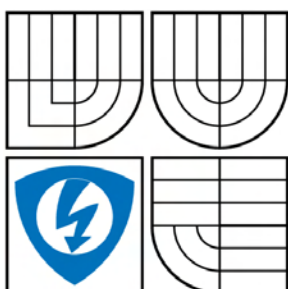


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

PRACOVNÍŠTĚ PRO MĚŘENÍ TERMOMECHANICKÉHO NAMÁHÁNÍ

WORKPLACE FOR MEASURING OF THERMOMECHANICAL LOADING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

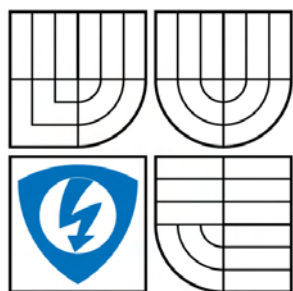
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ HRUBAN

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JOSEF ŠANDERA, Ph.D.

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Mikroelektronika a technologie

Student: Hruban Jiří

ID: 48250

Ročník: 3

Akademický rok: 2007/2008

NÁZEV TÉMATU:

Pracoviště pro měření termomechanického namáhání

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou měření termomechanické spolehlivosti elektronických a mikroelektronických sestav. Navrhněte a realizujte systém pro teplotní cyklování pomocí Peltierových článků.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 1.11.2006

Termín odevzdání: 30.5.2008

Vedoucí práce: Ing. Josef Šandera, Ph.D.

prof. Ing. Radimír Vrba, CSc.

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Licenční smlouva poskytovaná k výkonu práva užít školní dílo

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Jiří Hruban
Bytem: Mikšíčkova 1441/2, 615 00, Brno - Židenice
Narozen/a (datum a místo): 26.21.1981, Brno

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
Ing. Edita Hejátková
(dále jen „nabyvatel“)

Článek. 1 Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☐ diplomová práce
- ☒ bakalářská práce
- ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

.....

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Pracoviště pro měření termomechanického namáhání
Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Josef Šandera, Ph.D.
Ústav: Ústav mikroelektroniky
Datum obhajoby VŠKP: 11.6.2008

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- ☒ tištěné formě – počet exemplářů 2
- ☒ elektronické formě – počet exemplářů 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Abstrakt:

Práce se zaměřuje na problematiku termomechanického namáhání, na spolehlivost elektrotechnických sestav, na poruchy pájeného spoje a bezolovnaté pájecí slitiny. Cílem práce je návrh a realizace pracoviště pro měření termomechanického namáhání.

Abstract:

The work is focused on problematic of thermomechanical tensions, reliability of electrotechnical assemblies, failures of solder joints and lead-free soldering alloys. The goal of work is project and realisation of station for measuring thermomechanical loading.

Klíčová slova:

Termomechanické namáhání, spolehlivost pájeného spoje, poruchy pájeného spoje, bezolovnaté pájecí slitiny, zrychlené zkoušky, Peltiérový články, počítačové řízení

Keywords:

Thermomechanical loading, reliability of solder joints, failures of solder joints, lead-free soldering alloys, accelerated testings, Peltier modules, computer control

Bibliografická citace díla:

HRUBAN, J. *Pracoviště pro měření termomechanického namáhání-bakalářská práce*. Brno, 2008. 25 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Josef Šandera, Ph.D. FEKT VUT v Brně

Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Josefu Šanderovi, Ph.D. za metodické a cíleně orientované vedení při plnění úkolů realizovaných v návaznosti na bakalářskou práci.

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Autor: Jiří Hruban

Název závěrečné práce: Pracoviště pro měření termomechanického namáhání

Název závěrečné práce ENG: Workplace for Measuring of Thermomechanical Loading

Anotace závěrečné práce: Práce se zaměřuje na problematiku termomechanického namáhání, na spolehlivost elektrotechnických sestav, na poruchy pájeného spoje a bezolovnaté pájecí slitiny. Cílem práce je návrh a realizace pracoviště pro měření termomechanického namáhání.

Anotace závěrečné práce ENG: The work is focused on problematic of thermomechanical tensions, reliability of electrotechnical assemblies, failures of solder joints and lead-free soldering alloys. The goal of work is project and realisation of station for measuring thermomechanical loading.

Klíčová slova: Termomechanické namáhání, spolehlivost pájeného spoje, poruchy pájeného spoje, bezolovnaté pájecí slitiny, zrychlené zkoušky, Peltiérový články, počítačové řízení

Klíčová slova ENG: Thermomechanical loading, reliability of solder joints, failures of solder joints, lead-free soldering alloys, accelerated testings, Peltier modules, computer control

Typ závěrečné práce: bakalářská práce

Datový formát elektronické verze: pdf

Jazyk závěrečné práce: čeština

Přidělovaný titul: Bc.

Vedoucí závěrečné práce: Ing. Josef Šandera, Ph.D.

Škola: Vysoké učení technické v Brně

Fakulta: Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav / ateliér: Ústav mikroelektroniky

Studijní program: Elektrotechnika, elektronika, komunikační a řídicí technika

Studijní obor: Mikroelektronika a technologie

1 ÚVOD:	8
2 FUNKCE PÁJENÉHO SPOJE	9
2.1 BEZOLOVNATÉ PÁJECÍ SLITINY	9
2.2 PÁJECÍ SLITINA SAC	10
3 SPOLEHLIVOST A KVALITA	11
3.1 ZDROJE VAD A PORUCH V PÁJENÉM SPOJI	12
3.2 WHISKER	12
3.3 TERMOMECHANICKÉ NAMÁHÁNÍ	14
3.3.1 <i>Koeficient tepelné roztažnosti TCE:</i>	14
3.4 ZRYCHLENÉ ZKOUŠKY	15
3.5 TEPLOTNÍ CYKLY	16
3.6 PELTIERŮV JEV	17
3.6.1 <i>Princip Peltierova článku</i>	17
4 PRACOVNÍŠTĚ	18
4.1 POPIS PRACOVNÍŠTĚ VERZE 1:	20
4.2 POPIS PRACOVNÍŠTĚ VERZE 2:	21
4.2.1 <i>Koncový regulační stupeň (KRS) (řízený zdroj)</i>	22
4.2.2 <i>Teplořád:</i>	24
4.2.3 <i>Ovládací obvody na portu LPT</i>	26
4.2.4 <i>Řídící program</i>	27
5. ZÁVĚR	31
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ:	32
GRAFICKÁ PŘÍLOHA	33

1 Úvod:

Za posledních několik let vzrostl zájem o bezolovnaté pájení v elektrotechnickém průmyslu. Tento trend bude nadále pokračovat z důvodu nedávného usnesení EU. Bezolovnaté pájecí slitiny se začínají používat kvůli toxicitě olova, které je obsaženo v olovnatých pájkách.

Se stále masovější výrobou spotřební elektroniky a zkracováním funkčního období produktů, by díky výrobě nových a likvidaci starých spotřebičů, byly hodnoty emisí olova v přírodě v blízké budoucnosti příliš vysoké. Elektrotechnický průmysl není samozřejmě jediné odvětví ve kterém se používá olovo a zdaleka ne v takové míře, že by produkce emisí byla kritická, nicméně je potřeba brát ohled na ekologickou situaci naší planety a vyhnout se toxickým materiálům už při návrhu výrobku a to v jakékoliv průmyslové sféře.

Nástup bezolovnatých pájecích slitin na scénu elektrotechnického průmyslu sice řeší problém s emisemi, ale přináší sebou spoustu problémů technologického charakteru. Mezi nejzávažnější patří vyšší teplota tavení bezolovnatých slitin, horší smáčitelnost, tvorba bublinek uvnitř pájeného spoje a další. Tyto vlastnosti bezolovnatých slitin degradují kvalitu pájeného spoje a snižují jeho životnost.

Některým z těchto problémů se lze vyhnout již při návrhu a to vhodnou kombinací výrobních procesů, nebo použitých materiálů. Avšak nemůžeme s jistotou říct jak kvalitní bude námi vyrobený bezolovnatý spoj za několik let, či desítek let, a nebo při používání v prostorách s extrémně měnícími se okolními teplotami. U olovnatých pájek tyto parametry známe jelikož se používají již několik desítek let a bylo možno tyto vlastnosti prakticky ověřit.

Protože je potřeba znát předem odezvu pájeného spoje na okolní vlivy, je vhodné tyto vlivy předem na výrobku simulovat. K těmto účelům slouží různá vývojová pracoviště, nebo počítačové simulační programy. [1]

V našem případě se budeme zabývat vlivy teplotními a jejich dopady na bezolovnaté spoje. Simulace může probíhat buď jako počítačová (sw. Ansys), nebo za pomoci metody zrychlených zkoušek. Zrychlené zkoušky se provádějí ve speciálních tepelných komorách, kde se rychle střídají teplotní cykly (chlad, horko). Těmito zkouškami lze sledovat několik parametrů jako stárnutí spoje, odolnost spoje vůči měnícím se teplotám, životnost spoje v prostředí jehož podmínky jsou simulovány, atd... Protože ceny teplotních komor jsou vysoké a jejich provedení ne vždy odpovídá požadovanému způsobu provádění zkoušek, bylo zapotřebí vyvinout pracoviště pro termomechanické namáhání pájených spojů.

2 Funkce pájeného spoje

Funkce pájeného spoje by se daly shrnout do třech oblastí: elektrické, mechanické a tepelné. Pájený spoj poskytuje propojení elektrické cesty mezi pouzdrem křemíkového čipu a obvodem na substrátu (první úroveň propojení), mezi jinými pouzdry, a mezi pouzdrem a měděnými cestami plošného spoje (druhá úroveň propojení). Zároveň také slouží jako mechanická podpora pro různé elementy, které jsou vzájemně propojeny. S rostoucím výkonem čipů, roste také potřeba odvádění tepla, které může negativně ovlivnit výkon celého systému. Pájený spoj, společně s dalšími nástroji, rovněž slouží k odvádění tepla. Úspěšná funkce elektrických výrobků závisí na spolehlivosti spojů, která je závislá na odolnosti vůči různým okolním vlivům každého jednotlivého spoje.

2.1 Bezolovnaté pájecí slitiny

V posledním desetiletí se průmysl zaměřil na široký okruh slitin, aby vytěsnil z výrobního procesu olovnaté pájecí slitiny. Výběr slitin byl založen na následujících požadavcích: toxicita, fyzikální vlastnosti (teplota tavení, povrchové napětí a smáčenlivost, tepelná a elektrická vodivost), mechanické vlastnosti, mikrostrukturní charakteristiky, elektrochemické vlastnosti (koroze, oxidace a tvorba strusky, a kompatibilita s bezesbýtkovými tavidly), vyrobiteľnosť, cena a dostupnosť.

Existuje celá řada pájecích slitin, které neobsahují olovo, a mnoho bezolovnatých pájek bude nadále používáno v průmyslu. V současné době směřují trendy v průmyslu k ternární eutektické pájce Sn-Ag-Cu (SAC - eutektická teplota kolem 217° C) pro pájení přetavením, a Sn-Ag-Cu nebo slitina Sn-0.7Cu (eutektická teplota kolem 227° C) pro pájení vlnou. Veškeré koncentrace slitiny jsou uvedeny od váhového procenta, není-li specifikováno jinak.

Bylo zjištěno, že slitina cínu a mědi má horší parametry než SAC v oblastech smáčitelnosti, tvorby strusky a spolehlivosti za typických zatěžovacích podmínek. Nicméně mnohem nižší cena této slitiny, v porovnání s SAC, z ní činí velice atraktivní náhradu slitiny pro pájení vlnou, zvláště pro cenově choulostivé produkty. Ačkoli většina výrobců dává přednost použití stejné pájecí slitiny pro všechny pájené spoje na celé desce (včetně pájení vlnou a přetavením), existují produkty v hromadné výrobě, kde je využita SAC pájka pro přetavení a Sn-Cu pájka pro pájení vlnou. Za těchto podmínek musí být metody pro inspekci, opravy a zrychlené zkoušky kompatibilní s oběma slitinami.

Předběžné studie dokázaly, že dopad použitého olova v pájeném spoji kolísá s jeho množstvím, kvůli tvorbě oddělených fází (např. hrubé olovnaté zrna), které přetrvávají v pájeném spoji do ztuhnutí interdendritických hranic cínových zrn, za těchto podmínek může vzniknout trhlinka, která se může rozšířit vlivem tepelného cyklování.

Možnost použití kompatibilních pájecích slitin obsahujících bismut (Bi) a omezení olovnatých komponent, kvůli nízké teplotě tavení (98 °C) Sn-Pb-Bi ternární eutektické fáze bývá velice často diskutovaným tématem. Nicméně přesná koncentrace bismutu potřebná ke skutečné degradaci spolehlivosti není dosud známá. Bismut je také často používán jako přísada do cínové pájky kvůli snížení rizika růstu cínových whiskerů. [2]

2.2 Pájecí slitina SAC

Ternární eutektická slitina SnAg3.8Cu0.7 poskytuje požadovanou úroveň spolehlivosti pájeného spoje s minimálním dopadem na teploty procesu přetavení. Formulace s cínem, stříbrem a mědí (obecně zvané slitiny SAC) jsou v průmyslu široce akceptovány. K dispozici je několik odlišných specifikací s drobnými technickými rozdíly. Přehled chemických a fyzikálních parametrů je uveden v tabulce 1. [5]

Tab 1. chemické složení a fyzikální parametry SAC pájky

Procento kovu	SnAg3.8Cu0.7
Sn	Zbytek (95.5)
Ag	3.6-4.0
Cu	0.6-0.8
Pb	< 0.10
Bi	< 0.10
Cd	< 20 ppm
Fyzikální vlastnosti	
Solidus [°C]	217
Likvidus [°C]	217
Hustota [gcm ⁻³]	7.1
Úhel smáčení na Cu	43
Úhel smáčení na Ag	24
Úhel smáčení na Cu ₆ Sn ₅	18
Povrchové napětí při 260 °C [mNm ⁻¹]	548

3 Spolehlivost a kvalita

Spolehlivost a kvalita pájených spojů jsou témata obvykle zahrnutá pod jednou hlavičkou, ačkoli obsahují různé problémy. Spolehlivost je schopnost pájeného spoje vyrovnat se s předpokládanou životností, nebo kritérii použití. Zajištění jakosti na druhé straně je pokračující úkol přidružený k monitorování materiálů a parametrů procesu zajistit, aby předtím stanovený proces a návrhové parametry byly stále dodržovány se specifikovanými tolerancemi.

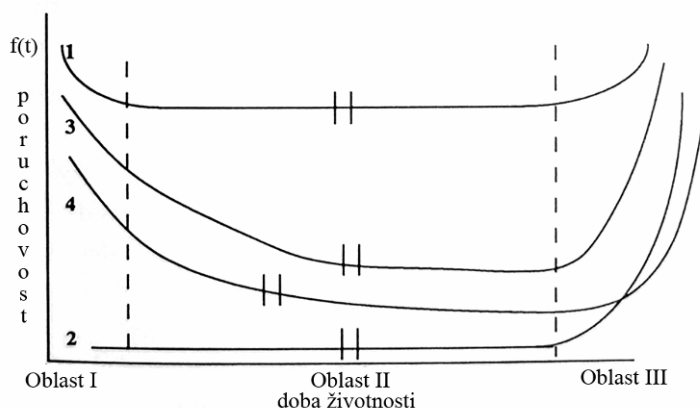
Slitiny cínu a olova byly použité v elektrických spojích bez mnoha závažných problémů od nástupu elektřiny. Každopádně se zavedením technologie povrchové montáže je pájka použita ne jen jako elektrický spoj, ale také jak prostředek poskytující mechanickou podporu. S rostoucím zájmem o vytlačení olova a freonů z životního prostředí se začínají olovnaté pájky ve výrobě nahrazovat pájkami bezolovnatými.

Pájený spoj je kritické hardwarové spojení v elektronickém obvodu; selhání spoje může přerušit funkčnost celého zařízení. Mnoho nákladných závad je zapříčiněno selháním pájeného spoje.

Spolehlivost je měřena třemi parametry: selhání nebo intenzita poruch, střední délka životních cyklů do selhání, a pravděpodobnost přežití. Definice a základní pojmy těchto parametrů jsou k nalezení v jakémkoli pravděpodobnostním textu. Nejvíce rozhodující otázka pro technickou kontrolu je určit kvantitativně tyto parametry ve významných okolicích.

Spolehlivostní funkce může být zobrazena vynešením intenzity poruch $f(t)$ na ose Y a operační doby životnosti t na ose X (viz obrázek 1). Tato křivka se také nazývá "vanová" křivka (bathtub curve), kvůli jejímu profilu.

Obecně může být křivka rozdělena do tří oblastí. Každá oblast reprezentuje selhání v elektronickém zařízení kvůli různým faktorům. Oblast I zobrazuje velmi časně selhání během začátku provozu zařízení.. Časně poruchy jsou někdy nazývané "dětské úmrtnosti" ("infant mortality") a reprezentují selhání kvůli nesprávnému zacházení, vadné montáži, nebo výrobním vadám. Například spoj s nepřiměřeným množstvím pájky může sice projít elektrickým testováním, ale selže brzy v praxi. Tato oblast zahrnuje brzké poruchy opotřebením, které jsou teoreticky zanedbatelné v dobře navržených a vyráběných zařízeních. Oblast I může být vyražena efektivním prověřováním [2]



Obr. 1. Závislost intenzity poruch na operační době

Křivky 1 - 4 ukazují různou pravděpodobnost rozložení poruch. Vanová křivka 1 ukazuje typickou vanovou křivku rozložení poruch, zatímco vanová křivka 2 reprezentuje ideální situaci ve které je četnost návrhových chyb nízká. Vanové křivky 3 a 4 zobrazují možné střídání z ideální situace.

3.1 Zdroje vad a poruch v pájeném spoji

Poruchy v pájeném spoji mohou být zapříčiněny ještě před vznikem samotného spoje. Například při bezolovnatém pokovování, kdy se používá pouze cín, by se mělo dbát na omezení výskytu whiskerů (viz obr. 2.). Tento typ pokovení se používá zejména pro pasivní čipové součástky. [4, 6]

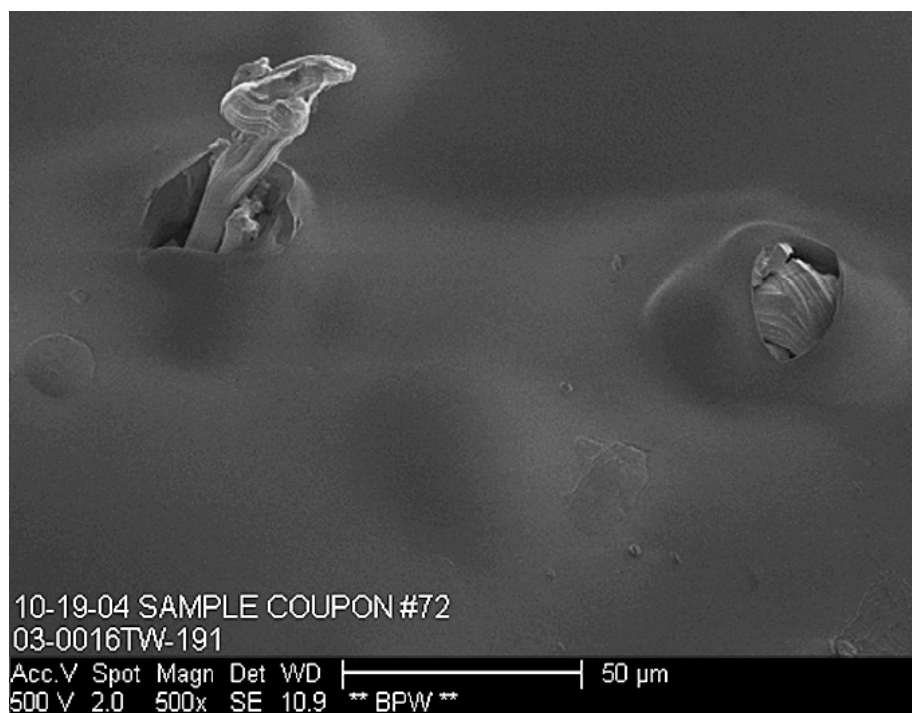


Obr.2. Výskyt whiskerů na pokoveném vývodu

3.2 Whisker

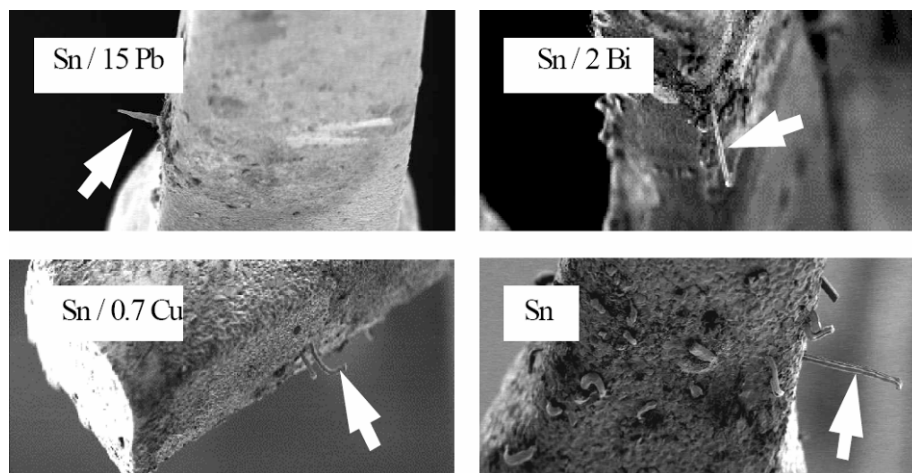
Jedná se o úzký, jehlovitý kovový výrůstek, který se obvykle vyskytuje na povrchu cínu naneseného proudem.

Nárůst whiskerů je přímo-úměrný času, takže degradace pájeného spoje, nebo oblasti postižené touto poruchou, je závislá na jeho stárnutí (viz obr. 3.).

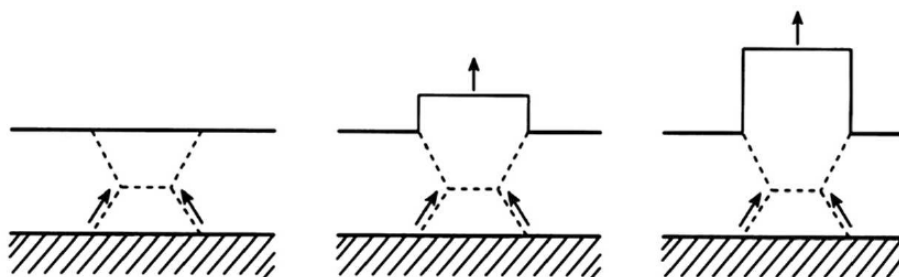


Obr. 3. Narušení a proražení ochranné vrstvy pájeného spoje whiskery

Tvar a velikost whiskerů závisí rovněž na použité pájecí slitině a také na materiálu na který byla slitina aplikována. Z obrázku 4. je patrné že největší četnost a velikost nárůstu nastane při aplikaci čistého cínu na měď.

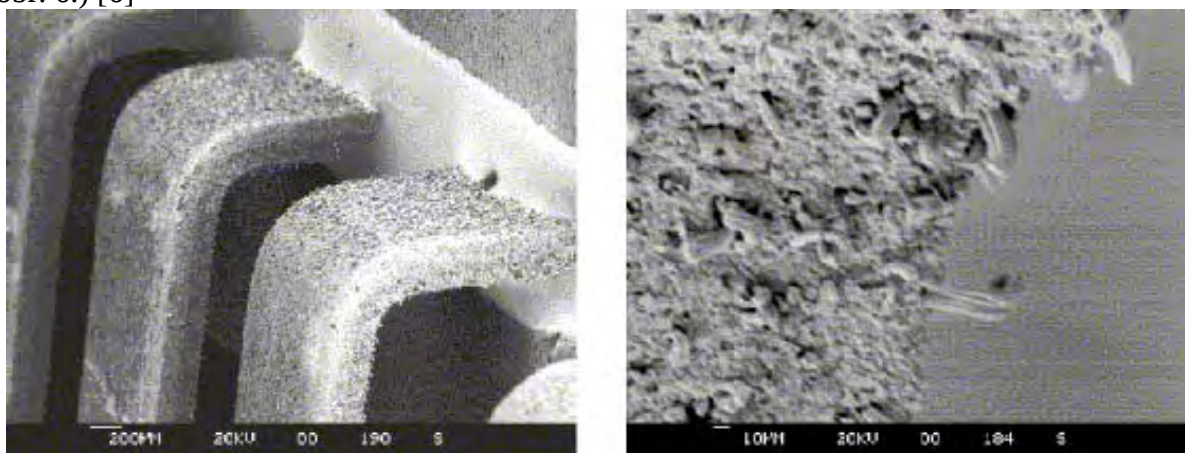


Obr. 4. Velikost a četnost whiskerů v závislosti na materiálu pájecí slitiny po 13ti týdnech stárnutí.



Obr. 5. Schematické znázornění mechanismu růstu whiskeru difúzí hranic zrn v polykrystalickém ložisku.

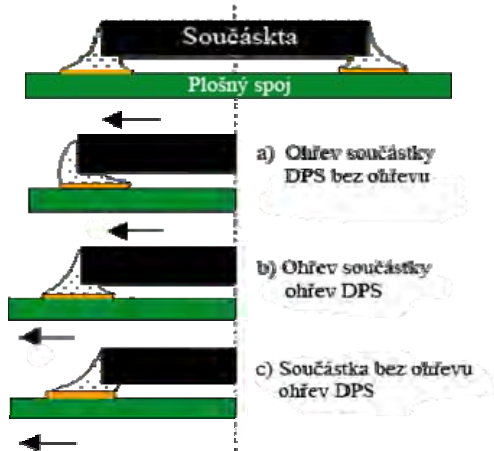
Mechanismus vzniku a růstu whiskeru (viz obr. 5.) je způsoben difúzí hranic zrn v polykrystalickém ložisku. Difúze může být způsobena teplem, stárnutím materiálu a nebo rozdílným součinitelem tepelné roztažnosti (TCE) dvou materiálů při tepelném cyklování (viz obr. 6.) [6]



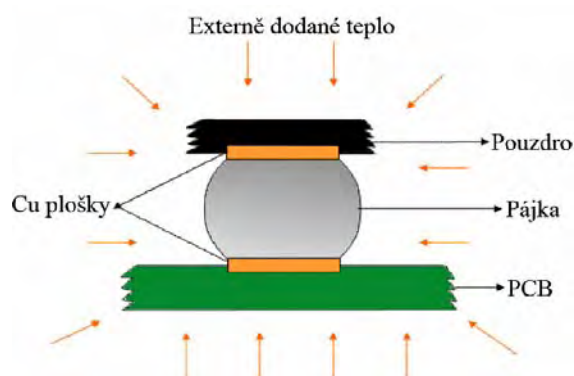
Obr. 6. 500 cyklů (-35°C až 125°C) 100% Sn

3.3 Termomechanické namáhání

V technice povrchové montáže (SMD) je velmi výrazně ovlivněna spolehlivost pájeného spoje jeho mechanickým namáháním, které vzniká při ohřevu v důsledku různé délkové roztažnosti základního substrátu plošného spoje a součástek (viz obr.8). Deska se zahřívá při montáži, při opravách, případně při provozu zařízení. U klasické montáže s vývodovými součástkami se mechanické namáhání výrazně neprojeví, protože vývody jsou dostatečně ohebné a proto změna rozměrů nevyvolá v pájeném spoji pnutí v takové míře jako u součástek SMD. V případě těchto součástek, zvláště v čipovém provedení je pružnost vývodu minimální. Vznikající síly jsou značné a mohou způsobit prasknutí spoje (viz obr.7), utržení pájecí plošky, případně poškození součástky. Míra poškození je dána součinitelem tepelné roztažnosti. [3]



Obr. 7. Síly působící na DPS a součástku



Obr. 8. Teplo působící na pájený spoj BGA součástky

3.3.1 Koeficient tepelné roztažnosti TCE:

Jedná se o materiálovou konstantu, jejíž velikost je číselně rovna prodloužení případně zkrácení desky materiálu délky 1m při ohřevu o 1K [1]. Hodnota se nejčastěji vyjadřuje v ppm K⁻¹ (ppm = 10⁻⁶). Pro homogenní materiály může být hodnota TCE ve všech směrech stejná. U vícevrstevných materiálů nemusí být hodnota TCE ve všech směrech stejná (anizotropní vlastnost). Typickým případem je skelný laminát FR4, který se nejčastěji používá pro konstrukci desek plošných spojů. [2]

$$\Delta\gamma = \frac{L}{2 \cdot h} \cdot \Delta\alpha \cdot \Delta\vartheta \cdot E_p \quad (1)$$

γ - mechanické namáhání [Mpa]

L - délka součástky [m]

h - vzdálenost mezi substrátem a součástkou [m]

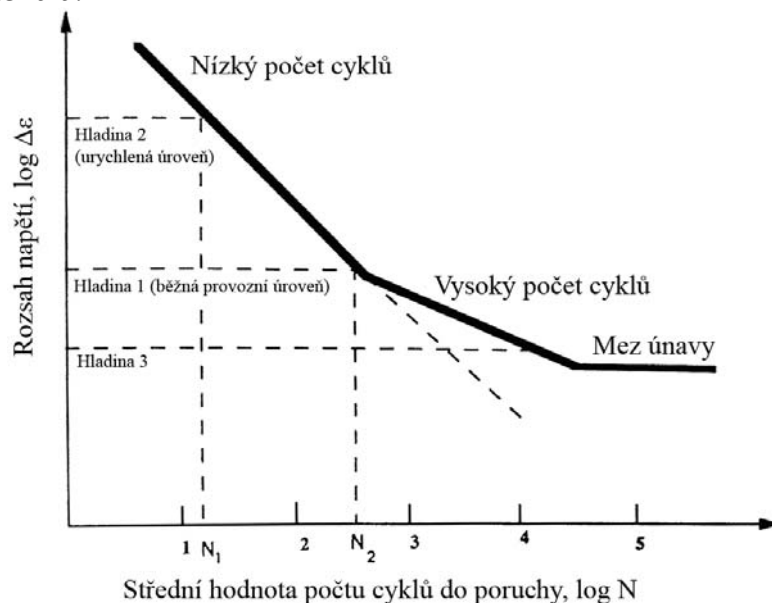
$\Delta\alpha$ - ($\alpha_s - \alpha_c$) rozdíl TCE základního substrátu a součástky [°C⁻¹]

$\Delta\vartheta$ - ($\vartheta_s - \vartheta_c$) rozdíl teplot základního substrátu a součástky [°C]

E_p - modul pružnosti pájky [N/mm² = MPa]

3.4 Zrychlené zkoušky

Testování pájených spojů na jejich poruchy opotřebením v normálních provozních podmínkách je drahé, časově náročné a často neproveditelné. Mechanismy selhání se testují a spolehlivost se měří zrychlenými zkouškami nebo zrychlenými zkouškami mechanického napětí. Cílem zrychlené zkoušky je urychlit časově závislé mechanismy poruch opotřebením a hromadění poruch ve zkráceném čase do selhání. Toto je dosaženo použitým množstvím nebo pnutím materiálu, které je vyšší než běžná mez. Vzájemný vztah mezního napětí závislého na čase potřebnému pro testování je znázorněn na obrázku 9, který ukazuje typickou mez únavy libovolného materiálu.



Obr. 9 Znázornění závislosti zrychleného testu na mez únavy

Když rozsah napětí je v běžných mezích (úroveň 1), předpokládaná životnost je N_1 . Pro testování účely, jestli rozsah napětí bylo zvýšeno do úrovně 2, zkušební životnost by byla N_2 . Aktuální životnost může být vypočítána jako vztah [2]

$$N_1 = N_2 \times \text{Hladina 2} / \text{Hladina 1} \quad (2)$$

Toto dovoluje výstupní kontrole redukovat dobu testování, ale musí být věnována péče k zajištění, aby žádný jiný mechanismus poruch nebyl aktivován kvůli úrovním zrychlených zkoušek mechanického napětí.

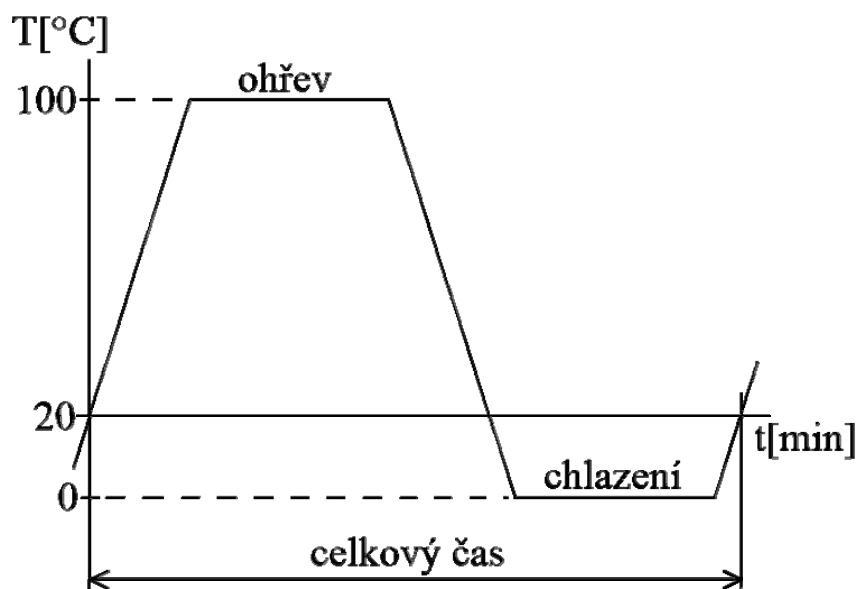
Tepelné cyklování je vykonáváno zařízením působícím střídavě horkými a chladnými teplotními extrémy. Kritické zkušební parametry které řídí poškození způsobené v pájeném spoji jsou: rozsah teplot, změny poměru pájecích teplot, množství teplotních cyklů, a klidová doba v teplotních extrémech. Test může být použitý v zrychlené úrovni zvyšováním rozsahu teplot, tudíž zvýšení rázů v pájce. Zvýšení teploty přes 20°C/min. způsobí tepelnou rázovou zkouškou, která nedovolí časově závislou deformaci. Kritické teplotní gradienty můžou zkřivit desku plošných spojů; toto zkroucení představuje víceosá zátěž na pájeném spoji. Tepelný ráz se proto nedoporučuje jako zrychlený test na pájené spoje. Pájka projde konstantním teplotním namáháním v mnoha aplikacích, ale klidová doba ve zrychlených

zkouškách může být redukována. Výsledkem je omezené povolení napětí, a proto menší únavové poškození během testu; toto poškození může být vypočteno ke zjištění akceleračního faktoru pájeného spoje.

Cyklické teplotní změny v mikroelektronických zařízeních mohou způsobit vznik trhliny v pájených spojkách. Růst trhliny vyplývá z odlišné teplotní roztažnosti mezi pájkou, drátem a substrátem. Pravděpodobnost takového selhání je zhodnocená podrobením součástek k zrychlené tepelné únavové zkoušce, ve které je teplota rychle cyklicky měněna z nejnižší teploty do nejvyšší teploty, obě tyto extrémní teploty jsou odvozeny od maximální a minimální provozní teploty součásti. Na základě výsledků této zkoušky se pak vyhodnotí životnost součásti. [2]

3.5 Teplotní cykly

Jelikož každý materiál má rozdílnou teplotní délkovou roztažnost, je potom pájený spoj více různých materiálů vystaven pnutí, při chladnutí a tuhnutí pájky, závislém na použitých materiálech. Toto pnutí namáhá pájený spoj i připájené součástky. Dalším faktorem, co má vliv na životnost spoje, jsou teplotní cykly. Pokud je pájený spoj v místnosti, kde je teplota téměř konstantní, vliv teplotních cyklů se neprojeví. Jiná situace nastává když bude spoj používán v prostředí s cyklicky měnící se teplotou. Z toho důvodu je nutné nasimulovat tyto podmínky v laboratorním prostředí a zjistit, zda daný prvek vydrží dostatečně dlouho v těchto podmínkách. Měření životnosti pájeného spoje se provádí na 10000 teplotních cyklů (viz obr. 10). Každý cyklus trvá přibližně 30min a tak je zapotřebí dosáhnout rychlé změny teploty aby se spoj dokonale prohřál, nebo ochladil



Obr. 10 Cykly profil teplotního namáhání

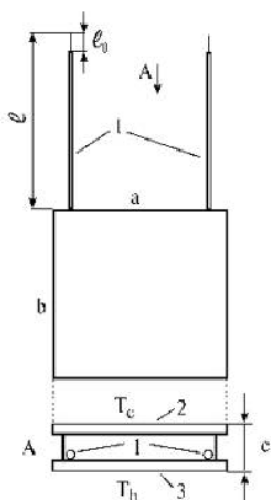
3.6 Peltierův jev

Přibližně od padesátých let je známo komerční využití Peltierova jevu. Přestože Peltierovy moduly našly od samého počátku využití ve vojenské a kosmické technice pro generování elektrického proudu, chlazení a přesnou regulaci teploty, významnější rozšíření do civilních oborů startuje teprve v posledních letech.

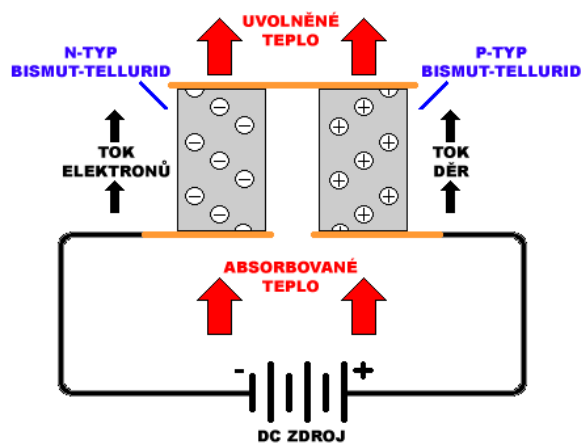
3.6.1 Princip Peltierova článku

Peltierovy články jsou zařízení, která pracují na principu tepelné pumpy (viz obr.12). Běžný článek má rozměry řádově v mm-cm na čtvercovou plochu (a,b viz obr.1) a v mm na tloušťku (c viz obr.11). Skládá se ze dvou keramických desek, mezi nimiž se nachází pole malých krychlí v párech, jak je patrné z obr. 13 (složení: Bismut-Tellurid). Když připojíme tento článek na stejnoměrný proud, začne se teplo ze „studené strany“ shromažďovat na „horké straně“, toto teplo musí být vyzářeno chladičem.

„Studená strana“ se využívá k chlazení elektronických zařízení, jako jsou například mikroprocesory a jiné aktivní prvky. Jestliže článek je přepólován, změní se i polarita tepelného toku a ze „studené strany“ se stane „horká strana“ a naopak.



Obr. 11 Rozměry Peltierova článku



Obr. 12 Princip Peltierova článku



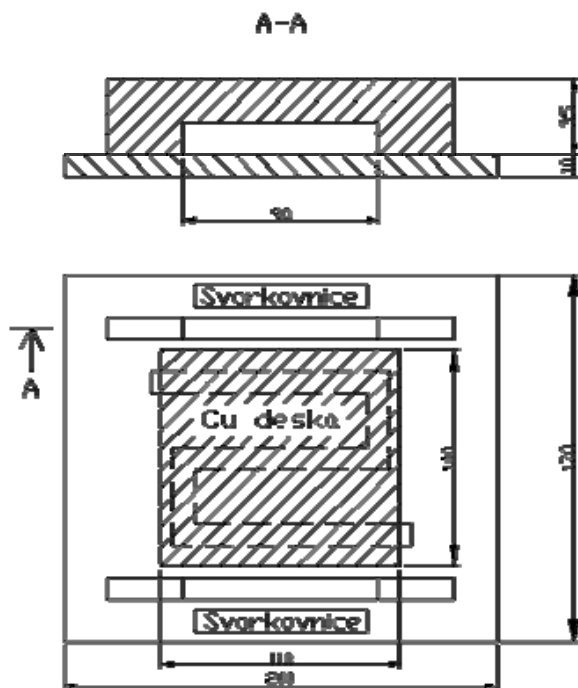
Obr. 13 Uspořádání polovodičových párů uvnitř Peltierova článku

4 Pracoviště

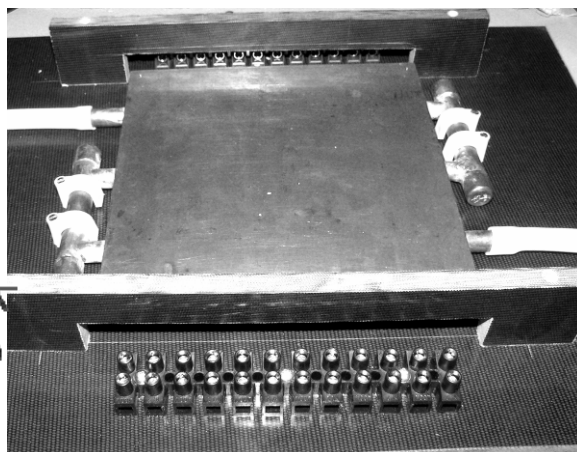
Strukturu pracoviště lze rozdělit do několika částí. Jelikož pracoviště za dobu své existence a vývoje prošlo několika změnami, hlavně co se způsobu regulace a ovládání týče. Jediná část, která zůstala nezměněna je deska s úložištěm pro tepelný výměník.

Tato část má celkem jednoduchou skladbu, jedná se o konstrukci z tvrzeného laminátu, která slouží k uložení měděné desky, jejíž spodní strana je opatřena chladícím systémem (viz obr. 14). Tento systém je tvořen měděnou trubičkou ve tvaru písmene „S“ a slouží k chlazení spodní horké části peltierových článků ve fázi ohřevu plošného spoje. Na této desce jsou pravidelně rozmísěny peltierovy články, na kterých je položena další měděná deska, která plní funkci tepelného výměníku. Na horní část této desky se umísťují testované plošné spoje. Fotografii výměníku můžeme vidět na obrázku 15.

Důvodem použitého uspořádání je zajistit co největší efektivitu tepelného působení, co nejjednodušší konstrukci, která lze snadno vyrobit v laboratorních podmínkách a zároveň umožňuje co nejsnadnější přístup k testovaným součástkám.



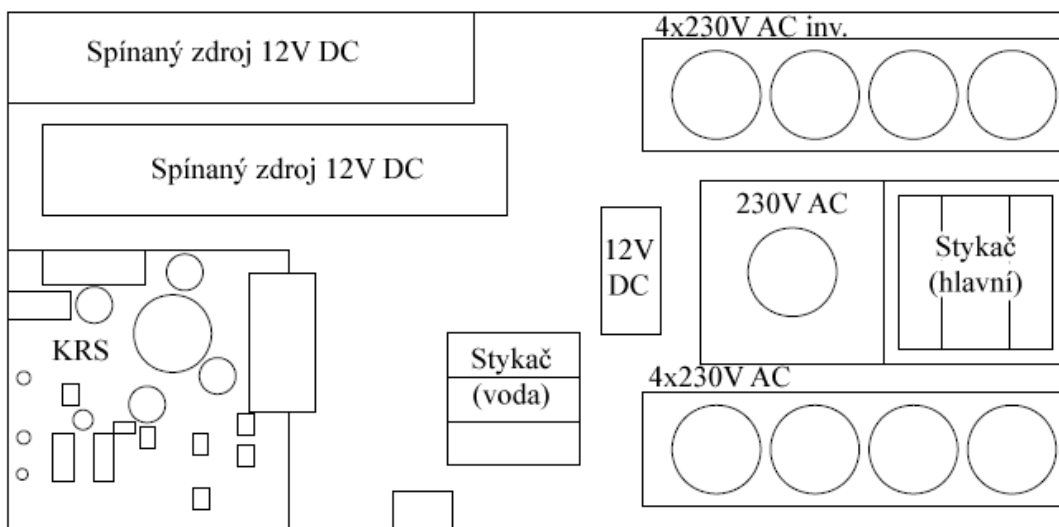
Obr 14. Náčrtek uchycení Cu desek



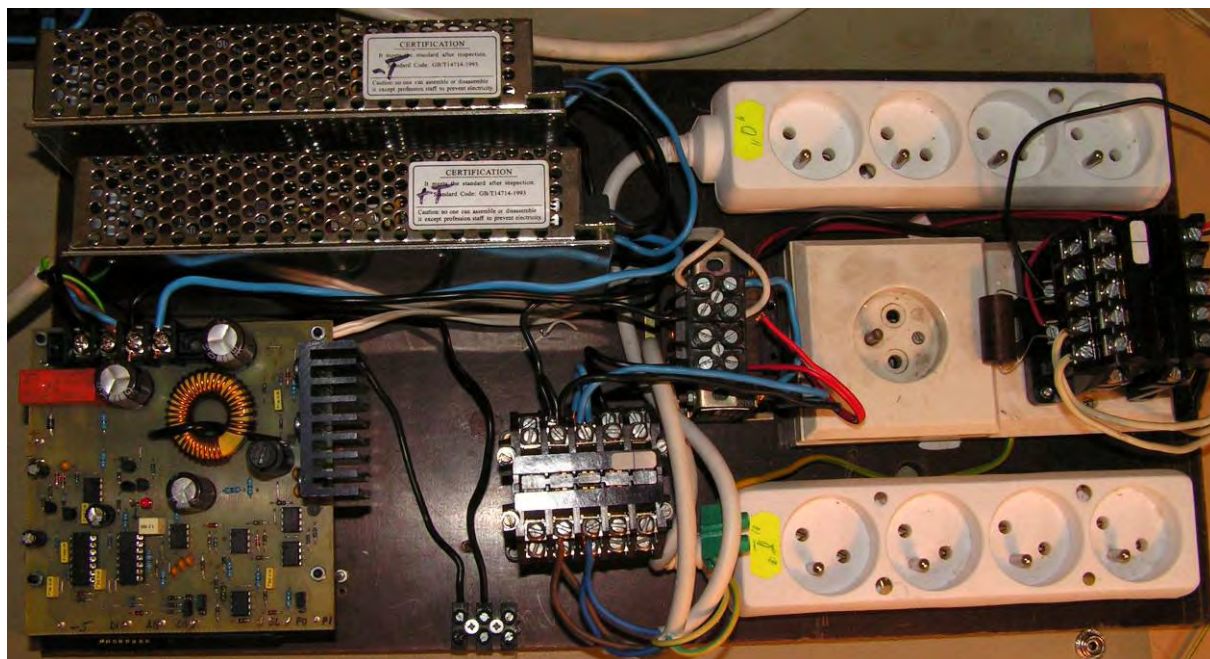
Obr 15. Fotografie výměníku pracoviště

Výkonnými prvky této části pracoviště jsou peltierovy články, které v závislosti na polaritě přivedeného napájecího napětí působí buď jako topná nebo chladící tělesa. Princip peltierova jevu je popsán v kapitole 3.6 Peltierův jev.

Peltiérový články z výměníku pracoviště jsou napojeny na koncový regulační stupeň (KRS) na desce s ovládacími prvky a elektroinstalací (viz obr. 16, 17). Blok KRS je napájen ze spínaného 12V zdroje, který je napojen na hlavní stykač, na tento stykač je dále napojena zásuvka 230V AC vedle stykače a 12V zdroj pro napájení řízení stykačů. Na spínací kontakty stykače ovládajícího přívod vody do chladicí části výměníku je připojena zásuvka 4x230V AC, a na rozpínací je připojena druhá zásuvka 4x230V AC invertovaná. Toto zapojení je vhodné pro případné modifikace přidáním dalších topících nebo chladících prvků do oblasti výměníku aby bylo dosaženo vyšších případně nižších teplot na pracovišti.



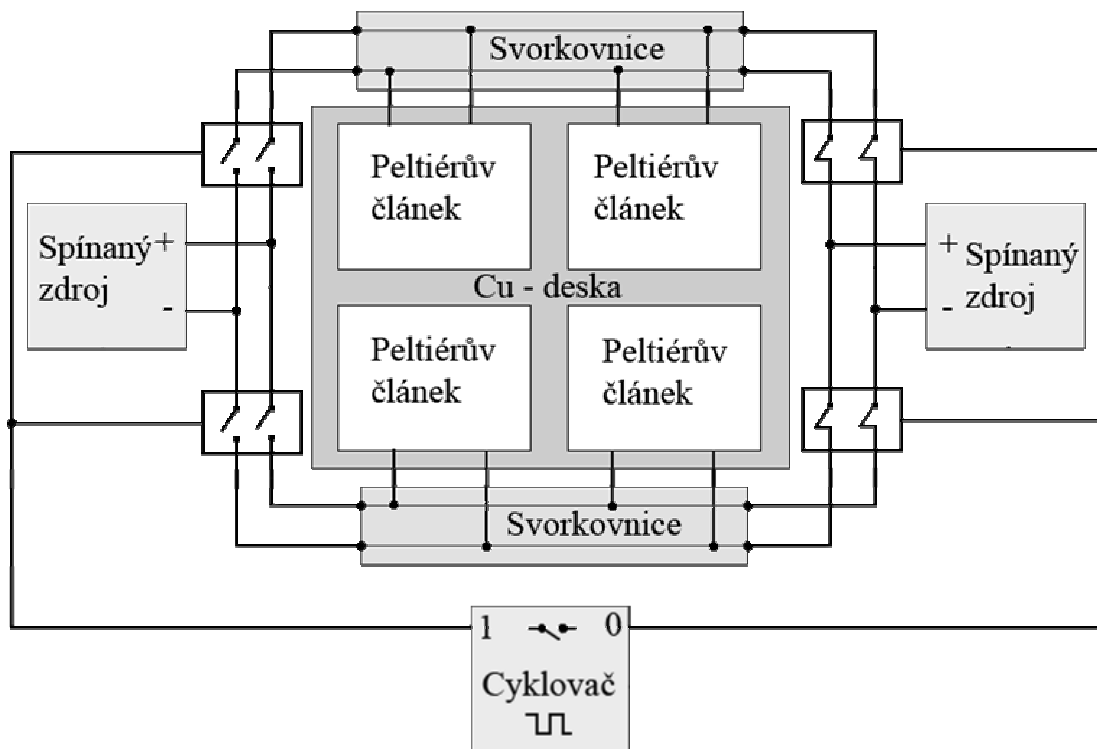
Obr. 16 Rozložení prvků na řídicí desce



Obr. 17 Fotografie řídicí desky

4.1 Popis pracoviště verze 1:

Schéma na obrázku 18. znázorňuje princip ohřevu a chlazení pracoviště ver. 1 pro namáhání pájeného spoje. Cyklovač spíná dle cyklu buď jeden nebo druhý spínaný zdroj a tím je zajištěno přepólování peltiérových článků, které dle dané polarity přivedeného napětí Cu desku chladí nebo ohřívají. Pokud dojde k nehodě a cyklovač se zasekne na jednom stavu, je vhodné pracoviště doplnit bimetalovými tepelnými pojistkami, které při přesáhnutí teploty pracoviště odpojí hlavní zdroj.



Obr 18. Blokové schéma principu ohřevu / chlazení pracoviště verze 1.

Na měděné desce jsou položeny testovací DPS. Aby nedocházelo k úniku tepla je vhodné mezi tyto DPS a Cu desku aplikovat teplovodivou pastu.

Druhá měděná deska se nachází zespod peltiérových článků a slouží k odvodu tepla z „horké“ strany článku v chladícím cyklu, kdy horní strana zajišťuje ochlazování DPS, zatímco spodní strana článku vytváří parazitní teplo, které je třeba odvést. Za tímto účelem je tato spodní deska vybavena měděnou trubičkou, kterou prochází chladící médium, v našem případě je to protékající voda. (viz obr. 14,15)

Porušení pájeného spoje se indikuje pomocí LED diod, a to tak ze na každý konec spoje je přiveden kontakt logického obvodu, který vyhodnocuje zda nedošlo k přerušení. Dojde-li k rozpojení těchto kontaktů, logický obvod vyhodnotí tento stav jako poruchu a LED dioda se rozsvítí.

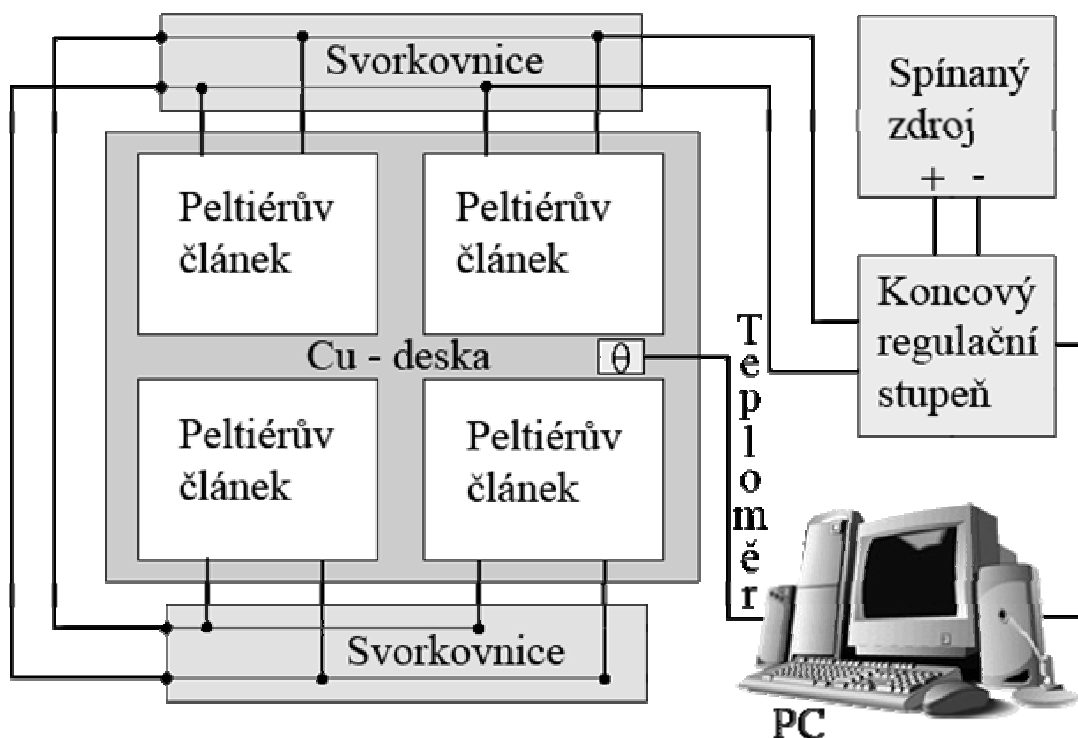
Cyklovač je realizován jako kombinace relé a logického obvodu. Logický obvod ovládá relé, které přepíná jednotlivé zdroje. Dále je vybaven vstupním zařízením pro nastavení cyklů a segmentovým displejem jako výstupním zařízením.

Tato varianta umožňovala velmi rychlou změnu teploty z ohřevu na chlazení a zároveň její jednoduchá konstrukce zajišťovala velice snadné zapojení. Nevýhoda tohoto pojetí regulace spočívala ve skokové změně polarit napájecího napětí peltiérových článků. Což způsobovalo jejich nízkou životnost. Vzhledem k tomuto faktu bylo zapotřebí vložit do soustavy další blok, který měl sloužit jako regulátor přechodu mezi ohřevem a chlazením. Pro regulační funkci byl použit ve verzi 2 blok Koncového regulačního stupně (KRS) od firmy Con Brio s.r.o.

4.2 Popis pracoviště verze 2:

Použití KRS, ovládaného přes LPT port pomocí programu v PC, rozšiřuje sféru působnosti a flexibilitu celého pracoviště. Teplotní profil lze snadno upravit modifikací vstupních parametrů programu použitého na ovládání KRS, případně vytvořením programu vlastního. Jako zpětná vazba pro regulaci teploty slouží teploměr TM (realizován firmou Papouch s.r.o.), umístěný přímo na tepelném výměníku, komunikace s pc je zajištěna přes sériový port COM1.

V obr. 19 je vidět, že cyklovač z ver. 1 byl nahrazen počítačem v kombinaci s KRS. Za pomoci KRS, co by členu pro změnu polarit na peltiérových člancích, již nejsou zapotřebí 2 spínané 12V zdroje, ale vystačíme si s jedním, a druhý může být využit na ovládání elektroventilů a hlavního stykače za pomoci výstupních portů na PC.

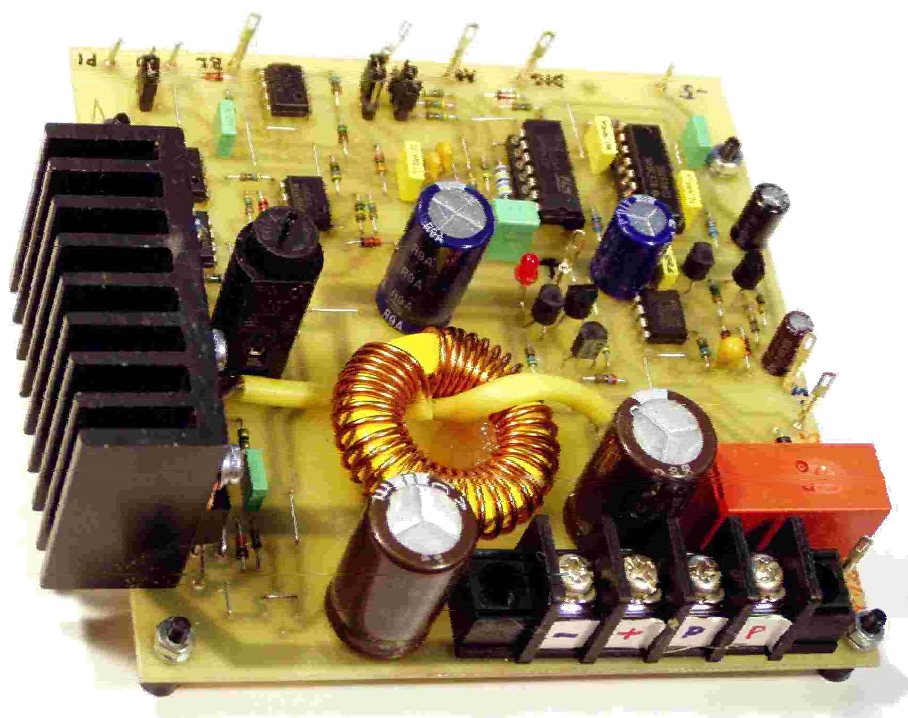


Obr. 19 blokové schéma pracoviště verze 2

4.2.1 Koncový regulační stupeň (KRS) (řízený zdroj)

KRS (obr. 20) byl vyvinut firmou CON BRIO a slouží k napájení peltiérových článků. Jedná se o analogově nebo digitálně řízený zdroj spojitého napětí v mezích od -30 do +30V a výstupním proudem od -12 A do +12 A. Maximální výstupní napětí je rovno napětí napájecího zdroje sníženého o 1V. Tato deska slouží k plynulé regulaci teploty pomocí pelt. článků v rozsazích od kladných teplot k záporným. (Přepólováním napájení na pelt. článku dochází k ohřevu, místo chlazení.) Desku je možno použít v kombinaci s regulátorem, převodníkovou kartou nebo řídicím počítačem k přesné regulaci teploty pomocí Pelt. článků, a to v rozsazích, které umožňují dané moduly (+300°C až -60°C). KRS může být napájen libovolným zdrojem nestabilizovaného stejnosměrného napětí od 12V do 30V s patřičnou výkonovou dimenzí pro spotřebu dané aplikace. Řízení výstupního napětí se děje buď analogovým signálem z DA převodníku nebo z potenciometru v rozsazích -5 V až + 5 V nebo 0 V až 10 V (Dolní hranice znamená maximální chlazení, horní hranice znamená maximální topení.)

Digitální řízení slouží pro přímé řízení počítačem bez nutnosti použití DA převodníku. Výstupní napětí je řízeno jediným signálním vodičem. Velikost výstupního napětí z KRS je úměrná délce naposledy přijatého řídicího signálu. Toto napětí trvá do doby, než je na KRS odeslán signál jiné délky. Maximální délky signálů jsou ve výrobě nastavitelné a pohybují se v řádech od desetin sekundy až po deset sekund.



Obr. 20 koncový regulační stupeň KRS

4.2.1.1 Technické parametry KRS:

Napájecí napětí:	12 V= až 30 V= (i nestabilizované)
Výstupní napětí:	+/- napájecí napětí (výstupní napětí je plovoucí)
Výstupní proud:	max. +/- 12 A
Řídící signál:	-5V až +5V nebo 0 až 10V
Rozměry:	135 x 120 x 50 mm
Montážní otvory:	90 x 107

Pro ovládání KRS jsem zvolil digitální řízení pomocí paralelního výstupu počítače. Způsob digitálního řízení: Velikost výstupního napětí je dána délkou pulsu, který se přivede na digitální vstup. Minimální délka pulsu je 50ms. maximální délka pulsu je cca 10 s. Pulsy musí být odděleny povinnou prodlevou v trvání 10ms až 1h. Dokud nepřijde na KRS puls jiné délky, výstupní napětí zůstává zachováno (tedy i po dobu jedné hodiny (nezaručeně i více)). Tento způsob řízení je vhodný především pro pomalé, např. tepelné procesy, a pro zapojení více KRS na digitální výstupy při nedostatku D/A řídicích signálů. Minimální délka pulsu způsobí maximální záporné napětí. Při pulsu delším, než udaná maximální délka, bude výstupní napětí maximální kladné. Aby se výstupní napětí změnilo, musí po pulsu přijít prodleva. Časové hodiny pulsů se mohou u jednotlivých desek mírně lišit. Pro regulaci to však není podstatné. Při digitálním řízení je po zapnutí na výstupu nedefinovaná hodnota do prvního řídicího pulsu. Je dobré výstup zablokovat pomocí blokovacího signálu (viz níže) do příchodu prvního regulačního pulsu. [7]

4.2.1.2 Zapojení svorek a propojek u KRS:

Umístíme-li desku se součástkami nahoru, a chladičem napravo, jsou ve spodní části tři propojky s následujícím významem:

První propojka zleva:	řídící signál +/- 5V řídící signál 0 až 10V	propojka nahoře propojka dole
Druhá propojka zleva:	digitální řízení analogové řízení	propojka nahoře propojka dole
Třetí propojka zleva	KRS je řídicí KRS je řízený	propojka nahoře propojka dole

- Význam třetí propojky:

Pokud chceme řídit větší výkony (např. více peltiérových článků) jedním signálem, je možno použít více KRS řízených jedním signálem. Potom je možno přivést jednotný řídicí signál na vstup každé desky. Protože se jedná o spínaný zdroj, pracující na frekvenci cca 46kHz, mohlo by dojít při použití více oscilátorů k interferenčním záněmům. Z toho důvodu je dobré odpojit oscilátory řízených KRS a nahradit je jedním oscilátorem z řídicího KRS. Poslední propojka určuje, jestli bude KRS řídicí nebo řízený. V této souvislosti je zapotřebí také zapojit příslušné svorky, dle popisu svorek.

- Popis svorek:

Na levé straně desky se nacházejí dvě svorky. Na první svorce shora je vyvedeno +12V / max. 100mA pro pomocné obvody. Na druhé svorce je vyvedeno +5V / max. 30mA se stabilitou lepší než 1mV (může sloužit přes relé jako digitální výstup, není-li k dispozici digitálních 5V)

Na spodní straně je umístěno sedm svorek. Na první svorce zleva je vyvedeno -5V / max. 20mA se stabilitou lepší než 1mV. Druhá svorka zleva je digitální vstup. Třetí svorka zleva je analogový vstup. Čtvrtá svorka je zemnicí. Je nutno ji spojit se zemí řídicího signálu. Pátá svorka slouží pro připojení vstupního blokovacího signálu. Přivedením signálu -2 až -5V na tuto svorku dojde k zablokování výstupu. (výstupní odpor cca 50k Ω) (nastavená úroveň výstupního napětí zůstává zachována a obnoví se po odpojení blokovacího signálu) Šestá svorka je výstup oscilátoru řídicího KRS pro řízení KRS. Sedmá svorka je vstup oscilátoru z řídicího KRS.

Máme-li např. tři KRS řízené jedním analogovým nebo digitálním signálem, přivedeme řídicí signál na všechny KRS, avšak jeden KRS určíme jako řídicí pomocí třetí propojky zleva a ostatní dva jako řízené. Řídicí KRS bude propojen šestou svorkou zleva se dvěma sedmými svorkami řízených KRS. Stále platí, že zátěže u všech KRS musí být plovoucí.

Při zapojování KRS je nezbytné nechat odpojený napájecí zdroj.

4.2.2 Teploměr:

Pro regulaci teplotního profilu je nezbytné zavést zpětnovazební člen. V případě teplotního cyklování na pracovišti se jedná o teploměr, napojený na program v PC který plní řídicí a regulační funkce. Při výběru vhodného teploměru jsem se řídil následujícími kritérii:

1. otevřený a jednoduchý komunikační protokol
2. snadné propojení s PC, v ideálním případě port COM
3. dostatečně rychlá odezva na měřenou veličinu
4. teplotní rozsah cca -10 až 120°C
5. interval mezi naměřenými hodnotami cca 1s
6. přijatelná cena

Těmto parametrům nejvíce vyhovuje čidlo TM na port RS232 (viz obr. 21) od firmy Papouch s.r.o. Bylo zapotřebí změnit akorát interval mezi naměřenými hodnotami z 10s na 1s, což zařídila na zakázku firma Papouch s.r.o.



Obr. 21 teplotní čidlo TM

4.2.2.1 Popis TM

Digitální teplotní čidlo TM umožňuje snadným způsobem měřit teplotu a přenášet ji do počítače typu PC. K přenosu dat je použit jednoduchý ASCII protokol, teplota je udávána přímo ve stupních Celsia (°C). Čidlo je k počítači připojeno běžným sériovým portem RS232. Přesnost čidla je $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ při teplotách -10 až +85°C, rozsah měřených teplot je -55 až +125°C.

4.2.2.2 Vlastnosti TM

- Měří teplotu od -55 do +125°C, rozlišení 0,1°C
- Přímý výstup ve °C, komunikace ASCII bez přepočtu
- Připojuje se do sériového portu PC
- Nepotřebuje napájení
- Snadné použití ve vlastních programech (přiloženy DLL knihovny, zdrojové texty, podrobný popis komunikace)

Poslední bod byl stěžejní při výběru teploměru. Bylo totiž nezbytné zajistit snadnou implementaci do regulačního programu, s ohledem na budoucí modifikace a škálovatelnost pracoviště.

4.2.2.3 Popis funkce TM

Teplotní čidlo TM je napájeno ze sériového portu, do kterého je připojeno. Jakmile je na portu nastaven signál DTR, čidlo změří teplotu a pošle ji do PC v ASCII formátu, jako textový řetězec. Pokud je signál DTR stále aktivní, čidlo TM měří a odesílá teplotu vždy po 1s. Každý odměr je signalizován oranžovou kontrolkou na konektoru čidla. Měřicí konec je v jednoduchém provedení, upevněn na kontrolním bodě na výměníku.

4.2.2.4 Zapojení konektoru

Čidlo TM má pouze jeden konektor CANNON 9, kterým se připojuje přímo do sériového portu počítače. Pokud je na zvoleném sériovém portu konektor CANNON 25, je třeba použít běžnou redukci 9-25. Použité signály udává tabulka tab.2 [8]

Tab. 2 zapojení použitých signálů

Pin	Signál v PC	Funkce
2	RXD	Přijímána data z čidla - naměřená teplota
4	DTR	Napájení a ovládání čidla
5	GND	Signálová zem

4.2.2.5 Komunikační protokol

<znaménko><3 znaky - celé °C><desetinná tečka><1 znak - desetiny °C><C><Enter>

Např.: +025.3C

4.2.2.6 Nastavení komunikace pro PC

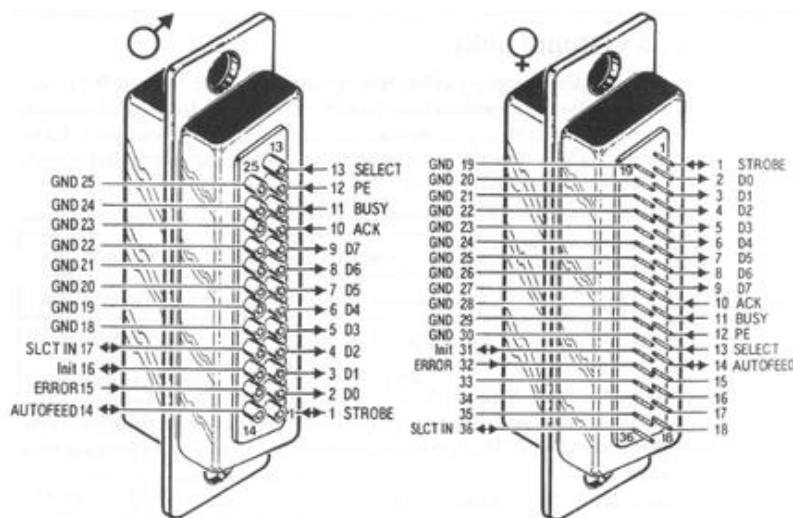
Data bitů	8
Rychlost	9600
Parita	žádná
Stop bit	1

4.2.3 Ovládací obvody na portu LPT

Pracoviště využívá portu COM pro čtení dat z teploměru TM, tudíž bylo zapotřebí dalšího portu pro ovládání KRS případně dalších obvodů nezbytných pro správný chod pracoviště (např. ovládání ventilu v chladícím cyklu)

K tomuto účelu se ideálně hodí port LPT. Nabízí dostatečné množství pinů, i pro případné budoucí rozšíření.

Jako ovládací pin pro KRS byl vybrán D0 (viz obr. 22, tab. 3).



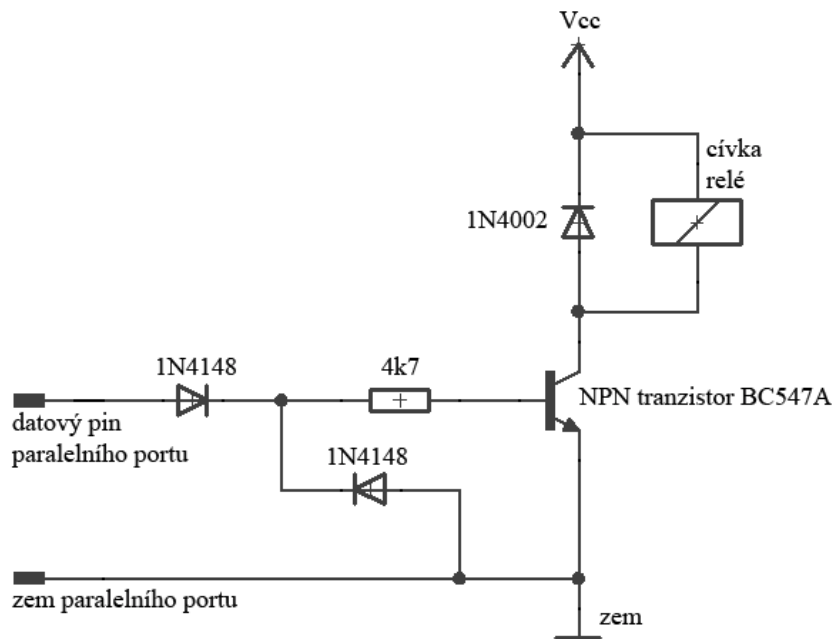
Obr. 22 zapojení jednotlivých pinů na portu LPT

Tab. 3 funkce jednotlivých pinů na portu LPT

Pin číslo (D-Sub)	Pin číslo (Centronics)	Signál	Směr In/out	Registr	Hardverově invertovaný
1	1	nStrobe	In/Out	Control	ano
2	2	Data 0	Out	Data	
3	3	Data 1	Out	Data	
4	4	Data 2	Out	Data	
5	5	Data 3	Out	Data	
6	6	Data 4	Out	Data	
7	7	Data 5	Out	Data	
8	8	Data 6	Out	Data	
9	9	Data 7	Out	Data	
10	10	nAck	In	Status	
11	11	Busy	In	Status	ano
12	12	Paper-Out / Paper-End	In	Status	
13	13	Select	In	Status	
14	14	nAuto-Linefeed	In/Out	Control	ano
15	32	nError / nFault	In	Status	
16	31	nInitialize	In/Out	Control	
17	36	nSelect-Printer / nSelect-In	In/Out	Control	ano
18 - 25	19-30	Ground	Gnd		

4.2.3.1 Spínací obvody na portu LPT

Pro spínání relé bylo nezbytné patřičné piny LPT portu opatřit spínacími obvody viz schéma na obr. 23. Tuto funkci plní piny D0, D6 a D7 (zvýrazněná pole v tab.3). Pin D7 slouží k ovládání elektroventilu pro přívod vody v chladicím cyklu k chlazení horké strany peltierových modulů. Pin D6 slouží pro řízení hlavního stykače na pracovišti pomocí programu, případně může být využit jako ovládání blokovacího signálu na KRS (viz kap. 4.2.1). Pin D0 slouží k přivádění řídicího signálu +5V na digitální vstup bloku KRS.



Obr. 23 spínací obvod

Spínací obvod, znázorněn na schématu na obr. 21 může spínat napětí 5 až 24V a proudy do 100mA. Diody ve obvodu zajišťují ochranu paralelního portu počítače, před špičkami z cívky relé.

4.2.4 Řídící program

Jelikož řídicí blok (cyklovač) z pracoviště ver. 1 byl nahrazen počítačem, bylo zapotřebí vyvinout pro účely tepelného cyklování ovládací program. Mezi základní požadavky na program patří schopnost komunikovat přes porty počítače s ostatními bloky pracoviště (KRS, teploměr), modifikovatelnost teplotního profilu, teplotní regulace a cyklování, ochranné funkce chránící pracoviště před poškozením. Zároveň bylo dbáno na snadné ovládání a jednoduchost celého systému.

4.2.4.1 Grafické uživatelské rozhraní programu



Obr. 24 Tělo programu

Grafické uživatelské rozhraní (viz obr. 24) se skládá ze 3 hlavních částí.

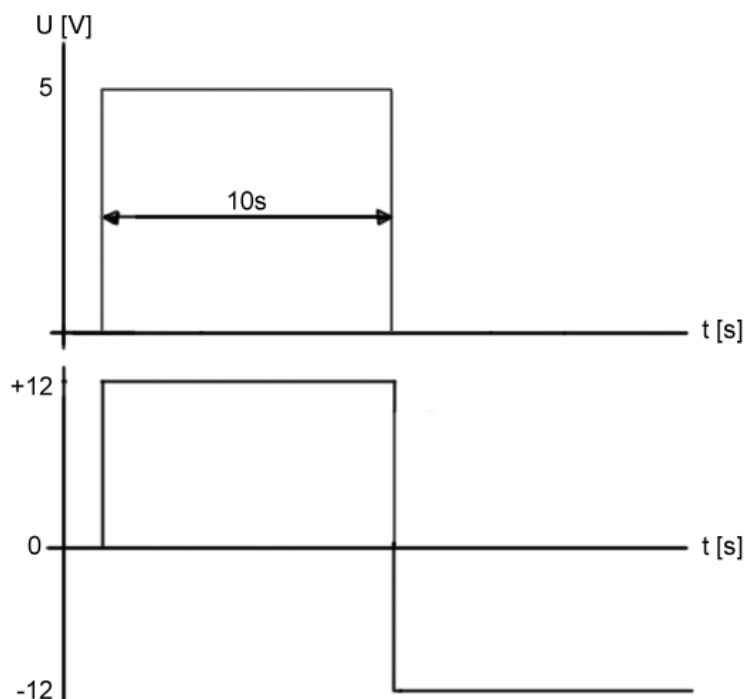
1. **Menu** – zde jsou položky **File** a **Settings**. Kolonka **File** obsahuje příkazy Run, Pause a Exit. Příkaz Run spustí teplotní cyklování, stejně jako spouštěcí tlačítko v řídicí části grafického rozhraní programu. Příkaz Pause pozastaví teplotní cyklování a ukončí smyčku pro načítání teploty z portu COM, stejně jako tlačítko pro ukončení teplotního cyklování v grafickém rozhraní programu. Příkaz exit ukončí načítání teploty a ukončí program. V kolonce **Settings** je samotné nastavení komunikačního protokolu pro načítání hodnot z teplotního čidla na sériovém portu. Výchozí hodnoty jsou uzpůsobeny parametrům čidla TM, je možné použít jakékoli čidlo, které používá ke komunikaci s PC ASCII protokol stejně jako TM, nebo případně umístit čidlo na jiný port.
2. **Deklarační část** – zde se nastavují hodnoty teplotního profilu a počet cyklů. Hodnota Cycles udává počet teplotních cyklů (viz kap. 3.5 Teplotní cykly). **Temperature of heating** je hodnota nejvyššího bodu teplotního profilu ve [°C]. Hodnota **Temperature of cooling** je hodnota nejnižšího bodu teplotního profilu. Hodnota **Length of hot cycle** udává dobu trvání ohřevu v teplotním profilu v [min]. Hodnota **Length of cold cycle** udává dobu chlazení v teplotním profilu.
3. **Řídicí a informační část** – v oblasti 1. se zobrazuje aktuální teplota na pracovišti získaná z čidla TM. V oblasti 2 jsou ovládací prvky **Run** a **Stop**, které spouští a pozastavují teplotní cyklování. V oblasti 3 je informativní panel, který udává aktuální cyklus, část aktuálního cyklu a celkový čas běhu programu.

4.2.4.2 Vlastnosti programu

Po nastavení parametrů teplotního profilu a počtu cyklů můžeme začít s cyklováním. Teplotní cyklus začíná od aktuální teploty, která je na pracovišti. V případě že je teplota na pracovišti nižší jak požadovaná teplota ohřevu, program vyšle impuls o délce 10s na pin D0 na portu LPT kde je připojen KRS a ten nastaví na výstup nejvyšší kladné napájecí napětí (viz kap. 4.2.1 KRS). Je-li okolní teplota po spuštění programu vyšší jak teplotní maximum, tak program vyšle na D0 impuls o délce 50ms, což způsobí nejvyšší záporné napětí na výstupu KRS. Po dosažení požadované teploty pro aktuální část teplotního profilu začíná regulace, která má teplotní toleranci $\pm 5^{\circ}\text{C}$ je-li teplota v tomto rozsahu, setrvává na výstupu KRS poslední nastavená hodnota napětí. Po uplynutí doby ohřevu vyšle program na pin D0 impuls o délce 50ms a započne chlazení. Zároveň se otevře elektroventil, řízený pinem D7, který pouští do chladicí části pracoviště vodu. Po dosažení požadované teploty započne rovněž regulace, která trvá po dobu chlazení nastavenou v teplotním profilu. Po uplynutí tohoto intervalu je vykonán jeden teplotní cyklus. Čítač cyklu se dekrementuje o jeden cyklus a tato hodnota je zapsána do kolonky Cycles v deklarační části programu a zároveň je zobrazena v informačním panelu programu. Tato vlastnost umožňuje simulaci kdykoli přerušit a celé pracoviště vypnout a posléze se k simulaci vrátit a navázat na posledním vykonaném teplotním cyklu.

Tato modifikace ovládacího programu byla zhotovena podle dokumentace k bloku KRS, po otestování v reálných podmínkách se pracoviště chovalo tak, že peltierovy moduly byly permanentně nastaveny na v režimu chlazení. Editací časovačů programu bylo zjištěno, že blok KRS bohužel v době načítání řídicího impulsu na vstupu změnil polaritu výstupního napětí na kladné maximum. Což znamená, že při prvním pulsu cyklu bude po celou dobu trvání pulsu napětí na peltiérových člancích nastaveno na kladné maximum a po skončení řídicího pulsu bude blokem KRS nastaveno na požadovanou hodnotu dle délky pulsu, jak je znázorněno na obr. 25. Budeme-li tedy chtít řídit velikost napětí na výstupu v záporných hodnotách, bude KRS neustále při každém pulsu přepínat do hodnot kladných. Regulace napětí na výstupu je vhodná pro chod pracoviště a pozvolný přechod ze záporného extrému do kladného extrému napětí na výstupu je nezbytný pro bezporuchový chod peltiérových článků. Použitím jakéhokoli regulačního algoritmu v programu bude mít totiž v současné konfiguraci za následek to, že bude místo pozvolného průběhu použita regulace extrém-extrém což má za následek destruktivní vliv na peltiérovy články.

Následkem tohoto zjištění je další modifikace řídicího programu. Z naměřených parametrů a ze zjištěné odezvy bloku KRS na digitální řízení (viz obr. 25) byl program upraven tak, aby byl schopen vykonávat teplotní cykly. Program tedy vykonává teplotní cyklování a lze nastavit parametry teplotního profilu pouze na časové ose, ale veškeré regulační funkce byly z důvodu regulace extrém-extrém zablokovány.



Obr. 25 Časová odezva výstupu KRS na vstupní signál

4.2.4.3 Současná verze řídicího programu

Grafické uživatelské rozhraní bylo ponecháno z předchozí verze včetně algoritmu pro načítání teploty v těle programu z důvodu budoucích modifikací, rovněž byly ponechány editovací pole Temperature of cooling a Temperature of heating.

4.2.4.4 Popis algoritmu programu

Po spuštění programu je potřeba zadat hodnoty délky chladicího cyklu a cyklu ohřevu (v těle programu LOHC a LOCC) dále příslušný počet cyklů, které má pracoviště vykonat (Cycles). Po nastavení těchto proměnných můžeme spustit teplotní cyklování buď z menu (File / Run) nebo zeleným tlačítkem (viz obr. 22 sekce 3). V tomto okamžiku se spustí cyklus načítání teploty z teplotního čidla TM na portu COM a hodnota teploty je zobrazena v panelu Temperature (viz obr. 22). Dále je vyslán 10s puls na pin D0 na portu LPT, což nastaví na výstup KRS napětí o hodnotě -12V, toto napětí na výstupu KRS setrvává do doby dokud neuplyne hodnota LOHC poté je na D0 odeslán puls o délce 50ms, což zapříčiní změnu polarity výstupního napětí na bloku KRS. Tyto procedury jsou vykonávány dokud pracoviště neodsimuluje zadaný počet cyklů (Cycles), nebo do pozastavení činnosti programu (File / Pause), nebo červené tlačítko (STOP). V tomto okamžiku je ukončena načítací smyčka pro teploměr z portu COM a hodnoty LOHC, LOCC a Cycles jsou zapsány do souboru settings.ini. V případě že cyklování skončilo a hodnota Cycles je nastavena na 0, přepíše se obsah pole Cycles v grafickém rozhraní programu a v settings.ini souboru na hodnotu 10000. Zároveň se odešle na piny D0, D6, D7 na portu LPT hodnota 0, což zajistí vypnutí pracoviště a elektroventilu pro přívod chladicí vody. Hodnoty nastavené pro COM port jsou rovněž uloženy v souboru settings.ini.

5. Závěr

Úkolem mojí práce bylo seznámit se s problematikou měření termomechanické spolehlivosti elektronických a mikroelektronických sestav a navrhnout a realizovat systém pro teplotní cyklování pomocí Peltiérových článků.

V teoretické části jsem se zaměřil na problematiku bezolovnatých pájecích slitin a na možné poruchy v pájeném spoji, jak chemického, tak fyzikálního charakteru. Dále na spolehlivost a kvalitu pájeného spoje a na problematiku termomechanického namáhání.

V praktické části šlo o návrh a realizaci pracoviště pro teplotní cyklování, které funguje na bázi peltiérových článků. Princip funkce peltiérových článků je rovněž popsán v teoretické části. V praktické části bylo zapotřebí realizovat cyklické překlápění polarity napájení peltiérových článků. Tuto funkci plní kombinace počítače a programem řízeného koncového regulačního stupně. Tento princip teplotního cyklování je použitelný pro rozsah teplot 0 – 100°C, ale musíme se vyvarovat regulace ON/OFF, nebo +extrém/-extrém oba způsoby regulace mají za následek degradaci životnosti peltiérových článků. V současné konfiguraci pracoviště není schopno se této regulaci vyvarovat. Jako další modifikaci navrhuji doplnit pracoviště o D/A převodník řízený šířkou pulsu a napojit jej na analogový vstup KRS, jednak pro zajištění kompatibility s programem, a zároveň pro snadnou implementaci do současné modifikace pracoviště. Zároveň bych volil při návrhu D/A převodníku dobu kratší než 10s u nejdelšího pulsu. Dalším výstupem z této práce je řídicí program včetně zdrojových kódu, který je v mediální příloze.

Mezi výhody pracoviště pracujícího na bázi peltiérových článků patří bezesporu otevřený přístup k měřeným prvkům. Při návrhu i realizaci bylo dbáno na snadnou výrobu a ekonomickou nenáročnost pracoviště. Tyto parametry činí pracoviště snadno zhotovitelné, případně modifikovatelné i v laboratorních podmínkách.

Seznam použitých zdrojů:

- [1] Ing. ŠANDERA JOSEF, Design and Reliability of the Connection in 3D Electronic Systems ISBN 80-214-2796-5
- [2] MICHAEL G. PECHT, Soldering Processes and Equipment ISBN 0-471-59167

Internet:

- [3] Ing. Josef Šandera, Ing. Edita Hejátková, Termomechanické namáhání SMD součástek

Dokumenty ze stránek institutu CALCE

- [4] Powercycling Reliability, Failure Analysis and Acceleration Factors of Pb-free Solder Joints
- [5] <http://www.smtcentrum.cz>
- [6] 60194_TEXT.pdf
- [7] <http://home.tiscali.cz/cz025426/index.htm>
- [8] http://www.papouch.com/shop/scripts/_detail.asp?katicislo=0038

Vyhledávače:

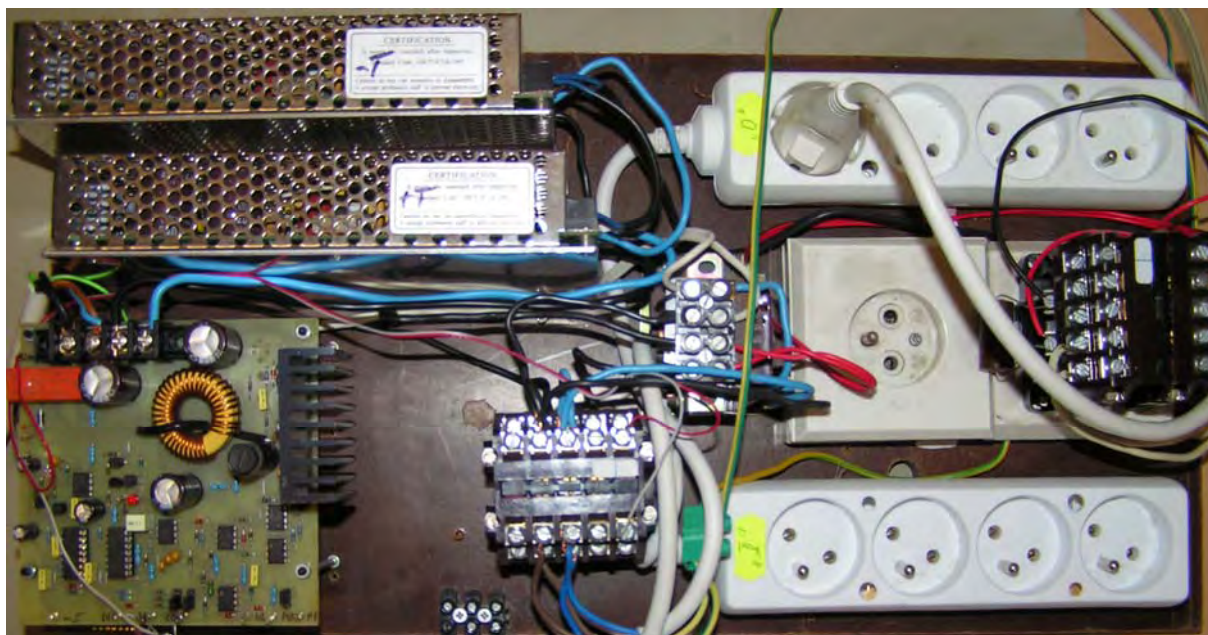
www.seznam.cz

www.google.com

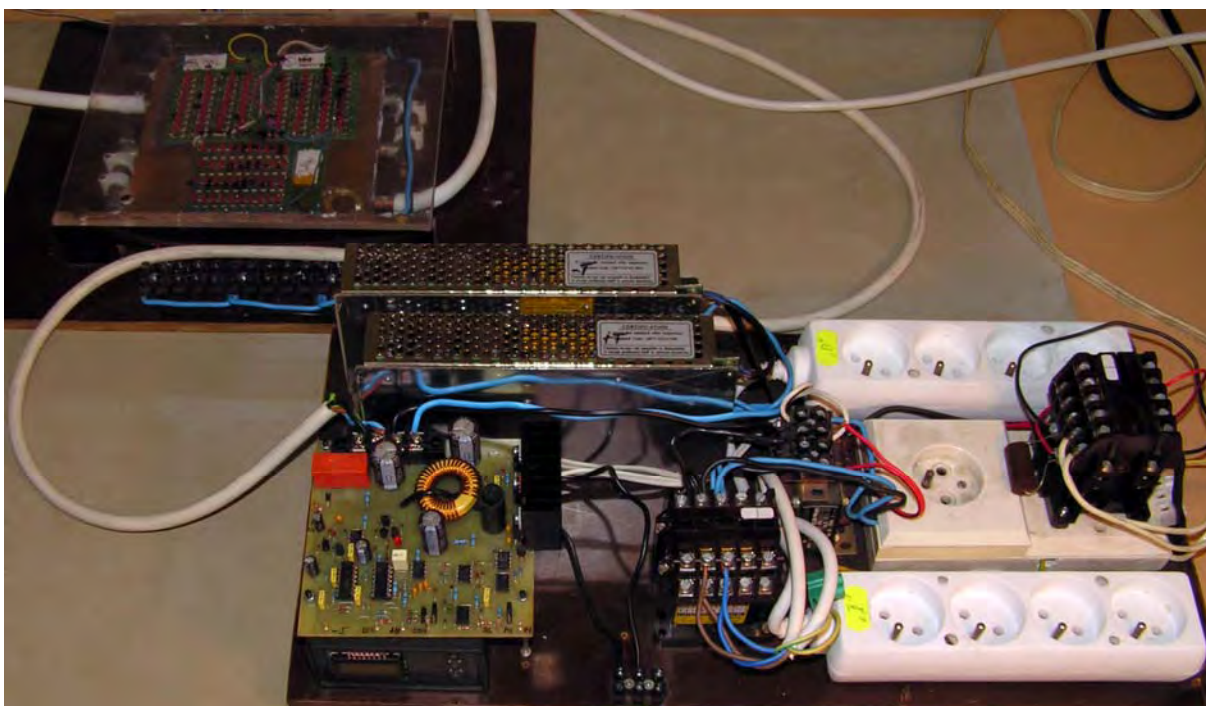
Grafická příloha



Obr. 26 Detail desky výměníku



Obr. 27 Pohled na řídící panel



Obr. 28 Celkový záběr pracoviště