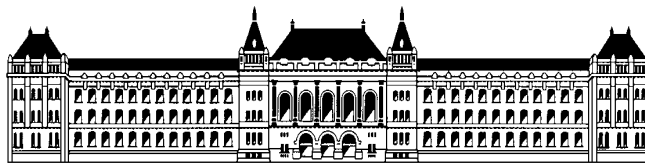


MÉRÉSI SEGÉDLET

Mérések mikrohullámú adatátviteli rádióösszeköttetésen

(ML hallgatói mérés)

V2 épület VI. emelet 620.
Fénytvávközlés Labor



BUDAPESTI MŰSZAKI és GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
VILLAMOSMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR



Mikrohullámú Híradástechnika Tanszék
H-1111 Budapest, Goldmann György tér 3.
V2 épület VI. emelet
tel.: (+36 1) 463 15 59, fax : (+36 1) 463 32 89

Készítette:
Porcsin Tamás

2000

Bevezető

A mérésben szereplő berendezések úgynevezett kis/közepes kapacitású digitális mikrohullámú rádió-berendezések. Általában $n \cdot 2$ Mbit/s sebességű digitális jelek átvitelére szolgálnak. Előnyösen alkalmazhatók nyilvános távközlő hálózatok rurál vagy városi szegmenseiben trónk áramkörök jeleinek továbbítására, cellás mobil hálózatok bázisállomásai közötti összeköttetésekre; magánhálózatokban telefon alközpontok illetve számítógép-hálózatok közötti összeköttetésre. Tipikus hatótávolságuk néhányszor tíz kilométer. Előnyük a gyors és egyszerű telepítés és a kis üzemeltetési költség (egy mindössze 64 kbit/s sebességű bérelt vonali kapcsolat magas havidíjával szemben mindössze a kb. 40 W elektromos teljesítmény díját kell megfizetni). Hátrányuk, hogy egyszeri nagyobb beruházást igényelnek, az időjárás (fading) befolyásolhatja a kapcsolat minőségét, illetve frekvenciaengedély kell hozzá.

A nemzetközi telekommunikációs szabványok a 7, 10, 13, 15, 18 illetve 23 GHz-es sávban jelölnék ki frekvenciákat ilyen célra. A mérés során egy 15 GHz-en illetve egy 23 GHz-en üzemelő berendezést fogunk vizsgálni. Ezek: a magyar Totaltel TDR-15/8 és a svéd Ericsson MINI-LINK 23 berendezései.

A berendezések full duplex üzemmódban működnek, ami szükségessé teszi két különböző frekvencia alkalmazását, azaz egy berendezés-pár két frekvenciát használ egy úgynevezett felső és egy úgynevezett alsó frekvenciát. A Magyarországon érvényes szabványok szerint a 15 GHz-es sávban erre a célra a 14.5 - 15.35 GHz közötti frekvenciák vannak kijelölve az ITU-R (régebben CCIR) Rec. 636 szerinti 3.5 MHz-es raszterű frekvenciaterv szerint; a 23 GHz-es sávban pedig a 21.2 - 23.6 GHz közötti frekvenciák az ITU-R Rec. 637 szerinti ugyancsak 3.5 MHz-es raszterű frekvenciaterv szerint. Az alsó és felső frekvenciák távolsága a 15 GHz-es sávban 420 MHz, a 23 GHz-es sávban 1008 MHz. A moduláció négy állapotú FSK (4FSK). A 8 Mbit/s sebességű átviteli csatorna sáv szélessége 7 MHz (ez tehát két rasztert foglal el a frekvenciatervben).

A berendezések a jeleket úgynevezett rádió keretbe szervezve továbbítják. Ez lehetővé teszi több 2 Mbit/s sebességű jel nyálábolását (integrált digitális multiplexer) valamint segédinformációk (szolgálati adat- és távbeszélő-csatorna, riasztások, jelzések) átvitelét.

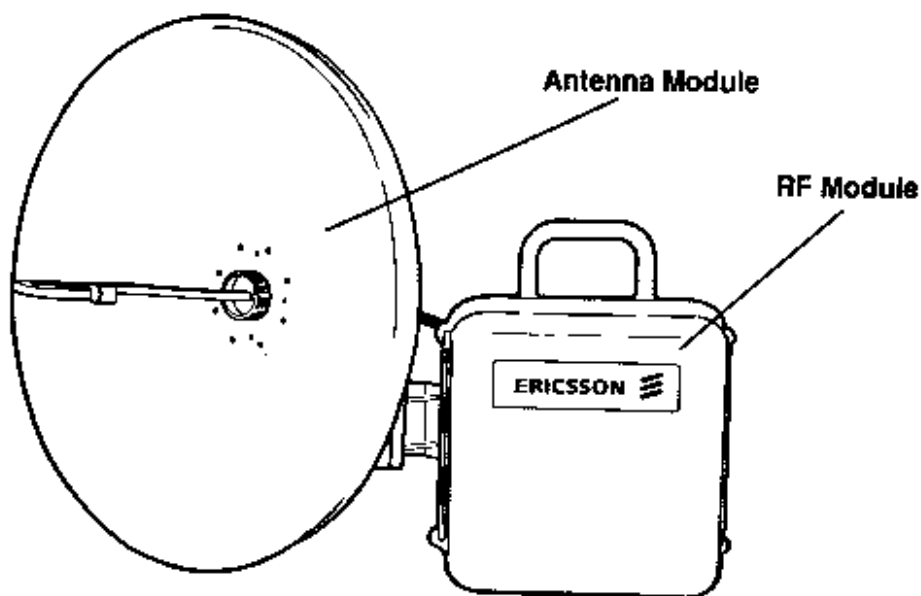
Az összeköttetés minőségét az ITU-T (régebben CCITT) G.821 ajánlása szerint jellemezzük. E szerint a következő kategóriákat különböztetjük meg:

- Errored Secs. (ES) Hibás másodpercek: ahol bármilyen hiba fennáll
- Severely Errored Secs. (SES) Súlyosan hibás másodpercek: ahol $BER > 10^{-3}$
- Degraded Minutes (DM) Hibás percek: amelyik percben $BER > 10^{-6}$
- Unavailable Seconds (UAS) Megszakadt másodpercek: ahol legalább 10 egymást követő másodpercben $BER > 10^{-3}$

BER jelentése: Bit Error Rate, Bithiba-arány; a hibás bitek száma osztva az időegység alatt elküldött bitek számával.

A berendezések felépítése:

A TDR berendezés két részből áll, a rádiókonténerből (ez egybe van építve az antennával) és a digitális végberendezésből áll. Ez utóbbi végzi a csatornák multiplexálását. A MINI-LINK is hasonló felépítésű, de a méréshez csak a kültéri egység



1. ábra

áll rendelkezésre (lásd 1. ábra). Ez két fő egységből áll: egy rádiófrekvenciás (RF) modulból és egy forgásparaboloid antennából. Ezek rugalmas csőtápvonallal (Flexwell) vannak összekötve. Az RF egység további két részre osztható:

1. Alapsávi egység (Baseband Unit). Feladata a jelek be- és kivitele, multiplexálás, valamint ide tartozik a vezérlés és felügyelet is. Digitális, többsebességű változatban gyártják (2, 8, 1.5 és 6Mbps).
2. Mikrohullámú egység (Microwave Unit). A jel mikrohullámú keverését és erősítését végzi.

A MINI-LINK 23 8 különböző frekvenciaterv szerint üzemelhet. Ezen belül több száz adófrekvencia választható, annak függvényében, hogy hol található szabad raszter. A mérés során az 52/54 számú frekvenciatervet használjuk (ez felel meg a magyar előírásoknak). Ebben 288 frekvencia közül választhatunk a 23GHz-es sávban. 1.75 MHz-enként következnek a választható középfrekvenciák (a raszter határ, illetve felezőpontjain). A gyártó ezt a következőképpen adja meg:

$$f_{ad\acute{o}}^{MHz} \equiv 23016 + n \cdot 1.75$$

$$f_{vev\acute{o}}^{MHz} \equiv 22008 + n \cdot 1.75$$

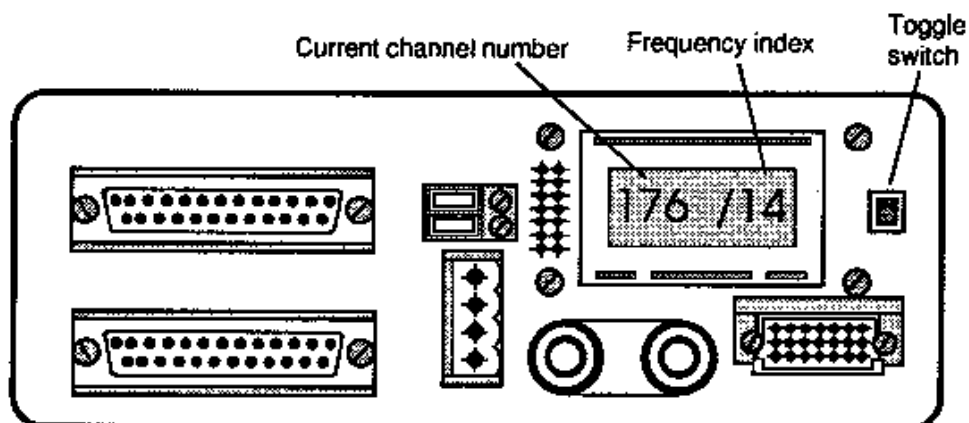
ahol: $n=1..288$ lehet.

A TDR berendezés csak a magyar szabvány szerinti frekvenciaterv szerint működhet. A rádiókonténer négy egységet tartalmaz: diplexer (TAD), RF adó-vevő (TTR), digitális jelkezelő (TDSP) és tápegység (TCPS). A TTR fixen alsó vagy felső frekvenciasávú, ezen belül az adó- vevő- illetve tesztfrekvenciákat jumperekkel lehet beállítani. A diplexer nyolc lépcsőben fogja át a frekvenciasávot. Egy további jumper szolgál a moduláció engedélyezésére. A TTR egységen a frekvencialöket (és ezzel a sáv szélesség) állítható. A TDSP egységen mérőpontok vannak kialakítva a szemábra (eye pattern) megjelenítésére.

A digitális végberendezés három egységet tartalmaz: jelfeldolgozó/interface (TSPU), szolgálati/felügyeleti egység (TSSU) és tápegység (TPS). Ide csatlakozik a szolgálati telefon. A TSSU kártyán ki van vezetve a vételi szintnek megfelelő feszültség, illetve jumperekkel különböző tesztthurkokat lehet bekapcsolni (lásd később). A jelzések jelentése a következő:

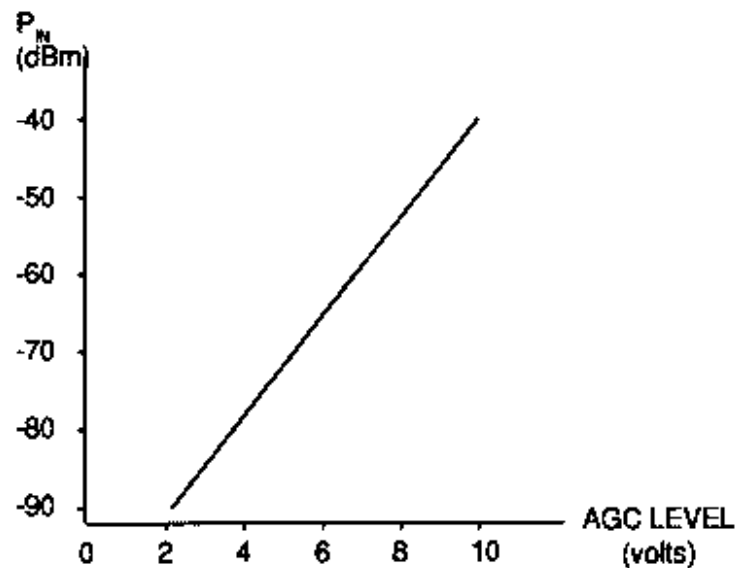
- LOBER: LOW BER; $BER > 10^{-6}$
- HIBER: HIGH BER; $BER > 10^{-3}$
- FSL: Frame Synchron Loss; Keret-szinkron veszteség
- RFE: RF Error; A TTR egység hibás
- ISL1.4: Input Signal Loss; Az 1.4 bemeneten nincs jel (a berendezés ekkor tesztcélből véletlen eloszlású jelsorozatot ad a csatornába)
- CHIDE: CHannel IDentification Error: Másik, ugyanazon a frekvencián működő összeköttetés zavaró hatása válthatja ki
- REME: REMote Error; A szakasz túloldalán hiba van
- TEST: Valamelyik tesztthurok be van kapcsolva.

Ezekon kívül még egy BER mérő és egy vételi szint indikátor található ezen a kártyán. Ide csatlakozik a lekérdező program (PerDaCo) is soros vonalon keresztül.



2. ábra

A MINI-LINK kültéri egység előlapja a 2. ábrán látható. A berendezés előlapján LCD mutatja az aktuális frekvenciaterv számát (Frequency Index) és az n szorzótényezőt (Current channel number). Kis idő elteltével a csatorna szám eltűnik és -23- jelzés jelenik meg, ami a 23GHz-re utal. A két 25 pólusú D-sub csatlakozón az adat illetve a szolgálati csatorna kivezetései vannak. Ide kerül a beltéri egység által multiplexált 8 Mbit/s-os jel. A jobb alsó sarokban látható 21 pólusú csatlakozóhoz kapcsolható a szerviz terminál. A középen lévő csatlakozó a tápfeszültség beadására szolgál; a mellette levő banándugókra pedig a vevő AGC feszültsége van kivezetve. Az AGC feszültség így egy voltmérővel mérhető. A gyártó megadott egy görbét, amivel a feszültség ismeretében meghatározható a vett teljesítmény. Ez látható a 3. ábrán. Ez hasonló funkciót lát el, mint a TDR berendezés vételi szint feszültsége: az antennák irányba állítását lehet segítségükkel elvégezni. Felszereléskor



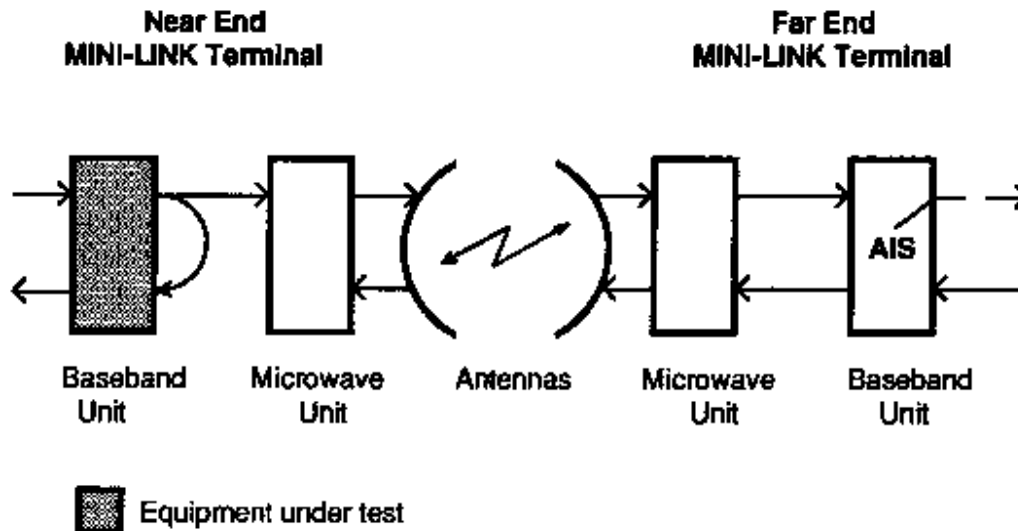
3. ábra

jelmaximumra kell törekedni, ezt a parabolaantenna mozgatásával kell megoldani (eleváció, azimut). A pontos irányba állás és szilárd rögzítés fontos, mert az alkalmazott antennák 3 dB-es irányélességi szöge 1-2 fok.

Minden egységhez tartozik egy telefon, ezzel lehetővé válik, hogy a szerelők beszélhessenek egymással. Ez egy 3.1 kHz sávszélességű analóg telefoncsatorna. Segítségével a visszahurkolások létrejöttéről is meggyőződhetünk (pl. halljuk a saját hangunkat a hallgatóban).

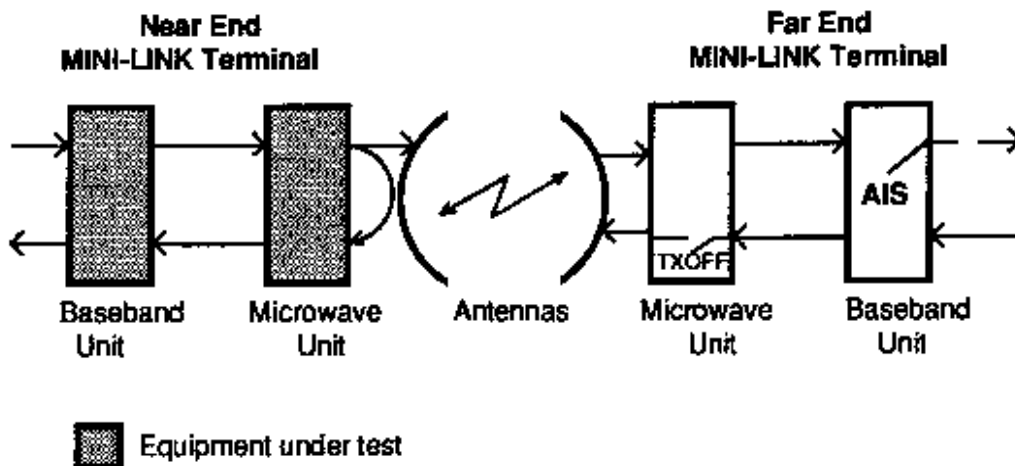
Tesztelés

Hibakeresésnél illetve ellenőrzéskor nagy segítséget nyújt a visszahurkolás. Ez azt



4. ábra

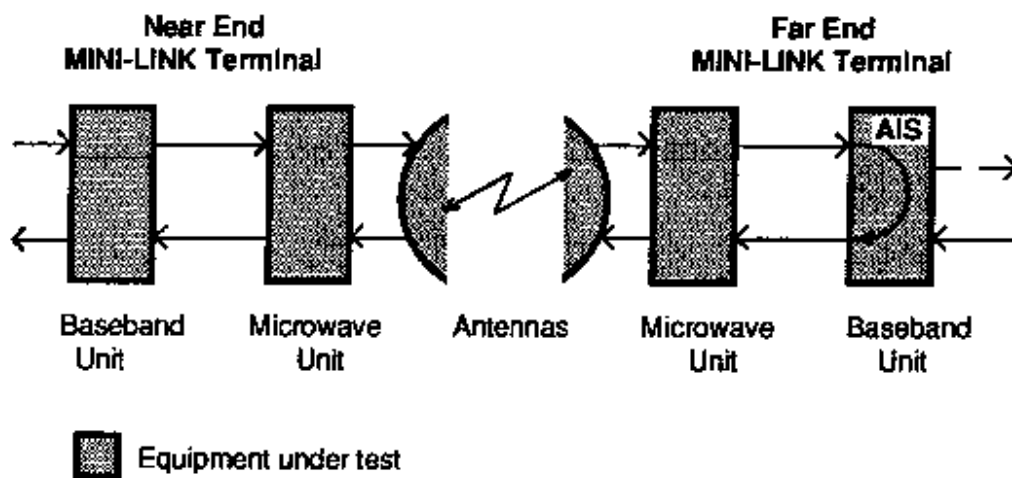
jelenti, hogy egy adott egység után a kijövő jelet rávezetjük ugyanannak az egységnek a bemenetére. Ez megtehető, hiszen full duplex rendszerről van szó. A MINI-LINK kétfajta hurkolást tesz lehetővé, az alapsávít és a rádiófrekvenciásat. A



5. ábra

rádiófrekvenciás hurkolás csak a saját oldalon, míg az alapsávi hurkolás a távoli oldalon is végrehajtható. Ezeket illusztrálja a 4...6. ábra. A TDR berendezésben hasonló tesztelési lehetőség van kiépítve. Az előző szakaszban említett tesztfrekvencia a TTR egység visszahurkolásánál az adófrekvencia, azaz ilyenkor az

adó a saját vevő frekvenciáján működik. A tesztelt egység(ek) megfelelően működnek, ha a kimenő jel azonos a bemenővel.



6. ábra

Kezelés

A TDR berendezésen minden funkció hardware-ből kezelhető. Kivételt képez a TSSU kártya, amellyel soros vonalon a már említett programmal kommunikálhatunk, illetve egyes parancsokat kiadhatunk. Ehhez ismerni kell a kártyák címeit. Jelen mérésben ezek: 4Ch illetve 4Ah.

A MINI-LINK berendezés a szolgálati csatornán keresztül egy vezérlőprogrammal kezelhető. Ennek két változata van az egyik egy egyszerű LCD kijelzős terminálhoz készült, a másik egy PC-n futtatható Windows-szerű kezelőfelülettel rendelkező program. Mindkettővel ugyanazok a funkciók érhetők el. A mérés során a felhasználóbarátabb verziót fogjuk használni. A megjelenített jelzések értelmezése:

RF rádiófrekvenciás figyelmeztetés

RFOUT nincs RF kimenő jel, vagy kicsi (min. 9dBm)

RFIN nincs RF bejövő jel

TXFR adóoldali oszcillátor probléma

RXFR vevőoldali oszcillátor probléma

BT alapsávi figyelmeztetés az adóoldalon

ITRF1 az 1-es csatornán forgalmi hiba (bejövő)

ITRF2 a 2-es csatornán forgalmi hiba (bejövő)

BR alapsávi figyelmeztetés a vevőoldalon

BER sok a hibás bit

RFF12 keret szinkronizáció hiba

OTRF12 forgalmi hiba (kimenő)
M busz vagy processzor hiba (vagy RS232 hiba)

Induláskor be kell állítani mindkét állomás csomóponti címét (node address), majd a kívánt frekvenciaterv számát. Természetesen a frekvenciatervet a MINI-LINK előlapján is be kell állítani. Ezt egy le-fel mozgatható kapcsolóval lehet váltani. (A sikeres kommunikáció érdekében az állomásnak azon a frekvencián kell adnia, ahol a másik vesz és fordítva, de a címeiknek különbözőknek kell lennie. Pl. A001 és B001 címet kell választani.)

A mérés végrehajtása

A mérés során nem használunk antennákat, a két MINI-LINK egységet egy hajlékony csőtápvonallal, a két TDR berendezést koaxiális kábelrel kötjük össze. Figyelembe kell venni, hogy nem arra tervezték a rendszert, hogy antenna nélkül összekössék azokat, ugyanis a kisugárzott teljesítmény kb. 17 dBm, a vevők dinamikatarományja pedig -10.. -90 dBm. Ezért a csőtápvonalba csillapítóanyagot helyezünk, a koaxiális kábelbe pedig állítható csillapítót iktatunk. Ezekkel szimulálható a rádiócsatorna csillapítása.

FIGYELMEZTETÉS: A BEKAPCSOLT MINI-LINK BERENDEZÉSNÉL NE NÉZZÜNK A NYITOTT CSŐTÁPVONALBA, MERT EZ A SZEMET KÁROSÍTHATJA!

Elvégzendő mérési feladatok:

1. A TDR berendezésen:
 - 1.a. Mérje meg mindkét adó kimenő-teljesítményét.
 - 1.b. Kapcsolja ki a modulációt; határozza meg a vivőfrekvenciát. Ellenőrizze, hogy a vivők távolsága megfelel-e a szabványnak (420 MHz).
 - 1.c. Kapcsolja vissza a modulációt; mérje meg az adóspektrum 3 dB-es sávszélességét. Ha szükséges állítsa be a szabványos értéket (7 MHz).
 - 1.d. Oszilloszkópon jelenítse meg a szemábrát.
 - 1.e. A változtatható csillapítóval iktasson be különböző szakaszcsillapításokat. Figyelje meg a hatást a szemábrán.
 - 1.f. Ellenőrizze a szolgálati csatorna működését. Figyelje meg különböző BER értékek hatását az átvitel (szubjektív) minőségére.
 - 1.g. A lekérdező programmal jelenítse meg az összeköttetés hibastatisztikáját.
2. A MINI-LINK berendezésen:
 - 2.a. Állítson be a 288 csatorna közül egyet, majd ellenőrizze a vezérlő programmal is.

- 2.b. Mérje meg voltmérővel az AGC feszültséget, majd határozza meg a vett teljesítményt. Hasonlítsa össze a kapott eredményt a vezérlő program adatával.
- 2.c. Figyelje meg a figyelmeztetéseket (ALARM), határozza meg az esetleges hiba (hibák) okát.
- 2.d. Kapcsolja ki az egyik oldalon, az adót, majd nézze meg a figyelmeztetéseket (ALARM)
- 2.e. Az n szorzó változtatásával hangolja el az egyik állomás frekvenciáit. Figyelje meg a hatást.
- 2.f. Határozza meg a telefoncsatorna 3dB-es sávszélességét.
- 2.g. Hozzon létre visszahurkolást az alapsávi egység után a saját és a túloldalon, valamint a rádiófrekvenciás egység után és figyelje meg a hatást.

Felkészülés a mérésre, ellenőrző kérdések:

1. Mi a rádiószakasz, és hogyan számolható ki a rádiószakasz csillapítása?
2. Hogyan definiáljuk a hibás, a súlyosan hibás és a megszakadt másodpercek, illetve a hibás percek számát?
3. Mi a BER?
4. Hogyan lehet tesztelni az alapsávi egységeket és a rádiófrekvenciákat?
5. Mi a határhullámhossz?
6. Mit nevezünk full duplex összeköttetésnek?
7. Mi a fading és fellép-e a mérés során?
8. Mennyi lehet a Földön a maximális szakasztávolság 10m-es tornyok használatával (Line-of-sight)?
9. Mekkora a MINI-LINK 23 illetve a TDR-15/8 berendezések elméleti szabadtéri hatótávolsága (tételezzük fel, hogy az antennanyereség 30 dB)? Miért kisebb a gyakorlati szakasz hossz?
10. Mit jelent az FSK illetve 4FSK moduláció?
11. Mi a szemábra?

Ajánlott irodalom:

- [1] Frigyes István: Hírközlő rendszerek; Műegyetemi Kiadó 55032, 1-6 és 15 fejezet.
- [2] Bozsóki, Gödör, Farkas: Rádiórendszerek II./I. füzet Rádió hírközlő rendszerek I. rész; Műegyetemi Kiadó 51264, 1-2 és 4 fejezet.
- [3] Bozsóki, Gödör, Farkas: Rádiórendszerek II. SEGÉDLET; Műegyetemi Kiadó 55009, 72-124. oldal.

Műszaki adatok

Az alábbi táblázatban összefoglaljuk a két berendezés adatait:

	Totaltel TDR-15/8	Ericsson MINI-LINK 23
Frekvenciasáv	15 GHz	23 GHz
Átviteli kapacitás*	4*2 Mbit/s	8 Mbit/s
Frekvencia stabilitás	< ±10 ppm	max. ±15 ppm
Moduláció	4FSK	
Adóteljesítmény	16 dBm	19 dBm
Sávszélesség	7 MHz	
Vevő küszöbszint		
10 ⁻³ BER	-81 dBm	-83(-86) dBm**
10 ⁻⁶ BER	-77 dBm	-78(-81) dBm**
Vevő szinttartomány	-90..-10 dBm	-90..-30 dBm
Tápfeszültség	48 V (39..70 V)	39..64 V
Teljesítményfelvétel***	37 W	< 30 W

* Csak a Baseband Unit-tól függ; max. 8 Mbit/s

** Zárójelben a High Grade berendezés adatai (lásd: [1] 1 fejezet, [3] 111-112. o.)

*** A MINI-LINK-nél csak kültéri egység, a TDR-nél rádiókonténer + beltéri egység