



TEHNOLOGII DE INTERCONECTARE ÎN ELECTRONICĂ

LUCRAREA DE LABORATOR nr. 6 MANAGEMENTUL TERMIC AL MODULELOR ELECTRONICE

Scopul lucrării: Prezenta lucrare de laborator are ca scop familiarizarea studenților cu importanța aprofundării fenomenelor de natură termică din cadrul produselor electronice și dezvoltarea capacităților de investigație virtuală a modulelor PCB proiectate prin metode CAD. În cadrul laboratorului vor fi studiate mai multe module PCB cu diferite niveluri de complexitate și vor fi discutate hărțile termice generate.

Desfășurarea lucrării

1. Introducere

O tendință evidentă în fabricația produselor electronice actuale este reducerea drastică a dimensiunilor lor. În proiectarea și fabricația plăcilor de circuit imprimat acest lucru implică o creștere deosebită a densității de echipare cu componente electronice ("board density" în limba engleză). În aceste condiții, în electronica actuală (în special în aplicații militare, navale, spațiale sau produse portabile) apar așa-numitele "high-density boards", structuri și module PCB cu componente pe ambele fețe și cu o plasare a componentelor la distanțe extrem de mici. Din păcate, acest lucru conduce la o creștere a defectelor cauzate de aspectele termice (fenomenul numit "overheating" - supraîncălzire). Tehnologiile microelectronice dezvoltate în ultimele decenii (cu tensiuni de alimentare sub 3.3 V) au generat o creștere și mai accentuată a problemelor de natură termică.

În ciuda mării varietăți de dimensiuni, disipare de putere și sensibilitate la temperatură, managementul termic al tuturor componentelor microelectronice este motivat de preocupări similare și de o ierarhie comună a considerațiilor de proiectare. Prevenirea unui "defect catastrofal" - o pierdere totală și imediată a funcției electronice și a integrității package-ului - este scopul cel mai important al controlului termic din industria electronică. Defectul catastrofal este adesea asociat cu o creștere substanțială a temperaturii, care poate conduce la o deteriorare majoră a dispozitivului semiconductor și/sau fisuri/rupturi, delaminare, topire a unor materiale și structuri, vaporizare și chiar combustie a materialelor din care este alcătuită componenta. Înțelegerea vulnerabilității unei/unor componente specifice face posibilă alegerea corespunzătoare a solidului/lichidului de transfer termic, a modului de transfer al căldurii, a temperaturii lichidului de răcire, stabilindu-se astfel strategia optimă de control termic încă din faza inițială a procesului de proiectare.

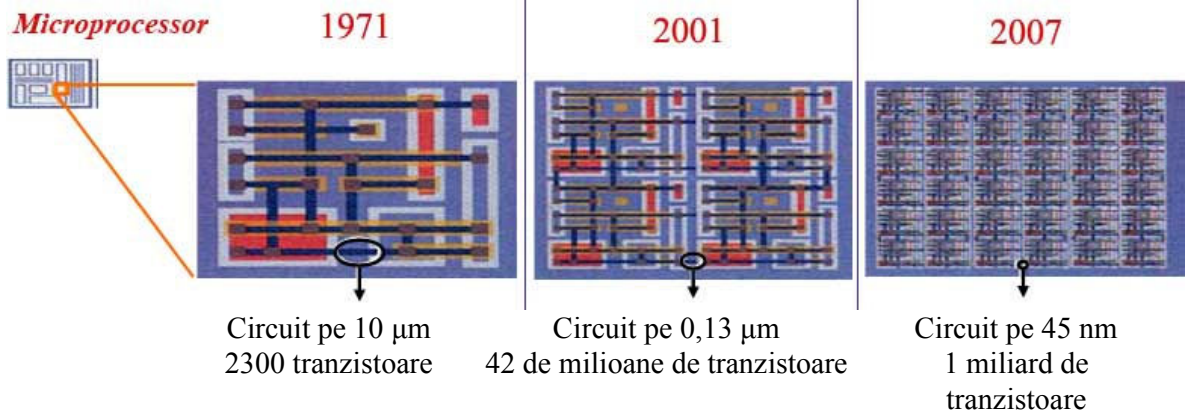


Fig. 1 De ce management termic?

După alegerea strategiei de încapsulare adecvată din punct de vedere termic, atenția poate fi orientată spre atingerea nivelului dorit de fiabilitate și, corespunzător, valorilor ratelor de defectare ale fiecărei componente și fiecărui modul/subansamblu. Trebuie reținut, totuși, că dispozitivele electronice “solid-state” sunt în mod natural fiabile. Cu toate acestea, deoarece singur chip microelectronic poate include mai mult de 1 miliard de tranzistoare și 1000 de terminale (la nivel de capsulă) și deoarece zeci de astfel de componente pot fi introduse într-un singur sistem, obținerea unei funcționări fără defecte pe toată durata de viață a produsului reprezintă o provocare extrem de dificilă. Minimizarea sau eliminarea defectelor generate pe cale termică necesită adesea limitarea creșterii temperaturii componentei peste valoarea celei ambiante și minimizarea variațiilor de temperatură la nivelul structurilor interne din package-ul electronic.

Rata de defectare

Fiabilitatea unui sistem este definită de probabilitatea ca sistemul să respecte specificațiile inițiale pentru o anumită perioadă de timp. Deoarece o componentă electronică nu conține părți în mișcare, ea poate funcționa în mod fiabil mulți ani, în special când operează la de temperatura camerei sau aproape de aceasta. În practică, circuitele integrate funcționează la temperaturi net mai ridicate și, din păcate, cele mai multe dintre componentele electronice sunt predispuse la defectare din cauza expunerii prelungite la temperaturi ridicate.

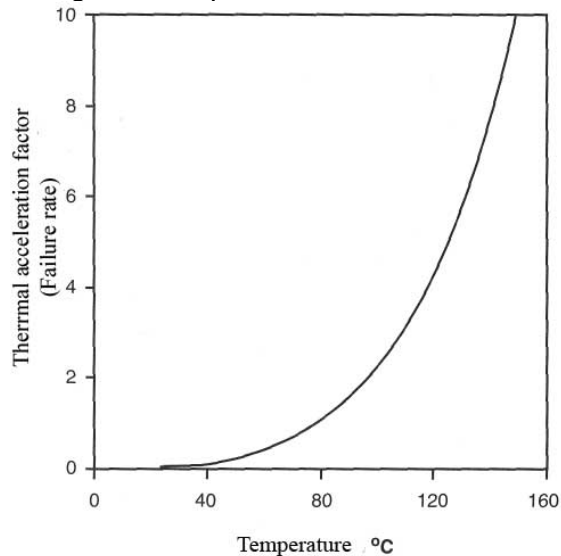


Fig. 2 Dependența ratei de defectare de temperatură

Acest rată de defectare accelerată provine de la microfisuri mecanice în materialele de contactare, reacții chimice parazite sau difuzii ale materialelor dopante, menționând doar câteva dintre cauze ce conduc la defectare. Acestea, precum și alte mecanisme de defectare asociate, creează o legătură directă între fiabilitatea componentei și temperatura de funcționare, care adesea ia forma caracteristicii din figura următoare. Figura 2 prezintă dependența exponențială a factorului de accelerare termică funcție de temperatura componentei. Astfel, o creștere a temperaturii de la 75 °C la 125 °C poate conduce la o creștere de cinci ori a ratei de defectare. În anumite condiții, o creștere de la 10 - 20°C a temperaturii chip-ului poate duce la dublarea ratei de defectare a unei componente. În consecință, pentru multe categorii de componente/module/sisteme, temperatura reprezintă cel mai important factor ce conduce la pierderea fiabilității. În astfel de sisteme, managementul termic devine o etapă cheie pentru funcționarea cu succes, un timp îndelungat, a respectivelor sisteme.

Cerințe de răcire

Temperaturile de funcționare aflate în afara intervalului acceptat pot conduce la reducerea performanțelor dispozitivelor semiconductoare – creșterea curentului rezidual în memorii DRAM, scăderea frecvenței ceasului, precum și, în cazul modulelor optoelectronice, deviația lungimii de undă și scăderea puterii. Neadaptarea coeficienților de dilatare termică (CTE) între circuitele integrate și substraturi organice (2,8ppm /°C pentru Si, ~6ppm/°C pentru GaAs, -25ppm/°C pentru aliajul eutectic de lipire Sn63Pb37, și 14-20ppm/°C pentru substraturile PCB de tip FR4) generează solicitări termice la nivelul conexiunilor realizate prin lipire ("solder joints"). Ciclurile termice repetate din cauza funcționării în comutație conduc la oboseală termică și, în final, la defectare.

Modulele și sistemele se pot defecta din cauze foarte variate, în cazurile în care acestea nu sunt proiectate cu materiale corespunzătoare și/sau nu s-au ales soluții adecvate de management termic. Abordarea actuală legată de fiabilitate se bazează pe cauza-sursă sau pe analiza fizicii defectelor, în cazul diferitelor mecanisme de defectare și dependența lor de temperatură. Diversele mecanisme care se manifestă într-un domeniu de temperatură dat sunt clasificate pentru găsirea celui dominant. În exteriorul respectivului domeniu pot apărea modificări ale ierarhiei, alt mecanism putând deveni dominant. Astfel, într-un sens larg, multe mecanisme de defectare au drept cauză fenomenele termice, astfel încât legătura dintre acestea și temperatură putând fi deseori complexă. Suplimentar față de impactul lor asupra fiabilității, efectele termice pot influența deseori parametrii de performanță. Efectele neliniare în amplificatoare și funcționarea necorespunzătoare (deviația lungimii de undă și scăderea puterii) a laserelor din modulele optoelectronice sunt doar două exemple de astfel de influențe.

Din cele prezentate mai sus, este evident că atât fiabilitatea cât și de performanța funcțională sunt influențate de fenomenele termice. O abordare uzuală a proiectanților de sisteme multifuncționale este de a limita "temperatura de joncțiune" maximă, parametru ce reprezintă o valoare medie a temperaturii chip-ului în timpul funcționării. Această limită este de obicei diferită pentru echipamentele comerciale și militare, datorită domeniilor diferite ale temperaturii ambiante în timpul funcționării. Pentru produsele portabile ("handheld"), piața solicită uneori o limită chiar mai strictă, pentru a asigura un grad mai mare de satisfacție a clienților. ITRS (The International Technology Roadmap for Semiconductors) prevede valori estimative pentru temperaturile de joncțiune și de funcționare în diferite componente și module.

Temperatura de joncțiune pentru dispozitive cu un singur cip în capsulă nu poate depăși 125°C în cazul produselor portabile și ieftine și dispozitivelor de memorie, 175°C în cazul celor care lucrează în medii ostile și 100°C în cazul celor de mare performanță.

Nivelurile de ierarhizare în packaging-ul electronic și evacuarea căldurii (răcire)

Pentru a iniția etapa de proiectare termică al unui anumit produs electronic, este necesar mai întâi să se definească ierarhia din packaging-ul electronic. Ierarhia are la bază capsula, care conține și protejează chip-ul (nivelul 1). Cablajul imprimat (PCB) care asigură legătura dintre componentele electronice, constituie nivelul 2, în timp ce legăturile din cadrul back-panel-ului sau mother-board-ului, care interconectează modulele electronice PCB, formează nivelul 3. Carcasa sau rack-ul care configurează, în final, întregul sistem reprezintă nivelul 4, dar uzual, nivelurile 3 și 4 sunt considerate ca un nivel unic.

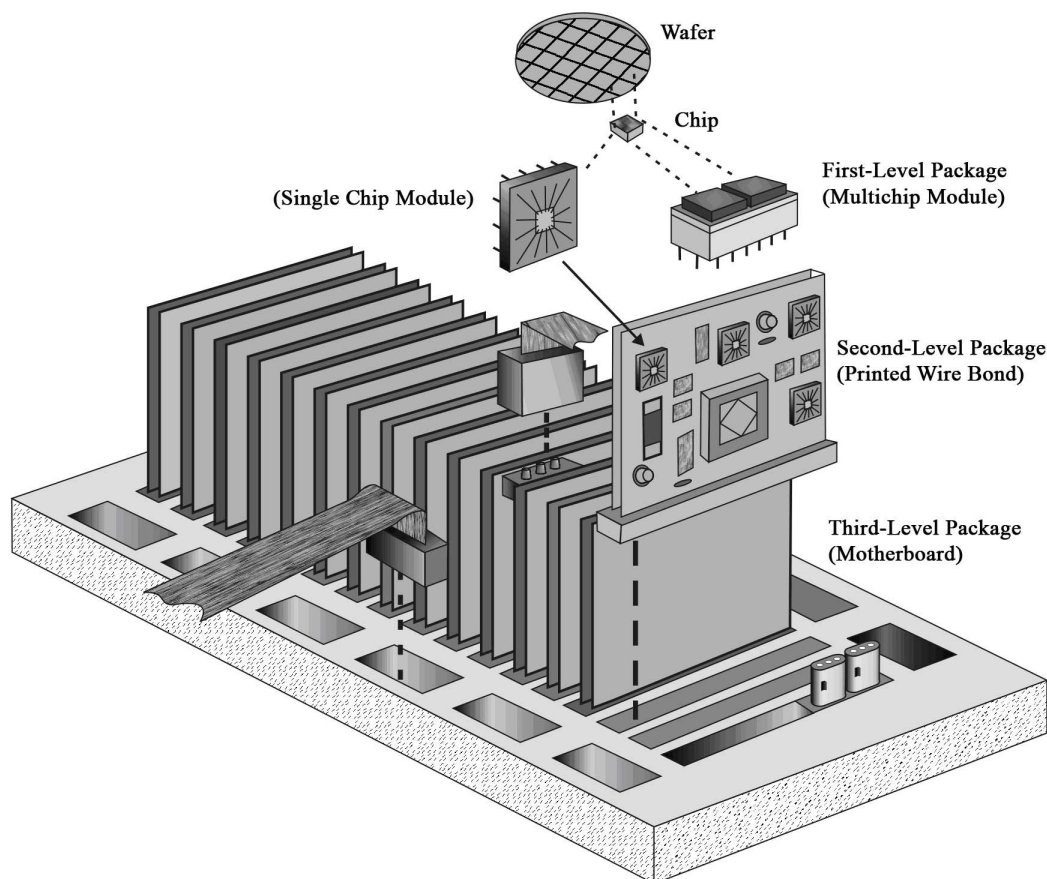


Fig. 3 Ierarhizarea în packaging-ul electronic

Mecanismele principale de transfer termic și tehnicile uzuale de evacuare a căldurii variază substanțial de la un nivel la altul. Din punct de vedere termic, nivelul 1 din packaging este orientat în primul rând pe transferul căldurii de la chip către suprafața capsulei și apoi în cablajul imprimat. La acest nivel, reducerea rezistenței termice dintre chip-ul de siliciu și suprafața exterioară a capsulei este soluția cea mai eficientă de scădere a temperaturii chip-ului.

După cum se poate vedea în tabelul 1, în practică sunt disponibile tehnici pasive diferite de răcire pentru reducerea rezistenței termice. De exemplu, performanțe termice îmbunătățite se pot obține prin folosirea unor adevizi de atașare a chip-ului

cu particule de diamant, argint sau alt material de umplere de conductivitate ridicată, vaseline/paste termice, și materiale „cu schimbare de fază”, care se înmoaie la temperatura de funcționare pentru un contact mai bun la suprafața chip-ului. Alternativ, atașarea la chip de planuri metalice cu funcția de disipatoare termice, simultan cu utilizarea unor compound-uri de capsulă îmbunătățite termic și de canale de conducție termică, pentru PBGA și capsule “lead-frame”, pot de asemenea conduce la rezultate favorabile.

Nivelul de packaging electronic	Tehnici pasive de evacuare a căldurii (răcire)	Tehnici active de evacuare a căldurii (răcire)
Capsulă IC Nivel 1	Adeziv de conductivitate termică ridicată	Răcire cu jet de aer
	Vaseline	Lichide dielectrice
	Materiale cu schimbare de fază	
	Compound de încapsulare cu conductivitate termică ridicată	
	Disipator de căldură	
	Canale de conducție termică	
	Radiatoare	
	Imersie în lichide dielectrice	
Cablu imprimat (PCB) Nivel 2	Conducte de căldură	
	Planuri groase de masă și alimentare	Ventilatoare
	Substraturi metalice izolate	Lichide dielectrice
	Conducte de căldură	Arii plane reci
Sistem Niveluri 3 și 4	Convecție naturală	
	Conducte de căldură	Gestionarea fluxului de aer
		Arii plane reci
		Sisteme de refrigerare

Tab. 1 Tehnici pasive și active de evacuare a căldurii

De asemenea, o metodă uzuală de răcire este de a atașa radiatoare pe suprafața capsulei pentru a crea suprafețe adiționale de evacuare a căldurii prin convecție. În figura 4 este prezentată schematic o capsulă de plastic cu terminale amplasată pe o placă de bază. Chip-ul și terminalele sunt încapsulate într-un material plastic (5). Capsula conține chip-ul de siliciu (7), ale cărei terminale sunt conectate prin tehnica “wire-bonding” (6) de un set de terminale (2). Acestea sunt conectate prin lipire la placa de bază (1). Radiatorul (4), utilizat pentru răcire, este atașat la suprafața superioară a capsulei, folosindu-se o vaselină termo-conductoare (3).

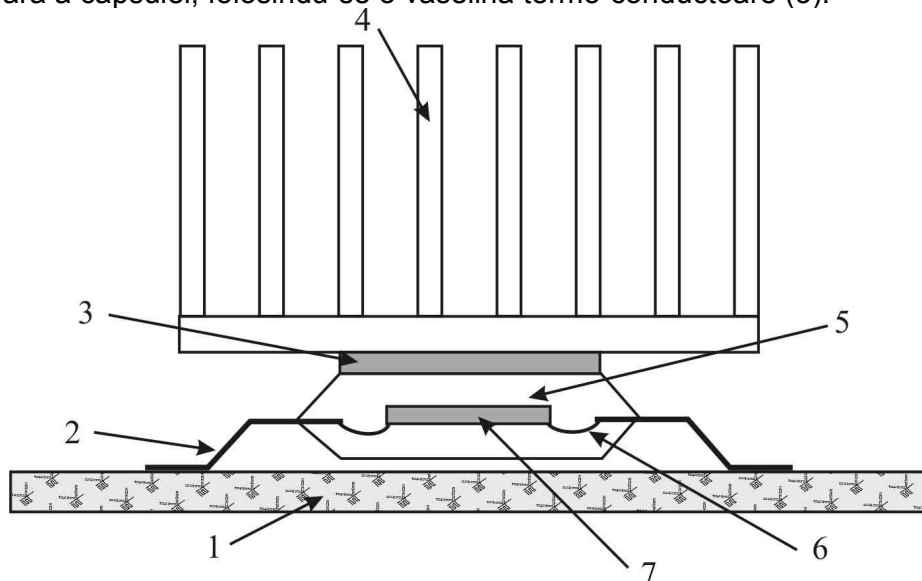


Fig. 4 Radiator atașat unei componente electronice

În concluzie:

Practica din industria electronică a demonstrat că mai mult de 50% din defectele produselor electronice se datorează unei abordări superficiale a managementului termic al componentelor, modulelor sau sistemelor electronice!!!



Analiza termică și de fiabilitate virtuală a devenit, în aceste condiții, o activitate esențială înaintea procesului de fabricație, cea mai bună cale de a obține, cu costuri de proiectare și fabricație minime, un produs electronic modern și competitiv.

Analiza termică și de fiabilitate virtuală “punctează” aspectele negative ale modul PCB real și permite estimarea apriori a problemelor legate de management termic.



Fig. 5 Locul managementului termic virtual în fluxul de proiectare CAD

Astfel proiectantul, prin modificarea dispunerii componentelor virtuale de pe placă și reluarea simulărilor până la obținerea unui rezultat corespunzător, poate economisi timpul și banii care ar fi fost cheltuiți pentru fabricația produsului real, echiparea și testarea sa. În figura 5 este prezentat locul managementului termic virtual în cadrul fluxului de proiectare CAD. Se poate observa faptul că acesta este plasat înaintea procedurii de rutare deoarece sunt situații în care este nevoie, după o simulare cu rezultate nesatisfăcătoare, să se refacă plasarea în ideea găsirii unei configurații care să conducă la o soluție corectă. Dacă, după analiza termică, rezultatele nu sunt pozitive, proiectantul trebuie să realizeze o nouă plasare, să optimizeze soluția găsită și să facă analiza încă o dată (de două ori, de trei ori, etc., în caz de necesitate) până la obținerea hărții termice și rezultatelor de fiabilitate dorite.

Chiar dacă acest proces iterativ poate crea impresia (eronată, evident) că obținerea prototipului este dificilă și costisitoare (timp și bani de proiectare, simulare, iterații), mari companii ca IBM, Martin Marietta, McDonnell Douglas, NASA, Intel, Mercedes-Benz, Boeing sau Texas Instruments au ajuns la concluzia că aceasta este, de departe, cea mai ieftină modalitate de a obține din prima fabricație un produs electronic de bună calitate.

2. Studiarea unui sistem software de analiză termică și fiabilitate a produselor electronice

Sistemul BETASOFT este un software de analiză și simulare în domeniul evaluării termice și de fiabilitate a produselor electronice. Evaluarea poate fi realizată la nivel de componentă electronică, la nivel de modul sau la nivel de sistem. Betasoft conține în interiorul mediului de simulare 5 programe distincte. Aceste programe sunt următoarele: Betasoft-S (pentru sisteme electronice), Betasoft-R (pentru module electronice), Betasoft-C (pentru dispozitive/componente electronice), Betasoft-M (managerul de sistem) și CAD Integrator (blocul de interfațare cu programele PCB). În figura 6 este prezentată schema bloc a mediului Betasoft.

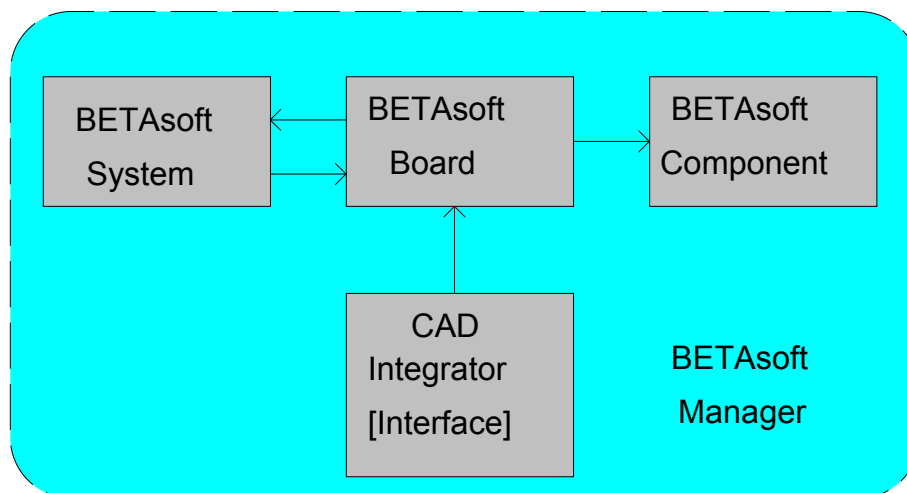


Fig. 6 Mediul de management termic Betasoft

Interfațarea cu programele de proiectare asistată de calculator a modulelor electronice se realizează cu blocul intitulat **CAD INTEGRATOR**, bloc ce realizează importul fișierelor PCB și “adaptează” componentele electronice pentru simularea termică, încărcându-le cu informațiile termice necesare. În acest fel sunt preluate de către modulul BETAsoft-R informațiile referitoare la dimensiunile geometrice ale plăcii, poziția și tipul componentelor. Parametrii caracteristici unei componente care

nu pot fi extrași din fișierul furnizat de programul CAD (de exemplu: puterea disipată, înălțimea capsulei, rezistența termică dintre capsulă și cipul de siliciu, etc.) primesc valori predefinite care, eventual, vor putea fi modificate manual de către utilizator folosind opțiunile programului de analiză. Acest inconvenient poate fi înlăturat dacă proiectantul are grijă să utilizeze în etapa de plasare numai componente fizice ("parts-uri"); în această situație programul de analiză va folosi propria bibliotecă de componente pentru a stabili valorile exacte ale parametrilor pentru fiecare componentă în parte.

Programul BETAsoft-C realizează analiza termică a componentelor electronice, luând în considerare structura internă complexă, 3D, a componentei. Temperatura ambiantă și condițiile de transfer termic pot fi considerate separat pentru fiecare suprafață a componentei. Aceste informații pot fi preluate direct, ca rezultat al analizei plăcii cu blocul BETAsoft-R. Programul simulează transferul termic prin terminale și prin radiatoare. Analiza termică se face în regim staționar sau tranzitoriu; proiectantul poate descrie evoluția în timp a până la 12 surse de putere independente. O facilitate deosebită este reprezentată de posibilitatea introducerii oriunde în volumul componentei a unor senzori care vor monitoriza variația locală a temperaturii și a impedanței termice. Utilitatea programului este deosebit de relevantă în special în cazul dispozitivelor de putere, MCM, circuite hibride, circuite de microunde.

BETAsoft-R - program de analiză termică a modulelor electronice

Analiza termică la nivel de placă ("board") determină temperatura capsulei componentelor iar pentru dispozitivele microelectronice oferă și valoarea temperaturii joncțiunii. De asemenea, programul furnizează harta termică la nivelul plăcii. Analiza termică are la bază considerarea a numeroși factori constructivi și de mediu:

- ⇒ modelarea efectelor gravitației, presiunii și temperaturii aerului, direcției curentului de aer;
- ⇒ viteza aerului poate fi diferită pe cele două fețe ale plăcii;
- ⇒ analiza plăcilor cu mai multe straturi, de forme neregulate, la mijlocul sau la marginea rack-ului (sistemului), prevăzute cu șuruburi de prindere, radiatoare/ventilatoare termice, aflate în compartimente închise sau în aer liber, orientate orizontal sau vertical;
- ⇒ fluxul de aer poate fi natural, forțat sau combinat: determinat atât de ventilatoare cât și de convecția naturală;
- ⇒ efectele radiante sunt estimate pentru fiecare componentă în parte precum și pentru placă;
- ⇒ precizarea condițiilor termice la frontieră;
- ⇒ atașarea de ventilatoare, radiatoare sau pad-uri de conducție componentelor electronice;
- ⇒ prezența în interiorul sau pe suprafața plăcilor a unor regiuni metalice (de exemplu: trasee sau arii de cupru) care pot favoriza evacuarea căldurii;

În urma analizei termice proiectantul poate lua decizii cu privire la dimensiunile și forma plăcii, distanța dintre plăci (sau dintre placă și carcasă pentru un sistem închis), plasarea componentelor pe placă, oportunitatea utilizării ventilatoarelor și/sau radiatoarelor termice. Pe baza calculului termic se realizează apoi analiza de fiabilitate care estimează rata de defectare la un milion de ore de funcționare a fiecărei componente precum și timpul mediu între două defectări pentru întreaga placă. Calculele de fiabilitate urmăresc, în principal, specificațiile din standardul *MIL-HDBK-217E* precum și unele observații cuprinse în standardele *MIL-M-38510*, *MIL-*

STD-975, MIL-STD-1547, MIL-STD-843, MIL-R-10509/22684. Caracteristicile de fiabilitate ale componentelor sunt preluate din bibliotecă. Ele depind foarte mult de tehnologia de fabricație. Pentru o bună estimare a fiabilității sistemului, proiectantul poate impune o serie de factori care depind de condițiile de mediu (de la cele mai "blânde" la cele mai "dure"), calitatea componentei (de la seria comercială la cele mai exigente standarde militare), tensiunea de alimentare, puterea disipată.

O componentă din bibliotecă este caracterizată de următorii parametri:

1. clasa - se referă la tipul capsulei:
 - (1). DIP;
 - (2). SMD, pinii pe patru laturi expuși fluxului de aer;
 - (3). SMD, pinii pe patru laturi parțial expuși fluxului de aer;
 - (4). SMD, pinii pe patru laturi neexpuși fluxului de aer;
 - (5). SMD, pinii pe două laturi;
2. dimensiunea capsulei pe direcția X sau diametrul capsulei;
3. dimensiunea capsulei pe direcția Y sau $\cdot 1$ pentru o capsulă circulară;
4. dimensiunea capsulei pe direcția Z;
5. puterea disipată;
6. distanța dintre partea cea mai de jos a capsulei și placă;
7. coeficientul de emisivitate al capsulei;
8. rezistența termică joncțiune-capsulă ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$);
9. numărul de pini;
10. grosimea pinilor;
11. lățimea pinilor;
12. lungimea pinilor;
13. conductivitatea termică a pinilor sau a capsulei ($\text{Btu}/\text{hrft}^{\circ}\text{F}$);
14. rezistența termică radiator-aer ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$) la o viteză a aerului de 3 ft/s;
15. rezistența termică radiator-aer ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$) la o viteză a aerului de 10 ft/s;
16. tehnologia de realizare a componentei (CMOS, NMOS, TTL, ECL, etc.);
17. coeficient de complexitate (pentru circuite integrate), raportul [putere de operare/putere nominală] (pentru rezistoare) sau raportul [tensiune de operare/tensiune nominală] (pentru condensatoare);
18. coeficient de stres termic (numai pentru circuite integrate);
19. tensiunea de alimentare;

Observatii:

- parametrii 16-19 servesc exclusiv analizei de fiabilitate;
- toate dimensiunile geometrice trebuie precizate în inch;
- $1 \text{ Btu}/\text{hrft}^{\circ}\text{F} = 1,73 \text{ W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$;

Teoretic, pentru a realiza analiza unei plăci echipate, este nevoie de datele de intrare specificate mai jos. În realitate însă, alegerea convenabilă a unui număr limitat de parametri poate să conducă la realizarea unui compromis între precizia de simulare și efortul de setare a parametrilor de simulare.

1. - fișierul PCB;
2. - lista part-urilor folosite (de preferat);
3. - tipul sistemului: deschis/închis;
4. - poziția plăcii: orizontală sau verticală;
5. - poziția plăcii în rack: în interior, la marginea din stânga, la marginea din dreapta sau placă singulară;
6. - distanța față de plăcile adiacente sau față de pereții carcusei;
7. - plăcile adiacente au componente pe ambele fețe sau numai pe o față;
8. - puterea disipată totală a componentelor de pe plăcile adiacente;
9. - dimensiunea ghidajelor plăcii;

- 10.- viteza aerului (ft/min), care poate fi diferită pentru cele două fețe ale plăcii;
- 11.- direcția din care curge fluxul de aer: stânga, dreapta, sus, jos;
- 12.- temperatura aerului ambiant (°C);
- 13.- temperatura pereților carcusei (°C);
- 14.- coeficientul de emisivitate al plăcii (0...1);
- 15.- coeficientul de emisivitate al plăcilor adiacente (0...1);
- 16.- presiunea aerului (atm);
- 17.- umiditatea aerului (%);
- 18.- accelerația gravitațională (g);
- 19.- puterea disipată și factorul de calitate (după domeniu de utilizare: comercial, industrial, militar) pentru fiecare componentă;
- 20.- condițiile de frontieră pentru fiecare latură a plăcii: lungime segment de contact, rezistență termică de contact (°C*in/W), temperatură (°C);
- 21.- grosimea plăcii (maxim 3 straturi din materiale diferite);
- 22.- conductivitatea termică a plăcii (W/in*°C) - straturile 1 și 3;
- 23.- conductivitatea termică a porțiunilor metalice (W/in*°C) - straturile 1 și 3;
- 24.- conductivitatea termică a plăcii (W/in*°C) - stratul 2;
- 25.- conductivitatea termică a porțiunilor metalice (W/in*°C) - stratul 2;
- 26.- procentul volumic de metal, local;
- 27.- poziția suprafețelor având proprietăți speciale de conducție termică (pentru fiecare strat al plăcii).

Observatii:

- toate dimensiunile geometrice trebuie precizate în inch;
- 1 m/s = 196.8 ft/min

În urma simulării se obțin două de categorii de rezultate: termice și de fiabilitate. Harta termică prezintă temperatura board-ului și/sau a componentelor. Pentru componentele microelectronice se calculează două temperaturi: a capsulei și a cip-ului de siliciu (joncțiunii).

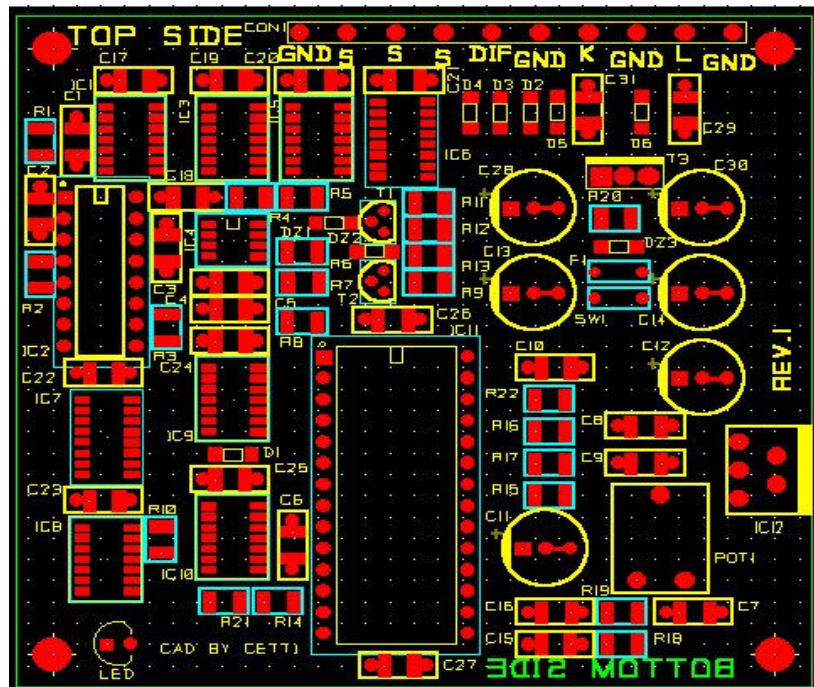


Fig. 7 Placă realizată într-un sistem PCB, cu componentele plasate



Fig. 8 Hartă termică obținută în urma simulării

Harta de fiabilitate indică numărul de defecte la un milion de ore de funcționare pentru fiecare componentă în parte precum și timpul mediu între două defectări (MTBF) pentru întregul modul electronic.

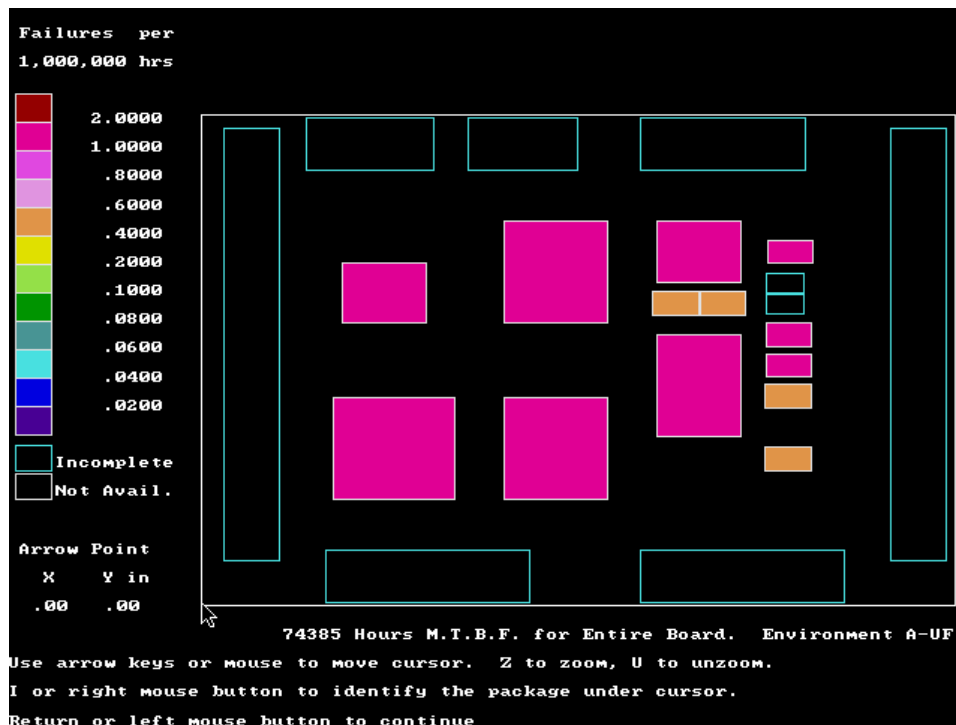


Fig. 9 Hartă de fiabilitate obținută în urma simulării

Trebuie precizat, în final, că în urma simulării sistemul Betasoft nu oferă soluții concrete de rezolvare a problemelor de natură termică, această sarcină revenind utilizatorului care se presupune că nu este doar un simplu operator al tehnicii de calcul ci un specialist în domeniu.

3. Proiecte de investigat în cadrul laboratorului

1. Să se studieze proiectul electronic intitulat CARD destinat managementului termic.

- Să se realizeze analiza termică a acestuia în sistemul internațional de unități (SI) și plaja de temperatură 25 - 100°C.
- Emisivitatea plăcii este 0,87, placa este amplasată orizontal iar sistemul (produsul în care se găsește placa) este unul închis.
- Se vor analiza ambele fețe ale plăcii. Pe care față sunt amplasate componentele electronice?
- Să se localizeze și să se dea detalii despre componenta cu cea mai mare putere disipată.
- Care este temperatura de joncțiune și de capsulă pentru componenta cea mai fierbinte de pe placă? Despre ce componentă este vorba?
- Care este temperatura de joncțiune și de capsulă pentru componenta cea mai rece de pe placă? Despre ce componentă este vorba?
- Să se genereze un grafic de temperatură OX-OY (temperatură funcție de poziție) având componenta cea mai fierbinte de pe placă în origine.
- Să se determine izoterma de 66,6°C.
- Care este cea mai mare temperatură ce poate fi măsurată pe placă?
- Să se investigeze aspectele de stres termic din cadrul modulului electronic și să se precizeze care componentele plasate în aria de stres.
- Să se vizualizeze 3D modulul electronic aflat în investigație și să se precizeze care sunt componentele cele mai înalte.
- Să se ofere soluții ingineresti pentru optimizarea managementului termic.

2. Să se studieze proiectul electronic intitulat POWER destinat managementului termic.

- Să se realizeze analiza termică a acestuia în sistemul internațional de unități (SI) și plaja de temperatură 10 - 80°C.
- Emisivitatea plăcii este 0,91, placa este amplasată vertical iar sistemul (produsul în care se găsește placa) este unul deschis.
- Se vor analiza ambele fețe ale plăcii. Pe care față sunt amplasate componentele electronice?
- Să se localizeze și să se dea detalii despre componenta cu cea mai mare putere disipată.
- Care este temperatura de joncțiune și de capsulă pentru componenta cea mai fierbinte de pe placă? Despre ce componentă este vorba?
- Care este temperatura de joncțiune și de capsulă pentru componenta cea mai rece de pe placă? Despre ce componentă este vorba?
- Să se genereze un grafic de temperatură OX-OY (temperatură funcție de poziție) având componenta cea mai fierbinte de pe placă în origine.
- Să se determine izoterma de 77,7°C.
- Care este cea mai mare temperatură ce poate fi măsurată pe placă?
- Să se investigeze aspectele de stres termic din cadrul modulului electronic și să se precizeze care componentele plasate în aria de stres.
- Să se vizualizeze 3D modulul electronic aflat în investigație și să se precizeze care sunt componentele cele mai înalte.
- Să se ofere soluții ingineresti pentru optimizarea managementului termic.

3. Să se studieze proiectul electronic intitulat AVIONIC destinat managementului termic.

- Să se realizeze analiza termică a acestuia în sistemul internațional de unități (SI) și plaja de temperatură 0 - 50°C.
- Emisivitatea plăcii este 0,83, placa este amplasată vertical iar sistemul (produsul în care se găsește placa) este unul închis.
- Se vor analiza ambele fețe ale plăcii. Pe care față sunt amplasate componentele electronice?
- Să se localizeze și să se dea detalii despre componenta cu cea mai mare putere disipată.
- Care este temperatura de joncțiune și de capsulă pentru componenta cea mai fierbinte de pe placă? Despre ce componentă este vorba?
- Care este temperatura de joncțiune și de capsulă pentru componenta cea mai rece de pe placă? Despre ce componentă este vorba?
- Să se genereze un grafic de temperatură OX-OY (temperatură funcție de poziție) având componenta cea mai fierbinte de pe placă în origine.
- Să se determine izoterma de 44,4°C.
- Care este cea mai mare temperatură ce poate fi măsurată pe placă?
- Să se investigeze aspectele de stres termic din cadrul modului electronic și să se precizeze care componentele plasate în aria de stres.
- Să se vizualizeze 3D modulul electronic aflat în investigație și să se precizeze care sunt componentele cele mai înalte.
- Să se ofere soluții ingineresti pentru optimizarea managementului termic.

4. Să se studieze proiectul electronic intitulat PCB destinat managementului termic.

- Să se realizeze analiza termică a acestuia în sistemul internațional de unități (SI) și plaja de temperatură 60 - 120°C.
- Emisivitatea plăcii este 0,90, placa este amplasată orizontal iar sistemul (produsul în care se găsește placa) este unul deschis.
- Se vor analiza ambele fețe ale plăcii. Pe care față sunt amplasate componentele electronice?
- Să se localizeze și să se dea detalii despre componenta cu cea mai mare putere disipată.
- Care este temperatura de joncțiune și de capsulă pentru componenta cea mai fierbinte de pe placă? Despre ce componentă este vorba?
- Care este temperatura de joncțiune și de capsulă pentru componenta cea mai rece de pe placă? Despre ce componentă este vorba?
- Să se genereze un grafic de temperatură OX-OY (temperatură funcție de poziție) având componenta cea mai fierbinte de pe placă în origine.
- Să se determine izoterma de 88,8°C.
- Care este cea mai mare temperatură ce poate fi măsurată pe placă?
- Să se investigeze aspectele de stres termic din cadrul modului electronic și să se precizeze care componentele plasate în aria de stres.
- Să se vizualizeze 3D modulul electronic aflat în investigație și să se precizeze care sunt componentele cele mai înalte.
- Să se ofere soluții ingineresti pentru optimizarea managementului termic.

≈ • ≈