

SCIENTIFIC PAPERS
OF THE UNIVERSITY OF PARDUBICE

Series B

The Jan Perner Transport Faculty

1 (1995)

**VYHODNOCENÍ STABILITY ODPORŮ PRO TLUSTOVRSTVÉ
HYBRIDNÍ OBVODY TEPLOTNÍM NAMÁHÁNÍM**

Milan KEJZLAR, Jozef LAKATOŠ

Katedra dopravní infrastruktury

1. Úvod

Úspěšný rozvoj monolitických integrovaných obvodů a zejména obvodů zákaznických a polozákaznických, umožnil v současné době aplikace těchto obvodů téměř do všech elektronických zařízení, určených pro nejrůznější oblasti lidské činnosti.

Mohlo by se zdát, že za této situace se už nebude nutné zabývat hybridními integrovanými obvody (dále HIO). Ukazuje se však, že jsou oblasti aplikací, kde návrh, realizace a použití hybridních integrovaných obvodů je opodstatněná minimálně pro možnost jejich rychlé realizace a poměrně malou ekonomickou náročnost. Navíc se vhodnost aplikace HIO výrazně projevuje zejména tam, kde je třeba speciální obvod řešit pro poměrně malé počty nasazení.

Je zřejmé, že takovéto podmínky jsou typické pro aplikace v dopravě, např. při řešení některých speciálních obvodů pro zabezpečovací techniku [1]. Poměrně malá celková potřeba těchto speciálních obvodů nedává oprávnění k zadání vývoje a výroby monolitického obvodu.

Vhodnost aplikací HIO při řešení určitých obvodových subsystémů pro dopravu nás vedly k tomu, že jsme se věnovali studiu spolehlivosti hybridních integrovaných obvodů.

Naše zkušenosti ukazují, že elektronické obvody pracující v různých aplikacích v dopravě, jsou vystavovány zvláště těžkým pracovním podmínkám (značné rozdíly teplot, vlhkost, prašnost a u mobilních zařízení vibrace a rázy). Tyto vlivy výrazně snižují spolehlivost funkce a životnost těchto obvodů. Avšak právě aplikace v dopravě a zejména v zabezpečování dopravy patří k těm oblastem využití, kde jde o lidské životy a veliké společenské hodnoty a kde je spolehlivost těchto zařízení prioritním požadavkem.

Kromě zvyšování spolehlivosti v etapě návrhu a prototypů hybridních integrovaných obvodů pomocí Duanova modelu, jak to bylo popsáno v [2], je nutné sledovat degradační procesy v materiálech a součástkách, jimiž jsou HIO vytvořeny. Tato pozornost materiálům a součástkám HIO umožňuje vyloučit z návrhu a realizace ty součástky, které by působily na změnu parametrů hybridního obvodu a vedly by tak k jeho nespolehlivosti.

Na základě poznatků, získaných při zkouškách spolehlivosti hybridních integrovaných obvodů, které jsou popsány v [2], byla naše pozornost zaměřena na změny odporových hodnot rezistorů u tlustovrstvých hybridních integrovaných obvodů. Změny hodnot rezistorů, které jsme při uvedených zkouškách pozorovali nás vedly k vyžádání většího počtu testových odporových struktur, vyrobených na Technické Univerzitě v Košicích, odkud nám byly dodány původní sledované HIO.

Po dodání testových odporových struktur a po přípravě zkoušky stability odporových hodnot byly založeny zkoušky teplotním namáháním, jejichž částečné vyhodnocení, které máme k dispozici k termínu odevzdání tohoto rukopisu, je uvedeno v tomto příspěvku.

2. Popis testových struktur

Technická Univerzita Košice vyrobila na naši žádost následující tlustovrstvé odporové testové struktury, vyrobené na keramických substrátech o velikosti 25x50 mm:

- ♦ Testové struktury nesoucí 38 tlustovrstvých rezistorů různých hodnot, vytvořených odporovou pastou TT5021 s odporem $R = 100 \Omega$.
- ♦ Testové struktury s tímtož počtem rezistorů vytvořené odporovou pastou TT5031 $R = 1 \text{ k}\Omega$.
- ♦ Testové struktury s tímtož počtem rezistorů vyrobené odporovou pastou TT5041 $R = 10 \text{ k}\Omega$.
- ♦ Testové struktury s tímtož počtem rezistorů vytvořené odporovou pastou TT5051 $R = 100 \text{ k}\Omega$.

Milan Kejzlar, Jozef Lakatoš:

- ♦ Testové struktury se stejným počtem rezistorů, vyrobené odporovou pastou TT5061 $R_{\square} = 1 \text{ M } \Omega$.

Podle údajů TU Košice byly všechny uvedené odporové pasty vyrobené v TESLE Lanškroun.

3. Zkoušky stability odporů různým teplotním namáháním.

Před vlastním založením zkoušky teplotním namáháním bylo vyhodnoceno:

3.1. Hodnota teplotního součinitele odporu v intervalu teplot +16,5 až 180 °C.

Ukázalo se, že nejvyšší hodnota TK_R byla zjištěna na testové struktuře připravené pastou $R_{\square} = 100 \text{ } \Omega$ (TT5021) u odporu s hodnotou 48,7 Ω . Hodnota TK_R byla $1,8 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$, takže nemohla ovlivnit vyhodnocování odporů v tom intervalu teplot, které mohou být v laboratoři při měření.

3.2. Změny odporových hodnot při krátkodobém (hodinovém) namáhání zvýšenou teplotou.

Po hodinovém namáhání teplotou +100 °C byl zjištěn u struktury vyrobené pastou s $R_{\square} = 100 \text{ } \Omega$ průměrný pokles odporu o 2,64 %

- u struktury s $R_{\square} = 1 \text{ k } \Omega$ průměrný pokles o 0,36 %
- u struktury s $R_{\square} = 10 \text{ k } \Omega$ průměrný pokles o 0,019 %
- u struktury s $R_{\square} = 100 \text{ k } \Omega$ průměrný pokles o 0,017 %
- u struktury s $R_{\square} = 1 \text{ M } \Omega$ průměrné snížení o 0,24 %.

Po hodinovém namáhání teplotou +150 °C byly zjištěny následující změny průměrných hodnot odporů:

- u struktury s $R_{\square} = 100 \text{ } \Omega$ průměrný pokles o 0,199 %
- u struktury s $R_{\square} = 1 \text{ k } \Omega$ průměrný pokles o 0,0021 %
- u struktury s $R_{\square} = 10 \text{ k } \Omega$ průměrné zvýšení o 0,0048 %
- u struktury s $R_{\square} = 1 \text{ M } \Omega$ průměrné zvýšení o 0,014 %

Tyto výsledky naznačily, že u past TT5041 a TT5051 vyvolá hodinové teplotní namáhání teplotou +100 °C jen zanedbatelné změny odporů, zatímco nejvyšší pokles při tomto namáhání nastane u pasty TT5021 (2,645 %).

Při hodinovém teplotním namáhání +150 °C nastaly zanedbatelné změny odporu u past TT5031, TT5041 a TT5061, zatímco u pasty TT5021 vyvolalo uvedené namáhání pokles průměrné hodnoty odporu o 0,17 %.

Stojí též za poznámku, že u pasty TT5041 a TT5051 jakož i u pasty TT5061 byl zjištěn p o k l e s průměrné hodnoty odporu po hodinové zkoušce teplotou

+100 °C, zatímco po hodinovém namáhání teplotou +150 °C se průměrná hodnota odporu z v ý š í l a.

3.3. Zkouška stability odporu při namáhání čtyřmi zvýšenými teplotami.

Do zkoušky, která umožní vyhodnocení stability odporů při zvýšených teplotách bylo založeno 80 ks testových struktur, což představuje 3040 rezistorů. Tyto testové struktury byly založeny tak, že v každé peci (+75°, +100°, +125° a 150°C), která dlouhodobě udržovala konstantní teplotu, bylo založeno 20 ks testových struktur; přitom těchto 20 ks bylo tvořeno pěti čtveřicemi struktur, každá čtveřice byla vyrobena stejnou odporovou pastou. Těchto 20 struktur představovalo 760 rezistorů, namáhaných jednou konstantní teplotou. Rezistorů, vyrobených každým z pěti druhů past tedy bylo 152.

Na základě dlouholetých zkušeností z předcházejících zkoušek spolehlivosti, byly doby teplotního namáhání stanovené následovně:

1 hodina, 2 hodiny, 4 hodiny, 8 hodin, 16 hodin, 32 hodin, 64 hodiny, 128 hodin, 256 hodin. Po uplynutí každého intervalu teplotního namáhání byly struktury vyňaty z pecí a po předepsané době aklimatizace proměřeny.

Měření bylo prováděno ve speciálním přípravku, který byl pro tento účel zkonstruován. Vyhodnocování odporových hodnot bylo realizováno automatizovanou měřicí ústřednou Hewlett-Packard. Naměřené hodnoty odporů byly ukládány do paměti počítače, kde jsou připraveny pro další zpracování.

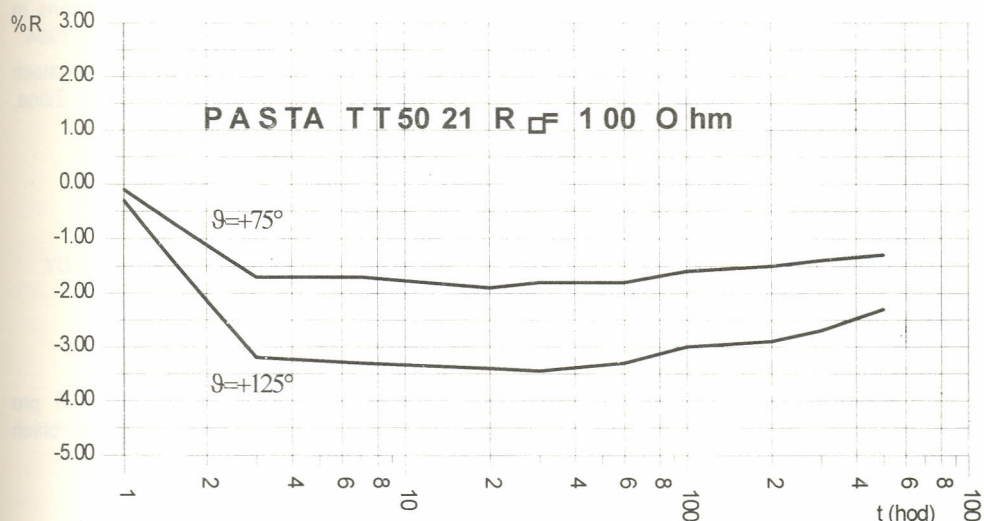
Vzhledem k velkému počtu měření, která skončila před několika dny, na dobu zkoušky i na určité těžkosti s vyhodnocovacím programem, mohly být do odevzdání tohoto příspěvku částečně vyhodnoceny jen některé výsledky z teplotního namáhání +75 °C a +125 °C. Podle předběžného porovnání výsledků i z ostatních dvou teplot namáhání je však možno předpokládat, že uvedené dílčí výsledky naznačí zákonitosti změn odporových hodnot, vyrobených testovanými pastami.

Ve všeobecnosti je možno konstatovat, že změny průměrných hodnot odporů jsou vyšší u struktur, které byly namáhány vyššími teplotami, než u struktur, namáhaných teplotou +75 °C. Zřetelně to dokumentuje obrázek 1, na němž jsou znázorněny procentuální hodnoty poklesu průměrné hodnoty odporů, vyrobených pastou TT5021 ($R = 100 \Omega$) pro namáhání teplotou +75 °C (při nichž došlo po celkové době namáhání 15 hodin k poklesu průměrné hodnoty odporu o 1,960 %, přičemž však nejnižší hodnoty rezistorů $30,5 \Omega$ vykázaly pokles o 7,85 % a rezistory $37,7 \Omega$ vykázaly pokles o 6,45 % původní odporové hodnoty).

U uvedené odporové pasty TT5021 je dále zřejmé, že nejvyšší změny odporu nastávají právě u nejnižších odporových hodnot. Tento jev však ve značném rozsahu možno pozorovat i u dalších odporových past.

Jak vyplývá z obrázku 1 je pokles průměrné odporové hodnoty podstatně zřetelnější při namáhání teplotou $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$, kde po 31 hodinách namáhání byl zaznamenán u pasty TT5021 pokles průměrné odporové hodnoty o 3,495 % proti původním hodnotám odporu a u rezistoru s původní hodnotou $27,8\text{ }\Omega$ byl zjištěn pokles o 9,35 % po 31 hodinách namáhání; u nejmenšího odporu na sledovaných strukturách ($22,5\text{ }\Omega$) dokonce pokles o 11,55 % po 15ti a 31 hodinách zkoušky.

Pozornost si zasluhuje i skutečnost, že v průběhu delšího namáhání zvýšenou teplotou se po překonání extrémní hodnoty poklesu odporové hodnoty (při teplotě $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ je to časový interval mezi 3. až 127. hodinou) hodnota odporu opět mírně zvyšuje. Při namáhání teplotou $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ je v přibližně stejném časovém intervalu pokles průměrné hodnoty odporu výraznější, ale po 511 hodinách namáhání se o cca 1 % snižuje.



Obr.1 Pokles průměrné hodnoty odporu při teplotním namáhání $+75$ a $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu 511 hodin (odporová pasta TT5021)

Zatímco uvedené výraznější změny průměrných hodnot odporů byly zaznamenány jen u rezistorů vyrobených pastou TT5021, u testových struktur vyrobených pastou TT5031 nepřekročil pokles průměrné hodnoty ani při teplotě $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ 0,399 %, u rezistorů vyrobených pastou TT5041 nevzrostla při uvedené teplotě průměrná hodnota odporu nad 0,193 %, u struktur z pasty TT5051 nepřekročila průměrná hodnota změny při uvedené teplotě 0,41 % a u struktur,

vytvořených pastou TT5061 nepřekročilo zvýšení průměrné hodnoty odporu 0,0809 %. U poslední struktury však nastala v průběhu zkoušky ztráta hodnoty jednoho odporu.

4. Závěr

Dosud vyhodnocené výsledky zkoušek stability tlustovrstvových rezistorů při namáhání zvýšenou teplotou ukazují, že všechny uvedené odporové pasty s výjimkou pasty TT5021 vykazují při teplotním namáhání uspokojivou stabilitu odporových hodnot.

Lektoroval: Prof. Ing. Miloslav Neveselý, DrSc.

Předloženo v lednu 1995.

Literatura

- [1] Rástočný, K.: Bezpečné logické členy s dynamickým napětovým deličom. KDP EF VŠDS Žilina, únor 1993.
- [2] Kejzlar, M., Gabčo, L.: Reliability of Hybrid Integrated Circuits for Applications in Transport. The International Journal of Microcircuits and Electronic Packaging 1994.
- [3] Kejzlar a kol.: Výskum degradačných javov v polovodivých materiáloch a súčiastkach pre elektroniku. Výzkumná zpráva úlohy 1/313/92. VŠDS Žilina, listopad 1992.

Resumé

VEYHODNOCENÍ STABILITY ODPORŮ PRO TLUSTOVRSŤVÉ HYBRIDNÍ OBYVODY TEPLOTNÍM NAMÁHÁNÍM

Milan KEJZLAR, Jozef LAKATOŠ

V článku jsou uvedeny některé výsledky zkoušek tlustovrstvových rezistorů pro hybridní integrované obvody. Testování probíhalo ve čtyřech zvýšených teplotách a nejvyšší nestabilita byla pozorována u nejmenších odporových hodnot.

Summary

EVALUATION OF THE STABILITY OF THICKFILM RESISTORS FOR HYBRID- INTEGRATED CIRCUITS THROUGH TEMPERATURE STRESS

Milan KEJZLAR, Jozef LAKATOŠ

This paper describes results of testing the thickfilm resistors for hybrid-integrated circuits, which were manufactured from different resistor pastes. The stability of the resistors were tested by the exposition in various temperatures. The results of tests shown instability of resistors which was made from low-resistor pastes.

Milan Kejzlar, Jozef Lakatoš:

Zusammenfassung

AUSWERTUNG DER STABILITÄT DER WIDERSTÄNDE FÜR DICKSCHICHT-HYBRID- INTEGRIERTE SCHALTUNGEN DURCH BELASTUNG MIT HÖHEREN TEMPERATUREN

Milan KEJZLAR, Jozef LAKATOŠ

In diesem Beitrag sind die Ergebnisse der Prüfung der Stabilität der Werte der Dickschichtwiderstände für Hybridintegrierte Schaltungen. Die Prüfungen in vier erhöhten Temperaturen wurden durchgeführt und die niedrigste Stabilität wurde bei den kleinsten Widerständen beobachtet.