

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Povrchové ochrany elektronických sestav

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel ROUS**

Osobní číslo: **E16B0142P**

Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**

Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

Název tématu: **Povrchové ochrany elektronických sestav**

Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s problematikou vlivů prostředí na spolehlivost elektronických zařízení. Proveďte rešerši používaných metod ochrany elektronických zařízení před vlivy prostředí.
2. Zpracujte přehled způsobů ochrany elektronických substrátů a využívaných ochranných materiálů.
3. Identifikujte důležité parametry ochranných povlaků s ohledem na jejich aplikaci.
4. Vytvořte systém (databázi) pro evidenci a vyhledávání vhodných materiálů a způsobů jejich aplikace.
5. Naplňte systém shromážděnými daty materiálů získaných během rešerše.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

1. Coombs, Clyde F. Printed circuits handbook.
2. Klein Wassink, R. J. Soldering in Electronics.
3. Hwang, J. Environment-Friendly Electronics: Lead-free Technology.
4. Internet

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. František Steiner, Ph.D.
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: 5. října 2018
Termín odevzdání bakalářské práce: 13. června 2019


Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kús, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 5. října 2018

Abstrakt

Tato práce se zabývá problematikou konformních povlaků a jejich parametrů. V práci jsou shrnuty negativní vlivy působící na desky plošných spojů a vlastnosti konformních povlaků, které pomáhají před negativními vlivy chránit. Výsledkem práce je dále navržená a naplněná databáze konformních povlaků s možností přidání nových povlaků a následné vyhledávání dle důležitých parametrů pro usnadnění výběru vhodného konformního povlaku.

Klíčová slova

deska plošného spoje, konformní povlak, vlivy prostředí, vlhkost, nečistoty, teplota, koroze, elektrochemická migrace

Abstract

This thesis deals with the problem of conformal coatings and their parameters. The thesis summarizes the negative effects on printed circuit boards and the properties of conformal coatings that help to protect against negative effects. The result of this work is a filled database which is designed with the possibility of adding new conformal coatings and offer searches for important parameters to facilitate the selection of a suitable conformal coating.

Key words

printed circuit board, conformal coating, environmental influences, moisture, dirt, temperature, corrosion, electrochemical migration

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 11.6.2019

Pavel Rous

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Františkovi Steinerovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ	11
1.1 Vlivy prostředí na spolehlivost elektronických zařízení.....	12
1.1.1 Vlhkost.....	13
1.1.2 Nečistoty.....	13
1.1.3 Vibrace.....	13
1.1.4 Teplota.....	14
1.1.5 Chemické látky.....	14
1.2 METODY POVRCHOVÉ OCHRANY ELEKTRONICKÝCH SUBSTRÁTŮ.....	15
1.3 KONFORMNÍ POVLAK.....	15
1.3.1 Druhy konformních povlaků.....	16
1.3.2 Způsoby nanášení konformních povlaků.....	19
2 STANDARDY PRO KONFORMNÍ POVLAKY	22
2.1 IPC-CC-830B.....	23
Požadavky normy.....	24
2.2 MIL-I-46058C.....	26
3 DATABÁZE KONFORMNÍCH POVLAKŮ	29
3.1 MICROSOFT ACCESS.....	29
Objekty.....	29
3.2 DŮLEŽITÉ PARAMETRY.....	30
Parametry pro vyhledávání.....	31
3.3 VLASTNÍ PRÁCE NA DATABÁZI.....	31
Obsažená data.....	34
4 ZÁVĚR	35
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	36

Seznam symbolů a zkratek

AR.....	Acrylic Resin
ER.....	Epoxy Resin
SR	Silicone Resin
UR.....	Urethane (Polyurethane) Resin
XY	Paraxylylen
UT.....	Ultra-Thin Coatings
SC	Styrene Block Co-Polymer
DPS.....	Deska plošných spojů
PCB.....	Printed Circuit Boards
THT	Through hole technology
SMT	Surface mount technology
IPC	The Institute of Printed Circuit
UV	Ultraviolet
DLA	Defense Logistics Agency
QPL.....	Qualified Products List

Úvod

Elektronická zařízení jsou součástí běžného života, přicházíme s nimi do styku jak v soukromém životě, tak v pracovním. Od počátku 19. století se začali objevovat osobnosti jako jsou Alessandro Volta, André-Marie Ampère, Georg Simon Ohm, kteří během poloviny 19. století objevily základní elektrické zákony a dokázali, že tento obor změní svět. Za tu dobu se na výzkumu a vývoji elektřiny podepsalo mnoho velikánů, kteří nám umožnili využívat elektroniku tak, jak ji známe dnes.

Příčemž největší rozkvět tohoto oboru dokázali v Bellových laboratořích koncem roku 1947 kdy byl vytvořen první tranzistor, který umožnil miniaturizaci a energetickou úsporu oproti elektronkám. Díky miniaturizaci se v postupných letech zmenšovaly rozměry těchto polovodičových součástek, v roce 2012 vědci v laboratorních podmínkách vytvořili tranzistor o velikosti atomu. [1]

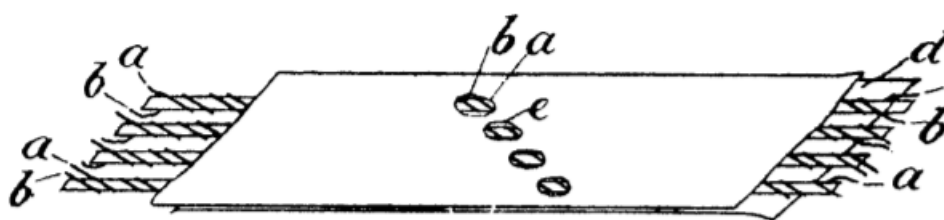
Elektronické součástky je třeba nějak spojit, využití propojek a drátů je nevhodné a mechanicky citlivé. Proto je třeba využití nějakého pevného nevodivého materiálu, který nám bude držet jednotlivé součástky a umožní jejich vodivé spojení. A tak přišly na svět desky plošných spojů, díky kterým výsledné obvody nepotřebovaly tolik prostoru.

Výzkum miniaturizace přináší i spoustu problémů, a to hlavně ve využití v běžném životě, kdy má prakticky každý elektroniku v kapse, na ruce, nebo pod kapotou automobilu, kde je vystavena nepřízní okolí. Z tohoto důvodu bylo potřeba zajistit ochranu plošných spojů vůči vnějším vlivům prostředí, ať už jde o ovzduší samotné, nebo o znečištění prostředí kde je potřeba elektroniku využívat.

V dnešní době se používá nejčastěji ochrana v podobě konformního povlaku, který nejen že ochrání elektroniku vůči znečištění, ale zvýší její dielektrické vlastnosti, což nám umožňuje další miniaturizaci.

1 Desky plošných spojů

S deskami plošných spojů se setkáváme již přes 100 let, kdy v roce 1903 si německý vynálezce Albert Hanson nechal patentovat plochý, foliový vodič na izolační desce s více vrstvami. Při navrhování obvodů je třeba se držet určitého standartu a nahodilé propojení součástek drátky sebou nese spoustu problémů jak u montáže, tak při případných poruchách. Proto je potřeba obvod navrhnout tak, aby bylo snadné identifikovat jednotlivé součástky a vodivé cesty. [2], [3], [4], [5]



Obr. 1.1 - První patent DPS od Alberta Hansona [1]

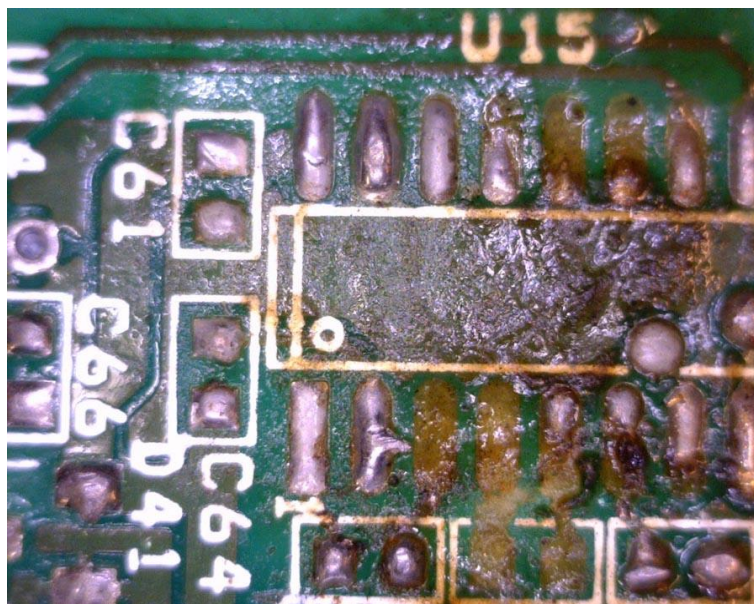
Desky plošných spojů, tak jak je známe nyní si nechal patentovat vídeňský vynálezce Paul Eisler v roce 1943, což je leptání vodivého vzoru do měděné folie na nevodivé základně vyztužené skleněnými vlákny a následné připojení součástek s drátovými vývody, což je mechanické usazení vodivých drátků vývodů komponentů do děr v desce plošných spojů a jejich následné zapájení, tato technologie nazývaná THT se rozšířila až objevem tranzistoru po druhé světové válce, kdy probíhala studená válka mezi kapitalistickými a socialistickými státy. Vynález tranzistoru umožnil vývoj elektrotechniky mnohem menších rozměrů, než bylo doposud pomocí elektronek možné, čímž se zmenšila i konstrukční velikost zařízení. [5], [1]

V roce 1961 byla patentována americkou firmou Hazeltine technologie využití THT ve vícevrstvých DPS, což umožnilo další zhuštění součástek a vodivých cest. Technologie desek plošných spojů a následné osazování pomocí THT, bylo po ekonomické stránce poměrně nákladné, protože jednotlivé vrtání značně zdržuje výrobu, s řešením pomohla technologie povrchového osazování SMT, kdy se komponenty umísťují přímo na povrch desky plošných spojů, tato technologie díky odstranění drátkových vývodů zmenšila velikost součástek a umožnila vyšší integraci na DPS. [3], [5]

Vývoj desek plošných spojů pokračuje dále, kdy je hlavní cíl minimalizace rozměrů a vyšší hustota vodivých cest, kde ale narážíme na limity, co se týče dielektrických vlastností izolačního materiálu, na kterém jsou vytvořeny vodivé cesty a v hlavním případě náročnosti prostředí, ve kterých se elektronika využívá. S tímto souvisí znečištění vodivých cest, kdy dochází ke zhoršení vodivosti, nebo naopak dielektrické pevnosti mezi cestami. [3], [6]

1.1 Vlivy prostředí na spolehlivost elektronických zařízení

Nepříznivé okolní podmínky jsou pro desku plošných spojů velkým problémem, jedná se o vlhkost, chemikálie a nečistoty. Velká vlhkost prostředí způsobí kondenzaci vody na deskách plošných spojů, což v kombinaci s všudypřítomným kyslíkem urychlí proces koroze, která má za následek zhoršení vodivostních podmínek a urychlené stárnutí vodivých cest a kontaktů. Chemikálie v náročných oblastech průmyslu mají na degradaci materiálu vodivých desek také velký vliv. Nečistoty jako takové způsobují problémy ve všech oblastech nehledě na elektro průmysl, kdy v případě desek plošných spojů mohou způsobit narušení dielektrické pevnosti mezi vodivými cestami a následné zkratky, které mohou v nejhorším případě způsobit kompletní zničení celé elektronické sestavy. [7], [6]



Obr. 1.2 - Koroze na desce bez konformního povlaku [8]

1.1.1 Vlhkost

Absolutní vlhkost je množství vodní páry obsažené v jednotce vzduchu, jejíž základní jednotkou je gram na metr krychlový. Relativní vlhkost se naopak udává v procentech a hodnotí stav skutečnosti oproti stejnému vzorku vzduchu plně nasyceného vodní parou. [7]

Vlhkost snižuje spolehlivost elektronických sestav nejenom obecně známou korozí. Jedná se například o delaminaci levných kompozitních materiálů, narušení fyzikálních vlastností skelných vláken, která se používají jako základní prvek výroby plošných spojů. Vlhkost působí negativně na povrchový odpor plošných spojů, což u vysokofrekvenční číslicové elektroniky může mít za důsledek narušení frekvence časovače, nebo změnit hodnotu impedance u Hi-Fi zesilovačů. Dále za přítomnosti vlhkosti vzniká elektrochemická migrace, která probíhá pod napětím mezi blízkými vodivými cestami, kdy dochází jako při elektrolýze k migraci kovových iontů ke katodě, čímž se snižuje izolační odpor a může dojít ke zkratu. [9]

Hodnota relativní vlhkosti v běžném prostředí se pohybuje okolo 50 %, kdy je rychlost koroze poměrně nízká, ale již při 60 % začne rychlost koroze exponenciálně růst. Naopak ani nízká vlhkost není v pořádku, při vlhkosti nižší, než je 30 % může vytvořit osoba jdoucí po koberci až 20 kV statické elektřiny, což je pro elektroniku ve většině případů destruktivní. [9], [10]

1.1.2 Nečistoty

Prach je složen z částic anorganických minerálních látek, organických látek a částic vody. Běžně se jedná o částice pylu, půdního prachu, textilu, papíru, odumřelých kožních buněk, vlasů. V průmyslu prach obsahuje částice z výrobních materiálů, jako například kov, různé druhy polymerů, dřevo atd. Většinou se jedná o částice menší, než je 1 μm . Prach v kontaktu s deskou plošných spojů se chová jako izolační příkrývka, která znesnadňuje chlazení jednotlivých komponent, zároveň snižuje izolační odpor mezi vodivými cestami, což může vést k průrazu. [6], [10], [11]

1.1.3 Vibrace

At' už jde o vibrace, jednorázové mechanické rázy nebo případná deformace desek plošných spojů, je třeba minimalizovat škody tímto způsobené. V dnešní době rostoucí e-

mobility vznikají velké nároky na mechanickou odolnost elektroniky. V automobilovém průmyslu je 20 % veškerých selhání elektronických systémů způsobeno vibracemi a mechanickými rázy. [12], [13]

Co se týče osazených desek plošných spojů, tak při působení vibrací či mechanických rázů může docházet k narušení pájených spojů, čímž mohou vznikat studené spoje, v nejhorším případě odpadnutí součástky. Tyto problémy se dají částečně eliminovat použitím lepidla na součástky, konformními povlaky, nebo zalévacími hmotami, kdy dojde k mechanickému spojení veškerých komponentů a tím pádem rozložení otřesů na celou desku. [12], [14], [15]

1.1.4 Teplota

Elektronické sestavy jsou tepelně namáhány jak z okolního prostředí, tak z bezprostřední blízkosti jednotlivých osazených komponentů. Prakticky všechny součástky vyzařují do okolí určité množství tepla, nejzřetelnější vliv mají integrované obvody, z tohoto důvodu se v zapojeních využívají chladiče, aby snadno rozvedly teplo na velkou plochu, kde dojde k pasivnímu ochlazení okolním vzduchem, popř. za použití ventilátorů se urychlí proudění a výměna vzduchu a tím pádem se ochlazení urychlí. Jako další způsob chlazení elektronických sestav se dá využít i vodivý povrch, kde se nachází vodivé cesty. Na místech, kde vodivé cesty nejsou třeba, se měď neleptá a využívá se pro rozvod ztrátového tepla, který opět díky plošnému rozložení může snadno vychladnout.

Veškeré komponenty jsou dimenzované na určitou provozní teplotu a v případě že se okolní teplota změní, dojde ke změnám elektrických vlastností součástek. Udává se, že životnost elektroniky klesne na polovinu v případě zvýšení okolní teploty o 10°C. Naopak u nosného substrátu DPS může při překročení teploty skelného přechodu docházet ke změkčování pryskyřic a následnou delaminaci vnitřních skelných vláken, případně delaminaci vodivých cest. [6], [7], [9]

1.1.5 Chemické látky

Deska plošných spojů prochází při výrobě a osazování spoustu kroků, při kterých může dojít ke kontaminaci vodivých cest. Problém chemické kontaminace desek je velmi složitý, pro zjištění příčiny oxidace je třeba zjistit, co za látku se dostala do styku s vodivými částmi

desky. Jedná se hlavně o sirovodík (H_2S), oxid siřičitý (SO_2), oxid dusnatý (NO) a chlor (Cl_2). Při kontaktu těchto látek s vodou dojde k přeměně na kyseliny. V případě oxidu siřičitého dojde v kombinaci s vodou k přeměně na kyselinu sírovou, která v koncentrované formě způsobuje oxidaci mědi. [6], [12], [16]

1.2 Metody povrchové ochrany elektronických substrátů

Proti nepříznivému prostředí je třeba desky plošných spojů chránit, což znamená, že je potřeba něčím zakrýt. Nejpoužívanější ochrana DPS je konformní povlak, který nám ochrání desku včetně jejích komponentů, aniž by ji nějak znatelně přidal na váze či na objemu. S tím přichází další varianta povrchové ochrany a tou je zalévací hmota, kde se jedná o elektroniku uloženou v pouzdře a následně zalitou zalévací hmotou. Zalévací hmota se využívá v oblastech, kde je kladen mnohem větší důraz na ochranu a životnost výrobku. [17]

Konformní povlak je vhodný pro svoji tloušťku do malých zařízení, oblastí, kde je kladen důraz na rozměry a v místech, kde není elektronika pod velkým vlivem mechanických vibrací apod. [8]

Zalévací hmota je ideální pro zařízení, u kterého se očekává odolnost proti nárazu. Většina součástek na DPS drží pouze za pomoci pájky, a ačkoliv součástky jsou miniaturní a lehké, tak dlouhodobé působení otřesů a vibrací, proto je důležité součástky upevnit. K tomu slouží zalévací hmota, která součástky mechanicky spojí a vytvoří z nich jeden velký blok. Další výhodou a možností využití je, díky neprůhlednému materiálu substrátu, ochrana proti reverznímu inženýrství, kdy je velmi obtížné se dostat zpět na desku plošných spojů, bez důkladné demontáže. [10], [16], [17]

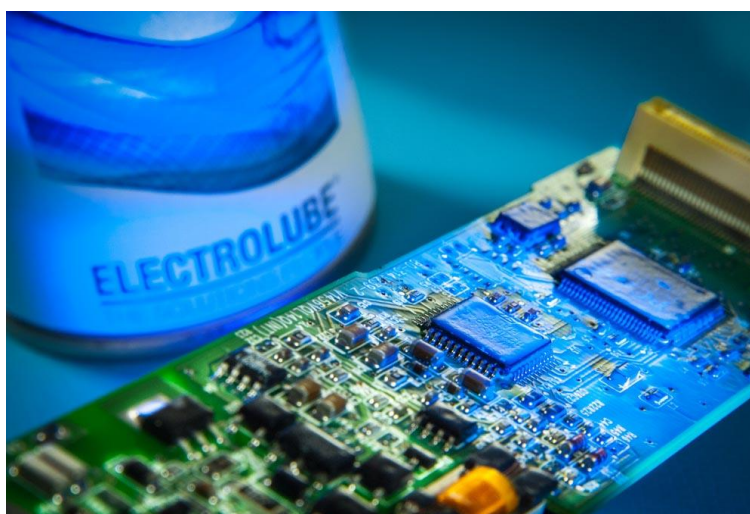
Pro výběr způsobu povrchové ochrany je třeba zvážit využití výsledného elektronického celku. Konformní povlak nabízí snazší aplikaci, minimální rozměry a možnost následné opravy (záleží na materiálu). Zalévací hmota naopak mechanickou odolnost a ochranu proti reverznímu inženýrství, ale za cenu prakticky nemožné opravy a výsledné velikosti. [8]

1.3 Konformní povlak

Konformní povlak je nevodivá polymerová vrstva, jejíž tloušťka se běžně pohybuje mezi 25-250 μm , která má za úkol prodloužit životnost desky ochranou jejích elektronických

součástí, pájených spojů, vodivých cest a jiných kovových částí před korozí a drsným prostředím. Konformní povlak zvyšuje izolaci mezi jednotlivými vodivými částmi desky. [16]

Obecně se kladou na konformní povlaky velké nároky z důvodu využití elektroniky v lékařství, armádě, letectví, automobilovém průmyslu a průmyslu jako takovém. V případě spotřební elektroniky, se kterou se setkáváme čím dál více v běžném životě, jde především o ochranu před povětrnostními vlivy a chemií, jako jsou různé mycí, kosmetické a potravinářské prostředky. [18], [19]



Obr. 1.3 - Deska plošných spojů s nánosem konformního povlaku [8]

Vzhledem k tomu, jakou širokou škálou využití konformní povlak zahrnuje, je třeba vyjít vstříc ohromnému množství znečištění, před kterým má povlak chránit. Konformní povlaky je třeba přizpůsobit jednotlivým problémům a z tohoto důvodu je spousta materiálů, ze kterých se konformní povlak skládá a mnoho způsobů, jak jej nanášet na DPS. [19]

1.3.1 Druhy konformních povlaků

Některá elektronika potřebuje chránit před kondenzací vody, jiná má zase vydržet nápor solné mlhy, případně vydržet mechanické vibrace, nebo odolat vysokým teplotám. Proto jsou konformní povlaky různých vlastností, složení, typu vytvrzení a s tím související cenová náročnost. [20], [21]

Norma IPC-CC-830B udává dělení konformních povlaků dle materiálu na pryskyřici akrylovou, epoxidovou, silikonovou, polyuretanovou a na paraxylylen. [22]

Akrylová pryskyřice

Nejběžnější materiál konformních povlaků, jehož hlavní výhody jsou nízká cena a snadné nanášení. Dobré vlastnosti ochrany proti vlhkosti, solné mlze a korozi. Akryl má ale malou odolnost vůči teplu. Vystavením vysokých teplot materiál začne měknout a stane se křehkým, což snižuje chemickou odolnost. Materiál je možné odstranit za pomoci určitých rozpouštědel, což usnadňuje následné opravy. [19], [21], [23], [24]

Epoxidová pryskyřice

Epoxid patří mezi starší technologie. Jeho hlavní výhodou je extrémní tvrdost a odolnost vůči chemickým látkám, což je zároveň velká nevýhoda, protože odolává rozpouštědlům, takže je velmi obtížné povlak odstranit z důvodu následných oprav. Dnes se epoxid využívá podstatně méně, materiál je tvrdý, ale křehký a jeho nižší odolnost vůči vlhkosti snižuje elektrické vlastnosti, lze ho ale nalézt v oblastech s vysokým výskytem chemických látek. [19], [21], [23], [24]

Silikonová pryskyřice

Hlavní výhodou silikonu je jeho odolnost vůči teplotám, materiál má vysokou odolnost vůči vodě, protože je hydrofobní. Odolnost vůči adhezi vody sebou ale nese problém s nanášením materiálu na DPS, kvůli nízké přilnavosti může vzniknout delaminace materiálu. Materiál je méně odolný vůči plynům, obzvláště těm obsahujícím síru. Silikon je špatně rozpustný za pomoci ředidel, takže následné opravy mohou být obtížné. [19], [21], [23], [24]

Polyuretanová pryskyřice

Běžně využívaný materiál vlastnostmi podobný silikonu. Dobré dielektrické vlastnosti, velká odolnost vůči vlhkosti a rozpouštědlům díky nízké adhezi povrchu, což jako u silikonu znamená problém při nanášení, aby nevznikala delaminace. [19], [21], [23], [24]

Paraxylylen

Tento materiál se používá poměrně krátce a už je celkem oblíbený. Nanášení probíhá jinak než u ostatních materiálů, paraxylylen se nanáší ve vakuové komoře, kde je jeho složka před polymerizací zahřívána, dokud nepřejde do plynného stavu a pak se vpustí do vakuové komory, kde se následně polymerizuje na povrchu desky plošných

spojů, z tohoto důvodu je důležité zakrýt komponenty, na kterých konformní povlak nemá být. Materiál je poměrně tvrdý, ale křehký, má velkou odolnost vůči teplu a velkou chemickou odolnost. Hlavní nevýhodou je samotný proces nanášení, který je třeba dělat separátně od linkové výroby. [19], [21], [23], [24]

Výrobci konformních povlaků dále rozlišují dle způsobu ředění. Povlaky mohou být na bázi rozpouštědla, na bázi vody, nebo mohou být bez rozpouštědel a tento typ materiálu se dále dělí dle způsobu vytvrzení tepelné, chemické, při pokojové teplotě, nebo za pomoci UV světla. U povlaků je také důležitý způsob nanášení, který závisí na viskozitě liquidu. [21], [24]

Na bázi rozpouštědla

Polymerní materiál rozpustný v nosném rozpouštědle s nízkou viskozitou. Ředěním vhodným ředidlem usnadňuje volbu způsobu nanášení. Sušit se dá jak při pokojové teplotě, tak zrychleným sušením za pomoci horkého vzduchu. Díky rozpouštědlům je poměrně nízká rychlost schnutí. Nevýhoda tohoto typu je obsah těkavých organických sloučenin¹. [21]

Na bázi vody

Materiál ředitelný za pomoci vody je méně účinný oproti rozpouštědlům. Doba schnutí je delší a je třeba důkladně vyčistit povrch před nanášením. Při špatném způsobu schnutí mohou zůstat částice vody v povlaku a snižovat tím dielektrickou pevnost povlaku. [21]

Bez rozpouštědla

Tyto materiály obsahují pouze tekutý povlak, který po vytvrzení zůstane v objemu, ve kterém byl nanášen. [21]

- **Vulkanizace při pokojové teplotě**

Tento materiál se vytvrzuje za pomoci vlhkosti. K tvrdnutí materiálu dochází na povrchu a tím vzniká vytvrzená skořápka, uvnitř skořápky se následně vytvrzuje díky

¹ Těkavá organická látka (VOC) v kombinaci se slunečním zářením vytváří fotochemické oxidanty, které poškozují lidské zdraví a ozonovou vrstvu.

pórům, které jsou vlastností tohoto typu materiálu. Což ve výsledku znamená, že je konformní povlak méně odolný vůči vlhkosti a plynům. [21]

- **Vytvrditelné teplem**

K vytvrzování dochází za přítomnosti vysokých teplot 85 °C až 150 °C, vytvrzování trvá 30 minut a více. [21]

- **Vytvrditelné za pomoci chemie**

Jedná se o dvousložkový konformní povlak, kdy k vytvrzení dochází při smíchání těchto dvou složek. Díky tomuto má materiál lepší parametry. [21]

- **Vytvrditelné za pomoci UV světla**

K polymeraci materiálu dochází při intenzivním působení UV světla, proces je rychlý, ale je třeba jej doprovázet dalším způsobem vytvrzení, protože při osvětlení dochází k nevytvrzení určitých míst z důvodu stínění součástek. [21]

1.3.2 Způsoby nanášení konformních povlaků

Způsob nanášení se volí podle materiálu konformního povlaku. Vhodné způsoby nanášení je možné nalézt v produktových listech jednotlivých konformních povlaků. Dále volba způsobu nanášení závisí na dostupné technologii, protože každá varianta s sebou nese různé metody a požadavky. V případě jednorázové aplikace konformního povlaku stačí použití některé z ručních metod, v případě většího množství je vhodné využít některou z automatizovaných metod. [25], [26]

Nanášení štětcem

Jedná se o ruční metodu. Povlak se nanáší pomocí štětce na desku plošných spojů. Tato metoda je ekonomicky výhodná pro nízkou objemovou výrobu. Za pomoci malého štětce je možno nanést povlak jen na určitých místech dle požadavků. Nevýhodou této metody je fakt, že za pomoci štětce je prakticky nemožné vytvořit rovnoměrný povlak, což může mít za následek nedostatečné tloušťky povlaku, nebo naopak větší tloušťky, to může vést k popraskání povlaku při vytvrzování. Za pomoci štětce je možné vytvořit pouze jednu vrstvu konformního povlaku. [25]



Obr. 1.4 - Nanášení za pomoci štětce [8]

Nanášení za pomoci spreje

K nanesení povlaku se využívá ruční sprej, nebo automatizovaná technika postřiku. Při nanášení se rozptyluje aerosol, díky kterému můžeme získat rovnoměrný nános povlaku na desce plošných spojů. K tomu, aby aerosol vznikl, je potřeba, aby měl povlak nízkou viskozitu, což se dá zajistit přidáním vhodného ředidla, z tohoto důvodu není metoda vhodná pro konformní povlaky bez rozpouštědel.

Jedná se o cenově a kvalitativně nejlepší řešení pro nízko objemovou výrobu. Některé konformní povlaky jsou již připraveny v plechovce pro sprejování. Pro lepší kvalitu naneseného povlaku je možné využít stříkáci pistole. Aplikace se provádí ve stříkáci kabině, nebo v dostatečně větraném prostoru. Nevýhodou této metody je, že může vzniknout příliš silná vrstva, která při vytvrzování může popraskat.

Při zautomatizování této metody, kdy nástřik provádí stroj, lze získat lepší přesnost a možnost nanést povlak jen na určitých místech, v tomto případě se již jedná o selektivní nanášení povlaku. [25]

Selektivní nanášení povlaku

Automatizovaný konformní nátěr nanášený za pomoci robotických stříkácích míst, na předem specifikovaných oblastech. Tento proces je vhodný pro velkoobjemovou výrobu, stříkáci tryska může mít vestavěnou UV lampu, čímž je možné povlak vytvrdit hned po nanesení a zabránit tím znečištění tekuté vrstvy povlaku. Díky využití stroje získáme rovnoměrný nános.

Tato metoda je ekonomicky náročná, vzhledem k tomu že je potřeba automatizované linky a kvalifikovaného operátora. Nevýhodou této metody je fakt, že

při kolmém nanášení zůstávají pod součástkami slepá místa bez konformního povlaku. [25], [26]

Nanášení povlaku namáčením

Deska plošných spojů se pomalu vnoří do nádrže s konformním povlakem. Povlak se rovnoměrně rozloží na desce a dostane se i do špatně dostupných míst, pod součástkami. S tímto souvisí problém s místy na desce, na kterých konformní povlak nemá být, zakrytí těchto oblastí se nazývá maskování. Maskování je časově náročný proces, protože maska musí být nanášena a vysušena a po nanášení konformního povlaku je třeba masku odstranit, s čímž se nese problém s odstraněním masky, aby nedošlo k narušení konformního povlaku. Varianta nanášení masky je využití maskovacích krytek (masking boots), případně maskovací pásy, tyto varianty je ale obtížné zautomatizovat.

Nanášení povlaku namáčením vyřešilo problém ostatních metod nanášení v nekompletním nanášení povlaku v místech krytých součástkami, ale naopak je třeba zakrýt místa kde konformní povlak nemá být nanášen, navíc tato metoda lze využít jen pro některé desky plošných spojů. [25]

2 Standardy pro konformní povlaky

Standardy (normy) jsou sbírky pravidel stanovených třetí nezávislou stranou a pomáhají určit kvalifikované a schválené výrobky, které splňují zkušební specifikace pro danou normu a umožňují výrobcí poskytovat kvalitní výrobky díky minimálním požadavkům daných norem. [22]

Normy pro konformní povlaky jsou zde kvůli objektivnímu posouzení, zdali je daný povlak vhodný pro různé ovzduší, týká se především vojenského a automobilového průmyslu. Pro konformní povlaky existují tři hlavní normy MIL-I-46058C; UL746E; IPC-CC-830B. [22], [27], [28], [29]

Další kategorie norem pro konformní povlaky jsou:

- IPC-T-50 – Terms and Definitions for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits (Pravidla a definice pro spojování a balení elektronických obvodů)
- IPC-TM-650 – Test Methods Manual (Průmyslově schválené zkušební techniky a postupy pro zkoušky na deskách plošných spojů)
- IPC-4101 – Specification for Base Materials for Rigid and Multilayer Printed Boards (Specifikace pro základní materiály pevných a vícevrstevných desek)
- IPC-6012 Sectional Standard for Qualification of Rigid Printed Boards (Dílčí standard pro kvalifikaci pevných tištěných desek)
- MIL-STD-1188 Commercial Packaging of Suppliers and Equipment (Balení komerčních dodávek a vybavení)
- UL 94 Standard for Safety of Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances testing (Norma bezpečnosti hořlavých plastových materiálů v zařízeních a spotřebičích)

2.1 IPC-CC-830B

IPC je celosvětová organizace, která sdružuje různá odvětví v oblasti výroby elektroniky (designéři, výrobci desek, montážní společnosti, dodavatelé a výrobci elektronických zřízení). IPC byla založena v roce 1957 pod názvem Institute for Printed Circuits, později byla přejmenována na Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits, což později zkrátily na pouhé IPC, kvůli složitému názvu. [22]

IPC normy stanovují pravidla, kritéria, pokyny a postupy vyvinuté odborníky v elektronickém průmyslu. Normy usnadňují výrobcům práci při nastavování procesů tím, že jim ukáží přesné a jednotné postupy a standarty výroby umožňující dodání kvalitních výrobků zákazníkům. [22]

Norma IPC-CC-830B dělí materiály dle chemického složení konformního povlaku, norma dělí konformní povlaky na pět typů, kdy se konformní povlak kategorizuje dle největšího procentuálního množství. Norma uvádí typy povlaků:

- AR – Acrylic resin (akrylová pryskyřice)
- ER – Epoxy resin (epoxidová pryskyřice)
- SR – Silicone resin (silikonová pryskyřice)
- UR – Polyurethane resin (polyuretanová pryskyřice)
- XY – Paraxylylene (paraxylylen)

Novější verze normy IPC-CC-830C vydaná v lednu 2019 přidává další dva typy povlaků a to:

- UT – Ultra-Thin Coatings (ultratenký povlak)
- SC – Styrene Block Co-Polymer (styrenový blokový kopolymer) [29] [30]

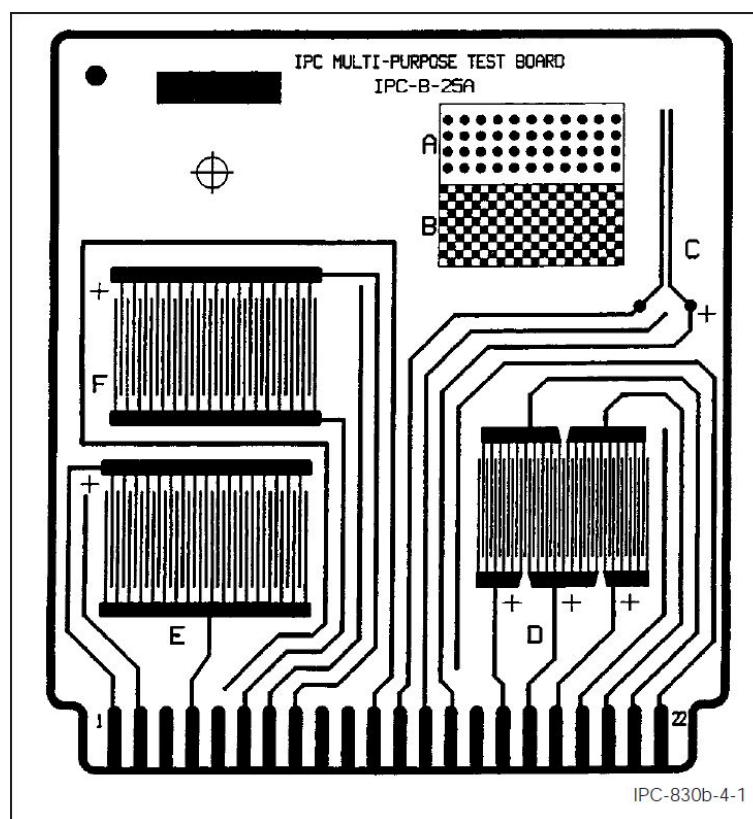
Konformní povlaky jsou dále děleny dle normy na třídy A a B. Dle třídy A nemusí být povlak hydrolyticky stabilní, test stárnutí na teplotu a vlhkost není v této třídě potřeba a nároky na izolační odpor při testu vlhkosti mohou být nižší. Třída B požaduje hydrolyticky stabilní povlak, testy stárnutí a izolačního odporu musí splnit požadavky dle normy. [22] [31]

Norma definuje slovíčko „shall“ („muset“) jako klíčový prvek k určení povinných ustanovení daných normou. [31]

Požadavky normy

Většina parametrů a vlastností daných normou IPC-CC-830B vycházejí z normy MIL-I-46058C, které v listopadu 1998 skončila aktivní podpora, ačkoliv se v průmyslu nadále využívá. [31]

Většina testů se odkazuje na soubor norem IPC-TM-650. Pro testování se využívá normovaná víceúčelová deska IPC-B-25A. [31]



Obr. 2.1 - IPC-B-25A Víceúčelová testovací deska [31]

Norma uvádí, že **materiál** konformního povlaku nesmí obsahovat žádné škodlivé látky. **Životnost** konformního povlaku musí být větší než nejmenší životnost jednotlivého komponentu. S životností konformního povlaku souvisí izolační odpor a napěťová odolnost dielektrika, jejichž parametry určuje tato norma. Konformní povlak po vytvrzení musí splňovat vlastnosti dodané výrobcem. [31]

Viskozita nevytvrzeného povlaku typu AR, ER, SR, UR se měří testovací metodou ASTM D-1084, výrobce musí udat za jakých podmínek byl test prováděn. [31]

Vzhled konformního povlaku se musí kontrolovat pod zvětšovací lupou umožňující 10x zvětšení. Vzhled nevytvrzeného povlaku nesmí obsahovat žádné vizuální vady, jako jsou bubliny, dírky, hrboly apod. Po vytvrzení musí být povrch povlaku hladký, homogenní, nelepavý apod. [31]

Konformní povlak typu AR, ER, SR, UR musí být pod ultrafialovým světlem dle normy fluorescenční. **Fluorescence** konformního povlaku slouží pro kontrolu rovnoměrného nanesení povlaku a ochraně všech součástí, kontaktů a vodivých cest. [31]

Test **odolnosti vůči plísním** slouží ke zjištění, zdali je možné, aby na povrchu konformního povlaku vznikaly plísně a jestli nemají negativní vliv na vlastnosti povlaku. Test probíhá dle normy IPC-TM-650 za pomoci testovací metody 2.6.1.1. [31]

Pružnost konformního povlaku se ověřuje nanesením povlaku na pocínované desky dle normy FED-STD-141 a následným ohnutím. Konformní povlak po testu nesmí mít žádné praskliny a trhliny. Test probíhá dle normy IPC-TM-650 za pomoci testovací metody 2.4.5.1. [31]

Vytvrzený konformní povlak musí splňovat normu UL 94 HB, která stanovuje parametry při **hoření** umělých hmot, parametr normy HB udává rychlost retardace plamene. [31]

Napěťová odolnost dielektrika určuje, zdali je konformní povlak odolný vůči průrazu vysokým napětím. Test probíhá na testovací desce IPC-B-25A, kdy je minutu zatěžována střídavým napětím 1,5kV. Po testech vzorků nesmí být žádné průrazy jak na povrchu, tak uvnitř povlaku. Velikost unikajícího proudu nesmí být větší než 10 μ A. Test probíhá dle normy IPC-TM-650 za pomoci testovací metody 2.5.7.1. [31]

Konformní povlak musí být testován na **odolnost proti vlhkosti** dle normy IPC-TM-650 za pomoci testovací metody 2.6.3.4. Test vytvrzeného konformního povlaku probíhá na testovacích deskách IPC-B-25A, kdy je ve zkušební komoře napojen na střídavé napětí a

namáhán cyklicky změnami teploty a vlhkosti. Po testech se měří hodnota **izolačního odporu**, kdy pro třídu A musí být minimální hodnota izolačního odporu $500\text{M}\Omega$ a pro třídu B $100\text{M}\Omega$. Měření musí proběhnout po 24 hodinách od cyklického testování, kdy se ustálí teplota a vlhkost prostředí na referenční hodnotu ($25 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$; $50 \pm 5 \%$ vlhkosti). [31]

Odolnost proti teplotnímu šoku se testuje podle normy IPC-TM-650 za pomoci testovací metody 2.6.7.1, kdy je vzorek zatěžován od teploty $-65 \text{ }^\circ\text{C}$ do $125 \text{ }^\circ\text{C}$ ve 100 cyklech. Testovací vzorek musí být ponechán po dobu 24 hodin v prostředí s referenčními hodnotami prostředí ($25 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$; $50 \pm 5 \%$ vlhkosti). Poté musí být vzorek testován na napěťovou odolnost dielektrika, zdali nedochází k průrazu a musí podstoupit vizuální kontrolu, zdali se na povrchu konformního povlaku nenacházejí vady jako jsou bubliny, dírky, hrboly, lepkavý povrch apod. [31]

Hydrolytická stabilita se testuje pro třídu B, kdy se vzorek uloží do zkušební komory s parametry prostředí $85 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ a $95 \pm 4 \%$ vlhkosti kde dochází ke stárnutí testovacího vzorku po dobu 120 dní. Vzorek se musí kontrolovat každých 28 dní v komoře na nevhodné změny povrchu konformního povlaku jako je změkčení, lepivost, ztrátu přilnavosti, nebo případné praskliny a vizuální vady které znehodnocují kvalitu povlaku. Po 120 dnech testování se musí vzorek vystavit referenčním podmínkám prostředí po dobu 7 dní. Test probíhá dle normy IPC-TM-650 za pomoci testovací metody 2.6.11.1. [31]

2.2 MIL-I-46058C

Oficiální název této normy je Insulating Compound (For Coating Printed Circuit Assemblies), v překladu Izolační směs (pro lakování sestav tištěných obvodů). Norma umožňuje určit, zda daný povlak splňuje předepsané body, které na vzorku mají být vykonány a zdokumentovány. [27]

Normu MIL-I-46058C má na starosti společnost DLA (Defense Logistics Agency). Tato společnost chrání celosvětový dodavatelský řetězec, od počátku výroby až ke koncovému uživateli, pro armádu, námořnictvo, letectvo a další státní společnosti. Tato společnost spravuje QPL (Qualified Products List), který obsahuje seznam výrobků splňující danou normu, včetně podrobností o výrobku. Konformní povlaky musí být každoročně testovány, aby mohly zůstat na QPL. [27] [32]

Norma definuje vlastnosti konformního povlaku a jejich parametry.

Curing Time and Temperature (doba a teplota vytvrzování): Povlak musí splnit požadavky normy při vytvrzování dle pokynů výrobce. [27]

Appearance (vzhled): Po vytvrzení dle pokynů výrobce se vzorek kontroluje pod lupou (10x zvětšení) za pomoci ultrafialového světla, povrch se kontroluje, zdali je povlak hladký, homogenní, průhledný, bez bublin, děr, bílých míst, puchýřků a nesmí se odlupovat. [27]

Coating Thickness (tloušťka povlaku): Tloušťka se měří mikrometrem na naneseném povlaku na skleněné desce dle normy. Tloušťka pro AR, ER a UR musí být $51 \pm 25 \mu\text{m}$, pro SR $127 \pm 76 \mu\text{m}$ a pro typ XY má být tloušťka povlaku $15 \pm 3 \mu\text{m}$ [27]

Fungus resistance (Odolnost vůči plísním): Odolnost vůči plísním se zjišťuje nanesením povlaku na skleněnou desku a nechá se vystavit po dobu 28 dní podle normy ASTM G-21. Povrch povlaku musí odolat vzniku plísní. [27]

Shelf life (životnost): Vzorek se uloží na dobu 6 měsíců do prostředí s teplotou $25^\circ \pm 5^\circ\text{C}$. Po stárnutí musí splnit požadavky pro Appearance, Insulation resistance a Dielectric Withstanding Voltage. [27]

Insulation resistance (izolační odpor): Průměrný izolační odpor všech testovaných vzorků musí být minimálně $2,5 \times 10^{12} \Omega$ a zároveň nejmenší odpor jednotlivého vzorku nesmí překročit minimální hodnotu $1,5 \times 10^{12} \Omega$, pokud není uvedeno jinak. [27]

Dielectric Withstanding Voltage (napěťová odolnost dielektrika): Vzorek se namáhá napětím 1,5kV. Po testech vzorků nesmí být žádné průrazy jak na povrchu, tak uvnitř povlaku. Velikost unikajícího proudu nesmí být větší než $10 \mu\text{A}$ [27]

Q (rezonance): Vzorek je měřen kvůli zjištění procentuální změny činitele jakosti po nanesení konformního povlaku a poté po ponoření do destilované vody. V destilované vodě musí být po dobu 24 ± 2 hodin o teplotě $23^\circ \pm 2^\circ\text{C}$. Minimální hodnoty činitele jakosti vzorků před nanesením konformního povlaku musí být pro frekvence 1 MHz – 50, 50 MHz - 70 a 100 MHz - 70. [27]

Tab. 1 - Změny činitele jakosti vzorky

Stav	Měřená frekvence	Maximální povolená procentuální změna v Q				
		AR	ER	SR	UR	XR
Před a po nanesení konformního povlaku	1 MHz	9	8	8	5	8
	50 MHz	19	10	12	8	7
	100 MHz	9	14	12	10	11
Před a po ponoření do destilované vody	1 MHz	9	12	10	10	11
	50 MHz	5	15	12	10	7
	100 MHz	7	20	16	10	7

Thermal shock (teplotní šok): Konformní povlak musí být testován podle normy MIL-STD-202-107. Po testování musí splnit požadavky pro Appearance a Dielectric Withstanding Voltage. [27]

Moisture resistance (odolnost proti vlhkosti): Konformní povlak musí být testován podle normy MIL-STD-202-106. Po testu musí splnit vzorek požadavky pro Appearance a Dielectric Withstanding Voltage a průměrný izolační odpor všech vzorků pro AR, SR, UR a XY musí být minimálně $1 \times 10^{10} \Omega$ a zároveň nejmenší odpor jednotlivého vzorku nesmí překročit minimální hodnotu $5 \times 10^9 \Omega$ a pro typ povlaku ER musí být minimálně $1 \times 10^9 \Omega$ a zároveň nejmenší odpor jednotlivého vzorku nesmí překročit minimální hodnotu $5 \times 10^8 \Omega$. [27]

Flexibility (ohebnost): Test dle normy FED-STD-141 metoda 6221. Po testu povlaku dle normy nesmí být na povrchu známky prasklin a trhlin. [27]

Hydrolytic Stability (hydrolytická stabilita): Jeden vzorek musí být udržovaný jako referenční v oblasti s 25°C a 50% relativní vlhkostí. Tři panely musí být podrobeny zkoušce trvající 120 dní s teplotou $85^\circ \pm 1^\circ\text{C}$ a $95 \pm 4\%$ relativní vlhkostí. Po testu nesmí být na povrchu puchýřky, praskliny, povrch nesmí být měkký a lepkavý. [27]

Flame resistance (odolnost vůči ohni): Test probíhá podle normy FED-STD-141 2021. Vzorek musí být nehořlavý a oheň retardující. [27]

3 Databáze konformních povlaků

Součástí zadání této bakalářské práce je vytvoření databáze konformních povlaků, která byla vytvořena za pomoci software Microsoft Access. Databáze slouží k zapisování, prohlížení a vyhledávání konformních povlaků. Databáze obsahuje dva formuláře, kdy jeden slouží k zápisu nových a prohlížení starých konformních povlaků a další formulář umožňuje vyhledávání povlaků.

Databáze slouží k organizaci dat logickým a snadným způsobem. Výstupem z databáze je přehledné a srozumitelné prostředí, kde jsou vyobrazeny data ze zdrojové tabulky databáze. V našem případě zdrojová tabulka obsahuje jednotlivé konformní povlaky a hlavně jejich parametry obsažené v datasheetech. Díky tomu umožňuje databáze zobecnění jednotlivých parametrů a jejich následnou správu, což nás zbavuje nutnosti prolézání jednotlivých datasheetů při vyhledávání.

3.1 Microsoft Access

Součástí kancelářského balíku Microsoft Office je také databázový program Microsoft Access, který jsem využil k vytvoření databáze konformních povlaků.

Microsoft Access je uživatelsky dostupný software zajišťující výrobu a správu databází v grafickém rozhraní. Tento software je vhodný pro uživatele bez znalosti programovacího jazyka. Microsoft Access ukládá data v takzvaných relačních tabulkách, které umožňují propojit určitá data v jedné tabulce s daty v tabulce jiné, čímž zpřehledňuje data v databázi a umožňuje jejich analýzu. [33]

Objekty

Microsoft Access nepracuje s daty sám od sebe, ale pro správu databáze nabízí takzvané objekty, jedná se o tabulky, dotazy, formuláře a sestavy. Tyto objekty jsou součástí databáze a množství objektů není nijak omezené, prakticky určují velikost infrastruktury databáze.

Tabulky

Tabulky obsahují surová data tak, jak je známe například z tabulkového procesoru Excel. Na rozdíl od Excelu mají jednotlivé sloupce různé datové typy, v základu se jedná o rozlišení, zdali jde o text nebo číslo, ale nabízí i logickou hodnotu Ano/Ne, datum a čas, nebo dokáže rozlišit takový hypertextový odkaz. Každá položka má také svoje ID, což je unikátní číslo umožňující výše zmíněné relační vztahy. [33]

Dotazy

Tento objekt umožňuje přistupovat k tabulkám přes uživatelem zadané pokyny, dokáže zpracovat víc tabulek najednou, nebo umožňuje následnou filtraci položek. Výsledná data se zobrazují obdobně jako v tabulkách. [33]

Formuláře

Jedná se o objekt umožňující nahlížení do tabulek a dotazů s grafickým rozhraním, umožňuje zadávání, prohlížení nebo změnu dat. Dává možnost vytvoření rozhraní podle uživatele. Může obsahovat různé interaktivní prvky umožňující ovládání formuláře za pomoci maker nebo jednoduchých příkazů. [33]

Sestavy

Sestavy se využívají pro výstupy údajů z tabulek a dotazů pro tisk, nebo prohlížení. Oproti formulářům neumožňují zápis nových dat. [33]

3.2 Důležité parametry

Podstatné parametry, na kterých závisí rozhodování při výběru vhodného konformního povlaku, jsou seřazeny podle důležitosti.

Materiál – dle druhu materiálu se dají odhadnout výsledné elektrické a mechanické vlastnosti konformního povlaku

Elektrická pevnost dielektrika – důležitá hodnota označující velikost namáhání, do kterého nedojde k průrazu, na délku dielektrika

Teplotní rozsah – udává teplotní rozmezí provozních teplot konformního povlaku

Způsoby nanášení – parametr závisící na možnostech uživatele

Viskozita – hodnota určující jakým způsobem bude moci konformní povlak nanášet, případně jak moc je jej třeba naředit

Hustota – hustota definuje váhové množství na jednotku objemu

Relativní permitivita – hodnota související s pevností dielektrika a povrchovým izolačním odporem

Povrchový izolační odpor – odpor konformního povlaku na povrchu

Doba schnutí – doba za kterou bude moci s deskou manipulovat

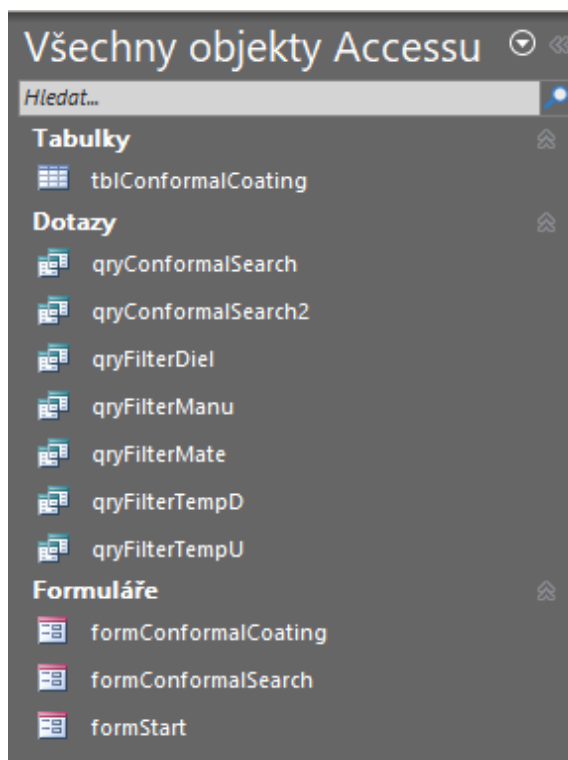
Parametry pro vyhledávání

Pro vytvoření vyhledávacího formuláře, bylo nutné zvolit jen ty nejdůležitější parametry, které snadno a přehledně vyfiltrují vhodné konformní povlaky. Mezi tyto parametry patří materiál, který sebou nese hlavní informaci o účelu využití konformního povlaku, tyto informace jsou obsaženy v kapitole 1.3.1 Druhy konformních povlaků.

Další důležité parametry jsou pevnost dielektrika a teplotní rozsah teplot. A pro specifické potřeby je možnost filtrovat podle výrobce a podle způsobu nanášení.

3.3 Vlastní práce na databázi

Databáze pracuje s jednou tabulkou obsahující většinu parametrů konformních povlaků, ze které vychází všechny objekty Accessu. Jedná se o tři formuláře, z nichž jeden funguje jako rozcestník, jeden slouží pro zápis nových dat a zobrazení současných a třetí slouží k filtrování dat.



Obr. 3.1 - Objekty databáze

Dále databáze obsahuje dotazy jednotlivých parametrů umožňujících filtrování, každý dotaz zobrazuje jeden parametr, který zároveň seskupuje a řadí podle abecedy, aby při výběru dat pro filtrování nedocházelo k duplicitě stejných parametrů.

Například dotaz *qryFilterMate* čte z tabulky typy materiálů všech položek, shodné názvy spojí do jednoho a následně je seřadí podle abecedy, takže výsledný výstup je volán rozbalovací buňkou ve formuláři, kdy při volbě filtrů vypíše možné typy materiálů zapsaných v tabulce, aniž by se objevovaly duplicity.

Dotaz *qryConformalSearch* a *qryConformalSearch2* slouží k filtrování dat závisející na vstupních parametrech z formuláře *formConformalSearch*. Dotaz *qryConformalSearch2* čte data z tabulky *tblConformalCoating*, která následně filtruje v závislosti proměnné „Způsoby nanášení“ kdy vybírá z tabulky položky, které mají alespoň jednu ze zvolených možností ve formuláři. Dále pokračuje ve filtrování dotaz *qryConformalSearch*, který čte již z filtrovaných dat dotazu *qryConformalSearch2*, kde je možnost výběru položek dle materiálu, výrobce a poté dle teplotního rozsahu a pevnosti dielektrika.

tblConformalCoating

Vyhledávání konformních povlaků

Výrobce Materiál

Teplotní rozsah °C - °C -

Pevnost dielektrika kV/mm

Způsoby nanášení: Štětcem Selektivně
 Namáčením Sprej

Obnovit vše

Manufacturer Type

Material

Teplotní rozsah °C - °C -

Pevnost dielektrika kV/mm

Způsoby nanášení: Štětcem Selektivně
 Namáčením Sprej

Otevřít záznam

Manufacturer Type

Material

Teplotní rozsah °C - °C -

Pevnost dielektrika kV/mm

Způsoby nanášení: Štětcem Selektivně
 Namáčením Sprej

Otevřít záznam

Manufacturer Type

Material

Teplotní rozsah °C - °C -

Pevnost dielektrika kV/mm

Způsoby nanášení: Štětcem Selektivně
 Namáčením Sprej

Otevřít záznam

Záznam: 1 z 21 Bez filtru Vyhledávání

Obr. 3.2 - Vyhledávací formulář databáze

Filtrovací formulář *formConformalSearch* umožňuje tisk filtrovaných položek a zároveň odkazuje na položky z přehledového formuláře *formConformalCoating*.

Obr. 3.3 - Přehledový formulář databáze

Obsažená data

Databáze obsahuje data získaná rešerší od různých výrobců z dostupných datasheetů. Největší část obsažených dat je od firmy Electrolube z důvodu komplexnosti jejich datasheetů. Každý výrobce má různé metody získávání parametrů jejich produktů, tudíž bylo potřeba informace co nejvíce zobecnit, aniž by docházelo ke zkreslení dat. Některé parametry je prakticky nemožné porovnat s jinými povlaky, protože ne všechny povlaky obsahují stejné parametry. Z tohoto důvodu je zde okno pro ostatní hodnoty, které slouží pro větší množství méně důležitých informací. Zbytek dat je dostupný přes odkaz přímo na datasheet od výrobce.

4 Závěr

Práce se soustředí na problematiku spolehlivosti elektronických zařízení, s čímž souvisí rešerše na toto téma, kdy to není jen vlhkost, která zapříčiňuje selhávání elektronických sestav, ale jedná se i o nečistoty, vibrace, vliv teploty, nebo i vystavení působení chemických vlivů. Vůči těmto problémům je třeba použít povrchových ochran, nejčastěji známých jako konformní povlaky, které tyto negativní vlivy prostředí dokáží částečně eliminovat.

Další částí práce je rešerše použitelných ochran, kdy v současné době je nejrozšířenější konformní povlak, ačkoliv zalévací hmota má mnohem lepší schopnost ochrany, tak konformní povlak má možnost následného odstranění, ač částečného nebo kompletního, a umožňuje uživateli provádět opravy na desce.

S tímto souvisí důležité parametry konformních povlaků, které nám pomáhají vybrat vhodný typ v závislosti na oblasti využití, kdy je nejzásadnější parametr materiál, dielektrická pevnost a teplotní rozsah. Dále v závislosti na způsobu nanášení je třeba znát parametry jako je viskozita, hustota, nebo doba schnutí.

Cílem této bakalářské práce bylo seznámit s problematikou konformních povlaků a vytvořit databázi umožňující snadné a přehledné listování konformních povlaků nehledě na výrobci a typech materiálů. V dnešní době je dostupné nepřehledné množství typů konformních povlaků, kdy v závislosti na chemickém složení je možné využití prakticky ve všech odvětvích průmyslu, což ale znamená, že každý výrobce si zpracovává informace o vlastních výrobcích po svém a tato databáze má pomoci při hledání a výběru potřebného povlaku.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] S. Sattel, „The History of PCBs 1870 - Present,“ Autodesk, 2016. [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/products/eagle/blog/history-of-pcbs/>. [Přístup získán 6 Leden 2019].
- [2] „A Short History of the Short History of Printed Circuit Boards,“ Nine Dot Connects, 3 Únor 2016. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=mb6KnEae5Mw>. [Přístup získán 6 Leden 2019].
- [3] J. Brown, „The History of Printed Circuit Boards – Infographic,“ PCB solutions, Leden 2013. [Online]. Available: <https://www.pcb-solutions.com/pcb-market-monitor/the-history-of-pcb-infographic/>. [Přístup získán 21 Leden 2019].
- [4] C. Cavette, „How printed circuit board is made,“ How Products are Made, 2019. [Online]. Available: <http://www.madehow.com/Volume-2/Printed-Circuit-Board.html>. [Přístup získán 6 Leden 2019].
- [5] G. Dalakov, „The Printed Circuit Board of Paul Eisler,“ History of Computers, 2019. [Online]. Available: http://history-computer.com/ModernComputer/Basis/printed_board.html. [Přístup získán 6 Leden 2019].
- [6] „PCBs for Harsh Environments,“ Millennium Circuits Limited, 7 Duben 2018. [Online]. Available: <https://www.mclpcb.com/pcbs-harsh-environments/>. [Přístup získán 6 Leden 2019].
- [7] Electrolube, „Protecting electronics from corrosive operating environments to increase end-product lifetime and reliability,“ Electrolube, 2019. [Online]. Available: <https://www.electrolube.com/technical-articles/protecting-electronics-from-corrosive-operating-environments/>. [Přístup získán 15 Únor 2019].
- [8] „What Is Conformal Coating?,“ Electrolube, 2018. [Online]. Available: <https://www.electrolube.com/products/what-is-conformal-coating.html>. [Přístup získán 6 Leden 2019].
- [9] „Thermal and Humidity Effects on Electronic Equipment,“ electronicsforu, 15 Srpen 2018. [Online]. Available: <https://electronicsforu.com/electronics-projects/electronics-design-guides/thermal-humidity-effect-electronic-equip>. [Přístup získán 25 Únor 2019].
- [10] A. Nerandžič, „Meteorologie pro elektrotechniku,“ Elektro časopis pro elektroniku, Prosinec 2019. [Online]. Available: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/meteorologie-pro-elektrotechniku--11469>. [Přístup získán 25 Únor 2019].
- [11] „Conformal Coatings Enhanced protection for enhanced PCB performance,“ 21 Říjen 2015. [Online]. Available: <https://www.electrolube.com.au/pdf/conformal-coatings-brochure-electrolube.pdf>. [Přístup získán 2019 Leden 6].
- [12] „Effect Of Vibration On Solder Joint Reliability Engineering Essay,“ UKessays, 12 Květen 2016. [Online]. Available: <https://www.ukessays.com/essays/engineering/effect-of-vibration-on-solder-joint-reliability-engineering-essay.php>. [Přístup získán 12 Březen 2019].
- [13] S. S. A. M. D. T. D. K.-D. L. M. Krüger, „Requirements for the application of ECUs in e-mobility originally,“ *Microelectronics Reliability*, p. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026271416302694>, July 2016.
- [14] Electrolube, „Conformal Coating vs. Encapsulation - Protecting Electronic Devices, Which Do I Choose?,“ Electrolube, 2019. [Online]. Available: <https://www.electrolube.com/technical-articles/conformal-coating-vs-encapsulation-protecting-electronic-devices-which-do-i-choose/>. [Přístup získán 20 Únor 2019].
- [15] F. Arabi, A. Gracia, J. Delétage a H. Frémont, „Vibration test and simulation of printed circuit board,“ 31 Květen 2018. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8369909>. [Přístup získán 5 Březen 2019].
- [16] G. Vogel, „Creeping corrosion of copper on printed circuit board assemblies,“ Zář 2016. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/308300094_Creeping_corrosion_of_copper_on_printed_circuit_board_assemblies. [Přístup získán 23 Březen 2019].
- [17] „What is conformal coating?,“ HumiSeal, 2019. [Online]. Available: <http://www.humiseal.com/conformal-coating/>. [Přístup získán 6 Leden 2019].
- [18] K. Hull, „An Overview of the Conformal Coating Process,“ mind tribe, Listopad 2017. [Online]. Available: <https://mindtribe.com/2017/11/the-conformal-coating-process/>. [Přístup získán 6 Leden 2019].
- [19] K. Hull, „The History and Chemistry of Conformal Coating,“ mind tribe, Říjen 2017. [Online]. Available: <https://mindtribe.com/2017/10/the-path-to-conformity-the-history-and-chemistry-of-conformal-coating/>. [Přístup získán 6 Leden 2019].

- [20] „Conformal Coating Comparison Guide,“ Electronic Coating, 2019. [Online]. Available: <http://www.electroniccoating.com/resources/conformal-coating-comparison-guide/>. [Přístup získán 25 Únor 2019].
- [21] P. Kinner, „The Printed Circuit Assembler's Guide to...™ Conformal Coatings for Harsh Environments,“ Electrolube, 2018.
- [22] IPC, „Association Connecting Electronics Industries,“ [Online]. Available: <https://www.ipc.org/>. [Přístup získán Únor 2019].
- [23] Chemtronics, „Conformal coatings guide,“ 2 Červenec 2013. [Online]. Available: https://www.chemtronics.com/Content/Images/uploaded/documents/ChemtronicsConformalCoatingGuide_02-07-2013.pdf. [Přístup získán 10 Únor 2019].
- [24] „Industrial Controls Electronics,“ HumiSeal, 2019. [Online]. Available: <http://www.humiseal.com/markets/industrial-controls-conformal-coatings/>. [Přístup získán 6 Leden 2019].
- [25] „The Essential Guide to Conformal Coating,“ TechSpray, 2019. [Online]. Available: <https://www.techspray.com/the-essential-guide-to-conformal-coating>. [Přístup získán 15 Únor 2019].
- [26] P. R. p. R., „Selektivní konformní povlaky elektrických sestav,“ DPS Elektronika od A do Z, Únor 2014. [Online]. Available: <https://www.dps-az.cz/vyroba/id:2215/selektivni-konformni-povlaky-elektrickych-sestav>. [Přístup získán 6 Leden 2019].
- [27] D. L. Agency, „MIL-I-46058C,“ 22 Prosinec 1966. [Online]. Available: <https://quicksearch.dla.mil/Transient/ECEEA6825D0F4FF489B9456F6CCE91A9.pdf>. [Přístup získán 21 Leden 2019].
- [28] J. Sargeant, „Straightforward Explanation of the MIL-I-46058C Specification for Conformal Coatings,“ HumiSeal, 2 Listopad 2016. [Online]. Available: <http://blog.humiseal.com/straightforward-explanation-of-the-mil-i-46058c-specification-for-conformal-coatings>. [Přístup získán 13 Leden 2019].
- [29] V. David, „A Quick Guide to Understand IPC-CC-830B Qualification Standard,“ HumiSeal, 28 Březen 2018. [Online]. Available: <http://blog.humiseal.com/a-quick-guide-to-understand-ipc-cc-830b-qualification-standard>. [Přístup získán 28 Leden 2019].
- [30] IPC, „IPC-CC-830C,“ IPC, 2019.
- [31] IPC, „IPC-CC-830B,“ IPC, 2002.
- [32] „Qualified Products List (QPL),“ Defense Logistics Agency, [Online]. Available: <http://www.dla.mil/TroopSupport/IndustrialHardware/Engineering-and-Technical-services/Qualified-Products-List/>. [Přístup získán 13 Leden 2019].
- [33] Microsoft, „Database basics,“ Microsoft, [Online]. Available: <https://support.office.com/en-us/article/database-basics-a849ac16-07c7-4a31-9948-3c8c94a7c204>.