

3. Parametrii de sistem ai unui emițător

3.1. Parametrii emițătorului

Un emițător este un sub-sistem important într-un sistem wireless. În orice sistem wireless activ, un semnal va fi generat și emis printr-o antenă. Sistemul generator de semnal se numește emițător. Specificațiile unui emițător de pind de aplicație. Pentru un emițător la mare distanță sunt importante zgomotul mic și puterea emisă mare. Pentru un emițător de pe satelit sau de pe un sistem portabil este important o eficiență mare. Pentru un sistem de comunicații este important zgomotul mic și stabilitate bună. Un emițător poate fi combinat cu un receptor formînd un transceiver. În acest caz, se folosește un diplexor pentru a separa semnalul de emisie de cel de recepție. Diplexorul poate fi un comutator, un circulator sau un filtru diplexor, așa cum s-a discutat în capitolul 1.

Un emițător este format, în general, dintr-un oscilator, un modulator, un mixer ridicător, un filtru și un amplificator de putere, ca în figura 3.1.

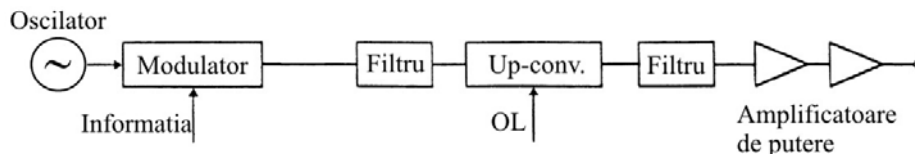


Fig. 3.1. Sistemul emițător

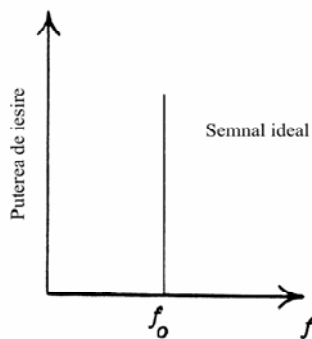
Informația va modula oscilatorul în amplitudine (MA), frecvență (MF) sau fază (MP). Semnalul de ieșire poate fi urcat în frecvență și apoi aplicat amplificatorului de putere care mărește puterea semnalului înainte de a fi emis printr-o antenă. Caracteristicile importante ale unui emițător sunt:

1. *Puterea de ieșire și frecvența de funcționare:* puterea de RF generată de emițător pe o frecvență sau într-o bandă de frecvențe.
2. *Eficiența:* eficiența de conversie CC-RF.
3. *Variația puterii de ieșire:* variația nivelului puterii de ieșire în banda de funcționare a emițătorului.

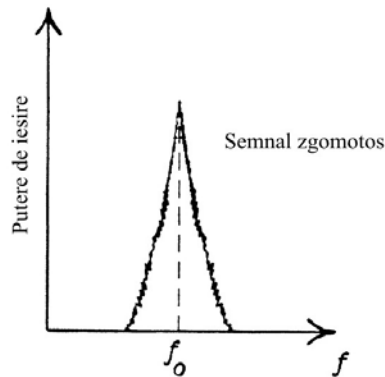
4. *Intervalul de acord al frecvenței*: intervalul de variație al frecvenței datorită acordului mecanic sau electronic.
5. *Stabilitatea*: capacitatea emițătorului de a reveni la punctul original de funcționare după ce a suferit o perturbare termică, electrică sau mecanică.
6. *Factorul de calitate*: factorul de calitate încărcat sau neîncărcat al circuitului rezonant al oscilatorului.
7. *Zgomotul*: zgomotul MA, MF și MP. Zgomotul modulației de amplitudine (AM) este variația nedorită a amplitudinii semnalului de ieșire, zgomotul modulației de frecvență (MF) este variația nedorită a frecvenței și zgomotul de fază (MP) este variația nedorită a fazei.
8. *Semnale parazite*: semnale de ieșire la frecvențe diferite de purtătoarea dorită.
9. *Variații de frecvență*: saltul de frecvență, " frequency pulling " și "frequency pushing". Saltul de frecvență este o modificare prin salt a frecvenței oscilatorului datorată neliniarităților din impedența dispozitivului active. "Frequency pulling" este modificarea frecvenței oscilatorului local la modificarea într-un interval de 360° a fazei unei sarcini de modul constant. "Frequency pushing" este modificarea frecvenței oscilatorului local datorită variației punctului static de funcționare.

3.2. Zgomotul emițătorului

Deoarece oscilatorul este un circuit neliniar, tensiunile și curenții de zgomot generați în el modulează semnalul produs de oscilator. În figura 3.2 este prezentat semnalul ideal și semnalul modulat de zgomot. Zgomotul poate fi clasificat ca: zgomot MA, zgomot MF și zgomot MP.



(a)



(b)

Fig. 3.2. (a) Semnalul ideal și (b) semnalul cu zgomot.

Zgomotul MA reprezintă variații nedorite ale amplitudinii semnalului de ieșire. Zgomotul MF sau zgomotul MP este indicat în figura 3.2b prin împrăștierea spectrului. Se definește un raport dintre puterea de zgomot într-o bandă laterală de 1 Hz și puterea purtătoarei:

$$\frac{N}{C} = \frac{\text{puterea de zgomot într-o bandă de 1Hz aflată la } f_m \text{ de purtătoare}}{\text{puterea purtătoarei}} \quad (3.1)$$

Așa cum se arată în figura 3.3, $\mathcal{L}(f_m)$ este diferența dintre puterea purtătoarei la frecvența f_0 , C(dBm), și puterea de zgomot la $f_0 + f_m$, N(dBm). Unitatea de măsură pentru $\mathcal{L}(f_m)$ este *decibeli sub purtătoare per hertz* (dBc/Hz).

În figura 3.4 se prezintă variația tipică a zgomotului MP a unui oscilator cu rezonator dielectric, [6]. Zgomotul de fază este 70 dBc/Hz la 1 kHz offset față de frecvența purtătoarei, și de 120 dBc/Hz la un offset de 100 kHz.

Este de subliniat că grosul zgomotului oscilatorului, în apropierea frecvenței purtătoare, este zgomot MF sau MP. Pentru a minimiza zgomotul MF se poate utiliza un circuit rezonat cu un factor de calitate mare, un dispozitiv activ cu zgomot mic, o buclă de calare a fazei sau evitarea funcționării în regiunea de saturație.

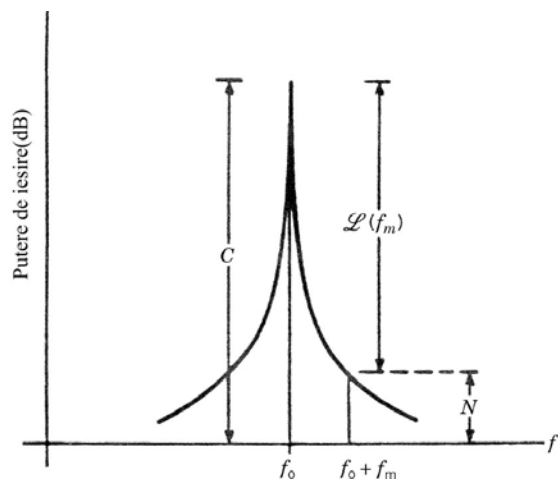


Fig. 3.3. Spectrul de putere al iesirii oscilatorului. Acest spectru poate fi vizualizat pe analizorul de spectru.

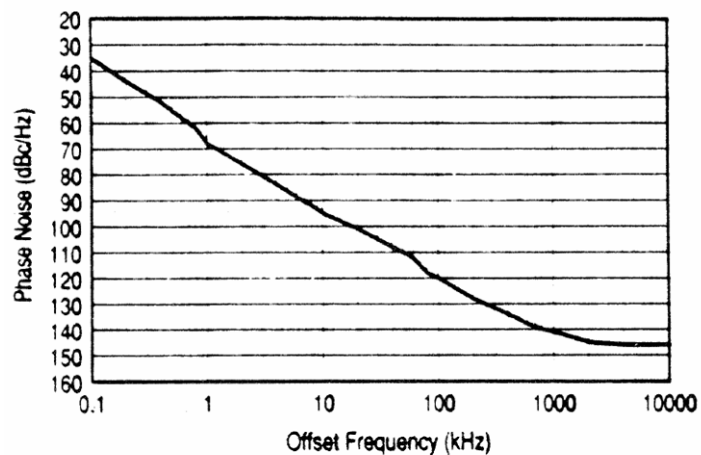


Fig. 3.4. Zgomotul de fază al unui oscilator cu rezonator dielectric, [6]

3.3. Stabilitatea de frecvență și semnale parazite.

Ușoare perturbații mecanice, termice sau electrice pot cauza modificarea frecvenței oscilatorului local. Aceste perturbații pot determina dispariția oscilațiilor deoarece ele pot modifica impedanța dispozitivului activ astfel încât condițiile de oscilație descrise în capitolul 1 să nu mai fie valabile.

Stabilitatea este o măsură a abilității oscilatorului de a reveni la punctul de funcționare staționar. Stabilitatea cu temperatura poate fi specificată în trei moduri diferite. De exemplu, la 10 GHz, un oscilator are următoarele specificații ale stabilității cu temperatura: $\pm 10 \text{ kHz}/^\circ\text{C}$, sau $\pm 800 \text{ kHz}$ între -30°C și $+50^\circ\text{C}$, sau $\pm 1 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$, unde ppm înseamnă părți per milion. La 10 GHz, $\pm 1 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ este echivalent cu $\pm 10 \text{ kHz}/^\circ\text{C}$:

$$\pm 1 \text{ ppm}/^\circ\text{C} \times 10 \text{ GHz} = \pm 1 \times 10^{-6} \times 10 \times 10^9 \text{ Hz}/^\circ\text{C} = \pm 10 \text{ kHz}/^\circ\text{C}$$

Un sistem de comunicații fără fir tipic necesită ca stabilitatea să se afle în intervalul $0.5 \dots 5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ și un zgomot de fază de la $-80 \dots -120 \text{ dBc/Hz}$.

Variațiile frecvenței se pot datora și altor probleme cum ar fi salturile de frecvență, "frequency pulling" și "frequency pulling", descrise în paragraful anterior. Un emițător cu zgomot mic și o bună stabilitate este important pentru un sistem wireless. Pentru a îmbunătăți stabilitatea putem folosi (1) circuite rezonante cu Q mare; (2) oscilatoare cu calare de fază sau sintetizatoare de frecvență.

Pentru un oscilator, semnalele parazite sunt semnalele nedorite la frecvențe diferite de cele ale semnalului dorit de oscilator local. Dacă frecvența semnalului dorit este f_0 , armonica a doua este $2f_0$, armonica a treia este $3f_0$ și așa mai departe. În figura 3.5, nivelele de putere ale armonicilor sunt cu mult mai mici decât nivelul frecvenței fundamentale. Specificarea puterii armonicilor este dată de numărul de decibeli sub purtătoare. De exemplu, puterea armonicilor a doua este -30 dBc , iar puterea armonicilor a treia este -60 dBc . Într-un emițător cu mixere ridicătoare și amplificatoare de putere pot exista și alte semnale parazite la ieșire datorită neliniarității acestor componente. Neliniaritatea poate determina ca două semnale să genereze produse de mixaj și de intermodulație.

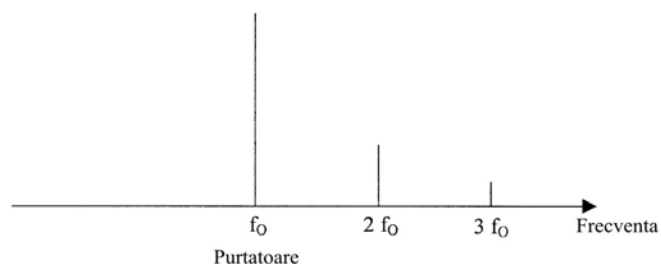


Fig. 3.5. Frecvența de oscilație și armonicile sale

3.4. Acordul în frecvență, puterea de ieșire și eficiența.

Frecvența de oscilație este determinată de frecvența de rezonanță a întregului circuit oscilator. La rezonanță, reactanța totală (sau susceptanța) este zero. Considerînd un circuit simplificat ca în figura 3.6, unde Z_D este impedanța dispozitivului activ și Z_C este impedanța circuitului extern.

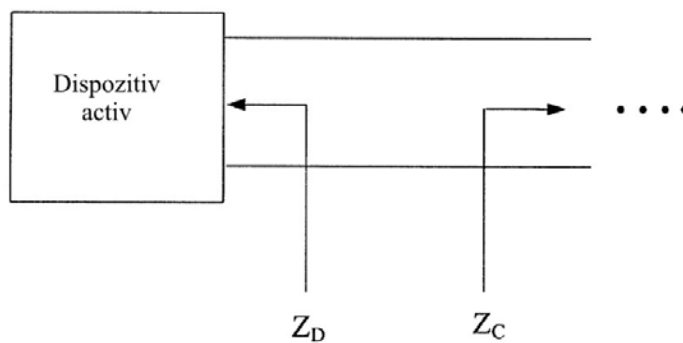


Fig. 3.6. Circuitul simplificat al oscilatorului local

Frecvența de oscilație este frecvența care:

$$\text{Im}(Z_C) + \text{Im}(Z_C) = 0 \quad (3.2)$$

Impedanta circuitului este o funcție doar de frecvență, iar impedanța dispozitivului este o funcție de frecvență (f), curentul de polarizare (I_0), curentul de RF (I_{RF}) și temperatură (T). Prin urmare, la frecvența de rezonanță, avem:

$$\text{Im}[Z_D(f, I_0, I_{RF}, T)] + \text{Im}[Z_C(f)] = 0 \quad (3.7)$$

Acordul de frecvență electronic poate fi realizat prin reglajul polarizării sau tensiunii de acord. Acordul polarizării va modifica I_0 și prin urmare pe Z_D , rezultând o nouă frecvență de oscilație. Acordul varactorului (vezi exemplul din figura 3.7) va modifica $C(V)$ și prin urmare pe Z_C , rezultând o nouă frecvență de oscilație. De exemplu, un oscilator pe 10 GHz, controlat în tensiune, poate avea o sensibilitate a modulației de frecvență de 25 MHz/V și un interval de acord de ± 100 MHz în urma modificării tensiunii pe varactor.

Pentru cele mai multe sisteme este de dorit o ieșire cu putere constantă. Puterea de ieșire poate fi modificată datorită temperaturii, polarizării, acordului frecvenței și mediului înconjurător. O specificație pentru variațiile de putere să formulează, de exemplu, 30 dBm \pm 0.5 dB.

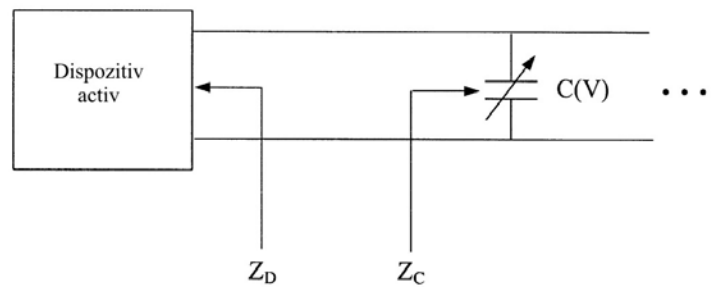


Fig. 3.7. Oscilator comandat prin varactor.

Un emițător de microunde este folosit și în sistemele portabile sau spațiale. Eficiența conversiei CC-RF este definită ca:

$$\eta = \frac{P_{RF}}{P_{CC}} \times 100\% \quad (3.8)$$

unde P_{RF} este puterea de RF generată și P_{CC} este puterea consumată de la sursa de alimentare. În general, tranzistoarele pot genera puteri între câțiva mW până la câțiva W, cu o eficiență între 10 și 50%. Diodele Gunn pot produce puteri similare la o eficiență mult mai mică de 1 - 3%, iar diodele IMPATT pot genera câțiva W la eficiență de 5 - 20% și frecvențe până în domeniul undelor milimetrice.

În multe cazuri, emițătorul este compus dintr-un oscilator urmat de mai multe amplificatoare de putere. Amplificatorul de putere este, de regulă, cea mai scumpă componentă a sistemului.

Exemplu

Un oscilator Gunn pe 35 GHz are o variație de frecvență de ± 160 MHz în intervalul de temperaturi -40°C ... $+40^\circ\text{C}$. Oscilatorul poate fi acordat de la 34.5 la 35.5 GHz variind tensiunea de polarizare a unui varactor între 0.5 și 4.5 V. Să se calculeze stabilitatea în frecvență în ppm/ $^\circ\text{C}$ și sensibilitatea modulației în frecvență în MHz/V.

Soluție

$$\text{Stabilitatea frecvenței} = \pm 160 \text{ MHz} / 80^\circ\text{C} = \pm 2 \text{ MHz}/^\circ\text{C}.$$

$$= A(\text{in ppm}/^\circ\text{C}) \times 10^{-6} \times 35 \times 10^9 \text{ Hz}$$

$$A = \pm 57 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$$

$$\text{Sensibilitatea de modulație} = \frac{f_2 - f_1}{V_2 - V_1} = \frac{35.5 - 34.5 \text{ GHz}}{4.5 - 0.5 \text{ V}}$$

$$= 0.25 \text{ GHz}/\text{V} = 250 \text{ MHz}/\text{V}$$