

Fiber Radio rendszerek

Gerhátné Udvary Eszter
udvary@mht.bme.hu

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék
Optikai és Mikrohullámú Távközlés Laboratórium
1111 Budapest Goldmann György tér 3

Összefoglalás:

A cikk bemutatja a „Radio over Fibre” (RoF) rendszereket, a fontosabb struktúrák felépítését, jellemzőit, alkalmazhatóságukat. Megvizsgálja milyen lehetőségek vannak a rendszer telepítési és működtetési költségeinek csökkentésére. Ennek keretében foglalkozik a több feladatot ellátó eszközök és a multimódusú szál alkalmazásának lehetőségével. Bemutatja a kromatikus diszperzió problémáját és ennek megoldási lehetőségeit.

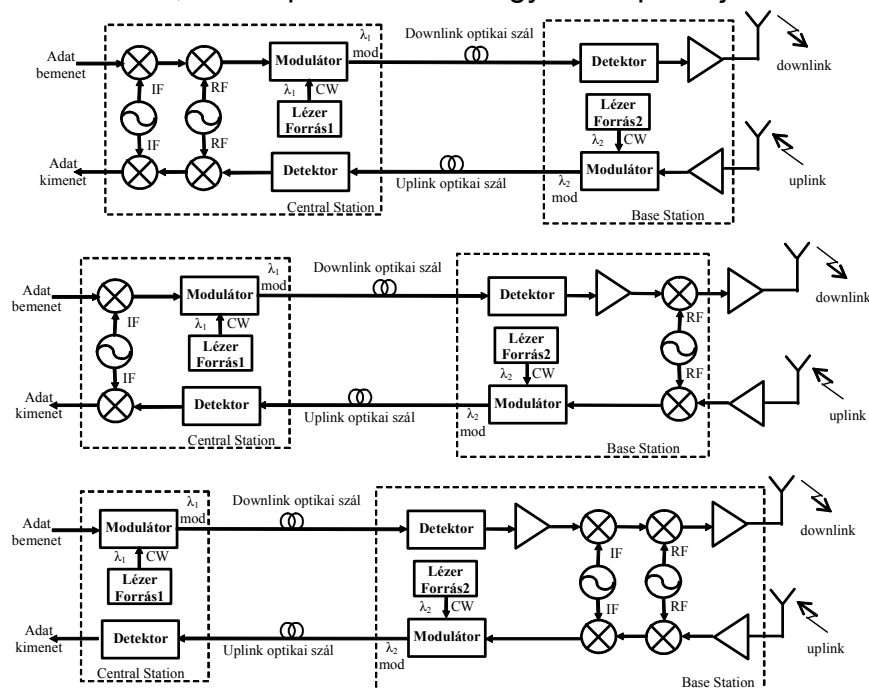
Bevezetés

A vezeték nélküli távközlés új fázisba lépett, hiszen a jelen (és jövő) felhasználóinak olyan rendszerre van szüksége, amelyen keresztül bármikor, bárhol, bármilyen szolgáltatást el tudnak érni, természetesen mindezt alacsony áron. Tehát jelentősen megnő a vezeték nélküli szolgáltatások kapacitásigénye, miközben a rendelkezésre álló frekvenciaspektrum véges. Ez a széles sávú rádió összeköttetés igény magasabb frekvenciatartományok használatához és kisebb cellaméret alkalmazásához vezet. Mindez jól használható beltéri alkalmazások esetén, ahol a nagyfrekvenciás jelek nagy csillapodást szenvednek az épület falain. Az ilyen rendszerekben egy (vagy pár közeli) szobát fed le egy cella. A rendszer telepítési és karbantartási költségeinek minimalizálása érdekében a rádiós egységnek a lehető legegyszerűbbnek kell lennie. Ennek következtében a jelfeldolgozást és vezérlést egy központi egység végzi, az antennát tartalmazó egységet pedig úgynevezett „Radio over Fibre” (RoF) rendszeren keresztül látjuk el [1].

Rendszer ismertetés

A RoF egy olyan technológia, ahol a mikrohullámú (vagy milliméterhullámú) jelet optikai rendszeren keresztül osztjuk el. A rendszer ötvözi az optikai összeköttetés nagy kapacitását a cellás rendszerek által biztosított flexibilitással. Alacsony, a moduláló jel frekvenciájától független csillapítás, nagy sáv szélesség, rádió frekvenciás zavarokra való érzéketlenség, könnyű telepítés és karbantartás, kis teljesítményfelvétel, flexibilis működés jellemzi. Az első RoF rendszert a British Telecom javasolta 1990-ben [1]. Ettől kezdve a vegyes mikrohullámú-optikai (*microwave photonics*) területtel foglalkozó kutatások kiemelt témája lett, hiszen a cellás rendszerek elosztóhálózatának meghatározó technológiájává válhat bizonyos speciális esetekben (irodaházak, bevásárló központok, repülőterek, alagutak, stb.) [2].

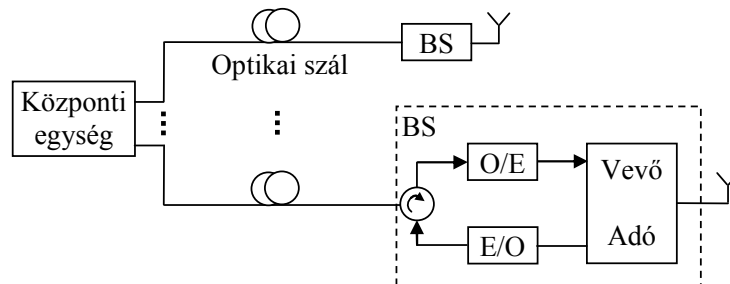
Különböző módszerek vannak a rádió jelek optikai úton való átvitelére, attól függően, hogy a rádiófrekvenciás, a középfrekvenciás vagy az alapsávi jelet továbbítjuk.



1.ábra rádiófrekvenciás, középfrekvenciás, alapsávi jel továbbítása

A távoli állomáson az elektromos elemek abban az esetben a legegyszerűbbek, ha magát a rádió frekvenciás jelet visszük át, hiszen ekkor nincs szükség a fel- és lekeveréshez keverőkre, illetve mikrohullámú helyi oszcillátorra. Ugyanakkor figyelembe kell venni az optikai szál kromatikus diszperziójának hatását.

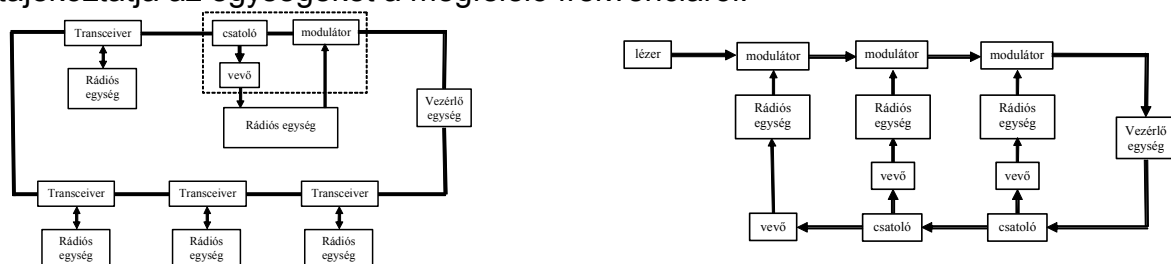
A rendszer lehet csillag, gyűrű vagy nyílt hurkú felépítésű. Első esetben az előző ábrán bemutatott elrendezésnek megfelelően fel- és le irányban eltérő hullámhosszú optikai vivőt használnak. A központi állomás a nagyszámú távoli állomással külön-külön optikai szálpáron teremt kapcsolatot. 100m-nél nagyobb távolság áthidalására az optikai kábel minden esetben jobb paraméterekkel rendelkezik, mint a koaxiális kábel.



2.ábra RoF rendszer általános felépítése, csillag topológia

Gyűrű vagy hurok esetén (3.ábra) egyetlen optikai vivőt modulálunk az információt hordozó segédvivőkkel. Ez tulajdonképpen tisztán segédvivős (SCM – *SubCarrier Multiplexed*) optikai átvitelt, más néven analóg optikai összeköttetést jelent. Gyűrű topológia esetén egyetlen optikai szálát használunk az információ vételére és adására. Minden egység képes bármely másik egységgel kommunikálni. Nyílt hurkú topológia esetén egy optikai szálon keresztül gyűjtjük az információt az összes egységtől. Az összes információ begyűjtése után a jelet visszaküldjük az összes egységet érintve a hurok elejére, miközben minden egység kiválasztja a neki szóló információt. Ebben az esetben is minden egység képes bármely másik egység jelét venni. Az egységek közti maximális távolságot az optikai szál vesztesége, az optikai teljesítmény és az optikai szálon fellépő diszperzió határozza meg.

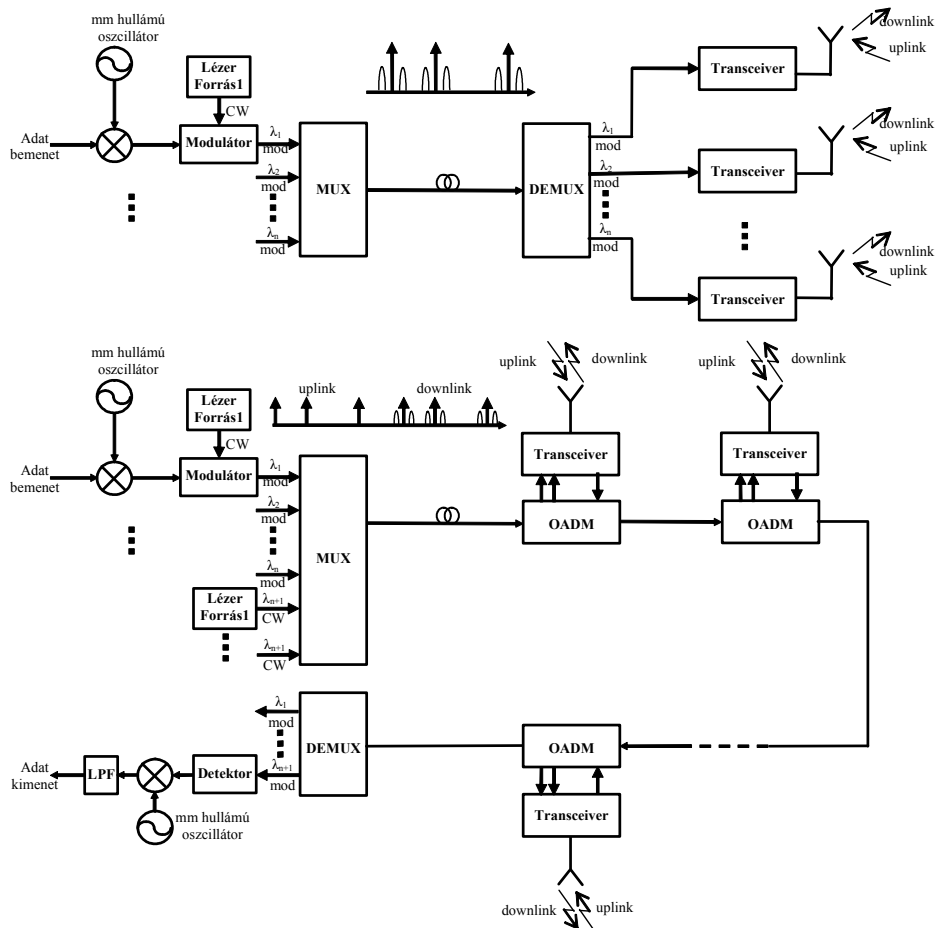
A hálózatban alkalmazott segédvivős csatornák frekvenciái kötöttek. Az egységek adási frekvenciáját célszerű előre kiosztani, de a vételi csatorna frekvenciája függ attól melyik másik egység jelét akarjuk venni. Tehát szükség van egy vezérlő egységre (*control unit*), amely centralizálja a hálózatot, a vezérlő csatornán keresztül tájékoztatja az egységeket a megfelelő frekvenciáról.



3.ábra gyűrű (*ring*) és nyílt hurkú (*open loop*) hálózat egyszerűsített blokk diagramja

WDM-RoF

A RoF rendszert is ötvözhetjük a WDM (*Wavelength Division Multiplexed*) technikával. Ebben az esetben minden bázisállomás (BS - *Base Station*) külön optikai vivőt használ. Egyszerűbb a hálózat topológiája, könnyebb hálózat és szolgáltatás frissítést és egyszerűbb hálózat menedzselést tesz lehetővé, de hullámhossz szelektív, drága optikai elemeket igényel [4].

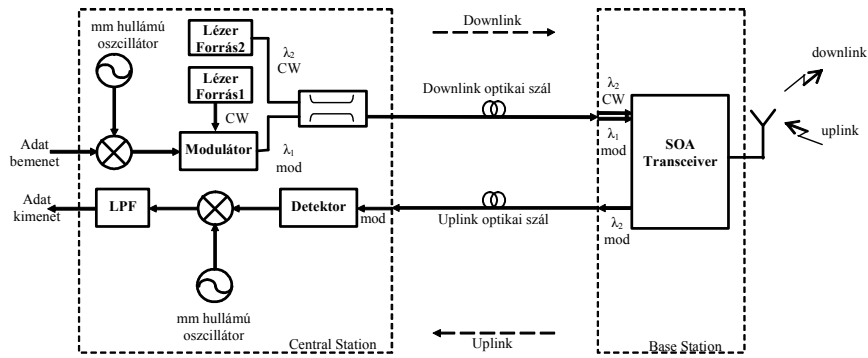


4.ábra WDM-RoF sematikus felépítése, a) csillag/fa b) gyűrű topológia

Többfunkciós eszközök használata

A rendszerben nagy számú BS található, ezért a költségek jelentős hányadát teszi ki a BS-ek ára. Ennek megfelelően igyekeznek olyan architektúrákat kialakítani, ahol a BS a lehető legegyszerűbb és legolcsóbb. Ehhez erősen centralizált rendszerre van szükség, ahol minden drága optikai eszköz a központi egységben található. Tehát a lehető legtöbb feladatot a központi egységben hajtjuk végre, a BS felépítését a lehető legegyszerűbbre választjuk.

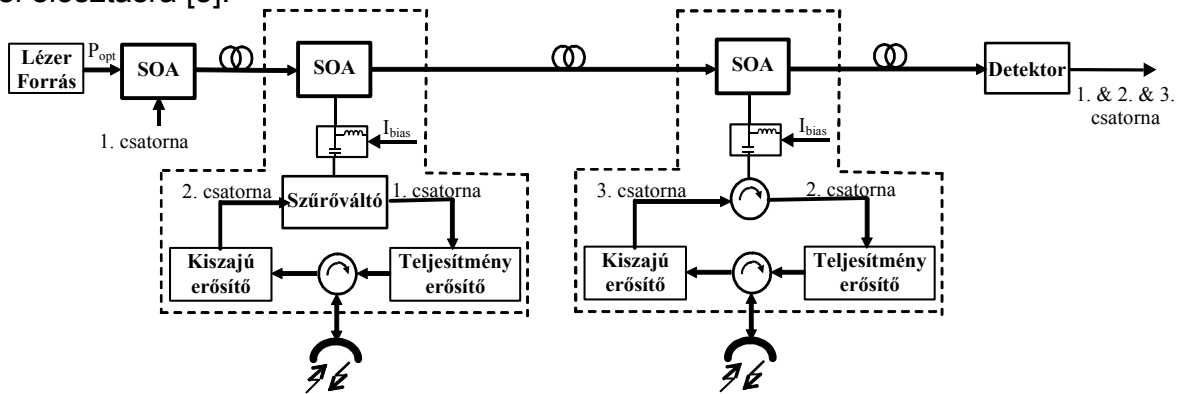
A BS jelentős egyszerűsítését teszi lehetővé a többfunkciós eszközök használata. Több szerzőtől is található javaslat a szakirodalomban elektroabszorpciós modulátor (EAM - *ElectroAbsorption Modulator*) egyidejűleg vevőként és adóként (*transceiver*) való alkalmazására [5, 6]. Hasonló módon használhatjuk a többfunkciós félvezető optikai erősítőt (SOA - *Semiconductor Optical Amplifier*) is. A SOA *transceiver* alkalmazásának előnye, hogy nem csak modulátorként és detektorként működik, hanem a veszteségeket is ellensúlyozza az optikai erősítés hatására. Ahogy az 5.ábrán is látható a SOA vagy EAT többfunkciós eszközként, alacsony árú *transceiver*-ként működik. Lefele irányban a SOA detektálja a λ_1 hullámhosszú optikai jelen lévő információt (*downstream*), felfele irányban pedig a központi állomás által biztosított λ_2 hullámhosszú optikai vivő jelét erősíti, illetve modulálja az *upstream*-mel.



5.ábra Transceiver fiber radio rendszerben

Add/drop multiplexer (modulátor-detektor)

Tisztán SCM rendszerekben, gyűrű, busz vagy nyitott hurok topológia esetén a csatorna *branching* fontos feladat. Ennek megfelelően számos komplikált módszerrel próbálkoznak a feladat megoldásával [7]. Az általam javasolt többfunkciós SOA jól használható add/drop feladatok ellátására SCM rendszerekben. Ebben az esetben az eszköz vonali erősítőként erősíti a beérkező, legyengült csatornák jelét (kompenzálja az optikai összeköttetés veszteségét), ugyanakkor modulátorként új csatornát ad a rendszerhez és detektorként veszi a kiválasztott csatornát. Ezzel a módszerrel kis méretű, kompakt, olcsó rádiós ismétlő állomást valósíthatunk meg a jel elosztásra [8].



6.ábra Add/drop multiplexer

A hozzáadandó és kicsatolandó csatornák szétválasztása elektronikus eszközökkel (szűrőváltóval vagy cirkulátorral) oldható meg. Az első esetben flexibilis, könnyen átkonfigurálható add/drop multiplexer megvalósítása okoz gondot, míg a második esetben egy hangolható elektromos szűrőre is szükség van. A kicsatolt csatorna jelét egy rádiófrekvenciás teljesítményerősítővel erősítjük és az antennán keresztül kisugározzuk a mobil állomás felé. Az *uplink* új csatornájának jelét az antenna veszi és kiszajú előerősítő után kerül a többfunkciós SOA-ra. Ebben a többcsatornás analóg optikai összeköttetésben nagy jel-zaj viszonyra és alacsony nemlineáris torzítási, intermodulációs termékekre van szükség a többfokozatú működés biztosításához. Tehát nagy vételi és modulációs hatások, nagy sáv szélesség és lineáris működés szükséges.

Többmódusú optikai szál alkalmazása

A legtöbb RoF rendszer egymódusú (SMF - *Single-Mode Fibre*) optikai szálal használ átviteli közegként, amely nagy sáv szélességet és alacsony torzítást biztosít. A költségek csökkentésének másik lehetősége, ha többmódusú optikai szálal alkalmaznak. Az iroda- és egyéb középületek jelentős részében találunk használaton

kívüli, de már telepített, multimódusú (MMF – *MultiMode Fiber*), nagyrészt 62.5µm magátmérőjű optikai szálat. Ennek a már meglévő átviteli közegnek a használata csökkenti a telepítés költségeit. Ugyanakkor a költségek jelentős hányadát teszik ki az optikai-elektromos, illetve elektromos/optikai átalakítók. Multimódusú szál esetén egyszerűbb felépítésű adó és vevő használható. Általában hőmérséklet szabályzás nélkül, közvetlenül modulált lézertiódát alkalmaznak. Gyakori a függőleges sugárzású VCSEL (*Vertical Cavity Surface Laser*) használata.

Olcsó, könnyebb kezelni, egyszerűbb felépítésű adó és vevő szükséges, azonban nagyobb a csillapítás mértéke és a módusdiszperzió (az eltérő módusok eltérő sebességgel terjednek) jelentősen csökkenti a modulációs sebességet. Ennek megfelelően kis távolságú összeköttetésre és kis modulációs sebességre alkalmazható. Ez azt jelenti, hogy csak alapsávi jelet továbbíthatunk az optikai csatornán. A többmódusú optikai szál frekvencia válasza nem csökken folyamatosan, hanem viszonylag kis csillapítású sáváteresztő tartományokkal rendelkezik. Ezen alapuló megoldás, hogy nem alapsávban, hanem áteresztő sávban használjuk az összeköttetést. Azonban a módusdiszperzió miatt ezek az áteresztő sávok függenek a szál hosszától, ami nem praktikus egy RoF infrastruktúrában.

Diszperziós probléma

Diszperzióknak nevezzük azt a jelenséget, hogy az optikai úton továbbított jel egyes komponensei eltérő sebességgel terjednek. Egymódusú szál alkalmazása esetén a fény közegbeli terjedési sebessége függ az optikai jel hullámhosszától. A közegben haladó fény nem egyetlen szigorúan meghatározott hullámhosszat tartalmaz, a különböző frekvenciájú komponensek pedig eltérő sebességgel terjednek, ezt hívjuk kromatikus diszperzióknak.

A diszperzió hatása megfigyelhető a rádiófrekvenciás (RF) jelek üvegszálon történő továbbításakor. Az optikai átvitel során használt intenzitás moduláció (IM) az optikai spektrumban két oldalsávot hoz létre az optikai vivő körül (DSB - *Double Side Band*). Ahogy a jel terjed az optikai átviteli közegben a kromatikus diszperzió miatt a két oldalsáv eltérő sebességgel halad, azaz fáziseltérés figyelhető meg a két oldalsáv között. Adott optikai szálhossz és modulációs frekvencia esetén a diszperzió miatt a két oldalsáv ellentétes fázissal kerül a detektorra, ami a detektált elektromos jel szintjének csökkenéséhez vagy akár teljes kioltásához vezet. Az optikai összeköttetés frekvencia átviteli függvénye, ha a lineáris veszteséget és az állandó késleltetést elhanyagoljuk:

$$H_{\text{link}}(f) = \cos\left(\frac{\lambda^2 \cdot D \cdot \pi \cdot f^2 \cdot L}{c}\right) \quad (1)$$

ahol D: a diszperziós együttható, L: az optikai szál hossza, f: a moduláló jel frekvenciája, c: a fénysebesség vákuumban, λ: a hullámhossz. Amint az a képletből látható az átvitelben ismétlődő minimumok figyelhetők meg.

A diszperzió hatásának csökkentésére számos módszert találhatunk a szakirodalomban

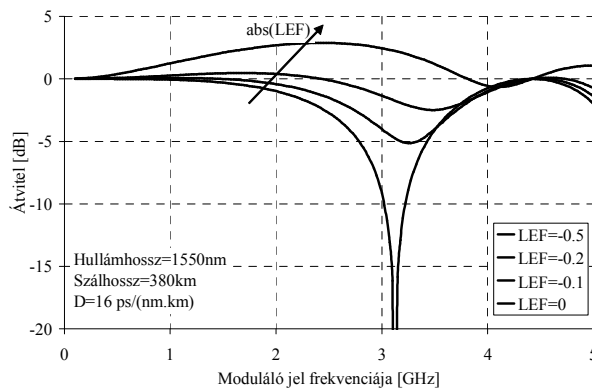
- speciális diszperziójú szálak alkalmazása fölváltva, az egyes hosszakat úgy választva meg, hogy az ellentétes diszperziójú szálak ellensúlyozzák egymás hatását;
- a diszperzió várható mértékének ismeretében előtorzítják az impulzust;
- optikai egyoldalsávos (SSB - *Single Side Band*) moduláció.

- chirped fiber gratings;
- elektroabszorpciós modulátor;
- optikai szál ön-fázis modulációja;
- kétmodusú lézer (dual mode laser);
- optikai spektrum tükrözése az összeköttetés közepén;
- stb.

Kevésbé ismert megoldás a már említett többfunkciós SOA használata [13]. A SOA-t tartalmazó optikai átvitel esetén módosul a rendszer átviteli függvénye.

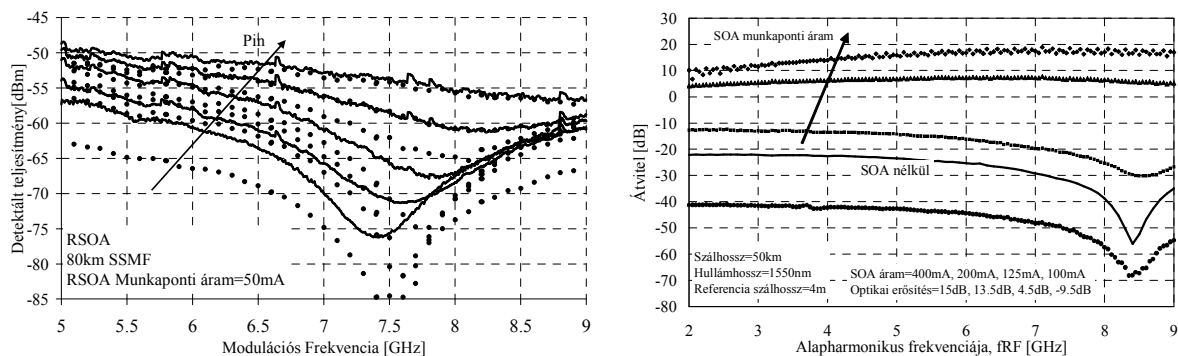
$$H_{\text{SOA+link}}(f) = \cos\left(\frac{\lambda^2 \cdot D \cdot \pi \cdot f^2 \cdot L}{c}\right) - \text{LEF} \cdot \sin\left(\frac{\lambda^2 \cdot D \cdot \pi \cdot f^2 \cdot L}{c}\right) + j \cdot \text{LEF} \cdot \frac{f_c}{f} \cdot \sin\left(\frac{\lambda^2 \cdot D \cdot \pi \cdot f^2 \cdot L}{c}\right) \quad (9)$$

A 7. ábra a megadott képlet alapján számított átviteli függvényt adja meg különböző SOA chirp értékek (LEF) esetén 400 km optikai összeköttetésre. A számítások során 0dBm bemeneti optikai teljesítményét vettem figyelembe, hogy a szál nemlinearitása ne befolyásolja az átvitelt.



7. ábra A mikrohullámú optikai összeköttetés átvitelének számítása különböző SOA chirp paraméterek esetén

A mérési eredmények alátámasztják a számítások eredményeit. A következő ábrán a rendszer átvitele látható különböző paraméterek esetén. A 8 a) ábrán megfigyelhető, hogy a SOA bemeneti optikai teljesítményének függvényében változik az eszköz chirp mértéke, ahogy telítődik az eszköz egyre egyenletesebb az átvitel. Ahogy növekszik az eszköz előfeszítő árama (ezáltal az optikai erősítés) az átviteli völgyek mélysége csökken és magasabb frekvenciák irányába tolódik (8 b) ábra).



8. ábra Mért rádiófrekvenciás átvitel (a back-to-back optikai átvitelre normalizálva) a) különböző bemeneti optikai teljesítményekre b) különböző SOA munkapontoknál

Összefoglalás

A cikk bemutatja a „Radio over Fibre” (RoF) rendszereket, a fontosabb struktúrák felépítését, jellemzőit, alkalmazhatóságukat. Megvizsgálja milyen lehetőségek vannak a rendszer telepítési és működtetési költségeinek csökkentésére. Ennek keretében foglalkozik a több feladatot ellátó eszközök és a multimódusú szál alkalmazásának lehetőségével. Bemutatja a kromatikus diszperzió problémáját és ennek megoldási lehetőségeit.

Irodalomjegyzék:

- [1] A. J. Cooper, “Fibre-Radio for the provision of cordless/mobile telephony services in the access network”, *Electron. Lett.*, vol.26, pp.2054-2056, 1990.
- [2] David Wake, Keith Beacham: “Passive Electroabsorption Transceivers for Broadband Wireless Access”, NEFERTITI Workshop on Broadband Optical/Wireless Access, September 9, 2003, Budapest
- [3] Anthony Ng’oma: “Radio-over-Fibre Technology for Broadband Wireless Communication Systems”, Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2005. Proefschrift. – ISBN 90-386-1723-2
- [4] Hong Bong Kim: „Radio over Fiber based Network Architecture”, Dissertation 2005, Technischen Universität Berlin
- [5] Dieter Jäger, Andreas Stöhr: „Microwave Photonics – From Concepts to Applications”, GeMiC 2005, pp.136-139
- [6] Allehano
- [7] Hiroyo Ogawa, K. Horikawa, H. Kamitsuna, O. Kobayashi, Y. Imaizumi, I. Ogawa: “Application of Semiconductor Optical Amplifiers to Microwave Signal Processing”, IEEE MTT-S Digest, pp1177-1180, 1995
- [8] Udvary Eszter, Berceli Tibor: Branching Function by Semiconductor Optical Amplifier (SOA) in Subcarrier Multiplexed (SCM) Optical Systems, 11th Microcoll conference, Budapest, Hungary, September 10-11, 2003, pp. 51-54.
- [9] Udvary Eszter, Berceli Tibor: Multifunctional SOAs in Fiber Radio Systems, PWCom 2005 12th Nefertiti Workshop “Photonics in Wireless Communication: Cost-Effective Solutions and Future Technologies”, CD-ROM, Session Fr-1, Säröhus, Göteborg, Sweden 1-3 June, 2005.
- [10] Udvary Eszter, Marozsák Tamás, Berceli Tibor: Application of SOAs in Fibre Radio Systems, 32th European Microwave Conference (EUMC’2002), IEEE, Vol.2, pp.693, 23-26 September 2002, Milan, Italy
- [11] Gerhátné Udvary Eszter: Félvezető Optikai Erősítők alkalmazása Segédvívös Optikai Hálózatokban, PKI Tudományos Napok, pp.173-184, 2004. November 29-30.
- [12] M. García Larrodé, A. M. J. Koonen, J. J. Vegas Olmos: „Overcoming Modal Bandwidth Limitation in Radio-over-Multimode Fiber Links”, IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 18, No. 22, November 15, 2006, pp.2428-2430
- [13] Gerhátné Udvary Eszter, Berceli Tibor, Hilt Attila: “Diszperzió hatásának és a harmonikusok viselkedésének vizsgálata optikai hálózatokban”, Híradástechnika folyóirat, 2008/6 pp. 20-26