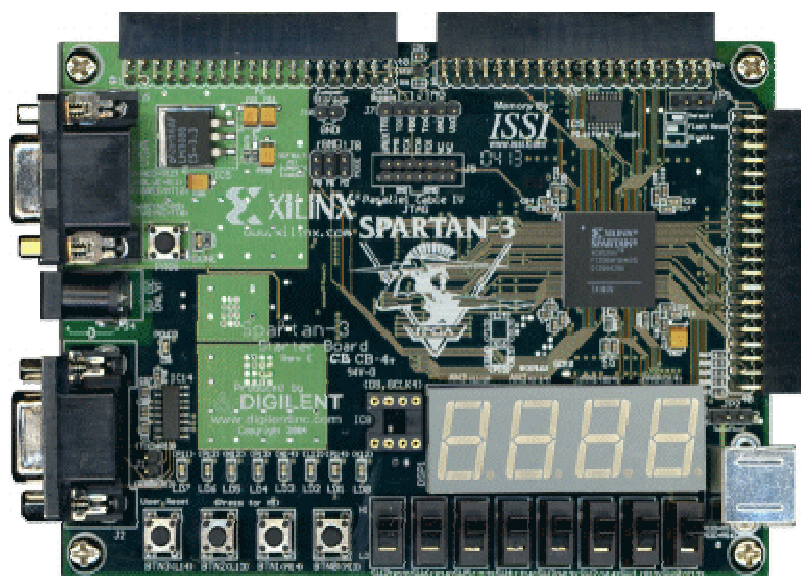
Vlastní výuka programování pak probíhá ve třetím ročníku v assembleru a bude navazovat ve čtvrtém ročníku výukou programování v C. Dosavadní zkušenost z výuky ukazuje zajímavý poznatek. Žáci k obvodu Atmega2560 přistupují s velkým zájmem a důvod je právě v jeho modernosti. A tak můžeme být svědky jistého paradoxu. Zatímco dříve vyučovaný i8051 je proti novému obvodu velmi jednoduchý, výsledky ve výuce jsou, právě pro větší zájem žáků, u obvodu Atmega2560 lepší. Takto nastoupený směr se pozitivně projevil i v tématech letošních maturitních prací. Řada studentů se rozhodla pro práci založenou na obvodu Atmega8 i přesto, že se ve výuce s tímto obvodem ještě nesetkali.

Nejenom jednočipové mikropočítače jsou tím, co prodělává bouřlivý rozvoj. Významný a stále posilující podíl na trhu polovodičových součástek zaznamenávají také hradlová pole a to za současného zvyšování jejich výkonu. Dnešní nejvýkonnější hradlová pole patří do kategorie FPGA, kterou lze charakterizovat počtem hradel na obvod v počtu desítek tisíc až jednotek milionů. Lze očekávat, že v krátké budoucnosti bude pro pracovníky elektrotechnického zaměření jejich znalost zcela nezbytná. Dovolím si tvrdit, že parafrázováno s internetem, „Kdo je nezná, jakoby nebyl“.

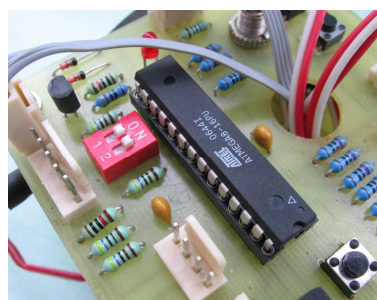
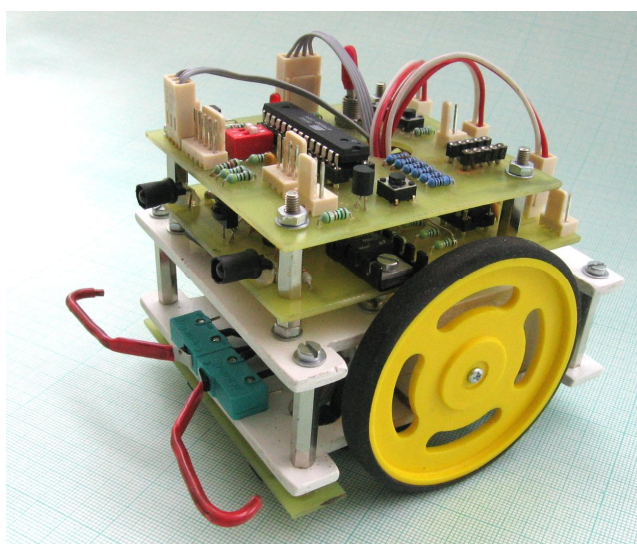
Proto jsme se rozhodli, že uděláme alespoň první krůček a ověříme možnost alespoň základy výuky v podmínkách střední školy. Svým způsobem jsme se vydali proti směru názoru praktiků, kteří pochybují o možnosti zvládnout FPGA ve druhém ročníku střední školy, kam jsme tuto látku začlenili. Kupodivu naše dosavadní poznatky jsou takové, že potvrzují výchozí názor o možnosti tuto látku úspěšně vyučovat. Samozřejmě neaspírujeme na kdovíjakou složitost, ale žáci jsou schopni zvládnout vývojové prostředí a v něm navrhnout pomocí jazyka VHDL jednoduché obvody včetně jejich simulace. A stejně samozřejmě ne každý žák si s problematikou poradí na požadované úrovni, ale na druhou stranu jsou i takoví, které hradlová pole velmi zaujala. A tak už je několik takových, kteří již dnes, s dvouletým předstihem, uvažují nad svojí maturitní prací, samozřejmě s použitím FPGA.

Jak z předchozího plyne, je dosavadní výuka spíš experimentální a přes velmi pozitivní výsledky vidíme možnosti a současně nutnost, jak ji vylepšit. Z hlediska typu FPGA, který ve výuce používáme jsme nejlepší zkušenost získali s obvodem Spartan3 firmy Xilinx a to přesto, že jsme původně začínali s obvody firmy Actel. Proto i do budoucna se hodláme na obvody Xilinx orientovat. Naším cílem je vybudovat pro výuku novou učebnu, ve které by každý student měl vlastní pracoviště, včetně vývojového kitu. V tomto smyslu již byl zpracován a našemu zřizovateli předán projektový záměr.

Pokud za první krok v inovaci výuky považujeme jednočipové mikropočítače, pak u hradlových polí máme nakročeno. Bylo by však chybou nemít již v plánu další krok. Ten by mohl být směrem k robotům. V letošním roce jsou dva roboti zhotoveni jako maturitní výrobek a jeden, který vznikl mimo. Bylo by škoda nepředstavit tyto výrobky na vhodném fóru. Proto předpokládáme nesoutěžní představení na Robotnickém dnu v Praze a v soutěžních kategoriích na akci Istrobot v Bratislavě. Do budoucna pak zvažujeme vytvořit kolektiv nadšenců, kteří by byli schopni se zapojit do prestižní soutěže Eurobot.



Obr. 3 Modul SPARTAN 3



Obr.4 Vítěz školního kola SOČ 2007 - robot řízený ATMEGA8

E-learningový kurz v MOODLE realizovaný na SŠIEŘ Rožnov p/R.

Petr Fuchs

SŠIEŘ Rožnov pod Radhoštěm, Školní 1610, 756 61 Rožnov pod Radhoštěm

petr.fuchs@roznovskastredni.cz

Abstrakt:

Príspevek zachycuje niekoľik postrehů a zkušeností s využitím e-learningového projektu realizovaném v prostředí MOODLE, který je již dva roky využíván při výuce v hodinách počítačové grafiky třídy E3. oboru elektrotechnika se zaměřením na zpracování informací. E-learningový projekt byl vytvořen v rámci závěrečné práce při certifikaci autora příspěvku jako lektora MŠMT modulu SIPVZ „E-learning a využití počítačových sítí ve výuce“.

1. Úvod

Dnes moderní a často skloňovaný pojem „e-learning“ obecně chápeme jako *smysluplné využití počítačových sítí* ve výuce. Ze zkušeností se studenty vím, že je možné s využitím počítačových sítí realizovat celou řadu zajímavých činností, které budou studentům přibližovat informace novým a netradičním způsobem. Prostřednictvím školní LAN sítě studentům během výuky zpřístupňuji důležité informace (např. zadání a postup řešení samostatné práce, texty návodů, důležitá technická data, modelové postupy řešení problémů, atd.) a to přímo, nebo prostřednictvím odkazů na zdroje informací na Internetu. Mohu snadno hodnotit v elektronické podobě výsledky jejich práce, které ukládají do svého adresáře na školní server (přes FTP mohu hodnotit třeba i z domu). V celé řadě případů je zpřístupnění informací studentům prostřednictvím počítačových sítí pro výuku dostačující.

Je možné však jít ještě dále. Lze využít vhodně navrhovaný e-learningový kurz a *organizovat výuku* studentů např. v pracovních tvůrčích skupinách, ve kterých studenti mohou lépe rozvíjet svoje individuální schopnosti a dovednosti.

E-learningový projekt, který jsem vytvořil pro studenty v prostředí MOODLE, je připraven na základě tzv. „sociálně konstruktivistického přístupu ke vzdělávání“, který vychází z obecných principů tzv. „sociálně konstrukcionistické pedagogiky“ [1].

Obecně řečeno je *sociálně konstrukcionistická pedagogika* jistý směr teorie učení, který je založený na čtyřech základních pilířích:

- konstruktivismus
- konstrukcionismus
- sociální konstruktivismus
- kolektivní a samostatné chování

Konstruktivismus tvrdí, že si lidé nové znalosti aktivně konstruují, vytvářejí při interakci se svým okolím. Vše, co čtete, vidíte, slyšíte, cítíte a čeho se dotýkáte, je porovnáváno s vašimi dosavadními znalostmi, a pokud je to s vaším mentálním světem kompatibilní, může se to stát novým poznatkem, který si ponese s sebou. Znalost se upevňuje, pokud ji úspěšně použijete v prostředí, v němž žijete. Nejste pouhá paměťová banka pasivně přijímající informace, a znalosti vám nemohou být „předány“ pouhým přečtením něčeho nebo nasloucháním někomu. To neznamená, že se nemůžete nic naučit čtením textu nebo sledováním přednášky. To samozřejmě můžete. Konstruktivismus jen *zdůrazňuje*, že při tom probíhá interpretace, nikoliv pouhý přenos informací z jednoho mozku do druhého.

Konstrukcionismus vychází z toho, že učení je zvláště efektivní, jestliže při něm tvoříme něco pro ostatní. Může to být cokoli, od mluvené věty nebo sdělení na internetu až po složitější výtvoř, jakými jsou obraz, dům nebo softwarový produkt.

Sociální konstruktivismus rozšiřuje výše uvedené myšlenky na sociální skupinu, kde se vytvářejí věci společně a pro všechny, takže vzniká malá kultura společných výtvorů se společnými významy. Když je jedinec do takové skupiny zařazen, nepřetržitě se učí, jak být její součástí, a to na mnoha rovinách.

Kolektivní a samostatné chování - tento koncept se hlouběji zabývá motivací účastníků diskuse. Rozumná míra vztahového chování je při učení ve skupině velmi silným stimulem pro studium. Vedle sbližování lidí také podporuje hlubší reflexi a přezkoumávání jejich přesvědčení [1].

Musím zdůraznit, že velkými propagátory myšlenek popsanych v předchozí části, jsou mimo jiné i Doc. RNDr. Miroslava Černochová, CSc. a Ing. Bořivoj Brdička, Ph.D. z Katedry informačních technologií a technické výchovy (Pedagogická fakulta, Univerzita Karlova v Praze), kteří jsou garanty vzdělávacího modulu SIPVZ „E-learning a využití počítačových sítí ve výuce“.

2. MOODLE – e-learningová aplikace „od učitele pro učitele“

MOODLE je zkratka slov: Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment což se volně překládá jako *modulární objektově orientované dynamické prostředí pro výuku*. Velkou předností MOODLE je skutečnost, že ho lze použít na jakémkoliv počítači s fungujícím PHP. Podporuje řadu typů databází (především MySQL).



Obr. 1 Logo MOODLE

MOODLE je živý projekt, na kterém se stále pracuje. Jeho zakladatelem je *Martin Dougiamas* – učitel, který je také stále vedoucím celého projektu. Spuštění projektu MOODLE bylo dne 20. srpna 2002 na Curtin University of Technology, East Perth, Western Australia ve verzi 1.0. Dnes aktuální verze je MOODLE verze 1.7 [3].

Je nutné zdůraznit, že se jedná se o *komunitní* software s velkým podílem řady lidí. V roce 2003 byla založena společnost *moodle.com*, která nabízí rozšířenou placenou podporu těm, kteří ji potřebují, správu stránek a konzultantské a další služby. Na adrese [1] a [2] je možné získat potřebné technické informace.

MOODLE je poskytován zdarma jako Open Source software (spadající pod obecnou veřejnou licenci GNU-GPL). To v zásadě znamená, že je chráněn autorskými právy, ale poskytuje přitom uživatelům značnou svobodu. MOODLE můžete kopírovat, používat i upravovat, pokud souhlasíte s tím, že budete tento zdroj poskytovat ostatním; nebudete měnit ani odstraňovat původní údaje o licencích a autorských právech, a uplatníte stejné licenční podmínky i u jakýchkoliv odvozených produktů.



Obr. 2 Martin Dougiamas, zakladatel MOODLE

3. Projekt MOODLE na SŠIEŘ: Skenery a skenování

Pro studenty třetího ročníku studijního oboru elektrotechnika, zaměřením na zpracování informací jsem do předmětu počítačová grafika připravil v MOODLE e-learningový kurz zaměřený na výuku skenování na plošném skeneru. Cílem projektu je seznámit studenty s problematikou skenování, zpřístupnit jim technické informace o skenerech a skenování, informace o postupech skenování tak, aby byli schopni samostatně skenovat libovolné předlohy pomocí plošného skeneru.

Projekt je připravený pro 15 studentů, kteří pracují v rámci cvičení v počítačové učebně. Každý student má k dispozici počítač s přístupem do školní LAN sítě a přístup k Internetu. Skupina má k dispozici plošný skener EPSON a barevnou inkoustovou tiskárnu.

Projekt jsem připravil v pěti týdenních dvouhodinových lekcích:

- skener EPSON, technické informace a postupy skenování (součástí je i ověřovací test znalostí a dovedností, jehož splnění je podmínkou dalšího postupu v rámci kurzu)
- skenování předloh na plošném skeneru
- získání potřebných technických a grafických podkladů pro závěrečnou práci (téma práce je různé pro každou pracovní skupinu)
- vytvoření grafického dokumentu ze získaných dat a skenovaných předloh podle zadání
- prezentace a obhajoba práce skupiny před třídou

Studenti pracují v pracovních skupinách, kde si rozdělí své pracovní role. Rozdělení do skupin je určeno učitelem na začátku kurzu. Je vhodné skupiny rozdělit jinak, než jsou přirozené vazby mezi studenty ve třídě. Při získávání potřebných technických a grafických dat pracují studenti z různých úhlů pohledu – např. *technik* se zajímá o technická data výrobku, *obchodník* o obchodní data, ceny, záruky, apod., *vedoucí týmu* koordinuje činnosti, tvoří výslednou koncepci práce. Studenti jsou nuceni vzájemně kooperovat a sdílet získané informace. Jejich činnosti se blíží práci v realizačním týmu v praxi.

Skenery a skenování Jste přihlášení jako Petr Fuchs v pohledu studenta (Odhlásit se)

SIPVZ » PG4PEFU Vypnout pohled studenta

Osoby
Účastníci

Činnosti
Studijní materiály
Testy

Správa
Známky
Upravit profil
Změnit heslo
Vyškrtnout z PG4PEFU

Moje kurzy
Online podpora školení lektorů modulu "Využití počítačových sítí ve výuce" (4.běh)
Stálé diskusní fórum pro lektory modulu P "Využití počítačových sítí ve výuce"
Stálé studijní materiály pro modul "Využití počítačových sítí ve výuce"
Martina Krejčířiková: Základy HTML
Roman Jireš: Podpora teoretického vyučování modulu P - grafika a digitální fotografie

Moje kurzy
Online podpora školení lektorů modulu "Využití počítačových sítí ve výuce" (4.běh)
Stálé diskusní fórum pro lektory modulu P "Využití počítačových sítí ve výuce"
Stálé studijní materiály pro modul "Využití počítačových sítí ve výuce"
Martina Krejčířiková: Základy HTML
Roman Jireš: Podpora teoretického vyučování modulu P - grafika a digitální fotografie
Skenery a skenování
Kurz1
Kurs-fotografie
Všechny kurzy...

Osnova témat

Úvod do kurzu: Skenery a skenování
Základní informace o kurzu.
Vítejte v kurzu
Rozdělení do pracovních skupin
Pokyny pro práci

1 Skener EPSON Perfection 3170 PHOTO
Zadání úlohy č.1:
Zaměřte se při studiu zejména na:
První kroky se skenerem EPSON
Informační leták EPSON Perfection 3170 PHOTO (EN)
Informace o skeneru EPSON
Návod k obsluze skeneru EPSON Perfection 3170 PHOTO
Skenování - základní postup
Skener prakticky
Předlohy pro skenování
Jak postupovat při skenování
Test znalostí ovládání skeneru
Výsledky hodnocení testu znalostí

2 Skenování zadaných předloh na skeneru
Zadání úlohy č.2:
Skenování reflexních předloh
Skenování folií
Řešení problémů

Zadání úlohy č.2:
Skenování reflexních předloh
Skenování folií
Řešení problémů

3 Získání technických dat a informací o skenerech a skenování
Zadání úlohy č.3:
Zadání pro pracovní skupiny
Odkazy na www stránky

4 Návrh prezentace zařízení ze získaných technických a grafických dat
Zadání úlohy č.4:
Hodnocení práce
Zadání prezentace
Zadání letáku
Práce studentů pro inspiraci ...

5 Prezentace a obhajoba samostatné práce
Zadání úlohy č.5:
Hodnocení prezentace

Nadcházející události
Žádné nadcházející události
Jdi do kalendáře...
Nová událost...

Kalendář
březen 2007

Po	Út	St	Čt	Pá	So	Ne
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

Globální události
Skupinové události
Události kurzu
Osobní události

Obr. 3 Prostředí MOODLE projektu: Skenery a skenování

Skenery a skenování

SIPVZ » PG4PEFU » Studijní materiály » Hodnocení práce

< Přejít na... >

Způsob hodnocení prezentace (letáku)

Hodnocení vaší společné práce bude probíhat ve dvou rovinách:

- Při závěrečné obhajobě práce budou vaši práci jako celek a způsob obhajoby projektu posuzovat a hodnotit spolužáci
- Splnění zadání, dále úroveň práce a přínos pro výsledek projektu každého studenta samostatně bude hodnocena učitelem výslednou známkou

Hodnocení :

Výborně - splnění všech kritérií podle zadání, graficky výborně zpracovaná práce se zajímavými kreativními nápady, která obsahuje potřebná technická data v grafickém souladu s celkovou koncepcí projektu. V projektu jsou také použity naskenované předlohy z části č.2 kurzu.

Velmi dobře - splnění všech kritérií podle zadání, graficky velmi dobře zpracovaná práce, která obsahuje potřebná technická data v grafickém souladu s celkovou koncepcí projektu. V projektu jsou také použity naskenované předlohy z části č.2 kurzu.

Dobře - splnění všech kritérií podle zadání, graficky průměrně zpracovaná práce, která obsahuje potřebná technická data. Z grafického hlediska by bylo možné najít lepší řešení aby byl projekt v souladu s celkovou koncepcí projektu. V projektu jsou také použity naskenované předlohy z části č.2 kurzu.

Dostatečně - částečné splnění kritérií podle zadání, graficky průměrně zpracovaná práce, která obsahuje technická data. Z grafického hlediska by bylo možné najít lepší řešení aby byl projekt v souladu s celkovou koncepcí projektu. V projektu jsou také použity naskenované předlohy z části č.2 kurzu.

Nedostatečně - nesplnění kritérií podle zadání, graficky podprůměrně zpracovaná práce. Nedostatečná práce s technickými daty. Z grafického hlediska špatné řešení, nesoulad s celkovou koncepcí projektu.



Obr. 4 Prostředí MOODLE projektu: Skenery a skenování – způsob hodnocení práce studenta

Skenery a skenování

SIPVZ » PG4PEFU » Studijní materiály » Zaměřte se při studiu zejména na:

Upravit tuto činnost - Studijní materiál

< Přejít na... >

Zaměřte se zejména na ...

Prvním vaším úkolem bude se podrobně seznámit s možnostmi nastavení a ovládním zařízení - skeneru EPSON Perfection 3170 PHOTO.

Doporučuji při studiu technických informací se zaměřit zejména na :

1. Základní ovládání zařízení - zapnutí, instalace, atd
2. Seznámit se s programovým rozhraním - ovládacím software EPSON Smart Panel
3. Zjistit význam jednotlivých nastavovacích prvků software
4. Jakým způsobem volím automatický, domácí a profesionální vzhled rozhraní
5. Zaměřte se na profesionální rozhraní software
6. Jak budete skenovat reflexní předlohy (fotky, obrázky z časopisů)
7. Jak budete skenovat průhledné předlohy (kino filmy, 6x9cm filmy,...)
8. Převod textu pomocí OCR programu a následná editace textu
9. Nastavení skeneru k potlačení moaré
10. Nastavení rozlišení skeneru v DPI
11. Ukládání naskenovaných souborů
12. Možnosti nastavení zařízení pro odesílání skenovaných předloh e-mailem, vystavení na web
13. Nastavení zařízení jako kopírka
14. Řešení potíží a problémů zařízení, které mohou nastat

Dále bude nutné prohlédnout další zdroje informací o zařízení na [www](#) :

- [Epson](#) - firemní stránky (cz)
- [Epson](#) - firemní stránky (en)

Naposledy změněno: Pondělí, 20. únor 2006, 18:13

Dokumentace k této stránce

Jste přihlášení jako [Petr Fuchs](#) ([Odhlásit se](#))

PG4PEFU

Obr. 5 Prostředí MOODLE projektu: Skenery a skenování – na co se studenti mají zaměřit...

4. Studenti a MOODLE

Studenti se během několika hodin naučí získávat a třídit potřebné informace, osvojí si praktické dovednosti, v pracovním týmu připraví vzájemnou kooperaci strukturu závěrečného produktu a vytvoří graficky dokonalý dokument. Na závěr samostatnou práci obhájí před spolužáky.

A co MOODLE? Prostředí MOODLE je pro studenty dobře pochopitelné a snadno ovladatelné. Na začátku práce v MOODLE je potřeba, aby si každý student vytvořil svůj účet s heslem pro přístup do aplikace. Toto není pro dnešní studenty běžně pracující v prostředí Internetu žádnou komplikací. Zřízení účtu včetně potvrzovacího e-mailu je otázkou několika málo minut.

Také práce ve skupinách (v pracovních týmech) je studenty kladně hodnocena. Je zajímavé, že obecně role koordinátora projektu je většinou studenty odmítána proto, že jeho úlohou je i závěrečná prezentace a obhajoba projektu skupiny před třídou. Z praxe jasně vyplývá potřeba umět dobře prezentovat a „prodat“ získané znalosti a dovednosti.

5. Učitelé a MOODLE

Pro učitele je prostředí MOODLE taktéž přehledné a jasně srozumitelné. Prostředí je plně lokalizované do češtiny i včetně kvalitní nápovědy. Na internetové adrese [1] je i rozsáhlé fórum uživatelů s odpověďmi na celou řadu otázek. Instalace MOODLE na lokální počítač nebo na školní server je v návodu k instalaci poměrně dobře popsána. Pro průměrně zdatného uživatele výpočetní techniky by instalace neměla být problémem. Já jsem projekt tvořil na lokálním počítači s nainstalovaným webovým a databázovým serverem Easy PHP [4] a s instalovaným MOODLE. Výsledný soubor projektu jsem přes FTP přenesl na server s běžícím MOODLE. Zde je projekt dostupný i studentům [5]. Místo aplikace Easy PHP lze pro práci na lokálním počítači doporučit výborný webový a databázový server českého autora M. Ponkráce - *Complex Web Server* [6], kterou využíváme ve škole pro výuku PHP studentů čtvrtého ročníku.

Samotná tvorba e-learningových kurzů v MOODLE je rychlá a snadná. Po krátkém seznámení s prostředím lze vytvořit i obsáhlé výukové projekty.

6. Závěr

MOODLE je *zdarma* dostupné a plně použitelné e-learningové prostředí, ve kterém učitelé mohou snadno a rychle připravovat svoje výukové e-learningové projekty. MOODLE je celosvětově rozšířenou a oblíbenou e-learningovou aplikací pro tvorbu výukových kurzů. Obsahuje velké množství nejrozličnějších modulů typu test a Hot Potatoes test, modul diskusní fórum, chat, dotazník, přednáška, slovník, úkoly a mnoho dalších. Učitel může jednotlivé činnosti studentů omezit časově, podmínit jinými činnostmi, může zpřístupnit informace jen vybraným skupinám studentů, může on-line vyhodnocovat výsledky kontrolních testů, atd. Možností pro tvorbu kvalitních e-learningových projektů je mnoho. Je pravděpodobné, že řadu z nabízených možností asi nebudeme schopni využít. Šíře možností je velkou předností MOODLE.

V rámci vzdělávání pedagogických pracovníků SIPVZ na SŠIEŘ jsem seznámil s MOODLE další kolegy z SŠIEŘ Rožnov pod Radhoštěm. A plány do budoucna? Chtěli bychom spustit MOODLE na školním serveru a připravit další zajímavé MOODLE výukové kurzy i v jiných vyučovacích předmětech.

Literatura:

- [1] české stránky uživatelů MOODLE: www.moodle.cz
- [2] stránky autora projektu: www.moodle.com
- [3] stránky s odkazem na stažení MOODLE: www.moodle.org
- [4] domovská stránky projektu EasyPHP: www.easyphp.org
- [5] www adresa projektu Skenery a skenování: <http://sipvz.cuni.cz/course/category.php?id=23>
- [6] stránky s odkazem na stažení programu: www.slunecnice.cz

Energeticky optimální nabíjení kapacitoru

Zdeněk Biolek

SŠIEŘ Rožnov pod Radhoštěm, Školní 1610, 756 61 Rožnov pod Radhoštěm

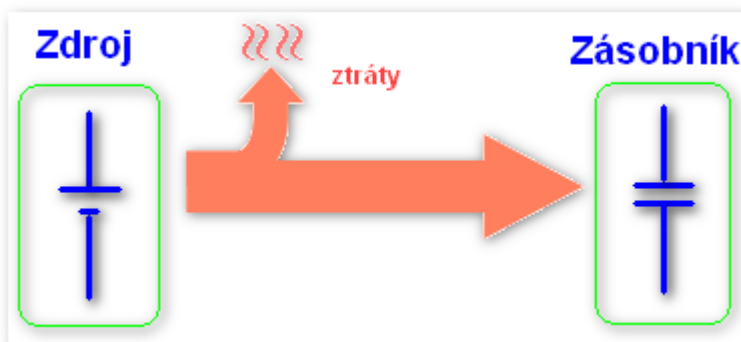
zdenek.biolek@roznovskastredni.cz

Abstrakt:

Příspěvek se zabývá problematikou účinnosti transportu energie ze zdroje napětí do zásobníku energie. Může být aktuální pro učitele středních odborných škol, kteří si připravují materiál pro výuku spínaných zdrojů a dalších příbuzných pasáží elektroniky. Ke studiu jevu se využívá prostředků (téměř) středoškolské matematiky a počítačových simulací elektrických obvodů.

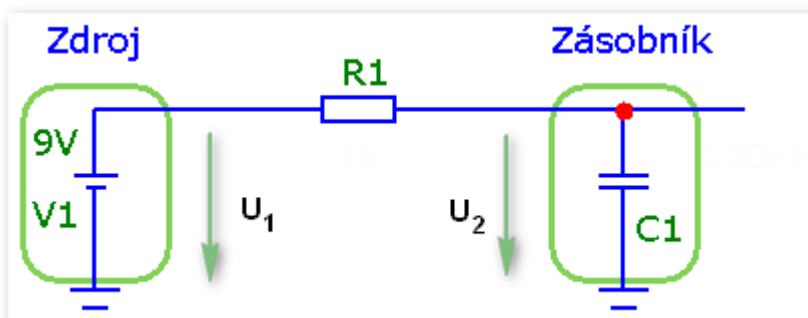
1. Úvod

Úsilí o dosažení co nejvyšší účinnosti při zpracování energie získávané z primárních zdrojů nás vede k hlubšímu studiu energetické stránky jevů probíhajících v elektrických obvodech. Velmi zajímavou etapou při zpracování energie, při které může dojít k velkým ztrátám, je proces přelévání energie ze zdroje do zásobníku (viz obr. 1).



Obr. 1. Transport energie ze zdroje do zásobníku

Obr. 2 představuje uspořádání bateriového napájení některých nízkoodběrových zařízení pracujících v impulzním režimu. Zařízení (není na obrázku) pokrývá svoji občasnou proudovou spotřebu z energetického zásobníku, který je tvořen kapacitorem. Ten se trvale dobíjí přes rezistor z vnějšího zdroje. Výhodou tohoto uspořádání je, že zařízení může v nárazech odebírat ze zásobníku větší proud, než jaký by byl schopen dodat samotný zdroj.



Obr. 2. Transport energie přes rezistor

Někdy je výhodné zvolit velkou hodnotu nabíjecího odporu, zvláště v případě, kdy zdroj je schopen dodat jen velmi malý proud nebo tehdy, kdy je taková šetrnost vůči zdroji energie namístě. Doba nabíjení se sice prodlouží, ale pokud se zásobník energie stačí naplnit ještě před dalším požadavkem

na proudový odběr, bude vše v pořádku. Za takových okolností lze snadno sklouznout k domněnce, že čím nižší hodnotu nabíjecího proudu zvolíme, tím úspornější bude provoz a tím nižší budou také energetické ztráty. Z dalšího rozboru bude patrné, že tomu tak není. Ukážeme si také, že pro účinnost procesu přelévání energie ze zdroje do zásobníku platí velmi zajímavé zákonitosti.

2. Nabíjení přes rezistor

Lze dokázat, že během samovolného přelévání energie z napětového zdroje do kapacitoru přes rezistor se dostane do zásobníku pouze polovina dodané energie, druhá polovina se vždy přemění na teplo. To platí nezávisle na parametrech obvodu, tj. bez ohledu na velikosti hodnot odporu, kapacity a napětí zdroje.

V ustáleném stavu naměříme na kapacitoru C_1 napětí $U_2=9V$ a energie v něm uskladněná bude

$$E_S = \frac{1}{2} C_1 \cdot U_2^2. \quad (1)$$

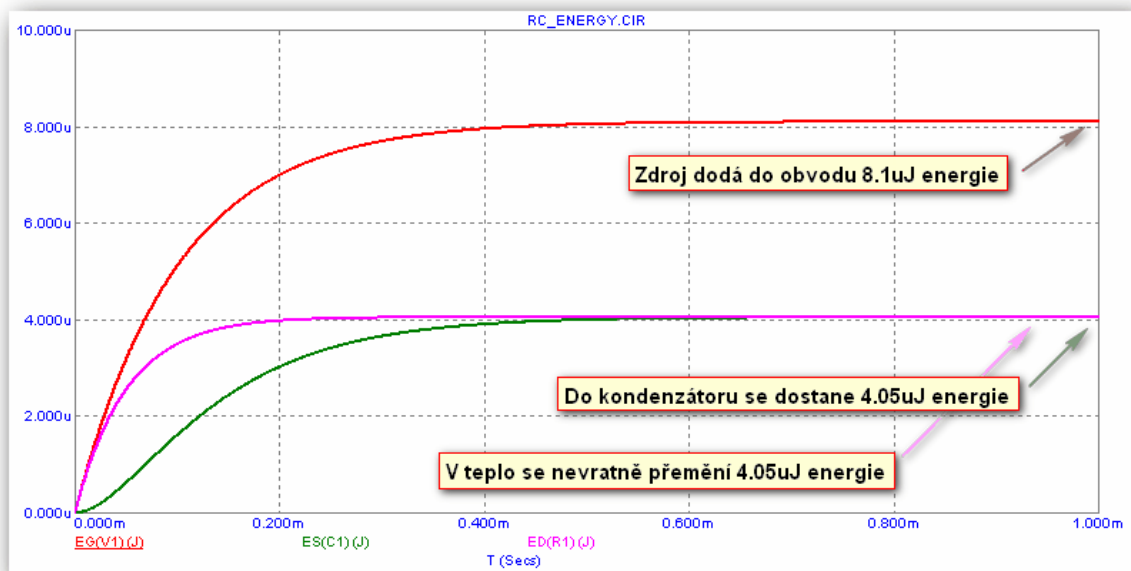
Ze zdroje se přitom odebere energie

$$E_G = \int_0^{\infty} \frac{U_1^2}{R_1} \cdot e^{-\frac{t}{R_1 C_1}} dt = C_1 \cdot U_1^2. \quad (2)$$

Vzhledem k tomu, že v ustáleném stavu platí $U_2=U_1$, je to přesný dvojnásobek toho, co se uskladní v kapacitoru, tj.

$$E_S = \frac{1}{2} E_G. \quad (3)$$

Výsledky počítačové simulace pro hodnoty součástek $R_1=1k\Omega$ a $C_1=100nF$ pomocí programu Micro-Cap 9 dokládá obr. 3.



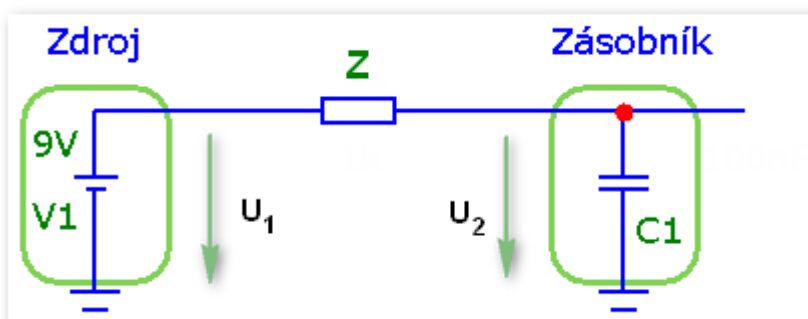
Obr. 3. Simulace energetických poměrů při nabíjení kapacitoru

Závěr je zřejmý: změna velikosti nabíjecího proudu nevede ke změně účinnosti nabíjecího procesu, ta je za každých okolností 50%.

Důsledky této zákonitosti nejsou v žádném případě triviální. Ve všech případech, kdy se napájení realizuje dvoufázově, tj. přečerpáváním náboje do kapacitoru a jeho následným vybitím přes spotřebič, dochází ve fázi čerpání k 50% ním ztrátám energie.

3. Nabíjení přes impedanci

V reálných případech působí v napájecích soustavách parazitní vlivy, které jsme schopni modelovat pomocí přídatných indukčností a kapacit. Každý vodič vykazuje takové parazitní vlastnosti. Uvažujme tedy situaci, kdy se energie samovolně přelévá ze zdroje do kapacitoru již ne přes rezistor, ale přes kmitočtově závislou impedanci Z , jak je znázorněno na obr. 4.



Obr. 4. Transport energie přes impedanci

Vydeme z následujících předpokladů:

- stejnoseměrný napěťový zdroj dává konstantní napětí o velikosti U_1 ,
- nabíjecí prvek je lineární stacionární jednobran s frekvenčně závislou impedancí Z ,
- napětí na kapacitoru se ustálí na hodnotě $U_2 = \lim_{t \rightarrow \infty} u_2(t) = U_1$.

Otázka zní: Bude i tentokrát účinnost samovolného nabití kapacitoru 50%?

Nejprve odvodíme, jaký charakter impedance Z je potřebný pro splnění předpokladu c). Pro Laplaceův obraz výstupního napětí musí platit

$$U_2(p) = \frac{U_1}{p \cdot (p \cdot Z(p) \cdot C + 1)}.$$

Kvůli splnění podmínky c) požadujeme, aby

$$\lim_{t \rightarrow \infty} u_2(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot U_2(p) = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{U_1}{p \cdot Z(p) \cdot C + 1} = \frac{U_1}{1 + C \cdot e} = U_1, \quad (4)$$

kde

$$e = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot Z(p). \quad (5a)$$

Využijeme-li teorému o konečné hodnotě signálu, lze vztah (5a) přepsat do podoby

$$e = \lim_{t \rightarrow \infty} V(t), \quad (5b)$$

kde $z(t)$ je impulzní funkce pro impedanci Z , tj. časový průběh napětí na impedanci Z jako odezva na proudový Diracův impuls. Podle (4) tedy musí platit, že tato odezva s časem zanikne, tj.

$$e = 0. \quad (6)$$

Analýzou vztahů (5a) a (5b) lze dospět k následujícímu závěru:

Při nabíjení kapacitoru ze zdroje konstantního napětí přes impedanci Z se kapacitor nabije na stejné napětí jako je napětí zdroje, pokud má impedance $Z(p)$ všechny své případné póly v levé komplexní polorovině.

Nyní odvodíme vztah pro celkovou energii, kterou musí zdroj dodat pro úplné nabití kapacitoru. Laplaceův obraz výkonu dodávaného zdrojem bude

$$P_G(p) = U_1^2 \frac{C_1}{p \cdot Z(p) \cdot C_1 + 1}$$

a energie

$$E_G(t) = \int_0^t P_G(t) \cdot dt = U_1^2 \int_0^t L^{-1} \left[\frac{C_1}{p \cdot Z(p) \cdot C_1 + 1} \right] \cdot dt = U_1^2 \cdot L^{-1} \left[\frac{C_1}{p \cdot (p \cdot Z(p) \cdot C_1 + 1)} \right],$$

takže energie dodaná zdrojem pro úplné nabití kapacitoru bude

$$E_G = \lim_{t \rightarrow \infty} E_G(t) = \lim_{p \rightarrow 0} (p \cdot E_G(p)) = U_1^2 \frac{C_1}{1 + e},$$

e je dáno vztahy (5a) a (5b). S uvážením podmínky (6) vychází opět

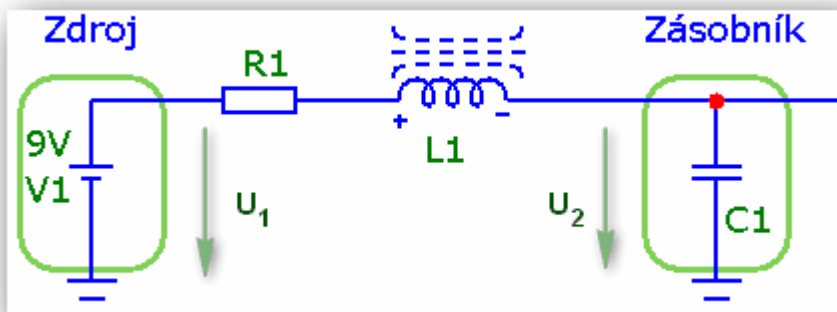
$$E_G = C_1 \cdot U_1^2.$$

Vzhledem k (1) to znamená, že platí následující závěr:

Při samovolném nabití kapacitoru ze zdroje konstantního napětí přes impedanci $Z(p)$, která má všechny své případné póly v levé komplexní polorovině, se do kapacitoru dostane právě polovina energie dodané zdrojem napětí.

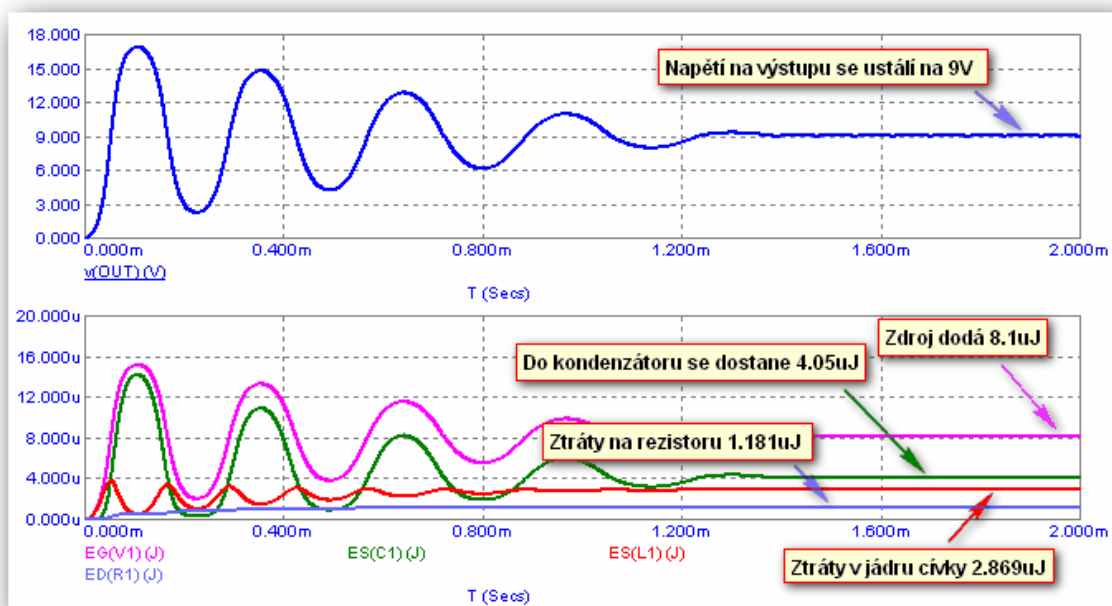
4. Nabíjení přes nelineární RL člen

K největším ztrátám energie při nabíjení přes rezistor dochází v počátku nabíjecího procesu, kdy jsou hodnoty proudu a tedy i výkonu na rezistoru nejvyšší. Zvolíme-li induktivní charakter nabíjecí impedance, zpomalíme počáteční náběh nabíjecího proudu a energie se bude na rezistoru spalovat také pomaleji. Jelikož však nabíjecí impedance nemá žádné póly, platí i pro tento případ závěr, že do kapacitoru se nakonec dostane opět jen 50% z celkové energie dodané zdrojem.



Obr. 5. Transport energie přes RL člen

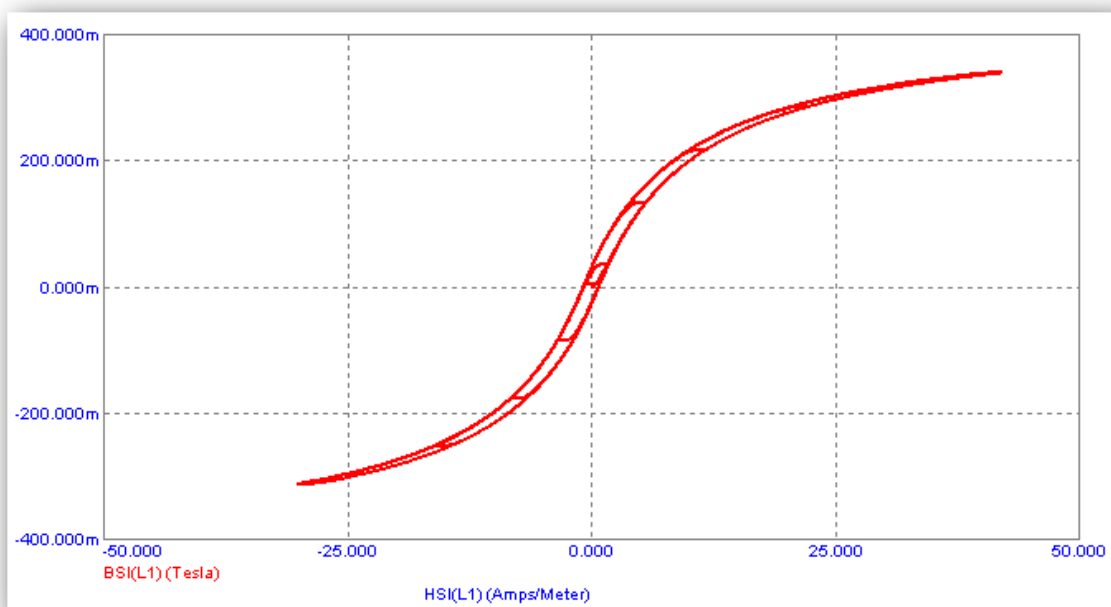
Vyzkoušejme, zda tento závěr platí i v případě nelineární indukčnosti. Pro účely počítačové simulace byl vybrán model cívky vyrobené pomocí 10 závitů drátu navinutého na nelineárním magnetickém jádru (výsledný činitel vazby je 1,0). Hodnoty dalších součástek byly zvoleny takto: $R_1=10\Omega$, $C_1=100\text{nF}$. Z obr. 6 je patrné, že napětí na kondenzátoru má charakter tlumených kmitů, které se ustálí na hodnotě napětí zdroje, tj. 9V.



Obr. 6. Simulace transportu energie přes RL člen

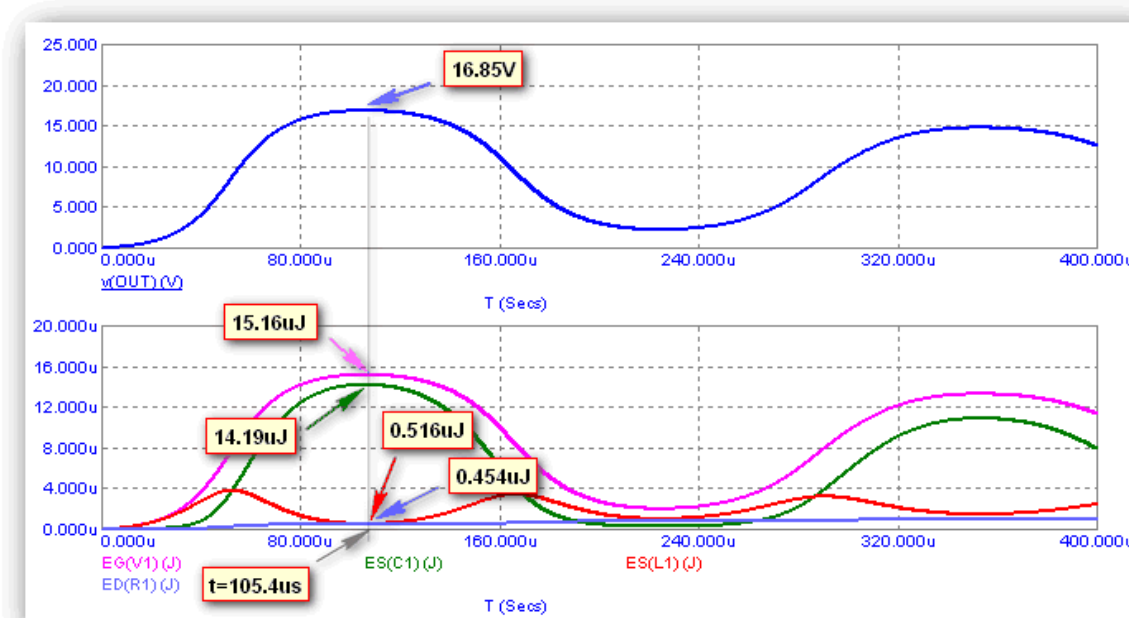
Tlumení obstarává nejen rezistor R_1 , ale také ztráty vznikající v jádru cívky. Grafy ukazují, že z celkového množství energie $8,1\mu\text{J}$ dodané zdrojem se dostane do kondenzátoru opět pouze polovina, tj. $4,05\mu\text{J}$.

Vzájemná závislost okamžitých hodnot indukce a intenzity magnetického pole cívky je vymezena hysterezní křivkou materiálu jádra, jak je zřejmé z obr.7.



Obr. 7. Hysterezní křivka materiálu jádra cívky

Opět se potvrdilo, že samovolné nabití kapacitoru ze zdroje konstantního napětí se uskuteční s účinností 50%. Podle obr. 6 je však patrné, že v průběhu nabíjení existují okamžiky, kdy v kapacitoru je značné množství energie při minimálních aktuálních ztrátách na rezistoru a v jádře cívky. Detail prvního přechodu ukazuje obr. 8.

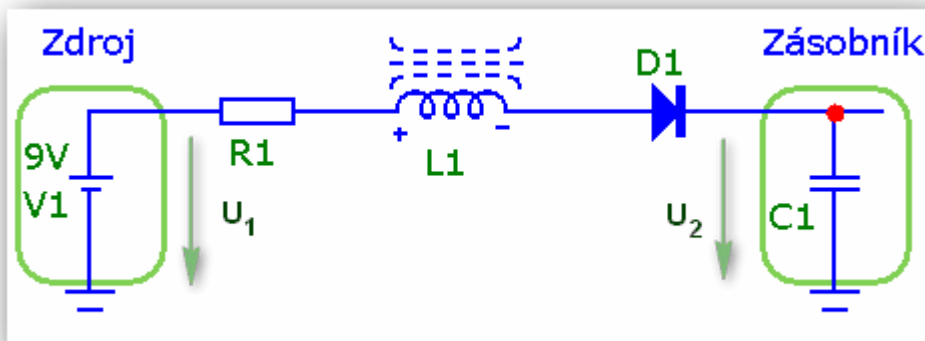


Obr. 8. Detail maxima při přenosu energie

Až do dosažení prvního maxima výstupního napětí zdroj dodal energii 15,16 μ J a z toho se do kapacitoru dostalo plných 14,19 μ J. Kdyby se v tomto okamžiku podařilo nabíjení zastavit, účinnost nabití by byla přibližně 93%.

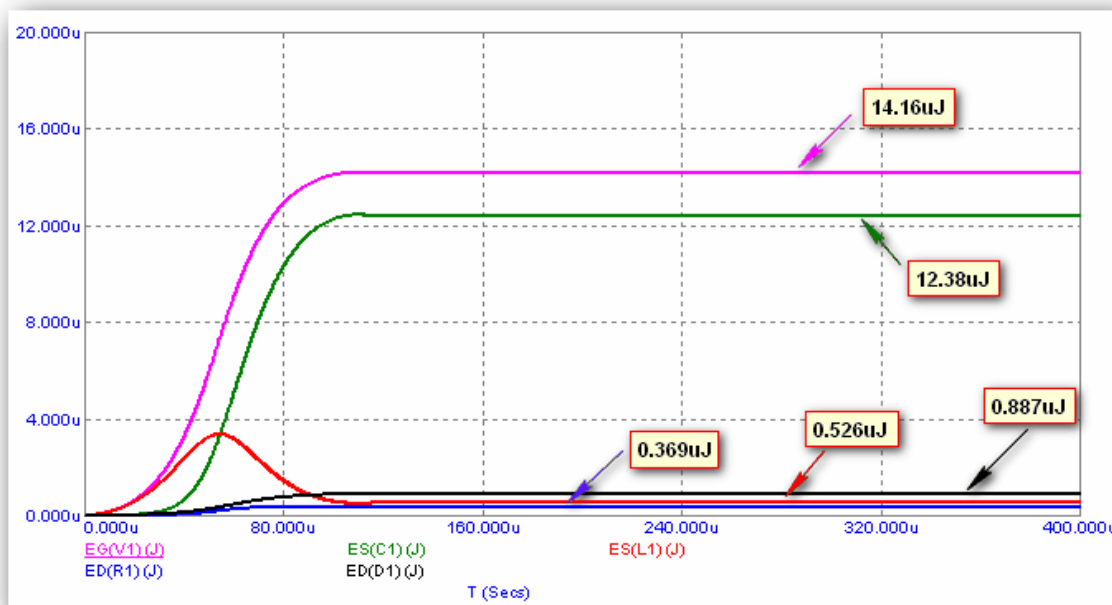
5. Řízené nabíjení přes nelineární RL člen

Takto řízené nabíjení lze realizovat jednoduše pomocí vhodně polarizované diody, která zabrání vybíjení kapacitoru zpět do zdroje. Možné řešení ukazuje obr. 9.



Obr. 9. Řízené nabíjení kapacitoru

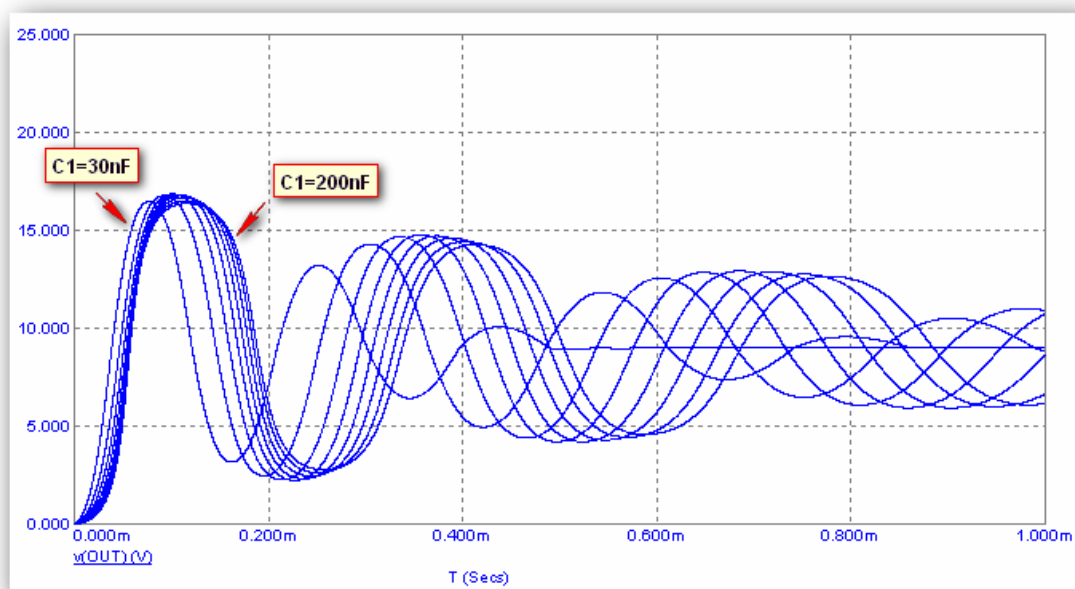
Výsledky simulace na obr. 10 ukazují poněkud nižší účinnost, než činil předchozí odhad. Příčinou jsou ztráty způsobené činností diody, která odebrala teplo $E_D(D_1) = 0,887\mu\text{J}$, což je více než ztráta na rezistoru $E_D(R_1) = 0,369\mu\text{J}$. V materiálu jádra cívky se ztratilo $E_S(L_1) = 0,526\mu\text{J}$. Zdroj dodal celkem $14,16\mu\text{J}$ a do kapacitoru se dostalo $12,38\mu\text{J}$, tj. účinnost vychází na 87,4%.



Obr. 10. Energetické poměry při řízeném nabíjení kapacitoru

6. Optimalizace nabíjení přes nelineární RL člen

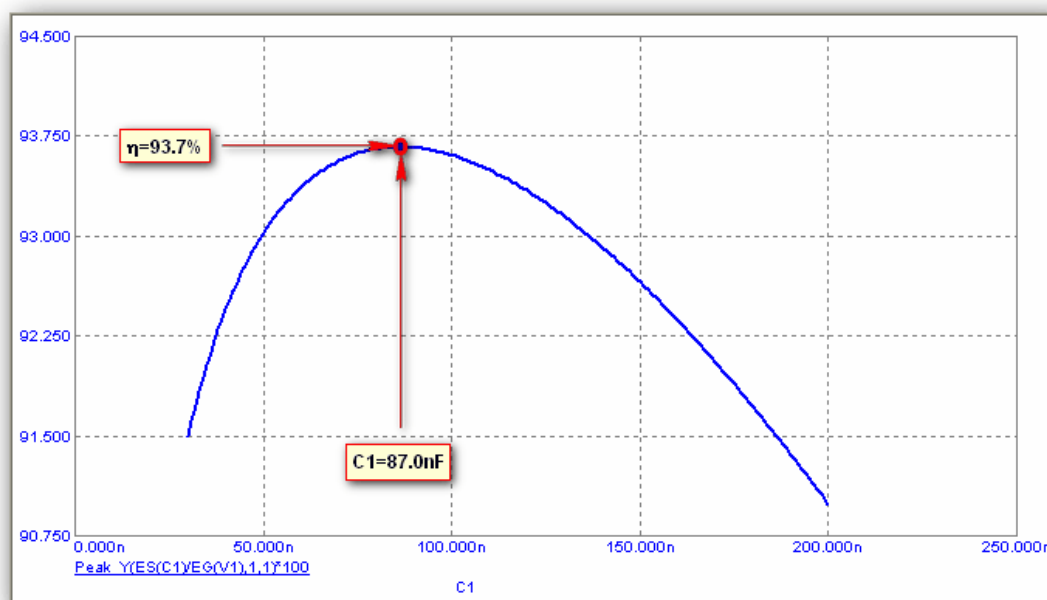
Vraťme se k časovému průběhu samovolného nabití kapacitoru přes RL člen podle obr. 6. Optimální okamžik pro ukončení nabíjení je dán výskytem prvního lokálního maxima výstupního napětí. Čím větší je toto maximum, tím vyšší bude také účinnost nabití kapacitoru.



Obr. 11. Vliv kapacity nabíjeného kondenzátoru na „výšku“ překmitu napětí

Dá se dokázat, že „výška“ prvního překmitu signálu produkovaného lineárním RLC obvodem vykazuje jako funkce vzhledem k rezonanční frekvenci obvodu lokální maximum. Pokud by stejná zákonitost platila i v případě mírně nelineární indukčnosti, kterou jsme použili v nabíjecím článku, znamenalo by to, že pomocí RL členu lze nabíjecí obvod vyladit na optimální účinnost.

V původním zapojení podle obr. 5 ponecháme hodnotu odporu R_1 na velikosti 10Ω . Nižší hodnota sice znamená vyšší účinnost, avšak ve skutečném zapojení nejsme schopni jít pod určitou reálnou mez. Cívku ponecháme také beze změny a budeme měnit kapacitu C_1 v rozmezí od 30nF do 200nF. Vliv těchto změn na „výšku“ prvního překmitu napětí ukazuje obr. 11. Je zřejmé, že při určité hodnotě C_1 je překmit skutečně nejvyšší.



Obr. 12. Vliv kapacity nabíjeného kondenzátoru na účinnost nabíjení

Z obr. 12 je zřejmé, že při $C_1=87\text{nF}$ dojde k vyladění účinnosti nabíjecího obvodu na optimální hodnotu 93,7%.

7. Závěr

Příspěvek ukazuje, jakým způsobem lze využít počítačových simulačních programů ke studiu jevů probíhajících v elektrických obvodech. Všechny uvedené simulace (kromě analýzy uvedené na obr. 12) lze provést pomocí evaluační verze programu Micro-Cap 9, která je zdarma k dispozici na Internetu [1]. Možnosti simulátoru elektrických obvodů Micro-Cap jsou detailně vysvětleny v knize [2].

Literatura

- [1] <http://www.spectrum-soft.com>, domovská stránka firmy SPECTRUM SOFTWARE, výrobce programu Micro-Cap 9.
- [2] Biolek, D.: Řešíme elektronické obvody aneb kniha o jejich analýze. BEN technická literatura, 2004, 520 s.

Poznámky:

Poznámky:

Poznámky:

Poznámky:

