



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék

# 2,4 GHz-es nyomtattott BIFA tervezése és mérése

ÖNÁLLÓ LABORATÓRIUM 1 DOLGOZAT

*Készítette*

Szilágyi Gábor

*Konzulensek*

Dr. Lénárt Ferenc

Bódi Tamás (Silicon Laboratories Hungary kft.)

2022. április 13.



## MSc Önálló Laboratórium Feladat

**Szilágyi Gábor**  
hallgató részére

### 2.4 GHz-es nyomtatott BIFA tervezése és mérése

Végezzen irodalomkutatót a 2.4 GHz-es sávban működő kisméretű, nyomtatott antennák működési elve, tervezési eljárásai és hangolási módszereinek témakörében, különös tekintettel a sugárzási karakterisztika formálására.

Tervezzen kisméretű, nyomtatott BIFA antennát alkalmazó rádiós modult a 2.4 GHz-es ISM sávra, 1.6 mm vastag FR4-es hordozóra, a Silicon Laboratories által gyártott EFR32xG integrált rádiós IC családhoz tartozó WSTK Radio Board platformhoz.

A teljes modul szélessége legyen legalább 30 mm, legfeljebb 40 mm. A tervezés során törekedjen a földlemez nagyságának és alakjának megfelelő megválasztására ahhoz, hogy az iránykarakterisztika a megkívánt alakot vegye fel. Vizsgálja meg, hogy milyen lehetőségek vannak a rádiós modult hordozó panel iránykarakterisztikára gyakorolt hatásának minimalizálására.

A BIFA antenna szimmetrikus bemenetét illessze a rádió 50 Ohm-os asszimmetrikus kimenetéhez. Vizsgálja meg a lehetséges balun struktúrákat. Az alkalmazott balun bemenetén mért bemeneti reflexió legyen jobb, mint -10dB a 2405-2485 MHz-es sávban.

Tesztelje a megtervezett és megvalósított antenna impedancia és sugárzási tulajdonosságait.

**Tanszéki konzulens:** Dr. Lénárt Ferenc

**Külső konzulens:** Bódi Tamás (Silicon Laboratories Hungary Kft.)

Budapest, 2022. 02. 01.

Dr. Gyimóthy Szabolcs  
egyetemi docens  
tanszékvezető

# Tartalomjegyzék

<b>1. Bevezetés</b>	<b>1</b>
1.1. Antennák jellemzői . . . . .	1
1.1.1. Iránykarakterisztika, irányhatás és nyereség . . . . .	1
1.2. Monopól antennák . . . . .	2
1.3. Céges háttér . . . . .	4

# 1. fejezet

## Bevezetés

Ebben a dolgozatban a BME VIK Villamosmérnök MSc képzés Önálló Laboratórium 1 c. tárgyának keretében végzett kutatási és tervezési munkámat összegzem. A dolgozatom témája egy kevésbé ismert nyomtatott antenntípus, a BIFA (Balanced Inverted F Antenna) tervezése.

### 1.1. Antennák jellemzői

A különböző antennák összehasonlításának jó eszközei a következő paraméterek, amelyek segítségével több szempontból nyerhetünk betekintést az antennák működésébe.

A számszerűsíthető antennaparaméterek kifejtése előtt megemlítem a reciprocitási tételt, ami szerint egy antennát adóantennaként vizsgálva ugyanazokat a paramétereket kapjuk, mint vevő üzemmódban, emiatt elég csak az egyik esetet vizsgálni a kettő közül és az eredmények érvényben maradnak a másik esetben is, csak az energia áramlásának iránya fordul meg a szabad tér és az antenna között.

#### 1.1.1. Iránykarakterisztika, irányhatás és nyereség

Az antennák alapvető célja, hogy messzire jutó elektromágneses hullámokat hozzanak létre. A létrehozott hullámok energiát szállítanak, teljesítmény áramlik belőlük a szabad térbe. A sugárzási tulajdonságok leírásához gömbi koordinátarendszert  $(r, \theta, \phi)$  szokás használni. Az antenna (teljesítmény-) iránykarakterisztikája  $G(\theta, \phi)$  azt írja le, hogy egy az antenna körüli, megfelelően nagy  $r$  sugarú gömb felületén hogyan oszlik el az antenna bemenetén betáplált teljesítmény. A nyereség képlete az 1.1. egyenletben látható, ahol  $S(r, \theta, \phi)$  a gömbi koordinátákkal megadott pontban az antenna által létrehozott felületi teljesítménysűrűség,  $P_{be}$  az antennába betáplált teljesítmény,  $S_0$  pedig az ideális izotróp antenna által létrehozott felületi teljesítménysűrűség azonos  $r$  távolságban.

$$G(\theta, \phi) = \frac{S(r, \theta, \phi)}{S_0} \quad (1.1)$$
$$S_0 = \frac{P_{be}}{4\pi r^2}$$

Az iránykarakterisztika értéke egy adott  $(\theta, \phi)$  irányban, az ahhoz az irányhoz tartozó nyereség. A szakirodalomban a nyereség kifejezés alatt legtöbbször az iránykarakterisztika maximumát kell érteni, ezt hol  $G_{max}$ -szal, hol egyszerűen  $G$ -vel jelölik ezt és általában nem viszonyyszámban, hanem dB-ben adják meg. A továbbiakban  $G$ -vel jelölöm a nyereség dB-ben kifejezett értékét.

Az irányhatás a nyereséghez nagyon hasonló mennyiség, a kettő között az egyedüli különbség, hogy a nevezőben szereplő  $P_{be}$  összes betáplált teljesítmény helyett az irányhatás esetében  $P_s$  összes kisugárzott teljesítmény szerepel.

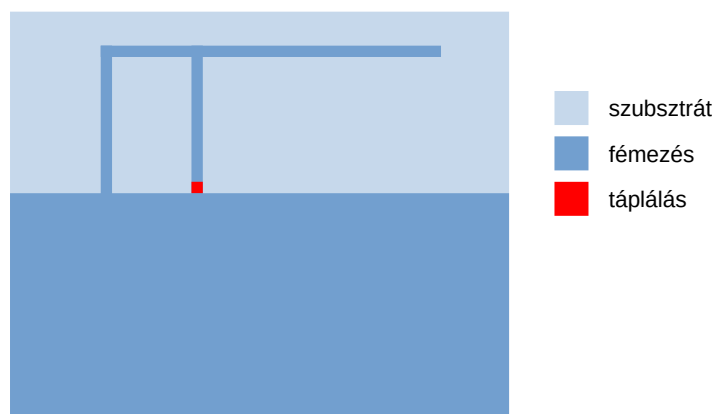
$$D = \frac{S(r, \theta, \phi)}{S'_0} \quad (1.2)$$

$$S'_0 = \frac{P_s}{4\pi r^2}$$

Ez azt jelenti, hogy a nyereségnél figyelembe vesszük az antenna veszteségeit, míg az irányhatásnál nem.

## 1.2. Monopól antennák

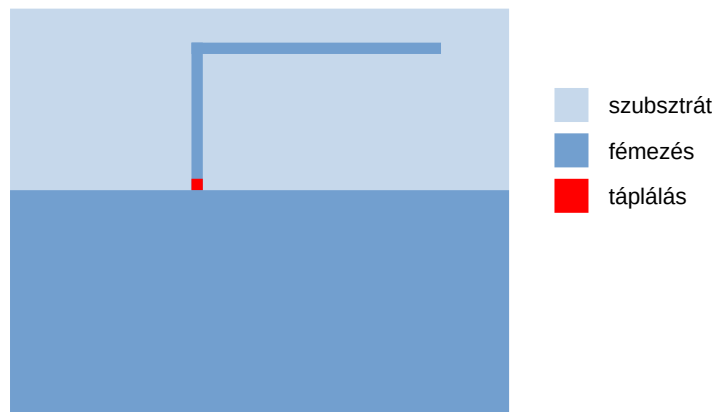
A BIFA antennatípus nem gyakori a szakirodalomban, az irodalomkutatás során csak a Silicon Laboratories egy 2014-es application note-jában [1] találkoztam vele. **ÉS MÉG MÁSHOL IS MERT NEM BACK HA-NEM BALANCED.** Ez az antennatípus egy variációja az IFA-nak (Inverted F Antenna, az 1.1. ábra), ezért az IFA jellegzetességeiből kiindulva érdemes tárgyalni, amihez érdemes megvizsgálni a monopól antennák általános jellemzőit, mivel az IFA is ebbe az antennacsaládba tartozik.



1.1. ábra. Egy tipikus nyomtatott IFA egy nyomtatott áramkört lap szélén.

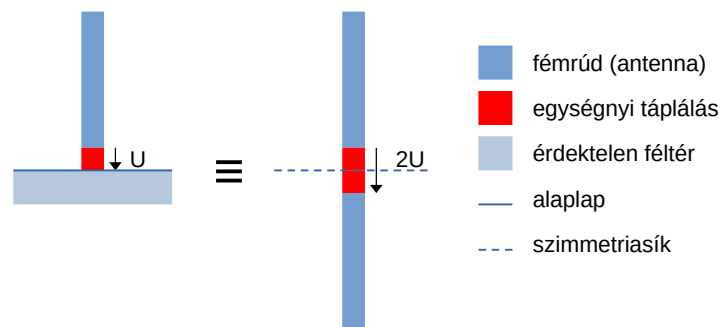
Az IFA az ILA (Inverted L Antenna) egy variációja (1.2. ábra). Az IFA előnye az ILA-val szemben a megnövekedett abszolút értékű bemeneti impedancia, ami miatt a működési hullámhosszhoz képest kis méretben is jobban használható, könnyebben illeszthető a tápláló hálózathoz. Ezek miatt az IFA-t szélesebb körben alkalmazzák, például

mobil eszközökben, ahol az antenna számára rendelkezésre álló hely erősen korlátozott [2], ekkor bizonyos esetekben a nyomtatott áramköri lapon (NYÁK) kialakított, megfelelő alakú fémezés maga az antenna.



1.2. ábra. Egy tipikus ILA egy nyomtatott áramköri lap szélén.

A monopól (monopólus) antennákat általában olyankor alkalmazzák, amikor az antenna környezetében egy az antennához képest nagy kiterjedésű vezető található, az ún. alaplap, amit ki lehet használni az antenna sugárzási tulajdonságainak javítására. Ideális esetben az alaplap egy végtelen kiterjedésű és tökéletes elektromos vezető sík. Ekkor a helyettesítő töltések módszerével [3] az alaplapot eltávolítva és a monopólt az alaplap síkjára tükrözve egy (a középpontjában a monopóléhoz képest kétszeres feszültséggel gerjesztett) dipól (dipólus) antennát kapunk, amelynek egyik szára az eredeti monopólus antenna, ahogy ez az 1.3. ábrán látható.



1.3. ábra. Ideális monopól és ekvivalens dipól.

Az így kapott antenna az alaplap síkja fölött a monopólusával megegyező sugárzási karakterisztikát produkál. A monopólus esetén az ekvivalens dipólus másik szárát az alaplapban indukált áramok hatása helyettesíti, így jön létre a megegyező sugárzási karakterisztika.

A fenti helyettesítési módszer nem mindig használható, például egy NYÁK-on kialakított nyomtatott monopólus antenna esetén nem, hiszen ekkor legfeljebb a NYÁK földkitöltése tekinthető alaplapnak, de ez messze nem végtelen kiterjedésű, ráadásul az antenna a földkitöltés síkjában helyezkedik el, emiatt nincs értelme a NYÁK síkjára való tükrözésnek. Ehelyett azt a megközelítést érdemes használni a monopólus antenna viselkedésének leírására.

hoz, ami szerint a nyomtatott antenna és a NYÁK földkiöltése egy erősen aszimmetrikus dipól egy-egy szárának tekinthető [2].

A monopól antennákat használó struktúrák jellemzője, hogy mind az antenna bemene-ti impedanciája, mind a sugárzási karakterisztikája érzékeny az alaplap méretének vagy alakjának megváltozására. Ez a jelenség fokozottan jelentkezik akkor, ha az alaplap kis méretű. Ilyen változásokat képes okozni például vezeténélküli mobil eszközöknél, ha a felhasználó a kezébe veszi a készüléket, a fejéhez közel emeli, vagy éppen onnan eltávolítja azt – mint egy mobiltelefon tipikus használata közben. Az előző példában a felhasználó keze, feje és testének többi része bizonyos keretek között az alaplap kiterjesztésének tekinthető, miszerint azzal, hogy a kezébe veszi a készüléket, többszörösére növeli az alaplap méretét, ami könnyen okozhat jelentős változásokat az antenna működésében. A változás azonban nem feltétlenül jelent romlást. A modern mobiltelefonok tervezésénél úgy veszik figyelembe a felhasználó kezét, fejét, stb., hogy azok közelségükkel ne rontsák, hanem egyenesen javítsák az antenna tulajdonságait, például megnöveljék a nyereségét, lecsökkentsék a  $Q$ -ját és közel izotróp sugárzóvá tegyék azt.

A monopól antennák fent vázolt tulajdonságát részben orvosolni lehet, ha differenciális antennával váltjuk ki őket, mert az utóbbi csoportba tartozó antennák jellemzően kevésbé érzékenyek az antennához közeli nagyobb vezető tárgyak elhelyezkedésére. Persze ez sem általánosan igaz, a differenciális antennákra is lehet jelentős hatása a környezet változásának, mint például a reflektort használó antennáknál, amelyek jellemzően érzékenyek a reflektor alakjának vagy távolságának változására.

### 1.3. Céges háttér

# Irodalomjegyzék

- [1] Silicon Laboratories Inc., *AN847: 915 MHz single ended antenna matrix selection guide*, 2014. <https://www.silabs.com/documents/public/application-notes/AN847.pdf>.
- [2] K. Boyle, *Antennas for Multi-band RF Front-end Modules*. PhD thesis, Delfti Műszaki Egyetem, 2004. ISBN: 9040725497.
- [3] F. György. Műegyetemi Kiadó, 1999. ISBN: 9040725497.