

HATÉKONY, ÚJ MÓDSZEREK MIKROHULLÁMÚ JELGENERÁTOROK ZAJJELLEMZ INEK JAVÍTÁSÁRA OPTO-ELEKTRONIKAI ALKALMAZÁSOKHOZ

doktori értekezés tézisei

Bánky Tamás

Témavezető :
Dr. Berceli Tibor

2007. június
Budapest

Bevezetés

A doktori értekezés hibrid optikai ó mikrohullámú hírközlő hálózatok, eszközök szempontjából tekintett, egyik legfontosabb alappillérvével: a nagy fázistisztaságú, költség hatékonyan alkalmazható mikrohullámú jelforrásokkal, illetve azok, az opto-elektronika eszközeivel történő új megvalósítási lehetőségeivel foglalkozik.

A doktori értekezés szerkezetileg három fő téziscsoportra tagolódik, melyeket a téziscsoportokon kívül álló bevezető és záró fejezet keretez. A bevezető fejezet (2. fejezet) zajos mikrohullámú jelek hatását értékeli optikai távközlő rendszerekre vonatkozóan. A három téziscsoport (3., 4. illetve 5. fejezetek) egy-egy külön megoldást ismertet, mely a mikrohullámú tartományban működő jelgenerációs módszerekhez ad egy-egy új megoldást, melyek alkalmazásával jelentős fáziszaj csökkenés érhető el az elállított jelben. Ezen megoldások konkrétan: kisfrekvenciás úton visszacsatolt mikrohullámú tranzisztoralapú oszcillátor; csatolt rezonátorokkal rendelkező Dielektromos Rezonátoros Oszcillátor (DRO); valamint optimalizált többhurkos Opto-Elektronikus Oszcillátor (OEO). A záró fejezet (6. fejezet) röviden összefoglalja a disszertációban tárgyalt új tudományos eredményeket, 3 téziscsoport, összesen 15 altézisét.

Ezen felsorolt fejezetek a következő témákat fejtik ki részleteikben:

- Az értekezés lényegi részét bevezető 2. fejezet általánosságban foglalkozik mikrohullámú jelek generációjára alkalmas módszerekkel. Az ezzel kapcsolatos ismertetés rész kitér az oszcillátorok alapvető felépítésére, valamint az azokat jellemző fő működési paraméterekre abból a célból, hogy a további tárgyalásnak elméleti alapot adjon. A gyakorlatban leginkább elterjedt technikai minőségi paraméterek és leggyakoribb oszcillátor típusok felsorolása, lehetőséget biztosítanak a további fejezetekben bemutatásra kerülő újonnan kifejlesztett megoldások egyszerű elhelyezésére a technikai palettán. Szintén elemzésre kerülnek a mikrohullámú oszcillátorok mint alapvető jelforrások paramétereinek hatásai optikai átvitel minőségére, így mutatva indokot a továbbiakban tárgyalandó munka fontosságára, értelmére nézve;

- Az első téziscsoport (3. fejezet) összefoglalja a fáziszaj csökkentésének elvi lehetőségeit, majd kifejezetten az oszcillátorokban keletkező zajokra, az azokat generáló zajforrásokra koncentrál. Megvizsgálja az aktív elemek káros hatásait a fázistólástól kisfrekvenciás hurkon keresztül történő visszacsatolásának hatásait az oszcillátor fáziszaja szempontjából. Nemlineáris elektromos hurok megvalósítások különleges hatásaira külön kitér. Az elvi elképzelés működésének szimulációs környezetben való tesztelése után a nemlineáris hatások matematikai, majd kísérleti úton történő vizsgálata is megtörténik annak részletes elemzésére, hogy az oszcillátor működése során fellépő nemlinearitások milyen hatásokon keresztül alakítják a generált jelzajtartalmát;

- A második téziscsoport (4. fejezet) a Dielektromos Rezonátoros Oszcillátor (DRO), mint a gyakorlatban igen széles körben elterjedt mikrohullámú

jelforrás, zajjellemzések javítására ad egyszerű, hatékony, idő- és energiatakarékos megoldást. Több dielektromos rezonátor egymáshoz való csatolásának rész effektusait elemzi, figyelembe véve a közösen kialakított terhelési tényezőket, a rezonátorokban felépülő módusképek torzulása valamint a rezonancia frekvencia elhangolódásának hatásait. Szintén matematikai elemzéssel, számítógépes szimulációkon keresztül valamint kísérleti úton nyernek alátámasztást a leírt elképzelések. Ezen vizsgálati módszerek, összevetésük során, egymást kell képp alátámasztják;

- A harmadik téziscsoport (5. fejezet) először rövid irodalmi áttekintés ad az Opto-Elektronikus Oszcillátorok (OEO) felépítéséről, működéséről, általános működési problémáiról, majd egy saját fejlesztés tervezési elképzelést (optimalizációs eljárást) mutat be részletesen opto-elektronikus oszcillátorokhoz, mellyel ezen problémák jelentős része egyszerűen leküzdhető: alacsony költségek mellett rendkívül jó működési jellemzőkkel rendelkező mikrohullámú vagy milliméteres hullámhosszú fotonikus jelgenerátor állítható elő. Megjelenik a fejezetben a módszer elvi háttere, célja, megvalósításának gyakorlati lépései és az azt igazolni hivatott mérési elrendezés felépítése. A módszer működési képességét ebben az esetben is az ismertetésre kerülő kísérleti eredmények, matematikai számítások illetve számítógépes szimulációk eredményei támasztják alá;

- Az értekezést záró 6. fejezet tömören összesíti a 3., 4. illetve 5. fejezetekben tárgyalt eredményeket, különösen koncentrálna a tézis érték megállapításokra, tudományos újdonságokra. A fejezetet követően a disszertáció mellékleteket tartalmaz, nevezetesen az értekezés során alkalmazott jelölések listáját, a szimulációk során felhasznált szoftverek tömör ismertetését, a meghivatkozott szakirodalmak listáját, felsorolással együtt az értekezéshez kapcsolódó saját publikációkat, valamint egy rövid köszönetnyilvánítást.

Alkalmazott vizsgálati módszerek

A disszertáció, a bevezetésben leírtaknak megfelelően, a nagysebességű optikai távközlési hálózatok adó oldalán, illetve egyéb olyan helyen elhelyezkedő mikrohullámú forrásokkal foglalkozik, ahol a mikrohullámú elektromos tartományban működő jelforrás zajjellemzések hatására vannak a teljes rendszer jelátviteli minőségére, így ezért indokolt ezen zajjellemzések hatékony módszerek alkalmazásával történő javítása. A disszertációban alkalmazott vizsgálati módszerek;

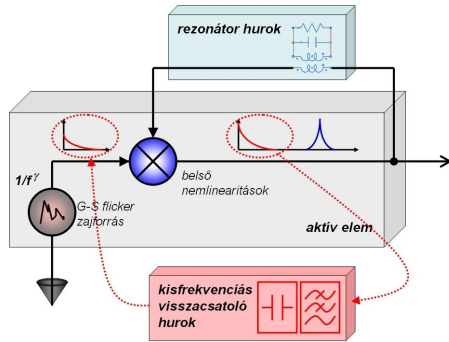
- lineáris és nemlineáris áramkörök vizsgálata,
- visszacsatolt rendszerek analízise,
- alkalmazott módszerek környezeti hatásokra vonatkozó érzékenysége,
- áramkörök modellezése, számítógépes hálózatanalízis,
- 3-dimenziós elektromágneses tér szimuláció,
- csatolt rezonátorok analízise,
- mikrohullámú aktív eszközök zajgenerációs mechanizmusának vizsgálata.

A kísérleti áramkörök és vizsgálatuk során alkalmazott területek;

- mikrosztriptív áramkörök tervezése és vizsgálata,
- hibrid integrált áramkörök tervezése, kivitelezése és vizsgálata,
- kis és nagyfrekvenciás (20 GHz) optikai és elektromos mérés-technika.

1. TÉZISCSOPORT Kisfrekvenciás zajvisszacsatolás

Az oszcillátort meghajtó tranzisztor gate-source kapujánál és drain-source kapujánál elhelyezkedő kisfrekvenciás zajforrások az eredendő okai a m kódés során a mikrohullámú tartományokban megjelenő fáziszajnak.



A stabil oszcilláció létrejötte a gyakorlatban alapvetően nemlineáris hatások feléledését is feltételezi. (Ezen hatások következtében telítődik ugyanis az ω és éri el stabil m kódési értékét az aktív elem által biztosított körerősítés, így meghatározva az oszcillátor kimenet teljesítményét.) A nemlinearitásokon az ω melyet többnyire az aktív elem nagyjel m kódése szolgáltat ezen kisfrekvenciás zajok felke-

verednek az oszcilláló jelnek mint v_{in} , körülötte zajoldalsávokat képezve. Az említett kisfrekvenciás zajforrások alapsávi jelei így szintén megjelennek a generált oszcilláló jel mellett.

A kimeneten az oszcillátort nemcsak a mikrohullámú jel hagyja el, hanem az alapsávban a flicker zajforrás jelének fázisban és amplitúdóban a tranzisztor átviteli karakterisztikájának megfelelően megváltoztatott mása is. Ez a kimeneti kisfrekvenciás jel az eredeti zajforrás jelével való korreláltságát megőrzi, így a kimeneti jelből körültekintően lesz kiválasztva a kisfrekvenciás komponens, és megfelelő módon visszavezetve a zajforráshoz, elvben csökkenthető vele a zajáramforrás jele. [31,34,35,36,37,38,39,40,41]

T.I/1. ALTÉZIS: FET típusú tranzisztor által meghajtott mikrohullámú oszcillátorok kimenetén előálló oszcillációs tónusok köré felépülő fáziszaj generáció mechanizmusából kiindulva megmutattam, hogy egyszerre alkalmazható és olcsó elvi lehetőség kínálkozik a fáziszaj teljesítmény szintjének csökkentésére. A tranzisztor kimenetén előálló jel ugyanis lassan változó burkolóként megőrzi a tranzisztor bemenetén hatását kifejtő flicker zajforrások kisfrekvenciás jelének mását. A bemenetre megfelelően rövid úton visszacsatolva és az ezen burkolóból képezett kisfrekvenciás jelet kondicionálva, megérkezhet annak a zajforrás eredeti jelével való koherenciája, így ez utóbbi teljesítménye hatékonyan kompenzálható a visszacsatolt jellel. Ezen elvi elképzelés vizsgálatára egyszer számítógépes szimulációt alkottam, mely azt maradéktalanul alátámasztotta.

A T.I/2. altézis matematikai úton elemzi az erős nemlinearitással rendelkező kisfrekvenciás visszacsatoló hurok fáziszaj csökkentő hatását mikrohullámú oszcillátorok esetén. A számítások annak megállapítását célozzák, hogy egy ismert nemlinearitással rendelkező aktív elemre épülő oszcillátorhoz csatlakozó visszacsatoló hurok, milyen jellegű nemlinearitást kell, hogy mutasson annak érdekében, hogy maximális hatékonysággal legyen képes érvényesíteni fáziszaj elnyomó képességét [34,37,38,39,40,41].

A flicker zajforrás jelének alakulását matematikailag figyelemmel kísérhetjük, a zaj egy aktuális realizációja, ω frekvenciájú komponensének kiválasztásával. Így az aktív elem belső nemlinearitásaira jutó v_{be} jel: az Ω oszcillációs alap körfrekvenciájú (1 relatív amplitúdójú) jel és a flicker zajforrás aktuális ω körfrekvenciájú, Φ_{ω} fázisú és z_{ω} relatív amplitúdójú realizációjának összege.

$$v_{ki} = \sum_i \alpha_i \cdot v_{be}^i \quad i=1,2,3 \quad (3-7)$$

$$v_{visszacat} = \sum_j \beta_j \cdot v_{ki}^j = \sum_j \beta_j \left(\sum_i \alpha_i \cdot v_{be}^i \right)^j \quad (3-10)$$

ahol v_{ki} az aktív elem kimenetén jelentkező jel, $v_{visszacat}$ az azt visszacsatoló kisfrekvenciás nemlineáris visszacsatoló hurok kimenetén jele, α_i az aktív elem dinamikus nemlinearitását leíró polinom együtthatói, míg β_j a visszacsatoló hurok nemlinearitását leíró polinom együtthatói.

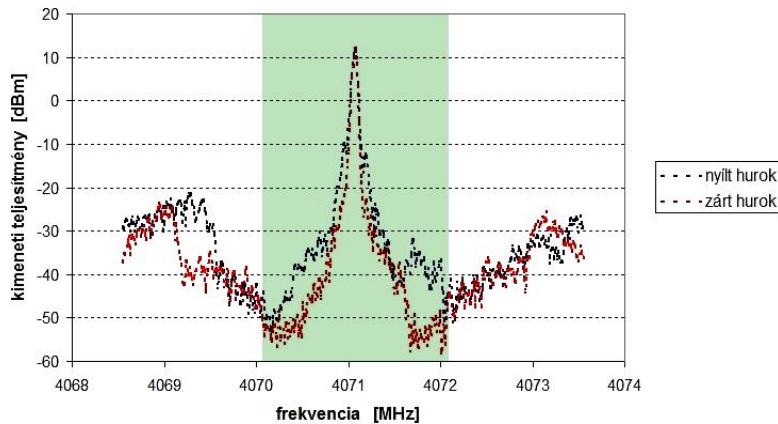
A fenti összefüggések analízise megmutatja, hogy adott nemlinearitással rendelkező aktív elem esetén milyen jellegű nemlinearitást célszerű a visszacsatoló hurokban megvalósítani ahhoz, hogy a visszacsatolt jel hatékonyan legyen képes kompenzálni a tranzisztor bemenetén elhelyezkedő flickerzaj források hatását.

T.I/2. ALTÉZIS: Megmutattam, hogy a gyakorlati alkalmazáskor a módszer által kínált lehetőség maximális hatékonysággal való kihasználása érdekében célszerű erősen nemlineáris átvittel rendelkező elemeket iktatni a visszacsatoló hurokba. Ennek pontosabb vizsgálatához zajvizsgáló tónus matematikai végigkövetését végeztem el a visszacsatolt oszcillátor struktúráján. A visszacsatoló zajcsökkentő hatását kétféle különböző mechanizmusra vezettem vissza, melyekre külön elvégeztem a matematikai vizsgálatot. Ezek eredményei arra a következtetésre vezettek, hogy amennyiben az alkalmazott oszcillátor aktív eleme erősen harmadfokú nemlinearitást mutat, abban az esetben a visszacsatoló körbe iktatott nemlinearitást is célszerű erősen harmadfokú nemlinearitásként megtervezni. Ekkor az első vizsgált mechanizmus érvényesülésére számíthatunk. Hasonlóképp, erősen másodfokú nemlinearitással rendelkező aktív elem esetén erősen másodfokú nemlinearitást megvalósító visszacsatoló nemlinearitás vezet hatékony zajkompenzációhoz. Ez esetben a második ismertetett mechanizmus lesz domináns.

A fenti elképzelés gyakorlati vizsgálatára kísérleti oszcillátort terveztem kétféle kivitelben: egyik kivitel rendelkezett párhuzamos kisfrekvenciás nemlineáris zajvisszacsatoló hurokkal, a másik e nélkül került megvalósítására. Mindkét oszcillátort azonos aktív elem hajtotta meg (EPA018A-70 típusú FET), RF felépítésük is minden részletben pontosan megegyezett, ezzel lehet vétevé kizárólag a kisfrekvenciás visszacsatolás módjának során kifejtett hatásának megfigyelhetőségét [34,38,39,40].

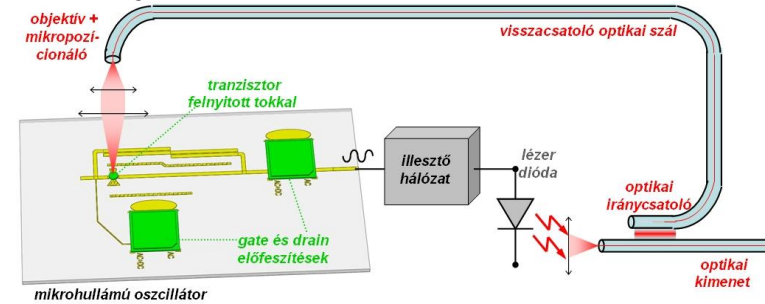
Előzetesen elvégzett alapvető mérések megmutatták, hogy a tranzisztorban az oszcilláció felépülésekor milyen típusú első- vagy harmadrendű nemlinearitás alakul ki az adott munkapontban (azaz a T.I/2. altézisben tárgyalt két mechanizmus közül melyik érvényesülhet erőteljesebben), valamint hogy a bemeneti zajforrás jelére vonatkozóan mekkora keverési nyereséggel számolhatunk az oszcillációt fenntartó tranzisztorban.

A mérések alapján az α_2 és α_3 dinamikus nemlinearitás paraméterek a konkrét esetben azt mutatták, hogy a tranzisztor esetünkben erősebb harmadrendű nemlinearitással rendelkezik. A fentiekhez hasonló nemlinearitás mérések alapján beállított HSMS-8202 diódapár segítségével sikerült megfelelő kisfrekvenciás nemlineáris zajvisszacsatoló hurkot tervezni, mely segítségével az oszcilláció 1MHz-es környezetében sikeresen demonstráltam a módszer fáziszaj csökkentő hatását.



T.I/3. ALTÉZIS: EPA018A70 tranzisztorra épülő 4GHz-es oszcillátoron végzett mérésekkel igazoltam a kisfrekvenciás nemlineáris visszacsatoló hurok fáziszaj csökkentő hatását. A kísérletek ~6-8dB zajcsökkenést okoztak az oszcilláció alapmódusának környezetében.

A T.I/3. altézis opto-elektronikai kivitelben való megvalósítását kísérletek és az azokra épülő szimulációk útján vizsgáltam, melyhez az alábbi kísérleti struktúrát valósítottam meg:



Az opto-elektronikus visszacsatoló hurok alkalmazása esetén a zajcsökkentés hatékonyságának speciális feltételei vannak. Ilyenek a nagy optikai teljesítmény, a rövid késleltetés, a kis veszteségek, a tranzisztorban a lézerdíóda hullámhosszán mutatott nagy érzékenysége, melyet mind annak anyaga, mind pedig geometriai kialakítása meghatároz. Ezért a tranzisztor mint aktív elem alkalmazásának előzetes felmérése kulcsfontosságú szerephez jut a módszer módjának képes alkalmazásában.

A lézerdíóda az optikai visszacsatoló körben az oszcillációs frekvenciának megfelelő távolságokra egymástól több optikai segédvív, valamint ezek környezetében az oszcillátor zajának optikai tartományba konvertált részét állítja elő. Ezen zajoldalsávok az optikai detekció során bekövetkező lekeveredéskor referencia hullámhosszként egyrészt a hozzájuk tartozó segédvívot használják, mellyel képzett kombinációs frekvenciáik a kisfrekvenciás elektromos tartományba esnek, másrészt a többi segédvív közelebbi segítségével mikrohullámú tartományba eső komponenseket is képeznek. Így kisfrekvenciás alapsávi zaj kerül negatív visszacsatolásra, mely így, megfelelő beállítás esetén, közvetlenül a zajforrás jelének elnyomását eredményezheti.

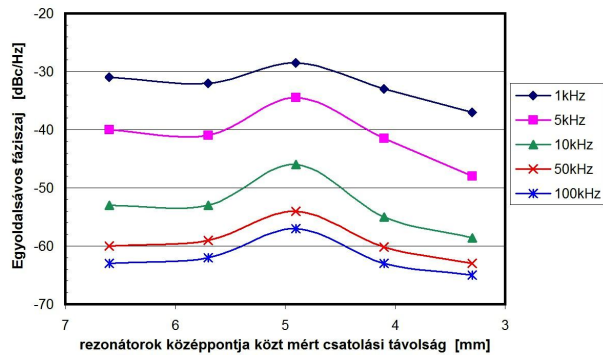
T.I/4. ALTÉZIS: Különösen opto-elektronikai alkalmazások mikrohullámú forrásaként alkalmazott, nagy harmonikus szintekkel rendelkező oszcillátorok esetében opto-elektronikus visszacsatoló hurok alkalmazását javasoltam szintén kisfrekvenciás elvű zajcsökkentés céljára. Ez esetben az oszcillátort meghajtó FET típusú tranzisztor félvezető felületére a ráérkező optikai jelel közvetlen detekcióval illetve keveréssel hoz létre a mikrohullámú sávba keveredő zaj csökkentésére alkalmas jelet. Ajánlásokat fogalmaztam meg a gyakorlati kialakításra vonatkozóan. Megvilágított ATF-10136 típusú tranzisztorra épülő 500MHz-es oszcillátoron végzett alapvető mérések eredményeire támaszkodva reális helyzetet követő számítógépes szimuláció segítségével szemléltettem az elrendezés fáziszaj csökkentő módját.

2. TÉZISCSOPORT Csatolt dielektromos rezonátorokat alkalmazó DRO

A feldolgozott irodalomban [1] talált formulák alapján számítással igyekeztem megállapítani több, csatolásban levő dielektromos rezonátort alkalmazó dielektromos rezonátoros oszcillátor (DRO) fáziszaja és a rezonátorok közötti csatolás erőssége között fennálló összefüggést. 20GHz-es jelet előállító hibrid mikrohullámú, tranzistoros dielektromos rezonátoros oszcillátort (DRO) készítettem, melyen végzett mérések lehetővé tették az irodalomban fellelhető matematikai leírások gyakorlati elemzését, valamint összevetését számítógép által végzett szimulációkkal és a megvalósított oszcillátoron végzett mérésekkel.

A kísérleti oszcillátor ATF-36077 típusú, földelt-source-ú elrendezésben alkalmazott pHEMTre épül, mely 20 GHz környékén is elég erősítéssel (~9.3dB @ UDS=2V, UGS= -0.5V) rendelkezik az oszcilláció fenntartásához. Az oszcillátor rezonátora párhuzamos visszacsatoló ágként van megvalósítva a gate és drain portok között. A rezonátorként alkalmazott két dielektromos rezonátor minden paraméterében teljesen megegyezett, melyek közötti csatolási távolság a kísérletek során 6.6mm és 3.3mm között szabadon hangolható volt.

A fenti oszcillátor mérése során gyűjtött fáziszaj mérési eredményeket a dielektromos rezonátorok középpontjai közötti távolságának függvényében mutatja be az alábbi [36,48,49,50].



A kapott adatok azt mutatták, hogy a két dielektromos rezonátor közötti csatolási távolság jelentősen (~6-8dB) befolyásolhatja az oszcillátor kimenet jelének zajteljesítményét. A fáziszaj változását számos jelenség együttes hatása alakítja,

melyeket a következők részletesen elemeznek.

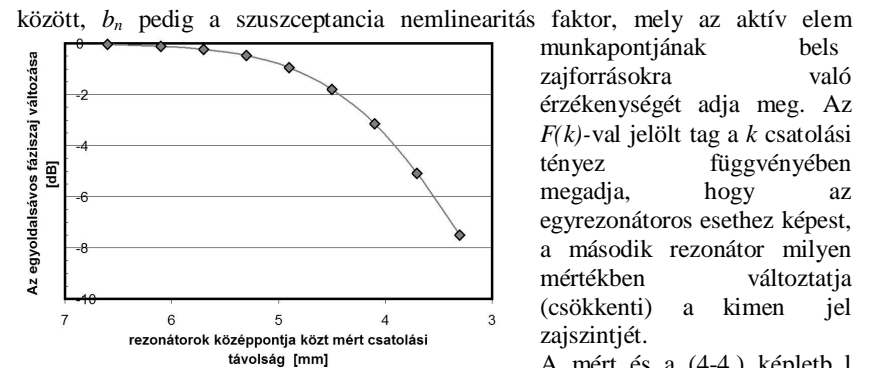
T.II/1. ALTÉZIS: Két, csatolásban levő dielektromos rezonátort alkalmazó 20GHz-es dielektromos rezonátoros oszcillátor esetén kísérleti úton vizsgáltam az oszcillátor kimenet jelének fáziszaj tartalmát a rezonátorokat elválasztó csatolási köz függvényében. Arra a következtetésre jutottam, hogy gyenge csatolás esetén a csatolatlan esethez képest nő a termelt fáziszaj szintje. A csatolás megfelelő erősítése esetén ez a tendencia egy határ után megfordul. Megfelelően kis csatolási köz esetén a csatolatlan esetben tapasztalt szintnél alacsonyabb fáziszajt mértem ki.

A T.II/1. altézis eredménye alapján a következők alapvető megállapítások születhetnek. Elrendezésünkben a 7mm körüli középponti távolságnál oly lazává válik a második dielektromos rezonátor csatolása az oszcillátor fix rezonátorához, hogy nincs számottevő hatással az oszcillátor működésére. A távolság csökkentésének hatására ezen csatolás mértéke egyre nő, a fáziszaj értéke először emelkedésnek indul, majd a csatolás további erősödésével az eredeti (egyrezonátoros esetben megfelelő) szint alá csökken, a végtelmen mért frekvenciától függően mintegy ~3-8dB-lel.

Ezzel szemben, azon matematikai leírás, mely csatolt rezonátorok közös hatását fix elemértékekkel felparaméterezett párhuzamosan csatolt RLC körökkel modellezi, a következőképpen szigorúan monoton összefüggést jósol a csatolási tényező és az oszcillátor fáziszaja kapcsolatára:

$$\Delta f_n = \frac{f_0}{\sqrt{2}} \frac{i_{ne}}{v_a} \frac{\sqrt{1+4b_n^2}}{2Q_1g_1} \frac{[1+(2Q_2\delta_2)^2]^2}{[1+(2Q_2\delta_2)^2]^2 + k^2Q_2^2[(2Q_2\delta_2)^2 + 4b_n(2Q_2\delta_2) - 1]} \quad (4-4.)$$

ahol $Q_i = \frac{\omega_i C_i}{G_i}$, $\omega_i = \frac{1}{\sqrt{L_i C_i}}$, $\delta_i = \frac{\omega - \omega_i}{\omega_i}$, k a csatolási tényező a két rezonátor



között, b_n pedig a susceptancia nemlinearitási faktor, mely az aktív elem munkapontjának belső zajforrásokra való érzékenységét adja meg. Az $F(k)$ -val jelölt tag a k csatolási tényező függvényében megadja, hogy az egyrezonátoros esethez képest, a második rezonátor milyen mértékben változtatja (csökkenti) a kimenet jelzajszintjét.

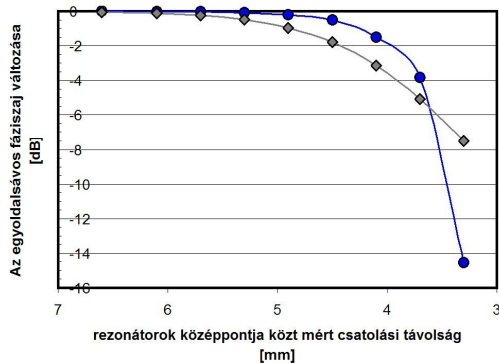
A mért és a (4-4.) képletben számított eredmények jellegükben való eltérése alapján megállapítható, hogy a csatolás erősödésével, egyéb hatásokat is figyelembe kell venni, hogy valóságban képet kapjunk a dielektromos rezonátorok csatolása során az oszcillátor fáziszaját alakító folyamatokról.

T.II/2. ALTÉZIS: A Berceli-féle csatolt rezonátor leírása alapozva a kísérletben alkalmazott rendszerre kiszámítottam, hogy az adott modell alapján a csatolási együttható mekkora mértékű fáziszaj csökkenésért felelős. A csatolási együttható és a csatolási köz közötti numerikus összefüggés alapján ábrázoltam a csatolási köz függvényében a csatolatlan esethez képest elérhető fáziszaj csökkenés mértékét, mely összefüggés a mért adatokhoz képest eltérő jellegűt mutatott.

A dielektromos rezonátor csatolatlan állapotában felépül térösség eloszlás a mikrosztripp elrendezésben megvalósított hullámvezet rajzolattal, valamint a másik dielektromos rezonátorral való csatolás következtében torzul. A torzulás következtében az adott módus ó és így a teljes rezonátor ó vesztesége megnövekszik, a ciklusonként betáplált energiából kevesebbet képes tárolni, amely folyamat gyakorlatilag egyet jelent a rezonátor jószágij tényezőjének romlásával [50]. A dielektromos rezonátorok TE_{018} alap rezonancia módusának torzulása a rezonátorok csatolásának hatására, módosítást visz a T.II/1 altézis által vázolt képbe.

Az említett jószágij tényezőj romlás nem feltétlenül jelenti a teljes rezonátor eredeti jószágij tényezőjének csökkenését, ugyanis a rezonátorok közti csatolás erősségével folyamatosan nő a DR#2-vel jelölt második rezonátor energia tároló képességének kihasználása is. E bonyolult csatolt folyamat nyomon követése a CST MicrowaveStudio 2006 3D elektromágneses tér szimulátor szoftver segítségével megoldható.

A szimulációknak természetesen nemcsak a módusok által felépített tér geometriai eloszlásának ábrázolása volt a cél. Mikrosztripp vezetők csatolva, a CST MicrowaveStudio 2006 által végzett spektrális analízis a tápvonalhoz csatolt dielektromos rezonátor pár által kialakított S-paraméter görbékét szolgáltatott, melyek segítségével a csatolt rezonátor struktúrára vonatkozó részletes áramköri helyettesítéskép valószínű paraméterezése megoldhatóvá vált. A rezonátorok közti



d csatolási távolság függvényében szimulált S-paraméterek lehetnének azok a vizsgálatára, hogy az áramkörhöz és egymáshoz csatolt dielektromos rezonátorok terhelési jószágij tényezője és rezonancia frekvenciája hogyan módosul a csatolási távolság függvényében.

T.II/3. ALTÉZIS: Tovább tökéletesítettem a csatolt rezonátorok hatásának leírását egyéb jelenségek vizsgálatával. Számítógépes háromdimenziós térszimulátor segítségével felmértem a két párhuzamosan csatolt RCL kör mint helyettesítésképpel, paramétereinek a csatolás erősségétől való függését. Ezen csatolás függés elméleti indoklása után a kapott értékeket ismét a Berceli-féle modellbe helyettesítve a mért értékekhez való nagyobb fokú igazodást tapasztaltam.

A csatolás hatására mindkét dielektromos rezonátor helyettesítésképpel paramétereik megváltoznak. E megváltozásnak szintén természetes következménye az adott mértékben terhelte rezonátor torzult alap módusához tartozó rezonancia frekvencia elhangolódása a terheletlen állapothoz képest [50].

Pusztán a T.II/3 altézisben számított csatolásifüggő helyettesítésképpel paraméterek és $f_i = (2\pi\sqrt{L_i C_i})^{-1}$ ($i=1,2$) által meghatározhatók az egyes dielektromos rezonátorok rezonancia frekvencia értékei.

Csatolatlan állapotban DR#1 és DR#2 ó azonos fizikai felépítésük ellenére ó különböző frekvencián rezonálnak, ugyanis míg DR#2 tere a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** által mutatott terheletlen állapotban van, DR#1 az oszcillátor mikrosztripp vonalaihoz csatolva, torzított módus képpel rendelkezik. A csatolás erősségével ó a rezonátorok egymáshoz és az oszcillátor tápvonalaihoz viszonyított elhelyezkedéséből kifolyólag ó egymással ellentétes irányban változtatják rezonanciafrekvenciájukat. Ennek hátterében az áll, hogy míg DR#2 TE_{018} módusa egyik oldaláról kapva csatolást aszimmetrikusan torzul, így egyre távolabb kerülve a terheletlen állapottól, addig DR#1 eredetileg aszimmetrikusabb csatolása DR#2 közeledése következtében egyre szimmetrikusabbá válik, így közelítve rezonancia frekvenciájával a fizikai paraméterei által diktált értékhez.

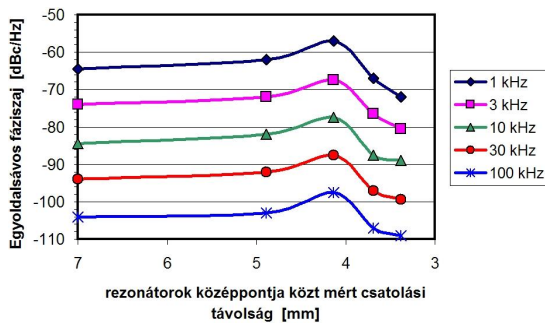
A fenti jelenségek miatt a két rezonátor csatolásának hatására az oszcillátor m kódési frekvenciája is elhangolódik. Ennek pontos értékét számos tényező határozza meg: az oszcillátor terhelése, az oszcillátor aktív elemének nagyjelviselkedése a frekvencia függvényében, az oszcillátor rezonátorának mikrosztripp része és a dielektromos rezonátorok terhelési jószágij tényezőinek egymáshoz való viszonya.

A frekvencia elhangolódása a kimeneti jel zajszintjében is megmutatkozik, jelentős változást okoz az oszcillátor m kódésében. Méréssel meghatározva az oszcillátor elhangolás hatására mutatott zajtöbbletet, egyszerűen megjósolható, hogy a rezonátorok csatolásának hatására történő frekvencia elhangolódás, a csatolás erősségének függvényében mekkora zajtöbbletet visz az oszcillátor kimenetelébe. A T.II/2., T.II/3. illetve T.II/4. altézisekben tárgyalt folyamatok együttes figyelembevételével számított - a csatolás következtében fellépő - fáziszaj változás jellege megegyezett a T.II/1. altézisben bemutatott mért eredményekkel.

T.II/4. ALTÉZIS: Megvizsgáltam a csatolás hatására bekövetkező módus torzulás rezonanciafrekvencia megváltozására való hatását is. Megmértem a kísérletek során alkalmazott oszcillátor fáziszajának oszcillációs frekvenciától való függését. Ezen két vizsgálat alapján szintén számszerű következtetést vontam le arra vonatkozóan, hogy a pusztán a csatolás során bekövetkező frekvencia elhangolódás milyen irányban és mértékben befolyásolja az oszcillátor kimeneti zajszintjét. Ezzel szintén kiegészítve a modell által szolgáltatott eredményt, a mérésekkel összhangban levő jellegű, annak értékeit kielégítő pontossággal követő grafikont kaptam a csatolási köz és a fáziszaj változás közti összefüggésre.

ADS 2002 környezetben szimulációs struktúrát építettem fel, mely alkalmas volt a csatolt dielektromos rezonátoros oszcillátor m ködések számítására. Az elrendezés képes volt zajos nemlineáris tranzisztor modell, mikrosztríp mikrohullámú áramköri egységek és a két csatolt dielektromos rezonátor modelljének kezelésére. A két párhuzamosan csatolt dielektromos rezonátort, a korábbi altézisekben leírt módon számított paraméterekkel megvalósított modell helyettesítette. A szimulációban a kísérleti 20GHz-es oszcillátorral ellentétben, a konstruált áramkör 10GHz-en m köd oszcillációra volt hangolva (ugyanis az alkalmazott tranzisztor modell nem volt képes 20GHz-en kell körer sítést biztosítani stabil oszcilláció fenntartásához). Emiatt a 2. Táblázat paraméterértékeit térszimulátor (CST MicrowaveStudio 2006) szoftver segítségével szintén 10 GHz-es dielektromos rezonátorokra újraszámoltam.

Az áramkörön végzett zaj szimuláció eredményét mutatja az alábbi ábra.



Megfigyelhet, hogy a csatolás erősségének változása függvényében a fáziszaj szintjének változása hasonló jellegű a mérések illetve a számítások során tapasztaltakhoz. Ez esetben is végeredményben a rezonátorok kellően szoros csatolása egyszeri módszerrel ad az oszcillátor fáziszaj szintjének elnyomására.

nek elnyomására.

Megjegyzendő, hogy az ábra által megjelenített fáziszaj értékek természetesen nem követik a korábban mért fáziszaj értékeket, ugyanis egyrészt a szimulációban illetve a mérések során alkalmazott tranzisztor típusa különböző volt, másrészt a két esetben két különböző frekvenciatartományban is m ködött a két vizsgált oszcillátor. Ennek ellenére a szimulációk során kapott görbék jellege megegyezt a korábban ismertetett mérési és számítási eredmények helytállóságát.

A szimuláció során újabb csatolt rezgőkörrel egészítettem ki a rendszert, és az első két dielektromos rezonátor közöttivel azonos csatolási tényezőt alkalmaztam. A számítások azt igazolták, hogy reális csatolási tényezőt alkalmazva, a harmadik rezonátor elhanyagolható hatással van az oszcillátor m ködéseire. Ennek oka abban keresendő, hogy a kétféle csatolás oly gyenge ebben az esetben, hogy szinte teljesen független a harmadik rezonátor az oszcillátor áramkörétől.

T.II/5. ALTÉZIS: Az egymást alátámasztó elméleti és kísérleti eredményekkel összevettem Agilent ADS2002 mikrohullámú áramkör szimulátorban felépített elrendezést által adott zaj adatokat. A MESFET alapú 10GHz-es oszcillátor zajanalízise a kísérleti és elméleti eredményekkel jelleget meggyező zaj-görbéket adott.

3. TÉZISCSONPORT Optimalizált Többhurkos Opto-Elektronikus Oszcillátor

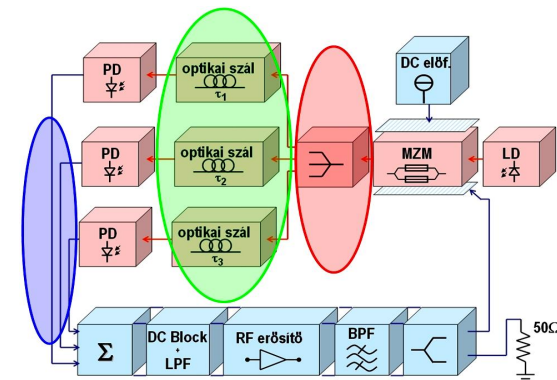
Az irodalomban általánosan elterjedt ótéves ó alapfelgondolás szerint a többhurkos OEO struktúra azon módusai élednek csak az oszcilláció során, melyek minden egyes hurokra önállóan is azonos frekvencián helyezkednek el. Ezt az alapfelgondolást a gyakorlat nem igazolja vissza: számos publikációban találkozni olyan parazita gerjedésmódusok megjelenésével a kimeneti jel spektrumában, melyekre a fent leírt helyzet nem áll.

Amennyiben viszont az összes hurok által közösen megvalósított nyílt hurkú átviteli függvényt vizsgáljuk, pontos és teljes képet kaphatunk a többhurkos OEO m ködéséről.

A többhurkos OEO alábbi ábrán megjelölt részeit pontosan megtervezve olyan oszcillátort kaphatunk, mely garantálja az egymódusú m ködés mellett többhurkos elrendezéssel elérhető legalacsonyabb fáziszaj karakterisztikát.

A sötétkék jelölés az alkalmazott hurkok száma meghatározásának szükségességét mutatja. Mérési és számítási eredmények ismertetése útján a következő altézisekben bizonyítást nyer a feltételezés, hogy a költségek és a gyakorlati kivitelezhetőség szabta határon belül a minél nagyobb számú párhuzamos hurok használata

a célszerű. Az optimalizációs eljárásnak így a megvalósított hurokszám lesz az egyik kiindulási alapja. A zöld szín jelöli az egyes hurkokban alkalmazott fáziskésleltetéseket (optikai szálhosszak) pontos beállításának jelentőségét. A piros jelölés adja a kulcsát az egész optimalizációs eljárásnak: az egyes hurkokon átvitt optikai teljesítmények viszonyát az oszcillátorban levő összteljesítményhez képest.



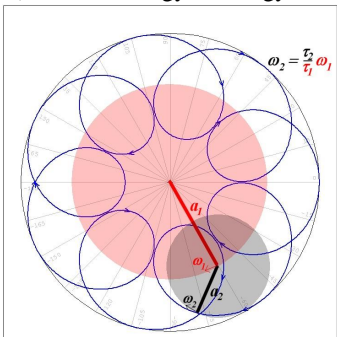
T.III/1. ALTÉZIS: Az opto-elektronikus oszcillátor (OEO) struktúra alapvető felépítésének vizsgálata során megmutattam az abból általánosan fakadó m ködési problémákat egymásnak ellentmondó tervezési célokat eredményező m szakparamétereket. Ráműtöttem az irodalomban számos helyen előforduló többhurkos megvalósítások tervezési elképzelésének hibáira. Helyette pontos analízist lehet vétevé képet adtam a többhurkos OEO vizsgálatára, mely alkalmas az oszcilláló módusok közvetlen környezetében felépülő parazita oszcillációs módusok jelzésére.

Az egyhurkos OEO visszacsatolt hurkában az optikai szálak kivételével, a $df_{\tau_1}=1/\tau_1$ széles tartományon belül az amplitúdó átvitel egyenletes, a fázis átvitel pedig lineáris jelleget mutat a frekvencia függvényében. Tehát ez a spektrális környezetben a fázis illetve amplitúdó ingadozásokat jellemzően a beiktatott optikai szálak fogják meghatározni. Emiatt az elektromos részeket matematikailag helyettesít fix fázistolás hozzáadásával, f ként az optikai iránycsatoló ó optikai szálak ó fotodetektorok által megvalósított optikai részekre koncentrálna, egyszer en vizsgálható az oszcilláció amplitúdó illetve a fázis feltételének teljesülése.

A következő (5-1.) képlet általános formában adja meg a többhurkos összeállítás átvitelét f_0 közelében:
$$T = \sum_{i=1}^n a_i e^{-j2\pi f \tau_i}, \quad (5-1.)$$

ahol n az összes ó párhuzamosan ó alkalmazott hurok számát, τ_i az i -edik hurok által megvalósított teljes hurokkésleltetést, a_i pedig az i -edik optikai hurok által szállított (a teljes optikai szakaszra vonatkoztatott) relatív optikai teljesítményt jelöli.

Ez alapján optimalizált esetként kezeljük a továbbiakban azt az állapotot, mikor a több párhuzamos hurok által kialakított nyílthurkú fázisátvitel a $df_{\tau_1}=1/\tau_1$ széles tartományon belül a 0° - tengelyt mindössze egy ponton (f_0 -ban) metszi, ennek környezetében pedig maximális számú helyen érinti azt. Ekkor ugyanis elérhet, hogy az oszcilláció frekvenciáján a fázismeredekség (így a terhelt jósági tényező is) maximális legyen, az egymódusú m kódés mint feltétel teljesülése mellett.



Egy másik, az értekezés során szintén használt ábrázolási mód, mely segítségével a fent említett jelenségek szintén megjeleníthetők, forgó vektoros analógiára épül. Az (5-1.) képlet alapján az átvitelt ó matematikai formája alapján ó n darab forgó vektor összegeként is értelmezhetjük. Az i -edik vektor hosszát a_i , irányát pedig $-2\pi f \tau_i$ fázis adja. Így a vektorok összege a frekvenciával $f_0 - df_{\tau_1}/2$ és $f_0 + df_{\tau_1}/2$ között söpörve alkalmas a nyílthurkú átvitel amplitúdójának és fázisának szimultán megfigyelésére, így annak eldöntésére, hogy

várható-e az adott beállítás esetén parazita oszcillációs módusok éledése vagy sem, valamint jelzi a parazita módusok számát és a rájuk vonatkozó amplitúdóerősítést.

T.III/2. ALTÉZIS: Többhurkos, egymódusú m kódés mellett maximális jósági tényezővel rendelkező OEO tervezését megvalósító matematikai célt határoztam meg, melyhez a szemléletes kiértékelést támogató, kétféle ábrázolási módot vezettem be. Ehhez az oszcillátor nyílthurkú fázisátvitelének analízisét használtam fel. A matematikai úton egyszer en elvégezhet optimalizációs eljárás elvi megoldhatóságát ellenőriztem.

Többhurkos OEO-k esetén a hosszabb hurkokra adott relatív optikai teljesítmény növelése az oszcillátor zaj jellemzőinek javítása céljából elnyes. Egy adott határon túl való növelése viszont f_0 környezetében (a fázis feltétel többszöri teljesülése miatt) parazita módusok éledését okozhatja.

Adott számú optikai szál használatakor az optimális fázis átviteli görbe eléréséhez nemcsak a rájuk levő optikai jel teljesítményének, hanem a szálak egymáshoz viszonyított hosszának pontos megtervezésére is szükség van. A legnagyobb f_0 -környéki fázis meredekség (az egymódusú m kódés megtervezése mellett) a következő optimalizációs lépésekkel érhető el [41,56,58,61]:

- 1) A legrövidebb optikai szál hosszának meghatározása: az optikai szálak az oszcillátor elektromos részeivel együttesen vett késleltetése (τ_i) által képzett módustávolság (df_{i1}) a rendelkezésre álló sáváteresztő sáv szélességének felénél nagyobb legyen.
- 2) A leghosszabb (n -edik) optikai szál hosszúságának meghatározása: az általa és az oszcillátor elektromos részei által együttesen létrehozott késleltetés (τ_n) a legkisebb (τ_1) késleltetésnek m -szerese legyen, ahol m egy nem-prim egész szám + 1.
- 3) n : az alkalmazott hurkok számának meghatározása: $(m-1)$ bármely osztója + 1.
- 4) L_i : az i -edik optikai szál hossza, ahol $i=[1, \dots, n]$. Meghatározása: olyan τ_i hurok késleltetést kell az elektromos részzel közösen megvalósítani, melyre:

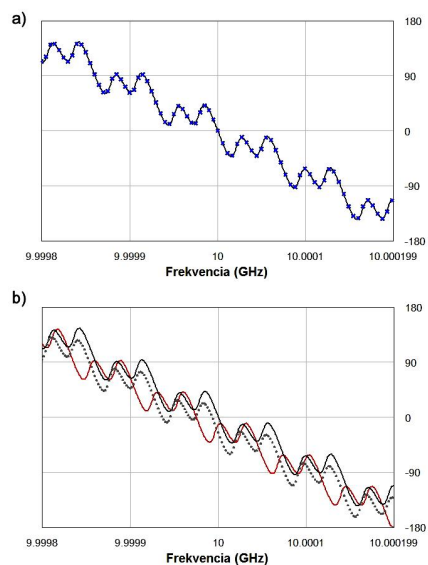
$$\tau_i = \left((i-1) \cdot \frac{m-1}{n-1} + 1 \right) \tau_1, \quad (0-1.)$$

- 5) Amennyiben olyan hurok számot akarunk használni, amely 3) pontban meghatározottól különbözik, ki kell számítanunk az ennél nagyobb következő lehetséges n értéket, ehhez 4) alapján meghatározunk a szálhosszakokat, majd a hurkok közül elhagyunk $n-n$ darabot.
- 6) Számítógépes numerikus optimalizációval, vagy a szintén jelen altézisben megadott analitikus formula alapján meghatározhatjuk azt az optikai teljesítmény eloszlást a hurkok között, mely biztosítja a f_0 körül a maximális elérhető fázis meredekséget az egymódusú m kódésnek megfelelő fázismenet megtartásával (a fázismenet a sáváteresztő sáv átviteli sávjában mindössze egyszer metszi a 0° fázisnak megfelelő tengelyt).
- 7) Abban az esetben, amennyiben a legkisebb optimalizált teljesítmény összemérhető az oszcillátorunk akár az elektromos, akár az optikai szakaszán a zaj teljesítménnyel, L_n hosszát csökkenteni kell (természetesen úgy, hogy továbbra is eleget tegyen a 2) pont feltételének).

T.III/3. ALTÉZIS: Gyakorlati tervezéskor könnyen alkalmazható szabály rendszert (tervezési lépéssorozatot) definiáltam, mely a tervezési paraméterek (optikai hurkok hossza, optikai hurkok száma, hurkokon levő optikai teljesítmények viszonya) közti összefüggést írja le. Ennek követésével egyszer en juthatunk egymódusú, minimális zajjal rendelkező többhurkos opto-elektronikus oszcillátorhoz.

A T.III/3. altézisben megfogalmazott tervezési elvek alapján összeállított optimalizált többhurkos OEO beállításra való érzékenységeinek vizsgálatára egyszer stabilitás analízist végeztem az elrendezésen [61].

A tervezés két kulcs paramétere az optikai szálak hossza és a rajtuk terjedő jelek optikai teljesítményeinek aránya. Így egy egyszerű példában ezeket a paramétereket változtattam a rendszer toleranciájának felmérése céljából.



Az ábra fekete görbéi egy optimalizált háromhurkos OEO fázis átviteli karakterisztikáját adják meg, melyben a hosszak aránya 1:8:15 és az optimalizáció során beépített tolerancia 10° (a görbe az f_0 frekvenciánál való 0° tengely metszésén kívül, a vizsgált sávban sehol nem ér a $+10^\circ$ ó -10° sávba).

Az ábra a) részén a kék keresztekkel jelölt görbe adja a rendszer viselkedését arra az esetre, mikor egytizedes pontosságig állítjuk csak be az optikai teljesítmény arányok optimális értékét. E két görbe szinte tökéletesen fedésben van egymással, nagyfokú toleranciát jelezve az optikai teljesítmények arányának beállítására nézve.

Az ábra b) részén szürke pontokkal jelölt görbe annak az elrendezésnek a fázis átviteli függvényét adja, ahol a hurok hosszának eltérése az optimálishoz nem arányosan módosult. Ezen a görbén újabb 0° -tengely metszések jelennek meg. A piros folytonos vonallal jelölt görbe azt az esetet mutatja, mikor a hurkok hossza arányosan tér el az optimálistól. A görbe alakja, 0° -tengely metszései száma ekkor nem, csupán a közösen kialakított rezonancia frekvencia változik. Ez alapján az érzékenység jelentősen csökkenthető, amennyiben a hurkok egymáshoz termikusan szorosan vannak csatolva. Ekkor ugyanis a szálak hirtelének a hirtelének az esethez hasonlóan arányos nyúlást eredményez.

T.III/4. ALTÉZIS: Elvégeztem az ezen eljárással tervezett oszcillátor paraméter beállítására vonatkozó stabilitás vizsgálatokat. Ezek rávilágítottak, hogy kereskedelmi forgalomban kapható optikai eszközök segítségével (szálynújtó, hőmérséklet szabályzó, stb.) a módszer pontos tervezést és beállítást feltételezve a környezeti jellemzők (hőmérséklet) megváltozása esetén kell robusztusságot mutat a tervezési célok tekintetében. A javasolt optimalizációs tervezési eljárás alkalmas tetszőleges, környezetre vonatkozó tolerancia beépítésére (természetesen a tervezési célok terén kötött kompromisszumok feltételével).

T.III/5. ALTÉZIS: Kísérleti célra 10GHz-es opto-elektronikus oszcillátort építettem, mely alkalmas volt 1-, 2- illetve 3-hurkos optimalizált és nem optimalizált oszcillátor megvalósítására, az optimalizációs elv helytállóságának gyakorlati igazolására. Ennek segítségével megmutattam a korábban az irodalomban létező többhurkos OEO tervezési eljárások hibáját, valamint a javasolt módszer fáziszaj csökkentő hatását.

T.III/6. ALTÉZIS: A kísérleti elrendezésnek megfelelő rendszert valósítottam meg Agilent ADS2002 szimulációs környezetben az optimalizáció során elérhető fáziszaj csökkenés mértékének megállapítására. Az optimalizált többhurkos OEO leírására használt analitikus formulákból kiindulva számítás útján is felmértem az elérhető fáziszaj csökkenés mértékét. A matematikai úton számolt zaj elnyomás értéket összehangban levőnek találtam mind a kísérleti mind pedig a szimulációs eredményekkel, igazolva ezzel a matematikai leírást, valamint a szimulációs modellalkotás helyességét is.

Az értekezéshez kapcsolódó saját publikációk

Külföldön megjelent idegen nyelvű folyóiratcikk

1. Tamás Bánky, Attila Zólomy, Tibor Berceli "Strongly Nonlinear Feedback Technique for Significant Phase Noise Suppression at Microwave Harmonic Oscillators", Kwartalnik Elektroniki i Telekomunikacji, (Poland, IF=0.416) 2004, Vol.50, No. 4., pp 567-578. L R
2. Tibor Berceli, Tamás Bánky, Bálint Horváth "Opto-electronic generation of stable and low noise microwave signals" Optoelectronics, IEE Proceedings, (UK, IF=0.706) Vol. 153., No. 3., June 2006, pp 119-127. L R
3. Tamás Bánky, Bálint Horváth, Tibor Berceli "Optimum configuration of multiloop optoelectronic oscillators", Journal of Optical Society America B, (USA, IF=2.119) Vol. 23., No. 7., July 2006, pp 1371-1380. L R
4. Leguizamon, G. P.; Ortega, B.; Martinez, A.; Manzanedo, M. D.; Pastor, D.; Capmany, J.; Kovacs, G.; Bánky, T.; Berceli, T. "Investigation on the Signal Misalignment in Subcarrier Multiplexed Optical Label Swapping Routers: An Experimental Verification", Journal of Lightwave Technology, Vol. 25., No. 7., July 2007, pp 1854-1860. L R

Magyarországon megjelent idegen nyelvű folyóiratcikk

5. **Tamás Bánky** "*Stability and Noise Characteristics Improvements of Mode-Locked Laser Sources*", *Hiradastechnika* (Hungary, IF=0.444) 2003/6 Selected Papers vol.LVIII pp.36-39. L (fordítás)

Nemzetközi konferencia-kiadványban megjelent idegen nyelvű eladás

6. P.Horváth, T.Marozsák, E.Udvary, A.Zólomy, **T.Bánky**, M.Csörnyei, B.Klein, F.Kubinszky, Z.Lázár, A.Varga "*Investigations on Hardware-Software Interfacing Problems for Reconfigurable Radios*", 1. Karlsruhe Workshop on Software Radios, 2000.03.29-30
7. Eszter Udvary, Tamás Marozsák, **Tamás Bánky** "*Linear and Nonlinear Power Budget of Optical Transmission*" OMW'2000, Autrans, France, 2000.08
8. Eszter Udvary, **Tamás Bánky**, Attila Hilt, Tamás Marozsák "*Noise and Gain Properties of Semiconductor Optical Amplifiers*", MOIKIT Optical/Wireless Workshop, Budapest, Hungary, 2001.03
9. Márk Csörnyei, **Tamás Bánky**, Tibor Berceli "*RIN peak suppression for solid state lasers*", 14th International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications, Gdansk, Poland, 2002.05.20-22, pp.183-186 L R
10. **Tamás Bánky**, Tibor Berceli "*Phase Noise Characteristics Improvement of Hybrid Integrated Microwave Oscillators*", 14th International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications, Gdansk, Poland, 2002.05.20-22, pp.886-889 L R
11. Márk Csörnyei, Tibor Berceli, **Tamás Bánky**, Tamás Marozsák, Peter R. Herczfeld "*A New Approach for RIN Peak and Phase Noise Suppression in Microchip Lasers*", International Microwave Symposium, Seattle, WA, 2002.06.2-7, pp.1377-1380 R
12. Márk Csörnyei, Tibor Berceli, **Tamás Bánky** "*Microchip Laser RIN-Suppression for Fiber Radio Applications*" URSI 2002, XXVIIth General Assembly of the International Union of Radio Science, Maastricht, Netherlands, 2002.08.14-17
13. **Tamás Bánky**, Tibor Berceli, Márk Csörnyei "*Improvements in Stability and Noise Characteristics of Millimeter Wave Mode-Locked Laser Sources*", 1st NEFERTITI European Workshop, Duisburg, Germany 2002.09.04
14. **Tamás Bánky**, Tibor Berceli "*Two New Approaches for Phase Noise Improvements in Millimeterwave Dielectric Resonator Oscillators*", 32th European Microwave Conference 2002, Milan, Italy, 2002.09.23-26 R
15. Tibor Berceli, Márk Csörnyei, Balazs Klein, **Tamás Bánky** "*Nonlinear effects in optical-wireless OFDM signal transmission*" International Topical Meeting on Microwave Photonics, Awaji, Japan, 2002.11.05-08, pp.225-228 L R

16. **Tamás Bánky**, Balint Horvath, Tibor Berceli "*An Effective Technique for Overcoming a General Problem of the Conventional Opto-Electronic Oscillator Structures*", 2nd NEFERTITI European Workshop, Valencia, Spain, 2003.05.19-20
17. **Tamás Bánky**, Balint Horvath, Tibor Berceli "*A New Method for Creating High Spectral Purity Millimeterwave Opto-Electronic Signal Sources*", 11th Microcoll Conference, Budapest, Hungary, 2003.09.10-11 L
18. **Tamás Bánky**, Balint Horvath, Tibor Berceli "*A New Approach for Ultra-Low Phase Noise Millimeterwave Opto-Electronic Oscillators*", International Topical Meeting on Microwave Photonics, Budapest, Hungary, 2003.09.10-12, pp.205-208 L R H
19. **Tamás Bánky**, Tibor Berceli "*Opto-Electronic Oscillators Noise Reduction by Nonlinear Low-Frequency Feedbacking*", 2nd NEFERTITI WinterSchool in Microwave Photonics, York, UK 2004.02.03-05
20. Tibor Berceli, **Tamás Bánky** "*New optical methods for microwave signal generation*", Photonics Europe, (Strasbourg, France) Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 5466, 2004.04.26-30, pp. 157-168 L R
21. **Tamás Bánky**, Attila Zólomy, Tibor Berceli "*Strongly Nonlinear Feedback Technique for Significant Phase Noise Suppression at Microwave Harmonic Oscillators*", 15th International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications, Warsaw, Poland 2004.05.17-19, pp.870-873 L R
22. **Tamás Bánky**, Tibor Berceli, Bálint Horváth "*Improving the frequency stability and phase noise of opto-electronic oscillators by harmonic feedback*", International Microwave Symposium 2004, Fort Worth, TX 2004.06.06-11, pp.2015-2018 R
23. **Tamás Bánky**, Tibor Berceli "*Investigations on Noise-Suppression Effects of Nonlinear Feed-Back Loops in Microwave Oscillators*", International Microwave Symposium 2004, Fort Worth, TX 2004.06.06-11, pp.291-294 R H
24. Tibor Berceli, Márk Csörnyei, **Tamás Bánky**, Tamás Marozsák, E. Udvary, G. Járó, A. Hilt "*Improvements in Radio over Fiber Systems for Mobile Networks*", IEEE Radio & Wireless Conference, RAWCON 2004, Front End Opto-Electronics for Future Radio Communications Workshop, Atlanta, USA, September 20, 2004
25. Bálint Horváth, **Tamás Bánky**, Tibor Berceli "*Short-term Stabilization of Opto-Electronic Oscillators by Multiple Optical Resonators*", International Topical Meeting on Microwave Photonics 2004, Ogunquit, Maine 2004.10.04-06, pp.115-118 L R H

26. Martinez, G. Puerto, D. Pastor, J. Capmany, B. Ortega, M. Popov, P.Y. Fonjallaz, L. Pierno, M. Varasi, **T. Bánky**, T. Berceli "*Parallel label generation and rewriting configuration for 10 Gb/s/channel DWDM-SCM label swapping using FBG arrays*" The 17th Annual Meeting of the IEEE Lasers and Electro-Optics Society, LEOS 2004, vol. 2, pp. 847 ó 848, 2004.11.07-11 L R
27. T. Berceli, **T. Bánky**, M. Csörnyei, G. Kovács, T. Marozsák, A. Zólmoy "*Radio Over Fiber: New Research Results*", Fourth Hungarian WDM Workshop, Budapest, Hungary, 2005.03.01
28. **T. Bánky**, T. Berceli "*Application Perspectives in Opto-Electronic Oscillators*", NEFERTITI Workshop on Photonic Signal Processing for Defence Applications, Rome, Italy, 2005.03.17-18
29. Martinez, A., Pastor, D., Capmany, J., Ortega, B., Fonjallaz, P.-Y., Popov, M., Berceli, T., **Bánky, T.** "*Experimental demonstration of subcarrier multiplexed optical Label Swapping featuring 20GB/s Payload speed and 622Mb/s header conveyed @18.3GHz*" European Conference on Optical Communications (ECOC 05), Glasgow, Scotland, Sept..25-29 2005. pp.959-960 L R
30. **T. Bánky**, B. Horváth, T. Berceli, "*Calculations for the Measure of the Achievable Phase Noise Reduction by the Utilization of Optimized Multiloop Opto-Electronic Oscillators*", 35th European Microwave Conference, EUMC2005, Paris, France, 2005.10.04-06, R
31. Gabor Kovacs, **Tamás Bánky**, Tibor Berceli, Alfonso Martinez, Jose Capmany "*Label processing and node implementation in optical packet switching networks*", 16th International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications, Krakow, Poland 2006.05.22-24 L R
32. A. Martinez, M. Manzanedo, G. Puerto, D. Pastor, B. Ortega, J. Capmany, **T. Banky**, G. Kovacs, T. Berceli, M.K. Popov, P.-Y. Fonjallaz, *Recent Advances on Optical Label Swapping Techniques: An Approach to the Final Results of IST-LABELS Project*, 8th International Conference on Transparent Optical Networks, Nottingham, UK, 2006.06.18-22. pp.51-56. L R
33. Sándor Hosszú, Bálint Tóth, **Tamás Bánky** "*New method for measurement of microwave ferrite devices*", 6th Mediterranean Microwave Symposium 2006, Genova, Italy 2006.09.19-21
34. Martinez, D. Pastor, J. Capmany, M. Popov, **T. Bánky** "*Simultaneous generation and Ultra-Dense multiplexing (50GHz), of Sub-Carrier Multiplexed Optical Label Swapping channels, using compact Fibre Bragg Grating Arrays*" European Conference on Optical Communications (ECOC 06), Cannes, France, 2006.09.24-28 L R
35. Martinez, D. Pastor, J. Capmany, M. Popov, **T. Bánky** "*Optical Single Side Band SCM Header Generation and 20Gb/s Payload Combination/Separation of Multiple Label Swapping Channels Using Fibre Bragg Grating Arrays*" International Topical Meeting on Microwave Photonics, Grenoble, France, 2006.10.03-06 L R
36. **T. Bánky**, T. Berceli *Effects of Coupled Dielectric Resonators on the Noise Properties of Microwave Signal Sources*, 12th Microcoll Conference, Budapest, Hungary, 2007.05.14-16 L
37. R. Klinda, V. Bartoss; M. Csörnyei, **T. Banky**, T. Berceli, *General Purpose Combined Optical-Wireless ZigBee Sensor Networks*, International Conference on Transparent Optical Networks, Roma, Italy, 2007.06.1-5. pp.5-8 R
38. Berceli, T.; Kovacs, G.; Martinez, A.; Capmany, J.; **Banky, T.**; Csörnyei, M., *Routing in Optical Packet Switched Networks Utilizing Microwave Subcarriers*, 8th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services, Nis, Serbia, 2007.09.26-28., pp.181-186, L R
39. **Tamás Bánky**, Tibor Berceli "*Opto-electronic Feedback Loop for Phase Noise Suppression at FET Based RF Oscillators*", International Topical Meeting on Microwave Photonics 2007, Victoria, Canada 2007.10.03-05. L R

Magyar nyelv folyóiratcikk

40. **Bánky Tamás** "*Módus-csatolt lézerforrások stabilitás és zajjellemz inek javítása*", Híradástechnika (Magyarország, IF=0.444) 2003/1 január vol.LVIII 21-24. L

Magyar nyelv konferencia-eladás

41. **Bánky Tamás** "*Félvezet optikai er sít k vizsgálata*", Végz s Konferencia 2000, Budapest University of Technology and Economics, 2000.05
42. **Bánky Tamás**, Kovács Kristóf, Dobán Attila "*Eljárás milliméteres sávú helyi oszcillátorok fáziszajának csökkentésére*", HTE-BME 2002 diákkonferencia, Budapest, Hungary 2002.05.10

Magyar szabadalom

43. **Bánky Tamás**, Csörnyei Márk, *Eljárás vezeték nélküli helyi hálózatokhoz tartozó jeltovábbító részcsoportok optimális helyének kiválasztására, valamint eszközcsoport a jeltovábbító részcsoportok optimális helymegválasztásának megkönnyítésére*, P0600321, Budapest, Magyarország, 2006.04.25.

Az összes publikációk száma: 43
Az összes lektorált publikációk száma: 25
Az összes referált publikációk száma: 24
Az összes ismert hivatkozások száma (beleértve az önhivatkozásokat is): 2
Az összes ismert idegen hivatkozások száma: 2
A Science Citation Index szerinti összes hivatkozások száma (beleértve az önhivatkozásokat is): 0
A Science Citation Index szerinti hivatkozások között az idegen hivatkozások száma: 0

Hivatkozások Bánky Tamás tudományos közleményeire

Andrei Grebennikov, "Noise Reduction in Transistor Oscillators: Part 36 Noise Shifting Techniques", High Frequency Design, Oscillator design, High Frequency Electronics, Vol.4, No. 7., 2005.07 által meghivatkozott cikk:

23. **Tamás Bánky**, Tibor Berceli "*Investigations on Noise-Suppression Effects of Nonlinear Feed-Back Loops in Microwave Oscillators*", International Microwave Symposium 2004, Fort Worth, TX 2004.06.06-11, pp.291-294 R H

M. Kaba, H-W. Li, A.S. Daryoush, J-P. Vilcot, D. Decoster, J. Chazelas, G. Bouwmans, Y. Quiquempois, F. Deborgies, "Improving Thermal Stability of Opto-Electronic Oscillators", IEEE Microwave Magazine, Vol.7, No. 4., 2006.08 által meghivatkozott cikkek:

18. **Tamás Bánky**, Balint Horvath, Tibor Berceli "*A New Approach for Ultra-Low Phase Noise Millimeterwave Opto-Electronic Oscillators*", International Topical Meeting on Microwave Photonics, Budapest, Hungary, 2003.09.10-12, pp.205-208 L R H
25. Bálint Horváth, **Tamás Bánky**, Tibor Berceli "*Short-term Stabilization of Opto-Electronic Oscillators by Multiple Optical Resonators*", International Topical Meeting on Microwave Photonics 2004, Ogunquit, Maine 2004.10.04-06, pp.115-118 L R H