

## 3. MAGISTRALE

Magistralele reprezintă căi electrice de transmitere a semnalelor între diferite elemente ale unui sistem de calcul. Un exemplu îl constituie magistrala sistem întâlnită la microcalculatoare, prin care se pot conecta la acestea memorii și plăci de extensie. În cadrul sistemelor de calcul există de obicei mai multe magistrale diferite.

Pentru a fi posibilă conectarea plăcilor de extensie ale diferiților producători la sistemele de calcul, trebuie să existe reguli bine definite asupra funcționării magistralei, care constituie protocolul magistralei, și specificații mecanice și electrice ale acesteia.

Anumite dispozitive conectate la magistrală sunt *active* și pot iniția un transfer, iar altele sunt *pasive* și așteaptă cererile de transfer. Dispozitivele active se numesc dispozitive *master*, iar cele pasive – dispozitive *slave*. Atunci când UCP solicită unui controler de disc citirea sau scrierea unui bloc, UCP are rol de *master*, iar controlerul are rol de *slave*. Controlerul de disc poate deveni *master*, de exemplu atunci când solicită memoriei acceptarea cuvintelor citite de pe disc. Memoria nu poate deveni *master*.

Pentru amplificarea semnalelor, dispozitivele master se conectează la magistrală prin *drivere de magistrală (bus driver)*. Similar, dispozitivele slave sunt conectate prin *receptoare de magistrală (bus receiver)*. Pentru dispozitivele care pot fi atât emițătoare cât și receptoare, se utilizează *circuite emițătoare/receptoare de magistrală (bus transceiver)*.

Aceste circuite de interfață cu magistrala sunt fie de tip *tri-state*, pentru a permite deconectarea lor de la magistrală, fie de tip *colector deschis*, prin care se obține un efect similar. Dacă două sau mai multe dispozitive conectate la o linie de tip colector deschis activează linia în același timp, rezultatul este funcția SAU logic între aceste semnale. Această conexiune se numește SAU *cablat (wired-OR)*.

Principalele aspecte de proiectare legate de magistrale sunt eliminarea unor fenomene electrice nedorite, modul de sincronizare și mecanismul de arbitraj. Aceste aspecte au un impact semnificativ asupra vitezei și a fiabilității magistralei.

### 3.1. Considerații electrice

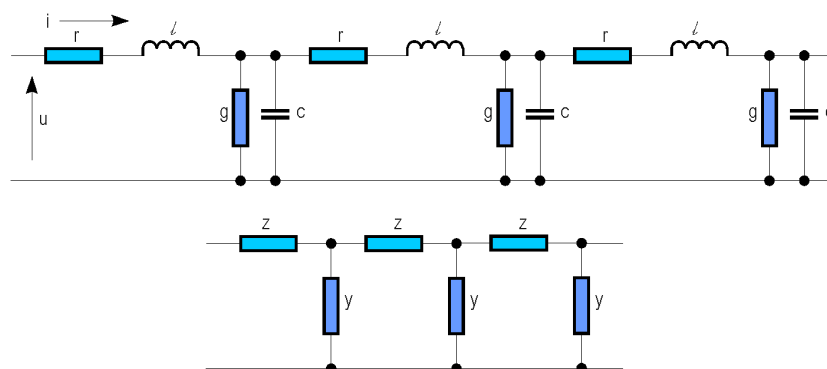
Odată cu creșterea frecvenței de funcționare a calculatoarelor, magistralele trebuie să opereze la frecvențe din ce în ce mai înalte. Proiectarea unor

magistrale optimizate pentru un timp de transfer minim necesită înțelegerea și minimizarea unor fenomene electrice a căror apariție determină scăderea fiabilității sistemelor. Dintre acestea, *reflexiile de semnal* sunt cele mai importante.

Reflexiile în liniile de transmisie sunt determinate în principal de discontinuitățile impedanțelor: încărcări capacitive necorespunzătoare, conectori, intrări ale dispozitivelor și treceri între diferite straturi ale circuitelor imprimate. Impactul unei discontinuități asupra unui semnal depinde de impedanța sursei semnalului, de lungimea și tipul discontinuității.

### 3.1.1. Linii de transmisie

O linie de transmisie clasică formată din două conductoare poate fi reprezentată în modurile echivalente din Figura 3.1.



**Figura 3.1.** Două moduri echivalente de reprezentare a unei linii de transmisie.

Linia de transmisie este reprezentată printr-o rețea diferențială de tip T cuprinzând impedanțe în serie și admitanțe în paralel, care reprezintă energia memorată și pierdută pe unitatea de lungime de-a lungul liniei [4]. *Energia memorată* în câmpurile magnetice și electrice pe unitatea de lungime este reprezentată prin  $l$  și  $c$ . *Pierderile de energie* pe unitatea de lungime sunt modelate prin  $r$  și  $g$ . La o anumită frecvență unghiulară  $\omega$ , avem:

$$z = r + j\omega l \quad (3.1)$$

$$y = g + j\omega c \quad (3.2)$$

Se definește *constanta de propagare*  $k$ , astfel încât:

$$k^2 = -z y \quad (3.3)$$

și viteza de propagare  $v_p$ :

$$v_p = \omega / k \quad (3.4)$$

Această viteză depinde deci de frecvență și de parametrii liniei, prin constanta  $k$ . Se poate demonstra că relația dintre tensiunea  $u$  și curentul  $i$  este:

$$\frac{u}{i} = \pm \sqrt{\frac{z}{y}} = \pm \sqrt{\frac{r + j\omega l}{g + j\omega c}} = \pm Z_0 \quad (3.5)$$

Mărimea  $Z_0$ , care depinde numai de parametrii liniei, se numește *impedanța caracteristică* a liniei. În cazul particular în care pierderile în linie sunt neglijabile ( $r = g = 0$ ), rezultă:

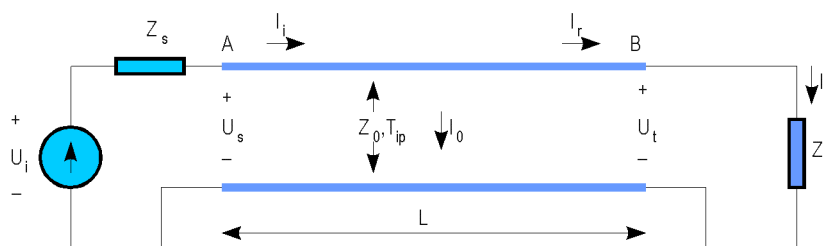
$$Z_0 = \sqrt{\frac{l}{c}} \quad (3.6)$$

$$k = \omega \sqrt{lc} \quad (3.7)$$

Cele două valori  $Z_0$  și  $k$  depind numai de parametrii liniei și de frecvență. Pentru liniile de alimentare,  $Z_0$  este în jur de  $300 \Omega$ . În cazul cablurilor coaxiale, impedanța caracteristică are valori tipice între  $50$  și  $75 \Omega$ .

### 3.1.2. Reflexii de semnal

În Figura 3.2 este reprezentată o linie de transmisie cu impedanța  $Z_0$  și timpul de propagare pe unitatea de lungime  $T_{ip}$ .



**Figura 3.2.** Linie de transmisie cu impedanța  $Z_0$  și timpul de propagare unitar  $T_{ip}$ .

Se consideră că linia are o sursă de tensiune ideală  $U_s$ , cu impedanța sursei  $Z_s$  în punctul  $A$ . Linia este terminată în punctul  $B$ , la o distanță de  $L$  unități de punctul  $A$ , printr-o impedanță de încărcare  $Z_t$ . Inițial  $Z_s$  este  $0$  ( $U_s = U_i$ ),

iar  $Z_t$  este o încărcare rezistivă. La momentul  $t = 0$ , liniei  $i$  se aplică o unitate de tensiune  $U_i$ . Curentul  $I_i$  determinat de  $U_i$  și  $Z_0$  se propagă prin linie. La momentul  $t = T_{ip} L = T_{prop}$ , curentul ajunge în punctul  $B$ . Pentru a se satisface legea lui Ohm pentru impedanța liniei și cea de încărcare, trebuie să aibă loc o corecție instantanee a tensiunii și curentului. Această corecție va lua forma unei unde electromagnetice reflectate, compusă din  $U_r$  și  $I_r$ . Semnalul *incident* va fi deci divizat într-un semnal *transmis* și un semnal *reflectat*.

Aplicând legea lui Ohm în punctul  $B$ , cu polaritățile din Figura 3.2, avem:

$$Z_t = \frac{U_t}{I_t} = \frac{U_i + U_r}{I_i + I_r} \quad (3.8)$$

$$Z_0 = \frac{U_i + U_r}{I_i - I_r} \quad (3.9)$$

Rezultă:

$$Z_t (I_i + I_r) = Z_0 (I_i - I_r) \quad (3.10)$$

sau

$$I_r (Z_0 + Z_t) = I_i (Z_0 - Z_t) \quad (3.11)$$

$$\frac{I_r}{I_i} = \frac{Z_0 - Z_t}{Z_0 + Z_t} = -\frac{Z_t - Z_0}{Z_t + Z_0} \quad (3.12)$$

Acest raport reprezintă *coeficientul de reflexie pentru curent*. Se utilizează de obicei *coeficientul de reflexie pentru tensiune*:

$$r = \frac{U_r}{U_i} = \frac{Z_t - Z_0}{Z_t + Z_0} \quad (3.13)$$

Coeficientul de reflexie indică diviziunea semnalului incident, fiind pozitiv pentru tensiunea reflectată și negativ pentru curentul reflectat. Are valori între -1 și 1 pentru o impedanță de încărcare între zero și infinit.

Se vor examina trei cazuri [4].

**Cazul 1:**  $Z_t = Z_0$ .

În acest caz, atunci când unda incidentă ( $U_i, I_i$ ) ajunge în punctul  $B$ , legea lui Ohm este respectată fără nici o corecție. Coeficientul de reflexie  $r = 0$ , și deci  $U_r = 0$  și  $I_r = 0$ .

**Cazul 2:**  $Z_t > Z_0$ .

Atunci când unda incidentă ajunge în punctul  $B$ , apare o reflexie. Dacă  $Z_t = 2Z_0$ , coeficientul de reflexie este  $r = 0,33$  (din ecuația (3.13)). Ast-

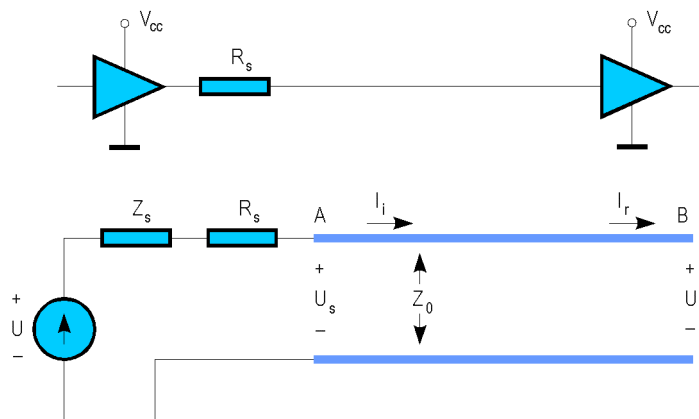
fel, în punctul  $B$  tensiunea este  $U_i + U_r = 1,33 U_i$ , iar curentul este  $I_i - 0,33 I_i = 0,66 I_i$ .

**Cazul 3:**  $Z_t < Z_0$ .

Din nou, apare o reflexie în punctul  $B$ . Presupunând că  $2Z_t = Z_0$ ,  $r = -0,33$ . Tensiunea în punctul  $B$  este  $0,66 U_i$ , iar curentul este  $1,33 I_i$ .

### 3.1.3. Terminatori

Fără utilizarea terminatorilor de magistrală, apar reflexii de semnal care determină oscilații. Terminatorii cei mai utilizați sunt cei rezistivi, care se pot conecta în serie sau în paralel.



**Figura 3.3.** Terminator serie.

În cazul *terminatorului serie*, se plasează o rezistență în serie cu ieșirea sursei (Figura 3.3).

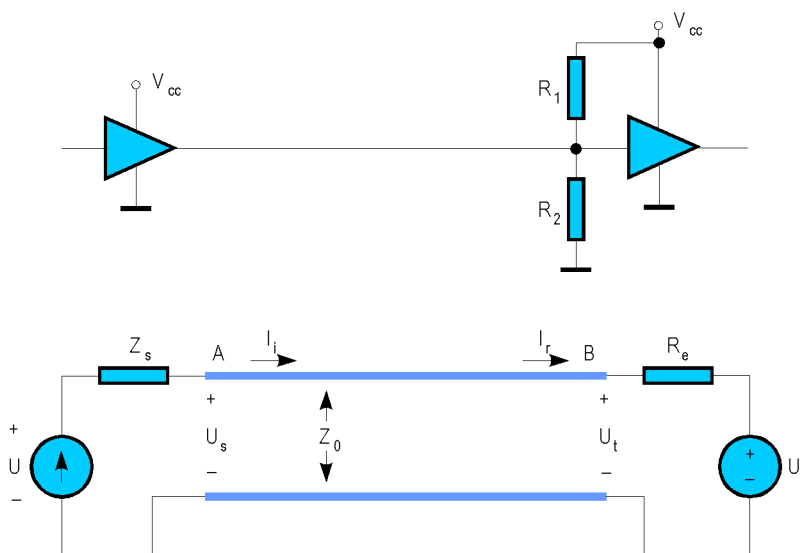
În cazul ideal, suma dintre valoarea rezistenței și impedanța sursei este egală cu impedanța caracteristică a liniei, sau:

$$R_s = Z_0 - Z_s \quad (3.14)$$

În general, sursele nu au impedanțe de ieșire simetrice. Impedanța de ieșire în starea *low*,  $Z_{ol}$ , de 5-25  $\Omega$ , este mai mică decât impedanța de ieșire în starea *high*,  $Z_{oh}$ , de 45-90  $\Omega$ . Rezultate satisfăcătoare se pot obține cu rezistențe având valori intermediare:

$$Z_0 - Z_{oh} < R_s < Z_0 - Z_{ol} \quad (3.15)$$

În cazul *terminatorului paralel*, se plasează rezistențe la capătul receptor al liniei. Implementarea se realizează de obicei printr-un divizor (Figura 3.4).



**Figura 3.4.** Terminator paralel.

Rezistența echivalentă trebuie să fie egală cu impedanța caracteristică  $Z_0$ . Rezistența echivalentă se poate determina prin relația:

$$R_e = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.16)$$

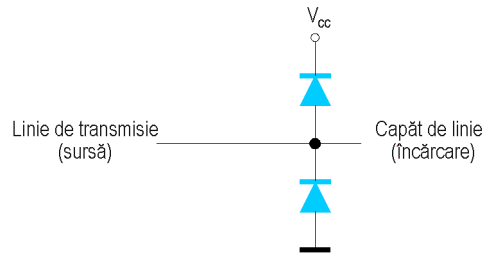
Tensiunea  $U_e$  se poate determina prin deconectarea divizorului de la linie și calculând tensiunea circuitului deschis.

$$U_e = V_{cc} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.17)$$

Alte forme a terminatorului paralel se pot obține prin conectarea unei singure rezistențe la  $V_{cc}$  (*pull-up*), respectiv la masă (*pull-down*). O singură rezistență conectată la  $V_{cc}$  va disipa putere numai când ieșirea sursei este *low*. Similar, o singură rezistență conectată la masă va disipa putere numai atunci când ieșirea sursei este *high*.

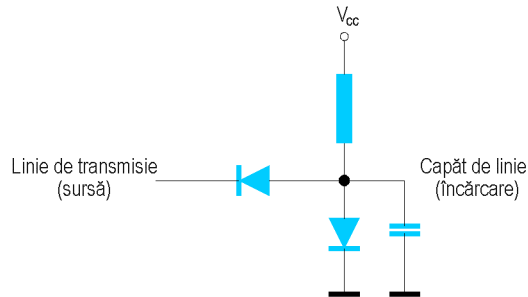
Terminatorul paralel se poate utiliza pentru magistralele bidirecționale.

O altă posibilitate pentru realizarea terminatorilor este utilizarea *diodelor de limitare* [4]. Dispozitivele TTL și CMOS au de obicei diode de protecție la intrare. Pe lângă protecția împotriva descărcărilor electrostatice, acestea permit și reducerea reflexiilor. O schemă posibilă este cea din Figura 3.5.



**Figura 3.5.** Terminator cu diodă de limitare.

Tensiunea de intrare va fi menținută între  $-0,5 \dots -1,5$  V și  $0,5 \dots 1,5$  V peste  $V_{cc}$ . În cazul circuitelor TTL bipolare, lipsește de obicei dioda conectată la  $V_{cc}$ . Pentru îmbunătățirea performanțelor, se poate adăuga o diodă *Schottky* rapidă, conectată la masă (și la  $V_{cc}$  dacă este necesar). Se poate utiliza o schemă îmbunătățită ca în Figura 3.6.



**Figura 3.6.** Terminator îmbunătățit cu diodă de limitare.

## 3.2. Magistrale sincrone și asincrone

După modul de control al transferului de informații, magistralele pot fi *sincrone* sau *asincrone*.