

Микроталасна мерења

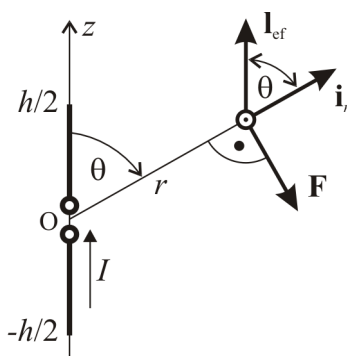
Лабораторијска вежба бр. 5

Мерење карактеристика антена

1. Антене - намена и својства

Антиена је склоп који претвара вођени електромагнетски талас у електромагнетски талас у слободном простору (предајна антиена), или обратно (пријемна антиена). Свака антиена може да ради и као предајна и као пријемна у одређеном опсегу учестаности. Основне карактеристике антене су:

1. Поларизација,
2. Појачање (Gain),
3. Дијаграм зрачења,
4. Импеданаса,
5. Коефицијент стојећих таласа, SWR (коефицијент рефлексације, Return Loss).



Слика 1. Координатни систем за описивање поља антене

Антиена у удаљеним тачкама (на растојању много већем од таласне дужине електромагнетског таласа који антиена ствара - тзв. зона зрачења) производи електромагнетски талас који се локално може сматрати равним TEM таласом. Електрично поље тога таласа дато је изразом

$$\mathbf{E} = j \frac{Z_0}{2\pi} I \frac{e^{-j\beta r}}{r} \mathbf{F}(\theta, \phi), \quad (1)$$

где је I референтна струја (нпр. струја напојног вода антене), r растојање тачке у којој тражимо поље од центра усвојеног координатног система, а \mathbf{F} карактеристична функција зрачења антене у правцу и смеру одређеном ортом \mathbf{i}_r , приказаном на слици 1. Магнетско поље таласа који ствара антиена дато је изразом

$$\mathbf{H} = \frac{1}{Z_0} \mathbf{i}_r \times \mathbf{E}. \quad (2)$$

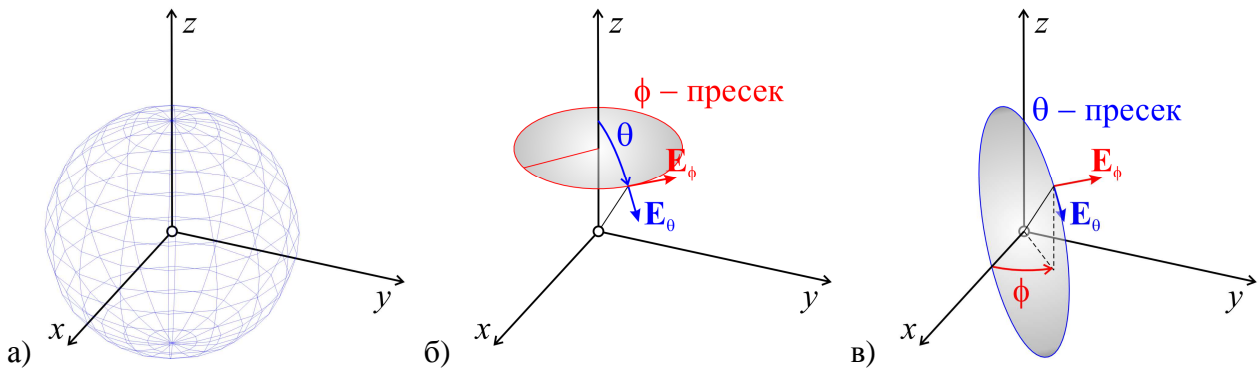
Вектори \mathbf{E} и \mathbf{H} леже у равни управној на правац у којем посматрамо простирања таласа, тзв. трансверзалној равни. У тој равни врх вектора \mathbf{E} (или \mathbf{H}) у току времена описује криву која је у општем случају елипса, а у специјалном случају круг или права (линија). У зависности од облика ове криве кажемо да је **поларизација** антене *елиптичка*, *кружна* или *линијска*.

Појачање антене дефинише се као

$$G = \frac{4\pi r^2 \frac{E^2}{Z_0}}{P_{em}}, \quad (3)$$

где је P_{em} снага којом се антена напаја. Премда у претходном изразу E може бити поље у произвољном правцу, уобичајено се узима максимално E . Тако појачање антене говори о истицању снаге у главном правцу зрачења, односно о тзв. усмерености антене.

Под 3D дијаграмом зрачења антене подразумева се ефективна вредност поља, фаза поља или појачање на сфери (полупречника много већег од таласне дужине) са центром у испитиваној антени (слика 2.а). Често се посматрају само карактеристични пресеци ове сфере, чиме добијамо 2D дијаграм зрачења (слика 2.б и 2.в).



Слика 2. Дијаграм зрачења, а) 3D, б,в) 2D

Импеданса антене је еквивалентна импеданса коју види генератор прикључен на антену. На радним учестаностима антене потребно је да њен коефицијент стојећих таласа (модуо коефицијента рефлексије) буде што мањи.

Пријемна антена се у односу на своје прикључке може представити реалним напонским генератором чија је импеданса једнака импеданси антене, $Z_a = R_a + jX_a$, а емс се рачуна као

$$\varepsilon_a = \frac{\lambda}{\pi} \mathbf{E} \cdot \mathbf{F}, \quad (4)$$

где је \mathbf{E} поље инцидентног равног TEM таласа, а \mathbf{F} карактеристична функција зрачења пријемне антене у правцу и смеру одакле долази талас. Снага пријемника прилагођеног на еквивалентни генератор је

$$P_{pr} = \frac{|\varepsilon_a|^2}{4R_a}, \quad (5)$$

и биће највећа када су вектори \mathbf{E} и \mathbf{F} усклађених поларизација, у ком случају је

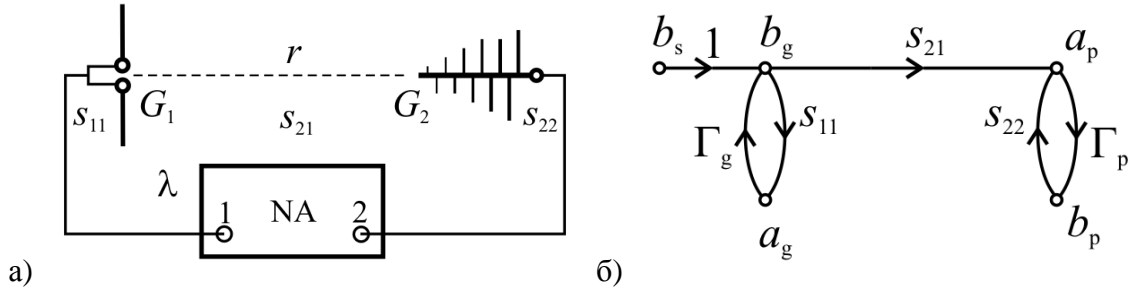
$$P_{pr} = \frac{\frac{\lambda^2}{\pi^2} |\mathbf{E}|^2 |\mathbf{F}|^2}{4R_a}. \quad (6)$$

Знајући снагу напајања (P_{em}) и појачање предајне антене (G_1), растојање између антена (r) и појачање пријемне антене (G_2), претходни израз своди се на Фрисову формулу

$$P_{pr} = \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 G_1 G_2 P_{em}. \quad (7)$$

2. Мерење појачања антене

Мерна поставка за мерење појачања антене помоћу анализатора мрежа приказана је на слици 3.а, а одговарајући граф тока сигнала на слици 3.б. Побуда за предајну антену, појачања G_1 , долази из порта 1 анализатора мрежа, док се сигнал пријемне антене, појачања G_2 , води на порт 2. Измерени параметар s_{11} представља рефлексију предајне антене, s_{22} представља рефлексију пријемне антене, а s_{21} описује пренос снаге између предајне и пријемне антене. Коefицијенти рефлексије портова 1 и 2 су редом Γ_g и Γ_p .



Слика 3. Мерење појачања антена, а) мерна поставка, б) граф тока сигнала

Према слици 3.б је снага на пријему

$$P_{pr} = |a_p|^2 - |b_p|^2 = |a_p|^2 (1 - |\Gamma_p|^2). \quad (8)$$

Уврштавајући у претходни израз

$$a_p = \frac{s_{21} b_g}{1 - s_{22} \Gamma_p} \quad (9)$$

добивамо

$$P_{pr} = \frac{|b_g|^2 (1 - |\Gamma_p|^2)}{|1 - s_{22} \Gamma_p|^2} |s_{21}|^2. \quad (10)$$

Имајући у виду да је снага напајања предајне антене

$$P_{em} = |b_g|^2 - |a_g|^2 = |b_g|^2 (1 - |s_{11}|^2). \quad (11)$$

снага на пријему може се написати као

$$P_{pr} = \frac{(1 - |\Gamma_p|^2) |s_{21}|^2}{(1 - |s_{11}|^2) |1 - s_{22} \Gamma_p|^2} P_{em}. \quad (12)$$

Да би овако добијена снага била иста као и она добијена преко Фрисове формуле (израз 7) потребно је да поларизације предајне и пријемне антене буду усклађене и да пријемник буде прилагођен на пријемну антену, тј. да важи

$$\Gamma_p = s_{22}^*. \quad (13)$$

Коришћењем (13) израз (12) своди се на

$$P_{pr} = \frac{|s_{21}|^2}{(1 - |s_{11}|^2)(1 - |s_{22}|^2)} P_{em}. \quad (14)$$

Директним поређењем израза (7) и (14) добијамо

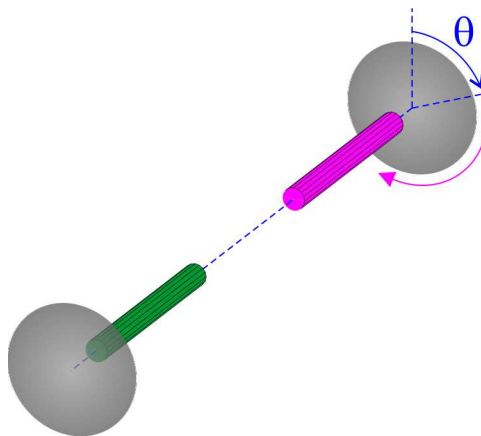
$$\left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 G_1 G_2 = \frac{|s_{21}|^2}{(1-|s_{11}|^2)(1-|s_{22}|^2)}. \quad (15)$$

На основу израза (15), мерењем s_{11} , s_{21} и s_{22} , познајући растојање између антена и таласну дужину, и под испуњеним условима наведеним током извођења, можемо израчунати производ појачања предајне и пријемне антене. Ако су антене истоветне (једнаких појачања), или знамо појачање једне од антена, непознато појачање се може директно добити. У овом другом случају, антена непознатог појачања може у мерној поставци бити предајна или пријемна, али се обично користи као пријемна антена. Уколико немамо одговарајућу антену познатог појачања, али имамо три антене, можемо извршити (три) мерења за сваки пар антена, па коришћењем израза (15) формирати систем од три једначине и њиховим решавањем добити непозната појачања.

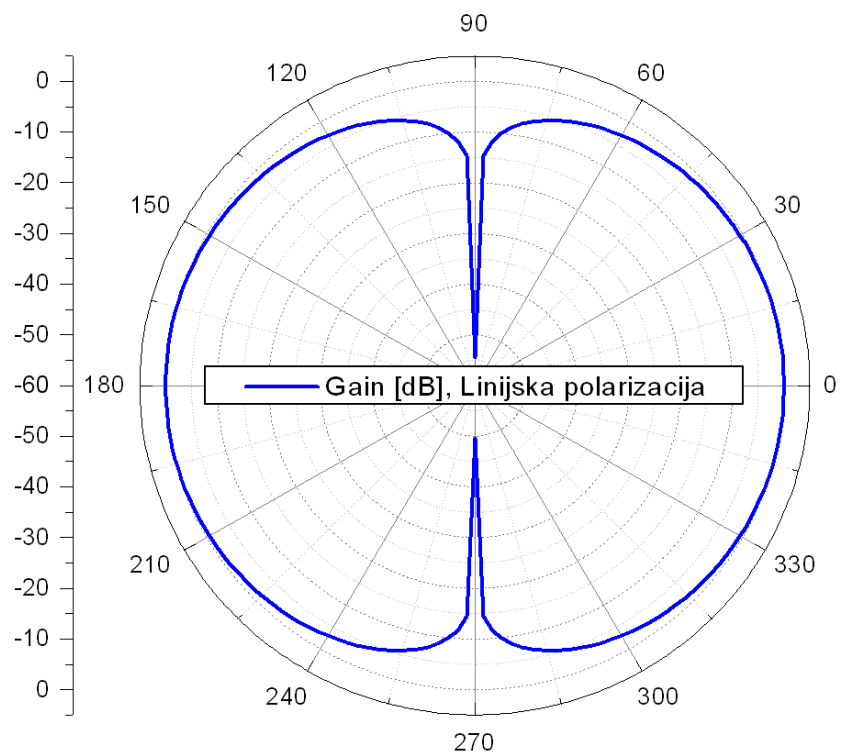
3. Мерење поларизације антене

Под поларизацијом антене подразумева се поларизација поља електромагнетског таласа који антена ствара у зони зрачења, у правцима од интереса. Антене се најчешће пројектују тако да имају линијску или кружну поларизацију, а елиптичка поларизација се тада јавља услед немогућности да се избегне или због несавршености производног процеса.

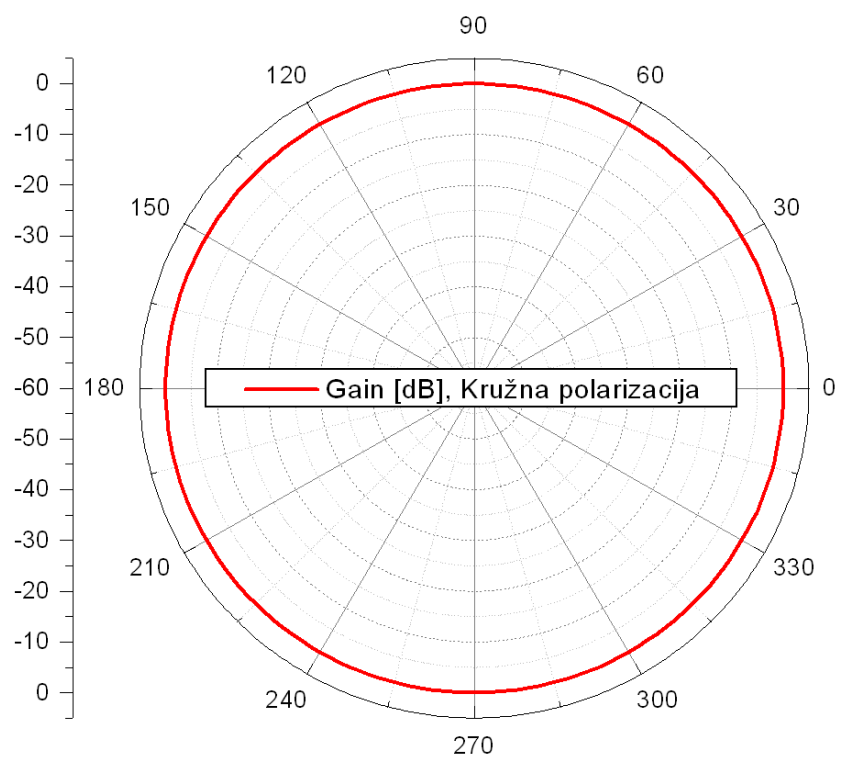
Утврђивање поларизације антене обавља се на начин приказан на слици 4. У поставци за мерење појачања испитиване антене побудна антена је линијски поларизована. Испитивана антена обрће се око осе која спаја антене и истовремено се мери пренос између антена. Тако се за сваки од међусобних положаја антена добија делимично појачање испитиване антене. Ако је испитивана антена поларизована линијски, индукована електромоторна сила у њој (4) мењаће се од (теоријски) нуле (када су поља антена међусобно ортогонална) до неке максималне вредности (када су поља антена међусобно колинеарна), па ће дијаграм делимичног појачања испитиване антене у функцији угла обртања изгледати као на слици 5. Ако је испитивана антена у посматраном правцу поларизована кружно, њена индукована електромоторна сила, сходно изразу (4), остаје непромењена приликом обртања, па и делимично појачање остаје константно, као на слици 6. Код елиптички поларизоване антене делимично појачање имаће облик елипсе (наравно, приказ у dB-има ће променити тај изглед), а количник појачања на великој и малој оси елипсе назива се ellipticity.



Слика 4. Утврђивање поларизације антене



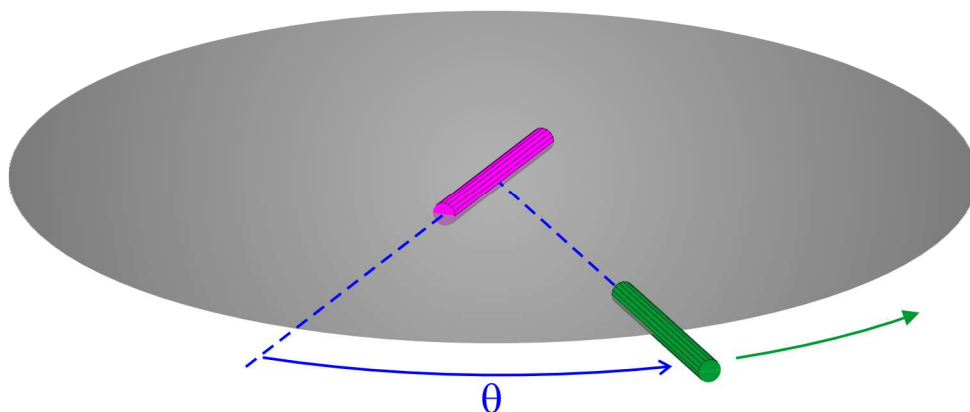
Слика 5. Нормализовано (на 0 dB) делимично појачање линијски поларизоване антене



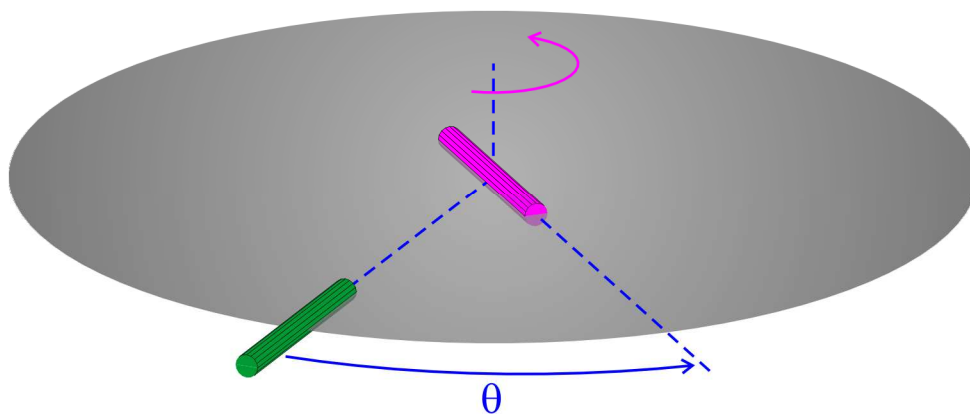
Слика 6. Нормализовано (на 0 dB) делимично појачање кружно поларизоване антене

4. Мерење 2D дијаграма зрачења антене

Дијаграм зрачења антене у жељеној равни може се добити на начин приказан на слици 7. Побудна антена креће се по кругу чији је центар у испитиваној антени, а полупречник је макар десет пута већи од таласне дужине на којој се врши мерење. За низ дискретних положаја (корак од једног степена обично је довољан), мери се појачање испитиване антене у правцу побудне антене. Овакво мерење захтева велики простор, па се чешће примењује поставка са слике 8, у којој се промена међусобног положаја антена обавља померањем испитиване антене. Побудна и испитивана антена треба да имају усклађене поларизације, а ако то није случај, ради се са линијски поларизованом побудном антенном, мерење се врши за две ортогоналне поларизације побудне антене, а добијена појачања се сабирају.

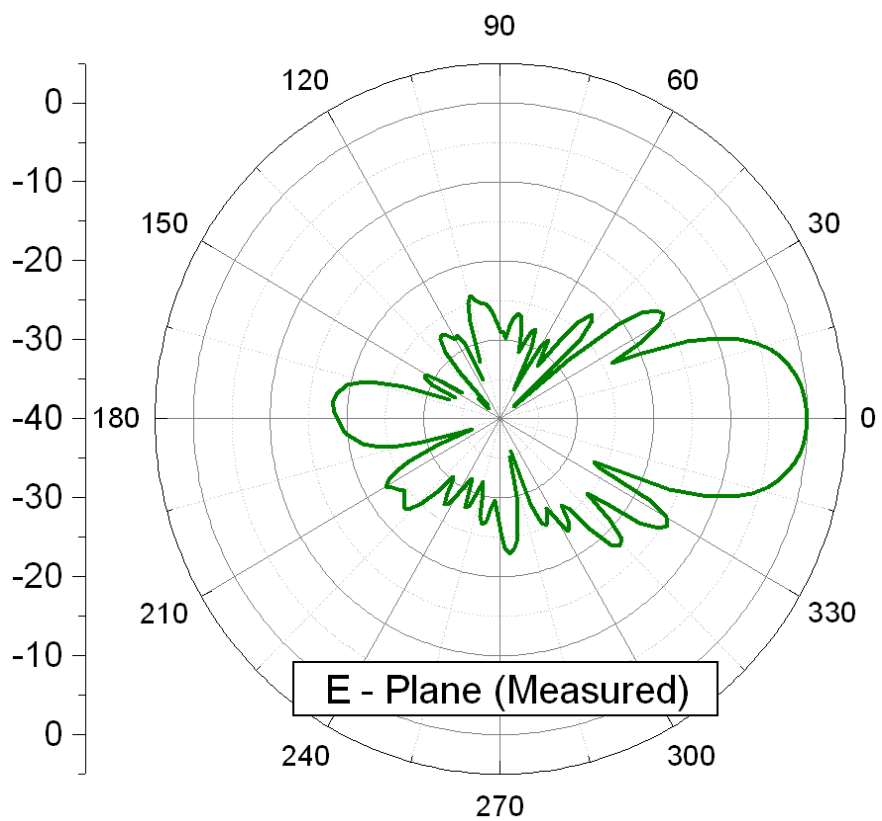


Слика 7. Мерење дијаграма зрачења померањем побудне антене



Слика 8. Мерење дијаграма зрачења померањем испитиване антене

Измерени дијаграм зрачења у Е-равни Yagi антене за WLAN приказан је на слици 9.



Слика 9. Измерени дијаграм зрачења Yagi антене за WLAN