

# Současné metody profesionálního návrhu plošných spojů

Ing. Vít Záhlava, CSc.  
katedra mikroelektroniky, FEL ČVUT v Praze,  
Technická 2, 166 27 Praha 6 – Dejvice  
[zahlava@fel.cvut.cz](mailto:zahlava@fel.cvut.cz), [www.zahlava.cz](http://www.zahlava.cz)  
tel. +420224353940, fax 0420224310792

**Základní aspekty návrhu elektronických zařízení a jejich desek plošných spojů (DPS).  
Problematika elektromagnetické kompatibility (EMC) a související pravidla pro návrh  
DPS. Počítačový návrh elektronických projektů - využití programových produktů OrCAD  
pro výuku elektronických obvodů a návrh DPS.**

## 1. Základní aspekty návrhu elektronických zařízení a jejich DPS

Při vývoji a konstrukci elektronických zařízení a jejich DPS musí každý návrhář sledovat několik základních aspektů. Samozřejmě se předpokládá, že vyvíjené zařízení bude plně funkční, jeho provoz spolehlivý a bezpečný. Abychom byli s naším zařízením či přístrojem konkurenceschopní, musíme při návrhu zohledňovat výšku nákladů na vývoj i samotnou výrobu. Nemusím zdůrazňovat, že důležitým aspektem je i estetická stránka návrhu. V současné době je nutné při vývoji a konstrukci elektronického zařízení zohlednit navíc ještě jeden, velmi důležitý aspekt, kterým je EMC.

## 2. Problematika EMC a související pravidla pro návrh DPS

Rozvoj elektroniky, zejména mikroprocesorové techniky, radikálně mění jak koncepci a způsoby použití elektronických zařízení, tak i nároky na jejich instalaci a umístění. Přenos informací, automatické zpracování a záznam dat jsou vystaveny působení rušivých vlivů, pocházejících z rozmanitých průmyslových zdrojů rušení, jako například výkonových spínačů, stykačů, relé, motorů, měničů atd. Bezvýznamné není ani rušení elektronických zařízení navzájem. Rušivý vliv prostředí, projevující se nežádoucími vazbami, interferenčním šumem, rezonančními a přechodovými jevy, může vyvolat nejen nesprávnou funkci elektronických zařízení nebo znehodnocení přenosu a záznamu dat, ale v extrémních případech způsobit až destrukci citlivých elektronických obvodů. Proto se v současné době stává jedním z rozhodujících faktorů při návrhu elektronických zařízení právě jejich zvýšení odolnosti na jedné straně a omezení vyzařování na straně druhé, jinými slovy – zajištění elektromagnetické slučitelnosti (kompatibility) elektronických zařízení.

Problematika elektromagnetické kompatibility je součástí legislativy všech vyspělých států. V České republice je EMC legislativně řešena především zákonem 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a navazujícími nařízeními vlády. Normami jsou potom upraveny způsoby měření a zkoušek EMC. Pro výrobce z toho vyplývá povinnost uvádět na trh pouze bezpečné výrobky, provést u nich posouzení shody a vydat prohlášení o shodě (rozumí se shoda s příslušnými předpisy pro EMC). Vývojový pracovník a návrhář potom musí navrhovat elektronická zařízení a jejich DPS v souladu s pravidly pro EMC [1], [3], [4].

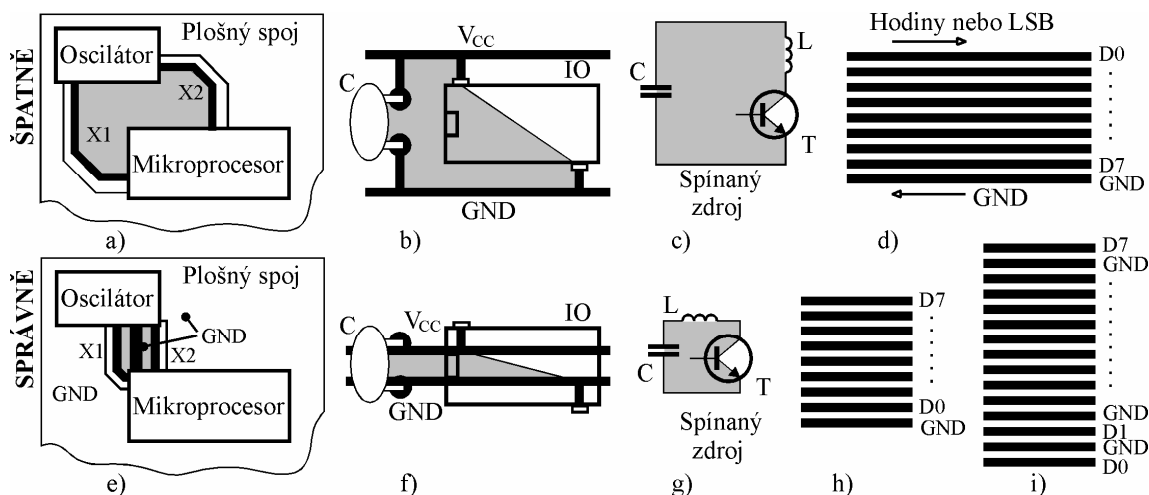
### 2.1 Základní pravidla pro návrh v souladu s EMC

Návrh v souladu s EMC musí začít již při ideovém či blokovém návrhu schématu každého zařízení. Základním požadavkem je omezení vyzařování a zvýšení odolnosti navrhovaného zařízení. Jelikož hustota vyzařovaného elektromagnetického pole závisí velikostí proudu, kmitočtu a ploše proudové smyčky, patří mezi základní návrhová pravidla především minimalizace hodnot proudů, minimalizace ploch proudových smyček a minimalizace kmitočtového spektra. Zvýšení odolnosti potom zajistíme především důslednou filtrací a

ochranou vstupně-výstupních obvodů (I/O), přičemž z hlediska EMC považujeme za I/O i napájení.

- **Minimalizace hodnot proudů** = volba vhodných typů součástek, co nejmenší počet synchronně řízených obvodů, impedanční přizpůsobení...
- **Minimalizace ploch proudových smyček** = vhodné rozmístění součástek na DPS, správné blokování jejich napájení, vhodná konfigurace napájení a I/O kabeláže, vhodné vedení spojů, zemnění, řazení vrstev u vícevrstvých DPS, ochranné a paralelní spoje.
- **Minimalizace kmitočtového spektra** = nepoužívat zbytečně rychlé součástky (náběžné a sestupné hrany), zbytečně rychlá datová komunikace, vhodné filtrování a blokování napájení.
- **Filtrace a ochrany I/O** = ochrana před ESD a přechodovými jevy, omezení vyzařování do I/O kabeláže.

## 2.2 Nejčastější chyby při návrhu DPS



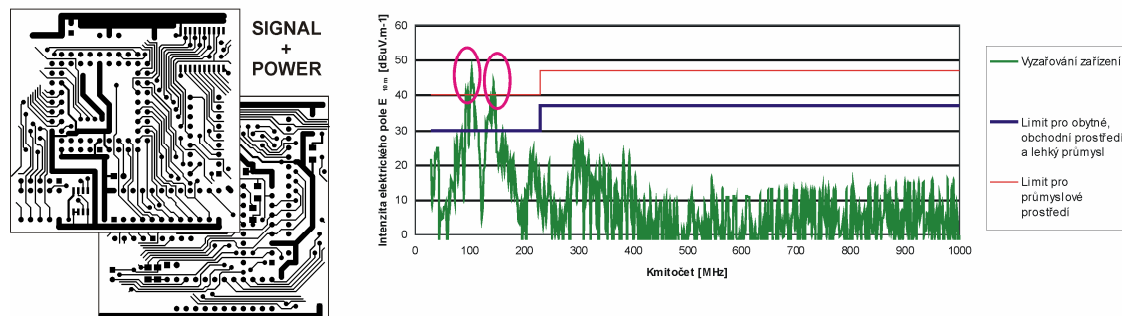
Obr. 1: Typické chyby při návrhu DPS a jejich řešení [1].

Na obr. 1a) až d) vidíme typické návrhářské chyby. Všechny čtyři konfigurace mají jednu chybu společnou, a tou je **příliš velká plocha proudové smyčky**. V případě oscilátoru a procesoru je nutné spoje X1 a X2 vést co nejbližěji u sebe, případně mezi nimi umístit společný vodič (GND). Napájení VCC a GND v případě obrázku 1b) je vhodné vést blízko sebe pod integrovaným obvodem, u spínaných zdrojů je nutné součástky C, L a T umístit tak blízko sebe, aby plocha proudové smyčky byla minimální. Příklad 1d) je typickou chybou nevhodně navržené konfigurace sběrnice, a to jak na plošném spoji, tak i v případě kabeláže. Vodič s nejrychlejšími změnami logických úrovní by měl bezprostředně sousedit se společným vodičem. Jelikož ovšem vyzařované kmitočtové spektrum závisí nejen na samotné frekvenci změn logických úrovní, ale i na náběžných a sestupných hranách, jsou problematické vlastně všechny vodiče. Nejlepší úpravou je proložení společných vodičů (GND) mezi každý signálový vodič, což sice téměř zdvojnásobí počet vodičů, ale taková konfigurace sníží úroveň vyzařování sběrnice až o 20 dB. Na vícevrstevném plošném spoji je možné tuto situaci vyřešit také tím, že pod všemi signálovými vodiči bude v bezprostřední sousední vrstvě rozlita měď, která bude připojená na obou koncích sběrnice ke společnému vodiči (GND).

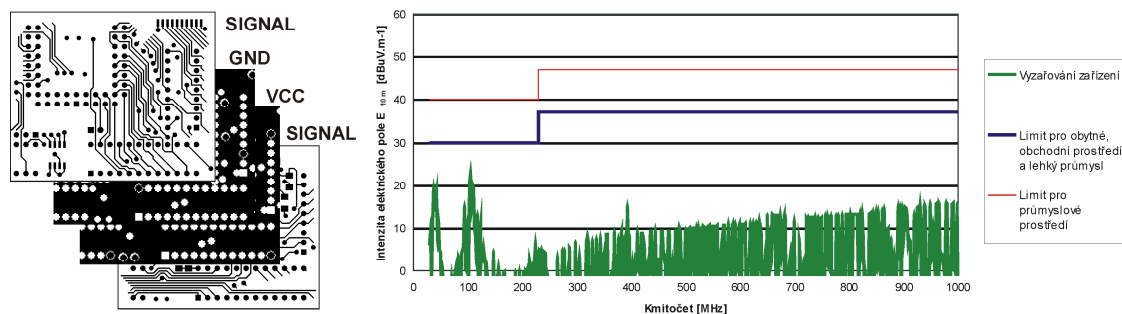
## 2.3 Porovnání metodik návrhu DPS

Jak již bylo řečeno, součástí vývoje elektronického zařízení je posouzení shody jeho vlastností s příslušnými technickými předpisy. Mimo jiné je nutné provést měření vyzařování rušivého elektromagnetického pole ve stíněné komoře. Porovnejme nyní tři způsoby návrhu DPS jinak funkčně a obvodově totožných elektronických zařízení právě z hlediska vyzařování.

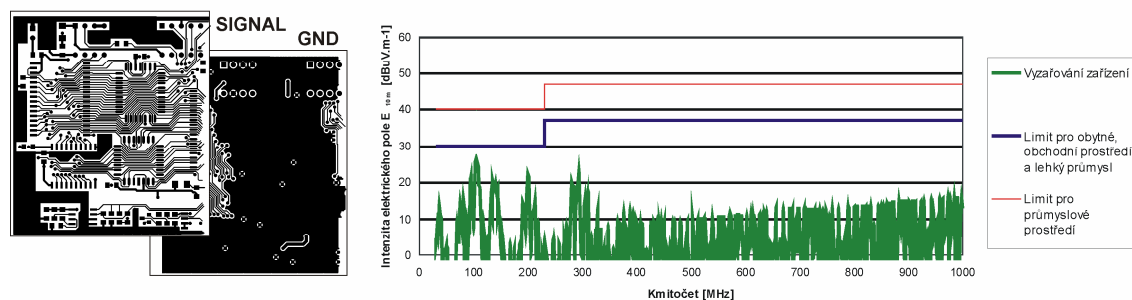
1. **Nekvalifikovaný návrh na 2 – stranné DPS** = nejsou dodržena základní pravidla pro návrh v souladu se základními pravidly pro EMC (*obr.2*). Desku navrhoval nekvalifikovaný pracovník nebo byl použit běžný autorouter.
2. **Nekvalifikovaný návrh + vnitřní plochy (4 – vrstvá DPS)** = do nekvalifikovaného layoutu z předchozí DPS byly přidány navíc vnitřní vrstvy pro napájení (GND a VCC) (*obr.3*).
3. **Kvalifikovaný návrh na 2 – stranné DPS** = použita základní pravidla pro návrh v souladu se základními pravidly pro EMCs (*obr.4*). Desku navrhoval kvalifikovaný pracovník.



Obr.2: Nekvalifikovaný návrh na 2 - stranné DPS.



Obr.3: Nekvalifikovaný návrh + vnitřní plochy (4 - vrstvá DPS).



Obr.4: Kvalifikovaný návrh na 2 - stranné DPS.

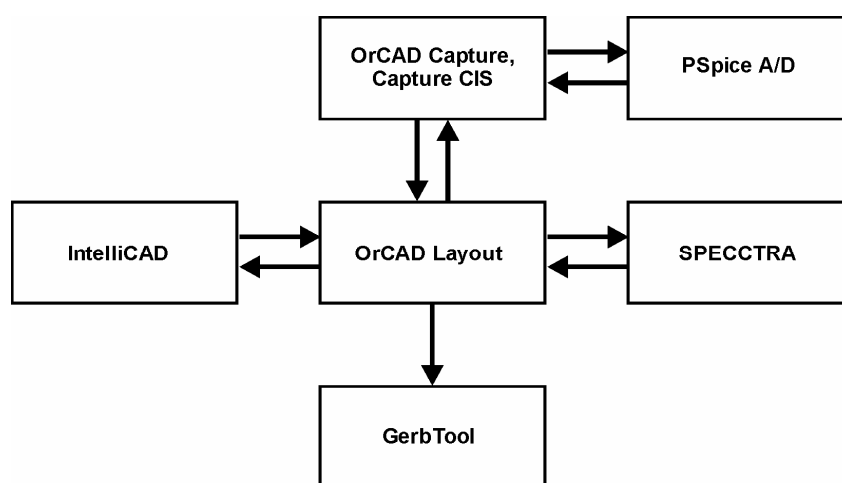
Z naměřených grafů vyplývá, že nekvalifikovaný dvoustranný návrh z *obr.2* je z hlediska maximálního přípustného vyzařování nevyhovující pro obytné i pro průmyslové prostředí. Takové zařízení není možné uvést na trh. Návrh jeho DPS je nutné opravit.

Jednou z možností je layout nekvalifikovaného návrhu ponechat a doplnit jej dalšími vrstvami pouze pro napájení (VCC a GND). Tyto vrstvy (plochy) sníží impedanci napájení a významně minimalizují plochy proudových smyček signálových spojů. Výsledkem bude snížení vyzařování až o 25dB (*obr.3*). Takto opravené zařízení je možné uvést na trh, ovšem za cenu zhruba dvojnásobných nákladů na výrobu DPS, což není vhodné pro sériovou výrobu.

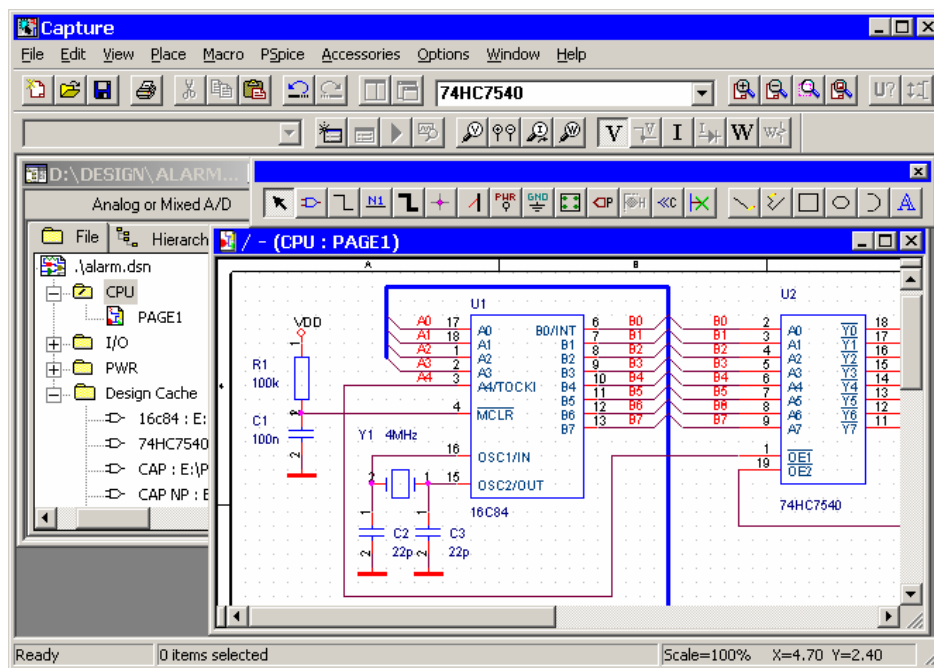
Druhou možností je od základu přepracovat layout dvoustranné desky tak, aby pokud možno z jedné strany byla rozlita měděná plocha GND a aby cesty signálových spojů byly navrženy s maximální pečlivostí v souladu s pravidly pro EMC. Výsledkem bude snížené vyzařování až o 20dB (obr.4). Zařízení je opět možné uvést na trh. Nevýhodou jsou ovšem vysoké časové a finanční nároky na vývoj (návrh DPS), což není vhodné pro malosériovou výrobu.

### 3. Počítačový návrh elektronických projektů produkty OrCAD

Využití výpočetní techniky při návrhu desek plošných spojů poskytuje návrháři velmi mocné nástroje. Nejde jen o vlastní grafické rozhraní pro nakreslení schématu a návrh plošného spoje. Návrhové systémy pro elektroniku obsahují mnoho vstupů a výstupů, které usnadňují nejen vlastní návrh, ale i jeho další zpracování jak do podoby formální projektové dokumentace, tak do elektronické formy technologických dat, potřebných pro výrobu. Programový balík *OrCAD* má filozofii návrhu schématu, desek plošných spojů a obvodových simulací založenou na samostatných produktech, přičemž programy mezi sebou komunikují v reálném čase (obr.5).



Obr.5: Princip elektronického návrhu systémem OrCAD.



Obr.6: Návrh schématu programem OrCAD -Capture.

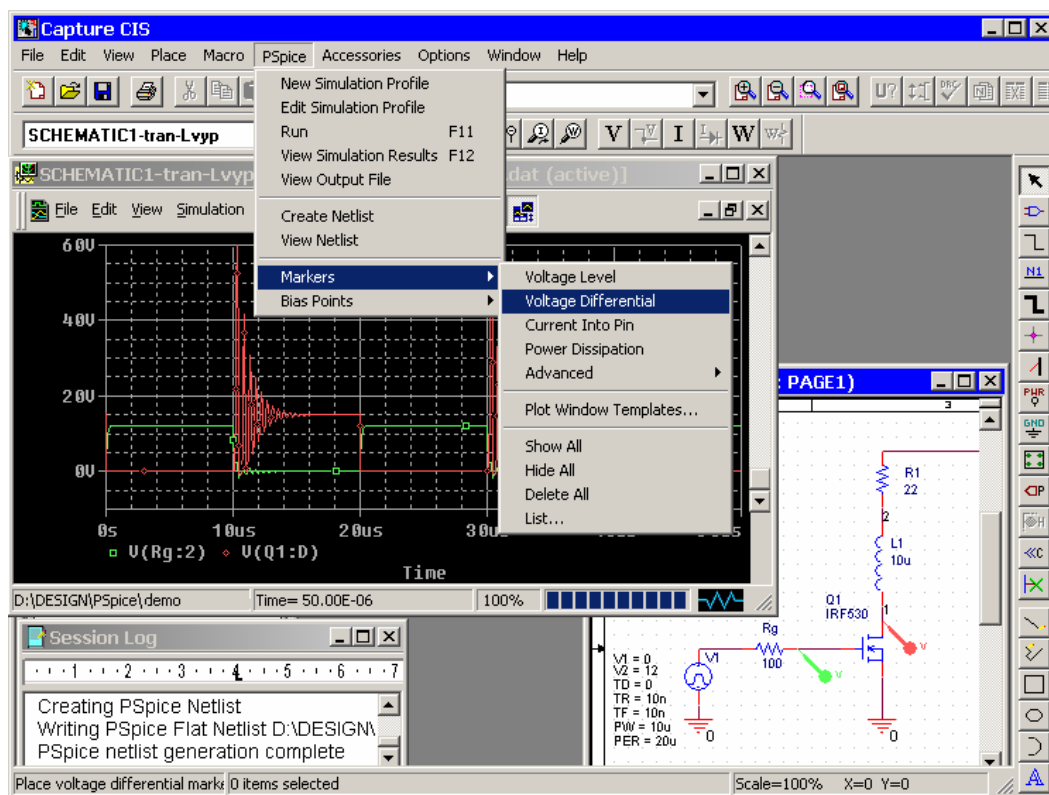
### 3.1 OrCAD Capture - návrh elektronických schémat

Pro návrh elektronického schématu jsou k dispozici produkty *Capture* a *Capture CIS*. Program *Capture* je vlastní grafický editor schématu, *Capture CIS* (Component Information System) je systém správy součástek zintegrováný do *Capture*. Schematický návrh pomocí programu *Capture* nebo *Capture CIS* můžeme rozčlenit do několika fází:

- **Fáze návrhu schématu** – nejdříve je třeba navrhnut a nakreslit vlastní zapojení elektronického obvodu. Program umožňuje též práci s knihovnami schematických značek resp. databází součástek,
- **Fáze simulací** – kdykoliv během schematického návrhu je možné provádět simulace dílčích obvodů programem *PSpice*, který se spouští z menu integrovaného v *Capture*.
- **Fáze přípravy pro návrh desky plošných spojů** – ve výkonném tabulkovém procesoru je možné nastavit některé parametry a vlastnosti součástek a spojů, které se přenesou do návrhu desky plošného spoje. Pro přechod mezi schématem a deskou plošného spoje se používá netlist. Pro zpětný přenos dat z DPS do schématu potom slouží soubor zpětné anotace.
- **Fáze výstupů** – tisk na tiskárně, generování materiálové rozpisky a celé řady souborů dat různých formátů, umožňující další zpracování schématu.

### 3.2 PSpice A/D – simulace elektronických obvodů

*PSpice A/D* je univerzální nástroj pro analýzu elektronických obvodů. Vypočítává napětí všech uzlů a proudy vývodů všech prvků analogové části simulovaného obvodu a logické stavy uzlů v číslicové části obvodu. Standardně program umožňuje provádět stejnosměrnou analýzu a analýzy obvodů v kmitočtové i časové oblasti. Přístup do simulátoru je možný přímo z programu *Capture*. Simulování díky tomu můžeme přirovnat k měřicímu pracovišti, na kterém ověřujeme vlastnosti obvodu, který nás zajímá.



Obr.7: Prostředí Capture + PSpice A/D

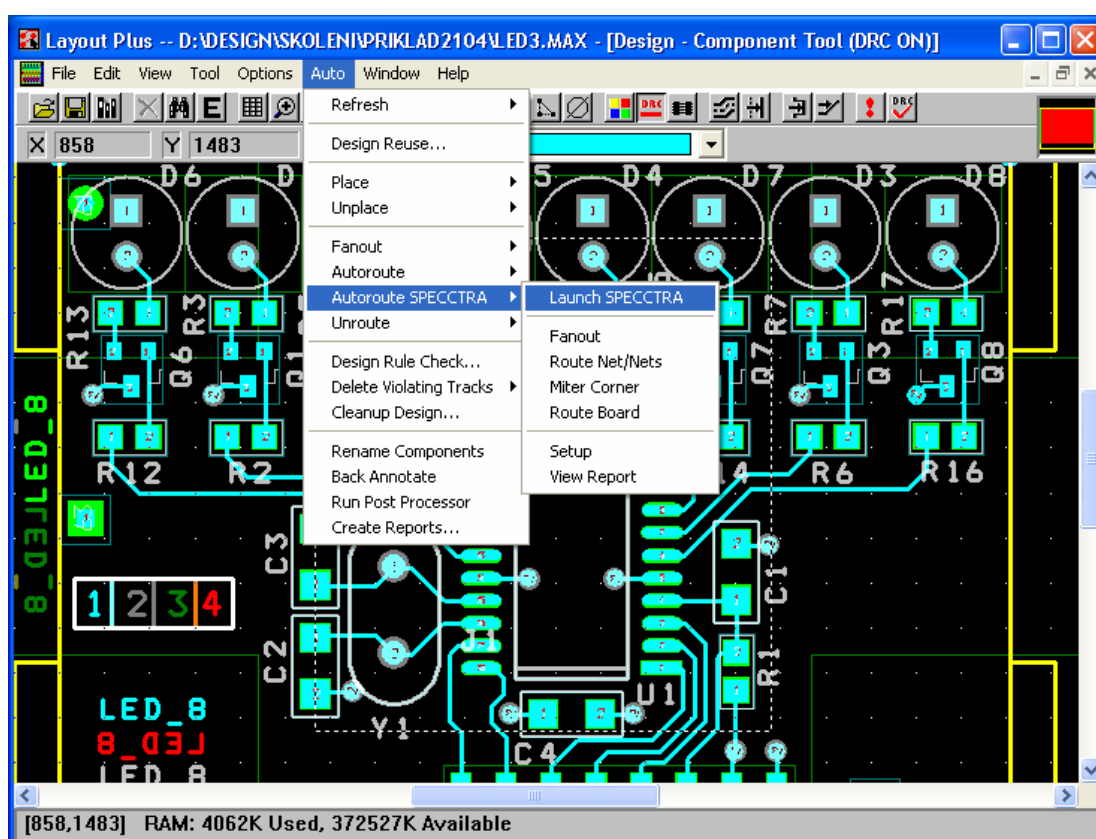
V programu *Capture* navrhne schéma, vytvoříme simulační profil, do vhodných uzlů umístíme měřicí sondy a spustíme vlastní výpočty. Ty se provádějí v programu *PSpice A/D*,

kteřý se z programu Capture otevře automaticky spuštěním výpočtů. Po ukončení výpočtů *PSpice A/D* zobrazí v grafickém okně požadované průběhy. Kdykoliv je možné vrátit se v *Capture* do schématu, přidat či ubrat některé sondy a *PSpice A/D* v reálném čase zobrazí odpovídající průběhy (obr.7). Takto vytvořená schémata se posléze dají přímo použít pro návrh desek plošných spojů.

Velkým přínosem je používání *PSpice A/D* při výuce. Počítačové simulace nám umožňují do hloubky si „osahat“ vlastnosti různých elektronických obvodů a součástek. Program může částečně nahradit nebo spíše efektivně doplnit laboratorní cvičení.

### 3.3 OrCAD Layout – návrh DPS

Pro návrh DPS je k dispozici produkt *OrCAD Layout*, který umožňuje vlastní návrh DPS, práci s knihovnami pouzder součástek a výstupy pro výrobu a osazování DPS. V rámci programového balíku *OrCAD Layout* je k dispozici přímý vstup do autorouteru *SPECCTRA* a dále programy *GerbTool* pro předvýrobní zpracování dat, mechanický 2D editor *IntelliCAD* a převaděče pro import a export návrhů DPS mezi jinými návrhovými systémy.



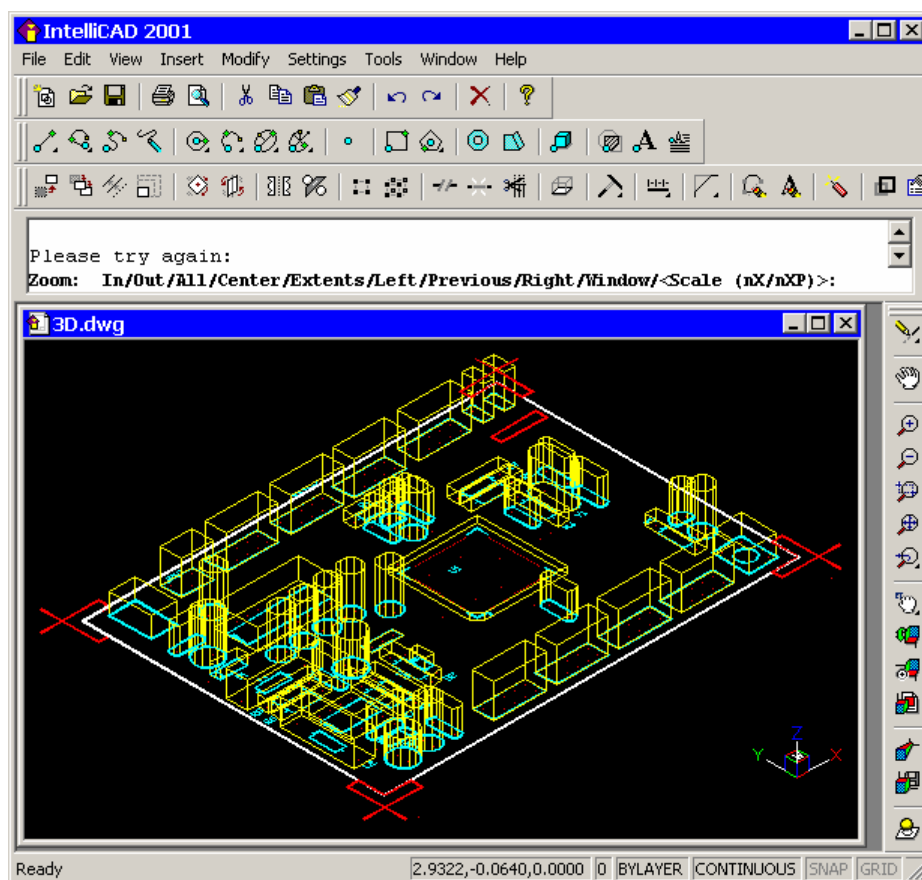
Obr.8: Prostředí Layoutu.

Autorouter *SPECCTRA for OrCAD* je špičkový nástroj pro automatický, autointeraktivní i manuální návrh desek plošných spojů. Jeho činnost je možné řídit pomocí dávkových souborů.

Součástí produktu *OrCAD Layout* je program pro předvýrobní zpracování dat – *GerbTool* společnosti WISE. Tento program slouží nejen jako prohlížeč gerberovských souborů. Jedná se o plnohodnotný nástroj CAM umožňující zobrazovat, editovat, rozšiřovat a ověřovat soubory Gerber a data pro souřadnicové vrtání. Vstupními soubory do programu *GerbTool* jsou gerberovská data pro jednotlivé vrstvy a dále data pro souřadnicové vrtání ve formátech, přímo generovaných *Layoutem*. Výstupními soubory jsou opět gerberovská data a soubory souřadnicového vrtání. Oproti vstupním datům mohou být výstupní soubory patřičně upravené. Zároveň je možné nastavit celou řadu jiných výstupních formátů dle požadavků výrobce DPS

*IntelliCAD* je kompletní 2D program pro kreslení mechanických, tedy strojírenských výkresů. Jeho vstupy a výstupy jsou soubory ve formátu *.DXF* a *.DWG*. Umožňuje

trojrozměrné (3D) zobrazení – drátový model nakreslených objektů (obr.9). S *Layoutem* si obousměrně předává data ve formátu DXF.



Obr.9: IntelliCAD – 3D zobrazení DPS

## Závěr

Z výše uvedeného vyplývá, že vývoj elektronických zařízení a jejich DPS je náročná odpovědná práce, kterou mohou vykonávat pouze pracovníci s komplexními znalostmi v oblastech technologie výroby DPS, jejich osazování, elektroniky, elektromagnetického pole. Pro efektivní práci jim k tomu mohou dopomoci výkonné softwarové produkty. Naším společným cílem je vychovávat osobnosti, které dovedou znalosti z výše uvedených témat skloubit a prakticky využít

## Poděkování

Tato práce vznikla s podporou výzkumného záměru MSM6840770017 MŠMT ČR.

## Literatura

- [1] Záhlava, V.: Metodika návrhu plošných spojů. Vydavatelství ČVUT, Praha 2002.
- [2] Záhlava, V.: OrCAD 10. Grada Publishing, Praha 2004.
- [3] Montrose, M.I.: Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance. IEEE Press, New York 1996.
- [4] Mardiguian, M.: Controlling Radiated Emissions by Design. Van Nostrand Reinhold, New York 1992.