

Injektált oszcillátorok moduláció–konverziós és tranziens tulajdonságainak vizsgálata

DR. BOZSÓKI ISTVÁN—GILA JÁNOS
BME Mikrohullámú Híradástechnika Tanszék



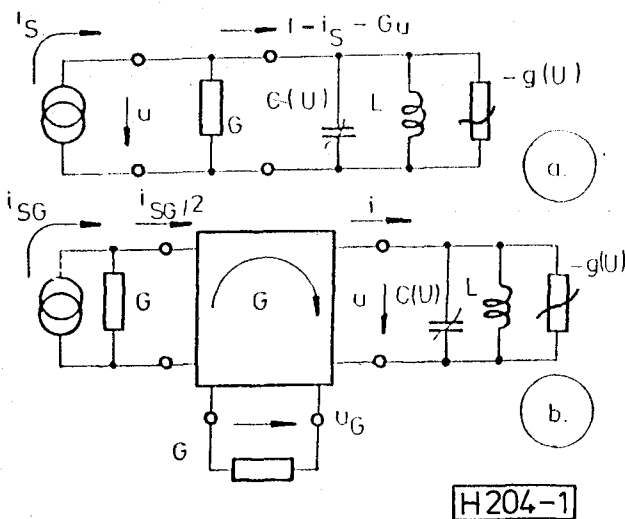
ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők az injektált oszcillátorok viselkedését analizálják modulált és kapcsolt injektáló jel hatására. Az analízis az egyfrekvenciás leírófüggvény szemléletén alapul, s figyelembe veszi az áramkörben lévő cirkulátor hatását is. A modulációkonverziós tulajdonságokat frekvencia tartományban vizsgálják s meghatározzák a konverziós mátrixot. A tranziens viselkedést időtartományban írják le s eredményt kapnak a szinkronizálási időre. A szinkronizálás során fellépő jitter jelenségére magyarázatot adnak. Az elméleti eredmények igazolására mérési módszert fejlesztettek ki, melytel az elméleti számításokat igazolják.

1. Bevezetés

Mikrohullámú oszcillátorok viselkedését gyakran írják le az egyfrekvenciás leírófüggvények (sinusoidal-input describing function) segítségével [1]. Ez a leírásmód alkalmazható, ha az áramkör külső jósági tényezője elég nagy ahhoz, hogy a nemlineáris eszköz vezérlő jele (árama vagy feszültsége) közelítőleg szinuszos legyen. A módszer segítségével a nemlineáris elemre frekvencia és amplitúdó függő admittancia fogalmat vezethetünk be. Kis változások esetén ez az admittancia mind a frekvencia, mind az amplitúdó függvényében linearizálható [2].

Továbbá az áramkör nagy külső jósági tényezője lehetővé teszi a lassan változó időfüggvények módszerének alkalmazását is [2].



1. ábra. Injektált oszcillátor áramköri modellje: (a) cirkulátor nélkül, (b) cirkulátorral

Beérkezett: 1986. IV. 30. (H)

DR. BOZSÓKI ISTVÁN

Villamosmérnöki oklevelét 1953-ban szerezte meg. 1956-ig a BME Hadmérnöki Kar, 1957-től a Mikrohullámú Híradástechnika Tanszék oktatója. Docens, 1981-től tanszékvezető. 1961–67-ig előbb a Beloiannisz, majd az Orion Gyár Mikrohullámú Fejlesztési Osztályán másodállásban mikrohullámú áramkörök tervezésével foglalkozott.

Egyetemi dr. 1965, a műszaki tudományok kandidátusa 1976-tól.

Szakmai tevékenységet parametrikus erősítők, mikrohullámú oszcillátorok tervezésében; rádió hírközlés, rádiólokáció elméleti és gyakorlati kérdéseiben; jelenleg a mikrohullámú távérzékelés területén végez.

Több bizottság, a HTE Elnökség tagja, 1986-ban „Puskás Tivadar emlékéremet” kapott. Több kiüntetés tulajdonosa.

2. Alapegyenletek

Injektált oszcillátor ekvivalens áramköre [3], [7] az 1. ábrán látható, ahol a következő jelöléseket használtuk:

$$i_s(t) = I_{s0}(1 + \sigma)\cos(\omega_s t + \varphi_s)$$

$$u(t) = U \cdot \cos(\omega_s t + \varphi) \quad (1-a)$$

$$U = U_0 + \mu_0 + \Delta\mu = (U_0 + \mu_0)(1 + \mu)$$

$$\varphi = \varphi_0 + \varphi_s + \Delta\varphi ; \alpha = \omega_s t + \varphi$$

A cirkulátor hatása:

$$U_G = u - i_{sG}/2G ; i_{sG} = i_s$$

$$U_G(t) = U_{G0}(1 + \mu_G)\cos(\omega_s t + \varphi_G) \quad (1-b)$$

$$\varphi_G = \varphi_{G0} + \varphi_s + \Delta\varphi_G$$

A modulációs és tranziens sajátosságokat meghatározó $a(t)$; $\varphi_s(t)$; $\mu_G(t)$ függvények időben lassan változnak a vevőfrekvenciás változáshoz képest. U_0 (U_{G0}) az oszcillátor szabadonfutó amplitúdója. Az 1.a ábrára felírható alapegyenlet:

$$i_s = [G - g(u)] \cdot u + \frac{1}{L} \int u dt + G(u) \frac{du}{dt} \quad (2)$$

3. Modulációs sajátosságok

Az 1. ábrán látható aktív eszközre tetszőleges nemlinearitást megengedve a modulációs torzítás és konverzió a fent említett közelítésekkel a következőképpen fejezhető ki [3]:



GILA JÁNOS

1984-ben diplomázott a Budapesti Műszaki E-

gyetem Villamosmérnöki Karán. Diplomatervét oszcillátor témából írta, mellyel a diplomatervpályázaton első díjat nyert. A témában előadást tartott az 1985-ös TKI Jubileumi Tudományos Konferencián. Nappali szakmérnök-hallgató volt a BME Mikrohullámú Híradástechnika tanszékén. Jelenleg a VIDEOTON dolgozója. Érdeklődési területe: oszcillátorok elmélete, alkalmazása.

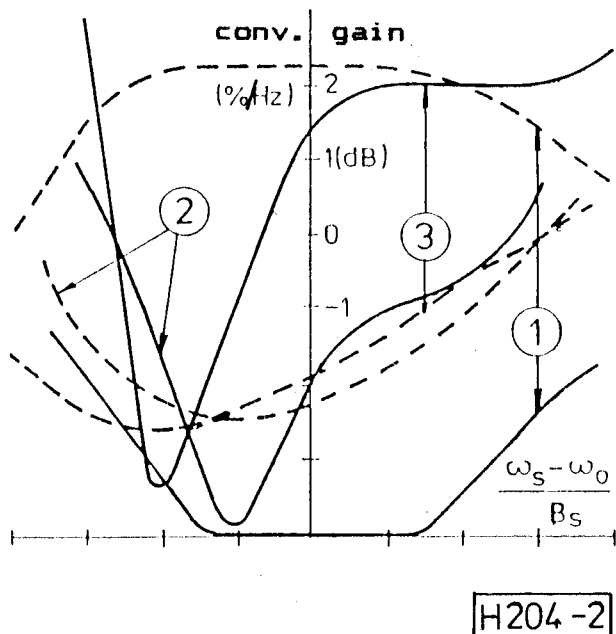
$$\begin{bmatrix} M_G \\ \Phi_G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{M_s} & C_{M_F} \\ C_{F_s} & C_{F_F} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Sigma \\ \Phi_s \end{bmatrix} \quad (3)$$

M_G, Φ_G a kimenő jel, míg Σ, Φ_s az injektált jel modulációs tartalmának komplex amplitúdói. (Determinisztikus jel esetén ez nem más, mint az adott jel komplex spektruma, sztochasztikus jel — zaj — esetén pedig csak valós amplitúdójuk négyzete értelmezhető, mint az adott jel teljesítményspektrum sűrűsége).

$C_{\leftarrow}, C_{\rightarrow}$ a moduláció konverziós mátrix. A modulációt az alábbi alakban tételezve fel:

$$\begin{aligned} \sigma &= \hat{\sigma} \exp(j\Omega t) \text{ vagy } \Phi_s = \hat{\Phi}_s \exp(j\Omega t) \\ \mu_g &= \hat{\mu}_g \exp(j\Delta_\mu) \exp(j\Omega t) \\ \Phi_G &= \hat{\Phi}_G \exp(j\Delta_\phi) \exp(j\Omega t) \end{aligned} \quad (4)$$

A C mátrix elemeinek jelentése a következő:



2. ábra. Számított (1, 2) és mért (3) FM-AM modulációs görbék relatív koordináta-rendszerben. Paraméter: külső jósági tényező Q_{ex} (1 : 50, 2 : 200, 3 : 600) —: $100/\Omega_M \exp(|CM_F| \text{ dB}/20)$ (%/Hz) ---: P_g/P_0 (dB): szinkronizációs görbék.

$$\begin{aligned} C_{M_s} &= \frac{\hat{\mu}_G}{\hat{\sigma}} \exp(j\Delta_\mu); \quad C_{F_s} = \frac{\Delta\hat{\Phi}_G}{\hat{\sigma}} \exp(j\Delta_\sigma) \\ C_{M_F} &= \frac{\hat{\mu}_G}{\hat{\Phi}_s} \exp(j\Delta_\mu) = j \frac{\hat{\mu}_G \Omega}{\Delta\omega_s} \exp(j\Delta_\mu) \\ C_{F_F} &= \frac{\hat{\Phi}_G}{\hat{\Phi}_s} \exp(j\Delta_\phi) = \frac{\Delta\hat{\omega}_G}{\Delta\omega_s} \exp(j\Delta_\phi) \end{aligned} \quad (5)$$

Példaként $|C_{M_F}|$ változását láthatjuk a 2. ábrán a terhelés felé szorosan és lazán csatolt oszcillátor esetére. Ezen az ábrán szaggatott vonallal látható az adott beállításhoz tartozó szinkronizációs-görbe (kimenőtéljesítmény változása a frekvencia-elhangolás függvényében) is. Megfigyelhető a csatolás jelentős hatása a szinkronizált oszcillátor viselkedésére.

4. A tranziens viselkedés analízise [5]

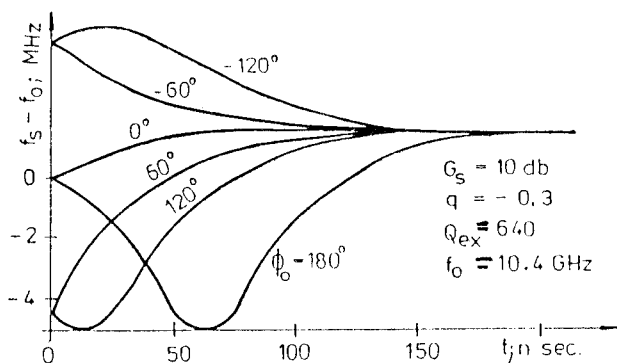
Tranziens viselkedés szempontjából különös fontosságot kell tulajdonítanunk a szinkronizálási időnek. Számításához a szinkronizáló jelet modulálatlannak tételezzük fel [$\alpha(t)=0$ és $\varphi_s(t)=0$] melyet a szinkronizálandó oszcillátorra belépő függvénnyel kapcsolunk rá. Ebben az esetben $U(t)=U_0+v(t)$ ahol $v(t)$ az amplitúdó tranziens. A (2)-es egyenletben a következő feltételezésekkel élünk:

$$\begin{aligned} g(U) &= g_0 - KU^2 \quad g_0; K > 0 \\ P_{szabadonfutó} (=P_0) &>> P_{injektált} (=P_s) \\ C(u) &= C_0 \end{aligned} \quad (6)$$

Az utolsó egyenletben az aktív eszköz nemlineáris szuszceptanciájának hatását hanyagoltuk el. Kurokawa módszerét [2] használva (2)-ből kiküszöböljük a vivőfrekvenciás komponenst, s a következő két differenciálegyenletet kapjuk a szinkronizált oszcillátor fázisára és amplitúdójára:

$$\cos\Phi(t) = \frac{2}{B_s} \left(\frac{v(t)}{U_0} \right)' + V \left(\frac{v(t)}{U_0} \right) \quad (7)$$

$$\sin\Phi(t) = -\frac{2}{B_s} [\Phi'(t) + (\omega_s - \omega_0)] \quad (8)$$



3. ábra. Frekvencia tranziens az idő függvényében. Paraméter: Φ_0

Ahol:

$$B_s = 2\omega_0(Q_{ex})\sqrt{G_s}: \text{bentartási tartomány}$$

$$\omega_0^2 = (LG_0)^{-1}: \text{szabadonfutó frekvencia}$$

$$Q_{ex} = \omega_0 C_0 G^{-1}: \text{külső jósági tényező}$$

$$P_0 = U_0^2 G/2$$

$$P_s = I_s^2/8G$$

$$G_s = P_0/P_s: \text{szinkronizálási erősítés}$$

$$V = (g_0 - G)\sqrt{G_s}/G: \text{terhelési tényező} \quad (9)$$

A szinkronizálási időt (8) megoldásával kapjuk. Szinkronizálás kezdetén az injektáló és szabadonfutó jel egymáshoz képest tetszőleges fázisban lehet, azaz $\Phi(t=0) = \Phi_0$. Ennek figyelembevételével:

$$\begin{aligned} \Phi(t) &= 2\arctg \frac{AB + 2\sqrt{1-q^2} \cdot tg(\Phi_0/2)}{AC + 2\sqrt{1-q^2}} = \\ &= 2\alpha t n \frac{N}{D} \end{aligned} \quad (10)$$

Ahol:

$$A = \exp(tB_s\sqrt{1-q^2}/2) - 1$$

$$B = q + (\sqrt{1-q^2} - 1) \cdot tg(\Phi_0/2)$$

$$C = 1 + \sqrt{1-q^2} - q \cdot tg(\Phi_0/2)$$

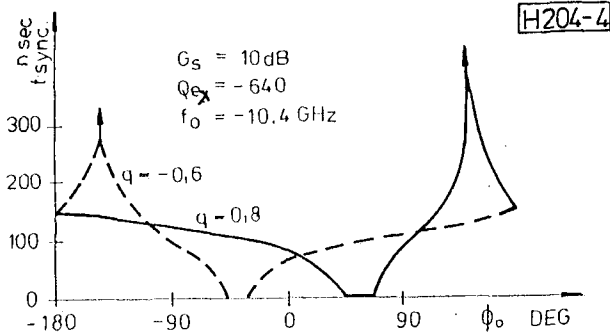
$$q = 2(\omega_0 - \omega_s)/B_s$$

Ennek a megoldásnak előnye, hogy figyelembe veszi a kezdeti fáziseltérés hatását is, s ebből a szempontból általánosabb mint [2]. A frekvencia-tranziens (10) deriváltjaként számolható:

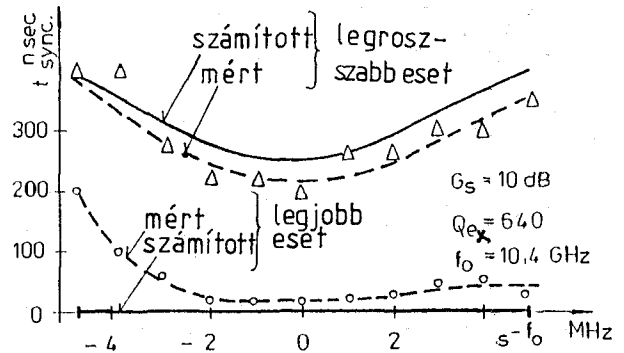
$$\begin{aligned} \omega(t) &= \omega_0 + \frac{B_s}{2} \times \\ &\times \frac{(BD - CN)2\sqrt{1-q^2}\exp(B_s t\sqrt{1-q^2}/2)}{D^2 + N^2} \end{aligned} \quad (11)$$

Meg kell említeni, hogy a (8) differenciálegyenlet alakjában megegyezik az elsőrendű PLL nemlineáris modelljéből származtatható, a PLL fázis-tranziensét leíró egyenlettel. Így a későbbi következtetések elsőrendű PLL hurkokra is érvényesek, ill. összevethetők más úton kapott eredményekkel.

Az egyértelműség kedvéért szinkronizálási időnek tekintettük azt az időt, amely ahhoz szükséges, hogy a frekvencia az $\omega_s \pm 0,1(B_s/2)$ frekvencia-tartományba kerüljön.



4. ábra. Szinkronizálási idő Φ_0 függvényében. Paraméter: $q = 2(\omega_0 - \omega_s)/B_s$



5. ábra. Számított és mért szinkronizációs értékek

A számított görbéket a 3. és 4. ábra mutatja, melyről jól látható a szinkronizálási idő erős függése Φ_0 -tól. Érdekes megjegyeznünk, hogy $\Phi_0 = 180^\circ$ nem mindig a legrosszabb eset (lásd 4. ábra) szemben azzal, hogy ezt [4] állítja.

Az elméleti eredmények igazolására korábban kifejlesztett mérési módszert használtunk [6], melyet gyors PIN-diódás kapcsolóval egészítettünk ki a tranziens mérésekhez. A tranziens időre számított és mért értékek (lásd 5. ábra) némileg eltérnek egymástól mely, egyrészt a modell által elhanyagolt nemlineáris szuszceptanciának, másrészt a szinkronizálási tranziens körülményes leolvasásából származó pontatlanságnak tudható be.

5. Következtetések

Megállapítható, hogy az egyfrekvenciás leíró-függvény szemlélet s a lassan változó időfüggvények módszerének együttes alkalmazása jól használható az injektált oszcillátorok leírására. Az analízis eredményeként megfigyelhető, hogy a terhelés csatolása jelentősen befolyásolja a szinkronizációs tulajdonságokat, míg a szinkronizálás során a kezdeti fáziseltérés a tranziens-idő leglényegesebb meghatározó eleme.

IRODALOM:

- [1] Gustafsson et al.: On the Use of Describing Functions in the Study of Nonlinear Active Microwave Circuits., IEEE Trans. on MTT, vol. MTT-20, no. 6, 1972, pp. 402-409
- [2] K. Kurokawa: Injection Locking of Microwave Solid-State Oscillators., Proc. IEEE, vol. 61, no. 10, 1973, pp. 1386-1410
- [3] I. Bozsoki, M. Valtonen: Modulation Conversion in Synchronized Microwave Oscillators., MITEKO 1985, Dil. 1, pp. 148-150
- [4] L. J. Paciorek: Injection Locking of Oscillators., Proc. IEEE, vol. 53, no. 11, 1965, pp. 1723-1727
- [5] Gila János: Injektált oszcillátor tranziens vizsgálata. Diplomaterv, BME-MHT, 1984
- [6] D. N. Hong, I. Bozsoki: Noise Measurements of Microwave Oscillators., MITEKO 1982, pp. 21-23
- [7] T. Berceli: Transfer Properties of Injection Locked Diode Oscillators, Proc. of the 5th Coll. on Microwave Comm., Budapest, 1974, vol. IV, pp. 73-82