

# Evaluarea capacității de curent a traseelor de circuit imprimat

Norocel - Dragoș **CODREANU**

Facultatea Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației București  
codreanu@ieee.org

Traseele de circuit imprimat, din cauza valorilor reduse ale parametrilor lor geometrici ("lățime traseu -  $W$ " și "grosime folie conductoare -  $t$ "), nu permit trecerea unor curenți de intensitate oricât de mare. Din acest motiv proiectanții și utilizatorii de module electronice PCB trebuie să aibă în vedere, printre multe alte probleme mai mult sau mai puțin importante, și capacitatea de curent a traseelor de interconectare. Evoluția electronicii din ultimele decenii a simplificat destul de mult chestiunile și a micșorat substanțial necazurile provocate de problematica ce va fi tratată în articolul de față. Motivul principal îl reprezintă reducerea drastică a tensiunilor și curenților din aparatura electronică. Dacă în anii 60' cunoașterea formulelor și graficelor legate de curenții maxim admisibili prin trasee reprezenta o obligativitate pentru orice inginer sau tehnician electronist, în ziua de azi cel mult 5% din specialiști cunosc aceste lucruri (și aceia obligați de implicarea lor în domeniul tehnologiei electronice sau de proiectarea și fabricarea unor produse de puteri mari). Cu alte cuvinte, electronistul obișnuit, amator sau chiar profesionist, este departe de a putea estima limita de curent în cazul unui cablaj imprimat, nu puține fiind cazurile când montaje sau aparate proiectate în mod corect pe hârtie au fost catalogate drept rebuturi sau produse de slabă calitate numai pentru motivul că un anumit traseu se întrerupea (se "ardea", în limbajul hobby-știlor) datorită trecerii unui curent prea mare prin el, fapt ce conducea la defectarea mai simplă sau mai gravă a aparatului proiectat.

Prezentul articol dorește să facă o oarecare lumină în această chestiune și să ofere soluții practice de estimare a curenților maxim admisibili sau a lățimilor de traseu minim admisibile.

De la început trebuie spus că în ceea ce privește curentul printr-un traseu, acesta este limitat de doi factori importanți:

- fenomenul de încălzire datorat efectului Joule-Lenz;
- căderea de tensiune maxim admisibilă pe unitatea de lungime.

Uzual, evaluarea capacității de curent a traseelor de circuit imprimat se poate face prin două metode binecunoscute în inginerie: **analiza** - situație în care specialistul cunoaște lățimea traseului și dorește să determine curentul maxim admisibil prin acesta și **sinteza** - caz în care se cunoaște curentul maxim ce trebuie transportat și se dorește determinarea lățimii minim admisibile a traseului de interconectare.

Determinările au la bază utilizarea graficelor prezente în standarde de specialitate (cazul 1) sau utilizarea unor formule de calcul dezvoltate în conformitate cu studii și cercetări în domeniu (cazul 2).

## Cazul 1

Determinarea curentului maxim prin metode grafice se bazează pe relațiile curent-temperatură cunoscute de mai multe decenii. Standardul care a reprezentat piatra de

temelie în această determinare a fost IPC-D-275 (“Design Standard for Rigid Printed Boards and Rigid Printed Board Assemblies”, figura 3-4, pagina 10, IPC, ediția din septembrie 1991). IPC provine de la numele Institutului American de Standardizare pentru Circuite Imprimare (IPC - Institute for Printed Circuits, instituție care acum poartă numele Institute Connecting Electronics Industries). În cadrul acestui standard pot fi găsite diagrame prin intermediul cărora se poate determina curentul maxim admisibil pentru diferite configurații de traseu sau relații între lățimea traseului și aria secțiunii transversale, funcție de grosimea foliei de cupru care se aplică peste substratul izolator. Alături de standardul menționat mai sus stă și IPC-2221 (“Generic Standard on Printed Board Design”) care, în cadrul paragrafului 6.2 – “Conductive Material Requirements”, prezintă diagrame și note legate de dimensionarea traseelor PCB amplasate pe straturi externe sau interne. Aceste diagrame sunt considerate suficient de... acceptabile dar nu se poate spune că sunt deosebit de precise și uneori, în cazuri speciale, se recomandă ca specialistul să nu se bazeze pe ele “cu ochii închiși” (figura 1).

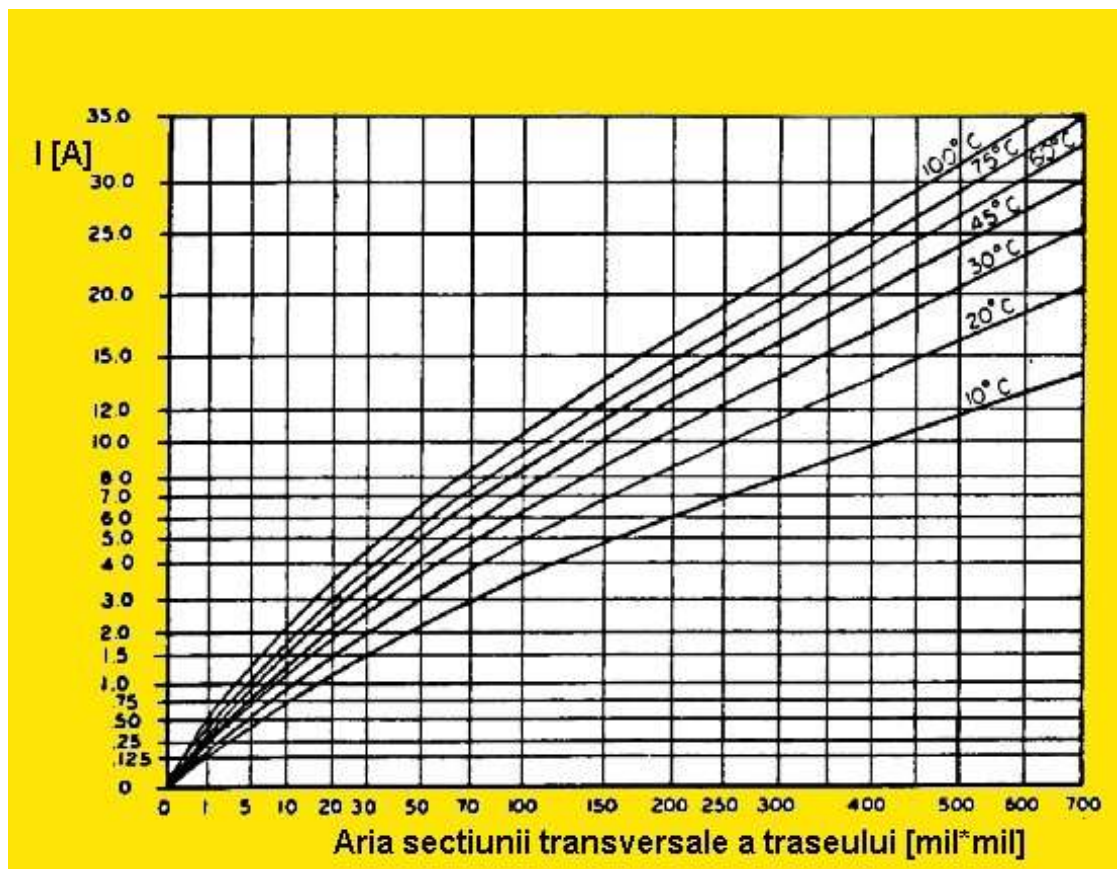


Fig.1 Grafic pentru determinarea curentului maxim admisibil funcție de lățimea traseului (conform “IPC - The National Roadmap for Electronic Interconnections 2000/2001”)

În România, standardul de stat STAS 7155-83, standard intitulat “Cablaje imprimate - prescripții pentru alegerea dimensiunilor și toleranțelor”, oferă în cadrul paragrafului 2.4 (“Conductoare și distanțe între conductoare”) un grafic informativ prin care se poate determina curentul maxim al traseului în funcție de dimensiunile

conductorului. Din păcate, o limitare a sa este faptul că ia în considerare doar lățimi de traseu de minimum 0,5 mm, știut fiind că în electronica actuală trasee de 0,3mm, 0,2mm sau chiar 0,1mm nu mai reprezintă nici o noutate.

## Cazul 2

Pentru a începe analiza bazată pe formule de calcul (considerată de specialiști ca fiind mult mai exactă) trebuie spus de la început că orice curgere de curent printr-un traseu conductor va conduce la creșterea temperaturii respectivului traseu, deci la apariția unei supratemperaturi în raport cu temperatura mediului ambiant. Deoarece este cunoscut faptul că formula puterii este  $RI^2$ , unde R reprezintă rezistența traseului, se poate preciza faptul că relația dintre curent și temperatură nu va fi una de dependență liniară. Mai mult chiar, datorită complexelor mecanisme de transfer al căldurii, în multe cazuri este posibil ca pentru condiții aparent identice să se obțină rezultate diferite. Cel mai simplu exemplu este acela al traseelor de arii egale dar de lățimi diferite. Este evident că traseul mai lat va evacua prin convecție o cantitate de căldură mai mare decât traseul mai îngust.

Calculul intensității curentului prin traseu pornește de la o formulă de forma:

$$I = k \cdot \Delta T^m \cdot A^n, \quad (1)$$

unde: I - intensitatea curentului [A];

$\Delta T = (T_{\text{traseu}} - T_{\text{ambiant}})$  - supratemperatura traseului de interconectare [K sau °C];

A - aria transversală a traseului de interconectare [mil<sup>2</sup>]. "Mil"-ul este o unitate des folosită în tehnologia electronică: 1mil = 25,4 μm = 0,001 inch);

k, m, n - constante.

După cum am amintit anterior, există numeroase situații în care aria este importantă și mărimile care conduc la aceasta:

$$A = W \cdot t, \quad (2)$$

unde: W - lățimea traseului [mil];

t - grosimea traseului [mil].

Din (1) și (2) rezultă că:

$$I = k \cdot \Delta T^m \cdot W^{n_1} \cdot t^{n_2}, \quad (3)$$

parametrii  $n_1$  și  $n_2$  fiind diferiți tocmai pentru a pune mai bine în evidență transmisia diferită a căldurii.

În urma utilizării unor tehnici matematice speciale, parametrii de mai sus au putut fi determinați și formulele de calcul au devenit următoarele:

$$I = 0,028 \cdot \Delta T^{0,46} \cdot W^{0,76} \cdot t^{0,54} \quad (4), \text{ pentru structuri}$$

PCB având grosimea foliei de Cu de 35 μm și 175 μm și

$$I = 0,034 \cdot \Delta T^{0,46} \cdot W^{0,76} \cdot t^{0,54} \quad (5), \text{ pentru structuri}$$

PCB având grosimea foliei de Cu de 70 μm.

Prima dintre relații poate fi utilizată și pentru calculul curentului printr-o structură PCB de 18 μm dar precizia se consideră a fi mai redusă.

În acest moment trebuie făcută o precizare foarte importantă: tot ceea ce a fost prezentat mai sus s-a referit la trasee de interconectare amplasate pe straturi externe (“top layer” sau “bottom layer”). În cazul în care traseele sunt amplasate pe straturi interne (“inner layers”) formulele prezentate nu mai sunt valabile. IPC oferă formula:

$$I = 0,015 \cdot \Delta T^{0,55} \cdot A^{0,74} \quad (6), \text{ dar mulți experimenterii}$$

susțin, fără riscul de a greși prea mult, că pentru același grad de încălzire al traseului (aceeași supratemperatură) curentul poate fi “luat” ca fiind jumătate din curentul ce trece printr-un traseu extern.

Specialiștii consideră că separarea ariei transversale în mărimile ei componente și utilizarea unor coeficienți diferiți conduc la o îmbunătățire a preciziei de calcul a intensității curentului prin traseul de interconectare.

Pentru ca lucrurile să fie mai explicite, în tabelul 1 sunt prezentate valorile curenților maxim admisibili pentru cele mai uzuale lățimi de traseu și grosimi de folie conductoare.

W [mm]	ΔT= 10°C			ΔT= 20°C			ΔT= 30°C		
	t= 18μm	t= 35μm	t= 70μm	t= 18μm	t= 35μm	t= 70μm	t= 18μm	t= 35μm	t= 70μm
0,2	0,32	0,47	0,82	0,45	0,64	1,13	0,54	0,77	1,36
0,3	0,44	0,63	1,12	0,61	0,87	1,54	0,73	1,05	1,86
0,4	0,55	0,79	1,39	0,76	1,09	1,92	0,91	1,31	2,31
0,5	0,65	0,94	1,65	0,90	1,29	2,27	1,08	1,55	2,74
0,6	0,75	1,07	1,90	1,03	1,48	2,61	1,24	1,78	3,14
0,7	0,84	1,21	2,13	1,16	1,66	2,94	1,40	2,00	3,54
0,8	0,93	1,34	2,36	1,28	1,84	3,25	1,55	2,22	3,92
0,9	1,02	1,46	2,58	1,41	2,01	3,55	1,69	2,43	4,28
1	1,11	1,58	2,80	1,52	2,18	3,85	1,84	2,63	4,64
2	1,87	2,68	4,74	2,58	3,69	6,52	3,11	4,45	7,86
3	2,55	3,65	6,54	3,51	5,03	8,88	4,23	6,06	10,70
4	3,18	4,55	8,03	4,37	6,25	11,04	5,26	7,54	13,31
5	3,76	5,39	9,51	5,18	7,41	13,09	6,24	8,93	15,77

**Tab. 1** Valorile curenților maxim admisibili pentru cele mai uzuale lățimi de traseu și grosimi de folie conductoare

Obs. practică: Atenție, un traseu exfoliat va accepta un curent mai mic decât un traseu dispus și fixat pe substratul izolator deoarece în acest caz evacuarea căldurii se va realiza practic numai prin mecanismul de convecție, nu și prin conducție.

În final se prezintă două formule aproximative, utile electroniștilor interesați. Prima, dedusă din relațiile de mai sus, permite calculul supratemperaturii, deci determinarea temperaturii unui traseu de interconectare în condițiile în care se cunosc rezistența traseului, lățimea sa, intensitatea curentului care îl parcurge și temperatura mediului ambiant:

$$\Delta T \cong \frac{k \cdot R \cdot I^2}{\sqrt{W}} = \frac{k \cdot P}{\sqrt{W}} \quad (7)$$

A doua formulă se referă la calculul rezistenței lineice a unui traseu. Pentru a obține această mărime se pot parcurge două căi: prima este cea clasică, conform cunoștințelor acumulate în liceu la fizică și nu va fi dezvoltată în acest articol. Cea de-a doua cale se bazează pe date din volumul “CRC Handbook of Chemistry and Physics, ediția nr. 64, pag. F-119” și calculează rezistența unui traseu de interconectare din cupru cu ajutorul formulei:

$$R = 0,039 \cdot \frac{0,6255 + 0,00267 \cdot T}{A} \quad [\Omega/\text{mm}] \quad (8)$$

unde: T = temperatura [°C];

A - aria transversală a traseului de interconectare [mil<sup>2</sup>].

**Concluzia importantă** de încheiere este aceea că evaluarea prin relații empirice sau metode grafice a capacității de curent a traseelor de circuit imprimat nu reprezintă modalități de determinare absolut precisă a mărimilor dorite. Se recomandă introducerea unui factor de ponderare  $\psi = 0,7 \dots 0,8$  pentru a obține o imunitate mai mare la inerentele erori de calcul (de exemplu, dacă s-a obținut o valoare maxim admisibilă de 2A printr-un anumit traseu, este bine să nu se accepte prin acesta curenți mai mari de 1,4 ... 1,6A; similar, pentru o lățime minim admisibilă de 1mm, este recomandabil să se realizeze respectivul traseu de minimum 1,25 ... 1,4mm)

≈●≈