

Proiectarea asistată de calculator a circuitelor imprimate

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

SVASTA, PAUL

Proiectarea asistată de calculator a circuitelor imprimate /

Paul Svasta, Ciprian Ionescu, Norocel Codreanu. - București : Editura
Academiei Oamenilor de Știință din România, 2011

Bibliogr.

Index

ISBN 978-606-8371-02-3

I. Ionescu, Ciprian

II. Codreanu, Norocel-Dragoș

004:621

Editura Academiei Oamenilor de Știință din România

Adresa: Splaiul Independenței, nr. 54, sectorul 5, cod 050094 București, România

Redactor: ing. Mihail CĂRUȚAȘU

Documentarist: ing. Ioan BALINT

Coperta: ing. sist. Adrian Nicolae STAN

**Copyright © Editura Academiei Oamenilor de Știință din România,
București, 2011**

**Paul Svasta
Ciprian Ionescu
Norocel Codreanu**

**Proiectarea asistată
de calculator
a circuitelor imprimate**



Editura Academiei Oamenilor de Știință din România

București

2011

CUPRINS

Cap. 1 Introducere în proiectarea asistată de calculator a circuitelor imprimate

1.1 Proiectarea asistată de calculator în domeniul electronic	7
1.2 Introducere în packaging-ul electronic	22
1.3. Noțiuni despre construcția și realizarea circuitelor imprimate	30

Cap. 2 Realizarea schemei electronice

2.1 Metode CAD de generare a schemelor electronice	43
2.2 Prezentarea programului Orcad Capture	47
2.3 Modalități de plasare a componentelor și trasare a conexiunilor	55
2.4 Crearea simbolurilor și componentelor virtuale.	67
2.5 Denumirea articolelor în sistemul ORCAD	85
2.6 Interfațarea dintre mediile de proiectare SCM și PCB	92

Cap. 3 Proiectarea structurii de interconectare

3.1 Introducere în blocul PCB	107
3.2. Prezentarea blocului de proiectare "LAYOUT" - ORCAD	111
3.3 Crearea plăcii de circuit imprimat și stabilirea specificațiilor de proiectare.	116
3.4. Crearea de capsule utilizate în blocul PCB	135
3.5 Plasarea componentelor	146
3.6 Realizarea structurii de interconectare	163
3.7 Operații finale și verificări asupra structurii de interconectare Virtuale	183

1. INTRODUCERE ÎN PROIECTAREA ASISTATĂ DE CALCULATOR

1.1 Proiectarea asistată de calculator în domeniul electronic

Termenul CAD preluat din limba engleză (Computer Aided Design) tradus prin PAC proiectare asistată (ajutată) de calculator este astăzi tot mai utilizat în legătură cu activitățile ingineresti.

Există în prezent programe CAD în domeniul mecanic, electric, microelectronic dar și în domeniul industriei ușoare (textile) sau chimice până în domeniul medicinei și al biologiei.

În domeniul la care se referă prezenta lucrare, prin CAD vom înțelege o serie de activități ingineresti realizate cu ajutorul calculatorului, activități ce concură la realizarea unui echipament electronic într-o formă virtuală care în final se va transpune într-un produs real.

Această lucrare are ca obiect prezentarea metodelor CAD în domeniul modulelor electronice, mai precis vom prezenta metodele CAD utilizate la generarea structurii de interconectare a unui modul electronic în formă virtuală. Celelalte activități conexe ce concură la realizarea produsului fac obiectul unei alte lucrări.

Dacă acum circa 10-12 ani în țara noastră proiectele sau documentația tehnologică erau integral realizate pe suportul tradițional (hârtie, calc), astăzi este greu de crezut că mai există unitate implicată în activități de cercetare dezvoltare, care să nu utilizeze calculatorul în faza de concepție și realizare a produselor.

Se poate pune întrebarea: de ce s-au impus tehnicile CAD? Răspunsul este că ele răspund la solicitările de mai bine, mai repede, mai ieftin, și nu în cele din urmă mai fiabil.

Este bine ca cei care se vor iniția în acest domeniu să nu uite aceste premize, deoarece există tendința de a realiza totul pe baza calculatorului, existând riscul de a transforma avantajele oferite de acesta în dezavantaje.

Activitățile CAD în domeniul modulelor electronice se regăsesc din punct de vedere tehnic în domeniul Electronică tehnologică- Packaging Electronic.

Termenul *Packaging electronic* – definește o ramură nouă în domeniul electronic, care se referă la multiplele etape necesare transpunerii unei scheme electrice (ideale) într-un produs electronic finit, gata de a fi utilizat. Produsul obținut în urma activității de packaging electronic este un package electronic.

Pentru conformitate, prezentăm definiția dată de Harper și Miller într-o lucrare apărută la una din cele mai prestigioase edituri din lume, editura McGraw-Hill, în care se menționează: „Packagingul electronic este acea disciplină inginerescă ce combină ingineria și tehnologiile de fabricație necesare pentru a converti o schemă electrică într-un ansamblu apt a fi fabricat. Acestea includ cel puțin proiectarea electrică, pe cea mecanică și de material precum și multe funcții precum ingineria, fabricația și controlul calității”¹.

În procesul de concepție și dezvoltare al unui package electronic trebuie avute în vedere o seamă de criterii, care sunt prezentate în figura 0.1.

Aceste criterii pot fi comparate cu verigile unui lanț, fiecare verigă a lanțului aducându-și propria ei contribuție la calitatea produsului final. De soliditatea lanțului de care atârână un package electronic depinde în ultima instanță competitivitatea acestuia.

Deși, poate la o primă vedere suntem tentați să acordăm atenție numai aspectelor de funcționalitate și celor economice și să neglijăm celelalte aspecte, este bine să privim cu mare atenție aspectele legate de tehnologie, testabilitate, fiabilitate, mentenanță și nu în ultimul rând aspectele legate de mediu: compatibilitatea electromagnetică și ecologie în general.

De cele mai multe ori, activitățile incluse în sistemul de concepție și dezvoltare reprezintă acțiuni de rutină cu impact minor în planul creativității, al conceperii schemei electronice, dar cu repercusiuni majore asupra funcționării și costului modulului electronic. De altfel, apariția calculatoarelor a condus la folosirea lor în activitățile de proiectare. Pe măsura creșterii performanțelor lor și apariției de programe de aplicație

¹ ELECTRONIC PACKAGING Is the discipline that combines the engineering and manufacturing technologies required to convert an electrical circuits into a manufactured assembly. These include at least electrical, mechanical and material design and many function such as engineering, manufacturing, and quality control.

performante, calculatoarele au fost incluse în automatizarea activităților incluse în sistemul de concepție și fabricație.

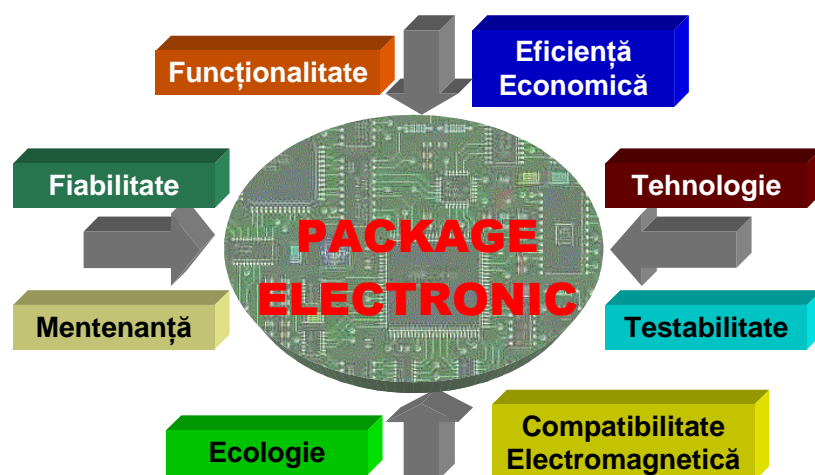


Fig. 0.1 Criterii avute în vedere la realizarea unui package electronic -modul electronic

Dacă inițial *software*-ul de aplicații a fost orientat cu prioritate spre eliberarea factorului uman de la activitățile extrem de obositoare și cu satisfacții profesionale reduse cum ar fi trasarea legăturilor dintre componentele electronice plasate pe substratul modulului electronic, cu timpul s-au creat programe ce practic acoperă întreaga gamă de activități ce sunt incluse în sistemul de concepție și fabricație. S-au dezvoltat programe care să permită conceperea schemei electrice direct cu calculatorul și ulterior crearea modulelor electronice, respectiv a structurii de interconectare precum și programe, care să efectueze simularea funcționării și optimizarea schemei electrice, analiza termică și de fiabilitate a modulului electronic, analiza compatibilității electromagnetice sau analiza integrității semnalelor.

Pentru înțelegerea activităților implicate în packaging-ul electronic, este util să se aibă în vedere numeroasele etape ce alcătuiesc fluxul de concepție și fabricație al modulului electronic, cu ajutorul calculatorului. Într-o formă simplificată, elementele ce constituie acest sistem al concepției și fabricației sunt prezentate în fig. 0.2.

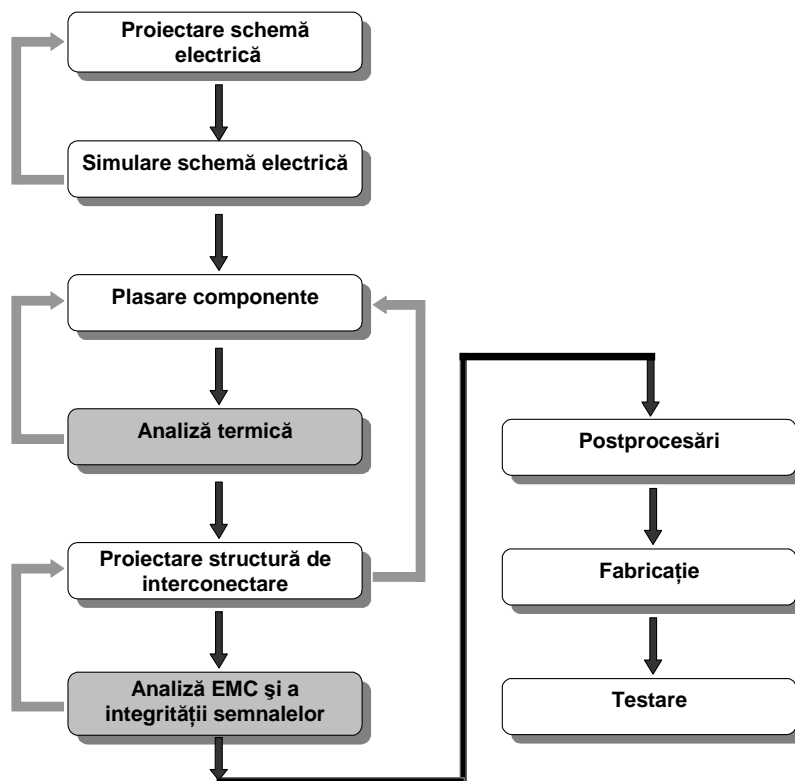


Fig. 0.2 Etape ale proiectării și realizării unui modul electronic cu ajutorul calculatorului, cu evidențierea analizei termice și EMC

Un sistem software, care conține etapele de analiză și proiectare din figura 0.2 se numește un sistem EDA (Electronic Design Automation) adică un sistem de proiectare electronică automatizată.

Fluxul de proiectare al modulelor electronice se poate baza pe un singur mediu integrat CAE-CAD-CAM sau pe diferite medii corelate să ofere o soluție adecvată pentru proiecte analogice, digitale și mixte, simulare de circuit, proiectare și optimizare de layout, verificare a regulilor de proiectare și cerințe DFM/CAM pentru interfațarea cu fabricația. Într-o prezentare detaliată, fluxul de proiectare implementează o tranziție progresivă de la idee la modulul real. Fluxul de proiectare include următoarele etape:

0. Stadiul de concepție;
1. Proiectarea la nivel de schemă;
2. Simularea de circuit și revenire la optimizarea proiectării schemei, în caz de necesitate;
3. Post-procesarea schemei;
4. Revenire și optimizarea schemei;

5. Proiectarea plăcii de circuit/cablaj imprimat (PCB/PWB); inclusiv plasarea componentelor, analiza termică și realizarea traseelor de interconectare.

6. Analiza integrității semnalelor și investigații asupra compatibilității electromagnetice;

7. Aplicare principii DFM și revenire și optimizarea de layout;

8. Post-procesarea de layout PCB/PWB;

9. Interfașarea proiectării cu cerințele și echipamentele de fabricație.

Prin programele performante existente astăzi, s-a ajuns la situația de a putea analiza și realiza în mod virtual viitorul modul. Aceste programe de mare performanță contribuie în mod hotărâtor la scurtarea la maximum a duratei de concepție, proiectare și fabricație a produsului sau a ceea ce în literatură se întâlnește sub sintagma *time to market*. Utilizarea acestor programe contribuie la reducerea numărului de iterații proiectare-experimentare-prototip, în acest fel fiind micșorat costul general al produsului, ceea ce reprezintă un factor esențial în asigurarea competitivității companiei.

Atragem însă atenția că nu este vorba de o proiectare automată, în sensul că inginerul proiectant devine un simplu executant cu un rol redus, ci de o automatizare a activităților, utilizând calculatorul pentru avantajele pe care acesta le aduce.

Fluxul de proiectare poate fi privit într-un context mai general ca fiind integrat într-un lanț mai cuprinzător, complet, având toate etapele implicate în dezvoltarea și introducerea de noi produse electronice pe piață. Aceste etape pot fi urmărite în figura 1.3.

Se remarcă în faza de proiectare conceptul de DFX, în care prin litera „x” poate fi înțeleasă multitudinea de aspecte de care trebuie să se țină seama în proiectare, de exemplu proiectarea pentru fabricație –DFM (Design For Manufacturing) sau cea pentru mediu DFE (Design For Environment). De asemenea, se observă multitudinea de activități necesare în faza de prototip sau industrializare, activități care erau, din păcate, de cele mai multe ori necunoscute specialiștilor implicați în concepția de produs.

Revenind la fluxul de proiectare din figura 1.2, se obișnuiește ca din punct de vedere formal activitățile de concepție a unui modul sau a structurii de interconectare asociate să implice trei faze, denumite generic CAE (*Computer Aided Engineering*), CAD (*Computer Aided Design*) și CAM (*Computer Aided Manufacturing*), cu traduceri în limba română: Inginerie asistată de calculator, Proiectare asistată de calculator și Fabricație asistată de calculator. Datorită generalizării utilizării acestora în limbajul de specialitate, se vor prefera abrevierile din limba engleză, cu observația că în

unele situații granițele dintre cele trei domenii nu sunt atât de nete, și deci activitățile aferente nu trebuie delimitate decât la modul formal.

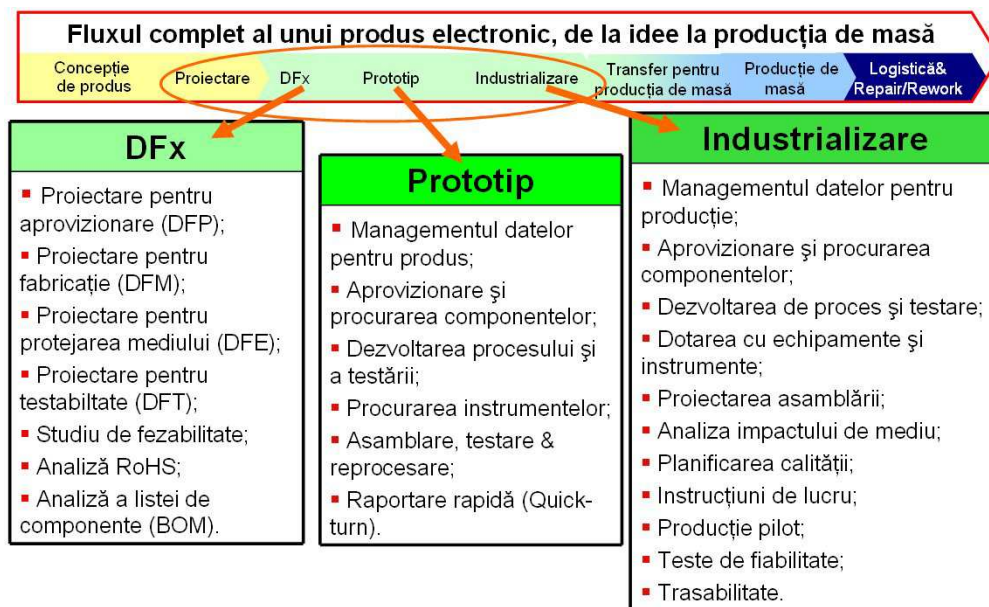


Fig. 1.3. Integrarea fluxului de proiectare în contextul general de concepție și realizare a unui produs, de la concepție la producția de masă.

O prezentare mai detaliată a activităților implicate în dezvoltarea modulelor electronice structurate în domeniile CAE-CAD-CAM este prezentată în figura 0.4.

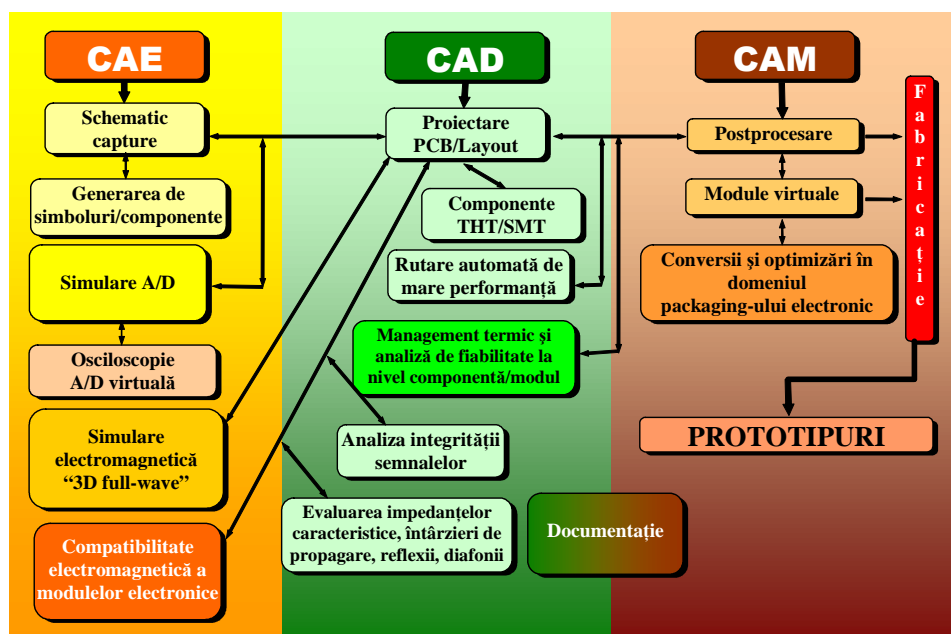


Fig. 0.4 Activități CAE-CAD-CAM în dezvoltarea modulelor electronice

În cele ce urmează vom prezenta mai detaliat anumite operații din fluxul de proiectare și realizare a modulelor electronice, flux prezentat în figura 0.2.

În prima fază se realizează introducerea în calculator a schemei electrice atașată modulului electronic. Această fază coincide de multe ori cu etapa proiectării schemei electrice. În limbajul programelor CAD blocul software în care se introduc schemele electrice este întâlnit sub denumirile în engleză „Schematic Capture” sau doar „Schematic” sau prescurtat SCM. Vom prefera în limba română denumirea de „bloc de realizare a schemei” cu prescurtarea SCM.

În această fază proiectarea vizează cu preponderență funcționarea electrică a schemei și mai puțin aspecte ce țin de problema construcției modulelor electronice. Proiectantul trebuie ca în cadrul fazei CAE să dispună de instrumente *software* capabile să alcătuiască schema electrică și în același timp să transmită calculatorului informații ce vor fi utilizate în alte faze ale conceperii structurii de interconectare. De mare importanță sunt aici bibliotecile de componente care trebuie să conțină cât mai multe informații ce vor fi utilizate în fazele următoare de proiectare.

Uneori apar situații când dimensiunea sau complexitatea schemei electrice recomandă o proiectare ce folosește strategii de reprezentare ierarhizată sau multi-pagină (concatenată). Astfel se permite lucrul simultan

al proiectanților în realizarea proiectului sau preluarea din arhivă a unor porțiuni de schemă ce pot fi incluse în schema electrică principală, reducându-se considerabil durata proiectării ei.

Etapa următoare după realizarea schemei este realizarea unei simulări electrice a acesteia. Putem aprecia că simularea permite verificarea viitorului produs electronic înainte de a fi fabricat, fiind foarte utilă în faza de cercetare-dezvoltare a produselor electronice. Simularea electrică este în prezent realizată cu programe de tip SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) dezvoltat inițial în cadrul Universității Berkley, California și implementat astăzi sub diferite forme în programe CAD. Rezultatele simulării care sunt în principiu valori ale tensiunilor și curenților în circuit, în cazul simulării circuitelor analogice sau forme de undă în cazul simulării circuitelor digitale sunt utile pentru aprecierea corectei funcționări a schemei. Prin simulare se poate aprecia de asemenea influența temperaturii sau a toleranțelor componentelor asupra funcționării circuitului (analiză “worst-case” sau Monte Carlo). Dacă există neconcordanțe între simulare și funcționarea dorită se poate reveni asupra schemei, realizând modificările necesare.

Etapa de proiectare PCB/PWB reprezintă dezvoltarea structurii de interconectare “on-board”, denumită uzual “circuit imprimat”. De regulă, aceste operații se realizează în bloc software numit prescurtat PCB (Printed Circuit Board) sau PCB Layout.

Odată cu operația de plasare a componentelor în interiorul plăcii virtuale de circuit se face trecerea la faza ce vizează efectiv proiectarea fizică a modulelor electronice. Plasarea componentelor pe placa de circuit se realizează ținând seama de criteriile de natură geometrică (mecanică), electrică și termică. Anumite programe dispun de facilitatea de plasare automată a componentelor, dar ținând seama de criteriile amintite și de importanța acestei operații asupra performanțelor viitorului modul se preferă plasarea manuală a componentelor sau în cel mai bun caz combinarea tehnicilor manuale cu cele automate.

În contextul EDA, proiectarea fizică a modulului electronic, pe lângă considerentele ce țin, de forma modulelor electronice și poziția componentelor electronice sunt avute în vedere aspecte termice și de fiabilitate, precum și analiza integrității semnalelor sau a compatibilității electromagnetice.

Deși nu aparține în mod uzual programelor PCB, analiza termică și forma ei mai avansată, managementul termic au legătură directă cu plasarea componentelor. Scopul analizei termice este determinarea prin calcul a temperaturii atinse, de o componentă sau de un subansamblu. De curând, problemele de analiza termică cunosc o etapă superioară odată cu impunerea

termenului "*thermal management*" adică tehnica de a îndepărta căldura, pe trasee controlate, de la elementele disipative de circuit spre exterior.

Orice componentă electronică disipă o anumită putere, lucru care duce imediat la creșterea temperaturii sale. La rândul ei creșterea temperaturii se reflectă în fiabilitatea componentei, ducând la scurtarea duratei de viață a acesteia. Din aceasta cauză analiza termică a unui modul electronic trebuie să se producă încă din faza de concepție pentru a se alege varianta de răcire optimă. Practic orice echipament electronic modern se confruntă din start cu problemele legate de evacuarea optimă a căldurii disipate în timpul funcționării. Este foarte important ca tehnicile de răcire folosite să nu implice utilizarea unor subsansambluri prea voluminoase sau care ar putea reduce semnificativ timpul mediu de viață al întregului sistem. În același timp trebuie urmărită o minimizare a costurilor implicate de sistemul de răcire pentru a nu se ajunge în situații hilare în care sistemul de răcire să fie mai scump (și în același timp mult mai voluminos!) decât sistemul electronic însuși.

În trecut analiza termică, ca urmare a disipațiilor electrice reduse pe de o parte și a evacuării termice naturale comparabile cu disipația electrică ce avea loc pe de alta parte, nu constituia un punct critic în procesul de proiectare. Aceasta deoarece în modulul electronic nu avea loc o acumulare în timp a puterii disipate reziduale (diferența între puterea electrică disipată și cea termică evacuată), acumulare ce conduce la creșterea temperaturii modulului electronic. Carcasele echipamentelor electronice aveau un volum suficient de mare încât nu se punea problema unui scurt-circuit termic. Pe de altă parte, posibilele supraîncălziri din sistem se "rezolvau" din start prin alocarea unor dimensiuni generoase pentru radiatoarele termice sau prin folosirea unor ventilatoare mai puternice. Această abordare a funcționat o perioadă deoarece disipația termică era mai scăzută decât în cazul sistemelor moderne iar pe de alta parte electronica era mult mai scumpă în comparație cu reperatele (electro)mecanice.

În ultimele decenii lucrurile s-au schimbat radical. Într-un articol foarte interesant (Oktay S., Hannemann R., Bar-Cohen A. - "*Heat Transfer: High Heat Flux From a Small Package*", Mechanical Eng., nr. 108, 1996, pp. 36-43) fluxurile termice prin dispozitivele electronice moderne sunt comparate cu cele ce caracterizează fenomene din natură. Concluzia finală a fost că fluxurile termice la nivelul cipurilor de siliciu au dimensiunea apropiată de procesele energetice naturale foarte puternice cum ar fi cele de la suprafața soarelui (măsurabile în zeci de MW/m²), ceea ce face ca cerința menținerii temperaturii maxime a joncțiunii, tipic între 125° și 150°C să transforme răcirea sistemelor electronice într-o veritabilă provocare.

Trebuie subliniat faptul că datorită creșterii atât a numărului cât și a densității tranzistoarelor în circuitele integrate moderne disipația termică a ajuns să reprezinte la ora actuală principalul impediment în creșterea frecvenței de tact (se știe faptul că puterea absorbită de o poartă logică de la sursa de alimentare crește cu frecvența semnalului digital de comandă). De aceea, proiectarea capsulei circuitului integrat în vederea obținerii unui management termic optimal, reprezintă una din cele mai grele sarcini în industria electronică modernă.

Practica arată că mai mult de 50% din defectele, care apar la produsele electronice au la bază abordarea superficială sau chiar eludarea aspectelor referitoare la solicitările de tip termic. În aceste condiții, analiza termică a sistemelor electronice, înainte de punerea lor în fabricație, devine o condiție esențială a proiectării moderne. Evidențierea și apoi eliminarea comportamentului necorespunzător la încălzire al unui prototip poate salva ulterior fabricantul de a depune un efort suplimentar substanțial pentru a corecta efectul dăunător al supraîncălzirii. Prin utilizarea în faza de concepție a produsului electronic a unei analize termice detaliate se pot rezolva înainte de realizarea prototipului anumite probleme legate de distribuția de temperatură în sistem. În multe cazuri tocmai soluția analizei termice este cea care decide dacă se poate trece la faza de realizare a prototipului.

În programele CAD destinate acestui domeniu, de regulă, rezultatele sunt prezentate sub forma unei hărți termice a plăcii. Pe baza temperaturii componentelor și a cunoașterii ratei de defectări a acestora se poate calcula media timpului de bună funcționare (MTBF) a modulului electronic. Se dorește în mod evident stabilirea unui regim termic în care componentele să nu fie excesiv solicitate termic, ceea ce asigură modulului electronic o rată mică de defectare.

Găsirea unui regim termic optim presupune de cele mai multe ori realizarea unor iterații. Se pleacă de la o variantă posibilă de plasare a componentelor, se stabilește harta termică a plăcii și se încearcă apoi modificarea plasării în vederea obținerii regimului termic dorit.

Odată stabilită poziția componentelor pe placă, se poate trece la proiectarea structurii de interconectare adică la trasarea legăturilor (rute, trasee) dintre componente. Operația prin care se realizează acest lucru este așa numita rutare, operație realizată pe baza informațiilor introduse în calculator odată cu schema electrică. Operația poate fi realizată atât manual cât și automat. În general algoritmi de rutare au la bază criterii geometrice și caută să minimizeze lungimea totală a arborilor de conexiune. Acești algoritmi sunt de tipul Lee sau Lee-Acker sau variante îmbunătățite ale acestora. Prin arbore de conexiune se înțelege totalitatea conexiunilor aflate

la un anumit potențial din structura modulului. Arborele de conexiune conține de fapt conexiunile atașate unui nod din schema electrică. Rutele sunt la rândul lor caracterizate de lungime, lățime, forma traseului urmat, numărul de treceri pe fețe diferite, etc. O mare atenție trebuie acordată de la început calculării lățimii traseelor (intensității curentului pe care îl pot accepta acestea), estimarea numărului de straturi (layer-e) de rutare, setarea spațierii între obiectele de proiectare, configurarea criteriilor DFM, alături de alte criterii. În final, modulul electronic este caracterizat de o structură de interconectare extrem de complexă.

Trebuie reamintit faptul că, înaintea rutării traseelor de interconectare, plasarea finală a componentelor a fost realizată pentru a îndeplini criteriile legate de obținerea unei hărți termice și de fiabilitate optime. Din această cauză, ea nu este optimă din punctul de vedere al traseelor electrice.

Dacă se constată dificultăți în procesul de rutare atunci se va reveni la plasarea componentelor încercând o altă variantă. Revenirea la etapele anterioare de proiectare se poate face de altfel după fiecare operație, mergând până la operația inițială adică modificând schema electrică și chiar concepția, dacă rezultatele anumitor operații sunt nesatisfăcătoare.

În fluxul de proiectare, după realizarea structurii de interconectare este necesară o validare din punct de vedere electric a acestei structuri.

Cum prin structura de interconectare circulă curenți și cum rutele aparținând unor arbori de conexiuni diferiți pot avea potențiale diferite, se pune problema stabilirii în ce măsură structura de interconectare modifică forma semnalului electric. Ramura tehnică care se ocupă cu studiul distorsionării semnalelor se numește Analiza Integrității Semnalelor (Signal Integrity –engl.). Această analiză a integrității semnalelor se bazează pe programe de aplicații care, plecând de la topografia structurii de interconectare, de la caracteristicile circuitelor electronice și luând în considerație caracteristicile dielectrice (ϵ_r) și magnetice (μ_r) ale suportului rutelor, stabilesc matricea elementelor parazite. Elementele parazite ale circuitului imprimat pot duce la modificări ale semnalelor și la funcționarea necorespunzătoare a circuitului. Matricea este alcătuită din capacități, inductanțe, rezistențe și împreună cu schema electrică formează o nouă schemă electrică la care traseele considerate anterior cu impedanță nulă sunt înlocuite cu linii de transmisiune corespunzătoare. Unele programe permit realizarea de analize și simulări sau este necesară verificarea printr-o nouă simulare SPICE.

Analiza integrității semnalelor are ca obiect în special studiul liniilor cu impedanță controlată, a întârzierilor de propagare pe traseele de semnal, diafonii, reflexii, etc.

La capacitatea de calcul existentă în prezent este dificil să se realizeze o analiză pentru toate traseele, trebuind să fie identificate acelea care pun probleme din punct de vedere al integrității semnalelor. Aici intervine experiența proiectantului care poate localiza rapid zonele cu probleme.

Ideea de bază pentru care se realizează analiza integrității semnalelor este validarea funcționării modulului și găsirea unei configurații optimizate a traseelor, fiind necesare și aici o serie de iterații.

Dintre programele de sine stătătoare utilizate la analiza integrității semnalelor amintim: SigXplorer, Hyperlynx, TxLine, Polar, Quantic OmegaPlus.

Alături de integritatea semnalelor, ca un domeniu de mai largă cuprindere se studiază și aspectele de Compatibilitate Electromagnetică (EMC- **E**lectro-**M**agnetic **C**ompatibility – engl.).

Orice modul și orice echipament electronic emite semnale electromagnetice atunci când este funcțional. Pentru că orice echipament electronic este sensibil la câmp electromagnetic, funcționarea sa normală poate fi perturbată de emisiile electromagnetice generate de alte echipamente. Pentru o bună funcționare în siguranță a tuturor aparatelor și echipamentelor au fost stabilite standarde internaționale care au ca scop stabilirea și permiterea funcționării echipamentelor în diferite situații. Respectarea cerințelor de compatibilitate electromagnetică reprezintă o condiție esențială pentru ca modulul electronic să poată ajunge în circuitul mondial de valori.

În 1980 Comisia Federală de Comunicații din Statele Unite a impus reguli pentru produsele electronice comerciale și din 1992 Uniunea Europeană solicită aplicarea mărcii CE pe orice echipament.

O cale preferată este aceea de identifica problemele din stadiul de „board” și a le rectifica. Apoi, dacă o frecvență particulară este identificată, inginerul poate face față situației de a identifica care net sau segment de net este cel care a cauzat emisia particulară.

Utilizarea simulării pe calculator anterioară realizării prototipului, este o metodă care poate ajuta la reducerea emisiilor neobservate și la numărul de teste de laborator. Eliminarea din timp a problemelor în decursul proiectării modulului electronic, conduce la o diminuare a costurilor de producție și la timpul până când produsul va ajunge pe piață.

Odată ce o emisie deosebit de mare este detectată pe anumite frecvențe, scopul este de a reduce această emisie. Tehnicile brute și costisitoare implicate în producție îngrădesc posibilitățile de remediere și diversele metode de eliminare sunt venite prea târziu pentru a mai remedia ceva. Alternativa este aceea de a se lua în considerare fenomenul de emisie încă de la nivelul de placă (board), în faza de proiectare.

Pentru analiza emisiilor electromagnetice sunt utilizate programe ca: ANSOFT HFSS (în prezent sub sigla ANSYS), Zeland IE3D și Fidelity, HP (Agilent) Momentum, Microwave Studio, Sonet, etc. sau se pot utiliza programe generale de analiză cu elemente finite ca: ANSYS, COMSOL, FemLAB, Flotherm/EMC.

Orice program s-ar utiliza, este foarte important ca software-ul să fie capabil să realizeze simularea în așa fel încât inginerul să fie concentrat pe latura electronică și nu pe cea matematică.

Etapele următoare din fluxul de proiectare corespund celui de-al treilea stadiu numit generic CAM- Fabricație asistată de calculator. Aceste operații sunt dedicate pregătirii elementelor necesare fabricației modulelor electronice.

Cum în această fază modulul electronic a fost deja validat în formă virtuală, este necesar să se obțină datele cu ajutorul cărora sunt comandate echipamentele ce realizează structuri de interconectare și ulterior module electronice. Operațiile de extragere de date sunt cunoscute generic sub numele de postprocesări.

În prezent circuitele imprimate se realizează prin tehnica fotolitografică, fiind necesară extragerea informațiilor referitoare la traseele de interconectare sau a măștii de lipire (solder mask- engl.) sau a marcajului de inscripționare (silk mask-engl.). Aceste informații sunt cunoscute sub numele de fișiere Gerber, aceste fișiere fiind utilizate la comanda utilajului numit fotoploter, utilaj ce realizează filmele fotografice utilizate în fabricație. Alături de informațiile referitoare la trasee sunt necesare și informații referitoare la găurile practicate în circuitul imprimat. Aceste informații sunt conținute în fișierele pentru comanda mașinii de găurit în coordonate (N.C. Drill- engl.), fișiere ce mai sunt cunoscute sub numele de fișiere Excellon.

În procesul tehnologic se realizează de obicei simultan mai multe circuite având un semifabricat de dimensiuni mari. Pentru aceasta este necesară multiplicarea și aranjarea repetitivă a layout-ului circuitului, operații cunoscute sub numele de panelizări și care sunt de asemenea operații tip CAM.

De asemenea, tot în categoria de postprocesări intră și operațiile de realizare a documentației tehnice sau tehnologice în formate specifice diverselor companii producătoare.

Relativ recent au început să fie utilizate diverse echipamente tehnologice pentru prototipuri, ce realizează circuitul imprimat prin gravare mecanică (frezare). Pentru comanda acestora sunt necesare operații de postprocesare CAM specifice, traseul rezultat fiind practic decupat din folia de cupru a laminatului prin deplasarea unei freze în jurul acestuia.

Dacă viitorul modul electronic se va realiza în tehnologia montării pe suprafață (SMT) sunt necesare o serie de postprocesări suplimentare. Prima categorie de postprocesări suplimentare se referă la cele destinate comenzilor echipamentelor de plantare automată cu componente, utilaje numite și *pick and place*. De asemenea, se pot realiza fișiere pentru realizarea șablonului (stencil-engl.), șablon care va fi utilizat la depunerea pastei de lipit sau a adezivului prin procedeul serigrafic. Dacă se va utiliza o mașină de depunere a pastei sau a adezivului, în locul serigrafiei, atunci sunt necesare alte postprocesări care să ofere informația necesară respectivei mașini.

Dacă modulul respectiv va fi testat la scurtcircuite sau la întreruperi utilizând un echipament adecvat, atunci este necesară, de asemenea, realizarea unor postprocesări dedicate care să ofere poziția pinilor (pastilelor) de test în concordanță cu numele arborilor de conexiuni. Un echipament specializat de testare permite să se aplice circuitului imprimat neechipat prin intermediul unor ace metalice semnale electrice ce pot determina eventualele întreruperi sau scurtcircuite existente în cablajul imprimat respectiv. O altă variantă de testare o reprezintă inspecția optică automată (AOI), unde imaginea plăcii de circuit imprimat este comparată cu o imagine de referință.

După cum se poate observa, pașii care conduc la realizarea modulelor electronice includ pe lângă considerente electrice (proiectarea schemei electrice, simularea ei, etc.) și activități de natură neelectrică cum ar fi analiza termică, postprocesări pentru fabricație, etc. În plus, prin reglementările internaționale apărute în ultimul timp pune din ce în ce mai mare accent pe respectarea restricțiilor de *compatibilitate electromagnetică* (CEM) și de mediu. În acest sens, directiva Comisiei Europene cunoscută sub numele de „RoHS” impune din anul 2006 utilizarea aliajelor de lipit fără plumb.

La începuturile utilizării calculatoarelor personale (sistemul DOS) în domeniul proiectării circuitelor imprimate existau diferențe între modurile de abordare și performanțele diverselor programe. Aceste programe au fost disponibile mai întâi pe stații grafice sub sisteme de operare tip UNIX. În prezent performanțele programelor s-au apropiat sensibil, diferențele dintre ele fiind minore iar un sfat pentru utilizarea unui anumit pachet software sau a altuia fiind greu de dat. Dintre cele mai cunoscute programe, sau sisteme, pachete de programe EDA utilizate în prezent amintim: CADENCE, MENTOR GRAPHICS, ZUKEN.

Anumite programe au fost integrate în sisteme EDA, dar pentru sistemele Intel/Windows în domeniul PCB sunt utilizate programele ORCAD, în prezent sub sigla CADENCE, Altium Designer (fost PROTEL)

Zuken (fost CADSTAR –inițial Racal-Redac), Mentor (PCAD, TANGO), EAGLE, ș.a..

Există de asemenea un mare număr de programe “low-cost” ca Electronics Workbench, TinaPRO, ș.a., care se pot constitui în alternative la programele mai evolute, în special pentru uzul personal.

În ultima vreme se constată că a apărut, ca o facilitate cerută de tot mai mulți utilizatori, reprezentarea tridimensională a circuitului imprimat, interfața către domeniul mecanic fiind de altfel foarte importantă. Din păcate lipsa de standardizare a formatelor pentru fișierele referitoare la circuitele imprimate în varianta „3D” face dificilă o abordare unitară, metodele de reprezentare tridimensională fiind diferite de la program la program.

Dintre avantajele utilizării metodelor Computer Aided Design în domeniul modulelor electronice, în electronică în general, amintim:

- Permit interfațarea imediată a activităților de proiectare (CAE-CAD) cu cele de fabricație (CAM)
- Permit utilizarea schemei și a circuitului imprimat într-un mediu de proiectare unitar, utilizând un flux de proiectare și o concepție structurată;
- Au o capacitate rapidă de creare și editare a componentelor sub formă virtuală;
- Permit generarea de rapoarte sub formă de fișiere cu diverse destinații: listă de componente, fișiere de transfer (Netlist) către diverse sisteme de proiectare;
- Beneficiază de proceduri automate de corectare, numire componente (Annotation) și reactualizare a schemei după lucrul în blocul PCB (Back Annotation);

Dacă ne referim, pentru ilustrare, numai la realizarea schemelor electronice, metodele CAD prezintă câteva avantaje importante față de metodele clasice de desenare:

- Redesenare ușoară a schemei;
- Creion și gumă “inteligente”;
- Ușor de creat spațiu pentru inserarea de componente suplimentare în schemă;
- Multiplicare rapidă a porțiunilor repetitive (copiere de blocuri);
- Generare rapidă, automată a documentației.