

MĚŘENÍ TERMOMECHANICKÉ SPOLEHLIVOSTI PÁJENÝCH SPOJŮ

Josef Šandera

Vysoké učení technické Brno, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií,
Ústav Mikroelektroniky, Technická 10, 616 00, Brno,
tel. +420 541146 151, fax: +420 541146 298
E-mail: sandera@feec.vutbr.cz

ABSTRAKT: Článek popisuje metodiku a měření termomechanické spolehlivosti pájených spojů a hlavně metody identifikace chyb a problémy, které jsou spojeny s měřením. Měření se uskutečňuje na Ústavu mikroelektroniky, Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií. V rámci výzkumu, který se převážně uskutečňuje v rámci výzkumného záměru MIKROSYN byla řešena problematika identifikace poruch a byl realizován prototyp unikátního zařízení pro cyklování, při kterém se používají Peltierovy články. Toto zařízení se úspěšně používá spolu s identifikací poruch pro měření spolehlivosti pájených sestav, u kterých spolehlivost výrazně ovlivňuje termomechanické namáhání.

Klíčová slova: Termomechanické namáhání, změna rozměru s teplotou, mechanické pnutí, identifikace poruch, klopný obvod, teplotní komora, Peltierovy články, provedení pracoviště.

1 ÚVOD

Termomechanické namáhání je dominantní u pájených sestav, u kterých je pájený spoj realizován přes nepružné připojení, v praxi se jedná o sestavy povrchově montovaných součástek, případně modulů. Nemá smysl jej uvažovat v případě montáže vývodových součástek, případně propojení přes drátové vývody kolíčky a podobně.

V důsledku rozdílného koeficientu tepelné roztažnosti CTE¹ (Coefficient of Thermal Expansion) dochází při změnách teplot, které nastávají při procesu pájení, montáže, nebo v běžném provozu k různé změně rozměru jednotlivých částí systému, což má za následek také změnu pnutí a tvaru pájeného spoje. Teorii je možno nalézt v [1].

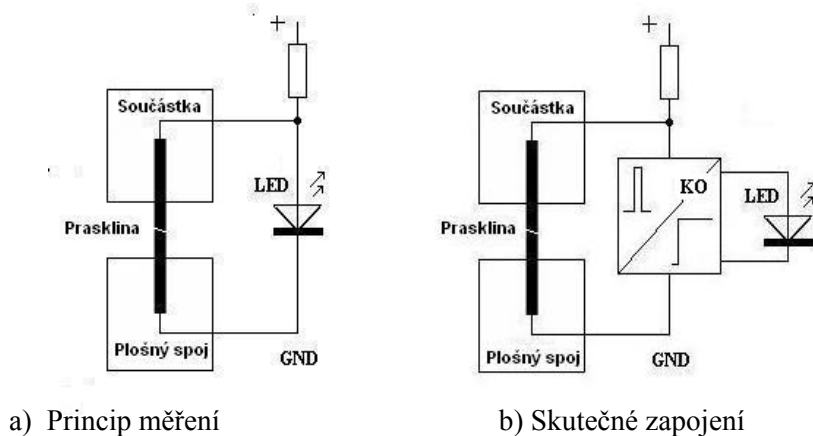
Pokud jsou části nepružné spojeny (může se jednat o pájku, vodivé lepidlo), vyvolává změna rozměru v relativně nepružném spojení změnu pnutí, které cyklicky namáhá spoj střídavě tahem a tlakem. Po určité době se projeví únava materiálu nejčastěji vznikem trhliny, která se postupně rozšiřuje až dojde k přerušení spoje. V praxi se porucha se vyvolává zrychleným cyklováním. Na spoj se aplikují teplotní cykly. Amplitudu teplot a teplotní prodlevy stanovují pro příslušnou kategorii výrobků příslušné normy [2], [3].

¹ Někdy se používá označení TCE (Thermal Coefficient of Expansion), norma IPC-SM-785 používá CTE.

2 CHARAKTER A METODIKA IDENTIFIKACE PORUCH

Z počátečních experimentů uvedených v [4] bylo zjištěno, že porucha má časově proměnný charakter ve formě impulsů, které se s přibývajícím počtem teplotních cyklů prodlužují. Na tuto skutečnost upozorňuje i norma IPC-SM-785. Podle této normy by měly být registrovány impulsy s minimální délkou 1 μ s.

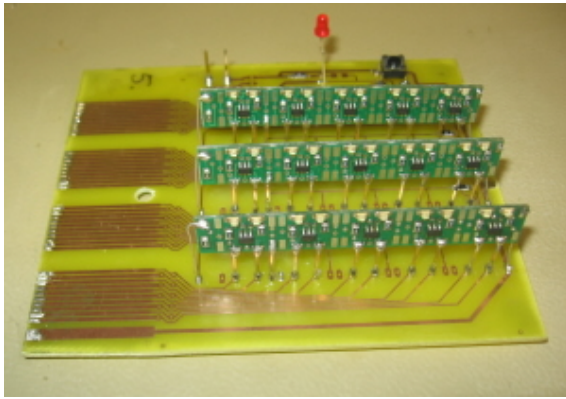
Během cyklování se měří případné přerušení pájeného spoje. Princip indikace poruchy je uveden na obrázku 1. Pokud dojde k přerušení spoje, rozsvítí se se indikační dioda LED, která je napájena z proudového zdroje. Tyto impulsy jsou zaznamenávány paměťovým elementem ve formě klopného obvodu, který se nastartuje a LED dioda trvale svítí. Porucha je indikována pro každý spoj samostatně, nebo se spojuje několik spojů sériově (Daisy Chain propojení).



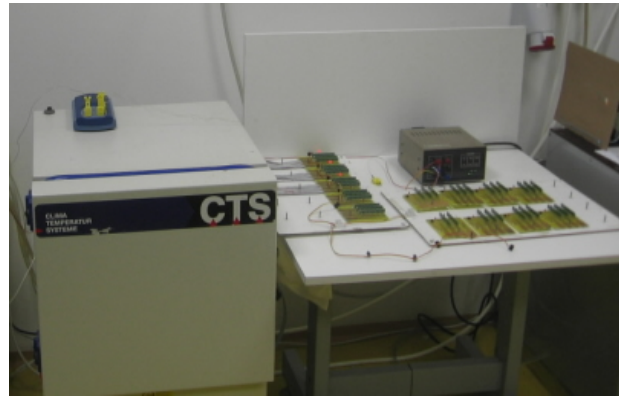
Obrázek 1: Indikace poruchy pájeného spoje

Jelikož je třeba vyhodnocovat velké množství spojů, minimálně desítky, případně několik stovek, byl pro tuto aplikaci navržen jednoduchý klopný obvod, který využívá jednočipový mikrokontrolér PIC 10F200. Jedno pouzdro velikosti SOT 23-6 velikosti 3mm realizuje softwarově dva klopné obvody. Software je sestaven tak, aby klopný obvod indikoval přerušení delší jak 100 ms. Indikace kratších napěťových impulsů tak jak požadují normy byla problematická, klopný obvod byl spouštěn náhodnými impulsy z okolí.

Pro praktické měření byly zhotoveny moduly, které obsahují 40 klopných obvodů. Na desky je možno připájet pásový vodič, kterým realizujeme propojení na měřicí desku. Každý modul je schopen „ošetřit“ čtyřicet měřících míst. V případě impulsu delším jako 100 ms se rozsvítí příslušná dioda na modulu. Nevýhodou tohoto řešení je fakt, že je třeba v průběhu měření průběžně sledovat stav klopných obvodů. V praxi se ukázalo, že stačí zapisovat stav během dvou až tří dnů, neboť zkouška téměř vždy trvá několik měsíců (několik tisíc teplotních cyklů). Automatická identifikace poruch je v současné době předmětem dalšího řešení. Provedení měřícího modulu pro maximálně 40 měřících míst a jeho integrace do cyklovacího procesu je uvedeno na obrázku č.2. Modul obsahuje indikaci napájení a resetovací obvody klopných obvodů



a) měřicí přípravek



b) Začlenění přípravku do cyklovacího procesu

Obrázek č.2: Systém identifikace poruch a měřicí pracoviště s teplotní komorou

3 CYKLOVÁNÍ A POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ

Průmyslové normy dělí podmínky pro zrychlené teplotní cyklování do skupin, které závisí na kategorii použití zařízení. Nejčastěji doporučované teplotní cykly jsou $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ s prodlevou 15 minut v extrémních teplotách.

Cyklování se provádí v teplotní komoře CTS-40/25. Tato komora umožňuje zrychlené cyklování od teplot $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Prakticky jsou použitelné teploty do $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, teploty nižší se ustálí až za dlouhou dobu, proto byla stanovena nejnižší teplota $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vzhled měřicího pracoviště je uveden na obrázku č.2.

Dále byla navržena a realizováno zařízení pro cyklování, které využívá pro realizaci mezních teplot Peltiérový články [4]. Peltiéřův článek je umístěn mezi dvě měděné desky, z nichž spodní je chlazená tekoucí vodou. Horní deska se střídavě zahřívá, nebo ochlazuje podle polaritě napětí na člancích. Na horní měděnou desku se připevňují testovací desky. Přestup tepla na vzorek se děje kontaktně. Řízení článků je realizováno speciální elektronikou, teplotní profil se nastavuje pomocí klasického regulátoru technologických procesů.

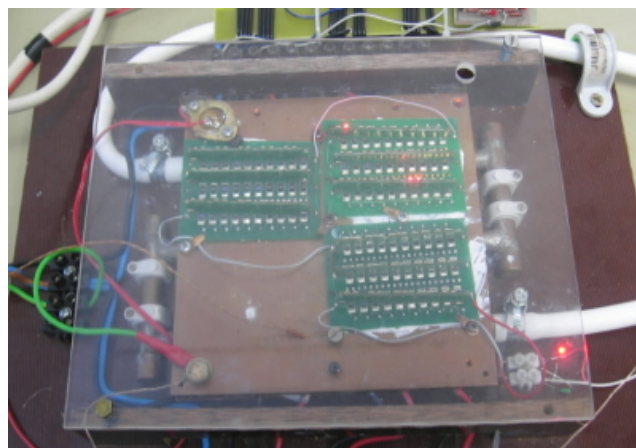
Parametry cyklovacího zařízení,

- počet a rozměry článků: 6 článků rozměru 50x50mm, 12V/ 6A
- typ článků: Altec/CM-1-S-IR 127 1,4x1,4-2.0, příkon 40W
- rozměry pracovní plochy: 160 x 160 mm
- minimální a maximální dosažené teploty: $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Nevýhodou tohoto řešení je fakt, že Peltiérový články mají omezenou životnost, která bývá srovnatelná se životností spojů na testovaném vzorku, proto je třeba průběžně sledovat jejich funkčnost a podle potřeby příslušný vadný článek vyměnit.

Navržené zařízení je velice jednoduché s daleko menší spotřebou energie ve srovnání s teplotní komorou. Jelikož se ohřev, nebo chlazení desky se děje přenosem tepla z měděné desky, na která je položen testovaný plošný spoj, ohřev neprobíhá v celém objemu, jak se děje v teplotní komoře, ale postupně od vyhřívané nebo chlazené desky. Toto se více blíží reálnému stavu odpovídající při provozu zařízení. Jelikož testovací vzorky nejsou v uzavřeném prostoru teplotní komory, je možno daleko jednodušeji připojit vyhodnocovací obvody pro průběžnou identifikaci poruchy, která je vyvolána zrychleným cyklováním.

Obrázek č.3a ukazuje možné provedení, které bylo použito pro připojení vyhodnocovacích obvodů. Vyhodnocovací elektronika s indikační diodou je umístěna nad měřenými spoji a je připojena pomocí tenkých vodičů, aby se minimalizoval parazitní odvod tepla z desky. Na obrázku 3b je zobrazeno provedení systému s Peltiérovými články



a) Připojení vyhodnocovacích obvodů

b) Cyklovací přípravek

Obrázek č.3: Systém identifikace poruch a měřicí pracoviště s Peltiérovými články.

4 ZÁVĚR

V současné době se popisované pracoviště používá na testování termomechanické spolehlivosti převážně bezolovnatých pájených spojů čipových SMD sestav, kuličkových a válečkových spojení elektronických modulů realizovaných na keramických substrátech, flip chip spojení, vyhodnocování spolehlivosti připojení solárních článků. V rámci řešení doktorského grantu bylo pracoviště začleněno do výuky v technologických předmětech.

5 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] PECHT MICHAEL G., *Soldering Processes and Equipment*, A Wiley-Interscience Publication, New York, 1993, ISBN 0-471-59167-X
- [2] IPC-SM-785, *Guidelines for Accelerated Reliability Testing of Surface Mount Solder Attachments*, November 1992
- [3] IPC-9701, *Performance Test Methods and Qualification Requirements for Surface Mount Solder Attachments*, January 2002
- [4] J. ŠANDERA, *Design and Reliability of the Connection in 3D Electronic Systems*, Brno University of Technology, Faculty of Electrical Engineering and Communication, Ph.D. thesis, Brno 2004