

## Dosky plošných spojov

Dosky plošných spojov patria do skupiny vrstvených materiálov, vyrobených z rôznych anorganických a organických izolantov ako základových materiálov, laminovaných s medenou fóliou.

Termínom „**doska plošných spojov**“ (**DsPS**) sa označuje nosič elektrických prepojení umiestnených na izolačnej podložke, ktorý po osadení elektronickými súčiastkami tvorí funkčný elektronický obvod a je jedným z funkčných mechanických dielov elektrického zariadenia. Dosky plošných spojov umožňujú prepojenie diskretných súčiastok elektrických zariadení, alebo jeho častí tenkými vodivými fóliami upevnenými na povrchu izolačnej podložky, pričom jednotlivé súčiastky sú oddelené od základného materiálu. DsPS tvorí plátovaný materiál odpovedajúcich rozmerov, obsahujúci potrebné otvory a minimálne jeden vodivý obrazec. Prepojovanie vývodov elektronických súčiastok sa uskutočňuje pri súčasnom plnení elektrickej a mechanickej funkcie.

Metodika názvov a pojmov v oblasti výroby DsPS sa riadi STN 35 9002 „Plošné spoje - názvoslovie“. Táto norma obsahuje všetky názvy a pojmy, ktoré sú v oblasti návrhu a výroby dosiek s plošnými spojmi štandardne používané aj s vysvetlením ich významu.

**Základný materiál DsPS** je materiál, na ktorom sa vytvorí vodivý obrazec plošného spoja niektorým z výrobných postupov. Pri voľbe základného materiálu plošného spoja sú dôležité vlastnosti základného materiálu, jeho cena a technologická náročnosť. Optimálny materiál pre výrobu neohybných DsPS je vrstvený izolant, t.j. **laminát**, ktorý sa skladá z **výstuže a spojiva**.

**Výstuž** je nositeľkou mechanických a tvarových vlastností. Ako materiál sa pre výstuž používa celulóзовý papier, sklená látka (tkanina, vlákno, rohož...), nylon, bavlna, oceľový plech.

**Spojivo** prenáša mechanické namáhanie rovnomerne na všetky strany a chráni laminát (DsPS) pred mechanickým a chemickým poškodením a pred vplyvom klimatických podmienok. Materiálom spojiva bývajú spravidla polymérne látky na báze rôznych druhov termoplastov a reaktoplastov: fenolická živica, epoxidová živica, silikónová živica, polyesterová živica, polytetrafluóretylén (teflón), imidová živica, aramid, polyimid.

**Vlastnosti základných materiálov DsPS:** Pri výbere materiálu DsPS sa musia zohľadniť základné funkčné predpoklady elektronického obvodu, vplyv prostredia, v ktorom bude pracovať a jeho cena. Funkčné predpoklady zahŕňajú požiadavky na elektrické a mechanické vlastnosti a požiadavky na horľavosť. Vplyv prostredia, v ktorom bude obvod pracovať, zahŕňa vplyv teploty a vlhkosti a tiež vplyv vibrácií a teplotných šokov. Pri zvažovaní ceny materiálu sa musí zohľadniť, či materiál spĺňa všetky požiadavky potrebné pre proces spracovania.

### a/ Elektrické vlastnosti:

- *Odpor kovových vrstiev*, ktorý vyplýva z úrovne čistoty medenej fólie ako aj kvality jej povrchu. Pokovenie plochých medených vodičov DsPS ovplyvňuje ich vodivosť, čo má vplyv na vývin tepla pri vysokých hodnotách odporov.
- *Povrchový odpor* plátovanej DsPS ( $10^8 - 10^6 \Omega$ ) a *odolnosť voči plazivým prúdom* charakterizuje kvalitu izolácie v medzerách.
- *Rezistivita* DsPS, ktorá sa pohybuje v rozmedzí  $10^{11}-10^{20} \Omega\text{m}$ , určuje prah vodivosti a skratu.
- *Relatívna permitivita*  $\epsilon_r = f(T, \omega) \cong (2 - 10 \text{ pri } 1 \text{ MHz})$  DsPS ovplyvňuje kapacitné väzby a bežne sa pohybuje v rozpätí od 4 do 6.
- *Súčiniteľ dielektrických strát*  $\tan\delta = f(T, \omega)$  DsPS ovplyvňuje útlm signálov (straty vedením).

- *Prierné napätie* DsPS súvisí s bezpečnou vzdialenosťou vrstiev vodivých obrazcov najmä u viacvrstvových DsPS. Jeho hodnota závisí od geometrických parametrov plochých vodičov.
- *Elektrická pevnosť* DsPS určuje možné zaťaženie vzhľadom k hrúbke DsPS a pohybuje sa v rozmedzí  $10^7 - 10^8$  V/m.

#### b/ Mechanické vlastnosti:

Typické vlastnosti obojstranne plátovaného laminátu DsPS ( $h = 1,5$  mm) sú uvedené v tab. 8.4.

Tabuľka 8.4 Typické vlastnosti obojstranne plátovaného laminátu DsPS ( $h = 1,5$  mm)

		Materiál (označenie podľa normy NEMA)					
		XXXPC	FR-2	FR-3	G-10	G-11	FR-4
Merná hmotnosť	$\text{gcm}^{-3}$	1,28	1,30	1,45	1,75	1,75	1,85
Koef. dĺž. rozťažnosti $\alpha_l$ pozdĺž dosky	$10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$	11	11	13	10	10	11
Koef. dĺž. rozťažnosti $\alpha_t$ naprieč dosky	$10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$	12	12	15	15	14	15
Merná tepelná vodivosť $\lambda$	$\text{Wm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	0,24	0,24	0,23	0,26	0,25	0,25
Relatívna permitivita $\epsilon_r$ (1 MHz)	-	4,5	4,5	4,6	5,0	5,1	4,9
Pevnosť v ťahu $R_{mt}$ naprieč dosky	MPa	71	70	110	351	351	351
Pevnosť v ťahu $R_{mt}$ pozdĺž dosky	MPa	92	88	83	280	280	280
Pevnosť v ohybe $R_{mo}$ naprieč dosky	MPa	71	66	63	235	235	235
Pevnosť v ohybe $R_{mo}$ pozdĺž dosky	MPa	82	80	140	421	421	421
Povrchový odpor $R$	$\text{M}\Omega$	1 000	1 000	10 000	10 000	10 000	10 000
Nasiakavosť	%	0,8	0,8	0,75	0,35	0,35	0,35

- *Mechanická pevnosť v ohybe (od 70 do 450 MPa) a mechanická pevnosť v ťahu (od 70 do 350 MPa) u DsPS* svedčia o kvalite základných materiálov DsPS. Mechanické skúšky v ťahu a v ohybe sa u DsPS robia podľa príslušných noriem najmä z dôvodu rozdielnych vlastností v rovnobežnom a kolmom smere.
- *Pevnosť v lúpaní medenej fólie* DsPS sa stanovuje skúškou, pri ktorej sa meria sila potrebná na odlúčenie medenej fólie na 1 m dĺžky DsPS. Okrem tejto mechanickej odolnosti sa skúška v lúpaní medenej fólie robí za účelom stanovenia odolnosti DsPS voči pôsobeniu rozpúšťadiel a galvanických roztokov, ako aj pri a po teplotnej námahe DsPS.
- *Rovinnosť, skrútenie, prehnutie a prípadne porušenie DsPS* súvisí s rozdielnymi vlastnosťami laminátu a medenej fólie plátovanej na jeho povrchu. Po odleptaní medenej fólie sa DsPS často narovnajú. Kvantitatívne hodnoty týchto vlastností poukazujú na použiteľnosť DsPS pri montáži súčiastok, hlavne u dosiek s priamymi konektormi.
- *Ohybnosť* ako prejav pružného stavu DsPS sa vyjadruje počtom ohybov do prerušenia plošných vodičov.
- *Rozmerová stálosť* DsPS je garantovaná teplotným koeficientom dĺžkovej rozťažnosti  $\alpha_r$  ( $20 \cdot 10^{-7} - 1\,000 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ). Rozdielna dĺžková rozťažnosť v kolmom, pozdĺžnom a priečnom smere majú vplyv na zmrštenie základného materiálu a zachovanie rozmerov pri dierovaní. Táto vlastnosť je v technológii povrchovej montáže SMT veľmi dôležitá.
- *Strihateľnosť* DsPS má vplyv na kvalitu dierovania, deformáciu okrajov a lisovanie obrysov a je tiež ukazovateľom kvality základného materiálu DsPS.

### c/ Špeciálne vlastnosti:

- *Teplotná odolnosť pri spájkovaní* sa u DsPS skúša z dôvodu nebezpečia porušenia laminovania a tvorby vypuklín v medenej fólii. Táto skúška sa aplikuje najmä pri DsPS, ktoré budú podrobené spájkovaniu vlnou.
- *Merná tepelná vodivosť*  $\lambda$  (0,1 - 0,5 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>) DsPS sa meria po ich trvalom teplotnom zaťažení počas 100 - 500 h.
- *Horľavosťou DsPS* sa posudzuje odolnosť pri horení a samozhášavosť DsPS (dôležitá vlastnosť pri vysokých prúdových záťažoch, kde je hrozba „prepálenia spoja“).
- *Prieľadnosť* uľahčuje kontrolu spojov po oboch stranách DsPS. Skúša sa minimálna absorpcia UV a IR žiarenia pri vytváraní povlakov.
- *Nasiakavosť* DsPS, ktorá určuje schopnosť DsPS pohltiť vlhkosť v %, rozhoduje o spôsobe použitia materiálu, o jeho spracovateľnosti a má vplyv aj na skladovateľnosť DsPS.
- *Iné vlastnosti*: obsah živice v lamináte, jej viskozita a miera vytvrdenia súvisia najmä s vlastnosťami lepiacich listov.

### b) Materiály pre neohybné DsPS

Laminát vyrábaný v hrúbkach od 0,8; 1; 1,2; ... 3,2 mm môže byť z jednej alebo dvoch strán plátovaný medenými fóliami, ktorých hrúbka býva 0,2; 5; 9 a najčastejšie 17,5; 35 a 70  $\mu$ m. Základné parametre z pohľadu technológie spracovania DsPS sú mechanická pevnosť, pevnosť v lúpaní medenej fólie a nasiakavosť. Z pohľadu konštrukcie elektronického obvodu rozhodujú o kvalite DsPS samozhášavosť, možnosť frekvenčného zaťaženia, a teplotná dĺžková rozťažnosť. Skladbu laminátu t.j. druh a obsah výstuže a spojiva možno kombinovať:

**Celulóзовý papier / fenolická živica:** Podľa medzinárodného štandardu NEMA sa tento typ materiálu klasifikuje ako FR-2 (Flame Resistant – odolnosť voči horeniu) alebo ako XXXPC. FR-2 je samozhášavý. DsPS sú vhodné pre použitie pri teplotách 70 - 105°C. Nízke teploty spôsobujú degradáciu vlastností a na druhej strane napr. pri vysokých hodnotách rezistorov, u ktorých sa vyvíja veľké množstvo tepla, dochádza lokálne k nadmernému ohrevu základného materiálu, následne k prepáleniu DsPS a k jej karbonizácii a v dôsledku toho k poklesu izolačného odporu. Skladba materiálu celulóзовý papier / fenolická živica sa používa pre výrobu jednostranných alebo obojstranných DsPS, ktoré sú plátované medenou fóliou 17,5 a 35  $\mu$ m. Tento materiál má dlhú tradíciu a podieľa sa na 40 % aplikácií. Je cenovo výhodný a vhodný pre menej náročné aplikácie napr. spotrebnú elektroniku. Je málo odolný voči vlhkému prostrediu. Býva hnedý a neprieľadný.

**Celulóзовý papier / sklené vlákno / epoxidová živica:** Podľa medzinárodného štandardu NEMA LI-1sa tento typ materiálu klasifikuje ako FR-3, CEM-1 a CEM-3. FR-3 však neobsahuje sklené vlákno a keďže je lacnejší ako FR-4 môže slúžiť ako jeho náhrada. DsPS majú lepšie, najmä elektrické ale aj mechanické vlastnosti ako FR-2. Používajú sa pre teploty 90 - 110°C a v závislosti na hrúbke majú lepšiu odolnosť v ohybe, lepšie izolačné vlastnosti a odolnosť voči vlhkosti. Používajú sa v menej náročných aplikáciách oznamovacej techniky. Majú vysoký izolačný odpor, sú dobre strihatelné a samozhášavé. Mávajú krémovú farbu a bývajú neprieľadné.

**Sklené vlákno / epoxidová živica:** Podľa medzinárodného štandardu NEMA LI-1sa tento typ materiálu klasifikuje ako FR-4, FR-5, G10 a G11. DsPS majú ešte lepšie mechanické vlastnosti, rovinnosť, odolnosť voči tepelnému rázu pri spájkovaní a dobré elektrické vlastnosti. Sú málo nasiakavé, pomerne rozmerovo stále, chemicky odolné, nehorľavé (tzv. samozhášavé typy). Používajú sa pre teploty do 150°C, pre náročné oblasti priemyselnej techniky (ako meracia alebo výpočtová technika), pre klasické obojstranné plošné spoje s prekovenými otvormi a tiež pre viacvrstvové DsPS. Sú biele, modré alebo

zelené a priesvitné. Z tejto kategórie materiálov DsPS je v súčasnosti najčastejšie používaný v rozličných elektronických aplikáciách materiál FR-4 a to i napriek tomu, že v porovnaní napr. s materiálom FR-5, ktorý sa vyznačuje vyššou tepelnou odolnosťou avšak i vyššou cenou, má horšie vlastnosti. Materiál FR-4 má dobré mechanické vlastnosti a to vďaka tomu, že je vystužený spradeným sklotextilom. Môže byť zložený z niekoľkých listov prepregu (prepreg - nevytvrdený lepiaci list), ktoré vznikli naimpregnovaním sklenej tkaniny epoxidom a to v hrúbkach 0,65 až 1,6 mm. Materiál FR-4 je pomerne lacný a má dobré dielektrické vlastnosti vhodné pre elektronické aplikácie. Nie je vhodný pre vysokofrekvenčné aplikácie. Používa sa aj pre výrobu viacvrstvových DsPS. Existuje aj niekoľko nevýhod, pre ktoré niekedy výrobcovia zvažujú jeho použitie. Materiál FR-4 nie je rozmerovo stály, čo môže spôsobiť problémy hlavne pri osadzovaní elektronických súčiastok. V procese spájkovania veľmi často epoxidová živica v okolí teploty tavenia (120 až 160°C) mäkne a pritom sa môžu porušiť mechanické vlastnosti. Okrem toho sa pri ich obrábaní vytvára zdraviu škodlivý živicový prach plný sklenených vlákien. Pri mechanickom vŕtaní otvorov, v dôsledku trenia, dochádza k taveniu epoxidu, ktorý sa rozmazáva po nepokrytej medi a bráni tak následnému pokovaniu otvorov.

**Sklená rohož / polyesterová živica:** Podľa medzinárodného štandardu NEMA sa tento typ materiálu klasifikuje ako FR-6. Vlastnosti DsPS sú horšie ako u sklenej tkaniny, ale lepšie ako u papiera. Sú dobre strihateľné, majú konštantné dielektrické vlastnosti v oblasti vysokých frekvencií aj pri pôsobení vlhkosti a nízku relatívnu permitivitu. Sú odolné voči elektrickému oblúku, voči prepätiam, sú samozhášavé a ekonomicky výhodné. Používajú sa v kanálových vodičoch televízorov a pre teploty 100 – 105°C. Bývajú biele a nepriehľadné.

**Sklená tkanina / polytetrafluóretylén:** Podľa medzinárodného štandardu NEMA sa tento typ materiálu klasifikuje ako GT a GX. DsPS sú tepelne stále, nenasiakavé, majú výborné dielektrické a elektrické vlastnosti, hlavne zaručenú malú relatívnu permitivitu aj pri vysokých frekvenciách. Používajú sa v oblasti telekomunikácií a prístrojoch pracujúcich s RTG žiarením. Sú hnedé a priesvitné.

**Sklená tkanina / polyimidová živica:** U týchto DsPS sa niekedy pre dosiahnutie veľkej pevnosti používa aj uhlíkové vlákno. DsPS sa používajú pre teploty väčšie ako 200°C, sú odolné proti oxidácii a degradácii a majú nízky teplotný súčiniteľ dĺžkovej rozťažnosti v smere osi z. Sú veľmi drahé a používajú sa najmä pre špeciálne a vojenské účely pre veľmi náročné a pre viacvrstvové DsPS. Sú tmavohnedé a priesvitné.

### **c) Materiály pre plošné spoje na ohybných fóliách**

Materiály pre plošné spoje na ohybných fóliách predstavujú skupinu materiálov, ktorých postup výroby je prakticky zhodný s výrobou neohybných DsPS. Základný materiál je na báze ohybných fólií s maximálnou hrúbkou 250 µm, na ktorý sa ako na izolačnú nosnú vrstvu lepiacim lakom viaže medená fólia. Najčastejšie materiály pre plošné spoje na ohybných fóliách sú:

**Polyetylénová fólia** (PEN - polyethylene naphtalate) je na báze vysokoteplotne odolnej fólie, ktorá je odolná voči vode, pare a rozpúšťadlám. Aplikuje sa pre teploty do 160°C. Táto fólia je dobrý elektrický izolant a používa sa pre ohybné DsPS, ohybné káble, tlačené spoje a aplikácie v strojoch.

**Polyesterové fólie** (PET - Polyester), ktoré sú vysoko ohybné (môžu tvoriť napr. pružnú cievku). Používajú sa v rozpätí 80 - 130°C. Pri spájkovaní sa musí zachovať technologický postup, lebo materiál mäkne a porušuje sa jeho mechanická pevnosť a teda nie je vhodný pre hromadné spájkovanie. Má výborné elektrické vlastnosti aj pri vysokej vlhkosti.

**Polyimidové fólie** (PI – Polyimid označovaný Kapton) majú veľmi dobrú ohybnosť a ak sa pred spracovaním odstráni vlhkosť predohrevom, dajú sa spájkovať napr. technológiou reflow. Do hrúbky 130 µm znášajú trvalo teploty od - 40 do 230°C a krátkodobo do 400°C. Sú

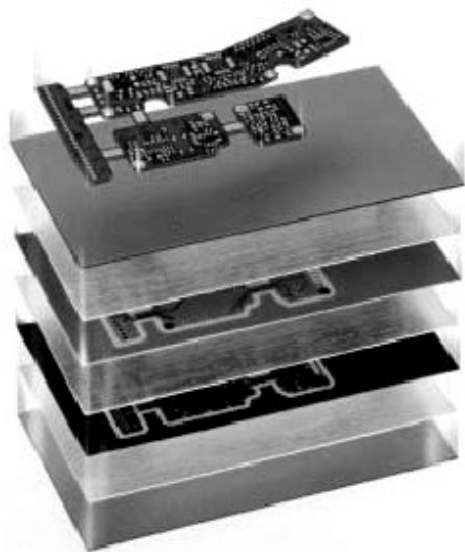
veľmi drahé (10 násobne viac ako polyesterová fólia), a preto sa používajú len na špeciálne účely (kamery, kazetové prístroje vysokej technickej úrovne).

**Fólie z fluorovaných polymérov** sa vyrábajú v hrúbke 25 - 125  $\mu\text{m}$ . Sú tepelne stále, málo nasiakavé a majú malú relatívnu permitivitu. Používajú sa v oblasti vysokých teplôt a vysokých frekvencií (metrológia, telekomunikácie).

**Aramidový papier** má výbornú tepelnú odolnosť a rovnakú cenu ako polyesterová fólia. Má široké uplatnenie.

Na fóliách ohybných DsPS sa medená fólia lepí podľa použitia polyesterovým, polyimidovým (Ietectvo) alebo samozhášavým akrylátovým lakom.

#### **d) Materiály pre viacvrstvové DsPS**



*Obr. 8.5 Viacvrstvová DsPS zložená z obrazcov vodivých vrstiev obojstranne plátovaných DsPS a lepiacich listov – prepregov*

Viacvrstvové DsPS (obr. 8.5) sa skladajú z obrazcov vodivých vrstiev na báze obojstranne plátovaných DsPS (najčastejšie typu FR-4) a izolačných laminovacích (lepiacich) listov uložených nad sebou. **Lepiaci list** (prepreg) je materiál zložený zo sklenej látky a čiastočne vytvrdenej alebo nevytvrdenej živice.

Celok zložený z viacerých DsPS a lepiacich listov medzi nimi sa musí starostlivo nad sebou poskladať a zlisovať za tepla najlepšie vo vákuu. Potom nasledujú operácie podobné ako u dvojvrstvových DsPS (vrtanie a pokovovanie). Dnes majú typické viacvrstvové DsPS 4 až 6 vnútorných vrstiev. Viacvrstvové DsPS majú pomerne vysoké % poruchovosti výrobkov, čo predražuje ich výrobu. Sú náročné i na technológiu spracovania a s rastúcim počtom vnútorných vrstiev rastú i náklady na technológiu spracovania. Niektoré vlastnosti DsPS dostupných na Slovensku sú uvedené v tab. 8.5.

*Tabuľka 8.5 Niektoré vlastnosti DsPS dostupných na Slovensku*

<b>Cuprekart PFH</b>	<i>Celulóзовý papier a fenolická živica: samozhášavý, lacný, rozmerovo a tepelne nestály.</i>
<b>Cuprekart PEF</b>	<i>Celulóзовý papier a epoxidová živica: zvýšená odolnosť voči vysokým teplotám, pri spájkovaní (10 s pri 260°C), rozmerovo a tepelne stály.</i>
<b>Cuprextit SEA</b>	<i>Sklená látka a epoxidová živica: nevhodný je na výrobu dosák s pokovenými otvormi, ale pre nízku cenu je často najpoužívanejší materiál.</i>
<b>Cuprextit SEC</b>	<i>Sklená látka a brómepoxidová živica: vhodný aj pre pokovené otvory, pre obojstranné DsPS, svetločervenej farby.</i>
<b>Cuprextit SEB</b>	<i>Sklená látka a epoxidová živica: vhodný pre dosky s pokovenými otvormi, sivomodrý až modrý.</i>