

# **Studie možností aplikace detektoru padlk elektronických součástek**

Electronic Component Counterfeit Detector Application  
Potentiality Study

Bc. Jan Dostál

---

Diplomová práce  
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan DOSTÁL**  
Osobní číslo: **A10309**  
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Studie možností aplikace detektoru padělků elektronických součástek**

### Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte dostupné informace o metodách používaných pro odhalování padělků, zvláště se zaměřte na metodu snímání V-A charakteristik a podmínky pro sestavení skenovacích profilů.
2. Proveďte analýzu vybraných vzorků součástek na zařízení Sentry.
3. Prostudujte vliv expozice elektrostatickým nábojem na deformaci charakteristik.
4. Prostudujte vliv tepelné expozice na deformaci charakteristik. Měření bude probíhat po řadě expozic vybraných vzorků zvolenou tepelnou dávkou, charakterizovanou teplotou a dobou působení této teploty na součástku spolu s prodlevou po expozici.
5. Zpracujte přehledně výsledky experimentů a proveďte shrnutí.
6. Navrhněte podmínky a metodiku dalších experimentů na základě vašich zkušeností.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. ABI ELECTRONIC LTD. SENTRY Counterfeit IC Detector OPERATOR'S MANUAL. Revision 2.00. Barnsley, United Kingdom, 2011.
2. CRAWFORD, Mark a Brad BOTWI. U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE BUREAU OF INDUSTRY AND SECURITY OFFICE OF TECHNOLOGY EVALUATION. Defense Industrial Base Assessment: Counterfeit electronic [online]. U.S.A., 2010. Dostupné z:  
[http://www.bis.doc.gov/defenseindustrialbaseprograms/osies/defmarketresearchrpts/final\\_c](http://www.bis.doc.gov/defenseindustrialbaseprograms/osies/defmarketresearchrpts/final_c)
3. MARTIN, L. Perry . Electronic failure analysis handbook: techniques and applications for electronic and electrical packages, components and assemblies. New York: McGraw-Hill, 1999. ISBN 978-007-0410-442.
4. MATTHES, Wolfgang. Hledání a ostraňování poruch: Měření a testování v počítačové a číslicové technice. 1. vyd. Ostrava: HEL, 2001, 605 s. ISBN 80-861-6718-6.
5. DOLEČEK, Jaroslav. Moderní učebnice elektroniky: Základy elektroniky, ideální a reálné prvky prvky. Praha: BEN – technická literatura, 2005, 342 s. ISBN 80-730-0146-2.
6. KŘEČEK, Stanislav. Příručka zabezpečovací techniky. Vyd. 3. Praha: BEN, 2003, 351 s. ISBN 80-902938-2-4.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Petr Neumann, Ph.D.  
Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce:

24. února 2012

Termín odevzdání diplomové práce:

15. května 2012

Ve Zlíně dne 24. února 2012



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*děkan*



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.  
*ředitel ústavu*

## **ABSTRAKT**

Cílem práce je studium voltampérových charakteristik vybraných vzorků součástek podle technologie a typu s využitím funkcí detektoru padlek Sentry od firmy ABI Electronics. Oblasti zájmu jsou variabilita charakteristik podle výrobce, teplotní závislost změn charakteristik a jejich řízená deformace po expozici dávkami elektrostatického náboje. Práce je směřována do oblasti bezpečnostní prevence tam, kde je nebezpečí pro nikupadlek do citlivých bezpečnostních systémů.

**Klíčová slova:** Padlek, elektronika, součástka, podvrh, integrovaný obvod, charakteristika, detektor padlek SENTRY.

## **ABSTRACT**

Abstrakt ve svobodném jazyce

The aim of the thesis is the I-V characteristic study of component samples selected according to the technology and function type with the SENTRY Counterfeit IC Detector developed and produced by ABI Electronics Company in UK. The study scope covers characteristic variations according to individual manufacturers, thermal and electrostatic discharge influence on I-V characteristic changes. The thesis is aimed at the preventive security area with a particular emphasis on the counterfeit components penetration threat in sensitive security systems.

**Keywords:** Counterfeit, electronic, part, component, fake, integrated circuit, characteristic, SENTRY Counterfeit IC Detector.

Pod kování, motto

Děkuji tímto svému vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Neumannovi, Ph.D. za odborné vedení, rady a věcné připomínky, které mi poskytoval během práce.

Dále chci podkovat svým rodičům a blízkým za podporu, které se mi dostávalo během mého studia.

**Prohlašuji, že**

- beru na v domí, že odevzdáním diplomové/bakalá ské práce souhlasím se zve ejn ním své práce podle zákona . 111/1998 Sb. o vysokých školách a o zm n a dopln ní dalších zákon (zákon o vysokých školách), ve zn ní pozd jších právních p edpis , bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na v domí, že diplomová/bakalá ská práce bude uložena v elektronické podob v univerzitním informa ním systému dostupná k prezen nímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalá ské práce bude uložen v p íru ní knihovn Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlín a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalá skou práci se pln vztahuje zákon . 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o zm n n kterých zákon (autorský zákon) ve zn ní pozd jších právních p edpis , zejm. § 35 odst. 3;
- beru na v domí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlín právo na uzav ení licen ní smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na v domí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalá skou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s p edchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlín , která je oprávn na v takovém p ípad ode mne požadovat p im ený p ísp vek na úhradu náklad , které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlín na vytvo ení díla vynaloženy (až do jejich skute né výše);
- beru na v domí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalá ské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlín nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným ú el m (tedy pouze k nekomer nímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalá ské práce využít ke komer nímu ú el m;
- beru na v domí, že pokud je výstupem diplomové/bakalá ské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za sou ást práce rovn ž i zdrojové kódy, pop . soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této sou ásti m že být d vodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatn a použitou literaturu jsem citoval. V p ípad publikace výsledk budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlín

.....  
podpis diplomanta

**OBSAH**

<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>10</b>
<b>1. ZDROJE NEKVALITNÍCH SOU ČÁSTEK .....</b>	<b>11</b>
1.1. RECYKLOVANÉ SOU ČÁSTKY Z ELEKTRONICKÉHO ODPADU .....	11
1.2. KOPIE SOU ČÁSTEK.....	12
1.3. VY ÁZENÉ DEFEKTNÍ SOU ČÁSTKY.....	13
<b>2. MOŽNÉ NÁSLEDKY POUŽITÍ FALEŠNÝCH SOU ČÁSTEK.....</b>	<b>14</b>
2.1. CO JE POVAŽOVÁNO ZA FALEŠNOU SOU ČÁSTKU (COUNTERFEIT PART) .....	14
2.2. NEFUNK ČNOST KONCOVÉHO ZA ÍZENÍ .....	15
2.3. NESPOLEHLIVÁ FUNK ČNOST KONCOVÉHO ZA ÍZENÍ .....	15
<b>3. P Í NY CHYBNÉHO FUNGOVÁNÍ POLOVODI ČOVÝCH SOU ČÁSTEK .....</b>	<b>17</b>
3.1. CHYBOVÉ MECHANISMY V POLOVODI ČÍCH .....	17
<b>4. TRENDY V PRODUKCI NEORIGINÁLNÍCH SOU ČÁSTEK .....</b>	<b>20</b>
<b>5. METODY DETEKCE PAD ĚLK .....</b>	<b>23</b>
5.1. NEDESTRUKTIVNÍ .....	23
5.1.1. Vizuální kontrola.....	23
5.1.2. Kontrola rentgenovým zá ením (X-ray inspection).....	27
5.1.3. Rentgenová fluorescen ní spektroskopie (XRF).....	29
5.1.4. Analogová p íznaková analýza (Analog Signature Analysis - ASA).....	31
5.2. DESTRUKTIVNÍ METODY .....	32
5.2.1. Odstran ní pouzdra (Decapsulation).....	32
<b>6. ELEKTROSTATICKÝ VÝBOJ – ESD .....</b>	<b>34</b>
6.1. DEFINICE ESD (ELECTROSTATIC DISCHARGE).....	34
6.2. POŠKOZENÍ VLIVEM ESD.....	35
6.3. TESTOVACÍ METODY.....	39
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>42</b>
<b>7. TESTOVACÍ ZA ÍZENÍ.....</b>	<b>43</b>
7.1. SENTRY COUNTERFEIT IC DETECTOR.....	43
7.2. ADAPTÉRY .....	45
7.2.1. Praktické testování adaptéru.....	47
7.3. SENTRY – SOFTWARE PRO TESTOVÁNÍ SOU ČÁSTEK .....	48
7.4. POSTUP P Í TESTOVÁNÍ SOU ČÁSTEK .....	50
<b>8. ESD – TESTOVÁNÍ.....</b>	<b>56</b>

8.1.	TECHNICKÉ VYBAVENÍ .....	57
8.2.	PRACOVÍŠTĚ A METODA TESTOVÁNÍ .....	58
8.3.	VÝSLEDKY TESTOVÁNÍ.....	61
8.4.	POROVNÁNÍ DIL A SMD .....	65
8.5.	CELKOVÉ HODNOCENÍ TESTŮ PŘI SOBOVNÍ ESD .....	67
<b>9.</b>	<b>TEPLOTNÍ TESTY INTEGROVANÝCH OBVODŮ .....</b>	<b>68</b>
9.1.	TECHNICKÉ VYBAVENÍ PRO TEPELNÉ TESTY .....	69
9.2.	METODY TEPELNÉHO TESTOVÁNÍ .....	70
9.2.1.	První metoda – lokální .....	70
9.2.2.	Druhá metoda .....	74
9.3.	CELKOVÉ HODNOCENÍ TESTŮ TEPELNÉHO PŘI SOBOVNÍ .....	78
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>79</b>	
<b>ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ .....</b>	<b>80</b>	
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>81</b>	
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>87</b>	
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>88</b>	



## ÚVOD

V práci je cílem zpracovaného materiálu poskytnout p ehlednou rešerši z oblasti vývoje problematiky spojené s pad lanými elektronickými sou ástkami. Na za átku teoretické ásti jsou uvedeny zdroje, ze kterých pocházejí neoriginální sou ástky a jaké je rozd lení t chto sou ástek. Dále jsou popsány následky, které m že použití takovýchto druh sou ástek mít. Je zde také uvedena definice, která nám íká, co m žeme považovat za falešnou sou átku. V další kapitole je v nována pozornost vnit ním jev m v polovodi ových obvodech, které mohou vést ke zm n parametr obvodu a jsou zde uvedeny fyzikální p í iny takových to stav . Jedna kapitola je také v nována zpracování trend v oblasti pad laných sou ástek v podob graf , které ukazují, odkud sou ástky pocházejí, jaký je vývoj jejich množství v USA, jaké je zastoupení polovodi v pr myslových odv tvích, jaké jsou konkrétní druhy pad laných obvod a další. Postupn jsou zde uvedeny metody, pomocí kterých je možno sou ástky, které nejsou z oficiální distribuce nebo jsou poškozené, odhalit. Detailn jší informace jsou uvedeny pro metody nedestruktivní založené na vizuální kontrole pouzdra nebo vnit ní struktury, u které je využito rentgenového zá ení. Stru n popsána je také metoda rentgenové fluorescen ní spektroskopie, kterou m žeme ur it vnit ní složení používaných materiál . Za metody destruktivní byly zmín ny postupy pro odstran ní pouzdra obvodu. Nejv tší pozornost byla kladena na metodu analogové p íznakové analýzy, která se zabývá porovnáváním volt-ampérových charakteristik a byla využívána v praktické ásti práce. Záv r teoretické ásti je v nován problematice elektrostatického výboje, testovacím metodám a normám pro tento jev ur ených. Praktická ást si dává za cíl vytvo it stru ný manuál k práci s detektorem SENTRY pro odhalování pad lk porovnáváním charakteristik. Jsou zde uvedeny postupy pro u ení a testování sou ástek, je upozorn no na p ípadné problémy p í m ení a jsou popsány celkové možnosti detektoru a jeho dopl kové vybavení. Výstupem z praktické ásti jsou dv zkoušky. Tyto zkoušky m ly ukázat, zda jsme schopni pouze pomocí detektoru pad lk SENTRY zjistit p sobení n kterých vliv na sou ástky. První zkouška se zabývala vlivem elektrostatického výboje na integrované obvody a byl simulován p enos náboje z lidského t la. Druhá zkouška m la ukázat, jaký vliv má na charakteristiky, pokud jsou sou ástky vystaveny nadm rnému tepelnému zatížení a zda je možné zp tné odhalení takového zacházení. Na záv r byly uvedeny další relevantní testovací metody, které by mohly p ísp t k objasn ní této problematiky.

## **I. TEORETICKÁ ÁST**

## 1. ZDROJE NEKVALITNÍCH SOU ÁSTEK

### 1.1. Recyklované sou ástky z elektronického odpadu

Se vzr stající dostupností nových technologií v oblasti elektroniky klesá průměrná délka využívání jednotlivých produktů, a již z důvodu spolehlivosti a funkčnosti přístroje nebo výkony za výkonnější model. Spolehlivá životnost nových elektronických zařízení se pohybuje podle druhu do dvou let tak, aby byla pokryta záruční doba. Tím že jsou v pravidelných intervalech nahrazovány používané technické prostředky, je nutné starší modely, pro které již není využití vyadit a zlikvidovat. Proces likvidace elektroniky je náročné a finančně nákladný. Z tohoto důvodu se firmy, které se jím zabývají, snaží přesunout především do Asie a Afriky.

V českém právním prostředí se elektrickým nebo elektronickým zařízením rozumí takové zařízení, jehož funkce závisí na elektrickém proudu nebo na elektromagnetickém poli nebo zařízením k výrobě, přenosu a měření elektrického proudu nebo elektromagnetického pole. [1]

Studie Greenpeace [2] uvádí, že mimo oficiální zpracovatele, takzvanými skrytými toky (Hidden flows), se dostane až osmdesát procent elektronického odpadu (E-waste). To dává možnost, aby místo ekologické likvidace docházelo k nežádoucí manipulaci s materiálem. Přístroje jsou v tšinou rozebrány na jednotlivé díly a jsou z nich vytžovány součásti a materiály, které se dají dále zpracovat. Nejastjším zdrojem součástek a materiálů jsou počítače, kterých se používá velké množství a není u nich ještě tak velká míra integrace součástek, aby je nebylo možno bez poškození vyjmout z desky plošných spojů. Tyto díly jsou především integrované obvody, ale i diskrétní součástky. Způsobem, kterými jsou součástky vyjmuty z desek plošných spojů, jsou často velmi hrubé a komponenty jsou vystavovány nepříznivým podmínkám - vlhkosti, prachu a vysoké teplotě. Takovýmito zacházením mohou součástky, a zvláště integrované obvody utrpět poškození, které může ovlivnit nebo znemožnit jejich funkci. Poškození se může projevit ihned nebo až po určité době nehledě na to, že svou spolehlivou funkčnost překročí již v době vyazení přístroje z provozu.

Součástky jsou rozřídny a distribuovány zpět do obhu na místní trh za znatelně menší cenu. Odtud se mohou přes exportní cesty dostat na evropský trh, kde mohou být vydávány za nové díly. Zde jsou nakupovány koncovými výrobními firmami, které se snaží co nejvíce snížit cenu produktu nebo nahradit momentálně nedostupnou součástku.



Obrázek 1: Třídění elektronických součástek [3]

## 1.2. Kopie součástek

Pevážně čínský a obecně asijský průmysl je známý svými produkty, které ve velké míře parazitují na známosti určitých značek. Tato problematika se netýká jen hotových elektronických výrobků, ale i samotných součástek. Při výrobě nemusí být použity dostatečně kvalitní materiály a technologie, které stanovuje postup oficiálního výrobce. To má značný vliv na kvalitu a další životnost výrobku. Pouzdření těchto součástek jsou většinou upravena tak, aby se podobala nebo byla shodná s originálními výrobky. Tím může dojít k záměně se součástkami oficiálního výrobce, a tím k poškození jeho důvěryhodnosti. V technické oblasti výroby se využívá Reverzní inženýrství. Je to proces, při kterém je analyticky zkoumán již hotový produkt s cílem vytvořit produkt podobný nebo zcela shodný. Toto je problém porušování autorských práv při vodních výrobě produktu.

### 1.3. Vy azené defektní sou ástky

P í výrob polovodi , p evážn integrovaných obvod , dochází i p es neustálé zdokonalování technologií k tomu, že n které kusy výrobk vyjdou z linky jako poškozené nebo s odlišnými parametry než jsou vyžadované. Tyto vady jsou odhaleny p ímo ve výrobním procesu, vadné sou ástky jsou vy azeny a ur eny k likvidaci. To nezaru uje, že se mimo oficiální distribuci nemohou dostat na trh. Další možností je, že série výrobk projde výstupní kontrolou a na chybu v návrhu sou ástky se p ijde až zp tn , kdy musí výrobce stáhnout takový výrobek z prodeje.

### 1.4. Sou ástky s odlišnými parametry

Výrobky zcela funk ní, ale s jinými parametry než sou ástky, které m ly být dodány. Zde se jedná o nahrazení dražších sou ástek levn jšími, u kterých je pozm n no zna ení. Taková zám na neznamená okamžit nefunk nost nebo poruchovost za ízení, ale omezuje jeho skute né možnosti. Problém to m že zp sobovat v p esných m ících aplikacích, kde zm na m ícího nebo vyhodnocovacího prvku m že zp sobit velkou nep esnost. Tento druh pad lk se vztahuje na široký okruh sou ástek, m že se jednat nap íklad o opera ní zesilova e, kde je nap íklad rozdílný parametr offset až po procesory.

Na p ípad falešných procesor upozornila firma AMD v roce 2003, kdy se v ob hu vyskytly procesory typu Athlon XP s jádrem Thoroughbred B0. Zde byla p etaktováním navýšena pracovní frekvence a procesory byly prodávány jako výkonn jší. Zásahem se dosáhlo krajní funk ní hodnoty a procesor mohl být nestabilní nebo se p eh íval. Jejich pouzdra byla zm n na tak, aby odpovídala výkonn jšímu typu. Protože ozna ení bylo provedeno nep esn , dají se v n m najít rozdíly od originálu a další úpravy. [4]



Obrázek 2: Rozdíly ve zna ení procesor [4]

## 2. MOŽNÉ NÁSLEDKY POUŽITÍ FALEŠNÝCH SOU ÁSTEK

### 2.1. Co je považováno za falešnou sou částku (Counterfeit part)

*Firma Kollmorgen Corporation má v rámci svých interních opatření pro boj s falešnými sou částkami vypracovanou definici. Její volný překlad by zněl asi takto:*

*Sou částka, která je nelegální kopií nebo náhradou jiné sou částky, nebo taková sou částka, jejíž materiál, výkon a charakteristiky jsou dodavatelem v domě zamnny.*

*To zahrnuje například :*

- sou částky, které nefungují jako objednaná sou částka (například jsou nahrazeny jinými, ale označeny správně),*
- zcela nefunkční sou částky (například prázdná pouzdra),*
- použité sou částky, které jsou vydávány za nové,*
- sou částky, které nejsou vyráběny podle originálního standardu,*
- vyrobené sou částky, které neprošly testy nebo jsou zastaralé. [5]*

Definice AIA CP – IPT<sup>1</sup>, z roku 2007:

Padělané komponenty jsou definovány jako produkt, který je vyrobený nebo změněn, bez v domě povodního výrobce a bez oprávnění, s úmyslem podvést nebo zamnit s originálním produktem.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Aerospace Industries Association of America, Inc. - Counterfeit Parts Integrated Project Team.

<sup>2</sup> Counterfeit parts are defined as a product produced or altered to resemble a product without authority or right to do so, with the intent to mislead or defraud by presenting the imitation as original or genuine. [6]

## 2.2. Nefunkčnost koncového zařízení

Pokud dojde při výrobě i servisu k aplikaci falešné součástky do zařízení, může v prvé řadě nastat celková nebo částečná nefunkčnost přístroje. Způsobená tím, že je součástka zcela zničená nebo je to pouze prázdné pouzdro s vývody, bez vnitřního obvodu. Tento stav bude objeven již při prvním testování přístroje. Tím, že je nefunkčnost odhalena při výrobě, nedojde k poruše většího rozsahu a ohrožení života a zdraví. Dochází, ale k technickému zdržení, protože musí být vadná součástka diagnostikována a vyměněna.

## 2.3. Nespolehlivá funkčnost koncového zařízení

Při aplikaci součástek, které jsou použité, poškozené, vyrobené neodpovídajícími postupy nebo nepříznivě, je součástka ve většině případů zcela nebo částečně nefunkční. To znamená, že zařízení může projít výstupními testy a dostane se ke koncovému zákazníkovi. Zařízení může fungovat dlouhou dobu bezchybně, ale použitím nekvalitní součástky se zkracuje doba spolehlivého provozu. U tohoto případu hrozí selhání funkce elektronického obvodu, které nelze předem předpokládat. Toto selhání může být následkem toho, že součástka se v běžném provozu chová normálně, ale pokud dojde k jejímu maximálnímu pracovnímu vytížení, může dojít k jejímu zničení. Z toho vyplývají následné problémy s reklamacemi a finanční náklady vynaložené na jejich řešení. Ve spotřební elektronice dojde k nefunkčnosti zařízení, pokud však jde o elektroniku, na které závisí lidské životy: letecká, vojenská nebo zdravotní, může selhání takovéto součástky způsobit závadu s fatálními následky. Další možností nesprávného fungování se vyskytuje u přesné měřicí techniky, kdy kvůli použití levnějších nepříznivě součástek s odlišnými parametry může dojít ke špatnému odečtení nebo vyhodnocení zkoumané veličiny.

V roce 2011 uvedl The Telegraph, že podle zprávy výboru senátu USA [7] velké množství americké vojenské techniky obsahuje nespolehlivé součástky především z Číny. Jedná se například o dopravní letadla a vrtulníky od firmy Boeing. Touto problematikou se dále zabývá senátor Carl Levin, který tvrdí, že se povedlo odhalit jen nepatrnou část takovýchto součástek. Jedná se zde o součástky, které jsou určeny pro speciální nasazení.

To znamená, že mají mít v tší odolnost proti výkyv m teploty, prašnosti a elektrostatice než komer ní náhrady, které takové extrémní podmínky nemohou dlouhodob vydržet. Problematika pochází z devadesátých let, kdy byly na ízeny úspory pro ozbrojené složky a tím došlo k nákupu levn jších sou ástek. V roce 2008 zaznamenalo americké ministerstvo obchodu zhruba 7 400 p ípad selhání elektroniky ve vojenských systémech. Opat ení navrhovaná senátem zahrnují p edevším nákup dražších díl elektroniky v Japonsku a Koreji. [8]



### 3. P Í INY CHYBNÉHO FUNGOVÁNÍ POLOVODI OVÝCH SOU ÁSTEK

P i dlouhodobém používání p evážn ě pr myslových a medicínských za ízení je nutné dbát na jejich servis a kalibraci. Tyto p ístroje jsou v rámci pracovního procesu využívány daleko více než komer n ě prodávané produkty. I když se m ěže zdát, že integrované obvody, tranzistory a diody nejsou p i funkci mechanicky namáhány, dochází k jejich opot ebovávání. Což následn ě zp sobuje provozní chyby a poruchy u moderních komplexních elektronických obvod ě. I z tohoto d ěvodu je z ejmé pro bychom se m ěli vyhnout nákupu použitých sou ástek.

#### 3.1. Chybové mechanismy v polovodi ích

##### **Pr raz izola ních vrstev (Oxide breakdown)**

- *Izola ní vrstvy v polovodi ových strukturách jsou p i rostoucím stupni integrace stále ten í. Takové extrémn ě tenké oxidové vrstvy se mohou v pr b hu asu prorazit, i když nedojde k dosažení nebo p ekro ení pr razného nap tí.*

##### **Injekce urychlených nosí náboje (Hot carrier injection)**

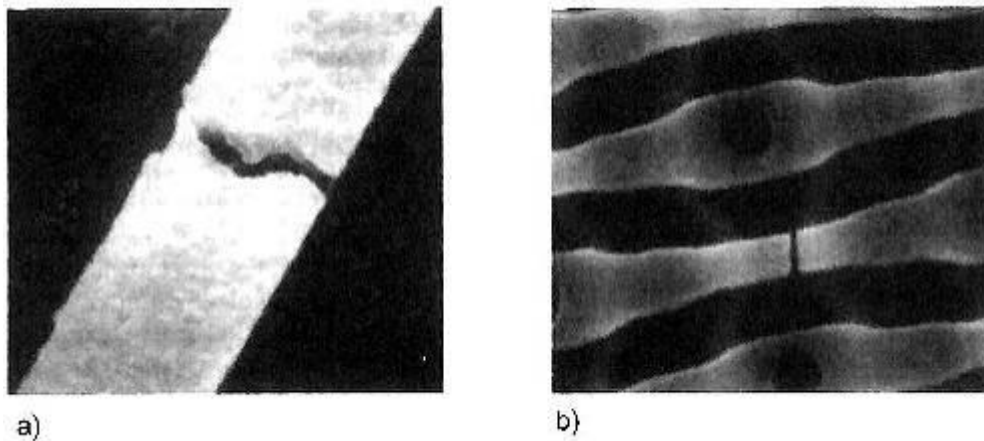
- *Nosi e náboje v polovodi í se v elektrickém poli urychlují. Takto získaná energie m ěže sta ít k pr razu izola ních vrstev ve strukturách MOS. Takový mechanismus poruchy nevede vždy k úplnému výpadku, ale ěsto však k chybné funkci.*
- *Vysoké intenzity elektrického pole vyplývají z pom rn ě vysokých nap tí a tenkých izola ních vrstev. Moderní hardwarové sou ástky jsou navrhovány na napájecí nap tí, které je podstatn ě nižší než obvyklých 5 V. Pro n které logické obvody a pam ti se stalo zavedeným pr myslovým standardem nap tí 3,3 V. I když je na vývodu napájení 5 V, je nap tí v obvodu pam ti odpovídajícím zp sobem intern ě snižováno.*

##### **Elektromigrace**

- *Ve velmi tenkých vodivých drahách m ěže dojít k migraci, a tak dojde k p erušení vodivé cesty. [9]*

### Migrace z namáhání (Stress migration)

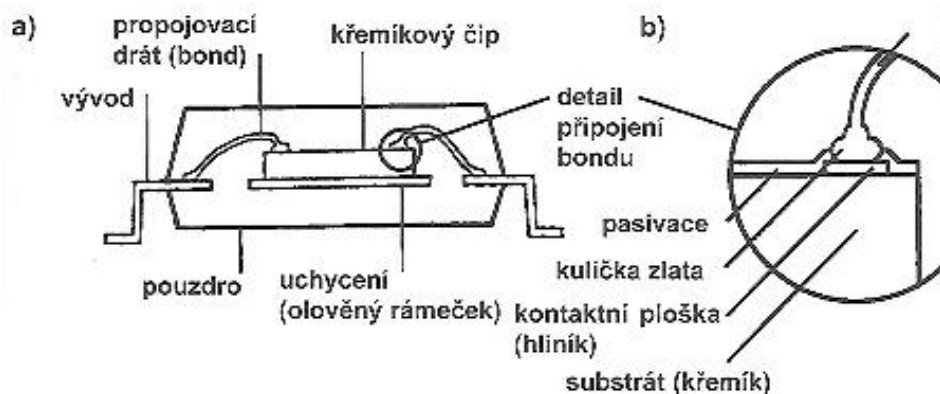
- *Teplé namáhání tenkých vodivých drah může vést k jejich porušení. Jevy migrace nebo prazu je třeba očekávat zejména v případech, kdy protékají příliš vysoké proudy. Takovéto chybové mechanismy nevedou k okamžité poruše, ale k postupným změnám charakteristik součástek. Jako prevence je zde doporučena ochrana před přehříváním a předepólováním.*



Obrázek 3: a) Elektromigrace b) migrace způsobená namáháním [9]

### Poruchy při vodních drát (bond )

- *Vlastní kontaktový ip integrovaného obvodu je s vývody (pin) obvykle propojen zlatými nebo hliníkovými drátky, které se podle termínu pro metodu kontaktování nazývají bond. Drátky nebo jejich připojení se mohou v důsledku různých poruchových mechanismů zlomit nebo na nich mohou vzniknout trhliny. [9]*



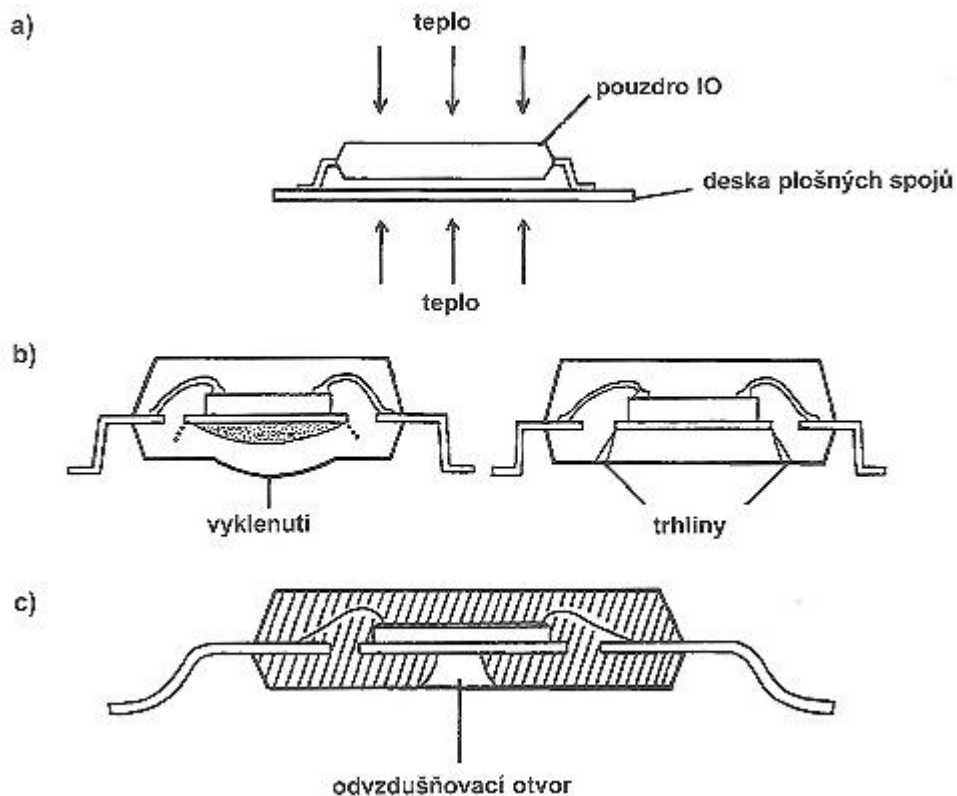
Obrázek 4: a) Konstrukce propojení a zapouzdřený obvod v průřezu  
b) detail propojení zlatým drátkem [9]

### Koroze způsobená vlhkostí

- Plastová pouzdra jsou v malé míře propustná pro vlhkost. Při uskladnění nebo provozu v prostředí s velkou vzdušnou vlhkostí vzduchu mohou hliníkové plochy korodovat, čímž se zhoršují elektrické parametry obvodu, pokud nedojde k celkové nefunkčnosti.

### Trhliny v pouzdru

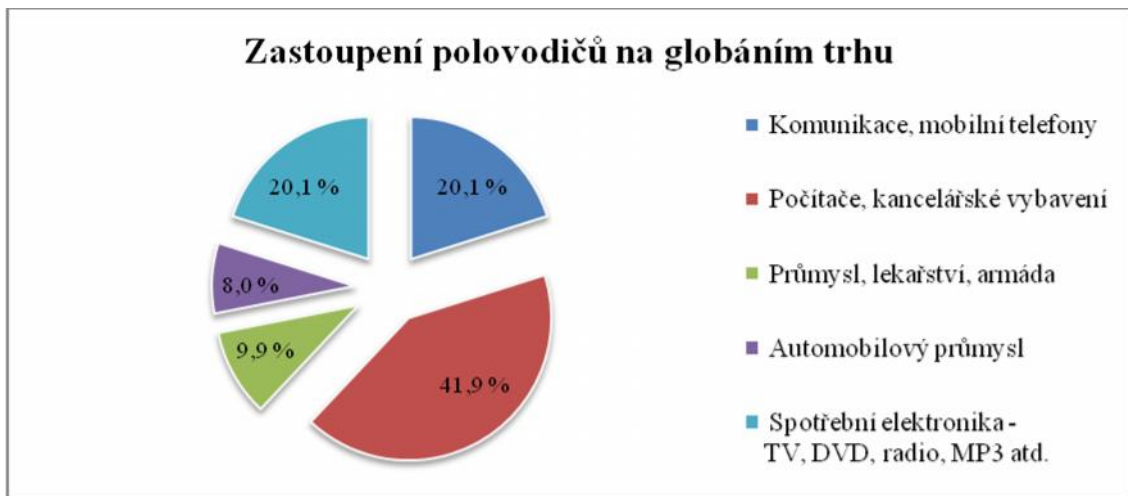
- Tento jev lze očekávat u pouzder typu SMD. Zatímco u pouzder typu Dual-in-line se při pájení zahřívají pouze vývody (piny), při povrchové montáži se zahřívá celé pouzdro až na teplotu 200 °C. To může vést k trhlinám v plastových pouzdrech.
- Ukázalo se, že pouzdra uskladněná rok a déle vykazují obzvláště vysoké procento poruch. Problém zde byl ve vlhkosti, která se během pájení pronikala do pouzdra. Tato problematika se řeší kvalitnějším balením, uskladněním a absorpčními prostředky. [9]



Obrázek 5: a) Přesobení tepla při pájení pouzdra SMD b) následky – vyklenutí, trhliny c) zlepšené pouzdro s odvěšovací otvorem, který zabrání, aby se v pouzdru vytvořil tlak par [9]

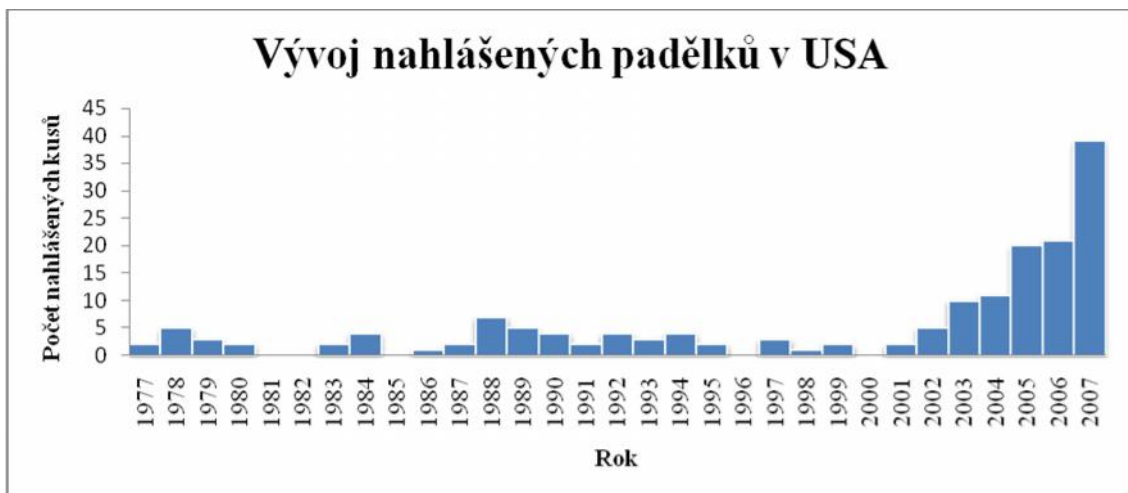
#### 4. TRENDY V PRODUKCI NEORIGINÁLNÍCH SOU ÁSTEK

Polovodičové součástky, kterých se padlání týká nejvíce, jsou zastoupeny ve v tšín výrobních oblastí lidské innosti. Ze statistik, které uvádí pr zkum technické skupiny americké obchodní komory, m žeme p ehledn vid t nár st množství odhalených pad lk za posledních n kolik let, zastoupení polovodič v r zných oblastech výroby elektroniky, zjišt ný pom r mezi pad lky diskretních sou ástek a integrovaných obvod , konkrétní druhy zjišt ných pad laných integrovaných obvod a diskretních sou ástek.

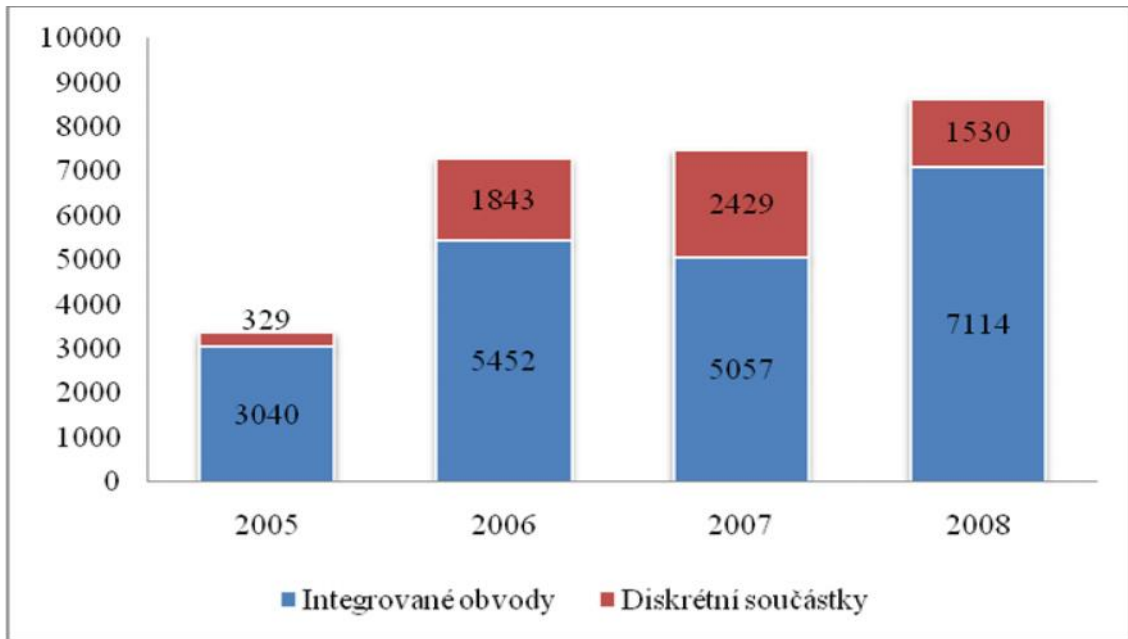


Obrázek 6: Zastoupení polovodičů na globálním trhu (2011) [7]

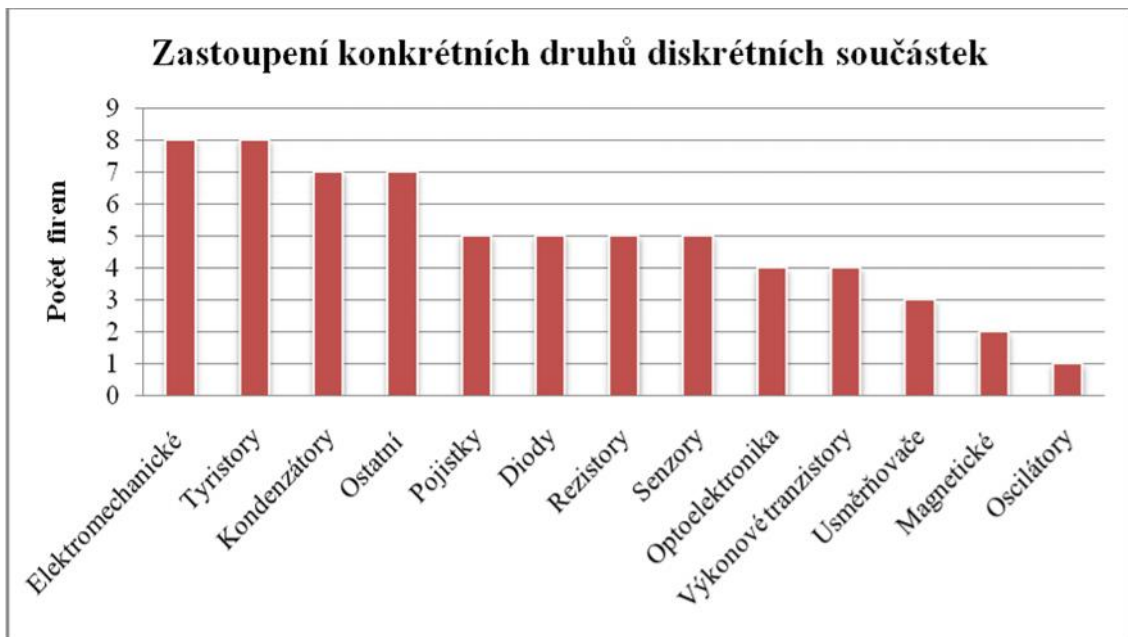
Z grafu vývoje nahlášených pad lk v USA je patrné, že po et zjišt ných pad lk za al v posledních letech exponenciáln nár stat. To je dáno tím, že se stále zv tšuje množství pad lk na trhu, ale zároveň roste i jejich úsp šné odhalování.



Obrázek 7: Vývoj nahlášených pad lk v USA [10]



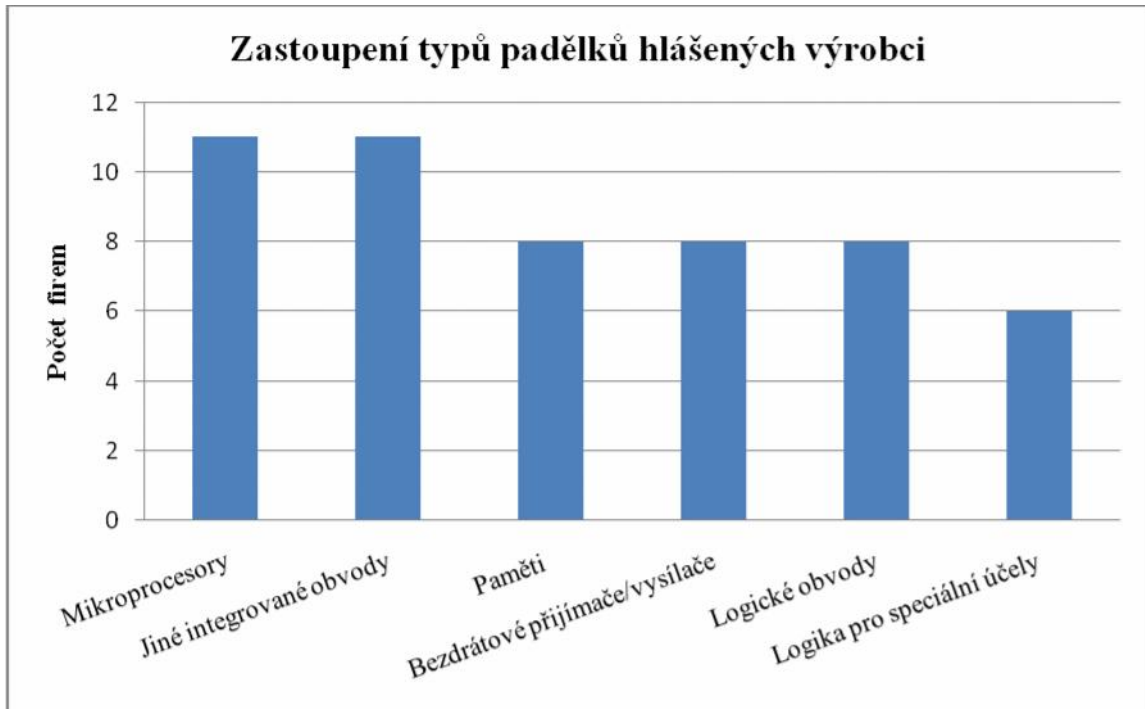
Obrázek 8: Zastoupení pad laných diskretních sou ástek a IO (Listopad 2009) [7]



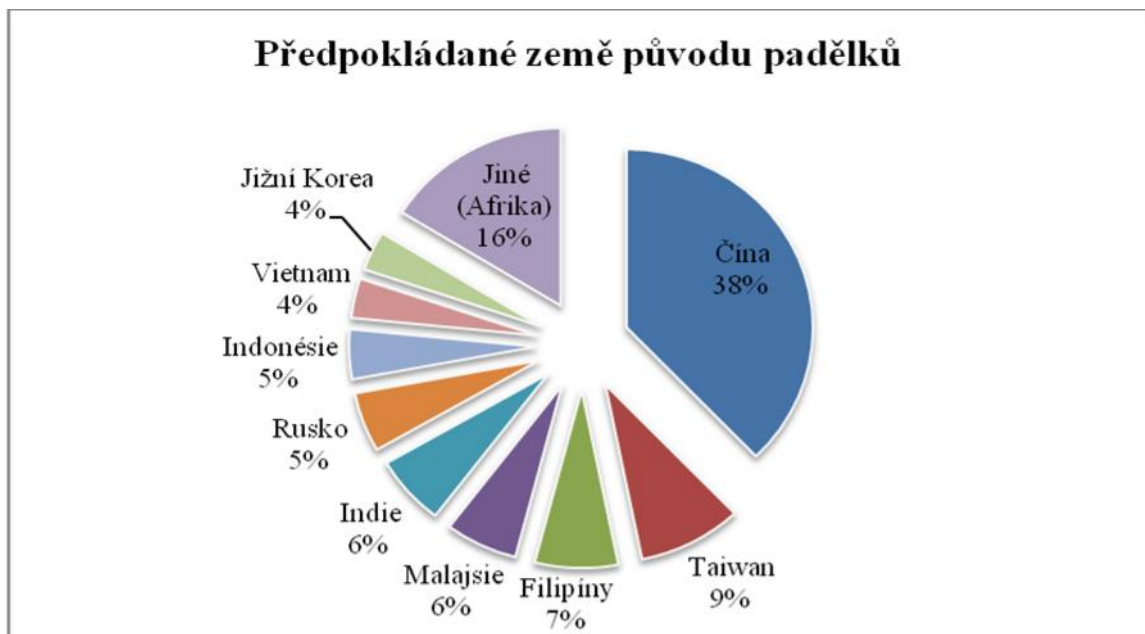
Obrázek 9: Zastoupení konkrétních druhů diskretních sou ástek (Listopad 2009) [7]

Získávání podrobných informací o padlcích je možné za předpokladu, že poškozená strana takovýto problémový výrobek nahlásí. Jde o vzájemnou vazbu samotnému výrobcí nebo některé z organizací zabývající se problematikou v oblasti elektroniky. Například ERAI, Inc. monitoruje stav na trhu s elektronikou a upozorňuje na problémové případy.

Pokud se subjekt stane členem této organizace, jsou mu zpřístupněny informace v databázi, kde může sledovat pohled prověřených výrobců, dodavatelů a aktuálně problematické díly. Snižuje se tak riziko špatného nákupu a poškození firmy. Další organizací, která se aktivně zabývá problematikou padělaných součástek je Aerospace Industries Association, Inc.



Obrázek 10: Zastoupení typů padělků hlášených výrobci (Listopad 2009) [7]



Obrázek 11: Předpokládané země původu padělků (Listopad 2009) [7]

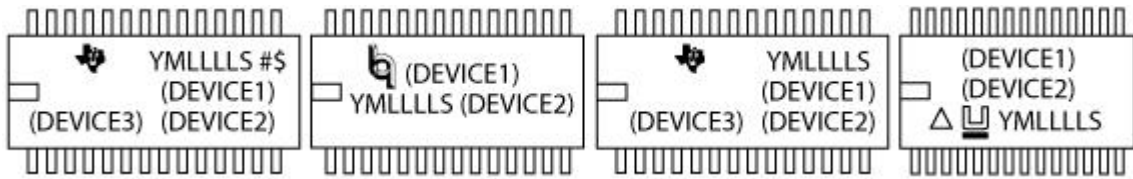
## 5. METODY DETEKCE PADĚLKŮ

### 5.1. Nedestruktivní

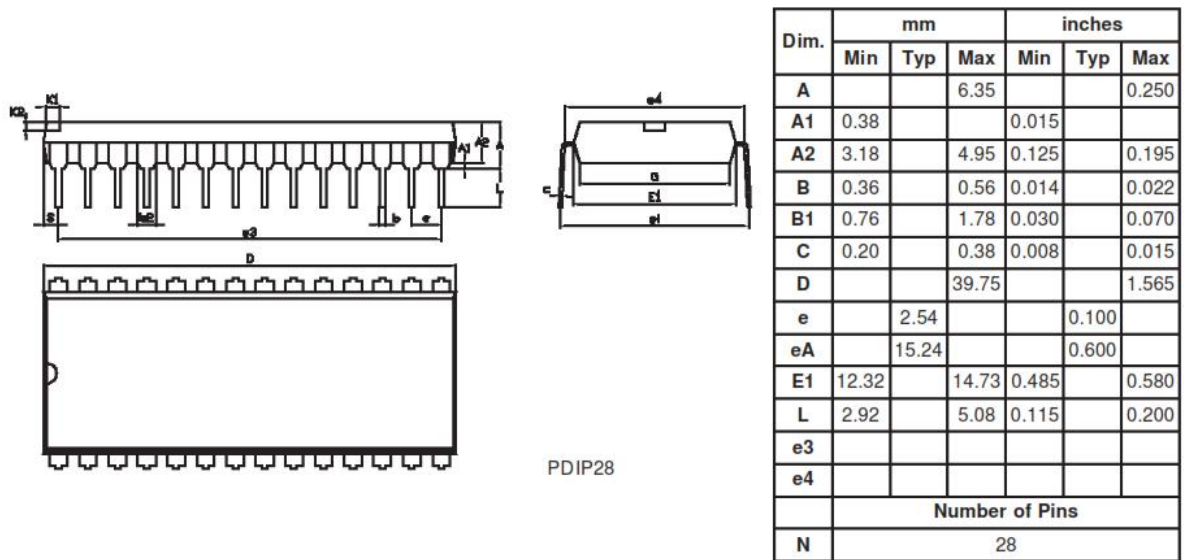
#### 5.1.1. Vizuální kontrola

Inspekce při vstupní kontrole dílů by měla začínat již od toho, jak je součástka zabalena a její obal označen. Zde mohou být odhaleny prvotní příznaky toho, že součástka nedosahuje odpovídající kvality. Požadavky na balení výrobků obsahuje norma SN EN 61340-5-3 Ochrana elektronických součástí před elektrostatickými jevy – Klasifikace vlastností a požadavky na obaly určené pro součástky citlivé na elektrostatické výboje. Hlavní požadavek je kladen na to, aby součástky byly chráněny při transportu a skladování před elektrostatickým nábojem, mechanickým poškozením, vlhkostí, prachem a chemikáliemi. Specifikace obalu je možno dohodnout přímo s dodavatelem, tak aby se zabránilo pozdějším nesrovnalostem.

Druhým krokem při vizuální kontrole je porovnávání pouzdra integrovaného obvodu, nebo obalu diskrétní součástky, vývodů a označení se známým spolehlivým kusem nebo podle vlastností definovaných v katalogu součástek, případně informacemi přímo od výrobce. Kontrolou prochází značení, které má daný font, velikost, logo a rozestupy mezi znaky. Pomocí mikroskopu s velkým rozlišením se ověřuje struktura povrchu materiálu na přední a zadní straně pouzdra IO. Dalším specifickým znakem je vylišovaná kontrolní značka (mold mark), která má u neoriginálních součástek stejnou strukturu a originálních je hladká. Na vývodech součástky se kontrolují znaky po předchozím použití, například zbytky pájecího materiálu, rozestupy mezi vývody a jejich zarovnání. Výrobci (například Texas Instruments Inc., ON Semiconductor) na svých stránkách poskytují dokumentaci o používaném značení, charakteristických prvcích a rozměrech s možnými odchylkami velikosti jednotlivých součástek. Označení je u každého výrobce trochu odlišné, proto nelze vycházet z obecně daných specifikací.



Obrázek 12: Příklady značení pouzder firmy Texas Instruments Inc. [11]



Obrázek 13: Rozměry obvodu ST62T65C od firmy STMicroelectronics [12]

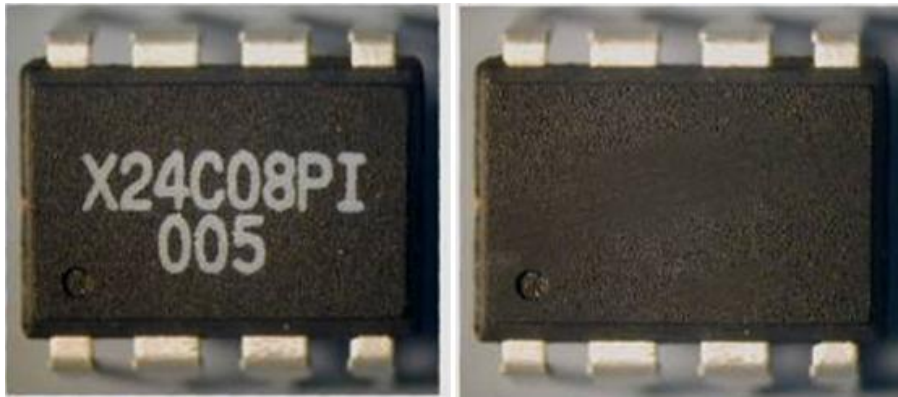
Nejjednodušší technikou, kterou lze vizuálně odhalit, je změna povrchového značení pouzdra a natisknutím nového značení (Blacktopping/Remarking). Takový zásah do povrchové úpravy však za sebou zanechá stopy, na které je potřeba se při kontrole zaměřit. Typickým znakem toho, že bylo pouzdro přeznačeno, je lesk povrchu a jeho nestálost.



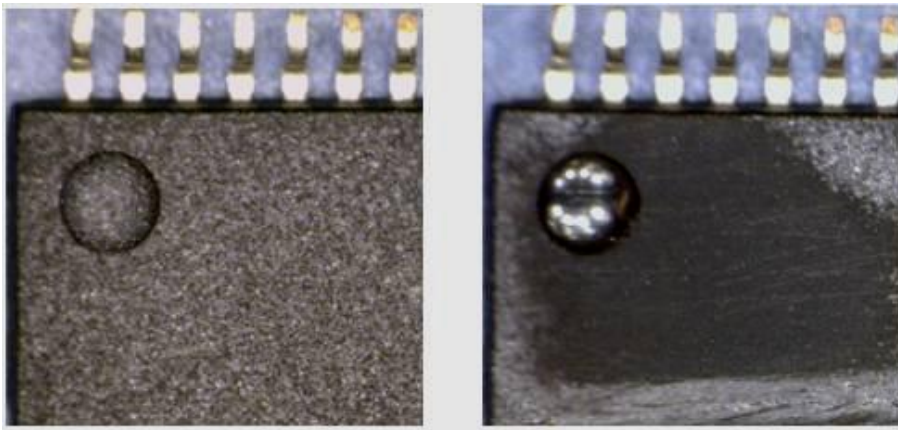
Obrázek 14: Příklad přeznačené součástky, povrch Altera přeznačeno na Cypress [13]



Po vizuální kontrole může být proveden také asov a finan n enáro ný test stálosti ozna ení a povrchu. P i tomto testu se na horní stranu pouzdra integrovaného obvodu aplikuje rozpouš tlo nap íklad Aceton, který odstraní p ípadnou neoriginální vrstvu. Lze poté vid t, že povrch ztratí svoji zrnitost a je hladký.



Obrázek 15: P íklad odstran eního zna ení. [14]



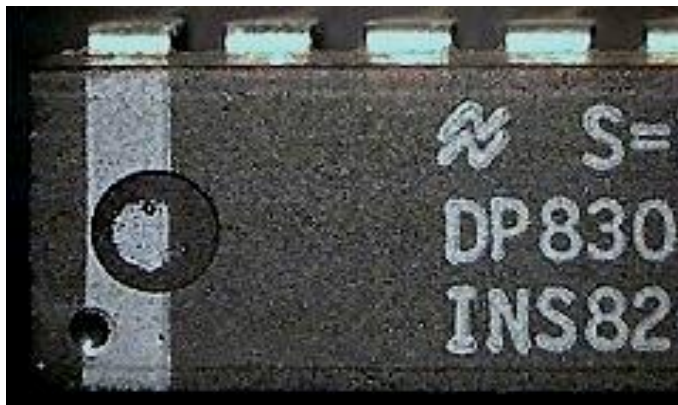
Obrázek 16: Povrch p ed a po aplikaci Acetonu. [15]



Obrázek 17: Lesklý podvrh (vlevo) a originální povrch. [13]

Na originálních součástkách je vyražené značení jasné, povrch kontrolní značky je hladký i při zvětšení a kontrolní body nejsou překryty barvou ani značením.

**Další příklady pozmeněných pouzder:**



Obrázek 18: Kontrolní značka překrytá barvou [13]



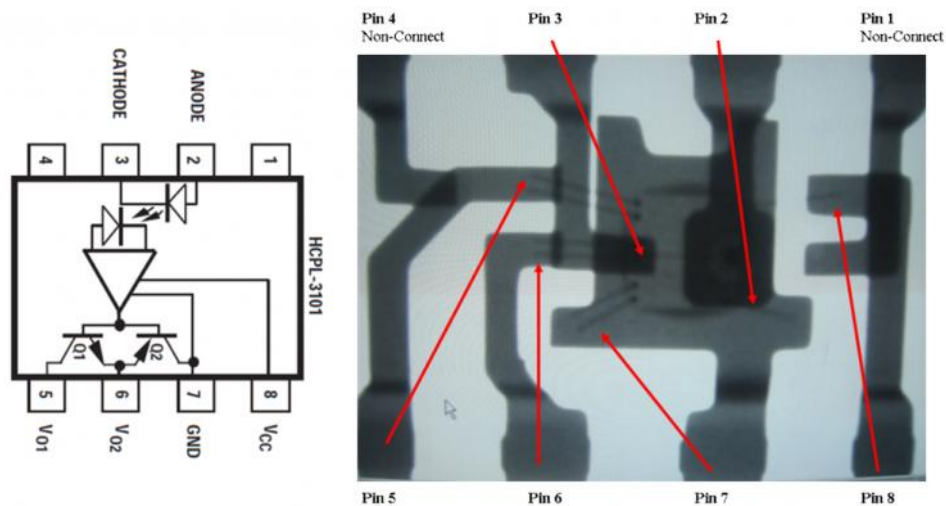
Obrázek 19: Kontrolní značka překrytá novým povrchem [13]



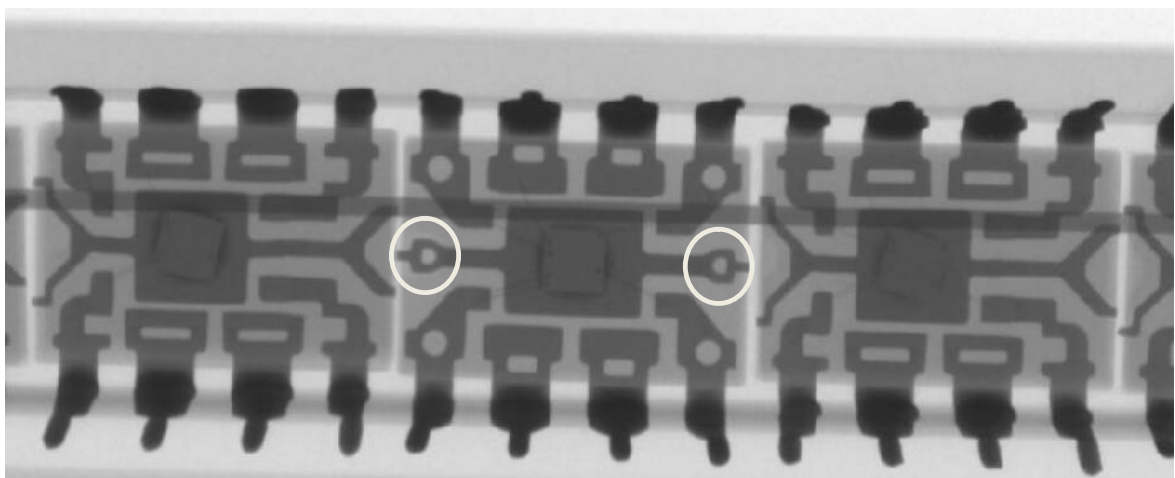
Obrázek 20: Překryté značení na spodní straně (vlevo originál) [13]

### 5.1.2. Kontrola rentgenovým zářením (X-ray inspection)

Pokud výrobek úspěšně projde vizuální kontrolou, může být otestován pomocí rentgenového záření. Rentgenový snímek bez poškození ukáže vnitřní strukturu a propojení součástky. Zjistíme tvar, charakteristické znaky a vnitřní propojení. Touto metodou lze identifikovat neoriginální součástky, ale také lze zamezit tomu, aby se do výroby dostala součástka originální, ale s chybou v návrhu nebo při výrobě, například s nepropojeným pinem. Pokud to není nutné u daného případu, mohou být součástky prohlíženy bez vybalení z obalu a celý proces může být automatizován. Do počítače jsou nadefinovány typické znaky, pro daný výrobek, které má kontrolovat a pokud daný znak nenalezne, upozorní obsluhu.

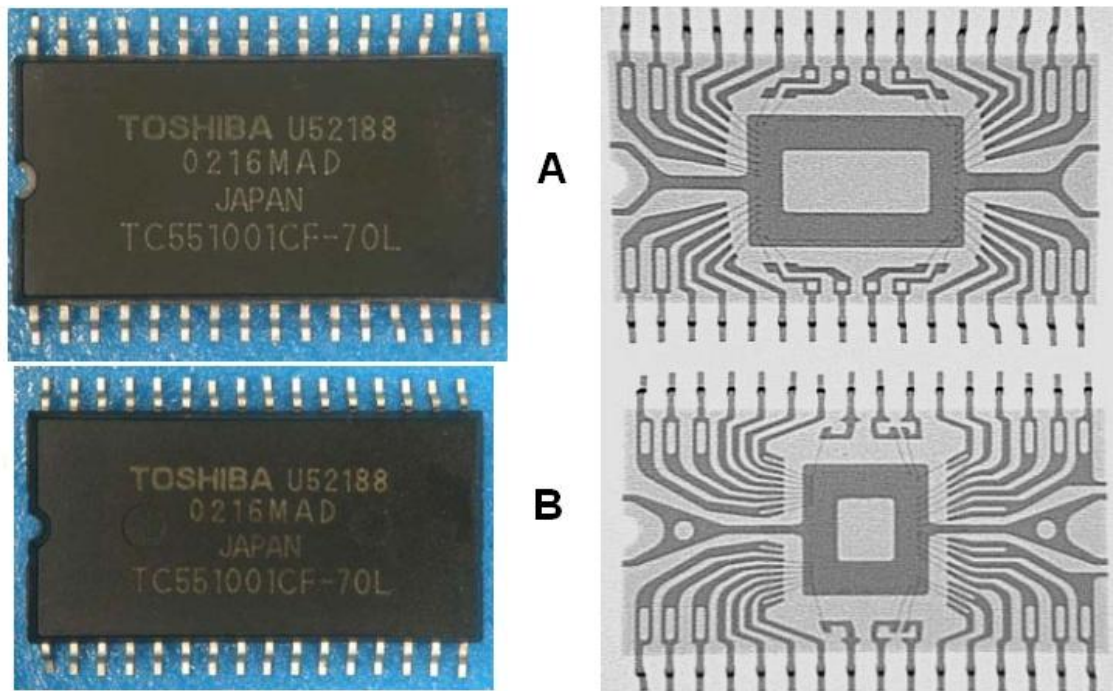


Obrázek 21: Porovnání propojení na schématu a ve skutečnosti [16]



Obrázek 22: Odlišnost prostředního obvodu [14]





Obrázek 23: Součástka se stejným značením ale rozdílnou vnitřní strukturou [17]

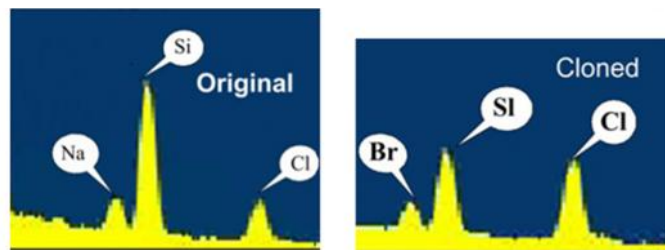


Obrázek 24: Stanoviště rentgenové inspekce

TruView Elite od firmy Creative Electron [18]

### 5.1.3. Rentgenová fluorescenční spektroskopie (XRF)

Je velmi rozšířená, rychlá a přesná nedestructivní metoda materiálové analýzy. Jejím cílem je detekce chemických prvků, obsažených ve zkoumaném materiálu. V praxi se často využívá k ověření deklarované kvality a složení komponent. Zjišťuje se například, zda jeden z prvků obsažených v materiálu nebyl nahrazen levnějším. Další využití je například zjištění přítomnosti škodlivých látek ve výrobcích – kontrola shody se směrnici RoHS (Restriction of the use of Hazardous Substances). Směrnice k omezení používání nebezpečných látek (2002/95/EC) určuje maximální hodnoty koncentrací jednotlivých látek. [19] V oblasti elektroniky se zaměříme například na Rtu (Hg), Kadmium (Cd) nebo obsah Olova (Pb) v součástkách, které byly uvedeny jako bezolovnaté.



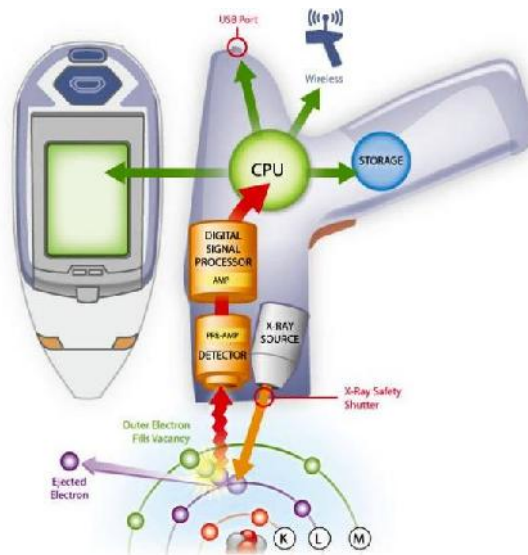
Obrázek 25: Rozdíl ve spektru originálu a kopie [20]

XRF metoda používá k vybuzení proud rentgenového záření. To je schopno aktivovat vnitřní elektron, který může opustit atom. Ve chvíli, kdy se uvolní, elektrony z vyšších slupek přeskakují na jeho místo a uvolní přebytkovou energii ve formě fotonu. Elektrony mohou zmnit umístění kaskádovitě, takže se může objevit spektrum různých fotonů. Práv toto fluorescenční spektrum se používá k identifikaci atomu. Protože každé atomové jádro má jinou sadu těchto elektronů s mírně odlišnými energiemi, sledováním vyzářených elektronů získáváme informaci přímo o přítomném jádře a tedy i o typu atomu. [21]



Obrázek 26: Schéma produkce záření [22]

Pro účely inspekce elektronických komponent je nejvhodnější portabilní tester, který se v průběhu výroby nejlépe přizpůsobí měnícím se požadavkům. Výhodou je jeho rychlost a flexibilita použití. Může sloužit při kontrolách u nového dodavatele nebo pro ověření součástí přímo před pájením. Jsou určeny pro analýzu kovových i nekovových látek. Ruční spektrometry jsou dodávány kalibrované a nastaveny pro okamžité použití. Vzorek není nutné nijak speciálně připravovat. Mají robustní konstrukci ve tvaru pistole a jsou přizpůsobeny proti vlivům povrchových podmínek a prašnosti. Ovládání testeru je řešeno u výrobků firmy Innov-X Systems kapsním počítačem iPaQ, dotykovým displejem a uživatelským prostředím vycházejícím z Windows mobile. [23]



Obrázek 27: Blokové schéma XRF spektrometru [24]

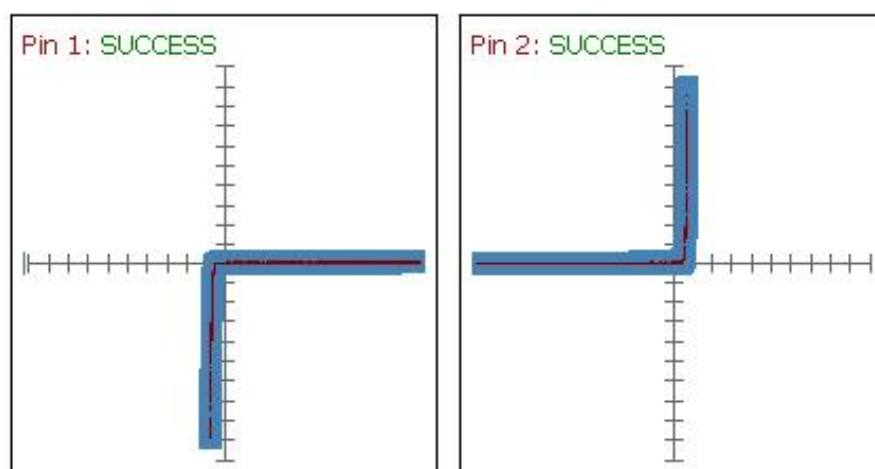


Obrázek 28: Použití spektrometru a výstup analýzy [25]

#### 5.1.4. Analogová p íznaková analýza (Analog Signature Analysis - ASA)

Tato diagnostická metoda spo ívá v prov ení charakteristiky sou ástky, která není zapájena v za ízení. Funguje podobn ě jako test komponenty pomocí osciloskopu. Testovací kanál kontroluje vždy jeden dvojpól, tedy jakékoliv propojení mezi dv ěma body, které uzavírají proudový okruh (jeden z t ěchto bod ů m ů že být nap íklad vstup integrovaného obvodu, druhý zemníc í p ívod). Jako dvojpóly má smysl testovat nap íklad P-N p echody diod a tranzistor ů . Na dvojpól se p ívede definované nap ítí a m ěn ěm proudu se zaznamená charakteristika proudu a nap ítí. Ta p edstavuje praktický p íznak (otisk) pro p íslušnou ást zapojení, pop ípad ě pro testovanou sou ástku a ukládá se obvykle v digitalizovan ěm tvaru. Testovací p ístroje mají v t ěší po et kanál ( ádov 32 - 128). Testovací kanály se s testovanou sou ástkou propojují prost ednictvím propojovacích lišt, testovacích svorek, p ípadn ě speciálních adaptér ů . P ístroje se mohou nau it jak p íznak v dobr ěm zapojení, tak porovnávat p íznaky uložené v pam ěti s nam ěnými (p í emž se berou v potaz ur it ě nastaven ě tolerance). Mnohé p ístroje mohou porovnávat p íznaky dvou a více sou asn ě p ípojených sou ástek. [9]

Každá testovaná sou ástka zanechá sv ů j specifický otisk, takzvaný Pin-print. Je tak možné testovat sou ástky, polovodi ov ě ale i diskrétní. P í testování musíme brát ohled na to, že se i sou ástky ze stejné řaz ě m ů žou v detailech charakteristik lišit a musíme tak p im ěn ě nastavit toleranci. Po správn ěm nastavení zvládne práci se za ízením velmi rychle i proškolený laik. Tato metoda bude detailn ě rozebrána v praktické ásti na konkrétních p íkladech.



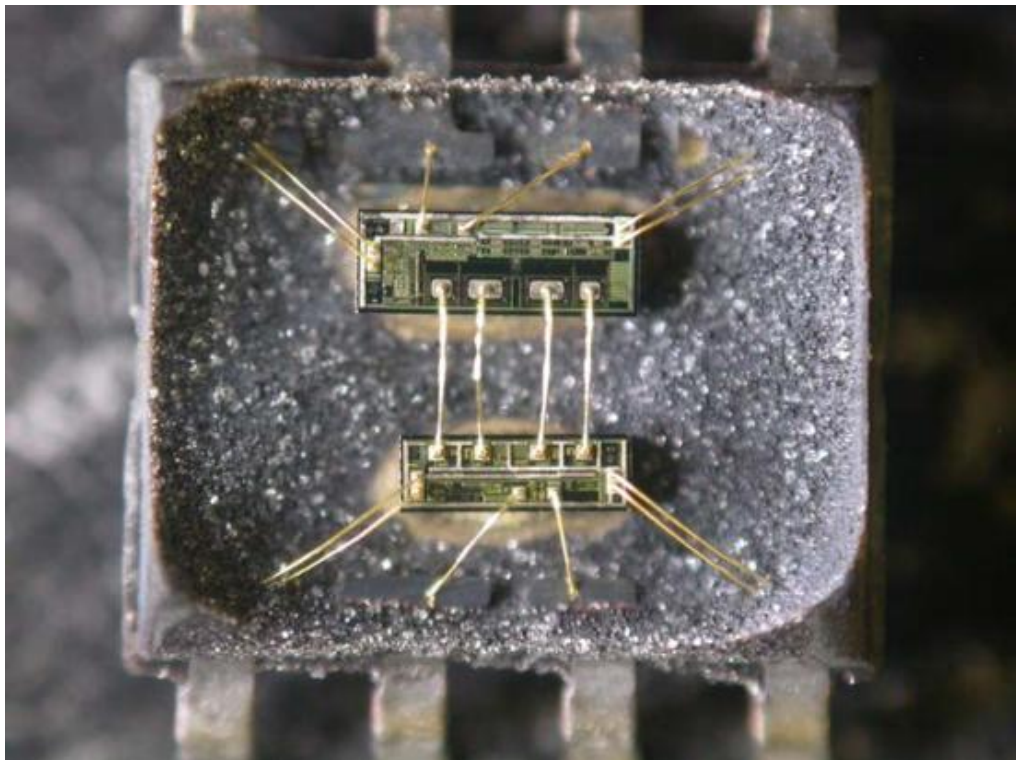
Obrázek 29: : V-A charakteristika Germániové diody



## 5.2. Destruktivní metody

### 5.2.1. Odstranění pouzdra (Decapsulation)

U této metody dochází k nevratnému zničení součástky, tudíž není vhodná tak, jako nedestruktivní metody k preventivnímu ověření velkého počtu komponent. Spočívá v odstranění části plastového nebo keramického pouzdra, které se může narušit mechanickou, chemickou, plasmovou nebo laserovou technologií. V případě chemické technologie se na pouzdro aplikuje kyselina tak, aby po odleptání byla možná vizuální kontrola čipu a jeho propojení. Vnitřní struktura součástky je nejnáročnější oblast na padlání. Podrobujeme ji kontrole za pomoci elektronových mikroskopů s velkým rozlišením, kdy se hledají charakteristické znaky používané danou firmou. Jsou to například logo, typové označení součástky, datum výroby a další specifické znaky, které má každá firma odlišné. Další oblast, na kterou se při této kontrole zamůžeme, je vnitřní architektura obvodu. Jsou hledány chyby nebo odlišnosti porovnáním s ověřeným obvodem, případně poškození struktury samotného čipu, zlomení drátků pro spojení kontaktů s piny, případně špatný kontakt.

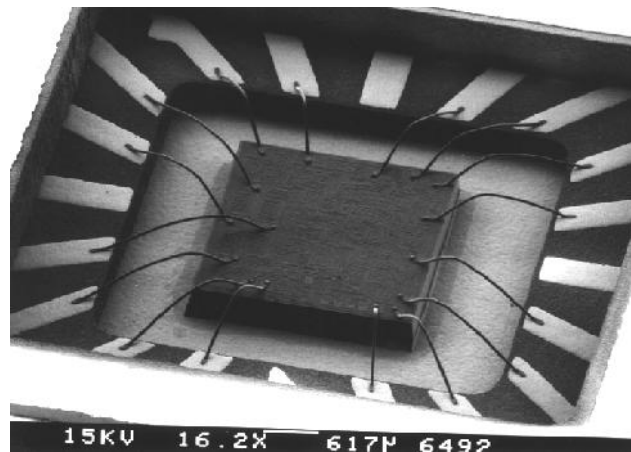


Obrázek 30: Integrovaný obvod po odstranění části pouzdra [26]





Obrázek 31: Srovnání identifikačních znaků na pouzdrů a vnitřním systému (chipu) [27]



Obrázek 32: Zvětšená architektura integrovaného obvodu [28]



Obrázek 33: Přístroje pro odstranění pouzdra: FA-2000-plasma, RAPIDETCH-chemický, ASAP-1–mechanický, SESAME 1000-laser [29]

## 6. ELEKTROSTATICKÝ VÝBOJ – ESD

V prostředí okolo nás jsou předměty, které jsou různě polarizované – jsou nabitě považujícím kladným nebo záporným nábojem. Jejich napětí se s časem zmenšuje v závislosti na odporu materiálu. Jako zástupce dvou materiálů se zcela odlišnými vlastnostmi můžeme uvést plastové hmoty a kovy. Plasty mají velký specifický odpor, což jim umožňuje udržování elektrostatického náboje po delší dobu. Naopak kovy mají nízký specifický odpor. Pokud je kovový předmět uzemněn uchová si své nabití pouze krátkou dobu. Statická elektřina je měřena ve Voltech. Běžně považujeme síťové stídaté napětí (230 V) za nebezpečné, které může v závislosti na podmínkách člověka zranit. V případě elektrostatického napětí jsou běžné hodnoty v řádech desítek kilovolt. Velikost generovaného elektrostatického náboje je závislá na několika vlastnostech materiálů a prostředí. Jednou z nich je relativní vlhkost prostředí. Obecně můžeme říci, že čím je prostředí sušší tím je možné vyšší napětí, s rostoucí vlhkostí se napětí zmenšuje. Další vlastností je teplota materiálu. Se zmenšující se teplotou má materiál tendenci vytvářet elektrostatický náboj, který se šíří po celém materiálu. [30]



Obrázek 34: Van de Graaff v generátor [31]

### 6.1. Definice ESD (ElectroStatic Discharge)

*Elektrostatický výboj vznikne, dojde-li k postupnému vytvoření elektrostatického napětí mezi předmětem a jeho okolím a poté k spontánnímu výboji v podobě impulsu elektrického proudu. Ve velmi krátké době přeskóčí elektrický výboj a vznikne vysoké napětí a velký proud. Jestliže je místem takového výboje integrovaný obvod, může být poškozen či zničen.* [32]

## 6.2. Poškození vlivem ESD

**ESD lze podle původu zdroje rozdělit na dvě skupiny:**

- *přirodní zdroje,*
- *zdroje uměle vytvořené lidskou činností.*

**Rozeznáváme dva způsoby vzniku uměle vytvořeného elektrostatického výboje:**

- *elektrostatický výboj mezi nabitým předmětem (např. lidským tělem) a uzemněným obvodem (např. když člověk manipuluje s elektrickým zařízením nebo integrovaným obvodem),*
- *elektrostatický výboj mezi nabitým obvodem a uzemněným zařízením (např. při strojové manipulaci s integrovanými obvody, při dotyku testovacím nástrojem apod.).*

*Následkem elektrostatického výboje může být funkční i parametrické poškození obvodu nebo i latentní poškození, které nelze zjistit testovacími přístroji, ale projeví se až při následném použití v praxi (počase). ESD tak snižuje spolehlivost integrovaných obvodů. Výrobci integrovaných obvodů testují citlivost na ESD každého nového výrobku jako součást standardního procesu zavádění nových produktů do výroby v souladu s požadavky jejich zákazníků.*

*Vlivem elektrostatického výboje se vytvářejí různé typy poškození. Nejběžnější selhání integrovaného obvodu vlivem elektrostatického výboje se projevuje jako zvrážděný zbytkový proud nebo zkrat odporového charakteru na kterých vstupních a výstupních vývodech (pin). Ostatní běžná poškození jsou například nadměrný napájecí proud, funkční poruchy nebo občas i odpojené vývody. Poškozené vývody způsobující selhání IO mohou být identifikovány měřením voltampérových charakteristik jednotlivých vývodů poškozeného IO.[32]*

Následky poškození IO vlivem elektrostatického výboje jsou obvykle fatální a jedinou možností nápravy je vymnit celý poškozený IO. Při etížení vlivem elektrostatického výboje může někdy způsobit jen skryté vady nebo zhoršení parametrů, jako například v tší svodové proudy, které nejsou indikovány během testování parametrů a funkčnosti integrovaného obvodu. Tyto skryté vady mohou ovlivnit životnost zařízení a jeho spolehlivost.

### **Poškození IO lze zařadit do tří kategorií:**

- roztavení vodivých spojů nebo rezistorů,
- poškození polovodičových plynů nebo kontaktů,
- poškození dielektrické izolace.

### **Mechanismy, které mohou způsobit poškození IO:**

- poškození vlivem velkého proudu (roztavení vodivých spojů nebo rezistorů, roztavení polovodičových plynů, poškození kontaktů mezi polovodičem a spoji),
- poškození vlivem velkého napětí (průraz dielektrické izolace).

### **Roztavení vodivých spojů nebo rezistorů**

K roztavení vodiče nebo rezistoru může dojít u tenkých kovových spojů, tenkovrstvých rezistorů a keramických polykrystalických rezistorů nebo spojů. Vlivem velkého proudu, který vzniká z ESD a prochází velmi tenkými spoji nebo rezistory na IO, se tyto vodiče při soběním Jouleova tepla ohřívají. Je-li překročena teplota tavení keramiky nebo vodiče, dochází k jeho poškození.

### **Poškození polovodičových plynů nebo kontaktů**

K poškození polovodičových plynů nebo kontaktů dochází, jestliže se například polovodičový plyn PN (například plyn emitor-báze u bipolárních tranzistorů nebo plyn drain-source u tranzistorů MOS) dostane do lavinového průrazu. Proud prudce naroste a následně nastane destruktivní průraz. [32]

**Postup událostí, který v tšinou zp sobí poškození polovodi ového p echodu a m že vést k poškození kontakt :**

- *nap tí na záv rn polarizovaném p echodu PN p ekro í nap tí lavinového pr razu,*
- *druhý pr raz m že nastat tehdy, oh eje-li se vlivem pr chodu proudu p echod PN na teplotu, p i níž tepelná generace nosí náboje p ekro í generaci nosí náboje zp sobenou lavinovým pr razem,*
- *místem druhého pr razu protéká velmi velký proud a zp sobuje lokální zah ívání materiálu,*
- *lokální zah ívání urychluje termální generaci nosí náboje a to zp sobuje další lokální r st proudu, tedy kladnou zp tnou vazbu; vyvrcholením je roztavení k emíku, když teplota p ekro í 1 415 °C,*
- *je-li teplota dostate ná k roztavení kovového vodi e v oblasti kontaktu mezi kovovým vodi em a k emíkem, elektrické pole m že zp sobit, že se roztavený kov dostane do oblasti polovodi ového p echodu a zp sobí odporový zkrat polovodi ového p echodu.*

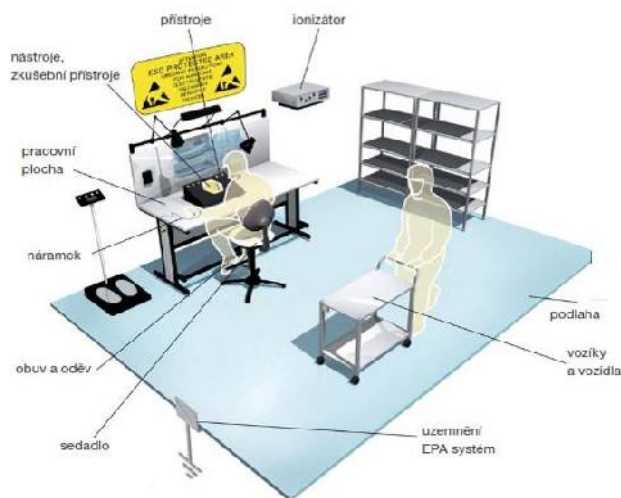
### **Pr raz dielektrika**

*K poškození dielektrické izolace dochází, když nap tí na dielektrické izolaci (nap . z oxidu k emíku nebo nitridu k emíku) b hem elektrostatického výboje p ekro í dielektrickou pevnost a nastane pr raz. Tento jev vzniká p edevším u výboje, jehož velmi rychlá náb žná hrana proudu a jeho velmi vysoká hodnota zp sobí vznik vysokého nap tí uvnit IO.*

**Postup událostí, které zp sobí pr raz dielektrika:**

- *záv rné nap tí dielektrika je p ekro eno (na hran , nebo na dielektrické vrstvě ),*
- *tímto bodem prote e relativn velký proud, který vyvolá lokální p eh átí,*
- *v tomto míst se vytvo í p etavený amorfní nebo polykrystalický k emík. [32]*

Problematika ESD je v současné době velmi aktuálním tématem, protože technický vývoj přichází se součástkami, které jsou navrhované pro stále menší napětí a proudy. Tím se stávají citlivějšími na elektrostatické jevy. Tento fakt je nutné respektovat i samotném procesu výroby, dále pak i balení a transportu. Nakonec i samotné manipulaci a osazování na desku plošných spojů, kde se automatické linky pohybují velkou rychlostí a přicházejí do kontaktu s plastovými hmotami. Ve firmách, kde se pracuje se součástkami citlivými na elektrostatický výboj (ESDS – ElectroStatic Discharge Sensitive), jsou zavedeny normy, jejichž dodržování omezuje vznik elektrostatického napětí. Standardy stanovují, jak by měl být zřízen antistatický prostor EPA (Electrostatic Protected Area) určený pro práci s takovými součástkami. Toto pracoviště by mělo být vybavené speciální podlahovou krytinou, která zabrávní vzniku ESD i přítomností vnikajících chvilic nebo pohybem pedmetů, odvojenými ochrannými pomůckami obsluhy a dalším zařízením, které je upraveno tak, aby minimalizovalo ESD. Každý kvalitní produkt, který jde na trh je ve výrobě testován na elektrostatické vlivy. Tento jev je další příčinou pro součástky nepocházející z oficiální distribuce, ale z výroby která nedodržuje standardy nebo správnou přepravu a skladování, jsou rizikovým faktorem pro další produkci zařízení. V České republice je problematika ochrany před nebezpečnými elektrostatickými jevy upravována sadou norem pod označením SN EN 61340, které jsou pojmenovány společným názvem Elektrostatika a také částí normy o EMC - SN EN 61000-4-2. V rámci světového řešení problematiky elektrostatického výboje v elektronice je uznávána norma Ministerstva obrany Spojených států amerických. Je to standard testovacích metod pro integrované obvody MIL STD 883E.



Obrázek 35: Electrostatic Protected Area [33]

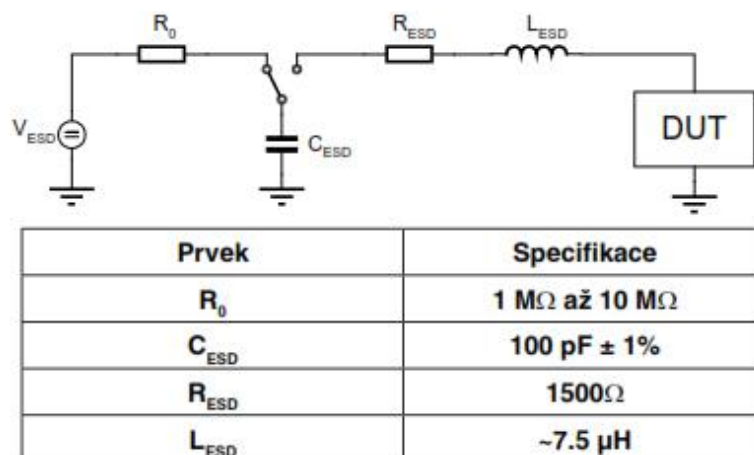
### 6.3. Testovací metody

ESD test má simulovat reálné známky poškození a kvantifikovat citlivost, kterou lze popsat reálným typem ESD v prostředí integrovaných obvodů. Modely specifikující průběh vybíjecího proudu pro dané elektrostatické napětí potvrzují, že vybíjecí proud procházející integrovaným obvodem, generující napěťové rozdíly a zahřívající jeho interní struktury je odpovídající za vlněnou poruchovou soběnou ESD. V podstatě by úroveň citlivosti na ESD měla umožnit porovnání s úrovněmi elektrostatického napětí měřeného ve výrobním procesu.

Normy nám určí pro testování tyto modely simulace porušení ESD :

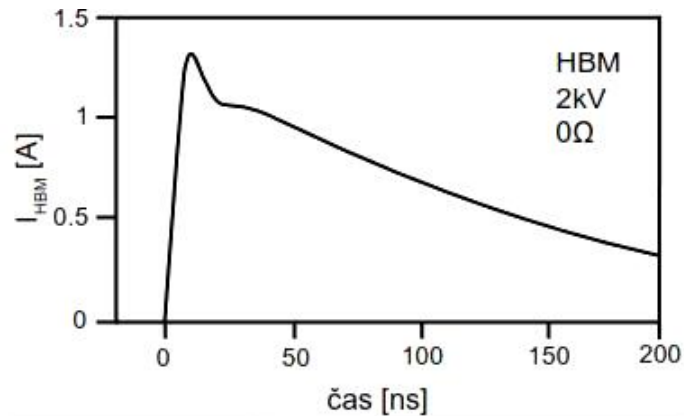
#### Human Body Model - HBM

Human Body Model (model lidského těla) je nejběžněji používaný model k charakterizování citlivosti IO na poškození porušením ESD. Tento model využívá simulaci elektrostatického výboje, který se může objevit, jestliže se lidské tělo dotkne elektronického zařízení. Test představuje výboj od stojícího člověka přes jeho prst. Byl stanoven normou MIL STD-883 (Test Method Standard – Microcircuits) jako metoda 3015.X. Tato norma definuje proudovou kvintu pro výboj z kondenzátoru o kapacitě 100 pF přes rezistor o odporu 1,5 k $\Omega$ . Používané hodnoty elektrického napětí jsou obvykle mezi 1 000 V až 8 000 V, v závislosti na typu použití integrovaného obvodu. [32]



Obrázek 36: Zapojení pro HMB [34]



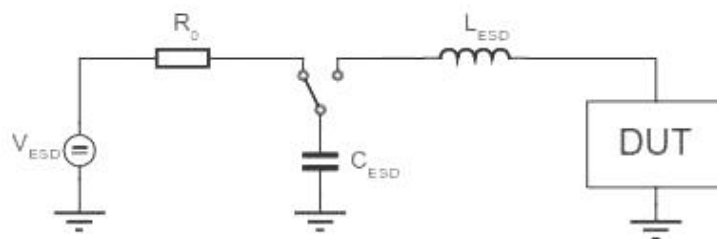


Parameter	Specifikace	Napětí	Proud
Náběžná hrana	< 10 ns	2 kV	1.33 A
Délka pulzu	150 ± 20 ns	4 kV	2.67 A
Oscilace	< 15 %	8 kV	5.33 A

Obrázek 37: Specifikace parametrů pro HMB [34]

**Machine Model - MM**

*Machine model (model strojního zařízení) byl vyvinut v devadesátých letech minulého století v Japonsku jako nejhorší případ modelu lidského těla. Tento model představuje výboj od sedícího pracovníka přes kovový dobytek a vodivý nástroj a je modelován obvodem RC ( $C = 200 \text{ pF}$ ,  $R = 0$ ). Představuje nízkoimpedanční výboj s velkým proudem, který pro malou impedanci zátěže vlivem parazitní sériové indukčnosti osciluje. Vybíjecí obvod je podobný jako pro model lidského těla. Poškození způsobená při testování modelem strojního zařízení jsou v tštinou podobná jako poškození způsobená testy modelem lidského těla, ale nastávají již při daleko nižších úrovních napětí. [32]*



Prvek	Specifikace
$R_0$	1 MΩ až 10 MΩ
$C_{ESD}$	200 pF
$L_{ESD}$	~7.5 μH

Obrázek 38: Schéma pro MM [34]

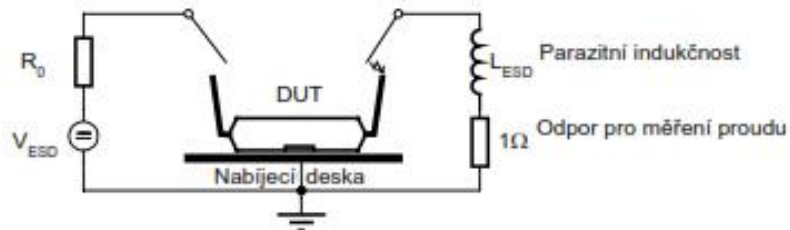


Parametr	Specifikace	Napětí	Proud
Náběžná hrana	< 10 ns	100 V	1.75 A
Délka pulzu	150 ns	200 V	3.5 A
Oscilace	< 30 % I <sub>p</sub>	400 V	7 A

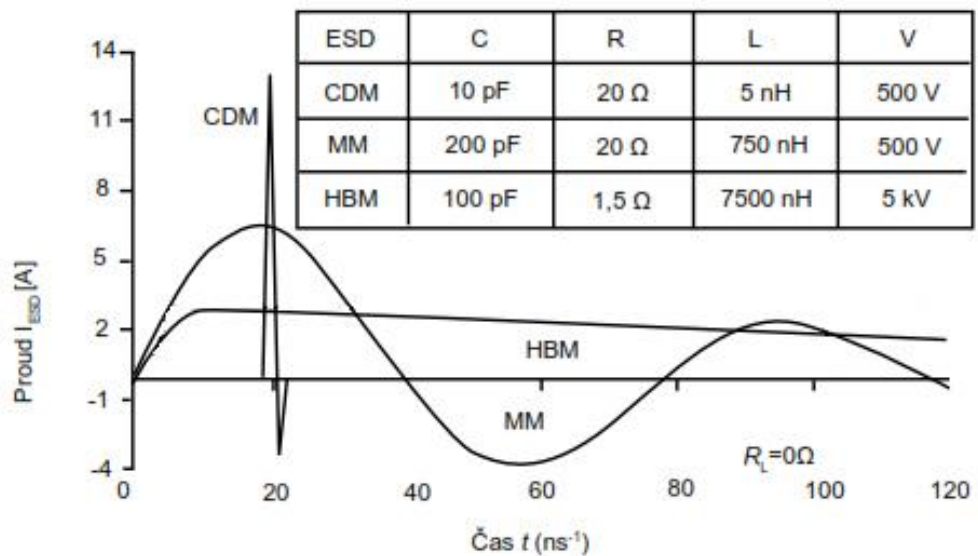
Obrázek 39: Specifikace parametrů pro MM [34]

**Charged Device Model - CDM**

*Charged Device Model (model elektrostaticky nabité součástky) má hlavní význam při automatické manipulaci s IO. Má simulovat výboj z nabitého integrovaného obvodu jedním z jeho vývodů do nízkoimpedančního uzemnění. Simuluje reálné případy ESD v průběhu automatické manipulace, značení, zvedání a umístění.[32]*



Obrázek 40: Aplikace CDM [34]



Obrázek 41: Průběhy a parametry jednotlivých modelů [34]

## **II. PRAKTICKÁ ÁST**

## 7. TESTOVACÍ ZAŘÍZENÍ

### 7.1. SENTRY Counterfeit IC detector

SENTRY Counterfeit IC Detector je typ testovacího přístroje pro integrované obvody a diskrétní součástky. Byl vyvinut firmou ABI Electronics Ltd. pro ověření autentičnosti elektronických obvodů pomocí analýzy voltampérových charakteristik a jejich porovnávání s databází charakteristik známých součástek nebo známým fyzickým vzorkem. Můžeme říci, že tento detektor pracuje jako komparátor, který porovnává data ověřených součástek a testovaného vzorku. Detektor pracuje na principu skenování charakteristik, které vycházejí z naměřených hodnot mezi piny. Tato data se nazývají Pinprint. Sentry je schopno bez použití speciálních adaptérů testovat integrované obvody DIL do 48 vývodů. Jedná se o malé (27 x 25 x 9 cm) a lehké (3,5 kg) přenosné zařízení. [35]



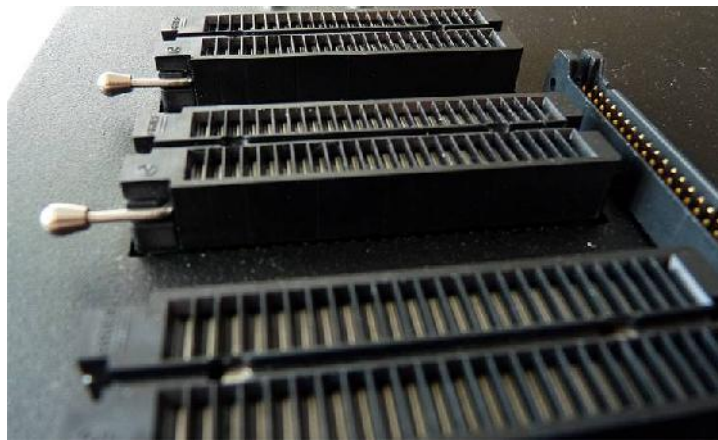
Obrázek 42: SENTRY Counterfeit IC Detector

Je napájeno síťovým napětím 230 V. Komunikace s počítačem je řešena přes USB rozhraní. Je vybaveno pouze jedním hardwarovým ovládacím prvkem, kterým je tlačítko Zapnuto / Vypnuto. Na zadní části jsou umístěny ventilátory pro udržování pracovní teploty.

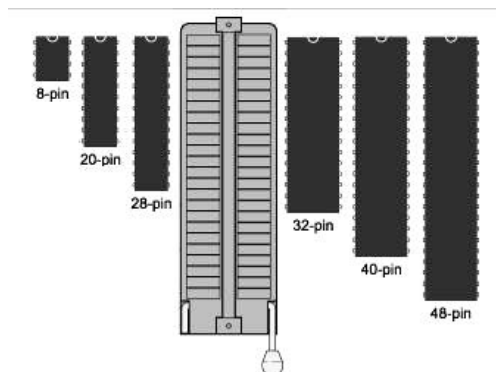


Obrázek 43: SENTRY Counterfeit IC Detector – zadní strana

Na horní straně přístroje je pracovní prostor, kde jsou umístěny ZIF patice. ZIF (Zero Insertion Force) je patice, která umožňuje uživateli vyjmout nebo vložit a aretovat obvod bez nutnosti použití speciálních pomůcek. Tyto patice umožňují kontakt a připojení v těsnosti součástek jako jsou diody, kondenzátory a odpory, ale i integrované obvody s malým stupněm integrace a pouzdrem DIL/DIP (Dual In-Line Package), kde vývody procházejí skrz otvory v desce plošných spojů. Rozteč pinů je 0,254 cm (0.1") - vzdálenost pinů (šířková rozteč) může být 0,762 cm (.300"), 1,524 cm (.600") nebo 2,286 cm (.900"). Rozteč pinů závisí na tom, zda je výrobek v metrických nebo imperiálních mírách. [36]



Obrázek 44: Patice ZIF

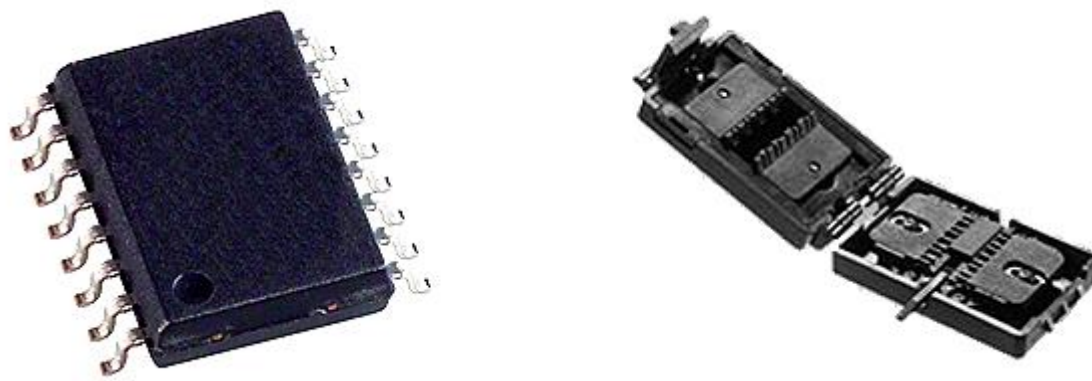


Obrázek 45: Patice ZIF a IO [37]

V dnešní době jsou ve velké míře používány součástky typu SMD (Surface Mount Device). Jsou to velmi malé součástky určené pro povrchovou montáž (SMT - Surface Mount Technology). U těchto součástek nedochází k prostrčení nožiček vyvrtaným otvorem v desce plošných spojů, ale jsou vodivě propojeny a připevněny k desce plošných spojů jednostranně pomocí speciální technologie pájení. Mezi tyto součástky patří samozřejmě i integrované obvody s menší i v tší mírou integrace. Jelikož mají vývody zahnuté do tvaru písmene L nebo J nebylo by je možné do ZIF patiček spolehlivě uchytnout. Proto jsou pro ně vytvořeny speciální adaptéry. Tento adaptér obsahuje pouzdro se speciálně určenými kontakty a je umístěn na desce plošných spojů, která se přes pole hrotových kontaktů propojí se základními patičkami ZIF.

## 7.2. Adaptéry

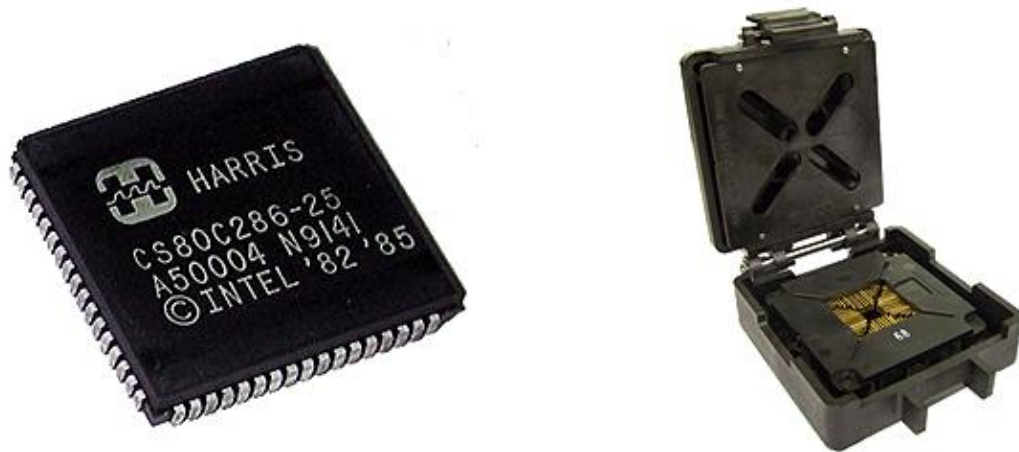
Prvním z nich je adaptér pro integrované obvody v pouzdru typu SOIC (Small-Outline Integrated Circuit), který umožňuje univerzálně propojit obvody tohoto typu do 44 pinů se šířkou od 3,81 mm do 15,24 mm.



Obrázek 46: Pouzdro SOIC a jeho adaptér [38] [39]

Druhým typem je univerzální adaptér pro obvody v pouzdru PLCC (Plastic Leaded Chip Carrier). Obvod je vhodný k umístění do patičky, ale i pro povrchovou montáž. Má čtvercový tvar a po stranách vodivé plošky. Dříve se používaly například pro procesory i286, dnes se využívají pro integrované funkce základních desek (BIOS). Adaptér umožňuje připojit pouzdra od 20 do 84 vývodů.





Obrázek 47: Pouzdro PLCC a jeho adaptér [40] [41]

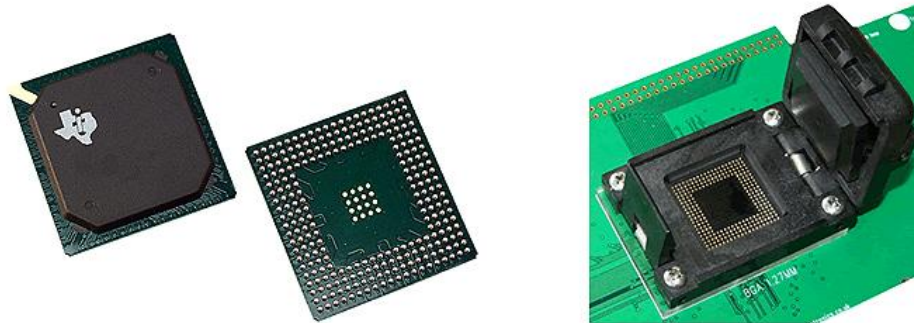
Další obvod, který lze pomocí adaptéru otestovat je v pouzdru typu QFP (Quad Flat Pack) je to opět pouzdro pro povrchovou montáž. Podle verze může mít 32 až 304 pin s rozestupem 0,4 mm až 1 mm. Toto pouzdro bylo použito u procesoru i386.



Obrázek 48: Pouzdro QFP a jeho adaptér [42] [43]

Posledním běžně dostupným adaptérem je pro pouzdro typu BGA (Ball Grid Array), je to další druh pouzdra pro povrchovou montáž. Vychází z PGA (Pin Grid Array), ale místo dlouhých pinů je na vývodech nanesena kulíková pájka, která se při montáži zahřeje a přilpí k patici nebo přímo k PCB (Printed Circuit Board, - deska tištěných spojů). Toto řešení je méně náročné na prostor, zajišťuje lepší chlazení (teplo přejde do celé PCB) a značně eliminuje indukční a kapacitový odpor, proto se používá do přenosných zařízení. Nevýhodou pouzder BGA jsou problémy s kontrolou pájeného spoje, který se nachází pod součástkou. Technologické podmínky při pájení musí zaručovat kvalitní zapájení.

Jakékoliv dodatečné opravy pájeného spoje nejsou možné, rovněž kontrola zapájení je obtížná. Pro kontrolu se používají nejčastěji diagnostické metody používající rentgenové záření. [44]



Obrázek 49: Pouzdro BQA a jeho a adaptér [45] [43]

### 7.2.1. Praktické testování adaptéru

Při testování bylo nutné použít SOIC adaptér pro součástky SMD. Byly to součástky: kmitočtový syntetizér W48C54A-05G se šestnácti vývody a součástka NE555 s osmi. Adaptér SOIC od firmy ABI je konstruován jako univerzální příslušenství, které má sloužit pro IO s různou velikostí a množstvím vývodů. Variabilitu je docíleno několika mechanickými částmi – jedná se o kulisu, kterou se obvod fixuje na kontaktních ploškách. Tato kulisa je zajištěna pěti šrouby a její posunutí určuje pro jaký typ je adaptér nastaven. Kontakty jsou vytvořeny z úzkých proužků kovu, které jsou odpruženy. Při usazování IO na kontaktech je potřeba postupovat velice jemně, aby nedošlo ke zkrácení nebo posunutí nožiček a trpělivost je nutné v novat i nastavení šablony. U testovaných vzorků se několikrát opakoval stav, že byla zmešána pouze polovina vývodů a to na jedné straně. Po rozložení adaptéru se ukázalo, že pod plastovou kulisu byly kontakty v různé výškové úrovni a IO správně nedoléhal. Na tyto problémy je potřeba soustředit pozornost, protože program automaticky vyhodnocuje takovéto měření jako chybné i když je obvod bez vady.



Obrázek 50: Vložený obvod SMD v adaptéru SOIC.

### 7.3. SENTRY – software pro testování součástek

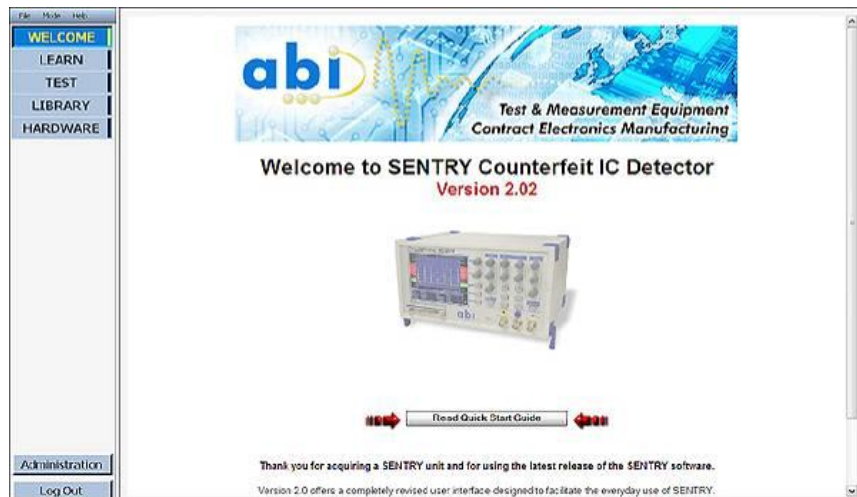
Firma ABI Electronics Ltd. poskytuje k detektoru SENTRY software, který je určen pro operační systém Windows ve 32 bitové verzi. Minimální požadavky na počítač pro stabilní chod aplikace jsou: 200 MB volného místa na pevném disku, operační paměť RAM minimálně 512MB a USB rozhraní ve verzi 2.0. Program a ovladač jsou dodávány na CD. Před samotným připojením přístroje je nutné nainstalovat program pro testování. Instalaci program se spustí automaticky po vložení CD a proběhne standardní instalace. Pokud se tak nestane, nainstalujeme program ručně pomocí souboru setup.exe. Po úspěšné instalaci propojíme počítač s detektorem pomocí USB kabelu A-B. Zapneme přístroj a operační systém počítače by měl nahlásit nový hardware a zahájit instalaci nového ovladače. Po celkové instalaci je vhodné přístroj vypnout a počítač restartovat. Po opětovném zapnutí přístroje je možné začít pracovat s programem. [46]



Obrázek 51: Úvodní okno programu SENTRY

Po nainstalování programu se objeví jako první okno s požadavkem na výběr a přihlášení uživatele, tato volba se poté potvrdí tlačítkem Log In. Před prvním vstupem do pracovního prostředí je možné, že program požádá o potvrzení softwarového restartování a kalibraci přístroje. Poté je zobrazeno úvodní okno programu, kde je nabídnut manuál v PDF. V levém sloupci je menu nabídky, kde jsou volby pro módu učení (LEARN), testování (TEST) a kontrola připojení hardware (HARDWARE). Ve volbě Administrace (Administration) je možné před zahájením testování nastavit míru tolerance. Před zahájením práce s programem je vhodné zkontrolovat bezchybné připojení detektoru ve volbě HARDWARE. Pokud je zařízením korektně připojeno, jsou zde vypsány hodnoty přístroje a jsou zde u jednotlivých částí zelené „fajfky“.

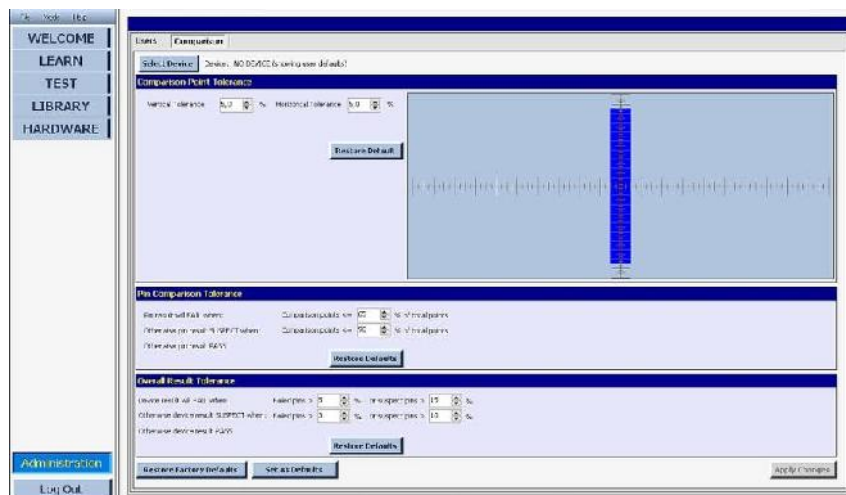




Obrázek 52: Uvítací obrazovka s nabídnutým návodem



Obrázek 53: Okno pro kontrolu p iipojení detektoru

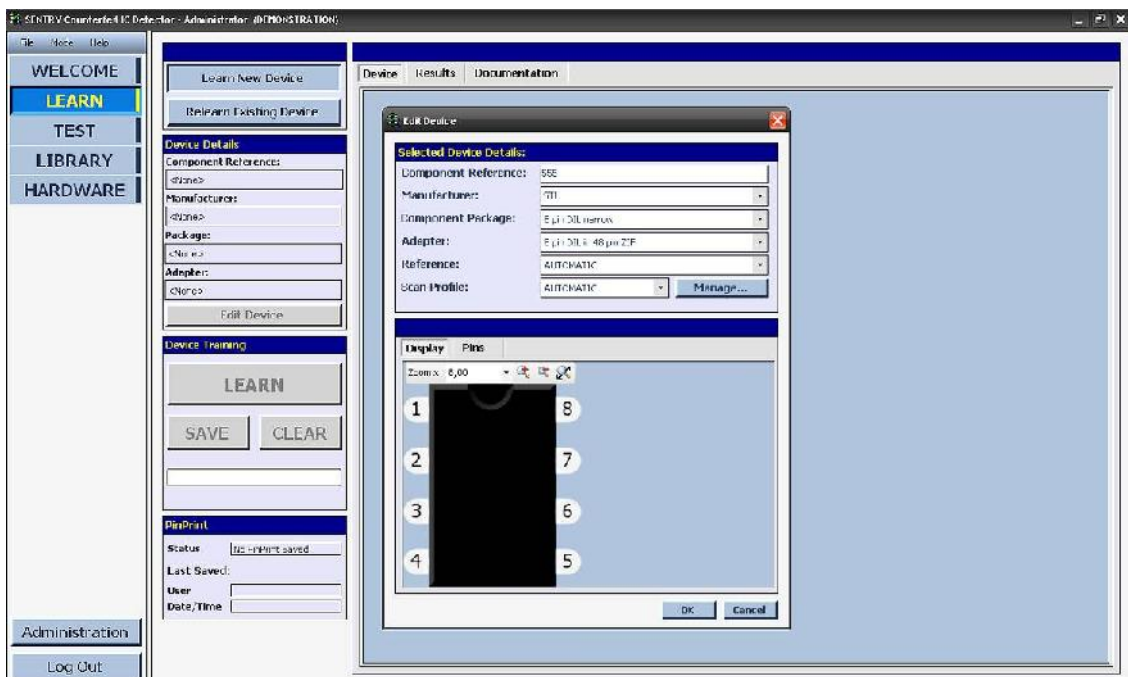


Obrázek 54: Nastavení procentuální míry toleran ního pole

## 7.4. Postup při testování součástek

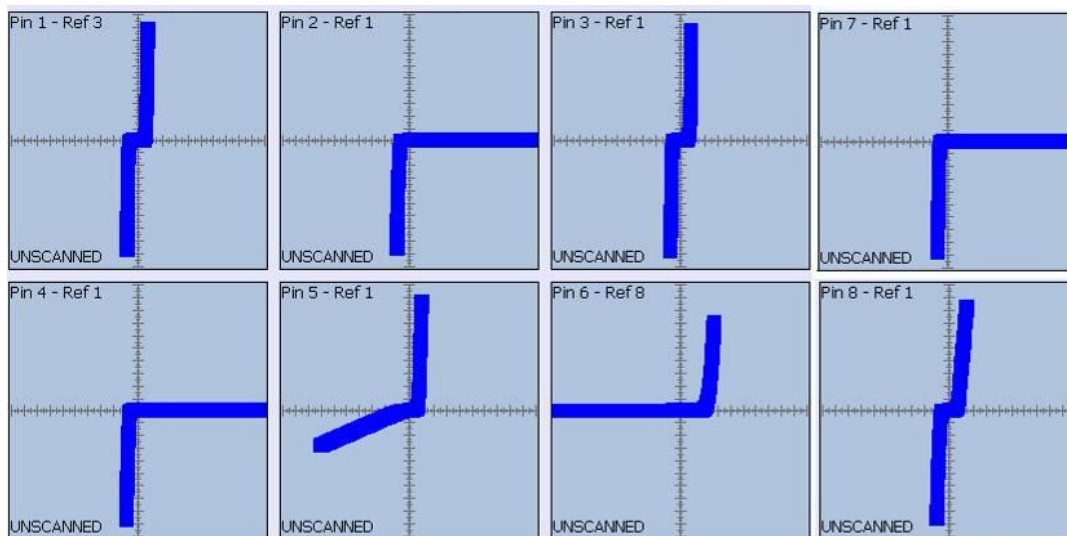
Program pro obsluhu detektoru SENTRY je přehledný a uživatelsky přívětivý. Po krátkém zaškolení s ním zvládne práci každý člověk, který má alespoň základní přehled v oblasti výpočetní techniky. Pro testování jasně definovaných aplikací tak odpadá speciální školení pro obsluhu. Ve složitějších a méně jasných případech je nutné obsluhu upozornit, na jaké příznaky si má dávat pozor a jaké má nastavit míry tolerance.

Prvním krokem je definovat součástku nebo sadu součástek, jejichž parametry budeme brát jako výchozí a budeme s nimi porovnávat další součástky stejného typu. Tuto součástku vložíme do patice ZIF (označený první pin bude v levém prvním kontaktu) a zajistíme, vnujíme pozornost tomu, zda jsou všechny vývody v kontaktu s adaptérem. V programu SENTRY vstoupíme do režimu učení (LEARN), v pravé části se nám otevře pracovní okno, ve kterém zvolíme Naučit nové zařízení (Learn New Device). Vyplníme název, výrobce, typ pouzdra součástky, případně zvolíme jeden z adaptérů, dále můžeme zvolit skenovací profil (Scan profile) a referenční vývod (Reference). Pro základní testování můžeme nechat poslední dvě položky v režimu AUTOMATIC. Po zvolení typu pouzdra se nám zobrazí jeho schéma ve spodním okně, můžeme zde popsat značení pinů pro lepší pozdější orientaci. Po potvrzení tlačítkem OK se vrátíme zpět do prostředí a můžeme spustit učení (LEARN).

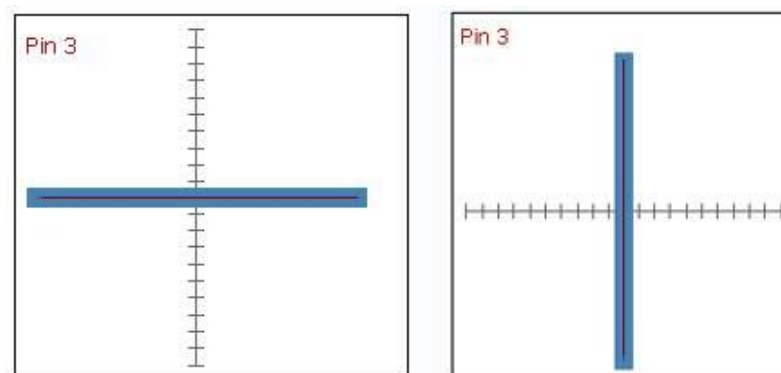


Obrázek 55: Okno při vkládání informací pro mód učení

Prběh měření sledovat ve vodorovném ukazateli, ale jsou znáeny i aktuálně pracující piny. V položce Dokumentace (Documentation) je možné připojit krátký popis, obrázek, nebo technické specifikace (datasheet). Tlačítkem SAVE hodnoty uložíme, případně CLEAR vymažeme. Jestliže potřebujeme porovnávat komponenty pouze s jedním konkrétním vzorkem, můžeme přejít k testování. Další položkou pro uení je Naučit znova existující zařízení (Relearn exist device) tuto možnost použijeme, jestliže jsme se dopustili nějakým způsobem špatného měření nebo pokud potřebujeme vycházet z většího množství součástek, protože víme, že i ve stejné sadě výrobků se objevují odlišnosti, které je třeba při testech zohlednit. Nemusíme zasahovat do kritérií hodnocení, ale můžeme naučit několik vzorků společně a jejich charakteristiky uložit přese sebe. Na tuto možnost nás upozorní program při ukládání. Po otevření položky Výsledky (Results) se nám zobrazí toleranční pole naměřených charakteristik. Jedná se o grafy volt-ampérových charakteristik jednotlivých pinů se zvoleným referenčním pinem.

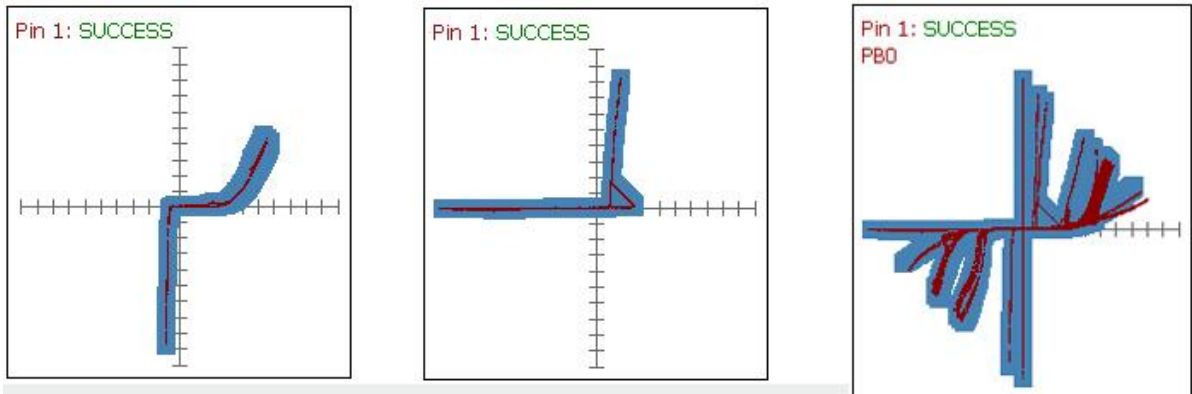


Obrázek 56: Obsah okna Výsledky (Results) – toleranční pole charakteristik



Obrázek 57: Odpojený kontakt (vlevo), kontakt ve zkratu

Již při nahlédnutí do výsledků, prozkoumání vytvořených charakteristik a jejich mezi-  
 porovnáním bychom zjistili, že je se součástí nco v nepořádku. Jako referenční součástka  
 může být vybrán poškozený kus nebo může dojít ke špatnému usazení v patici.

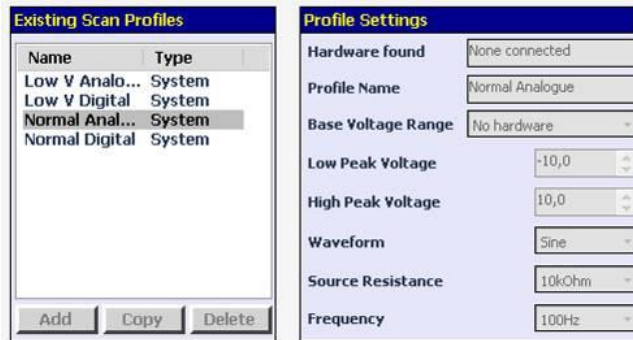


Obrázek 58: Příklady charakteristik při různých režimech nastavení

Referenční pin se určuje podle druhu měření. Obrázek znázorňuje tři druhy charakteristik,  
 které bychom měli zvolit při testování. První vychází z automatického režimu, kdy je propojen  
 určitý pin v tšinou se zemnicím pinem GND a je vhodná pro většinu aplikací. Druhý graf  
 znázorňuje manuální nastavení, kdy potěbujeme sami určit referenční vývod, například  
 při hledání určitého problému. Poslední graf znázorňuje režim Matrix, kdy se páruje každý  
 pin s každým.

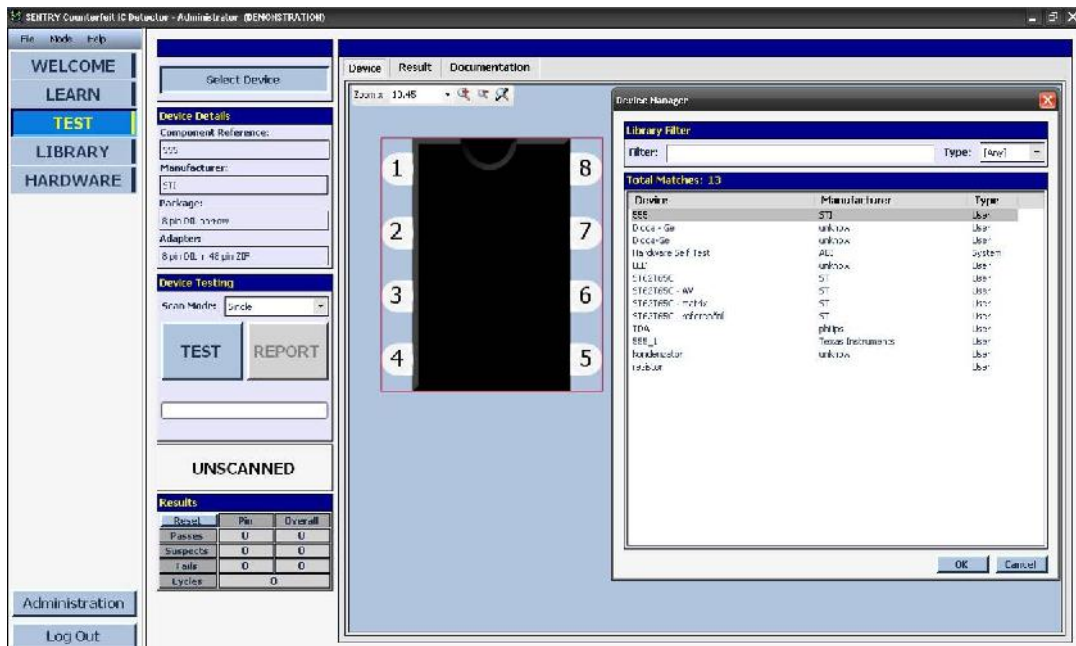
Volba režimu testování se řídí podle citlivosti na změnu průběhu volt-ampérové  
 charakteristiky vlivem odlišnosti. Zjednodušeně můžeme říci, že pokud  
 se po automatickém režimu vyskytnou pochybnosti o pravosti nebo bezchybnosti součástky  
 je vhodné provést ji ještě v režimu Matrix.

Dalším nastavitelným souborem parametrů pro analýzu je skenovací profil (Scan profile).  
 Ten určuje, v jakém rozmezí se bude pohybovat napětí přikládané na dvojici vývodů  
 součástky (Low/High Peak Voltage - pro profil Normal Analog je to +/- 10 V), jakou  
 funkci bude průběh napětí sledovat, s jakým kmitočtem (Wave form, Frequency - sinusový  
 kmitočet 100 Hz) a jaký bude vnitřní odpor (Source resistance - 10 k $\Omega$ ) budicího zdroje  
 s ohledem na cílené omezení protékajícího proudu.



Obrázek 59: Nastavení parametrů pro test

V případě že máme připravenou charakteristiku nebo skupinu charakteristik, která dostatečně vypovídá o dané adrese produktu, můžeme přejít k testování dalších komponent.



Obrázek 60: Zvolení součástky z knihovny před začátkem měření

Z menu vlevo vybereme položku TEST, poté v pracovním okně položku Vybrat součástku (Select device) v okně správce součástek (Device Manager), které se nám otevře, vybereme naučnou šablonu pro danou součástku. Nákres této součástky se nám zobrazí v pracovním okně a v levém sloupci se vypíše její specifikace, kterou jsme zadali. Vložíme součástku do patice postupem, který byl zmíněn v části uení. Můžeme ještě zvolit, jestli chceme provést pouze jedno testovací měření (Single) nebo řadu po sobě jdoucích měření (Loop). Po kontrole nastavení můžeme zahájit samotné testování tlačítkem (TEST).

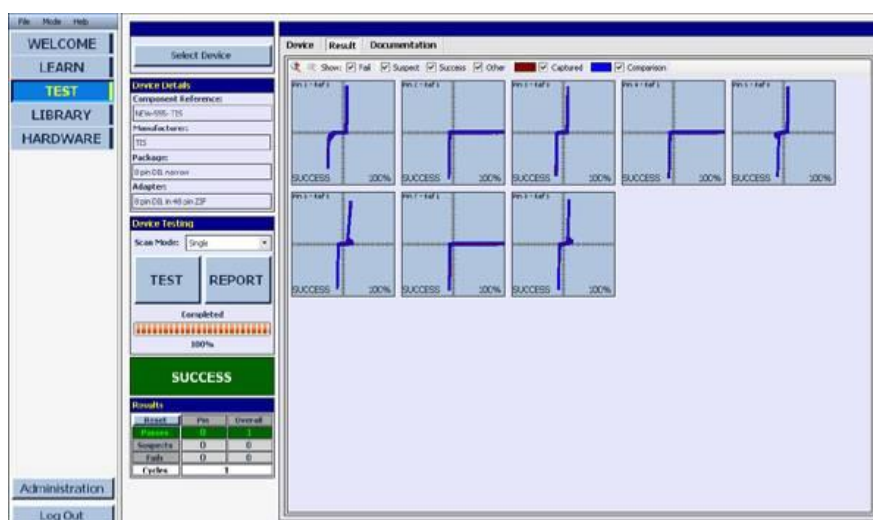


Na jednotlivých pinech vidíme barevný vyznačený stav a na ukazateli v levém sloupci celkový průběh. Podle nastavených mezí pro hodnocení mohou jednotlivé piny a následně celá součástka nabývat stav, kdy je v pořádku a testem projde (**Success**), tento stav je značen zelenou „fajfkou“. Tam, kde jsou evidentní určité rozdíly mezi vzorovou a testovanou součástkou, vývod označený jako podezřelý (**Suspect**) a je vhodné další ověření. Tento stav je značen žlutou barvou a otazníkem. Poslední stav je ten, kdy pin a následně součástka nedosahuje stanovených mezí a z charakteristik je evidentně viditelné poškození nebo velký rozdíl parametrů. Takové testy součástky jsou vyhodnoceny jako nevyhovující (**Fail**) a jsou značeny červenou barvou a křížkem. Průběh můžeme sledovat množství dobrých, podezřelých a špatných pinů a součástek v tabulce vlevo dole v pracovním okně.



Obrázek 61: Znaky výsledku testu

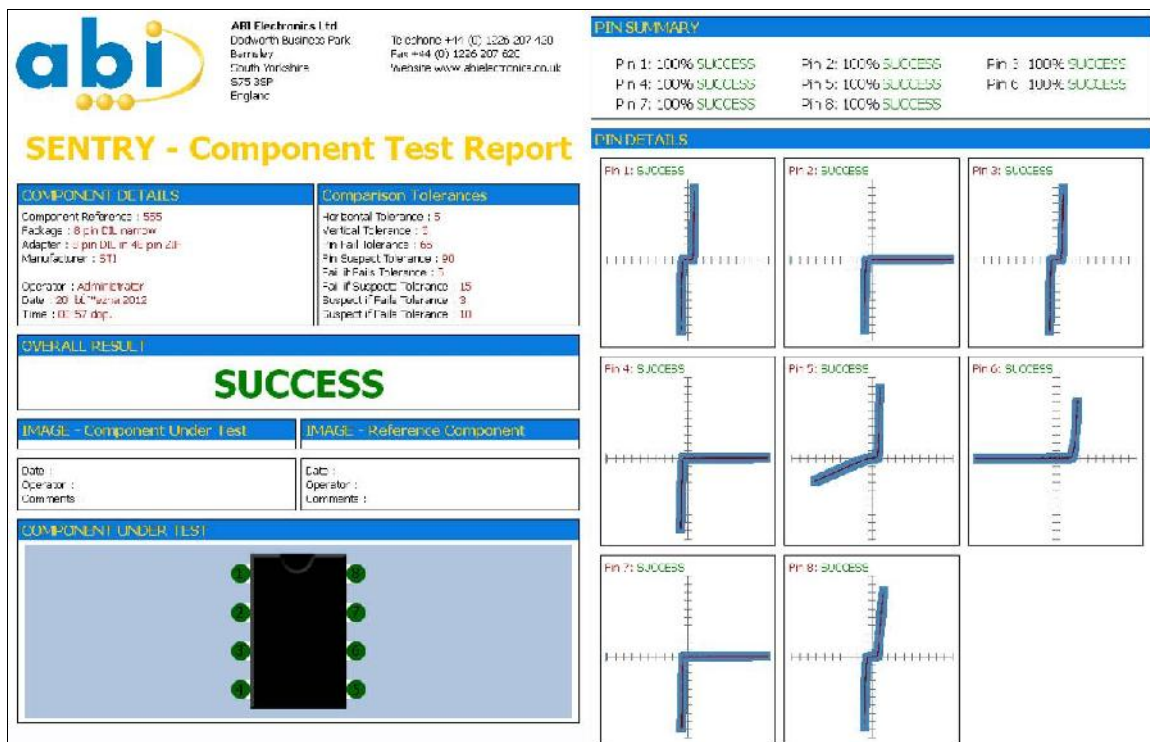
V reálném případě můžeme sledovat v průběhu testu také vykreslování charakteristik v pracovním okně v položce Výsledky (Results). Červenou linkou jsou vykreslovány charakteristiky aktuálně vložené součástky a jsou porovnávány s modrým tolerančním polem vzorové součástky. V tomto pracovním okně můžeme s charakteristikami dále pracovat. Například vyfiltrovat jenom podezřelé nebo špatné, případně si je zvětšit nebo pro větší přehlednost vypnout toleranční pole.



Obrázek 62: Okno výsledků s naměřenými tolerančními poli

P ehledným výstupem z měření, který může sloužit k archivaci nebo k použití pro další pracovníky, je výstupní zpráva, kterou můžeme generovat po skončení testu pomocí tlačítka REPORT. Můžeme si zvolit, aby se výstupní zpráva zobrazovala jako čistý text (.txt) nebo kompletní webová stránka (.htm). Do reportu lze vložit všechny podstatné informace

o testovaném vzorku, tolerancích měření, obsluze detektoru, obrázky ke srovnání a komentáře, jsou-li potřeba k doplnění výsledku testu.



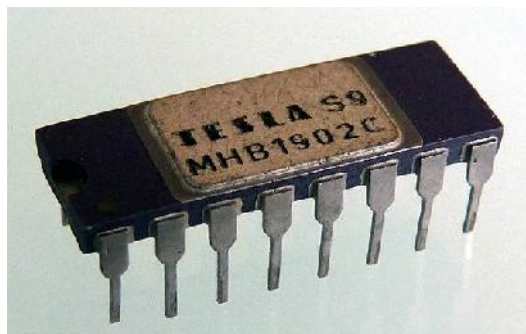
Obrázek 63: Výsledná zpráva ve formátu webové stránky

Pokud to měření vyžaduje, je možné před jeho zahájením v nabídce Administrace (menu vlevo dole) pod položkou Porovnání (Comparison) nastavit míry tolerance – rozsah tolerančního pole. Standardně je vertikální i horizontální míra nastavena na 5 %. Dále zde můžeme nastavit míru hodnocení. Výchozí nastavení je dáno tak, že pokud se pí měření dostane graf pod 65 % shody s výchozím vzorkem je považován za chybný (Fail). Jestliže se dostane pod míru shody 90 % je označen jako podezřelý (Suspect). Můžeme zde nastavit také, kdy je celá součástka prohlášena za chybnou nebo podezřelou v závislosti na procentuálním zastoupení chybných a podezřelých pinů. Okno tohoto nastavení je na obrázku 54.



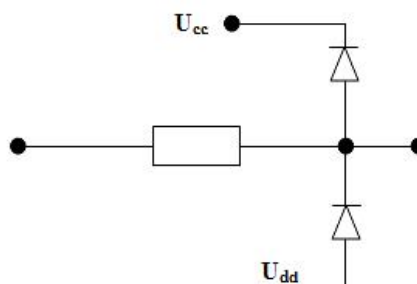
## 8. ESD – TESTOVÁNÍ

Pro prozkoumání úink elektrostatického výboje na součástky byly vybrány dva integrované obvody v pouzdrech typu DIL/DIP se šestnácti piny. Oba obvody byly druhy starších pamětí od firmy Tesla. Z množství obvodů těchto dvou typů, u nichž nebyl definován stav kvality, byly pomocí detektoru SENTRY vybrány vzorky se specifickými charakteristikami, které dokazovaly, že součástka je v pořádku. Tímto způsobem bylo pro každý typ vybráno několik vzorků, na kterých bylo prováděno testování. Na seznámení s vlivem generátoru a jeho úinkem na vybrané vzorky byly vyhrazeny tři kusy od každého typu. První typ paměti byl MHB 1902C. Je to unipolární statická paměť RAM o kapacitě 1024 bitů. Tato paměť byla vytvořena na základě technologie C-MOS (Complementary Metal–Oxide–Semiconductor, komplementární kombinace tranzistorů – P a N kanál). Tyto obvody se vyznačují zanedbatelnou spotřebou v klidovém stavu, která se zvyšuje s frekvencí. Pouzdro má na povrchu kovovou destičku, na které je označen typ součástky.



Obrázek 64: Obvod Tesla MHB 1902C

Integrované obvody a součástky typu CMOS jsou velmi náchylné na působení elektrostatického náboje. Většina CMOS obvodů má na každém vstupu vstupovou ochranu, která je tvořena dvěma diodami. Schéma takovéto jednoduché ochrany je znázorněno na obrázku. [47]



Obrázek 65: Schéma ochrany [47]

To ovšem neznamená, že ochrana zamezí veškerému působení těchto vlivů. Je to spíše pojistka pro manipulaci, opravu obvodů a obecně okolnosti, kdy na obvod působí malé napětí. Pokud je překročena určitá mez, tak je tato ochrana porušena a součástka je poškozena. Při seznamování se s generátorem a charakterem součástek bylo cílem najít mez, při které dojde ke změně typických zaznamenaných charakteristik jednotlivých součástek. Pro toto měření byla zvýšena citlivost detektoru na grafech měření na 1 % na místo 5 % standardních. Dále mělo být zjištěno, zda při nastavení detektoru na 5 % a zprůměrované šablony budou odhaleny součástky, na které byl aplikován elektrostatický náboj.

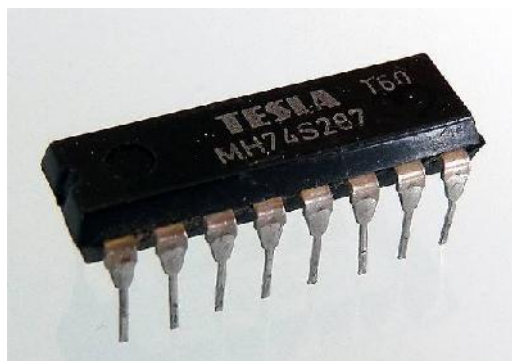
### 8.1. Technické vybavení

Pro generování elektrostatického výboje byl použit generátor od firmy RAO s.r.o. SRG 200 (v tomto provedení už se nevyrobí). Je to zařízení, které je možné přenášet (27,5 × 11 × 22 cm), váží 1,5 Kg je napájeno ze sítě (230 V). Ke zařízení jsou dodávány různě tvarované hroty, pro naše měření byl použit plochý s nejvyšší dotykovou plochou. Na horní straně přístroje jsou ovládací prvky. Je zde kolečko pro změnu polarity, jezdec pro nastavení napětí v kV, přepínač pro působení jedním výbojem nebo dávkou a také samotné tlačítko pro aplikaci. [48]



Obrázek 66: Generátor SRG 200 a jeho doplňky

Druhým obvodem pro testování byl také logický obvod od firmy Tesla a to typ MH74S287. Tento integrovaný obvod je bipolární, rychlá, elektronicky programovatelná paměť PROM s kapacitou 1024 bitů a výstupy s otevřeným kolektorem. Je vytvořena pomocí TTL (transistor – transistor logic) – logika, která má tranzistor na vstupu i na výstupu a LSI (Large Scale Integration) – vysoká míra integrace. Pomocí označení (74S) můžeme určit, že se jedná o obvod se standardní spotřebou, obsahuje Shottkyho diody a strukturu NAND. Z toho důvodu, že součástky vytvořené na tranzistorové logice odebírají více proudu, jsou méně náchylné ke zničení pomocí elektrostatického náboje. [49]



Obrázek 67: Obvod Tesla MH 74S287

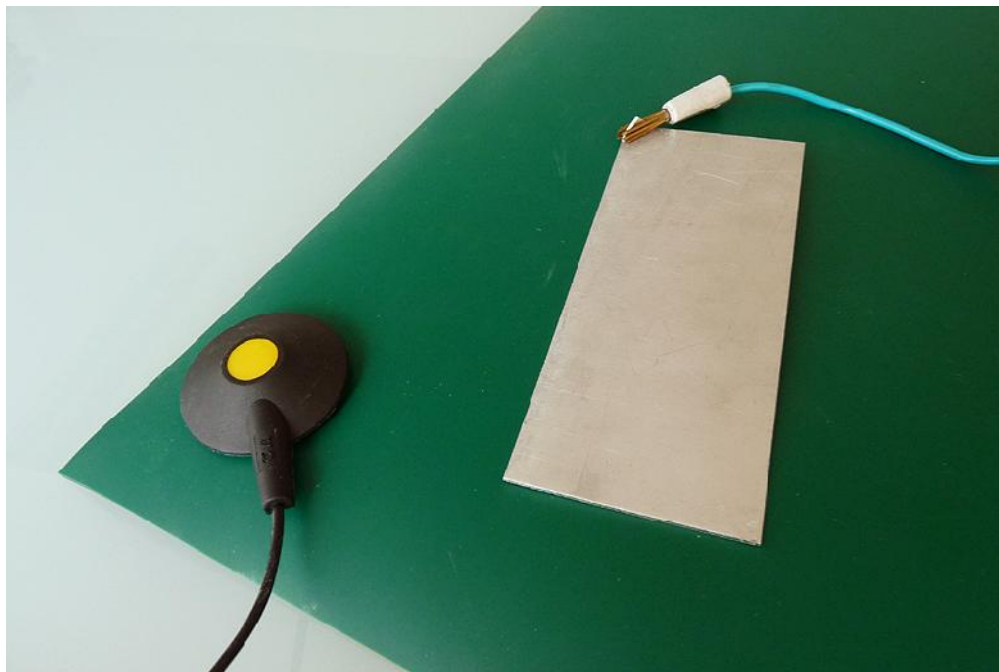
## 8.2. Pracoviště a metoda testování

Pro měření bylo připraveno pracoviště, které bylo vybaveno antistatickou podložkou, která byla pomocí speciálního kabelu zapojena do zásuvky a uzemněna přes kolík. Na této podložce byla položena kovová destička, která byla také uzemněna. Na druhém konci pracovní plochy byl umístěn notebook s připojeným detektorem SENTRY, kde byly předem připraveny profily jednotlivých součástí a jeden zprůměrovaný.

Použitá testovací metoda se v základu opírá o sadu norem evropské Elektromagnetickou kompatibilitu, do které spadá i část **SN EN 61000-4-2 ed. 2: Elektromagnetická kompatibilita - Zkušební a měřicí technika - Elektrostatický výboj - zkouška odolnosti**. Této normě podle výrobce (v původním vydání - podle data výroby) odpovídá i použitý generátor SRG 200, který má simulovat model lidského těla (HBM). Na obrázku 68 jsou uvedeny parametry přístroje. [50]

Náběžná hrana proudu výboje	0.7 ÷ 1 ns (pro kontaktní metodu)
Napětí výboje	± 1.8 ÷ 26 kV
Maximum pro kontaktní metodu	± 8.5 kV
Kapacita	150 pF ± 10 %
Nabíjecí rezistor	97 MΩ ± 10 %
Vybíjecí rezistor	330 Ω ± 5 %
Metody aplikace výbojů	kontaktní / vzduchová

Obrázek 68: Hodnoty použitého generátoru ESD



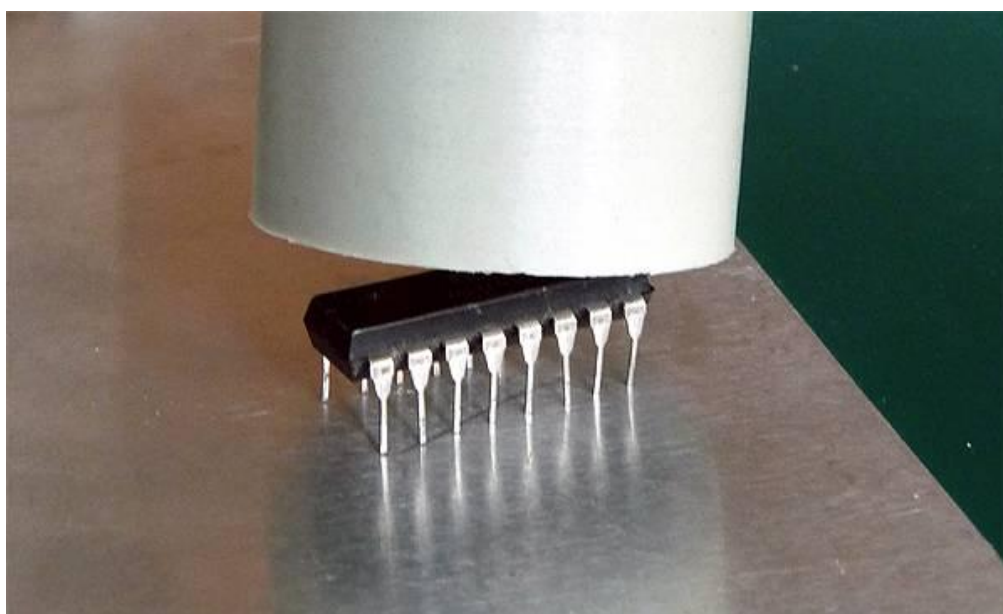
Obrázek 69: Pracoviště – antistatická podložka a kovová destička



Obrázek 70: Uzemnění přes zásuvku



Obrázek 71: Aplikace výboje na obvod.



Obrázek 72: Detail použití generátoru.

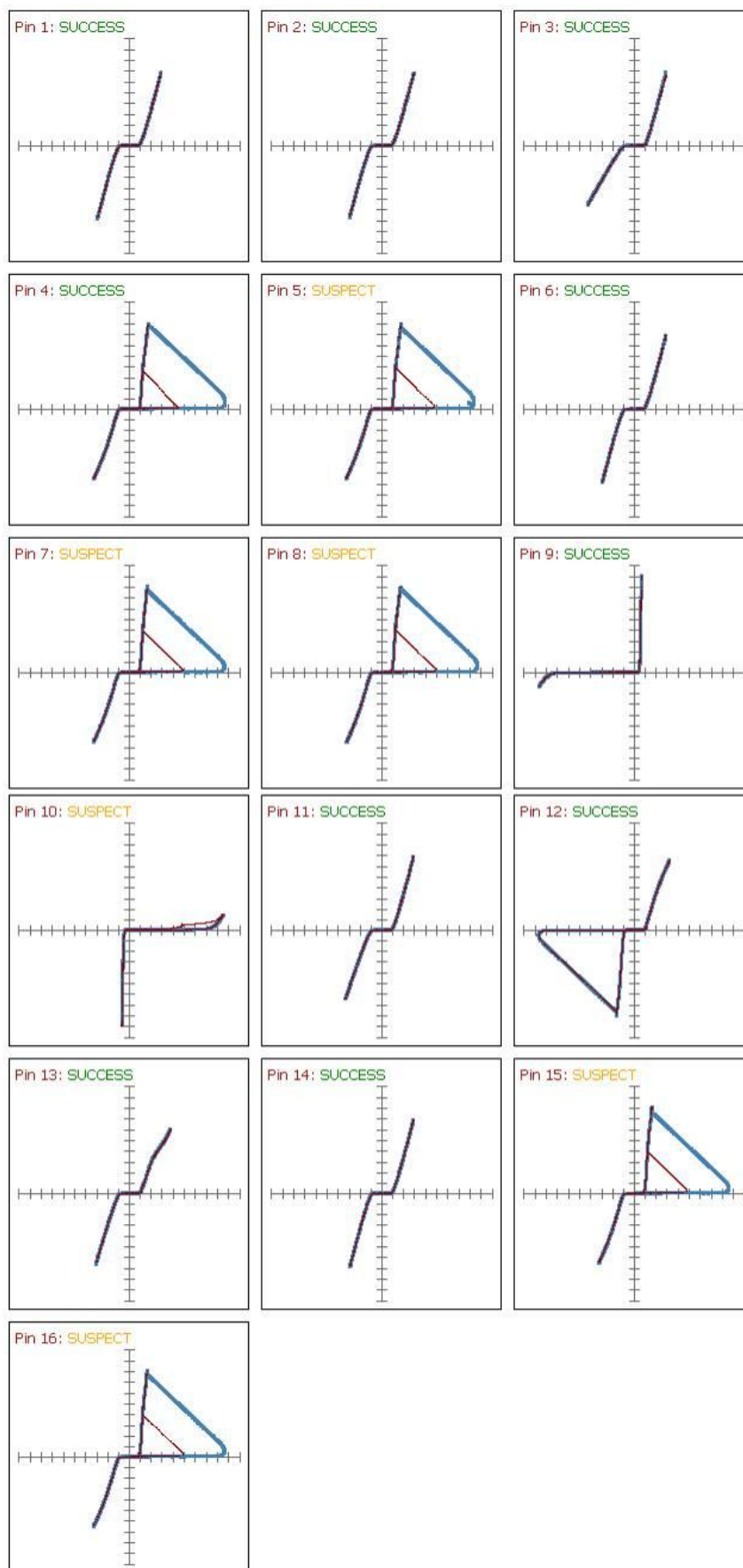


### 8.3. Výsledky testování

Test probíhal na součástce, která nebyla zapojena a napájena. Obvod byl postaven na kovovou plošku tak, aby se vývody dotýkaly plochy. Generátor elektrostatického výboje byl připojen do sítě a nastaven na kladnou polaritu a na jednotlivé dávky. Přiložením zaobleného širokého hrotu na horní stranu pouzdra byl aplikován elektrostatický náboj. Aplikace byla provedena zmáknutím tlačítka a přístroj vydal slabý tón pro potvrzení. Pro zjištění hranice změny charakteristik a poškození integrovaného obvodu bylo postupováno v jednotlivých krocích po určených hodnotách napětí. Tyto hodnoty byly 2, 4, 6, 10, 15 a 20,5 kV. Po přisobení elektrostatickým nábojem byl obvod odejmut z kovové destičky a po určeném časovém úseku zase přiložen. Tento krok měl sloužit pro zkratování vývodů a následné vybití zbytkového napětí. Poté byla součástka vložena do detektoru SENTRY a byla změněna její charakteristika. Tento postup byl opakován tak dlouho, dokud se neprojevila změna charakteristik, která přesáhla 1 % nastaveného tolerančního pole. Oba dva obvody měly dobrou odolnost proti přisobení napětí, které nepřesáhlo hranici 20 kV, do této hodnoty nebylo ani na obvodu MHB1902C se strukturou CMOS patrné žádné poškození a charakteristiky zůstávaly neměnné. Po aplikaci posledního kroku 20,5 kV se projevila změna charakteristik u obou obvodů. U výše zmíněného obvodu unipolární paměti se změna projevila hned po první jednotlivé aplikaci. U integrovaného obvodu MH74S287 se strukturou TTL muselo dojít k aplikaci elektrostatického náboje dávkou, při jednotlivé aplikaci 20,5 kV nebyla stále patrná změna. Po dávce, kdy byly bezprostředně po sobě aplikovány tři výboje, a byl slyšet zvuk charakteristický pro přeskupení jiskry, se křivka výrazně změnila. Na obvod CMOS byl aplikován jednotlivý výboj a po změně bylo ještě vyzkoušeno přisobení dávkou. Na obvod TTL bylo přisobeno přímo dávkou. Pro představu co může vyvolat stejný velký výboj napětí, jaký byl vytvořen uměle generátorem, jsou v tabulce uvedeny hodnoty pro porovnání.

	Napětí náboje (V)	
	Relativní vlhkost 10 - 20 %	Relativní vlhkost 50 - 60 %
Přecházení po koberci	35 000	1 500
Přecházení po PVC podlaze	12 000	250
Pracovník na pracovišti	6 000	100
PVC obálky na pracovní instrukce	20 000	12 000
Běžné plastové sáčky na pracovišti	7 000	600
Sedadlo vycpané uretanovou pěnou	18 000	15 000

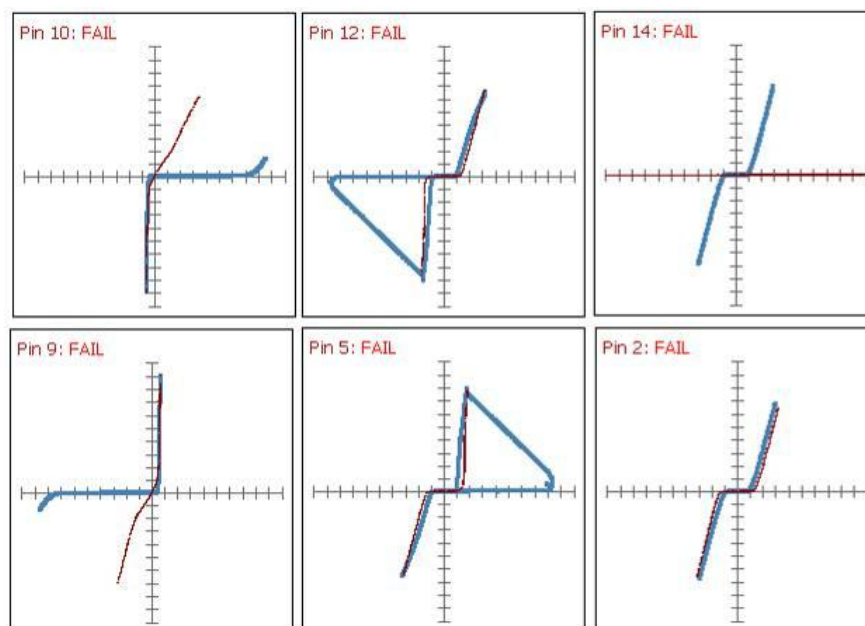
Obrázek 73: podmínosti, při kterých dochází ke vzniku elektrostatické energie



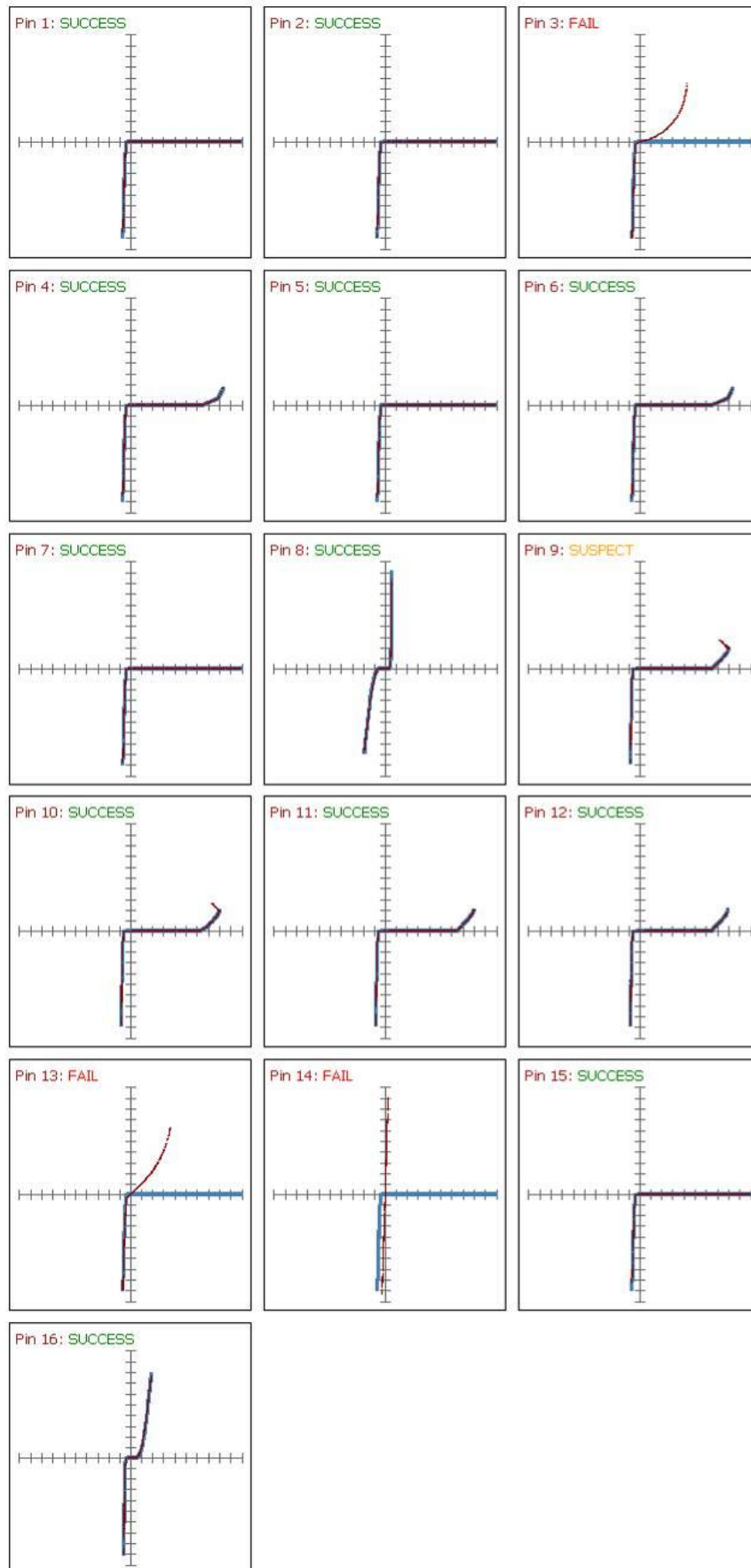
Obrázek 74: Výsledky testování na obvodu Tesla MHB1902C



Na obrázku jsou zaznamenány grafy jednoho z testovaných obvodů MHB1902C. Hnedá křivka značí naměřenou charakteristiku a modrá toleranční pole. Po působení elektrostatickým nábojem došlo ke změně charakteristik u 6 pinů, žádný pin nebyl vyhodnocen jako zničený (Fail). Jelikož byla zvýšena kritéria na toleranční pole, byla součástka vyhodnocena jako zničená, protože dohromady piny nedosáhly potřebné procentuální hodnoty. Tento stav se jeví jako odpovídající, protože došlo k podstatným změnám charakteristik. Tím, že nedošlo zcela ke zdeformování charakteristik, ale pouze k jejich posuvu na ose, byly tyto změny vyhodnoceny detektorem mírně. Pokud by byla nastavena míra tolerance na standardních 5 %, tak by nebyl obvod vyhodnocen jako závadný (Fail), ale pouze jako podezřelý (Suspect). V žádném případě by však nebyl vyhodnocen jako v pořádku (Success). Jestliže by byl takový obvod do zařízení zapojen bez kontroly, mohl by fungovat stále správně, ale je zde možnost nestabilního chování a za nějakou dobu by došlo k poruše zařízení. Takovéto závady jsou nejhorším typem, protože je nelze předem odhadnout. Elektrostatickým nábojem bylo ovlivněno 6 adresových pinů a napájecí pin. Na pinech 5, 7, 8, 15, 16 a se zmenšila hystereze a u napájecího pinu 10 se deformoval exponenciální tvar konce křivky. Při druhé aplikaci na stejnou součástku již byla míra deformací taková, že všechny piny byly vyhodnoceny jako špatné a následně celá součástka. Došlo k úplnému zmizení charakteristických hysterezí, byly mírně posunuty i diodové charakteristiky a u pinu napájení 10 a zem 9 došlo k ústečné změně tvaru. Kontakt na pinu 14 adresového vstupu byl přerušen.



Obrázek 75: Příklady změny charakteristik.



Obrázek 76: Výsledky testování na obvodu Tesla MH 74S287

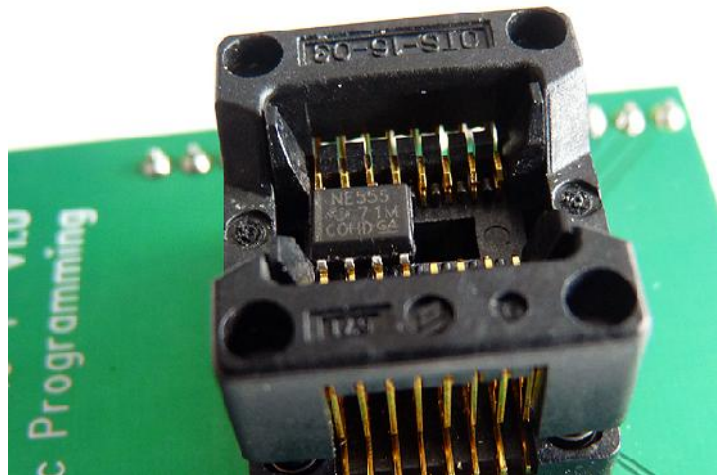
Druhým testovaným obvodem byl integrovaný obvod MH74S287. Jeho vnitřní struktura TTL je méně náchylná na zničení při styku s elektrostatickým nábojem. To se prokázalo i při testu, kdy muselo dojít k aplikaci dávkou při nejvyšším možném napětí (20,5 kV). Došlo ke změně charakteristik na 4 píních. Jeden byl vyhodnocen jako podezřelý (Suspect) a tři jako závadné (Fail). Jako podezřelý byl vyhodnocen pin 9, což je jeden z výstupů obvodu. Jeho charakteristika byla nepatrně změněna při testování na standardní toleranci, by tato změna samotná s mírou shody přes 90 % nepředstavovala závažný problém. Další piny byly již označeny jako závadné, pro velké změny jejich charakteristik, které se zcela vymykaly tolerančním polím. K poškození došlo u pinu 3, což je adresový vstup obvodu. Charakteristika se v pravém kvadrantu změnila z lineární na prudce rostoucí exponenciální. Dále došlo k poškození pinů pro vstupní signál S1 a S2. Tyto vstupy byly poškozeny u obou testovaných vzorků, dá se tak u nich předpokládat nejvyšší citlivost na elektrostatický impuls. U pinu 14 je dokonce z charakteristiky zřejmé, že došlo k jeho zkratování. Na součástkách došlo v obou případech k nevratným změnám.

#### 8.4. Porovnání DIL a SMD

Před samotným testem porovnání odolnosti u těchto dvou typů, byla provedena základní aplikace detektoru SENTRY. Srovnáním charakteristik u dvou obvodů v různých provedeních, u kterých ovšem výrobce udává stejné vlastnosti, byly očekávány drobné odchylky mezi obvody díky jejich konstrukčnímu provedení. Měření však prokázalo, že součástky mají charakteristiky naprosto shodné. Toleranční pole bylo sníženo na 1 %.

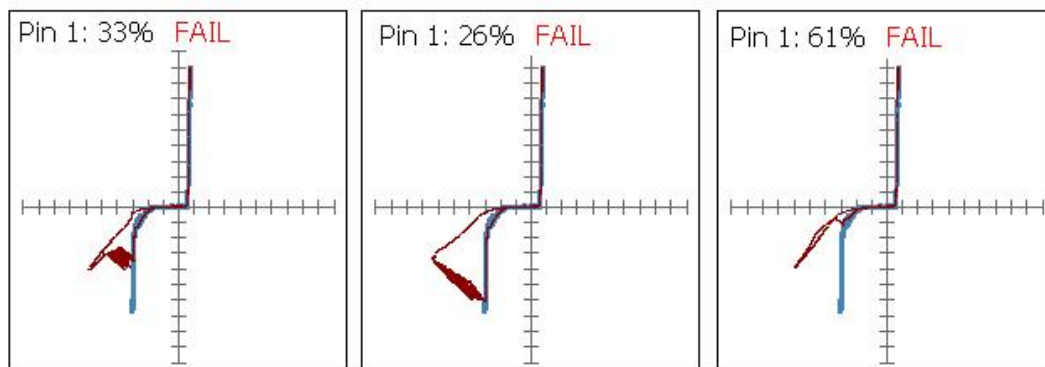
Protože u univerzálního adaptéru došlo k poškození kontaktů a jedna strana obvodu nemohla být otestována, musel být nahrazen jiným dostupným adaptérem pro obvody SOIC. Při prvním testování, se zde také vyskytl problém s otestováním pouze několika pinů.

Zde se ale nejednalo o technickou závadu na adaptéru, ale o softwarovou chybu u používané verze programu SENTRY, kde byly u profilu pro SOIC adaptéry špatně nastaveny přidělené kanály a detektor mohl na neobsazených kontaktech patice. Po ručním nastavení a uložení nového profilu vše fungovalo bez problému. Tato chyba se v další verzi programu už neobjevila.



Obrázek 77: Další druh adaptéru pro pouzdra SOIC.

U součástek typu SMD byla předpokládána vyšší citlivost na působení elektrostatického náboje pro jejich menší rozměry. Na porovnání byly použity obvody NE 555 v provedení DIL/DIP a SOIC. Elektrostatický výboj byl aplikován na pouzdro a bylo opět využito výše zmíněné pracoviště a generátor. U generátoru byl tentokrát použit ostrý hrot kvůli menším rozměrům součástek. Obvody byly postupně vystaveny jednotlivým pulzům generátoru v rozsahu od 4 kV do 20,5 kV. Při nejvyšší hodnotě došlo k první změně charakteristik u obvodu v provedení DIL/DIP. Při aplikaci bylo vidět i světelný efekt výboje, který sjel po pouzdře do jednoho z vývodů obvodu. U obvodu v provedení SMD nebylo při jednotlivých pulzech zjištěno žádné ovlivnění charakteristik. Po aplikaci elektrostatického výboje dávkou došlo ke zvýšení změných charakteristik u obvodu v klasickém provedení. U součástky SMD byla aplikace několikrát opakována. U použitých vzorků bylo zjištěno, že za určitou dobu po aplikaci dochází ke změně charakteristik v určité míře zpět k původnímu stavu. To ovšem neznamená, že by na nich nebylo patrné trvalé poškození.



Obrázek 78: Vývoj změny křivky na pinu 1 na obvodu 555 - DIL.



Obrázek 79: Zm na stav na pinech 555 – SMD.

U součástky SMD došlo ke vrácení do povodního stavu u dvou pinů. U pinu šest byla změna nevratná a šlo by podle ní odhalit poškození obvodu. Proti předpokladu mají testované SMD součástky vyšší odolnost proti působení EMC než součástky v klasickém provedení. Je nutné dodat, že testu na EMC byly vystaveny jenom dva typy součástek SMD a nelze tak zobecnit tuto skutečnost na všechny obvody a pouzdra.

PIN SUMMARY		
Pin 1: 100% SUCCESS	Pin 2: 100% SUCCESS	Pin 3: 100% SUCCESS
Pin 4: 100% SUCCESS	Pin 5: 5% FAIL	Pin 6: 11% FAIL
Pin 7: 100% SUCCESS	Pin 8: 5% FAIL	

PIN SUMMARY		
Pin 1: 100% SUCCESS	Pin 2: 100% SUCCESS	Pin 3: 100% SUCCESS
Pin 4: 100% SUCCESS	Pin 5: 94% SUCCESS	Pin 6: 88% SUSPECT
Pin 7: 100% SUCCESS	Pin 8: 91% SUCCESS	

Obrázek 80: Procentuální hodnocení jednotlivých pinů.

## 8.5. Celkové hodnocení testu působení ESD

Z testu ESD vyplynulo, že u testovaných vzorků dochází k nevratným změnám charakteristik. U některých pinů byly zaznamenány závažná poškození jako přerušení kontaktu nebo zkrat. Změny zaznamenaly u úrovně elektrostatického napětí 20 kV, při nižším napětí nebyly zaznamenány. Podle vnitřní struktury obvodu CMOS nebo TTL působí elektrostatický výboj rozdílně. CMOS součástky jsou obecně náchylnější na působení ESD. Tento jev byl prokázán i v testech. V testech se naopak neprojevila předpokládaná vyšší citlivost součástek SMD. Ovlivnění působením ESD jsme schopni detekovat pomocí detektoru SENTRY a analýzou typických charakteristik.

## 9. TEPLOTNÍ TESTY INTEGROVANÝCH OBVODŮ

Na integrované obvody kromě elektrostatických výbojů a vlivů prostředí, jako je například vlhkost, působí i teplo. Teplotní působení probíhá v první řadě při procesu pájení, kdy se jedná o teplo z vnějšího prostředí a také při samotné pracovní činnosti součástky, kdy sama součástka vykonávanou prací generuje energii ve formě tepla. Při pájení na ni krátkodobě působí vysoké teploty, u SMT na celou součástku a u pouzder typu DIL/DIP jen na vývody. Jedná-li se o neoriginální součástky, nesmíme zapomenout, že pokud jde o typ recyklovaných součástek, mohou projít standardním procesem dvakrát. Nejprve jsou zapájeny a používány v originálním zařízení. Poté dojde k jejich odpájení a to často dosti hrubým způsobem, pomocí horkovzdušné pistole nebo otevřeného ohně. Nedochozí zde k žádné kontrole teploty, která na součástku působí, a poté jsou znovu vystaveny pájecímu procesu a běžné činnosti. Je zřejmé, že na opakované použití nejsou součástky konstruovány a nadměrné tepelné namáhání může vést ke změně jejich parametrů nebo k jejich zničení, a to v průběhu osazování nebo při standardním používání. Obecně je znám a popsán vliv tepla na polovodičové součástky s P-N přechodem.

Jestliže působíme na polovodičový prvek zvenčí větší množství tepelné energie, dojde k roztržení vazeb v krystalu a vznikne tak vlastní vodivost. Po překročení aktivní teploty dochází ke spuštění mechanismu aktivace nosiče náboje z vlastního polovodiče. Proto jsou omezeny teploty, do kterých lze používat různé prvky – u Germánia se uvádí teplota 90 °C a u Kemičky až 170 °C pro praxi se používá 155 °C. Tím dojde k tomu, že při stejných hodnotách napětí v propustném i závěrném směru prvkem protékají vyšší proudy. To je příčinou typického posunutí charakteristik. [51] [52]

Nebudeme se zde zabývat vlivy teploty na změny parametrů při provozu zařízení, to není úkolem práce. V případě zkoumání závislosti změny charakteristiky obvodu na teplotě a s tím spojené odlišnosti vlastností nás bude z diagnostického hlediska zajímat, jaké teploty jsou součástky schopny provést bez trvalého poškození, případně jaká je hranice teploty pro nevratnou změnu charakteristik a zda jsme schopni pomocí stanoveného technického vybavení zjistit, že součástka byla v minulosti nepříjemně tepelně namáhána.



### 9.1. Technické vybavení pro tepelné testy

Pro tepelné testy součástí bylo zapotřebí vytvořit pracoviště, na kterém budeme schopni bezprostředně zaznamenat změny charakteristik. Testování bylo prováděno pomocí detektoru SENTRY a notebooku. Tato testovací sestava byla umístěna v laboratoři s vybavením pro tepelné působení. Bylo potřeba zařízení, které je schopné vytvořit a udržet určitou danou teplotu. V našem případě se jednalo o průmyslovou boxovou sušárnu značky Memmert, typ UNP 200 s teplotním rozsahem 30 – 250 °C. Dalším prostředkem pro měření byl teploměr od firmy TESTO s označením Quicktemp 825 - T4. Tento typ má možnost jak kontaktního měření, pomocí pružné měřicí hlavice, tak i bezkontaktního měření. Přesnost tohoto teploměru je +/- 1 % z naměřené hodnoty.



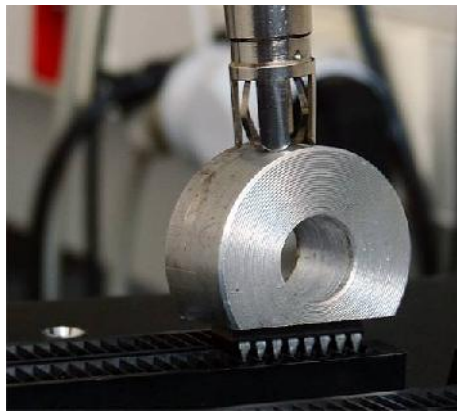
Obrázek 81: Sušárna Memmert UNP 200.



Obrázek 82: Teploměr TESTO - Quicktemp 825 - T4.

## 9.2. Metody tepelného testování

Nejprve bylo provedeno seznámení s technickým vybavením pro tyto testy. Po předchozích zkouškách byla za cílovou teplotu stanovena maximální teplota sušárny 250 °C. Tato teplota byla zvolena na základě prostudování technických specifikací testovaných součástek, kde byly uvedeny rozsahy pracovní teplot a maximální teploty, kterým mohou být součástky vystaveny při pájení. Následně po vyzkoušení funkcí teplotoměru byla bezkontaktní metoda měření vyhodnocena jako nevhodná, pro dlouhou dobu odezvy. Měření teploty povrchu pouzder bylo prováděno za použití pružné kontaktní hlavy. Součástky byly poté vzhledem k vzájemnému vlivu ovlivňovány. K tomu byly stanoveny dvě metody.



Obrázek 83: Příklad umístění měřicí hlavy

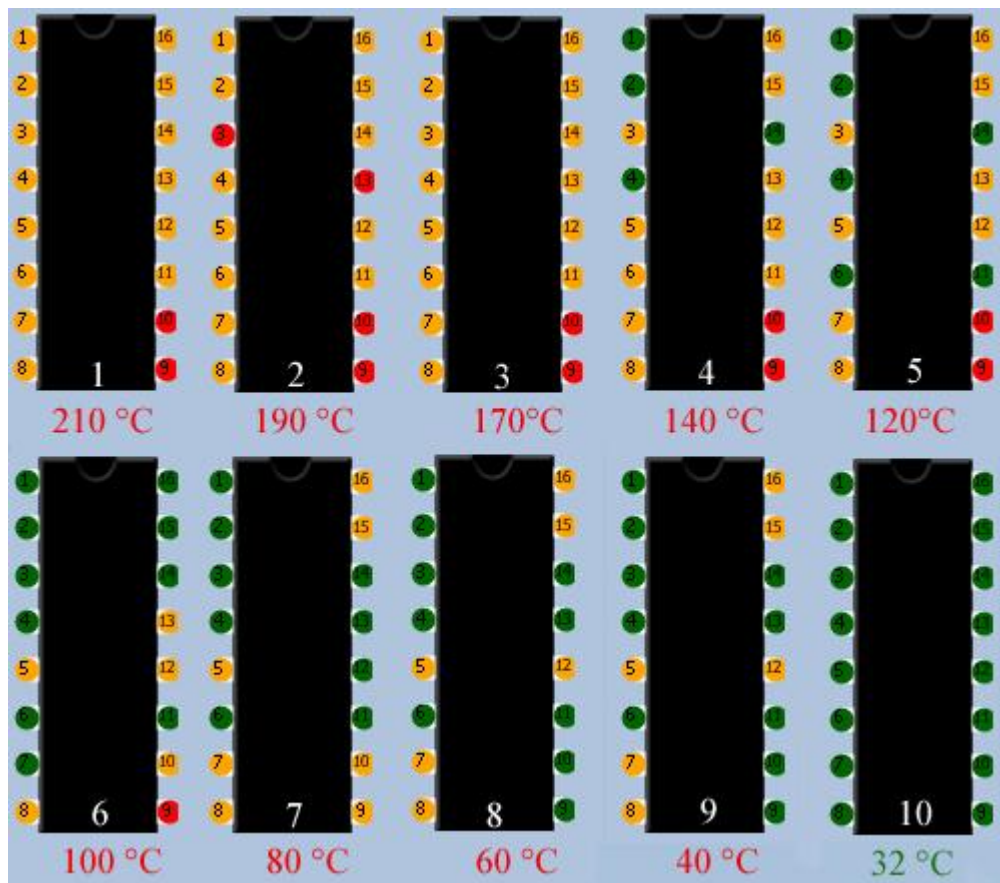
### 9.2.1. První metoda – lokální

U první z nich, bylo k přenosu tepla na integrovaný obvod použito kovových hranolů, které byly 60 minut vystaveny teplotě 250 °C. Při manipulaci se zahřátými hranoly docházelo k rychlé ztrátě teploty. V místnosti se teplota pohybovala okolo 22 °C.



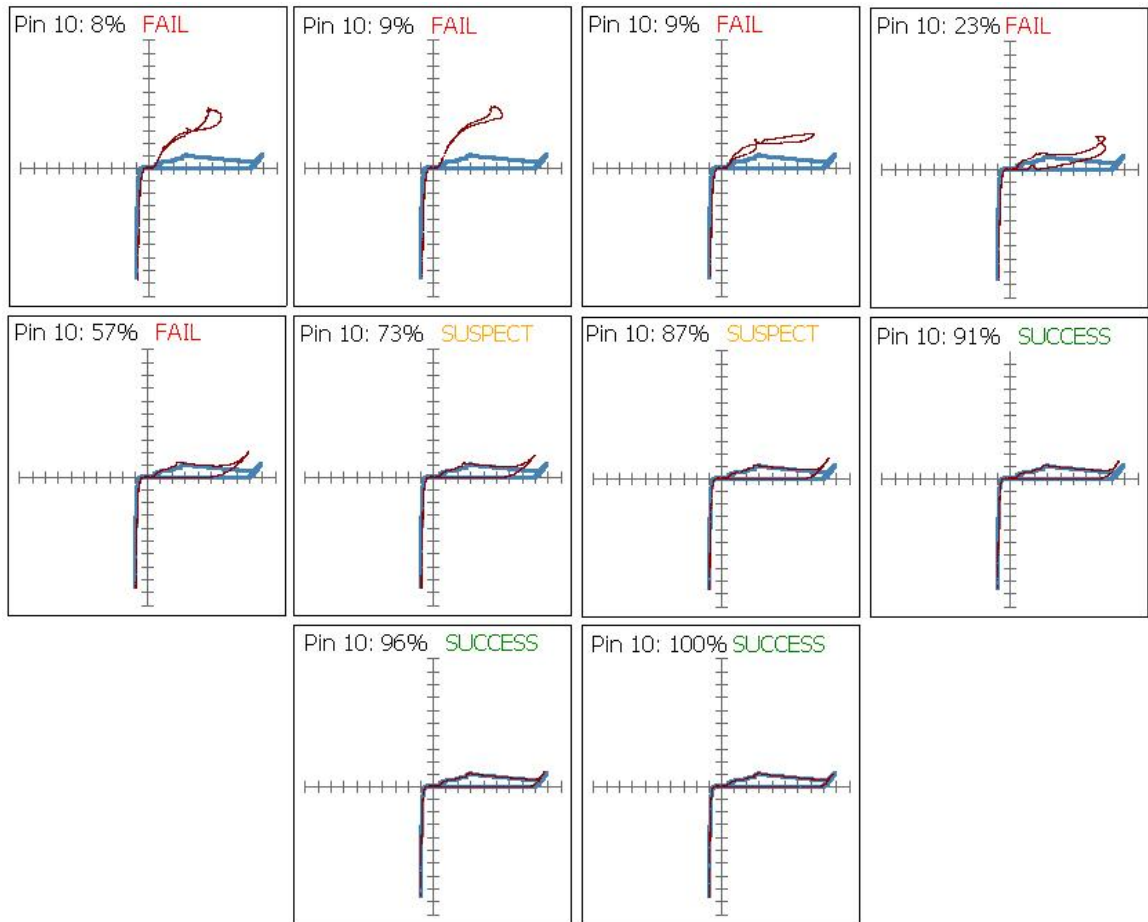
Obrázek 84: Umístění zahřátého hranolu na součástku

Po vytažení ze sušičky byl hranol umístěn na předem připravený obvod v patičce a neprodlen byl zahájen první z řady testů. V průběhu testování byl na zahřátý hranol přiložen teploměr a před každým testem byla zaznamenána teplota aktuálně působící na povrch pouzdra. Odstranění bylo provedeno tehdy, když už nedocházelo při testech ke zvyšování požadovaných charakteristik.



Obrázek 85: Stav pinů v závislosti na naměřené teplotě - Tesla MHB1902C

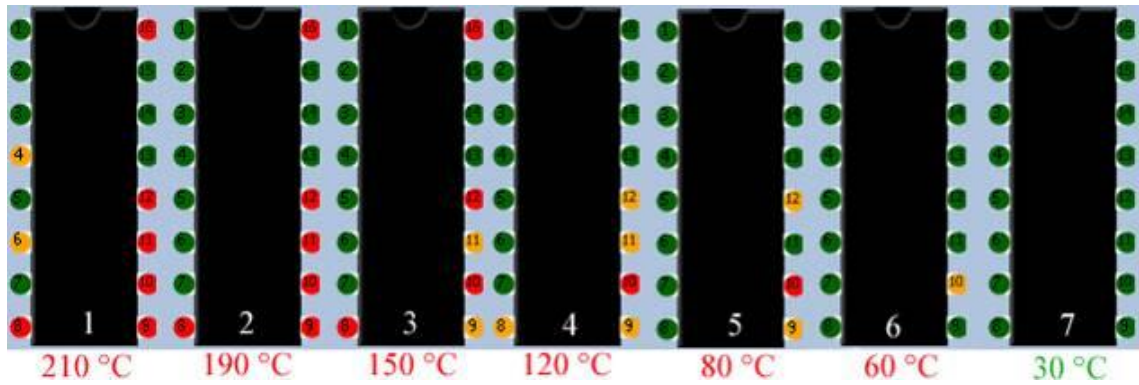
Na obrázku 85 je možné vidět, jak se vyvíjelo působení tepla v závislosti na vyhodnocení pinů. První série lokálních testů byla prováděna na součástce Tesla MHB1902C, nejvyšší uvažovaná pracovní teplota okolí pro tento obvod je 70 °C. [53] Nejvyšší působení nebylo zaznamenáno při nejvyšší teplotě hranolu, ale až při druhém testu při teplotě 190 °C, je to dáno postupem tepla ze zahřátého hranolu na povrch pouzdra obvodu. K nejvyššímu posuvu charakteristik došlo na pinech 3, 9, 10 a 13. Pin 3 je funkce signálu pro zápis a čtení, pin 9 je zemnicí, pin 10 je napájecí a pin 13 je hradlovaný signál CE. Nejdéle trávající změna byla na pinech 5, 7, 8, 15, 16, což jsou adresové vstupy a také na výstupu DO-12. Doba od zahájení prvního testu do ukončení v bezchybném stavu byla 19 minut.



Obrázek 86: Zm na k ivek u pinu 10 v závislosti na ase u obvodu Tesla MHB 1902C

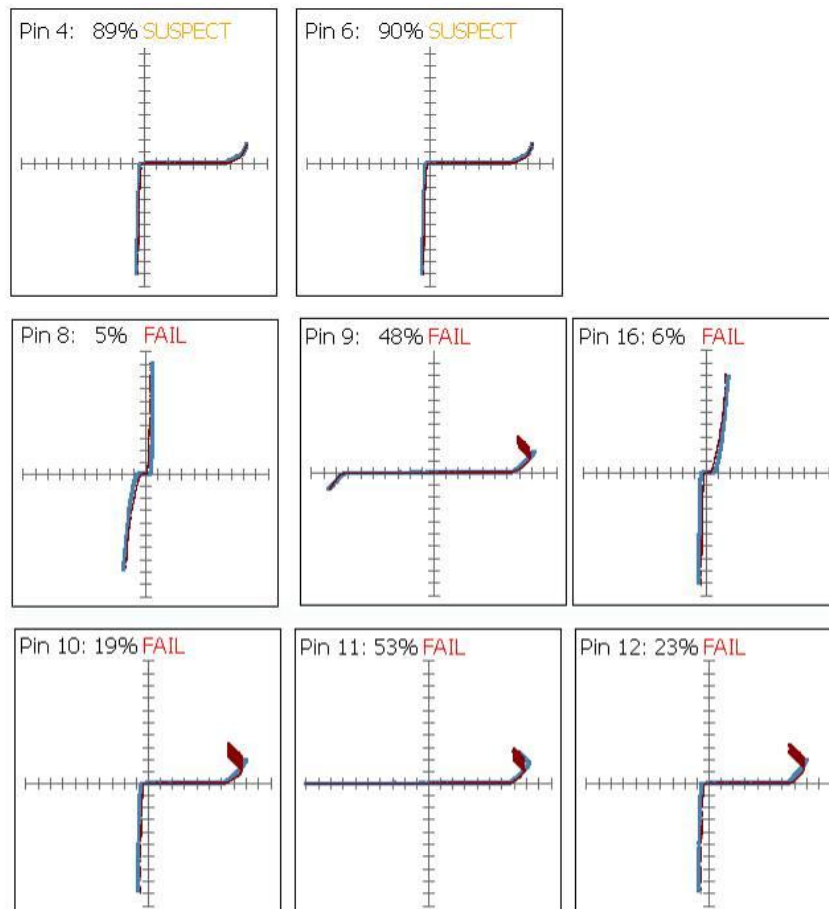
Na obrázku jsou zaznamenány grafy vygenerované programem SENTRY pro napájecí pin 10. Lze na nich pozorovat vývoj k ivky v závislosti na teplot a ase, dále je zde uvedeno procentuální hodnocení shody. Toleran ní pole bylo ru n nastaveno na 1 % pro p esn ější vyhodnocení zm n. Testy probíhaly v automatickém režimu.

Pro porovnání vlivu byl stejný test proveden znovu na obvodu MH74S287 s odlišným typem pouzdra a odlišnou vnit ní strukturou (TTL). U tohoto obvodu byla uvedena v katalogu pracovní teplota okolí do 70 °C a rozsah teplot p i skladování byl 55 °C až 155 °C. [53] Od prvního k poslednímu testu uplynul asový úsek 20 minut.



Obrázek 87: Stav pin v závislosti na naměřené teplotě – Tesla MH 74S287

U tohoto testu byly charakteristiky obvodu nejvíce posunuty při prvním testu. Bylo zde více pinů vyhodnocených jako poškozených (Fail). Ovlivněny byly piny 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 16. Piny 4 a 6 jsou adresové vstupy, piny 9, 10, 11, 12 jsou výstupy obvodu, pin 8 je zemnicí, a pin 16 je napájení. Nejdéle trvalo navrácení do vodního stavu u pinu 10, který se ustálil při 60 °C na vyhodnoceném stavu Podezřelý (Suspect) a nezměnil se do klesnutí teploty na nižší stupeň na povrchu pouzdra, již po odstranění zdroje tepla.



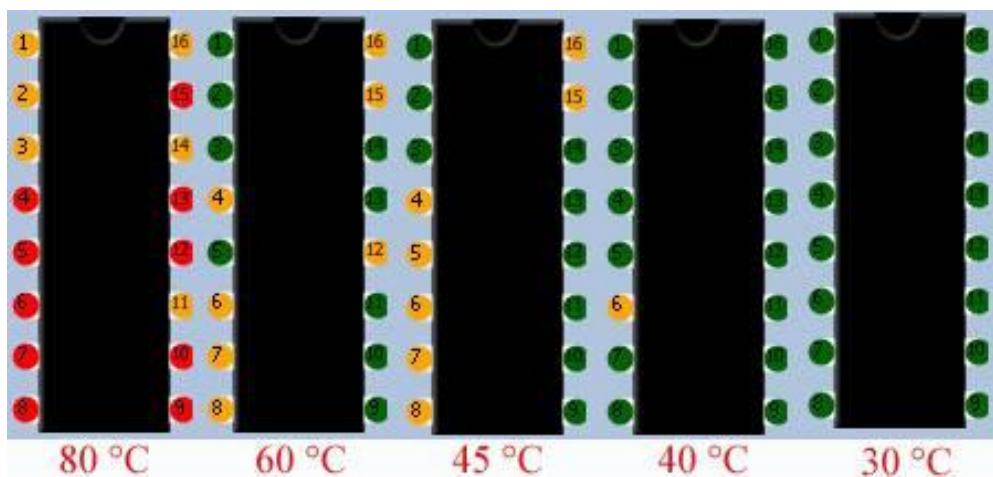
Obrázek 88: Závadné charakteristiky - Tesla MH74S287



### 9.2.2. Druhá metoda

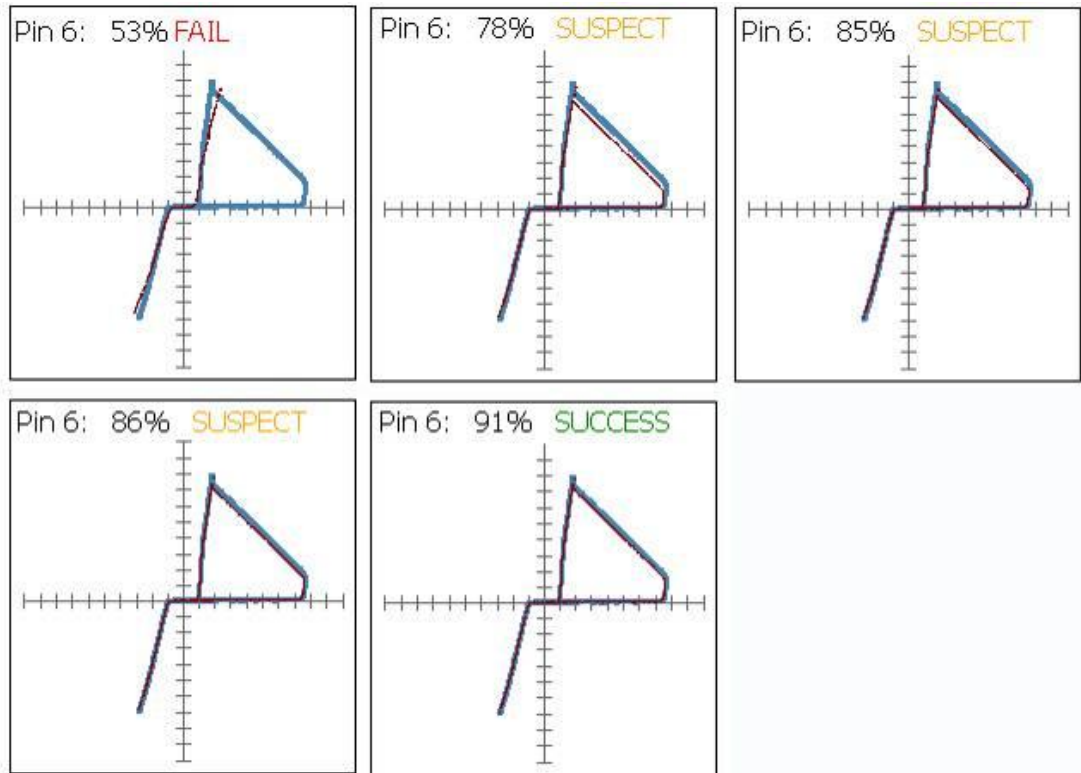
Druhá metoda spočívala ve vystavení celé součástky teplotě 250 °C v sušičce po časový úsek 120 minut a změnění jejích charakteristik neprodleně po vytažení. Testy probíhaly opakovaně do doby, než se po et změnění charakteristik stabilizoval a jeden test byl proveden po vychladnutí. U tohoto testu byla pozornost speciálně zaměřena na vznik trvalého poškození, protože hodnota teploty a času vystavení značně přesahuje limity doporučené výrobcem. Měnění teploty u tohoto testu probíhalo přímo na pouzdře součástky.

První opt prob hlo testování unipolární paměti RAM – **Tesla MHB1902C**. Při testech teplotního působení okolí prokazovaly obvody lepší schopnost regenerace než při použití lokálního zdroje tepla. Měnění muselo probíhat velmi rychle za sebou, protože součástky po několika minutách ztrácely teplotu. U tohoto obvodu se projevila typická ztráta hysterezí na adresových vstupech (4,5,6,7,8,15,16) a na výstupu - pin 12. K další výrazné změně charakteristiky došlo na napájecím pinu (10). U ostatních pinů byly zaznamenány drobné posuvy od normálního stavu. Navrácení charakteristik do původního stavu trvalo mezi prvním a posledním testem tři minuty.



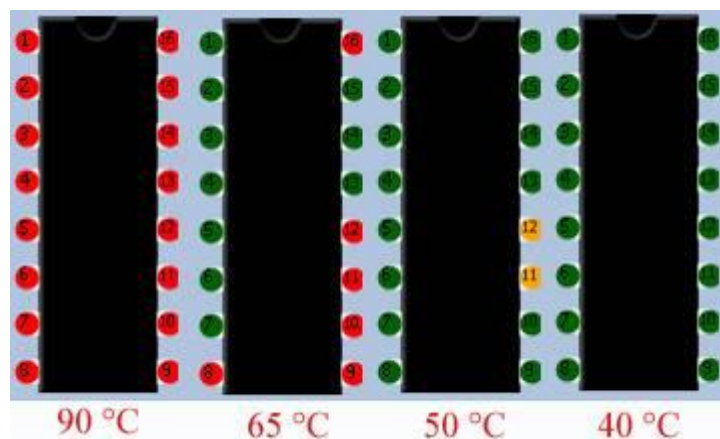
Obrázek 89: Vývoj stavu pinů v závislosti na teplotě pouzdra - MHB1902C



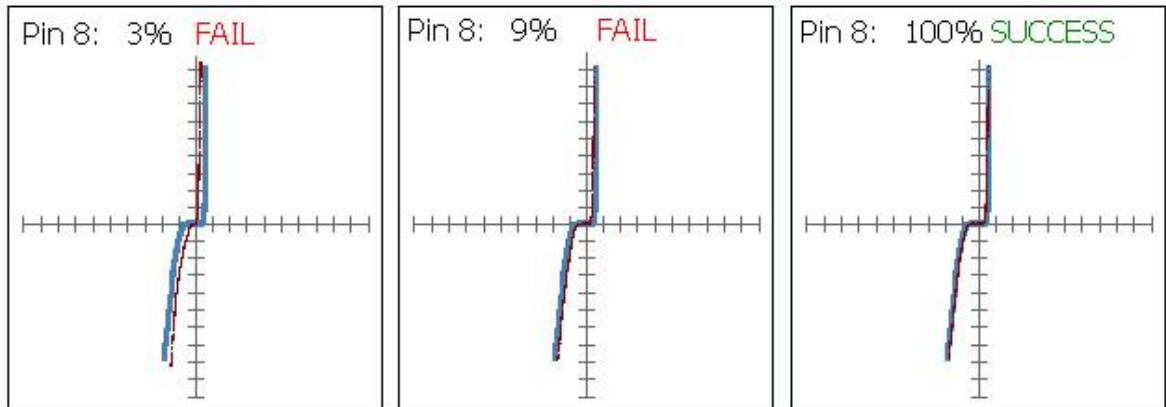


Obrázek 90: Příklad ztráty typické hystereze a její návrat při poklesu teploty

Pro druhý test byl použit obvod **MH 74S287**, u kterého byly při prvním testu vyhodnoceny všechny piny jako poškozené (Fail). Při dalším testu už se počet poškozených pinů snížil. Poté už byly označeny pouze dva piny jako podezřelé (Suspect) a u posledního, při teplotě povrchu pouzdra 40 °C, byly charakteristiky v pinovém vodním stavu a obvod byl vyhodnocen jako v pořádku. Doba trvání testu byla 3 minuty.

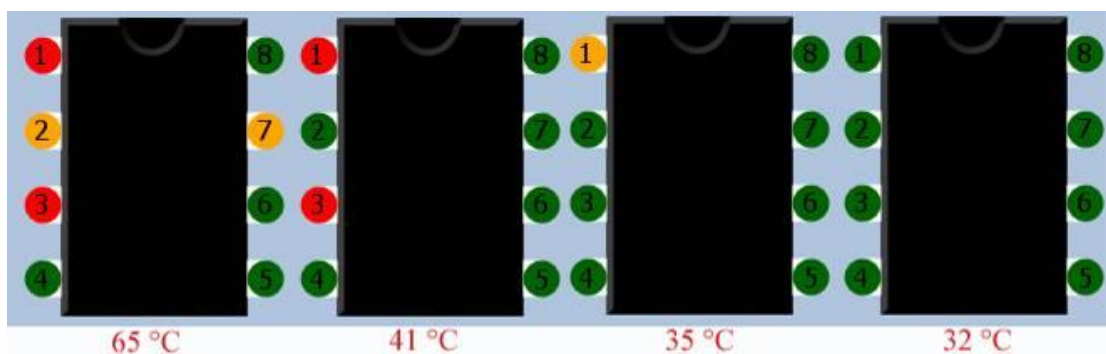


Obrázek 91: Vývoj stavu pinů - MH 74S287



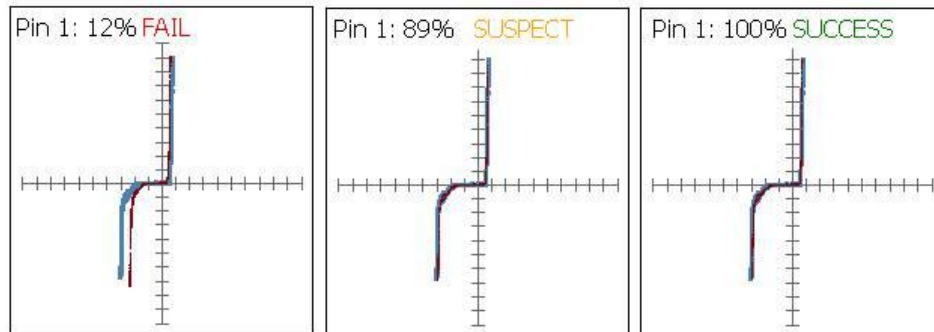
Obrázek 92: Návrat charakteristiky do p vodního stavu

Poslední test m l porovnat vliv tepelného p sobení na zm nu charakteristik u sou ástek v klasickém provedení DIL/DIP a u sou ástek pro povrchovou montáž v pouzd e SOIC. U sou ástek SMD vzhledem ke konstrukci adaptéru nebylo možné provést lokální test. Bylo tak p istoupeno pouze k testu p sobení teploty celkového prost edí v suši ce. Test byl proveden na obvodu od firmy Texas Instruments asova i NE555. Výrobce u této sou ástky udává kritické hodnoty, nad které m že dojít k trvalému poškození. Tyto hodnoty se liší podle provedení pouzdra a jsou stanoveny na 260 °C a 300 °C po dobu jedné minuty. Standardní pracovní teploty, u kterých dochází k vratnému posuvu charakteristik a uvádí je i výrobce, jsou do 125 °C. Obvody byly vystaveny maximální teplot suši ky, která byla 250 °C po dobu 120 minut. Po vytažení byly neprodlen umíst ny do p ístroje SENTRY a otestovány. U sou ástky SMD muselo dojít k vložení do adaptéru pomocí pinzety, což zp sobilo zdržení p ed testem pr m rn 5 sekund. Pokud se vložení do adaptéru nepoda í dostate n rychle, m l by být test z hlediska objektivity opakován.



Obrázek 93: Zm na stav na pinech – 555 – DIL

U součástky v klasickém provedení došlo ke změně charakteristik tak, že při prvním testu byly vyhodnoceny dva piny jako poškozené a dva jako podezřelé. Testování probíhalo dvě minuty, po této době se charakteristiky obvodu vrátily do běžného stavu.



Obrázek 94: Změna charakteristik v závislosti na čase

U obvodu v provedení SMD nebylo ani při několika opakováních testu možné zaznamenat žádné změny charakteristik a to i u prvního měření ihned po vytažení ze sušičky a vložení do adaptéru. Testy byly vždy vyhodnoceny jako bezchybné. Není vyloučeno, že tyto změny nebyly zachyceny vlivem prodlevy vkládání do adaptéru (5 s), ale i tak by došlo k velmi rychlé regeneraci vlastností obvodu.



Obrázek 95: Bezchybné vyhodnocení testu 555-SMD po vystavení teplotě 250 °C

### 9.3. Celkové hodnocení test tepelného působení

Při zkoumání vlivu tepelného působení na integrované obvody pomocí výše zmíněných aplikací metod bylo postupně provedeno několik zkoušek s různými teplotami, než došlo ke specifikaci postupu při testech. V práci jsou uvedeny pouze výsledky, u kterých je nejvyšší vypovídací hodnota. Ze zkoušek vyplynulo, že obvody reagují hlavně na zdroj tepla, který je s nimi v přímém kontaktu, než na vysokou teplotu v celém pracovním prostředí. Z testů nelze posuzovat stav obvodů při vykonávání jejich pracovních funkcí. Změny charakteristik a poškození pinů závisely na vnitřní struktuře obvodu, podle toho zda byly vyrobeny technologií CMOS nebo TTL, jejich míra ovlivnění byla však téměř shodná. Obecně nejvíce byly teplotou zasaženy charakteristiky na napájecím a zemnicím pinu. Nejdéle pozorovaný stav přetrvával na adresových pinech. Při testování druhé metody prokázaly obvody velkou míru regenerace charakteristik a žádná součástka po umístění do prostředí s teplotou místnosti neztratila pozorovanými charakteristikami déle než tři minuty. U součástek typu SMD byly očekávány malé změny charakteristik z toho důvodu, že jsou navrženy pro vyšší teploty při pájení i když jen po krátký čas. Měření však nedokázalo u tohoto druhu součástek odhalit žádné změny charakteristik, i když bylo pro kontrolu několikrát opakováno na několika obvodech. Hlavním cílem zkoušek bylo, zda jsme schopni zachytit neoriginální součástky, které byly vystaveny tepelnému namáhání tím, že byly odpájeny a znovu zapájeny do desky plošných spojů. Pro tento účel bylo využito funkcí a výsledků charakteristik na detektoru SENTRY. Na použitých vzorcích při zvolené teplotě 250 °C **nedošlo ani u jednoho obvodu k nevratným změnám**. Nebylo možné zpětně prokázat, že se součástkou bylo takto manipulováno a tato se zdála jako bezchybná. Z časových důvodů nebylo možné vyzkoušet, jaký vliv má takový zásah na dlouhodobou spolehlivost součástky. Teplota, která působila na obvody, postačuje pro zkapalnění pájky a tudíž k odpájení. V podmínkách, kde je pracováno s neoriginálními součástkami, však není žádná kontrola teploty působící na součástku. V lepším případě je odpájení provedeno horkovzdušnou pistolí, kde teplota dosahuje 600°C a v horším případě jsou součástky odpájeny vložením DPS nad otevřený ohřev, kde může být teplota 1000 °C a vyšší. V těchto případech je možné, že by došlo k trvalému poškození, které by posunulo charakteristiky, a dala by se zpětně prokázat destruktivní expozice. Tyto druhy poškození by bylo v určité míře také možné simulovat v laboratorním prostředí a tuto domněnku by potvrdit anebo vyvrátit.

## ZÁV R

V práci jsou shrnuty údaje o součástkách, které nám udávají, proč je vzrůstající počet padlých součástek problémem v elektronice a hlavně v bezpečnostních aplikacích. Jsou zde uvedeny technické metody, které lze použít při ověření pravosti součástek. Systém kvality výroby u velkých firem spočívá v kombinaci několika z uvedených metod a seznamu ověřených dodavatelů. Cílem práce bylo zjistit, zda je možné odhalit neoriginální součástky pouze jednou metodou – zkoumáním volt-ampérových charakteristik. Pro tuto metodu byl použit detektor padlých SENTRY. Praktická část práce je rozdělena na několik kapitol. V první kapitole byl vypracován manuál pro práci s detektorem. Použití detektoru není komplikované, software je přehledný a závěrečná zpráva v podobě webové stránky je užitečná pro další použití a archivaci. Několik problémů se vyskytlo pouze při použití adaptéru pro práci se součástkami pro povrchovou montáž. Další kapitola se soustředila na problematiku elektrostatického výboje. Popsaná zkouška simuluje přenos elektrostatického výboje z lidského těla na součástku. Testování této metody prokázalo, že po poškození součástky elektrostatickou energií dojde k nevratným změnám charakteristik a jsme schopni tyto změny detekovat za použití detektoru. Toto testování také neprokázalo, že by součástky pro povrchovou montáž byly citlivější na působení ESD. Ve zbylých kapitolách praktické části práce jsou popsány vlivy tepla na vnitřní jevy v polovodičích. Použité vzorky součástek byly postupně vystaveny působení tepla, které přesahovalo jejich doporučené hodnoty. Byly zde použity dvě testovací metody. Jedna lokální, při které bylo zjištěno vliv působení na změnu charakteristik vzhledem k působení externího zdroje tepla. Druhá metoda simulovala celkovou teplotu prostředí. U této metody vykazovaly součástky velmi rychlý návrat parametrů na povodní hodnoty. Jako poslední zkouška byl porovnáván vliv tepla na součástku v pouzdře typu DIL a v pouzdře SOIC. U součástky pro povrchovou montáž nebyly zaznamenány vůbec žádné změny charakteristik. Při působení teploty 250 °C nedošlo u součástek k nevratným změnám a součástky by zřejmě mohly být detekovány jako bezchybné. Pro zjištění hranice, kdy dochází u součástek k nevratným změnám, byly doporučené další testovací metody.

Z praktické části práce vyplývá, že touto metodou detekce jsme schopni poznat pouze některé vlivy působící na součástku. Tedy tato metoda nemůže stát samostatně, ale musí být začleněna do systému celkové kontroly součástek s využitím dalších detekčních metod.

## ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The thesis summarizes reasons which tell us why growth of quantity of counterfeit parts is an issue in electronics, and primarily in security applications. It mentions technical methods being used for authentication of electronic parts. Quality assurance of production in large companies consists of combination of several mentioned methods and of system of verified suppliers. The aim of this thesis was to find out possibility of detecting non original parts while applying only one method – I-V characteristics examination. SENTRY Counterfeit IC Detector was used for this method. Practical part of the thesis is divided into several chapters. The first chapter describes creation of documentation on how to work with the detector. Usage of the detector is not complicated, software is well arranged and final report in form of a web page is useful for further use and archiving. A few problems occurred only when adapters for work with surface mount devices were used. Next chapter is focuses on problems with electrostatic discharge. Described test simulated transmission of electrostatic discharge from a human body onto a surface of electronic part. Testing with this method has shown, that a component damaged with electrostatic discharge lead to non-reversible changes in the component I-V characteristics, and we were able to detect them with Sentry detector. This testing has not proved that surface mount devices are more sensitive to ESD effects. The third chapter of practical part describes temperature influences on internal events in semiconductors. Used samples of components were one by one exposed to thermal influences which exceeded their recommended limits. Two testing methods were used. One of them was local which has discovered a bigger effect on characteristic changes in respect to external heat source. Second method simulated overall surrounding temperature. In this method components evinced very fast recovery to original values. The last test was aimed at the comparison of temperature influence on the component in DIL package type and on the SOIC package type, in which there were noticed no changes in surface mount device I-V characteristics. When exposed to a temperature of 250 °C, the components didn't change irreversibly, and components are expected to be detected as perfect in any follow-up test. To find a boundary at which the changes become irreversible, further tests were recommended.

From practical part of the thesis, there follows that with this detection method, we are able to recognize only some influences which have affected the component. Thus, this method cannot be used independently, but it must be combined with a system of comprehensive inspection with other detection methods.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Zákon . 185/2001 Sb. o odpadech a o zm n n kterých dalších zákon : § 37g  
Základní pojmy. In: 185/2001 Sb. 2001.
- [2] GREENPEACE INTERNATIONAL. Toxic Tech: Not in Our Backyard: Full report  
[online]. Amsterdam, Netherlands, 2008 [cit. 2012-03-07]. ISBN 88. Dostupné z:  
<http://www.greenpeace.org/international/Global/international/planet-2/report/2008/2/not-in-our-backyard.pdf>
- [3] E-Waste in Guiyu. Acidcow.com [online]. 2009 [cit. 2012-04-04]. Dostupné z:  
<http://acidcow.com/pics/4987-e-waste-in-guinya-15-pics.html>
- [4] Xbitlabs.com: Attention! Remarked AMD Athlon XP Processors On the Market.  
SHILOV, Anton. Xbitlabs.com [online]. 5.2.2003 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z:  
<http://www.xbitlabs.com/news/cpu/display/20030503024652.html>
- [5] KLAUZ, Milan. Pozor na falešné sou ástky. DPS: Plošné spoje od A do Z [online].  
2011, 2., s. 2 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: [http://www.dps-az.cz/media/pdf/ukazky/sou-falesne\\_soucastky\\_90-91.pdf](http://www.dps-az.cz/media/pdf/ukazky/sou-falesne_soucastky_90-91.pdf)
- [6] AEROSPACE INDUSTRIES ASSOCIATION. Counterfeit parts: Increasing  
Awareness and Developing countermeasures [online]. 2011, 42 s. [cit. 3.4.2011].  
Dostupné z: <http://www.aia-aerospace.org/assets/counterfeit-web11.pdf>
- [7] CRAWFORD, Mark a Brad BOTWI. U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE  
BUREAU OF INDUSTRY AND SECURITY OFFICE OF TECHNOLOGY  
EVALUATION. Defense Industrial Base Assessment: Counterfeit electronic  
[online]. U.S.A., 2010 [cit. 2012-02-01]. Dostupné z:  
[http://www.bis.doc.gov/defenseindustrialbaseprograms/osies/defmarketresearchrpts/final\\_counterfeit\\_electronics\\_report.pdf](http://www.bis.doc.gov/defenseindustrialbaseprograms/osies/defmarketresearchrpts/final_counterfeit_electronics_report.pdf)
- [8] MOORE, Malcolm. US weapons 'full of fake Chinese parts'. In: The Telegraph  
[online]. 08 November 2011 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z:  
<http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/northamerica/usa/8876656/US-weapons-full-of-fake-Chinese-parts.html>



- [9] MATTHES, Wolfgang. Hledání a ostrařování poruch: Měření a testování v počítařové a říslicové technice. 1. vyd. Ostrava: HEL, 2001, 605 s. ISBN 80-861-6718-6.
- [10] SENTRY - Counterfeit IC Tester. ABI ELECTRONICS LTD. *ABI Electronics* [online]. 2012 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.abielectronics.co.uk/News/News8.php>
- [11] Semiconductor packaging: Top Side Marking Formats. Texas Instruments [online]. 2012 [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.ti.com/general/docs/topsidemarkingformats.tsp?actionPerformed=listPkgTopSideFormats&pkg=PDIP>
- [12] STMICROELECTRONICS. ST6255C, ST6265C, ST6265B: 8-bit MCUs with ADC [online]. 2009 [cit. 4.4.2012]. Dostupné z: [http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL\\_RESOURCES/TECHNICAL\\_LITERATURE/DATASHEET/CD00001606.pdf](http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00001606.pdf)
- [13] HAMMOND, Robb. Detection of Counterfeit Electronic Components. AMERICAN ELECTRONIC RESOURCE INC. AERI: Independent Electronic Components Distributor [online]. 2010 [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.aeri.com/detection-of-counterfeit.asp>
- [14] ROBERTSON, Glenn a Stephen SCHOPPE. PROCESS SCIENCES, Inc. Screening for Counterfeit Electronics Components [online]. 2011 [cit. 4.4.2010]. Dostupné z: [http://www.process-sciences.com/articles/Counterfeits\\_Screening\\_SMTAI.ppt](http://www.process-sciences.com/articles/Counterfeits_Screening_SMTAI.ppt)
- [15] OxygenElectronics: Acetone Test for Blacktopping Explained. Oxygenelectronics [online]. 2011 [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://oxygenelectronics.blogspot.com/2011/01/acetone-test-for-blacktopping-explained.html>
- [16] X-Ray as a Tool to Identify Counterfeit Electronics Components. Oxygen Electronics [online]. 2011 [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.o2xygen.com/xray.aspx>

- [17] SHADE, Gary F. INSIGHT ANALYTICAL LABS (IAL). Response to Counterfeit ICs in the Supply Chain [online]. 2008 [cit. 4.4.2012]. Dostupné z: <http://paris.utdallas.edu/IEEE-RS-ATR/document/2008/2008-16.pdf>
- [18] TruView Elite. Creative Electron [online]. 2011 [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.creativeelectron.com/Products/truview/TruViewElite/elite.php>
- [19] ÚVOD DO POŽADAVK SM RNIC RoHS 2002/95/ECRoHS. In: Www.rohs.cz [online]. 2003 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://www.rohs.cz/more.info.html>
- [20] Material Analysis. Joseph Federico NJ's Blog [online]. 2011 [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://josephfedericonj.wordpress.com/2011/02/09/material-analysis/>
- [21] Seriál o detektivní chemii: Chemické nástroje detektiv . BERKA, Karel. <Http://ksicht.natur.cuni.cz> [online]. 2010 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://ksicht.natur.cuni.cz/serialy/detektivni-chemie/2>
- [22] Xray technician facts [online]. 2011 [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.niton.com/images/How-XRF-Works/primary-x-ray-radiation.jpg>
- [23] Bestseller - spektrometr a ru ní analyzátor ALPHA. BAS RUDICE S.R.O. Bas.cz [online]. 2009 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://www.bas.cz/innov-x-systems/alpha.php>
- [24] Optimized-xrf-french. Nachi.org [online]. 2010 [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.nachi.org/images10-2/Optimized-xrf-french.jpg>
- [25] HOWARD, Courtney E. The cost of compliance: A RoHS retrospective. Military and aerospace electronic [online]. 2007 [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.militaryaerospace.com/articles/print/volume-18/issue-8/features/technology-focus/the-cost-of-compliance-a-rohs-retrospective.html>
- [26] Decapsulation. Priority Labs Inc. [online]. 2011 [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.prioritylabs.com/Decapsulation.aspx>
- [27] SolTec Electronics Decapsulation. Soltec Electronics [online]. 2010 [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://partsearch.soltecelectronics.com/decapsulation.aspx>

- [28] Delid and Decap. Semitracks [online]. 2011 [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.semitracks.com/index.php/reference-material/failure-and-yield-analysis/package-analysis/delid-and-decap>
- [29] Products: Decapsulation Equipment. Quasi-S [online]. 2011 [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.quasi-s.com.sg/products.php?catID=3>
- [30] PIMM, Trevor. Statická elektřina - příčiny a způsoby ochrany. *Plastics Production: časopis pro plastický průmysl*. 2009, ro. 2009, . 1. Dostupné z: [http://www.infocube.cz/images/plasticproduction/clanky/Staticka%20elektrina%20-%20priciny%20a%20způsob%20ochrany\\_38-40.pdf](http://www.infocube.cz/images/plasticproduction/clanky/Staticka%20elektrina%20-%20priciny%20a%20způsob%20ochrany_38-40.pdf)
- [31] Podpora techniky: Elektrostatika. ESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Podpora techniky.cz [online]. 21. 11. 2011 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.podpora-techniky.cz/page/elektrostatika>
- [32] Elektrostatický výboj a jeho vliv na spolehlivost integrovaných obvodů : (1. část). HORSKÝ, Pavel. ON DESIGN CZECH, s. r. o. *Automa: časopis pro automatizaci techniku* [online]. Praha: FCC Public, 2009 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=39904](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=39904)
- [33] BASF - THE CHEMICAL COMPANY. *Malá příčina – velké následky: Potřeba kontroly statické elektřiny* [online]. 2007 [cit. 22.4.2012]. Dostupné z: <http://www.basf-cz.cz/cs/kestazeni/prospekty/Documents/Mal%C3%A1%20p%C5%99%C3%AD%C4%8Dina%20-%20velk%C3%A9%20n%C3%A1sledky.pdf> SENTRY
- [34] HORSKÝ, Pavel. Elektrostatický výboj (ESD): a testování jeho vlivu u integrovaných obvodů. *Electronic Engineering Magazine* [online]. 2008, . 1 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: [http://design.georgius.cz/sites/infocube/eem/horsky\\_eem081.pdf](http://design.georgius.cz/sites/infocube/eem/horsky_eem081.pdf)
- [35] Counterfeit IC Detector. ABI LTD. *ABI Electronics: Test & Measurement Systems Electronic Manufacturing Services* [online]. 2012 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.abielectronics.co.uk/Products/SENTRYCounterfeitICDetector.php>
- [36] Přehled pouzder součástek - SMD. EHÁK, Jan. REDAKCE HW SERVERU. *HW.cz* [online]. 2001 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/prehled-pouzder-soucastek-smd.html>

- [37] Equinox Products Page - Xeltek SuperPro280U. *Equinox-tech.com* [online]. 1995-2012 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.equinox-tech.com/products/details.asp?ID=503>
- [38] IC CONFIG DEVICE 64MBIT 16-SOIC: EPCS64SI16N. *Digi-Key Corporation* [online]. 1995-2012 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://ca.digikey.com/1/1/2059122-ic-config-device-64mbit-16-soic-epcs64si16n.html>
- [39] SENTRY Universal SOIC Adapter. ABI ELECTRONICS LTD. *ABI Electronics* [online]. 2012 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.abielectronics.co.uk/Products/SENTRYUniversalSOICAdapter.php>
- [40] View details on Harris 80C286-10 PLCC. *86 cpus' Guide* [online]. 2009 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.x86-guide.com/en/cpu/Harris-80C286-10-PLCC-cpu-no4019.html>
- [41] SENTRY Universal PLCC Adapter. ABI ELECTRONICS LTD. *ABI Electronics* [online]. 2012 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.abielectronics.co.uk/Products/SENTRYUniversalPLCCAdapter.php>
- [42] 80386 processor. *ITwissen.info* [online]. 2010 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/80386-80386-processor.html>
- [43] SENTRY Adapters: Customised Solutions. ABI ELECTRONICS LTD. *ABI Electronics* [online]. 2012 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.abielectronics.co.uk/Products/SENTRYCustomisedAdapters.php>
- [44] Popis BGA pouzdra. *Technicest.com* [online]. 2008-2010 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: [http://www.technicest.com/popis\\_bga.php](http://www.technicest.com/popis_bga.php)
- [45] IC FLOATING POINT DSP Texas Instruments Datasheet. *Digi-Key Corporation* [online]. 1995-2012 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://parts.digikey.com/1/parts-datasheet/139043-ic-floating-point-dsp-texas-instruments-datasheet.html>
- [46] ABI ELECTRONIC LTD. *SENTRY Counterfeit IC Detector OPERATOR'S MANUAL*. Revision 2.00. Barnsley, United Kingdom, 2011.

- [47] Práce s obvody CMOS a MOS aneb pozor na statickou elektinu. *Elweb.cz* [online]. 1999-2012 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.elweb.cz/clanky.php?clanek=32>
- [48] SRG 200LC. *RAO: Váš partner v oboru impulzního rušení* [online]. 2011 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: [http://ruseni.cz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12%3Asrg-200lc&catid=1%3Agenerator-impulsniho-rueni&Itemid=4&lang=cs](http://ruseni.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=12%3Asrg-200lc&catid=1%3Agenerator-impulsniho-rueni&Itemid=4&lang=cs)
- [49] Hardwarová realizace logických obvod . *Mikrokontroléry PIC: Vše o osmibitových mikrokontrolérech PIC* [online]. 2012 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://mikrokontrolery-pic.cz/zaciname/cislicova-technika/hardwarova-realizace-logickych-obvodu/>
- [50] SVA INA, Ji í. *Elektromagnetická kompatibilita: Principy a poznámky*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 2001, s. 111-113. ISBN 80-214-1873-7.
- [51] DOLE EK, Jaroslav. *Moderní úebnice elektroniky: Polovodi ové prvky a elektronky*. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 206 s. ISBN 80-730-0161-6.
- [52] FROHN, Manfred. *Elektronika: polovodi ové sou ástky a základní zapojení*. 1. eské vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 479 s. ISBN 80-730-0123-3.
- [53] TESLA ROŽNOV POD RADHOŠT M. *Polovodi ové sou ástky*. Praha: Export:KOVO, 1982.
- [54] MARTIN, Perry L. *Electronic failure analysis handbook: techniques and applications for electronic and electrical packages, components and assemblies*. New York: McGraw-Hill, 1999. ISBN 978-007-0410-442.
- [55] K E EK, Stanislav. *P íru ka zabezpe ovací techniky*. Vyd. 3. Praha: BEN, 2003, 351 s. ISBN 80-902938-2-4.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

SMD	Surface Mount Device
SMT	Surface Mount Technology
DIL	Dual In-Line
DIP	Dual In-line Package
MOS	Metal Oxid Semiconductor
SN	eská technická norma
IO	Integrovaný obvod
XRF	X-ray fluorescence
ESD	Electrostatic Discharge
ESDS	Electrostatic Dicharge Sensitive
EPA	ESD Protect Area
MIL STD	Military Standards - Department of Defense Test Method Standard
ZIF	Zero insertion force
BIOS	Basic Input Output System
PCB	Printed circuit board
DPS	Deska plošných spoj
RAM	Random-Access Memory
PDF	Portable Document Format
GND	Ground
PROM	Programmable Read-Only Memory
DO	Digital Output



**SEZNAM OBRÁZK**

Obrázek 1: Tídní elektronických součástek. [3] .....	12
Obrázek 2: Rozdíly ve značení procesorů. [4] .....	13
Obrázek 3: a) Elektromigrace b) migrace způsobená namáháním. [9] .....	18
Obrázek 4: a) Konstrukce propojení a zapouzdřený obvod v průřezu .....	18
Obrázek 5: a) Přesobení tepla při pájení pouzdra SMD .....	19
Obrázek 6: Zastoupení polovodičů na globálním trhu (2011) [7] .....	20
Obrázek 7: Vývoj nahlášených padů v USA [10] .....	20
Obrázek 8: Zastoupení padů laných diskretních součástek a IO (Listopad 2009) [7] .....	21
Obrázek 9: Zastoupení konkrétních druhů diskretních součástek (Listopad 2009) [7] .....	21
Obrázek 10: Zastoupení typů padů hlášených výrobci (Listopad 2009) [7] .....	22
Obrázek 11: Předpokládané země původu padů (Listopad 2009) [7] .....	22
Obrázek 12: Příklady značení pouzder firmy Texas Instruments Inc. [11] .....	24
Obrázek 13: Rozměry obvodu ST62T65C od firmy STMicroelectronics [12] .....	24
Obrázek 14: Příklad přeznačené součástky, původní .....	24
Obrázek 15: Příklad odstraněného značení. [14] .....	25
Obrázek 16: Povrch před a po aplikaci Acetonu. [15] .....	25
Obrázek 17: Lesklý povrch (vlevo) a matný (vpravo) povrch. [13] .....	25
Obrázek 18: Kontrolní značka .....	26
Obrázek 19: Kontrolní značka překrytá .....	26
Obrázek 20: Překryté značení na spodní straně .....	26
Obrázek 21: Porovnání propojení na schématu a ve skutečnosti [16] .....	27
Obrázek 22: Odlišnost prostředního obvodu [14] .....	27
Obrázek 23: Součástka se stejným značením ale rozdílnou vnitřní strukturou [17] .....	28
Obrázek 24: Stanoviště rentgenové inspekce TrueView Elite .....	28
Obrázek 25: Rozdíl ve spektru originálu a kopie [20] .....	29
Obrázek 26: Schéma produkce záření [22] .....	29
Obrázek 27: Blokové schéma XRF spektrometru [24] .....	30
Obrázek 28: Použití spektrometru a výstup analýzy [25] .....	30
Obrázek 29: V-A charakteristika Germániové diody .....	31
Obrázek 30: Integrovaný obvod po odstranění části pouzdra [26] .....	32
Obrázek 31: Srovnání identifikačních znaků na pouzdru a plošném spoji [27] .....	33

Obrázek 32: Zv tšená architektura integrovaného obvodu [28].....	33
Obrázek 33: P ístroje pro odstra ování pouzdra: .....	33
Obrázek 34: Van de Graaff v generátor [31] .....	34
Obrázek 35: Electrostatic Protected Area. [33] .....	38
Obrázek 36: Zapojení pro HMB [34].....	39
Obrázek 37: Specifikace parametr pro HMB. [34].....	40
Obrázek 38: Schéma pro MM. [34] .....	40
Obrázek 39: Specifikace parametr pro MM. [34].....	41
Obrázek 40: Aplikace CDM [34].....	41
Obrázek 41: Pr b hy a parametry jednotlivých model [34] .....	41
Obrázek 42: SENTRY Counterfeit IC Detector. ....	43
Obrázek 43: SENTRY Counterfeit IC Detector – zadní strana. ....	44
Obrázek 44: Patice ZIF. ....	44
Obrázek 45: Patice ZIF a IO. [37].....	44
Obrázek 46: Pouzdro SOIC a jeho adaptér. [38] [39].....	45
Obrázek 47: Pouzdro PLCC a jeho adaptér. [40] [41].....	46
Obrázek 48: Pouzdro QFP a jeho adaptér. [42] [43] .....	46
Obrázek 49: Pouzdro BQA a jeho a adaptér. [45] [43] .....	47
Obrázek 50: Vložený obvod SMD v adaptéru SOIC.....	47
Obrázek 51: Úvodní okno programu SENTRY .....	48
Obrázek 52: Uvítací obrazovka s nabídnutým návodem. ....	49
Obrázek 53: Okno pro kontrolu p ípojení detektoru.....	49
Obrázek 54: Nastavení procentuální míry toleran ního pole.....	49
Obrázek 55: Okno p í vkládání informací pro mód u ení. ....	50
Obrázek 56: Obsah okna Výsledky (Results) – toleran ní pole charakteristik.....	51
Obrázek 57: Odpojený kontakt (vlevo), kontakt ve zkratu.....	51
Obrázek 58: P íklady charakteristik p í r zných režimech nastavení.....	52
Obrázek 59: Nastavení parametr pro test.....	53
Obrázek 60: Zvolení sou ástky z knihovny p ed za átkem m ení.....	53
Obrázek 61: Znaky výsledku testu.....	54
Obrázek 62: Okno výsledk s nam enými toleran ními poli.....	54
Obrázek 63: Výsledná zpráva ve formátu webové stránky.....	55
Obrázek 64: Obvod Tesla MHB 1902C.....	56

Obrázek 65: Schéma ochrany. [47].....	56
Obrázek 66: Generátor SRG 200 a jeho dopl ky. ....	57
Obrázek 67: Obvod Tesla MH 74S287.....	58
Obrázek 68: Hodnoty použitého generátoru ESD.....	59
Obrázek 69: Pracovišt – antistatická podložka a kovová desti ka.....	59
Obrázek 70: Uzemn ní p es zásuvku.....	59
Obrázek 71: Aplikace výboje na obvod.....	60
Obrázek 72: Detail použití generátoru.....	60
Obrázek 73: innosti, p i kterých dochází ke vzniku elektrostatické energie.....	61
Obrázek 74: Výsledky testování na obvodu Tesla MHB1902C. ....	62
Obrázek 75: P íklady zm n charakteristik.....	63
Obrázek 76: Výsledky testování na obvodu Tesla MH 74S287. ....	64
Obrázek 77: Další druh adaptéru pro pouzdra SOIC.....	66
Obrázek 78: Vývoj zm ny k ivky na pinu 1 na obvodu 555 - DIL.....	66
Obrázek 79: Zm na stav na pinech 555 – SMD. ....	67
Obrázek 80: Procentuální hodnocení jednotlivých pin . ....	67
Obrázek 81: Suši ka Memmert UNP 200.....	69
Obrázek 82: Teplom r TESTO - Quicktemp 825 - T4.....	69
Obrázek 83:P íložení m ící hlavice.....	70
Obrázek 84: Umíst ní zah átého hranolu na sou ástku.....	70
Obrázek 85: Stav pin v závislosti na nam ené teplot - Tesla MHB1902C.....	71
Obrázek 86: Zm na k ivku u pinu 10 v závislosti na áse u obvodu Tesla MHB 1902C. ....	72
Obrázek 87: Stav pin v závislosti na nam ené teplot – Tesla MH 74S287.....	73
Obrázek 88: Závadné charakteristiky - Tesla MH74S287.....	73
Obrázek 89: Vývoj stavu pin v závislosti na teplot pouzdra - MHB1902C.....	74
Obrázek 90: P íklad ztráty typické hystereze a její návrat p i klesnutí teploty.....	75
Obrázek 91: Vývoj stavu pin - MH 74S287. ....	75
Obrázek 92: Návrat charakteristiky do p vodního stavu.....	76
Obrázek 93: Zm na stav na pinech – 555 – DIL. ....	76
Obrázek 94: Zm na charakteristiky v závislosti na áse. ....	77
Obrázek 95: Bezchybné vyhodnocení testu 555–SMD po vystavení teplot 250 °C .....	77