

Rezolvare probleme BB

I. Se consideră o transmisie BB care utilizează codul CMI, debitul cu care sunt preluate datele de la calculator este $D = 4800\text{bps}$. Circuitul de sincronizare este format din circuit de sincronizare dinamică + circuit de sincronizare rapidă care acționează pe ultimele 4 celule divizoare cu doi.

- Calculați valoarea maximă a frecvenței de atac pentru ca sincronizarea să aibă loc în cel mult 6.8ms .
- Știind că panta caracteristicii de atenuare a canalului este de $(3/1.8)\text{dB}/f_n$, iar componentele spectrale cu frecvența cea mai mică și cu frecvența cea mai mare din banda utilă a semnalului codat au amplitudini egale la emisie, calculați raportul dintre amplitudinea acestor componente la recepție.

Rezolvare

a.) Fiindcă debitul transmis în cazul codului CMI este dublu față de debitul furnizat de calculator, într-o secundă pot fi recepționate 9600 de fronturi, adică circuitul de sincronizare poate să facă 9600 de corecții de fază $f_{local} = 2 \cdot f_{bit} = 9600\text{Hz}$.

În timpul alocat sincronizării pot fi efectuate $\|6.8 \cdot 10^{-3} \cdot 9600\| = \|65.28\| = 65$ de corecții de fază, dar fiindcă există și circuit de sincronizare rapidă, circuitul de sincronizare dinamică are la dispoziție $n_p = 65 - 1 = 64$ pași pentru eliminarea defazajului inițial.

Valoarea maximă a defazajului inițial, rămas după acționarea circuitului de sincro rapidă, este:

$$\Delta\Phi_{\max} = \frac{360}{2^{n_1}} = \frac{360}{2^4} = \frac{360}{16} = 22.5^\circ$$

Pentru a elimina acest defazaj în n_p de pași lungimea minimă a unui pas trebuie să fie:

$$n_p \geq \frac{\Delta\Phi_{\max}}{\Delta\varphi} \Rightarrow \Delta\varphi \geq \frac{\Delta\Phi_{\max}}{n_p} = \frac{22.5^\circ}{64} \Rightarrow \Delta\varphi \geq 0.351^\circ$$

dar lungimea pasului este:

$$\Delta\varphi = \frac{360^\circ}{2^n} \text{ înlocuind în relația anterioară se obține:}$$

$$\frac{360^\circ}{2^n} \geq 0.351^\circ \Rightarrow 2^n \leq \frac{360^\circ}{0.351^\circ} = 1024 \Rightarrow n \leq 10$$

frecvența de atac maxim va fi:

$$f_{atac} = 2^n \cdot f_{local} = 2^n \cdot 2 \cdot f_{bit} = 9.8304\text{MHz}$$

b.)

Banda de frecvență în care este concentrată majoritatea energiei în cazul utilizării codului CMI este $B = [0.2; 2]f_N$, iar $f_N = \frac{f_s}{2}$, deci lărgimea de bandă este de $1.8 \cdot f_N$. Diferența de atenuare de

$$\text{la capetele benzii utile este dată de } \Delta a = P \cdot LB = \frac{3\text{dB}}{1.8f_n} \cdot 1.8 \cdot f_n = 3\text{dB}$$

II.

a) Un canal bifilar are o caracteristică atenuare-frecvență liniară, cu panta $P=0,2 \text{ dB/kHz}$. Pentru o recepție acceptabilă a semnalului este necesar ca diferența de atenuare între extremitățile spectrului util al unui semnal codat BB să fie de cel mult 3 dB. Alegeți din codurile BB studiate codul ce trebuie utilizat pentru a asigura debitul binar standard maxim posibil, astfel încât să se asigure o probabilitate de eroare minimă, o componentă continuă cât mai mică și o implementare cât mai simplă. **Notă:** debitele binare standard se obțin prin dublare plecând de la 300 bps.

b) Știind că timpul alocat sincronizării la recepție este $t_s = 1/2400s$, că secvența de date de sincronizare este „0” continuu, iar sistemul de sincronizare rapidă acționează pe primele 6 ranguri (dinspre ieșire) ale divizorului comandat, calculați frecvența de atac maxim permisă a sistemului de sincronizare, pentru codul și debitul alese la punctul a)? Câte ranguri are divizorul comandat? Desenați schema bloc a sistemului de sincronizare (d.+r.) pentru valorile determinate.

Rezolvare

a.) Diferența de atenuare între capetele benzii, în funcție de panta caracteristicii de atenuare este:
 $\Delta a = LB \cdot P$

Pentru ca diferența de atenuare să fie mai mică decât 3dB, lățimea de bandă trebuie să îndeplinească condiția:

$$LB_{max} \leq \frac{\Delta a}{P} = \frac{3dB}{0.2 \frac{dB}{kHz}} = 15kHz$$

În cazul utilizării codului bifazic care concentrează majoritatea energiei în banda:

$$B_{bif} = [0.5; 2.5] f_n; \Rightarrow LB_{bif} = 2 \cdot f_n \text{ adică } f_n \text{ maxim este } f_n \leq \frac{LB_{max}}{2} = \frac{15 \cdot 10^3}{2} = 7.5kHz \text{ asta}$$

înseamnă că f_s maxim este $f_s = 2 \cdot f_n = 15kHz$. Debitul binar standard maxim care poate fi transmis cu codul bifazic în această bandă este $D_{max} = 9600bps$

Dacă se utilizează codul Miller:

$$B_{MILLER} = [0.3; 1.3] f_n; \Rightarrow LB_{MILLER} = 1 \cdot f_n;$$

deci

$$f_{n_{max}} = \frac{LB_{max}}{1} = \frac{15 \cdot 10^3}{1} = 15kHz \Rightarrow f_{s_{max}} = 30kHz \Rightarrow$$

$$D_{max} = 19200bps$$

În cazul codului CMI

$$B_{CMI} = [0.2; 2] \rightarrow LB_{CMI} = 1.8 f_n$$

Deci

$$f_{N_{max}} = \frac{LB_{max}}{1.8} = \frac{15 \cdot 10^3}{1.8} = 8.33kHz \rightarrow f_{s_{max}} = 16.66kHz \rightarrow D_{max} = 9200bps$$

În cazul codului AMI

$$B_{AMI} = [0.3; 1.3] f_n; \Rightarrow LB_{AMI} = f_n;$$

deci

$$f_{n_{max}} = LB = 15kHz \Rightarrow f_{s_{max}} = 30kHz \Rightarrow$$

$$D_{max} = 19200bps$$

Debitul maxim este asigurat de codurile Miller și AMI care asigură debit de 19200bps

Deoarece aceste două coduri concentrează majoritatea energiei în aceeași bandă (dacă se transmite cu același debit), atenuarea medie a canalului este identică pentru cele două transmisii. Aceasta înseamnă că puterea semnalelor recepționate va fi aceeași indiferent de cod, considerând că s-a transmis cu aceeași putere.

Fiindă lățimea de bandă a semnalelor recepționate nu depinde de codul utilizat, la recepție se obține același raport semnal zgomot, indiferent de cod.

$$\rho_{AMI} = \rho_{MIL} = \frac{P_r}{N_0 \cdot LB} = \frac{P_e}{N_0 \cdot LB} = \frac{a(f_c)}{N_0 \cdot LB}$$

Dar, pentru calcularea probabilității de eroare asigurat de codul AMI, trebuie utilizat un raport semnal zgomot echivalent (fiindcă este un cod pe trei nivele):

$$\rho'_{AMI} = \frac{1}{2} \rho_{AMI}$$

Rezultă că $\rho'_{AMI} < \rho_{MIL}$,

Probabilitatea de eroare de bit se determină cu relația:

$$BER \approx Q(\sqrt{\rho})$$

Știind că funcția $Q()$ este o funcție monoton descrescătoare, probabilitatea de eroare pe bit va fi mai mică pentru codul cu ρ echivalent mai mare, adică, în acest caz, pentru codul Miller.

b.) Dacă secvența de sincronizare necodată este 0 continuu, în urma codării cu codul Miller se obține un semnal care schimbă starea la sfârșitul fiecărui bit (sau la mijlocul fiecărui bit), adică se transmite o tranziție la fiecare perioadă de bit $t_m = t_b$. Deci în intervalul alocat sincronizării se transmit

$$\frac{t_S}{t_b} = \frac{1}{\frac{2400}{19200}} = \frac{19200}{2400} = 8 \text{ din care prima tranziție recepționată este utilizată de circuitul de}$$

sincronizare rapidă, astfel rămân 3 fronturi pentru eliminarea defazajului ce rămâne în urma sincronizării rapide ($n_p = 7$).

Defazajul maxim ce rămâne după acționarea circuitului de sincronizare rapidă este:

$$\Delta\Phi_{max} = \frac{360^\circ}{2^{n_p}} = \frac{360^\circ}{2^6} = \frac{360^\circ}{64} = 5.625^\circ$$

Numărul de pași necesari eliminării acestui defazaj este:

$$n_p = \frac{\Delta\Phi_{max}}{\Delta\varphi}, \text{ adică lungimea minimă a pasului de sincronizare trebuie să fie:}$$

$$\Delta\varphi \geq \frac{\Delta\Phi_{max}}{n_p} \Rightarrow \Delta\varphi \geq 0.8035714^\circ$$

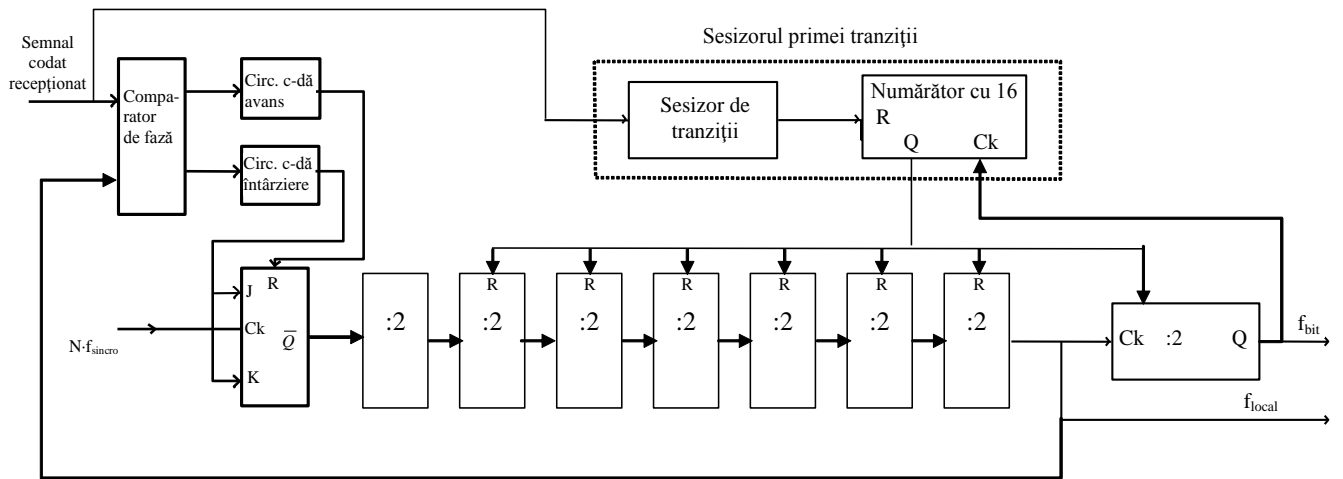
Adică

$$\frac{360^\circ}{2^n} \geq 0.8035714^\circ \Rightarrow 2^n \leq \frac{360^\circ}{0.8035714^\circ}; \Rightarrow 2^n \leq 447 \Rightarrow n \leq 8$$

Adică divizorul are maxim 8 ranguri, astfel frecvența de atac maxim va fi:

$$f_{atac_{max}} = 2^n \cdot f_{local} = 2^n \cdot 2 \cdot f_{bit} = 256 \cdot 2 \cdot 19200 = 9.8304 \text{ MHz}$$

Schema bloc a circuitului de sincronizare:



III.

Un modem bandă de bază transmite un debit util de informație 9600bps și utilizează un cod CMI. Dacă sistemul de sincronizare rapidă acționează pe ultimele 2 celule din divizor și frecvența de atac este de 2,4576MHz determinați timpul de sincronizare. Ce secvență de date trebuie aplicată codorului în intervalul de sincronizare pentru a se obține un timp de sincronizare minim.

Rezolvare

Defazajul maxim după sincronizare rapidă este:

$$\Delta\Phi_{max} = \frac{360^\circ}{2^{n_1}} = \frac{360^\circ}{4} = 90^\circ$$

Din raportul dintre frecvența de atac și frecvența locală se obține rangul divizorului din circuitul de sincronizare dinamică:

$$f_{local} = 2 \cdot f_{bit}$$

$$f_{atac} = N \cdot f_{local} \Rightarrow N = \frac{f_{atac}}{f_{local}} = \frac{2.4576 \cdot 10^6}{19200} = 128$$

De aici rezultă lungimea pasului de sincronizare

$$\Delta\varphi = \frac{360^\circ}{N} = \frac{360^\circ}{128} = 2.8125^\circ$$

Numărul de pași necesari eliminării defazajului inițial:

$$n_p = \frac{\Delta\Phi_{max}}{\Delta\varphi} = \frac{90^\circ}{2.8125^\circ} = 32$$

Timpul necesar efectuării acestor pași este:

$$t_s = (n_p + 1)t_m = 33t_m, \text{ unde } t_m \text{ este durata medie între două fronturi recepționate.}$$

Ca intervalul de sincronizare să fie minim, t_m trebuie să fie cât mai mic, adică semnalul de sincronizare recepționat trebuie să fie un semnal de tip 1:1. Pentru a obține un semnal codat CMI de tip 1:1, la intrarea codorului trebuie aplicat o secvență de date „0” continuu.

IV

Se consideră o transmisie BB cu debitul $D = 400$ kbps pe un cablu bifilar care are panta atenuării $|S| = 0,05\text{dB/kHz}$.

- a) Știind că diferența de atenuare între capetele spectrului util al semnalului codat trebuie de fie de maximum 10 dB, determinați codul BB ce trebuie utilizat pentru asigura debitul impus și totodată o probabilitate de eroare și o complexitate a implementării minime.

- b) Știind că sistemul de sincronizare (rapidă + dinamică) a tactului necesar decodurului codului de la a) are $f_{atac} = 25,6 \text{ MHz}$, iar sincronizarea rapidă acționează pe primele trei ranguri, dinspre ieșire, ale divizorului comandat, determinați durata minimă a intervalului de sincronizare, dacă circuitul nu acționează în absența informației de sincronizare. Care este secvența de date de sincronizare pentru care se obține această durată minimă?

Rezolvare

a.) în cazul utilizării unui cod bifazic cu debitul specificat, lărgimea benzii în care se concentrează majoritatea energiei este:

$$LB_{bif} = 2 \cdot f_N = 2 \cdot \frac{f_S}{2} = 2 \cdot 200 \cdot 10^3 = 400 \text{ kHz}$$

Diferența de atenuare între capetele acestei benzi este

$$\Delta\alpha = LB|S| = 400 \text{ kHz} \cdot 0.05 \frac{\text{dB}}{\text{kHz}} = 20 \text{ dB}, \text{ mai mare decât diferența de atenuare permisă.}$$

În cazul utilizării codului MILLER:

$$LB_{MILLER} = 1 \cdot f_N = 1 \cdot \frac{f_S}{2} = 1 \cdot 200 \cdot 10^3 = 200 \text{ kHz}$$

Diferența de atenuare între capetele acestei benzi este

$$\Delta\alpha = LB|S| = 200 \text{ kHz} \cdot 0.05 \frac{\text{dB}}{\text{kHz}} = 10 \text{ dB}, \text{ egală cu diferența de atenuare permisă.}$$

În cazul utilizării codului CMI:

$$LB_{CMI} = 1.8 \cdot f_N = 1.8 \cdot \frac{f_S}{2} = 1.8 \cdot 200 \cdot 10^3 = 360 \text{ kHz}$$

Diferența de atenuare între capetele acestei benzi este

$$\Delta\alpha = LB|S| = 360 \text{ kHz} \cdot 0.05 \frac{\text{dB}}{\text{kHz}} = 18 \text{ dB}$$

În cazul utilizării codului AMI:

$$LB_{AMI} = f_N = \frac{f_S}{2} = 200 \text{ kHz}$$

Diferența de atenuare între capetele acestei benzi este

$$\Delta\alpha = LB|S| = 200 \text{ kHz} \cdot 0.05 \frac{\text{dB}}{\text{kHz}} = 10 \text{ dB} \text{ egală cu diferența de atenuare permisă.}$$

Condiția este respectată de codul Miller și AMI. Raportul semnal zgomot echivalent este mai mare în cazul codului Miller, deci probabilitatea de eroare este mai mică în cazul codului Miller. (vezi II.a.)

b.) Defazajul maxim după sincronizare rapidă este:

$$\Delta\Phi_{max} = \frac{360^\circ}{2^{n_1}} = \frac{360^\circ}{8} = 45^\circ$$

Din raportul dintre frecvența de atac și frecvența locală se obține factorul de divizare a divizorului din circuitul de sincronizare dinamică:

$$f_{atac} = N \cdot f_{local} \Rightarrow N = \frac{f_{atac}}{f_{local}} = \frac{25.6 \cdot 10^6}{400 \cdot 10^3} = 64$$

De aici rezultă lungimea pasului de sincronizare

$$\Delta\varphi = \frac{360^\circ}{N} = \frac{360^\circ}{64} = 5.625^\circ$$

Numărul de pași necesari eliminării defazajului inițial:

$$n_p = \frac{\Delta\Phi_{max}}{\Delta\varphi} = \frac{45^\circ}{5.625^\circ} = 8$$

Timpu necesar efectuării acestor pași este:

$t_s = (n_p + 1)t_m = 9t_m$, unde t_m este durata medie între două fronturi recepționate.

Ca intervalul de sincronizare să fie minim, t_m trebuie să fie cât mai mic, adică semnalul de sincronizare recepționat trebuie să aibă cât mai multe tranziții. Cu codul Miller numărul maxim de tranziții pe unitate de timp se obțin codând secvența „0” continuu, astfel distanța dintre două tranziții consecutive va fi t_{bit}

Deci timpul de sincronizare va fi:

$$t_s = 9t_m = 9 \frac{1}{f_{bit}} = \frac{9}{400 \cdot 10^3} = 0.225ms$$

V

Se consideră un sistem de transmisie în banda de bază, care poate să utilizeze unul din codurile Bifazic sau CMI. Modemul primește datele de la calculator cu debit de 9600bps și utilizează un sistem de sincronizare rapidă+dinamică. Sincronizarea rapidă acționează pe ultimele 4 celule de divizare. Timpul de activare a detectorului de purtătoare este 10ms, iar durata intervalului de sincronizare $T_{RTS-CTS}$ este 25ms, pe durata intervalului de sincronizare se codează 1 continuu.

- Calculați lățimea minimă a zonei de echilibru dinamic și valoarea maximă a frecvenței de atac.
- Dacă diferența de frecvență dintre tacturile de simbol de la emisie și de la recepție este 2,5Hz, și se impune un sistem cu 10 celule de divizare cu doi, pe câte celule de divizare trebuie să acționeze circuitul de sincronizare rapidă, ca cele două semnale să poate fi sincronizate în intervalul de sincronizare?

Rezolvare

a.)

emițătorul începe să transmită date de sincronizare după activarea semnalului RTS. După un timp de $T_{RTS-CTS}$ activează semnalul CTS și începe să transmită datele utile. Asta înseamnă că la primul bit transmis după activarea semnalului CTS tactul local din receptor trebuie să fie sincronizat cu semnalul codat recepționat.

În receptor blocul de demodulare și blocul de sincronizare sunt activate de blocul de detector de purtătoare. Aceasta măsoară urmărește nivelul semnalului recepționat, dacă nivelul acestui semnal este mai mare decât un prag prestabilit timp de T_{CD} (astfel se asigură că creșterea semnalului recepționat nu se datorează zgomotelor din canal), activează semnalul CD, implicit și circuitul de sincronizare. Deci timpul real în care sistemul trebuie să efectueze sincronizarea este:

$$t_s = t_{RTS-CTS} - t_{CD} = 25 \cdot 10^{-3} - 10 \cdot 10^{-3} = 15 \cdot 10^{-3} s$$

Pe primul front recepționat acționează circuitul de sincronizare rapidă și pe următoarele n_p fronturi care sosesc în acest interval acționează circuitul de sincronizare dinamică, deci intervalul de sincronizare este: $t_s = (1 + n_p)t_m$ unde t_m reprezintă durata medie a intervalului dintre două fronturi recepționate consecutiv. În acest caz secvența de sincronizare recepționată este de tip 11001100....., deci se recepționează un front pe fiecare perioadă de bit, adică $t_m = \frac{1}{f_{bit}} = \frac{1}{9600}$.

După acționarea circuitului de sincronizare rapidă valoarea maximă a defazajului inițial este:

$$\Delta\Phi_{\max} = \frac{360^\circ}{2^{n_p}} = \frac{360^\circ}{16} = 22.5^\circ$$

Circuitul de sincronizare dinamică trebuie să elimine acest defazaj în n_p pași, deci lungimea minimă a unui pas de corecție este:

$$n_p \geq \frac{\Delta\Phi_{\max}}{\Delta\varphi} \Rightarrow \Delta\varphi \geq \frac{\Delta\Phi_{\max}}{n_p} = \frac{\Delta\Phi_{\max}}{\left(\left\| \begin{matrix} t_s \\ t_m \end{matrix} \right\| - 1 \right)} = \frac{\frac{360^\circ}{16}}{\left(\left\| \begin{matrix} 15 \cdot 10^{-3} \\ 1 \\ 9600 \end{matrix} \right\| - 1 \right)} = \frac{\frac{360^\circ}{16}}{\left(\left\| \begin{matrix} 15 \cdot 10^{-3} \\ 1 \\ 9600 \end{matrix} \right\| - 1 \right)} = \frac{360^\circ}{16 \cdot 143}$$

$$\text{Dar } \Delta\varphi = \frac{360^\circ}{2^n} \Rightarrow \frac{360^\circ}{2^n} \geq \frac{360^\circ}{16 \cdot 143} \Rightarrow 2^n \leq 16 \cdot 143 = 2288$$

Cea mai mare putere a lui 2 care este mai mică de 2288 este 2048 adică 2^{11} , deci divizorul comandat poate să conțină maxim 11 celule divizoare cu 2.

În cazul în care se utilizează 11 celule divizoare cu 2 pasul de corecție a fazei este:

$$\Delta\varphi = \frac{360^\circ}{2^{11}} = \frac{360^\circ}{2048} = 0.17578^\circ$$

Astfel lățimea zonei de echilibru dinamic este $x = 2 \cdot \Delta\varphi = 2 \cdot 0.17578^\circ = 0.35156^\circ$ cea ce este această lățime exprimată în timp va fi :

$$T_{\text{local}} = \frac{1}{f_{\text{local}}} \dots \dots \dots 360^\circ$$

$$t_1 \dots \dots \dots 2 \cdot \Delta\varphi$$

$$t_1 = \frac{2 \cdot \Delta\varphi \cdot \frac{1}{f_{\text{local}}}}{360^\circ}$$

$$\text{echivalent cu } t_1 = \frac{2 \cdot \Delta\varphi}{360^\circ \cdot f_{\text{local}}} = \frac{2 \cdot \frac{360^\circ}{2^{11}}}{360^\circ \cdot f_{\text{local}}} = \frac{2}{2^{11} \cdot f_{\text{local}}} = 5.08626 \cdot 10^{-8} \text{ s}$$

Valoarea maximă a frecvenței de atac este:

$$f_{\text{atac}} = 2^{11} \cdot f_{\text{local}} = 2048 \cdot 19200 = 39.3216 \text{ MHz}$$

b.) Dacă se consideră că frecvența de tact de la emisie mai mare cu $\Delta f = 2.5 \text{ Hz}$ decât frecvența semnalului de tact de la recepție, perioada semnalului de tact de la emisie va fi mai mică cu

$$\Delta t = \frac{1}{f_{\text{local}}} - \frac{1}{f_{\text{local}} + \Delta f} = \frac{f_{\text{local}} + \Delta f - f_{\text{local}}}{(f_{\text{local}} + \Delta f) \cdot f_{\text{local}}} = \frac{\Delta f}{(f_{\text{local}} + \Delta f) \cdot f_{\text{local}}}$$

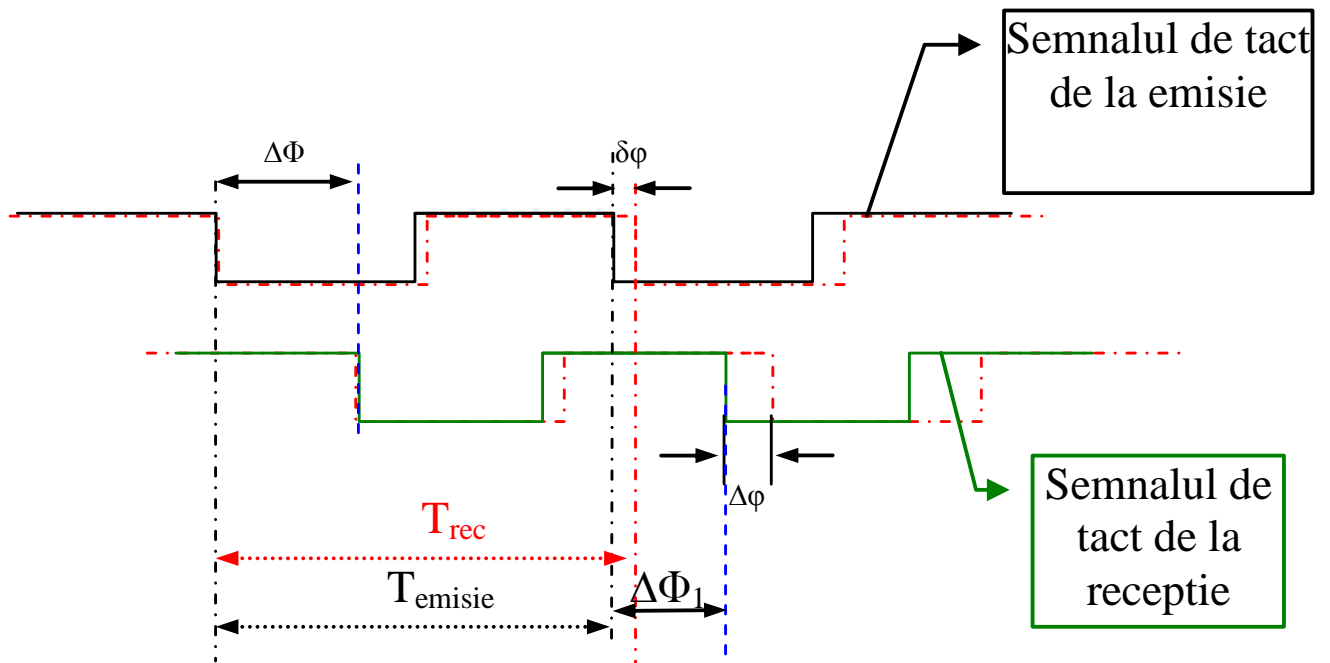
convertind acest interval în grade se obține defazajul care apare între cele două semnale de tact pe durata unei perioade:

$$\delta\phi = \frac{360^\circ \cdot \Delta t}{f_{\text{local}}} = 360^\circ \cdot \Delta t \cdot f_{\text{local}} = 360^\circ \cdot \frac{\Delta f}{(f_{\text{local}} + \Delta f) \cdot f_{\text{local}}} \cdot f_{\text{local}} = \frac{360^\circ \cdot \Delta f}{(f_{\text{local}} + \Delta f)}$$

Dacă după acționarea circuitului de sincronizare rapidă defazajul între cele două semnale de tact este $\Delta\Phi$ la sosirea primului front a semnalului recepționat, circuitul de sincronizare dinamică reduce acest defazaj cu $\Delta\varphi$ pe durata $2T_{\text{local}}$ (se recepționează un front la T_{local}), dar între timp frontul semnalului de tact de la emisie a alunecat față de frontul semnalului de la recepție cu un defazaj de $2\delta\phi$ corespunzător diferenței de perioade, mărind astfel defazajul dintre cele două semnale de tact cu $2\delta\phi$. Adică după primul pas de corecție al circuitului de sincronizare dinamică defazajul dintre cele două semnale de tact va fi:

$$\Delta\Phi_1 = \Delta\Phi + 2\delta\phi - \Delta\varphi = \Delta\Phi - \Delta\varphi'$$

Asta înseamnă că la fiecare corecție de fază defazajul inițial se reduce cu $\Delta\varphi' = \Delta\varphi - 2\delta\phi$, care este pasul efectiv de corecție.



Deci în intervalul de sincronizare circuitul poate să efectueze n_p pași de corecție cu lungime $\Delta\varphi'$. Ca sistemul să poată sincroniza cele două semnale defazajul inițial maxim trebuie să îndeplinească condiția:

$$n_p \geq \frac{\Delta\Phi}{\Delta\varphi'} \Rightarrow \Delta\Phi \leq n_p \Delta\varphi'$$

Înlocuind în relația de mai sus $\Delta\varphi'$ se obține

$$\Delta\Phi \leq n_p \cdot (\Delta\varphi - 2\delta\phi) \Rightarrow \Delta\Phi \leq n_p \cdot \left(\frac{360^\circ}{2^{10}} - 2\delta\phi \right) \Rightarrow$$

$$\Delta\Phi \leq n_p \cdot \left(\frac{360^\circ}{2^{10}} - 2 \frac{360^\circ \cdot \Delta f}{(f_{local} + \Delta f)} \right) \Rightarrow \Delta\Phi \leq n_p \cdot 360^\circ \cdot \left(\frac{(f_{local} + \Delta f) - 2^{10} \cdot 2 \cdot \Delta f}{2^{10} \cdot (f_{local} + \Delta f)} \right) \Rightarrow$$

$$\Delta\Phi \leq 143 \cdot 360^\circ \cdot (7.161797 \cdot 10^{-4}) \Rightarrow \Delta\Phi \leq 36.86^\circ$$

Adică

$$\frac{360^\circ}{2^{m_1}} \leq 36.86^\circ \Rightarrow 2^{m_1} \geq \frac{360^\circ}{36.86^\circ} \Rightarrow 2^{m_1} \geq 9.76 \Rightarrow m_1 \geq 4$$

Deci circuitul de sincronizare rapidă trebuie să acționeze pe cel puțin patru celule de divizare cu doi.