

slovensky



Modernisation of VET through  
Collaboration with the Industry

**Santiago Silvestre**  
**Jordi Salazar**  
**Jordi Marzo**

**Výroba a návrh dosiek plošných  
spojov**



**Erasmus+**

Tento projekt bol financovaný s podporou Európskej Komisie.  
Táto publikácia (dokument) reprezentuje výlučne názor autora a Komisia  
nezodpovedá za akékoľvek použitie informácií obsiahnutých v tejto publikácii  
(dokumente).

**Názov:** Výroba a návrh dosiek plošných spojov  
**Autor:** Santiago Silvestre,  
Jordi Salazar,  
Jordi Marzo  
**Preložil:** Peter Trúchly  
**Vydalo:** České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
**Kontaktná adresa:** Technická 2, Praha 6, Česká republika  
**Tel.:** +420 224352084  
**Tlač:** (iba elektronická)  
**Počet strán:** 47  
**Edícia (vydanie):** 1. vydanie, 2019

**MoVET**

Modernisation of VET through  
Collaboration with the Industry

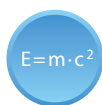
<https://movet.fel.cvut.cz>



Tento projekt bol financovaný s podporou Európskej Komisie.

Táto publikácia (dokument) reprezentuje výlučne názor autora a Komisia nezodpovedá za akékoľvek použitie informácií obsiahnutých v tejto publikácii (dokumente).

## VYSVETLIVKY



Definícia



Zaujímavosť



Poznámka



Príklad



Zhrnutie



Výhody



Nevýhody

---

## ANOTÁCIA

Tento modul opisuje vlastnosti dosiek plošných spojov. Najskôr je predstavená história dosiek plošných spojov. Následne sú rozobrané procesy návrhu a výroby dosiek plošných spojov. Nakoniec je prezentovaná prípadová štúdia procesu návrhu dosky plošných spojov.

## CIELE

Po preštudovaní tohto modulu budú študenti poznať význam dosiek plošných spojov a dôležitú úlohu, ktorú hrajú v elektronike. Študenti objavia aplikácie niekoľkých kategórií dosiek plošných spojov s ich príslušnými výrobnými špecifikáciami, typmi materiálov a použitím.

## LITERATÚRA

- [1] R. S. Khandpur. Printed Circuit Boards: Design, Fabrication, Assembly and Testing. Tata McGraw-Hill Education, 2005. 696. ISBN 0-07-058814-7.
- [2] William Ho and Ping Ji. Optimal production planning for PCB assembly. Springer series in advanced manufacturing, 2006. 121. ISBN 1-84628-499-6
- [3] Barco Graphics N.V. Gerber RS-274X Format - User's Guide. 55 p., 2001, [http://d1.amobbs.com/bbs\\_upload782111/files\\_11/ourdev\\_450330.pdf](http://d1.amobbs.com/bbs_upload782111/files_11/ourdev_450330.pdf)
- [4] Sinclair, Ian Robertson; Dunton, John. Practical electronics handbook. Elsevier, 2007. 543. ISBN 978-0-7506-8071-4.
- [5] Kraig Mitzner. Complete PCB Design Using OrCAD Capture and PCB Editor. Elsevier, 2009. 471. ISBN 978-0-7506-8971-7.
- [6] Lianyu Fu, Jian Wang, Qiang Guo, (2013) "Characterization of PCB routing process and optimization of tool design based on the investigation of routing temperature", Circuit World, Vol. 39 Issue: 4, pp.212-216, <https://doi.org/10.1108/CW-08-2013-0026>.
- [7] Ravi Kansagara. How to Choose The Best PCB Design Software. <https://circuitdigest.com/tutorial/best-pcb-design-software>
- [8] Liyan Gong. Top 9 Best PCB Design Software of 2018. 2017 <http://www.seeedstudio.com/blog/2017/03/13/pcb-design-software/>
- [9] Mahmoud Wahby. PCB design basics. EDN Network. 2013. <https://www.edn.com/Home/PrintView?contentItemId=4424239>



- [10] PCB design guidelines for reduced EMI. Texas Instruments. 1999.  
<http://www.ti.com/lit/an/szza009/szza009.pdf>
  
- [11] Sam Sattel. The top 10 PCB component placement tips for the PCB beginner. AUTODESK. <https://www.autodesk.com/products/eagle/blog/top-10-pcb-component-placement-tips-pcb-beginner/>
  
- [12] Edwin Robledo & Mark Toth. Ten best practices of PCB design. EDN Network. March 07, 2014. <https://www.edn.com/electronics-blogs/all-aboard-/4429390/1/Ten-best-practices-of-PCB-design>
  
- [13] Nikola Zlatanov. PCB Design Process and Fabrication Challenges. PCB West Conference, 2012.
  
- [14] PCB manufacturing process. <http://www.circuitstoday.com/pcb-manufacturing-process>
  
- [15] PCB Manufacturing Process — A Step-by-Step Guide.  
<https://www.pcbcart.com/article/content/PCB-manufacturing-process.html>

# Obsah

<b>1</b>	Úvod.....	7
<b>2</b>	História dosiek plošných spojov.....	10
<b>3</b>	Klasifikácia DPS.....	12
<b>4</b>	Proces realizácie DPS.....	14
<b>5</b>	Návrh.....	18
5.1	CAD softvér pre návrh DPS.....	19
5.2	Vytváranie súčiastok v knižniciach.....	21
5.3	Návrh schémy.....	22
5.4	Nákres usporiadania DPS.....	23
5.5	Umiestňovanie súčiastok a plánovanie spojov.....	24
5.6	Kontrola dosky pomocou návrhových pravidiel.....	27
5.7	Dokumentácia DPS.....	28
<b>6</b>	Výroba.....	29
6.1	Vytvorenie filmu.....	30
6.2	Leptanie.....	31
6.3	Bezprúdové nanášanie medi (pokovovanie).....	32
6.4	Nespájkovacia maska.....	33
6.5	Servisná potlač.....	34
6.6	Povrchová úprava.....	35
6.7	Vŕtanie.....	36
6.8	Elektrický test.....	37
6.9	Montáž.....	38
<b>7</b>	Prípadová štúdia.....	39

# 1 Úvod

*Dosky plošných spojov (DPS, angl. Printed Circuit Board - PCB) sa používajú v takmer všetkých elektronických aplikáciách. Od mobilných telefónov po lietadlá cez medicínske zariadenia alebo priemyselné stroje - všetky tieto elektronické produkty používané denne sú založené na doskách plošných spojov.*



*Doska plošných spojov (DPS) je nevodivá tabuľová doska (nosič), ktorá sa použije na osadenie a poprepájanie elektronických súčiastok pomocou ciest a spojov vytvorených z vodivého materiálu (napr. medi) upevneného na povrchu dosky.*

DPS sa najčastejšie vyrábajú zo sklolaminátu, kompozitnej epoxidovej živice alebo iného kompozitného materiálu (laminátu). Rôzne elektronické výrobky majú rôzne požiadavky na základný materiál dosiek plošných spojov.

Väčšina dosiek plošných spojov pre nenáročnú elektroniku je jednoduchá a zložená iba z jednej vrstvy. Avšak komplexnejšie elektronické obvody, ako sú napr. grafické karty alebo základné dosky počítačov, majú niekoľko vrstiev. Niekedy až 16 a viac a označujú sa ako viacvrstvové DPS.

Bežné substráty DPS sú vyrobené ako kompozit z:

- určitého druhu výstuže (spevňovacieho materiálu), ktorá poskytuje podporu „kostry“ laminátu,
- živicového spojiva,
- vodivej povrchovej vrstvy.

**Výstuž** (spevňovací materiál) dáva DPS mechanickú a tvarovú odolnosť (stabilitu). Teflónové (**PTFE**, *polytetrafluóretylén*) vlákna alebo sklenené tkaniny sa používajú ako spevňovacie materiály. Kompozitný materiál FR-4 je dobrým príkladom takéhoto základného materiálu pre DPS.



Kompozitný materiál FR-4 sa skladá zo sklenenej tkaniny ako výstuže a epoxidovej živice ako spojiva, čo mu dáva odolnosť voči ohňu (t.j. je nehorľavý) a používa sa ako bežný základný materiál na výrobu dosiek plošných spojov.

Živicové **spojivo** poskytuje „lep“ pre spojenie laminátu dohromady. Ako príklady spojiva (spojivových materiálov) možno uviesť rôzne termoplasty a reaktoplasty ako napr. fenolická živica, epoxidová živica, silikónová živica, polyesterová živica, teflón.

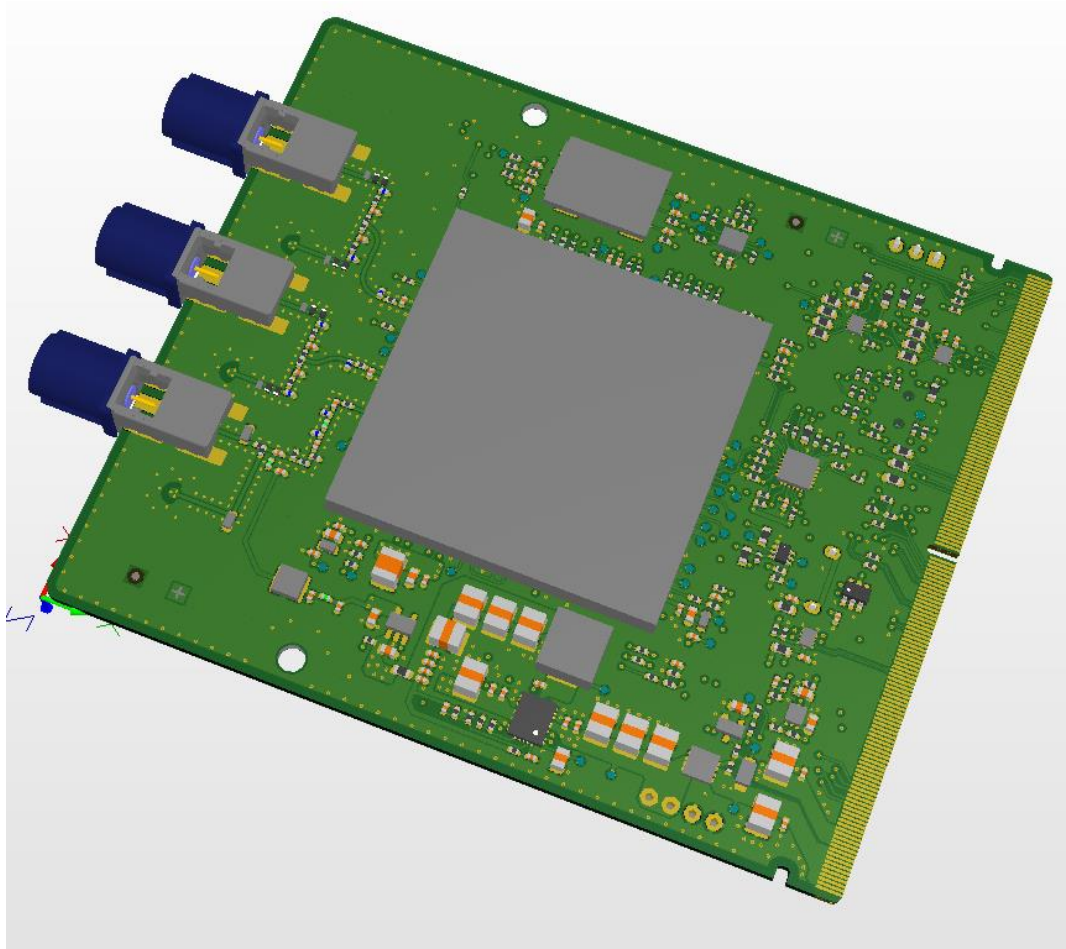
**Vodivá povrchová vrstva** poskytuje základ na vytvorenie obrazu (matrice) obvodu.

Keď je doska plošných spojov vyrobená, potrebné otvory vyvrtané a finálne skontrolované, tak sú na ňu aplikované dva typy látok. Najskôr sa použije určitý druh čistiaceho prostriedku alebo rozpúšťadla na vyčistenie dosky. Potom sa

aplikuje ochranný film na ochranu obvodu. Tento finálny ochranný film zabraňuje medi oxidovať a dáva tak dlhšiu životnosť obvodu (doske).

Hlavné výhody použitia dosiek plošných spojov v elektronických obvodoch sú nasledovné [1-2]:

- Je zmenšená veľkosť celej zostavy obvodu spolu aj s jeho váhou.
- Sériová (veľkokapacitná) výroba umožňuje znížiť jednotkovú cenu, zostavovanie a prepájanie môže byť automatizované.
- Poskytujú vysokú úroveň opakovateľnosti a ponúkajú jednotnosť elektrických vlastností každej zostavy.
- Umiestnenie jednotlivých častí je nemenné, čo zjednodušuje identifikáciu a údržbu elektronického príslušenstva a systémov. Navyše sa znižuje čas potrebný na kontrolu elektroniky, pretože technológia plošných spojov výrazne znižuje pravdepodobnosť chýb.
- Personál pracujúci s technológiou plošných spojov vyžaduje minimálne zručnosti a školenie. Okrem toho sa minimalizuje pravdepodobnosť vytvárania skratov.
- Vlastnosti obvodu môžu byť udržiavané bez toho, aby sa prejavovali zmeny kapacity medzi obvodmi a rôzne parazitné vplyvy.



Obr. 1 Příklad DPS.

## 2 História dosiek plošných spojov

Skôr ako sa dosky plošných spojov stali bežnou súčasťou elektronických zariadení, sa realizovala stavba obvodov na princípe bod - bod. To predstavovalo značne rozmerné a nespoľahlivé návrhy, ktoré vyžadovali veľké zásuvky a pravidelnú výmenu. Prvé DPS sa objavili v dvadsiatych rokoch minulého storočia. Tieto dosky boli v podstate vyrobené z umelej hmoty (bakelitu) a tenkých kúskov dreva. Proces pozostával z vyvrtania dier do materiálu, do ktorého sa prinitovali ploché mosadzné vodiče. Tieto DPS sa používali najmä pri výrobe prvých elektrónkových rádií a gramofónov v tom čase.

Dr. Paul Eisler v Rakúsku začal vyrábať prvú skutočne funkčnú dosku plošných spojov v roku 1943 a prvá obojstranná (dvojvrstvová) DPS s pokovovanými prechodmi medzi vrstvami bola vyrobená v roku 1947. V päťdesiatych a začiatkom šesťdesiatych rokov už existovali lamináty využívajúce rôzne typy živíc zmiešané s rôznymi druhmi materiálov (pre výstuž), ale dosky plošných spojov existovali iba jednostranné. Plošné spoje sa nachádzali na jednej strane DPS a elektrické súčiastky na druhej strane.

Prvé viacvrstvé DPS boli komerčne vyrobené tiež v 60tych rokoch. V ďalšom desaťročí sa začala používať metóda spájkovania využívajúca horúci vzduch. Okrem toho sa začali pre sieťotlač využívať tekuté fotocitlivé masky (**LPI**, *liquid photo imageable*), ktoré sa stali globálnym priemyselným štandardom. Tento nový proces výroby umožnil významné zníženie veľkosti DPS. Firma Gerber Scientific predstavila strojový formát RS-274-D pre vektorové fotoplotre. Tento štandard definuje otvorený vektorový ASCII formát, ktorý používal priemyselný softvér na opis obrazov dosiek plošných spojov: vrstvy s vodivými spojmi, nespájkovacie masky, vrstvy so servisnou potlačou a legendou.

Toto znižovanie veľkosti pokračovalo aj v posledných dvadsiatich rokoch minulého storočia, kedy bola predstavená technológia povrchovej montáže súčiastok spolu s nárastom kvality výrobkov. V roku 1986 bol vydaný RS-274X ako rozšírená verzia dátového formátu RS-274-D [3]. Táto nová verzia podporuje vnorenú informáciu o apertúrach (dierach), vďaka čomu už nie sú potrebné externé súbory s definíciami dier.

Hybridné a ohybné DPS sa stali dostupnejšie, pretože sa používali viacvrstvé dosky plošných spojov, čím sa efektívne splnili potreby rýchlo sa rozvíjajúcej technológie. Navyše, na konci deväťdesiatych rokov (minulého storočia) boli vyvinuté **HDI** (*High Density Interconnect*) DPS pomocou technológie mikrodier (prekovov).



---

Prekov alebo diera (*via*; v latinčine známe ako cesta alebo vertikálny prepojovací prístup) je elektrické (vodivé) spojenie medzi vrstvami vo fyzickom elektronickom obvode, ktoré prechádza rovinami jednej alebo viacerých susedných vrstiev.

---

Technológia HDI umožňuje použiť kratšie spoje na doske a tým znížiť čas, ktorý potrebuje elektrický signál na cestu medzi súčiastkami. Navyše, menšie diery (prechody, prekovy) medzi vrstvami znižujú čas nábehu signálu. Na druhej strane

celková indukčnosť je tiež znížená použitím vysokej hustoty spojov (HDI), čím sa znižuje účinok na susediace vedenia a vývody.

Vďaka zníženiu celkovej kapacity pri HDI technológii bolo možné znížiť aj požadované napätie. Zníženie pracovného napätia má za následok nielen potrebu menších batérií ale aj zníženie množstva generovaného tepla (t.j. odvádzanie tepla je menej problematické). Odstránenie veľkých chladičov a ventilátorov v mnohých HDI aplikáciách prispelo k vývoju mobilnej a nositeľnej elektroniky.



---

Technológia **HDI** (*High Density Interconnect*) reprezentuje technológiu dosiek plošných spojov s vyššou hustotou spojov v jednotkovej oblasti oproti bežným DPS. HDI DPS majú užšie spoje a medzery ( $\leq 100 \mu\text{m}$ ), menšie vodivé prechody medzi vrstvami (prekovy, diery) ( $\leq 150 \mu\text{m}$ ) a spájkovacie plôšky ( $\leq 400 \mu\text{m}$ ) a veľmi vysokú hustotu prepájacích plôšok.

---



---

V súčasnej dobe sa priemysel v oblasti DPS vyvíja ďalej. Očakáva sa vývoj dosiek plošných spojov sledujúci trend minimalizácie ovládaný požiadavkami používateľov.

---

### 3 Klasifikácia DPS

Existuje niekoľko typov dosiek plošných spojov, pričom každá má svoje vlastné výrobné špecifikácie (technické údaje), typy materiálov a nasadenie.

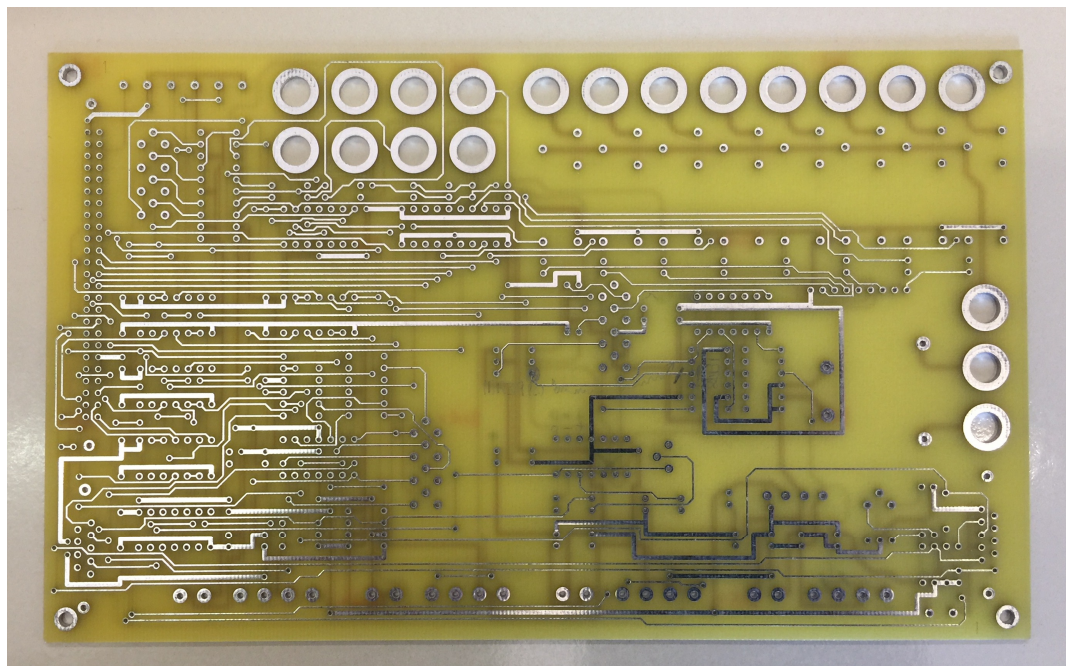
Tab. 1 ukazuje rozdelenie najbežnejších DPS používaných v elektronike spolu s uvedenou charakteristikou a aplikáciami.

Tab. 1 - Klasifikácia DPS

DPS	Hlavná charakteristika	Aplikácie
Jednovrstvové	Vyrobené z jednej vrstvy základného materiálu a substrátu. Jedna strana základného materiálu je potiahnutá tenkou vrstvou kovu. Vo všeobecnosti vodivé spoje a súčiastky sú prispájkované na jednej strane, ale súčiastky môžu byť prispájkované aj na oboch stranách dosky. Sú lacné.	Kalkulačky, fotoaparáty, rozhlasové prijímače a stereo zariadenia, SSD ( <i>solid state drives</i> ) zariadenia, zdroje, tlačiarne a iné spotrebné elektronické zariadenia.
Dvojvrstvové	Tenká vodivá (kovová) vrstva je vytvorená na oboch stranách dosky. Diery vyvrtané cez dosku umožňujú prepojiť spoje (obvody) na jednej strane s obvody na druhej strane. Sú menšie a s menšou váhou ako jednovrstvové DPS.	Priemyselné (riadiace) panely, zdroje, prístroje, LED osvetlenie, predajné automaty, prístrojové dosky automobilov alebo zosilňovače.
Viacvrstvové	Sú tvorené sériou troch alebo viacerých dvojvrstvových DPS. Náročný návrh.	Elektronika na báze VLSI, súborové servery, dátové úložiská, GPS technológia a satelitné systémy, analýza počasia a zdravotnícke zariadenia.
Ohybné	Sú vyrobené z materiálov, ktoré sa dajú ohýbať, ako napr. plast (polyimid/Kapton, polyester alebo polyamid). Majú vyššie výrobné náklady, flexibilitu, ale sú ľahšie.	Elektronické zariadenia, ktoré sú vystavené vplyvom životného prostredia.
Pevné (neohybné)	Sú vyrobené z pevného podkladového materiálu, ktorý chráni dosku pred skrútením (ohnutím). Nižšie náklady ako pri ohybných DPS.	Základné dosky počítačov, zvukové karty, SSD zariadenia (disky), televízory s plochou obrazovkou, monitory.
Hybridné ( <i>rigid-flex</i> )	Tieto dosky obsahujú niekoľko ohybných vodivých medených vrstiev na dielektrickom filme pripojených k niekoľkým vrstvám na pevnej DPS.	Letecké, zdravotnícke a vojenské elektronické zariadenia. Priemysel prenosných zariadení.



	Integráciou do jedného obvodu poskytujú tieto dosky to najlepšie z oboch typov dosiek (pevných a ohybných). Hybridné dosky poskytujú väčšiu hustotu súčiastok a lepšiu kontrolu kvality.	
Vysokofrekvenčné	Sú to DPS, ktoré spĺňajú špeciálne signálové požiadavky. Sú určené pre elektronické obvody, ktoré pracujú vo frekvenčnom rozsahu 500 MHz - 2 GHz. Vyžadujú použitie špecializovaných materiálov.	Vysokofrekvenčné aplikácie. Rádiofrekvenčné, mikrovlnné a mobilné aplikácie.
Hliníkové	Hliníkové DPS obsahujú hliníkovú dosku (ako podklad), dielektrickú vrstvu s vysokou tepelnou vodivosťou a štandardnú vrstvu spojov obvodu (napr. z medi). Majú výborné vlastnosti z pohľadu riadenia teploty a mechanickej stability a majú nízku úroveň tepelnej rozťažnosti.	Výkonové aplikácie a aplikácie vyžadujúce presné tolerancie. Riadiace jednotky motorov a automobilové aplikácie.



Obr. 2 Dvojvrstvové DPS.

## 4 Proces realizácie DPS

Dosky plošných spojov sú základným kameňom konštrukcie akéhokoľvek elektronického obvodu. DPS sa používa na umiestnenie a primontovanie elektronických súčiastok zariadenia a poskytuje prostriedky na elektrické prepojenie týchto súčiastok.



Potrebné spojenia medzi drôtovými vývodmi na doske plošných spojov sa nazývajú **spoje** alebo sieť spojov.

Na návrh DPS sa používajú softvérové nástroje a poskytujú nakreslenie schémy, editor puzdier súčiastok, návrh usporiadania DPS a automatický plánovač spojov. Navyše väčšina z týchto programov poskytuje nástroje pre analógovo/digitálne simulácie a analýzy signálovej integrity. Niektoré komerčné softvérové nástroje sú dostupné na trhu od spoločností, ktoré sú expertmi vo vývoji softvérových balíkov v tejto oblasti ako napríklad Cadence, Altium, Mentor Graphics, Zuken or Cadsoft. Na druhej strane je možné nájsť veľa voľných nástrojov a použiť ich na ľahký vývoj jednoduchých obvodov ako napríklad Kicad alebo Eagle.

Návrh DPS zahŕňa niekoľko krokov, ktoré musia byť úspešne vykonané, aby sa dosiahol optimalizovaný obvod. Tieto kroky sú rozobrané v Tab. 2.

Tab. 2 - Návrh DPS. Hlavné kroky.

Kroky	Hlavná charakteristika
Naplnenie schematickej knižnice	Vytvorené schematické symboly súčiastok sú uložené v schematických knižniciach. Prečítanie technickej špecifikácie na identifikovanie vývodov (pinov) súčiastky. Nakreslenie symbolu súčiastky. Nakreslenie puzdra. Pridanie parametrov súčiastky.
Nakreslenie schémy	Umiestnenie symbolov súčiastok. Nakreslenie siete prepojení a zberníc medzi nimi. Umiestnenie, presunutie a editovanie elektronických súčiastok.
Vytvorenie dosky	Prevod schémy na nákres DPS. Veľkosť dosky a šírka spojov. Umiestnenie elektronických súčiastok a popisu. Definícia uzemňovacích plôch. Nakreslenie spojov: horizontálnych, vertikálnych a lomených pod špecifickým uhlom.
Umiestnenie súčiastok a spojov pre signály	Súčiastky by mali byť umiestnené podľa toho, s akými ďalšími súčiastkami sú prepojené na doske. Tepelné hľadiská, mechanické požiadavky a tiež integrita signálov a možnosti umiestňovania spojov musia byť vzaté do úvahy. Puzdra súčiastok sú nakonfigurované na doske. Všetky elektronické súčiastky, ktoré sú vzájomne prepojené, by sa mali umiestniť vo vzájomnom susedstve, ak je to možné. Každá umiestnená súčiastka obsahuje vývody, ktoré sú terminálmi a musia byť pripojené, aby bolo možné dokončiť návrh. Funkcie automatického plánovača spojov, ktoré sú poskytované mnohými programami na návrh DPS, sa môžu použiť v tomto

	kroku. Tieto funkcie sú užitočné, ale je ťažké dostať dobrý návrh len s použitím týchto automatických funkcií.
Editovanie dosky a kontrola	Kontrola navrhutej dosky a identifikácia akýchkoľvek chýb. Väčšina softvérových návrhových nástrojoch obsahuje niekoľko funkcií na kontrolu dosky.
Vytvorenie výrobných dát pre dosku	Aby bolo možné dokončiť výrobu elektronického obvodu, je potrebné vytvoriť súbory pre výrobcov DPS.

Pri procese realizácie DPS musia byť vzaté do úvahy niektoré hľadiská. Nasledovné body sumarizujú niektoré z týchto podstatných problémov:

- Uzemňovacie plochy: Pre spätný prúd je potrebné naplánovať rozmerné uzemňovacie plochy, aby sa znížila impedancia pre vysokofrekvenčné prúdy a aby sa vyhlo parazitným odporom a indukčnostiam (najmä pri vysokých frekvenciách). Uzemňovacie plochy poskytujú prepojenie so zemou s nízkou impedanciou. Plocha prúdových slučiek sa musí minimalizovať oddelením uzemňovacej plochy a napájacej plochy. Ak je potrebné rozdeliť napájaciu plochu a viesť spoje medzi oddelenými napájacími plochami, najskôr by sa mali prepojiť tieto napájacie plochy. Mali by sa použiť súvislé uzemňovacie plochy vedľa napájacích plôch. V doskách obsahujúcich analógové a digitálne obvody a signály sa odporúča vždy použiť oddelené napájacie plochy (napájania) pre digitálne a analógové obvody.
- Návrh napájacích plôch/spojov a ich oddelenie: Napájacie plochy sa navrhujú podľa rovnakých pravidiel ako uzemňovacie plochy. Pri doskách s rozličnými obvody sa oddeľuje napájanie pre analógové a digitálne obvody dokonca, aj keď napätia sú rovnaké. Navyše, napájacía plocha pre digitálny obvod by sa nemala nachádzať nad napájacou plochou analógového obvodu.
- Vývody pre napájanie by mali byť pripojené k uzemňovacej ploche pomocou keramických kondenzátorov umiestnených čo najbližšie k napájacím vývodom integrovaného obvodu.
- Vysokofrekvenčné signály a riadenie impedancie: Vysokofrekvenčné obvody a signály tečúce od zdroja obvodom emitujú elektromagnetické žiarenie. Vo všeobecnosti sú frekvencie väčšie ako 1 GHz požadované ako vysoké frekvencie.

Tieto signály sa môžu navzájom rušiť alebo zasahovať do blízkych súčiastok. Aby sa vyhlo problémom, mali by sa skrátiť spoje paralelných signálov na doske na minimum, aby nevznikali žiadne väzby ani presluchy medzi signálmi. Okrem toho je dobré udržiavať čo najväčšiu vzdialenosť medzi signálovými spojmi a dokonca zvažovať umiestnenie signálových spojov na oddelenej vrstve, ak sú obzvlášť rušivé.

S obvody na generovanie hodinového signálu a prácu s vysokofrekvenčnými signálmi by sa malo pracovať ako s analógovými obvody a tiež musia byť uzemnené a výrazne oddelené od analógovej uzemňovacej plochy. Je tiež dôležité izolovať tieto časti (súčiastky) od rušivých digitálnych obvodov.

Rovnako treba brať do úvahy aj to, že uzemňovacie plochy budú minimalizovať rádiové vyžarovania.



---

**Impedancia** charakterizuje vlastnosti súčiastky (obvodu) z hľadiska prechodu striedavého prúdu, čo znamená, že závisí od frekvencie. Impedancia je kombinácia kapacity a indukčnosti obvodu pracujúceho pri vysokej frekvencii. Hoci sa meria tiež v ohmoch, je trochu odlišná od odporu, ktorý súvisí s jednosmerným prúdom.

---

Spoje na DPS sa pri vysokých frekvenciách nesprávajú ako jednoduché prepojenia. Riadená impedancia nám pomáha zabezpečiť, že signály nie sú degradované, keď pretekajú spojmi na doske. Riadená impedancia je vlastne prispôsobenie vlastností materiálu (substrátu) rozmerom a umiestneniu spojov, aby sa impedancia spoja signálu nachádzala v rozsahu daného percenta špecifikovanej hodnoty. Dosky s riadenou impedanciou poskytujú opakovateľnú výkonnosť pri vysokých frekvenciách. Riadenie impedancie vyžaduje plánovanie usporiadania dosky a výpočet elektromagnetických vplyvov v okolí spojov.

- **EMC** (*ElectroMagnetic Compatibility*) odporúčania: Niektoré predbežné opatrenia ako minimalizácia presluchov, správne uzemňovanie a najmä správne ukladanie a rozloženie vrstiev výrazne zníži problémy s elektromagnetickou interferenciou (**EMI**, *Electro Magnetic Interference*). Ideálne vrstvenie by bolo založené na vložení uzemňovacej plochy pod každú plochu.



---

V elektronike je **presluch** jav, pri ktorom signál prenášaný jedným okruhom alebo kanálom prenosového systému vytvára neželaný účinok v inom okruhu alebo kanáli.

---

- Metódy plánovania vedenia spojov na doske: Keď sa navrhujú spoje pre signály na rôznych vrstvách, je nutné zabezpečiť, aby viedli tieto spoje signály ortogonálne (kolmo na seba). To znamená, že na jednej signálovej vrstve sú spoje vedené horizontálne a na druhej vertikálne (alebo aspoň pod uhlom 45°).

Sú dva základné spôsoby plánovania vedenia spojov na doske. Jeden spôsob (*X-Y routing*) využíva viac vrstiev (aspoň dve), pričom spoje na nich sú vedené tak, že na jednej vrstve sú spoje vedené rovnakým smerom. Susedné vrstvy (prepojené vodivými dierami) majú tento smer odlišný. Druhý spôsob (*maze routing*) dovoľuje vytvoriť celú sieť spojov obvodu na jednej vrstve, čím nie sú potrebné diery na prepájanie vrstiev.



---

**Manhattanská dĺžka** reprezentuje najkratšie prepojenie dvoch bodov na doske, pričom môže byť vytvorené iba spojmi, ktoré sú vedené iba v osi X alebo v osi Y.

---

V súčasnej dobe majú návrhári DPS k dispozícii slušné množstvo pokročilých nástrojov na efektívne plánovanie a vedenie spojov na doske. Tieto nástroje zvyknú obsahovať podporu automatického plánovania spojov (*autorouter*). Táto podpora by sa nemala považovať za jedinou možnosť, ako riešiť túto časť návrhu.

Je dôležité plánovať spoje a okruhy pre kritické súčiastky, ako sú konektory a FPGA súčiastky, pomocou manuálnych alebo automatických plánovacích metód, pretože tieto súčiastky vyžadujú plánovanie spojov pod/medzi niekoľkými (pripájacími) vývodmi.

Pri špecifických aplikáciách je dôležité vykonať [6]:

- on-line meranie a popis teploty počas procesu plánovania a vedenia spojov na DPS
- a tiež optimalizáciu tohto procesu na základe skúmania teplotných úrovní.

## 5 Návrh

Táto kapitola poskytuje základnú príručku k návrhu DPS. Pri návrhu dosiek plošných spojov sú potrebné rôzne kroky, ktoré sú sumarizované v tejto kapitole. Patrí medzi ne výber **CAD** (*Computer Aided Design*) softvéru pre návrh DPS, pridávanie súčiastok do schémy, návrhové pravidlá, kontrola a nakoniec generovanie všetkých potrebných DPS dokumentácií, štandardov a odporúčaní.



---

Návrh DPS reprezentuje v podstate dvojfázový proces. Najskôr sa navrhne schéma elektronického obvodu a potom sa navrhne usporiadanie dosky plošných spojov na základe danej schémy.

---

## 5.1 CAD softvér pre návrh DPS

Existuje veľa rôznych spôsobov, ako vytvoriť návrh DPS, ale najbežnejší je pomocou CAD softvérového balíka špeciálne navrhnutého pre DPS obvody. Tieto softvérové balíky obsahujú editory dosiek a schém, ktoré spolupracujú, aby poskytlí efektívny proces návrhu. Editor dosiek dokáže importovať všetky súčiastky, puzdra súčiastok a vodiče do DPS súboru, ktorý zjednoduší proces návrhu DPS.

V súčasnosti môžeme nájsť množstvo CAD nástrojov na trhu, ktoré nám umožňujú navrhnuť dosku plošných spojov. Môžeme nájsť jednoduché a intuitívne až po veľmi prepracované nástroje, ďalej nástroje zadarmo alebo lacné aj špičkové či s príplatkom a nástroje s menšou alebo bohatou výbavou funkcií [8-9]. Ale ten, čo bude človeku najviac vyhovovať, bude závisieť od jeho vlastných potrieb (požadovaná funkčnosť, zložitosť návrhu, frekvenčné požiadavky, atď.) a rozpočtu.

V mene najpopulárnejších softvérových balíkov na návrh DPS uvádzame zoznam deviatich široko používaných predstaviteľov v priemysle.

**Altium Designer.** Je to veľmi populárny softvér na návrh DPS. Altium Designer je komerčný nástroj s drahou licenciou používaný hlavne v profesionálnych prostrediach. Rovnako veľa univerzít ho používa vo svojich laboratóriách. Altium softvér sa vo všeobecnosti používa na návrh komplikovaných a veľmi zložitých obvodov s veľmi rýchlymi a reálnymi výsledkami. Je výkonný, ľahko sa používa a spĺňa moderné potreby profesionálnych návrhárov elektroniky.

**OrCad.** Je to softvérový nástroj na návrh DPS pre veľkú skupinu inžinierov, pretože poskytuje kompletne prostredie od počiatočnej schémy až po finálnu predlohu. Umožňuje simulovať a navrhovať DPS pre obvody.

**Mentor PADS.** Je to balík na návrh DPS vyvinutý spoločnosťou Mentor Graphics. Poskytuje kvalitné nástroje pre schémy DPS a ich usporiadanie za dostupnú cenu pre malé a stredne veľké spoločnosti. Poskytuje množstvo prepracovaných funkcií vrátane funkcií na analýzu signálovej integrity, pokročilého nástroja na automatické plánovanie spojov, analýzy tepelného návrhu a podpory pre rôzne funkcie manažmentu projektu. Je to balík na profesionálnej úrovni s konkurenčnou cenou, ale nie je príliš určený pre trh začiatočníkov a nadšencov.

**Eagle.** Eagle znamená Easily Applicable Graphical Layout Editor. Tento softvér je dostupný zadarmo alebo v platených verziách. V platenej verzii má používateľ k dispozícii technickú podporu, ktorá obsahuje telefonickú, mailovú a chatovú podporu a rovnako aj prístup k najnovším vydaniám softvéru. Eagle má veľmi jednoduché, efektívne a ľahko pochopiteľné rozhranie a poskytuje knižnicu, ktorá obsahuje veľké množstvo elektrických a elektronických súčiastok. To je hlavný dôvod, prečo je tak populárnym softvérom na návrh DPS medzi pedagógmi, nadšencami a profesionálmi. Okrem toho je možné nájsť k nemu veľmi dobré zdroje a príručky na Internete, čo je veľmi nápomocné pre začiatočníkov.

**Zuken CADSTAR.** Toto kompletne návrhárske prostredie vedie inžinierov od ich počiatočnej myšlienky až ku vytvoreniu výrobku vďaka jednotnej sady aplikácií. Je to uznávaný a veľmi rozšírený, ľahko použiteľný softvér na návrh jednoduchých



DPS s tisíckami spokojných používateľov po svete. Obsahuje schémy, usporiadanie DPS, plánovanie spojov, signálovú integritu a výrobné výstupy. Je to profesionálny, výkonný, dostupný a cenovo prístupný softvér, ktorý spĺňa používateľove požiadavky na návrh a rozpočet a je podporovaný skúsenými lokálnymi predajcami, ktorí poskytujú vzdelávanie, podporu, integráciu a konzultácie, aby umožnili používateľom maximalizovať návrat investícií.

**Zuken CR-8000** [<http://www.zuken.com/en/products/pcb-design/cr-8000>] . Inžinieri elektroniky si vyberajú Zuken CR-8000, keď potrebujú pokročilý softvér na návrh DPS s platformou pre 3D návrh DPS so zameraním na výsledné výrobky. Je to pokročilé riešenie na návrh jednej alebo viacerých dosiek, ktoré poskytuje nástroje na optimalizáciu návrhu na úrovni výrobku ako aj návrhu DPS. Obsahuje 2D/3D návrh viacerých dosiek a ich realizáciu, optimalizáciu FPGA I/O, spoločný návrh pre čip/balík/dosku a integráciu 3D **MCAD** (*Mechanical CAD*) a to všetko v jednom procese návrhu.

**Mentor Xpedition**. Špičkový produkt, ktorý kombinuje pokročilé funkcie s jednoduchosťou používania. Poskytuje návrhárom technológiu na vytváranie komplexnejších návrhov a uspokojuje potreby stredných až veľkých elektronických spoločností. Obsahuje interaktívne a prispôsobiteľné viacnásobné ovládacie prvky s automatickým plánovaním spojov pre zložité návrhy ako napríklad plánovanie spojov pre diferenčné páry signálov, vylepšenie (ladenie) siete spojov, optimalizáciu výroby a technológie pre HDI (mikro diery) a ich vytváranie. Tiež ponúka mechanické 3D jadro pre usporiadanie DPS, ktoré umožňuje návrhárom pracovať v jednom prostredí a prepínať medzi 2D a 3D pohľadmi na dosku.

**DesignSpark**. Je to zadarmo a ľahko použiteľný nástroj na návrh DPS od spoločnosti RS Components. DesignSpark je moderný a intuitívny, prakticky bez obmedzení pri návrhu dosky, vrstiev a kontaktov. Generuje súbory vo formáte Gerber podľa priemyselného štandardu. Je ponúkaný zadarmo pre spoločnosti, nadšencov (amatérskych návrhárov), pedagógov a ďalších. Okrem toho si môžete rýchlo nahrať svoje materiálové súpisky (**BOM**, *Bill of Materials*) na webovú stránku (sídlo) cez RS komponenty použitím služby BOM-Quote.

**KiCAD**. Je to voľný program, ktorý zvláda kreslenie schémy a návrh usporiadania DPS s výstupom vo formáte Gerber. Poskytuje veľmi jednoduchý spôsob plánovania spojov a súčiastok a tiež zjednodušuje riešenie problémov s DPS. Tento program je vhodný pre začiatočníkov a jeho najväčšou výhodou je, že tento program nevyžaduje kúpu žiadnej licencie (je zadarmo).



---

Výber softvérového balíka na návrh DPS, ktorý vám bude najviac vyhovovať, závisí od vašich potrieb a rozpočtu.

---

Pre profesionálnych návrhárov DPS a veľké a zložité aplikácie pravdepodobne Mentor Xpedition, Zuken CR-8000 a Altium budú tie najlepšie CAD softvérové prostredia na návrh DPS. Pre začiatočníkov a amatérov budú vhodné programy Eagle, KiCAD alebo DesignSpark.



## 5.2 Vytváranie súčiastok v knižniciach

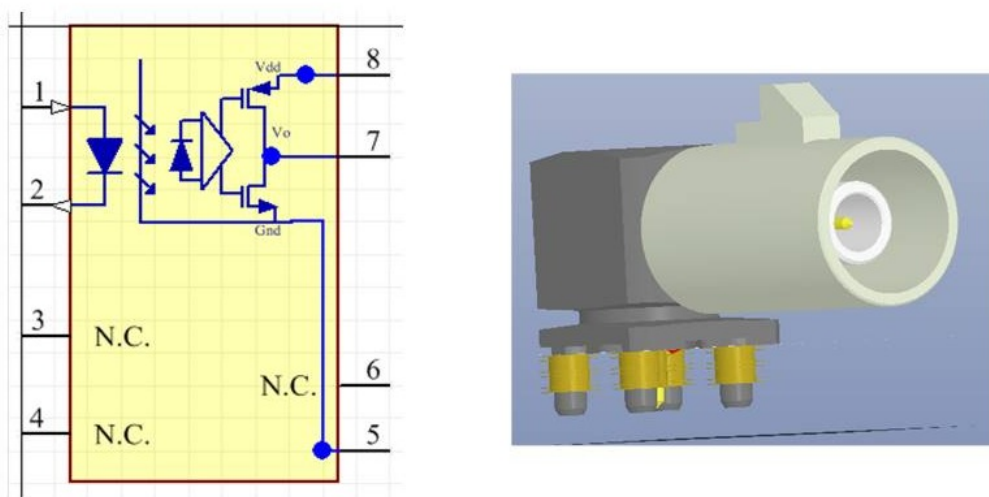
Spravidla všetky softvérové balíky na návrh DPS sú vybavené sadou knižníc. Tieto knižnice sa môžu používať, modifikovať a dopĺňať podľa potreby. Môžete kombinovať a porovnávať nové a existujúce položky knižníc navzájom a vytvoriť si vlastnú sadu knižníc.

Skôr, ako začnete pracovať na schéme a následnom usporiadaní dosky plošných spojov, je potrebné sa uistiť, že máte všetky súčiastky v knižnici s ich (schematickými) symbolmi a vonkajším tvarom (puzdrom).

Ak nie sú všetky súčiastky dostupné, bude potrebné vytvoriť vlastnú knižnicu a navrhnuť symbol a puzdro pre každú chýbajúcu súčiastku. Toto zvyčajne nastáva, keď sa použije pri návrhu DPS nová súčiastka, ktorá bola práve vypustená na trh.

Pri návrhu DPS pre objemnú výrobu má kvalita knižnice podstatný význam. Ak akékoľvek vytvorené puzdro nie je navrhnuté na 100% a overené s konečným miestom výroby (podnik), môže nastať zlyhanie pri veľkej produkcii výrobku a to môže mať vážny priamy dopad na výsledky spoločnosti. Toto je hlavný dôvod, prečo veľké spoločnosti majú svoje vlastné knižnice s vlastným exkluzívnym tímom, ktorý sa venuje iba tvorbe puzdier.

Je tiež veľmi dôležité mať dobrý 3D návrh DPS prepojený s puzdrami. Toto umožňuje mať lepšiu integráciu produktov (montované DPS spolu s mechanickým umiestnením).



Obr. 3 Schematický symbol a 3D puzdro.

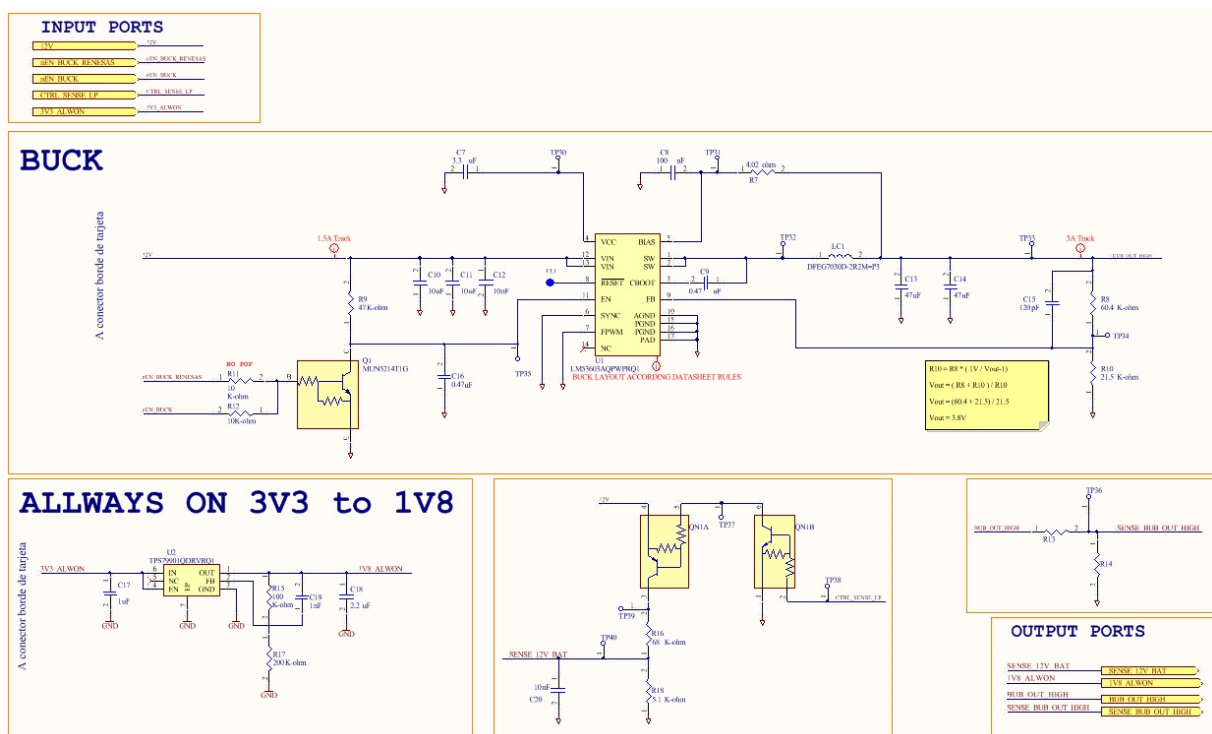
## 5.3 Návrh schémy

Skôr ako sa vytvorí schéma, je potrebné vytvoriť nový adresár projektu pre návrh. Tento adresár bude obsahovať schému a súbory návrhu DPS.

Proces návrhu DPS začína nakreslením schematického nákresu elektronického obvodu v nástroji, ktorý ste si vybrali. Schematický nákres riadi projekt takže presnosť a úplnosť sú rozhodujúce pre úspech. Schéma obsahuje všetky informácie, ktoré sú potrebné pre správnu činnosť obvodu. Čiže schéma by mala obsahovať dostatočné detaily pre návrh ako sú čísla pinov (vývodov, kolíkov), mená a hodnoty súčiastok, ich menovité napätie (výkon) a prepojenia medzi elektronickými súčiastkami.

Schematický symbol každej elektronickej súčiastky má priradené svoje puzdro. Puzdro bude definovať fyzické rozmery súčiastky a umiestnenie (potrebných) medených plôšok alebo vyvrtaných otvorov (na doske). So schematickým symbolom súčiastky je spojené aj číslo súčiastky od výrobcu, ktoré sa používa na určenie ceny a špecifikácie. Špecifikácia určuje veľkosť puzdra pre každú súčiastku.

Pred generovaním DPS sú symboly nanesené na puzdro súčiastky a symbolické prepojenia sú prevedené do tzv. netlistu, ktorý špecifikuje spojenia medzi puzdrami súčiastok v procese návrhu usporiadania dosky [10].



Obr. 4 Schéma DPS.

## 5.4 Nákres usporiadania DPS

Ďalším krokom je nakresliť dosku so všetkými súčiastkami na nej. To znamená, je potrebné previesť schematický nákres (schému) do nákresu dosky plošných spojov. Tomu sa hovorí nákres/plán usporiadania DPS (*floor plan*). Tento plán reprezentuje nákres, ktorý naznačuje všeobecnú polohu súčiastok na prázdnej doske pred tým, ako sa začnú navrhovať akékoľvek spoje na nej [11].

Funkčné bloky obvodov ako napájacie, rádiovfrekvenčné, digitálne, analógové a ďalšie bloky by mali byť organizované a umiestňované ako samostatné celky, aby sa minimalizovalo vzájomné rušenie signálov. Predbežný nákres usporiadania umožní návrhárovi vidieť, aké sú toky signálov medzi funkčnými blokmi a ako najlepšie ich naplánovať. Napríklad je vhodné čo najviac zoskupiť dohromady časti pracujúce/upravujúce napájanie, aby ich signály nemuseli križovať citlivé oblasti rádiovfrekvenčných obvodov.



---

Plán/nákres usporiadania (*floor plan*) je nákres, ktorý ukazuje, kde sa majú jednotlivé bloky obvodov umiestniť na dosku. Tento plán sa snaží preklenúť rozdiel medzi schémou a fyzickým usporiadaním (rozmiestnením) dosky. Toto dáva návrhárovi určitý náskok (výhodu) pri umiestňovaní súčiastok.

---

## 5.5 Umiestňovanie súčiastok a plánovanie spojov

Umiestňovanie súčiastok je ďalším krokom procesu návrhu DPS. Toto je jeden z najdôležitejších a najkritickejších krokov návrhu. Hovorí sa, že návrh dosky plošných spojov je na 90% umiestňovanie súčiastok a 10% plánovanie spojov. To skutočne znamená, že po skončení umiestňovania súčiastok na doske sa rozhodne, koľko času bude potrebného na plánovanie spojov na doske.

Hovorí sa aj to, že návrh DPS je súčasne umením aj vedou. Existuje množstvo poznatkov a meraní, ktoré je nutné zvažovať, keď sa pracuje so šírkou spojov, naukladaním jednotlivých vrstiev, schémami, návrhom uzemňovacích plôch DPS, atď. Umelecká stránka návrhu DPS sa týka umiestňovania jednotlivých súčiastok. Je pravdou, že nie je jediná správna cesta, ako umiestňovať súčiastky a táto sloboda je tým, čo robí návrh usporiadania DPS tak kreatívnym. Ak dáte rovnakú schému 100 rôznym inžinierom, pravdepodobne dostanete 100 rôznych usporiadaní DPS. Toto je dôvod, prečo proces návrhu usporiadania DPS je považovaný za umelecký proces [12].

Jednou z prvých vecí, ktorú treba urobiť, je nastaviť plochu dosky na maximálne dovolenú veľkosť DPS. Počet vrstiev bude závisieť od výkonových úrovní a zložitosti.

Je niekoľko všeobecných pravidiel návrhu, ktoré by mal návrhár poznať a vziať do úvahy, keď bude navrhovať vyrobiteľnú, funkčnú a spoľahlivú DPS. Zoznam pravidiel návrhu DPS uvedený nižšie nereprezentuje úplný zoznam [13].

Pri umiestňovaní súčiastok sa uistite, aby funkcia pripnutia k mriežke (*snap to grid*) bola zapnutá. Začnite umiestňovať súčiastky v nasledovnom poradí: konektory, výkonové obvody, citlivé a presné obvody, súčiastky kritických obvodov (MCU, DSP, FPGA, pamäť a časové obvody) a potom zvyšok. Okrem toho by súčiastky mali byť umiestňované podľa ich prepojenia s ďalšími súčiastkami.

Podobné súčiastky musia byť orientované rovnakým smerom, pretože to napomôže efektívnemu a bezchybnému procesu spájkovania.

Vyhýbajte sa umiestňovaniu súčiastok na spájkovacej strane dosky, ktorá by tak ostala skrytá pod súčiastkami prispájkovanými cez pokovené diery.

Umiestňujte všetky súčiastky s povrchovou montážou (SMD) na rovnakej strane dosky a všetky súčiastky prispájkované cez pokovené diery na vrchnej strane dosky, aby sa minimalizoval počet montážnych krokov.

Umiestňujte oddeľovacie kondenzátory čo najbližšie k vývodu Vcc na aktívnych súčiastkách.

Súčiastky absorbujúce viac ako 10 mW výkonu alebo vedúce prúd viac ako 10 mA by mali byť považované za dosť výkonné, aby boli zahrnuté do dodatočných tepelných a elektrických úvah. Citlivé signály by mali byť odtienené od zdrojov šumu plochami (rovinami) a zabezpečené riadenou impedanciou.

Súčiastky pre správu napájania by mali používať uzemňovacie plochy alebo napájacie plochy na odvod tepla. Vytvárajte spojenia (spoje) vedúce veľký prúd podľa dovoleného poklesu napätia v spojení. Prechody medzi vrstvami pre cesty s veľkým prúdom by mali byť robené dvomi až štyrmi dierami pre každý prechod medzi vrstvami. Umiestňujte niekoľko dier pre prechod medzi vrstvami, aby sa zvýšila spoľahlivosť, znížili odporové a indukčné straty a zlepšila tepelná vodivosť.

Vytvorte vždy uzemňovaciu plochu. Môže to byť veľká medená oblasť na jednej vrstve dosky alebo dokonca celá vrstva tvoriaca uzemňovaciu plochu pri viacvrstvových doskách. Akonáhle je pridaná uzemňovacia plocha, je už jednoduché pripájať všetky súčiastky k zemi (ktoré to potrebujú) pomocou dier.

Reálne medené spoje majú svoj odpor. To znamená, že spoj vykazuje pokles napätia, spotrebu výkonu a nárast teploty, keď nim preteká prúd. Šírka spojov by mala byť nastavená podľa odhadovaných prúdov, ktoré nimi potečú. Preto by napájacie spoje (cesty) mali byť širšie, pretože všetky prúdy sú dodávané týmito spojmi. Medené spoje na DPS majú obvyčajne hrúbku 35  $\mu\text{m}$ . Tab. 3 ukazuje závislosť maximálneho prúdu od šírky spoja.

Tab. 3 - Šírka spoja a maximálny podporovaný prúd

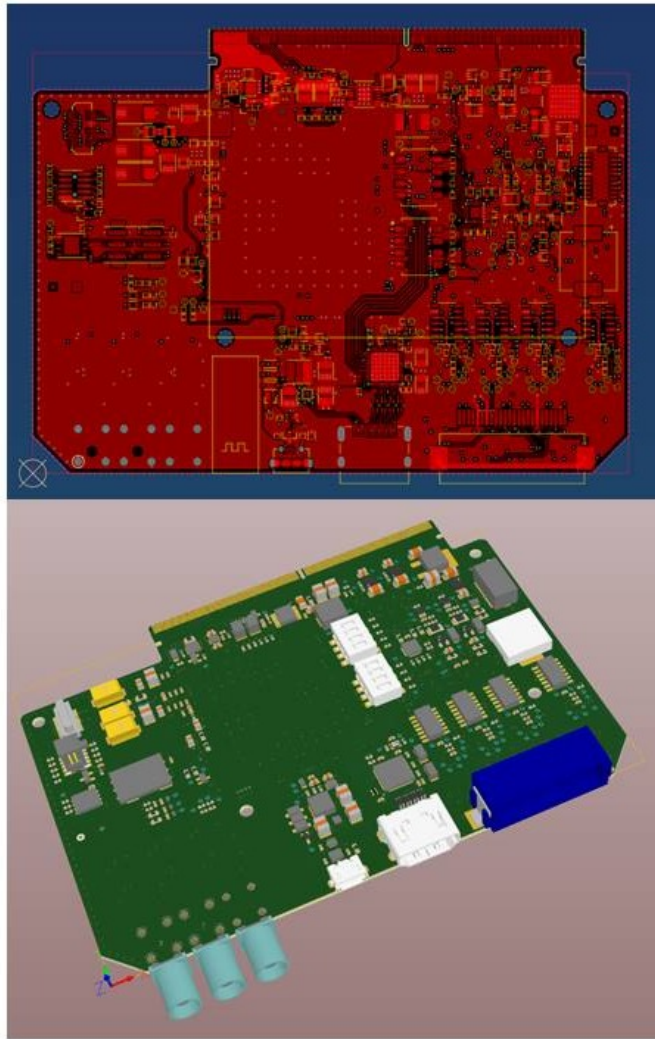
Šírka spoja	Maximálna hodnota prúdu
4 mm	10 A
2 mm	5 A
1,5 mm	4 A
1 mm	3 A
0,5 mm	2 A
0,2 mm	0,5 A

Keď umiestňujete súčiastky, minimalizujte dĺžky spojov a vyhýbajte sa uhlom rovným 90°. Používajte namiesto toho 45° ohyby spojov. Dôvody súvisia s procesom výroby dosky, kedy vonkajšie rohy môžu byť vyleptané o trochu užšie, čím sa zmení impedancia spoja. Použitím 45° uhlov sa skrátí elektrická cesta (spoj) medzi súčiastkami. Okrem toho vysokorýchlostné logické signály sa môžu odraziť od konca ohybu a spôsobovať interferenciu.

Zabezpečte, aby digitálna zem a analógová zem boli oddelené, pretože napät'ové a prúdové špičky z digitálnych obvodov môžu generovať rušenie (šum) v analógových obvodoch a tak ovplyvňovať ich výkonnosť.

Nie je dôležité poradie týchto pravidiel. Môžu byť aplikované na akýkoľvek projekt návrhu DPS a mali by slúžiť ako užitočná príručka pre návrhárov začiatokov.

Výsledkom procesov umiestňovania súčiastok a spojov je nakoniec nákres DPS, v ktorom sa elektronické súčiastky so svojimi puzdrami vyskytujú na pozíciách, ktoré obsadia na finálnej doske plošných spojov spolu s prepájajúcimi spojmi medzi vývodmi (pinmi).



Obr. 5 Nákres DPS: 2D (horná strana) a 3D (spodná strana).

## 5.6 Kontrola dosky pomocou návrhových pravidiel

Keď už sú umiestnené všetky spoje, je čas na kontrolu vedenia (spoja) každého signálu, aby sa overilo, či nič nechýba alebo nie je nesprávne prepojené (chýbajúce diery, neprepojené plôšky, skraty, atď.). Vo všeobecnosti všetky CAD softvérové balíky obyčajne obsahujú nástroje na kontrolu nákresu dosky pomocou návrhových pravidiel (**DRC**, *Design Rule Check*).



---

Kontrola dosky pomocou návrhových pravidiel je výkonná automatická funkcia, ktorá kontroluje logickú aj fyzickú integritu návrhu.

---



---

Kontrola dosky pomocou návrhových pravidiel by mala byť použitá na každej doske plošných spojov, aby sa potvrdilo, či vyhovuje sérii odporúčaných parametrov nazývaných návrhové pravidlá.

---

Návrhové pravidlá reprezentujú sériu parametrov (obmedzení) poskytnutých výrobcom DPS. Kontrola dosky pomocou návrhových pravidiel umožňuje stanoviť sadu hraníc pre šírku spojov, medzier medzi súčiastkami, priemery dier, atď.

## 5.7 Dokumentácia DPS

Správna dokumentácia je potrebná, aby sa znížila možnosť zlej interpretácie a chýb počas procesu výroby DPS. Výrobcovia DPS potrebujú vedieť presné požiadavky očakávané od ich produktu a montážny tím musí pochopiť, ako dosky obvodu zapadnú do konečného riešenia.

Dokumentácia DPS by mala obsahovať aspoň technické rozmerové nákresy, schému, BOM (súpis komponentov), súbor s nákresom (*layout*), súbor s umiestnením súčiastok, montážny nákres a inštrukcie a súbory vo formáte Gerber.

Súbory vo formáte Gerber alebo Gerber súbory sú výstupné súbory nákresu DPS, ktoré používajú výrobcovia DPS na vyrobenie DPS. Úplná sada týchto súborov obsahuje výstupné súbory vygenerované zo súboru nákresu dosky [14]:

- servisná potlač (vrchná a spodná strana, t.j. strana súčiastok a strana spojov),
- nespájkovacia maska (vrchná a spodná strana),
- všetky kovové vrstvy,
- spájkovacia maska (vrchná a spodná strana),
- mapa súčiastok (súradnice X-Y),
- montážny nákres (vrchná a spodná strana),
- výtací predpis (súbor),
- výtacia legenda,
- výrobný obrys (rozmery, špeciálne funkcie),
- súbor so zoznamom spojov puzdier na doske (*netlist*).

Špeciálne funkcie zahrnuté vo výrobnom obryse (*FAB outline*) obsahujú napríklad zárezy, výrezy, úkosity, vyplnené diery v plôškach (používané pre balíky integrovaných obvodov typu **BGA** (*ball grid array*), ktoré majú pole vývodov/pinov pod puzdrom), slepé/zakryté diery, povrchovú úpravu a vrstvenie, tolerancie otvorov, počet vrstiev.



## **6** Výroba

V tejto kapitole bude stručne opísaný celý proces výroby DPS v továrni. Procesy výroby DPS a montovania súčiastok sa realizujú v extrémne čistom prostredí, kde je možné zabezpečiť vzduch a súčiastky bez kontaminácie. Väčšina výrobcov elektroniky má svoje vlastné chránené procesy.

Ďalej charakterizované kroky môžu byť považované za najbežnejšie kroky pri výrobe DPS [14-15].

## 6.1 Vytvorenie filmu

Počas tohto úvodného kroku sa nákres/obraz dosky nanesie na film. Jeden film sa vygeneruje pre každú vrstvu. Film sa generuje zo súborov vo formáte Gerber, ktoré sú poslané výrobcovi alebo výrobnej jednotke, pričom negatívny obraz alebo maska sa vytlačí na plastový list (fóliu). Vo všeobecnosti výrobcovia používajú fotografické plotre na vytvorenie týchto filmov.

Pre vnútorné vrstvy DPS čierny atrament (farba) reprezentuje vodivé medené časti DPS. Ostávajúca čistá časť obrazu predstavuje oblasti nevodivého materiálu. Vonkajšie vrstvy sledujú opačný princíp, t.j. čistá časť reprezentuje medenú oblasť a čierna farba reprezentuje oblasť, ktorá bude odleptaná.

## 6.2 Leptanie

Účelom leptania je odstrániť nepotrebné medené časti zo substrátu. Existuje niekoľko spôsobov leptania, všetky sú založené na odlišnom type chemikálií ako je napr. chlorid železitý, persíran sodný, atď. Najčastejšie používaný je chlorid železitý alebo kyselina chlorovodíková.

Počas tohto procesu je doska plošných spojov vložená do misky s chemikáliou a očistená štetcom.

## 6.3 Bezprúdové nanášanie medi (pokovovanie)

Aby sa urobili diery medzi vrstvami vodivé, aby sa prepojili rôzne vrstvy na DPS, tak sa tenká vrstva medi chemicky naniesie na tieto priechodné diery. Táto meď bude neskôr zosilnená pomocou elektrolytického medeného pokovovania.

## 6.4 Nespájkovacia maska

Nespájkovacia maska je zvyčajne zelený film na doske plošných spojov. Táto maska obyčajne zakrýva všetko na doske okrem plôšok a dier. Primárnym účelom tejto masky je ohraničiť oblasti, ktoré budú pokryté spájkou. Tiež chráni dosku pred kontamináciou, poškodením manipuláciou a možnými elektrickými skratmi počas montáže a inštalácie.

## 6.5 Servisná potlač

Servisná potlač sa bežne používa na strane súčiastok, aby bolo možné identifikovať súčiastky, testovacie body, číslo dosky, výstražné symboly, logá spoločností a značky výrobcov. Potlač sa nanáša pomocou atramentovej tlačiarne.

## 6.6 Povrchová úprava

Povrchová úprava (*surface finish*) je najdôležitejším krokom v procese medzi výrobou DPS a jej montážou a spočíva v dvoch hlavných funkciách. Prvou je ochrana medených obvodov a druhou je poskytnutie spájkovacieho povrchu na prispájkovanie súčiastok na dosku. Povrchová úprava sa robí na najvrchnejšej vrstve DPS a nad meďou a hrá úlohu plášťa pre meď. Sú rôzne typy povrchovej úpravy, každá jedna má svoj účel (v závislosti od toho, kde bude DPS pracovať a od požiadaviek montážneho procesu) a tiež má odlišnú metódu aplikácie. Najpopulárnejšie sú: **ENIG** (*Electroless Nickel Immersion Gold*), **OSP** (*Organic Surface Protection*), **HASL** (*Hot Air Leveling*), ponorenie do roztoku so striebrom alebo cínom. Pri povrchovej úprave ENIG sa najskôr aplikuje pokovovanie niklom a následne sa chemicky naniesie zlato na vrstvu niklu. OSP je založená na chemickom nanesení organických inhibítorov. Pri HASL je DPS ponorená do roztavenej cínovej spájkovacej zliatiny a pri spätnom pohybe ofúknutá horúcim vzduchom.

## 6.7 Vrtanie

Vrtací stroj je riadený počítačom. Operátor vyberie pre DPS vrtací predpis zo súborov vo formáte Gerber. Tento predpis povie stroju, ktoré vrtáky má použiť a súradnice X-Y dier. Vysokorýchlostné vrtanie zabezpečí čisté steny dier, čo poskytuje dôležitý základ pre dobré pokovovanie týchto stien.

Vrtanie je pomalý proces, keďže každá diera musí byť vyvrtaná samostatne. Výmena vrtáku je automatická. Stroj vyberie vrták na vrtanie z držiaku, skontroluje, či má správnu veľkosť (priemer) a potom ho nasadí do vrtacej hlavy. Obyčajne sa vrtá celý zásobník dosiek (až 5) naraz.



## 6.8 Elektrický test

Jedným z posledných krokov procesu výroby DPS je uistenie sa, že doska plošných spojov neobsahuje žiadne defekty a splňa očakávané kvalitatívne štandardy. V súčasnosti existuje mnoho prístrojov na automatické testovanie vhodných na rozsiahle testovanie DPS.

DPS sú testované na prítomnosť otvorených a krátkych spojov (skratov) v obvodoch. Jadrom všetkých testov je počítačový program, ktorý bude dávať pokyny elektrickej testovacej jednotke, aby pripojila malé napätie ku každému kontaktnému bodu a overila, že určitá úroveň napätia sa objaví v príslušných kontaktných bodoch.

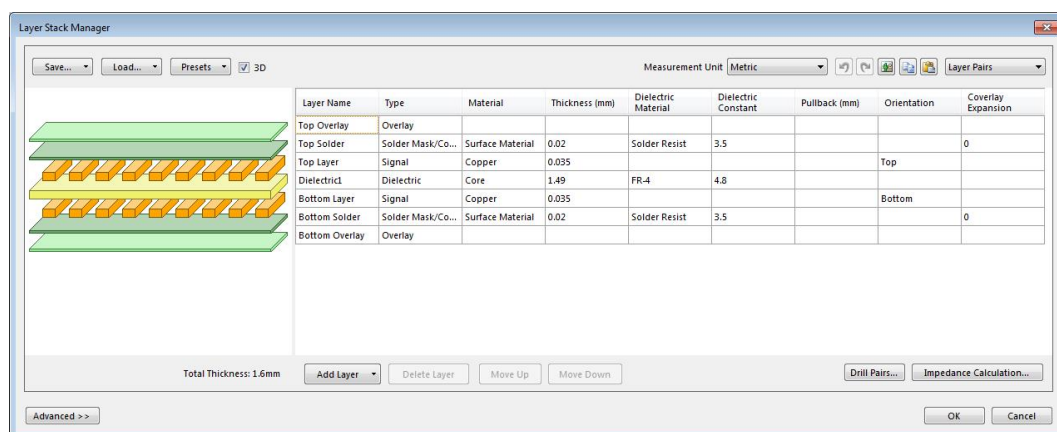
## 6.9 Montáž

Montáž súčiastok na DPS je proces spájkovania alebo montovania elektronických súčiastok na dosku plošných spojov. Proces montáže DPS môže používať technológiu montáže súčiastok do dier alebo povrchovú montáž súčiastok (SMD) alebo mix obidvoch. Pri prvej metóde sú vývody súčiastky vsunuté do dier vyvrtaných do dosky. V druhej metóde sú na doske vytvorené spájkovacie plôšky a príslušná súčiastka sa (svojimi vývodmi) na ne položí a upevní (spájkovaním).

## 7 Prípadová štúdia

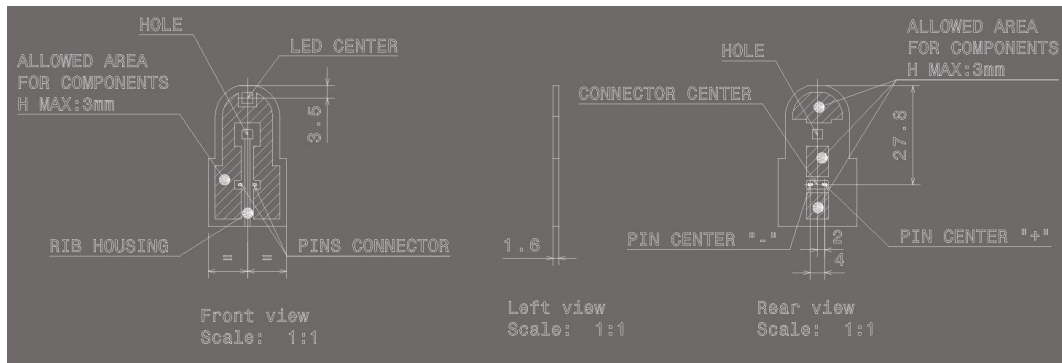
V tejto kapitole bude ukázaný celý proces návrhu dosky plošných spojov na reálnom príklade dosky. Návrh bol uskutočnený softvérom Altium Designer. Návrh obsahuje nasledovné hlavné kroky:

- Vytvorenie knižnice: všetky symboly pre návrh schémy musia byť nachystané a všetky potrebné puzdra pre návrh dosky musia tiež byť vytvorené, aby bolo možné začať s nákrešom DPS.
- Získanie všetkých potrebných informácií:
  - Informácie o mechanickom umiestnení vo formáte 3D **STEP** (*Standard for Exchange of Product*), DXF (mierka 1:1), PDF - obsahujúce zakázané oblasti na vrchnej a spodnej strane dosky pre umiestňovanie súčiastok.
  - Konečná schéma: obsahuje všetky spojenia medzi súčiastkami, niektoré pravidlá spojené s rôznymi časťami (obvodmi) schémy a návody, ako pracovať so špeciálnymi súčiastkami.
  - Odporúčania od výrobcov súčiastok, ako umiestňovať kľúčové súčiastky (toto sa týka mikroradičov, výkonových súčiastok, DDR pamätí a akýchkoľvek súčiastok vyžadujúcich špeciálne umiestnenie).
- Definovanie vrstvenia (vrstiev) dosky - závisí od potreby, hustoty, rozpočtu a času potrebného na návrh DPS.



Obr. 6 Definovanie vrstvenia (vrstiev) dosky plošných spojov.

- Importovanie technických/mechanických dát zo súboru **DXF** (*Drawing Interchange Format*) do špeciálnej (mechanickej) vrstvy v programe Altium.



Obr. 7 Mechanická vrstva.

- Definovanie tvaru dosky na základe DXF súboru v mechanickej vrstve 2 (budeme používať mechanicú vrstvu 1 pre výrobnú dosku (*production panel*) a mechanicú vrstvu 2 pre návrh jednoduchej dosky).
- Umiestnenie počiatku DPS. Toto je veľmi dôležité a potrebné, aby sme mali dobrý referenčný bod pre návrh, umiestnenie jednej DPS na výrobnú dosku, 3D umiestnenie DPS vo výrobku, generovanie výrobných informácií (Gerber, vrtanie) a montážnu dokumentáciu (spôsob uchyt' a umiestni, súbory vo formáte ODB++).



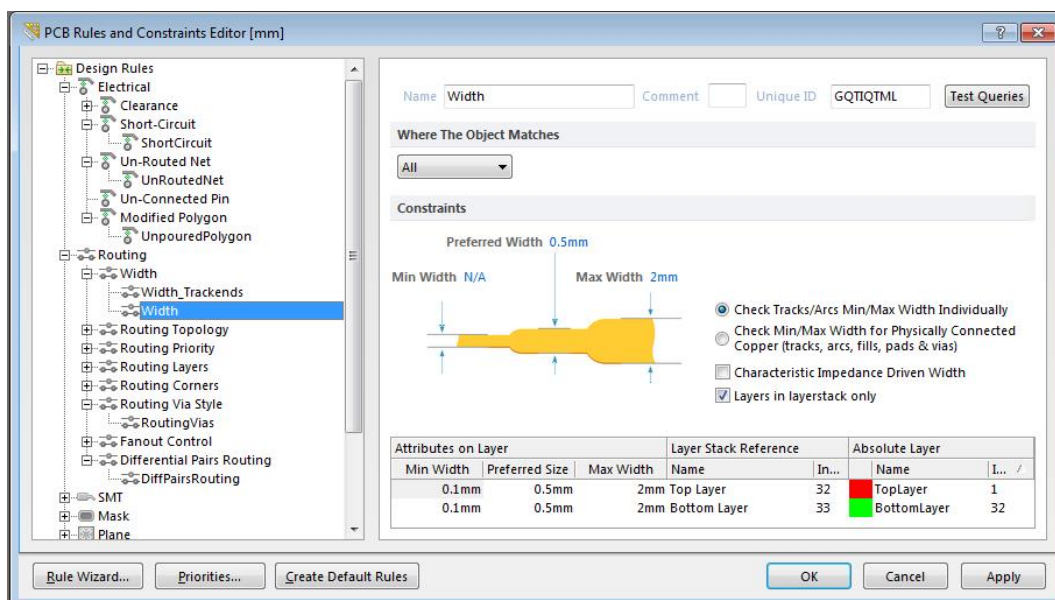
Obr. 8 Počiatok (súradnicovej sústavy) DPS.

- Nakreslenie zakázaných oblastí pre umiestňovanie súčiastok, medené a rôzne veľkostné obmedzenia na vrchných a spodných stranách (vyberte akékoľvek mechanicke vrstvy programu Altium).



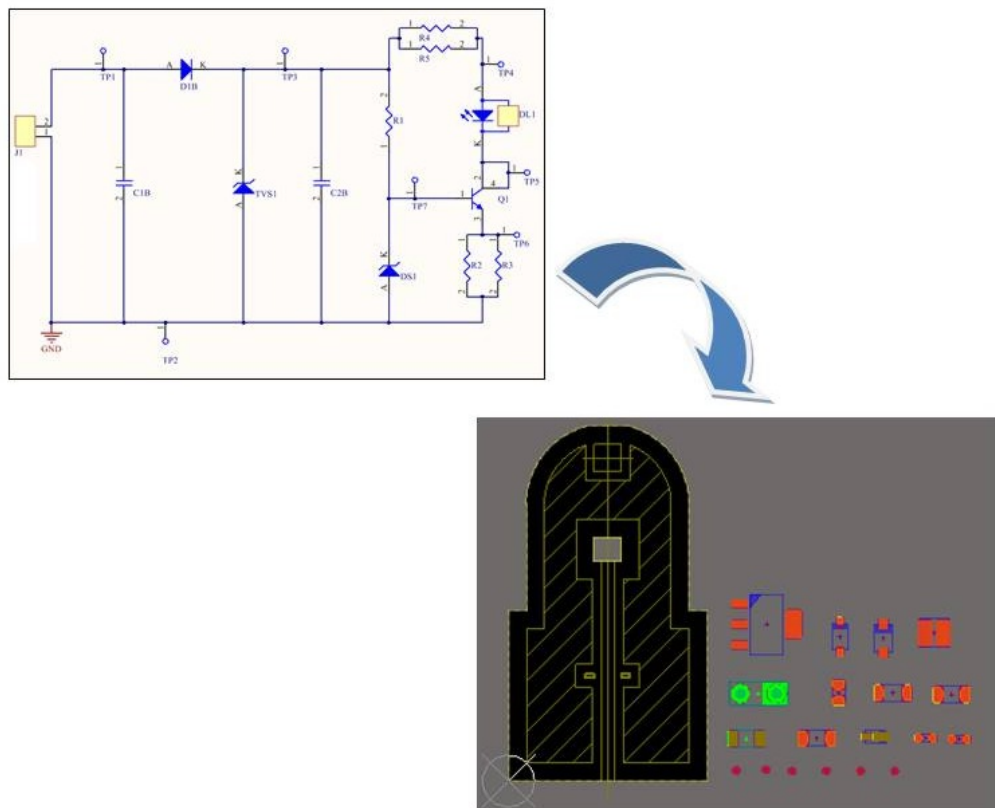
Obr. 9 Vrchná a spodná strana.

- Nastavenie všetkých návrhových pravidiel v programe Altium Designer. Je možné nastaviť rôzne pravidlá, aby sa zjednodušil návrh. Pravidlá sa týkajú obmedzení elektrických ako aj prepájacích (plánovania spojov), ďalej sa týkajú topológie, vrstiev, ktoré sa majú použiť, umiestňovania súčiastok, výroby, signálovej integrity a mnohých ďalších. Zvolíme si zodpovedajúce a potrebné pravidlá, aby sme uspeli s návrhom.



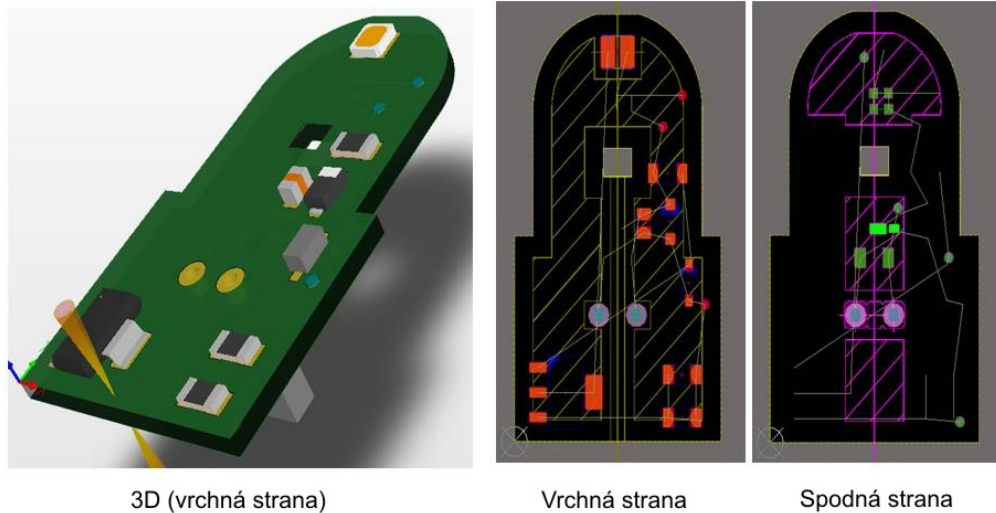
Obr. 10 Editor pravidiel a obmedzení na DPS.

- Vykonalenie aktualizácie DPS na základe schémy. Všetky puzdra zodpovedajúce schematickým symbolom sa objavia na doske plošných spojov.



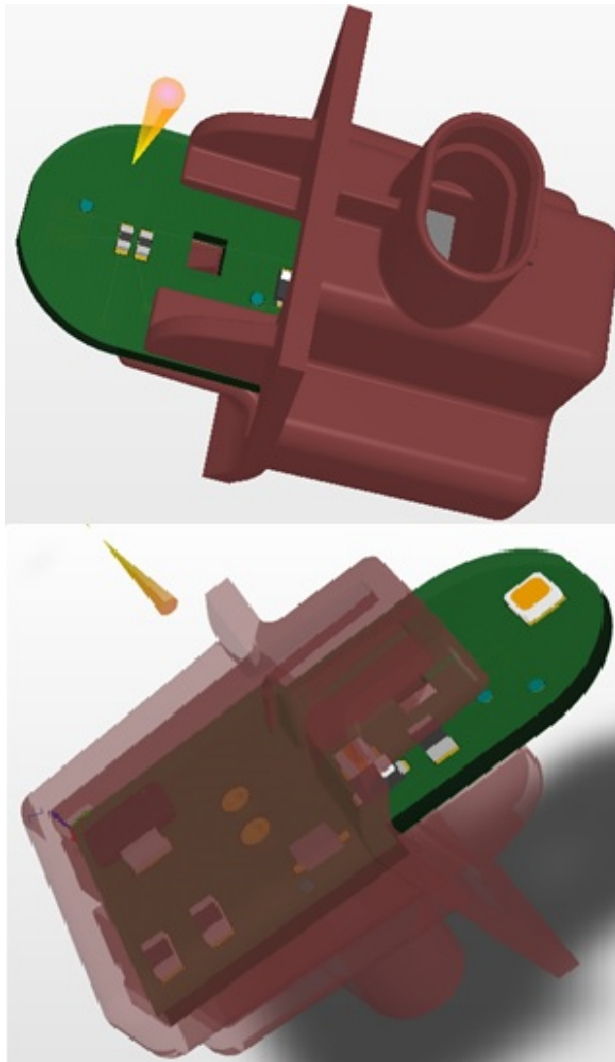
Obr. 11 Puzdra a schematické symboly DPS.

- Umiestňovanie súčiastok. V tomto návrhu je cieľom minimalizovať vzor (sieť) spojov s použitím iba dvoch vrstiev, aby sa minimalizovali konečné náklady na výrobok. Rovnako je potrebné dosiahnuť minimálne straty výkonu, preto potrebujeme pripraviť maximálny voľný priestor pre široké medené spoje (prepojenia).



Obr. 12 3D pohľad na vrchnú stranu, 2D pohľad na vrchnú a spodnú stranu (TOP, BOTTOM).

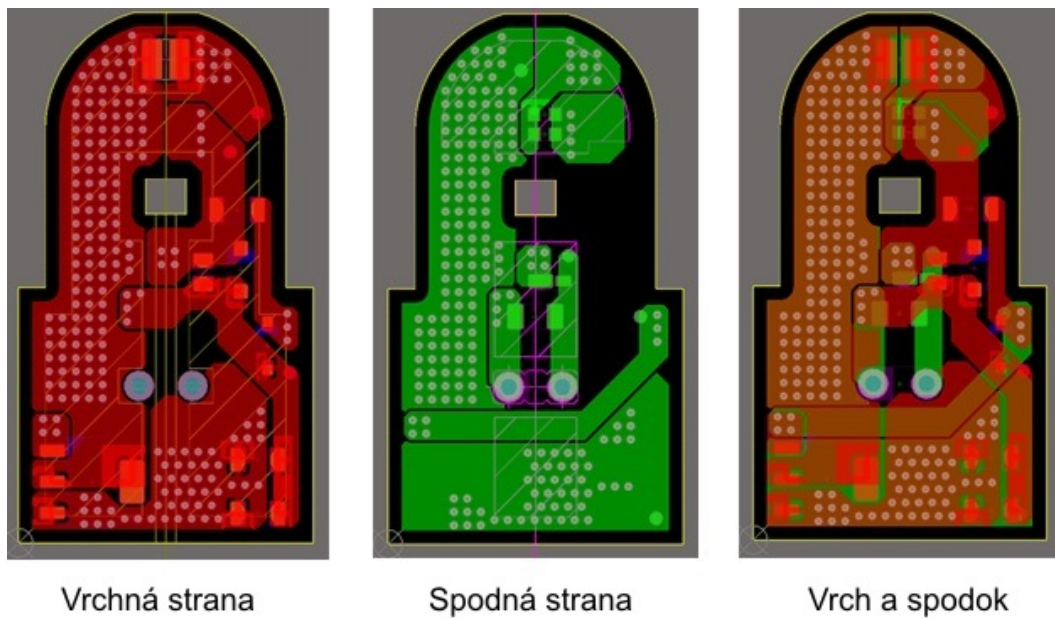
- Umiestnenie súčiastok s pevnou polohou (podľa mechanického návrhu) ako je LED a konektor.
- Kontrola, že súčiastky sú naplánované iba v dovolených oblastiach na doske.
- Umiestnenie všetkých súčiastok vo vnútri každého bloku obvodu čo najbližšie k sebe.
- Vymedzenie dostatku miesta pre tranzistor, aby sa zabezpečilo maximálne rozloženie/šírenie (výkonu).
- Umiestnenie deličov napätia blízko seba.
- Kontrola finálneho rozmiestnenia dosky s reálnym mechanickým umiestnením dosky vo výrobku na základe 3D STEP náhľadu.



Obr. 13 3D náhľady (vrchná a spodná strana).

- Plánovanie spojov na DPS:
  - Niekedy, keď sa začnú plánovať spoje na doske, sa zistia niektoré možné vylepšenia umiestnenia (súčiastok), to znamená, že sa musí vykonať dodatočná 3D kontrola, aby sa zabezpečilo, že nevzniknú žiadne problémy s finálnym výrobkom.
  - Veľa dier sa pridá, aby sa zlepšil rozptyl tepla (toto je špeciálna doska, na ktorej je správne šírenie výkonu veľmi dôležité).





Obr. 14 Plánovanie spojov na doske plošných spojov.

- Návrh výrobnéj dosky. Tento návrh musí byť urobený, aby sa urýchlil a zlacnil proces montáže dosky. Výrobná doska obsahuje veľa samostatných navrhnutých DPS (kópií) spolu s niektorými dierami a značkami. Rozmery výrobnéj dosky sa určujú na základe požiadaviek výrobného podniku (linky) a najvyššej výnosnosti (zisku) spojenej s výrobou holých pracovných dosiek. Pracovná doska obsahuje veľa výrobných dosiek.



Obr. 15 Návrh výrobnéj dosky.

- Kontrola dosky podľa návrhových pravidiel (**DRC**, *Design Rule Check*) a výrobných požiadaviek (**DFM**, *Design For Manufacturing*).
- DRC umožňuje návrhárovi DPS nájsť akékoľvek možné chyby a zabezpečiť konečnú kvalitu DPS. Kontroly sa robia automaticky podľa stanovených návrhových pravidiel. Niektoré z týchto kontrol sa týkajú nasledovných pravidiel:
  - Elektrické: nepripojená časť obvodu (sieť), nepripojený pin (vývod), skrat, vzdialenosti, ....
  - Plánovanie spojov: šírka medeného spoja, typ diery, vrstvy spojov, diferenciálne páry, ....
  - SMT: vzdialenosť SMD súčiastky od medenej plochy, rohov (spojov), ....
  - Výrobné: potlač na nespájkovacej maske, potlač na potlačí, diera na diere, veľkosť diery, ....
  - Vysokorýchlostné (frekvenčné): diery pod SMD, paralelné segmenty, počet dier, prispôsobené dĺžky (spojov), .....
  - Umiestnenie: maximálna výška, vzdialenosť súčiastok, dovolené vrstvy, ...
  - Ďalšie špecifické používateľom definované návrhové pravidlá.

- DFM kontrola sa robí výrobným podnikom montujúcim dosku a hlási návrhárovi DPS každý problém, ktorý ovplyvňuje kvalitu procesu montáže DPS.
- Vygenerovanie dokumentácie pre výrobnú dosku pre výrobu holých pracovných dosiek a montáž:
- Nasledovné údaje sú potrebné pre výrobu holých pracovných dosiek pre DPS:
  - údaje vo formáte Gerber,
  - údaje pre vŕtanie,
  - technická špecifikácia DPS.
- Nasledovné údaje sú potrebné pre montáž DPS:
  - údaje vo formáte Gerber a pre vŕtanie,
  - súbory pre SMD výrobnú šablónu spájkovacej masky,
  - technická špecifikácia DPS,
  - montážna informácia pre DPS (pre každú vrstvu vo formáte PDF),
  - údaje vo formáte ODB++ (univerzálny formát),
  - správa o testovacích bodoch: pre ICT (*In Circuit Test*) a funkčný test,
  - súbor (*Pick & Place*) pre stroje na automatické vkladanie súčiastok na DPS.