

## Čas 11: Optimizacija parametara električnih mreža sa EM komponentama

### Kratak uvod.

EM projekti i komponente mogu se uvesti (importovati) u *MW Circuit Solver* na tri načina:

1. Iz biblioteke gotovih EM komponenti.
2. Kao EM strukture kreirane u *3D EM Solver*-u.
3. Kako *data file* izvezen (eksportovan) iz *3D EM Solver*-a.

Kada se analizira električna mreža *MW Circuit Solver*-om, vrši se proračun *s*-parametara za sve komponente (elemente) električne mreže, vodeći računa o jednačinama veza elemenata električne mreže.

U prva dva slučaja, za svaku od uvezenih EM komponenti, izvršava se EM simulacija kako bi se proračunali *s*-parametri elemenata električne mreže (komponenti), a kasnije i *s*-parametri čitave električne mreže. Ukoliko je došlo do promene nekog od parametara (obično dimenzije) EM komponente, između dve analize električne mreže, EM analiza (simulacija) se (ponovo) pokreće automatski.

U trećem slučaju, EM komponente se (permanently) karakterišu svojim *s*-parametrima, i prilikom analize električne mreže ne vrši se EM analiza.

Ukoliko je potrebno prilikom optimizacije električne mreže (istovremeno) vršiti i promenu nekog od parametara EM struktura, EM komponente bi trebalo uvesti u *MW Circuit Solver* na prvi ili drugi način (u zavisnosti da li željena EM komponenta postoji u biblioteci gotovih EM komponenti, ili je posebno projektovana).

Ako prilikom optimizacije električne mreže nema potrebe za promenom parametara EM struktura, EM komponente bi trebalo uvesti u *MW Circuit Solver* na treći način. EM analiza (simulacija) se ne izvršava, i po pravilu ukupno vreme izvršavanja simulacije je vrlo kratko, u poređenju sa prethodnim slučajem.

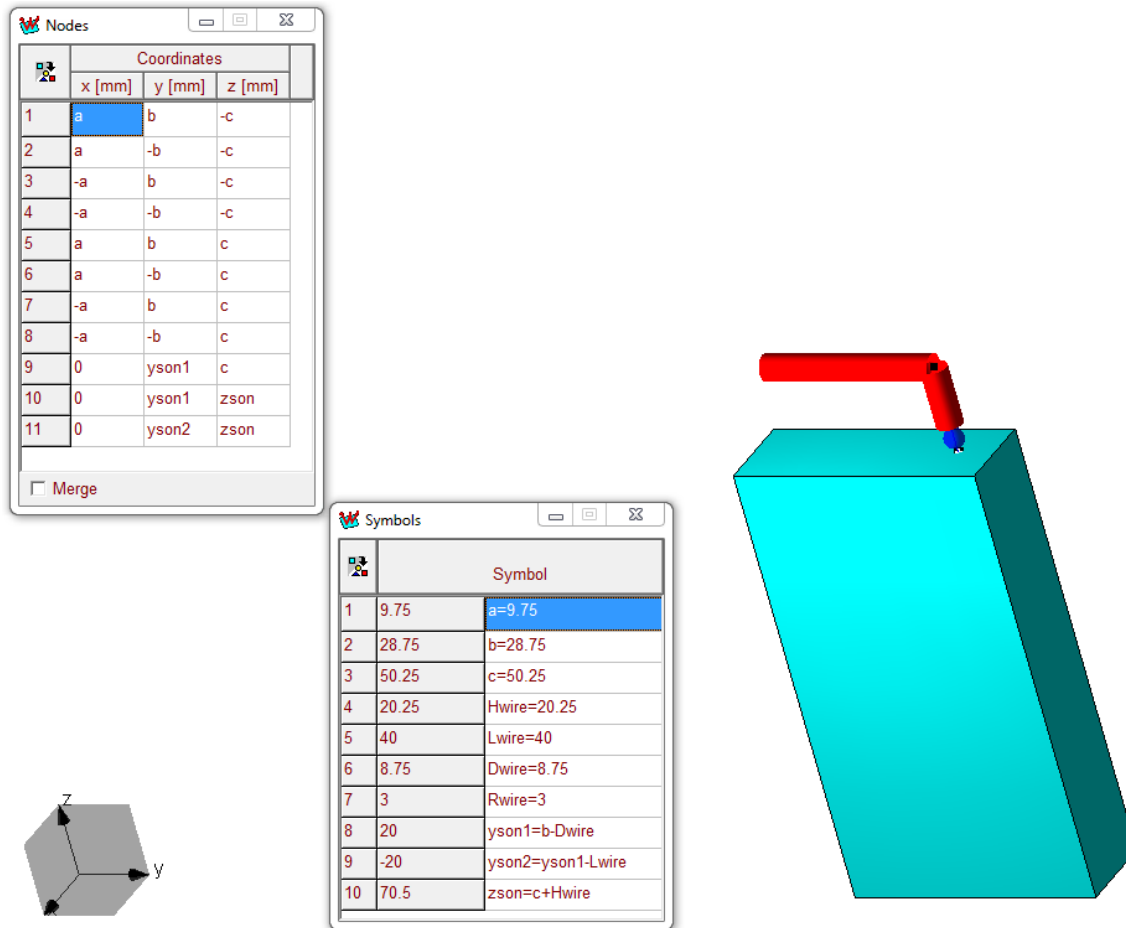
**P01.** Modelovati GSM antenu postavljenu na mobilni telefon (3D-EM modelovanje metalnih struktura) [WIPL-D, 3D Electromagnetic Modeling 3.2.1].

- Mobilni telefon modelovan je kao savršeno (električno) provodan kvadar dužina stranica  $2a$ ,  $2b$ , i  $2c$ . GSM antena mobilnog telefona modelovana je kao L monopol dužine  $L_{\text{wire}}$  i visine  $H_{\text{wire}}$ . Monopol je pomeren u odnosu na ivicu mobilnog telefona za  $D_{\text{wire}}$  (čas 2, primer 3). Poluprečnik žice od koje je napravljen L monopol je  $R_{\text{wire}}$ .
- Dimenzije strukture su:  
 $a = 9,75 \text{ mm}$ ,  $b = 28,75 \text{ mm}$ ,  $c = 50,25 \text{ mm}$ ,  $H_{\text{wire}} = 20,25 \text{ mm}$ ,  $L_{\text{wire}} = 40 \text{ mm}$ ,  $D_{\text{wire}} = 8,75 \text{ mm}$  i  $R_{\text{wire}} = 3 \text{ mm}$ .

Mobilni telefon radi u opsegu učestanosti od 890MHz do 960MHz (GSM opseg). Simulacija se izvršava na 8 uniformno raspoređenih učestanosti.

- (a) Potrebno je projektovati kolo za prilagođenje savijene L monopol antene na mobilnom telefonu. Kolo za prilagođenje sastoji se od paralelno vezanog kalema i redno vezanog kondenzatora. Potrebno je optimizovati induktivnost kalema i kapacitivnost kondenzatora, kako bi u čitavom opsegu učestanosti koeficijent refleksije bio manji od  $-30 \text{ dB}$ . Početna brojna vrednost induktivnosti kalema je  $L = 10 \text{ nH}$  ( $1 \text{ nH} \leq L \leq 100 \text{ nH}$ ), a početna brojna vrednost kapacitivnosti kondenzatora je  $C = 10 \text{ pF}$  ( $1 \text{ pF} \leq C \leq 100 \text{ pF}$ ). Nominalna impedansa pristupa je  $50 \Omega$ .
- (b) Prikazati parametar  $s_{11}[\text{dB}]$  u čitavom opsegu učestanosti za slučaj sa i bez kola za prilagođenje.

Model GSM savijene L monopola antene na mobilnom telefonu prikazan je na slici 1(a). Prilikom optimizacije parametara kola za prilagođenje ( $L$  i  $C$ ), ne vrši se promena ni jednog od parametara EM strukture, pa je dovoljno EM strukturu u *MW Circuit Solver* uvesti kao *data file* (treći način). Na ovaj način znatno se skraćuje ukupno vreme izvršavanja simulacije.



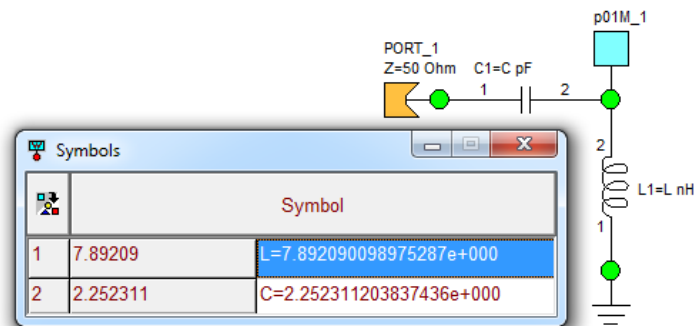
Slika 1(a).

Nakon uvoženja EM modela savijenog L monopola na mobilnom telefonu u *MW Circuit Solver* formirana je električna mreža (bez dela za prilagođenje) kao na slici 1(b).



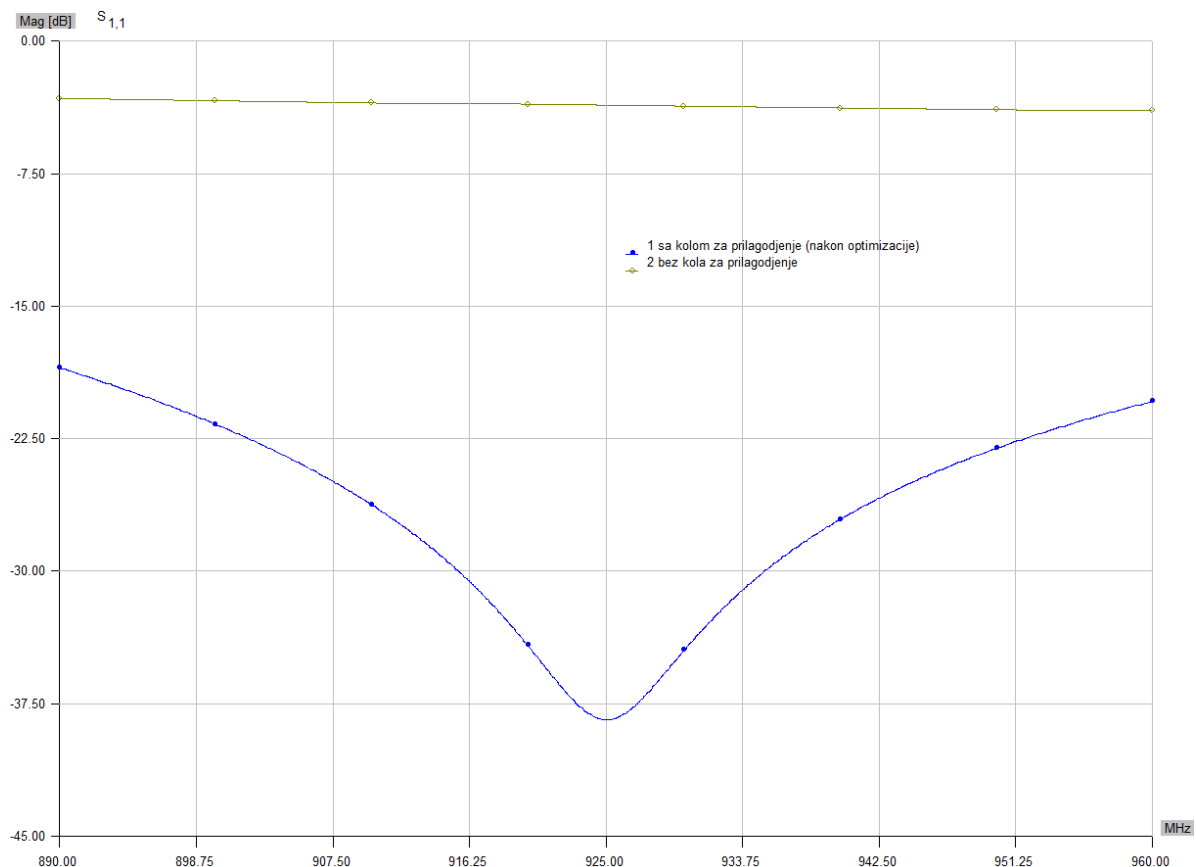
Slika 1(b).

Na slici 1(c) prikazana je električna mreža koja se sastoji od uvezenog EM modela savijenog L monopola na mobilnom telefonu i kola za prilagođenje. Na slici 1(c) prikazane su i optimizovane brojne vrednosti parametara kola za prilagođenje.



Slika 1(c).

Na slici 1(d) prikazan je parametar  $s_{11}$ [dB] savijenog L monopola na mobilnom telefonu, za slučaj sa i bez kola za prilagođenje.



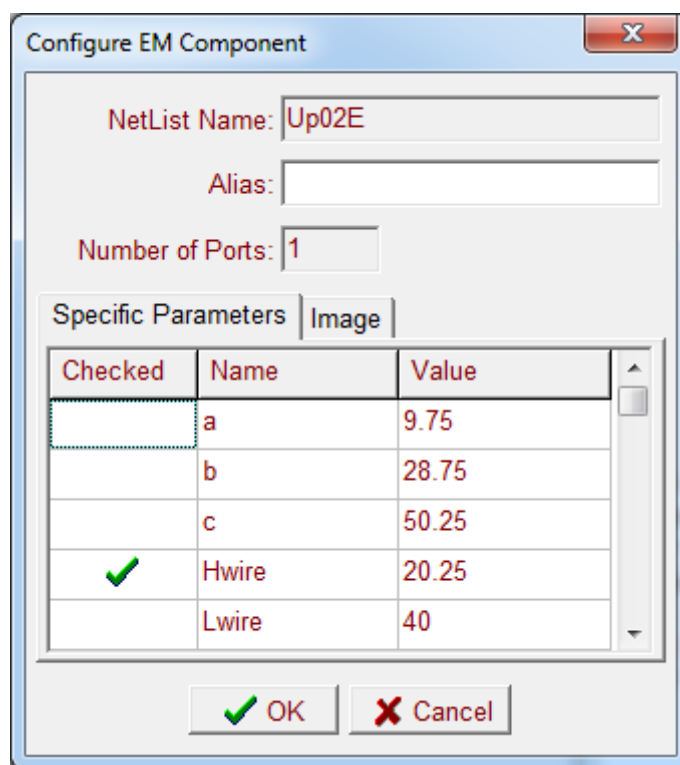
Slika 1(d).

Koristeći dva reaktivna elementa (kalem i kondenzator) ostvareno je drastično poboljšanje prilagođenja u čitavom opsegu učestanosti, mada kriterijum optimizacije nije ispunjen.

**P02.** Potrebno je projektovati kolo za prilagođenje savijene L monopol antene na mobilnom telefonu iz prethodnog primera. Antena se koristi u opsegu učestanosti od 890MHz do 960MHz. Simulacija se izvršava na 8 uniformno raspoređenih učestanosti. Kolo za prilagođenje sastoji se od redno vezanog kalema. Drugi parametar optimizacije je visina antene ( $H_{\text{wire}}$ ). Potrebno je optimizovati induktivnost kalema i visinu antene, kako bi u čitavom opsegu učestanosti koeficijent refleksije bio manji od  $-30$  dB. Početna brojna vrednost induktivnosti kalema je  $L = 10\text{nH}$  ( $1\text{nH} \leq L \leq 100\text{nH}$ ), a početna brojna vrednost visine antene je  $H_{\text{wire}} = 20,25$  mm ( $1\text{mm} \leq H_{\text{wire}} \leq 100$  mm).

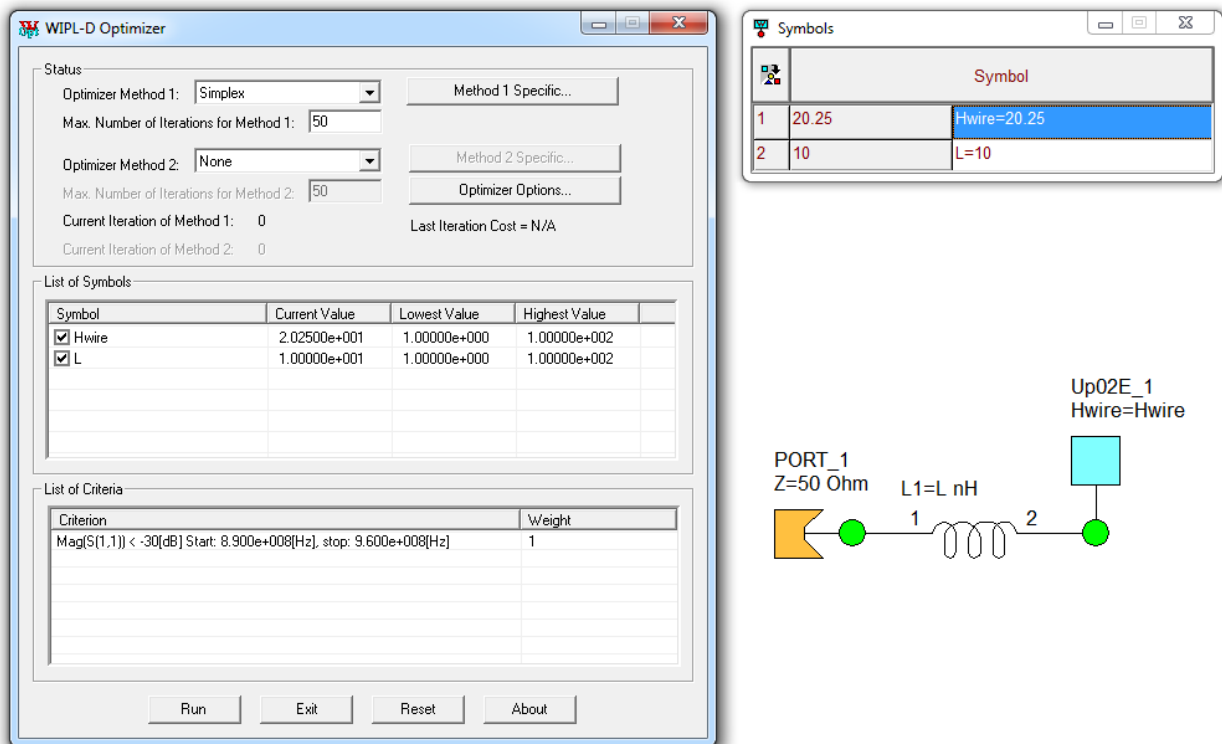
(a) Prikazati parametar  $s_{11}$ [dB] u čitavom opsegu učestanosti i uporediti ga sa prethodnim primerom (slučaj sa optimizovanim LC kolom za prilagođenje antene).

Pošto se prilikom optimizacije menja i parametar EM strukture ( $H_{\text{wire}}$ ), EM model mobilnog telefona potrebno je uvesti u *MW Circuit Solver* kao EM strukturu (drugi način), prilikom čega se pojavljuje korisnički prozor prikazan na slici 2(a). U korisničkom prozoru se (štikliranjem) definiše koji od simbola iz EM modela želimo da bude dostupan i u *MW Circuit Solver*-u (kako bismo mogli da ga menjamo i optimizujemo). Potrebno je štiklirati samo  $H_{\text{wire}}$ .



Slika 2(a).

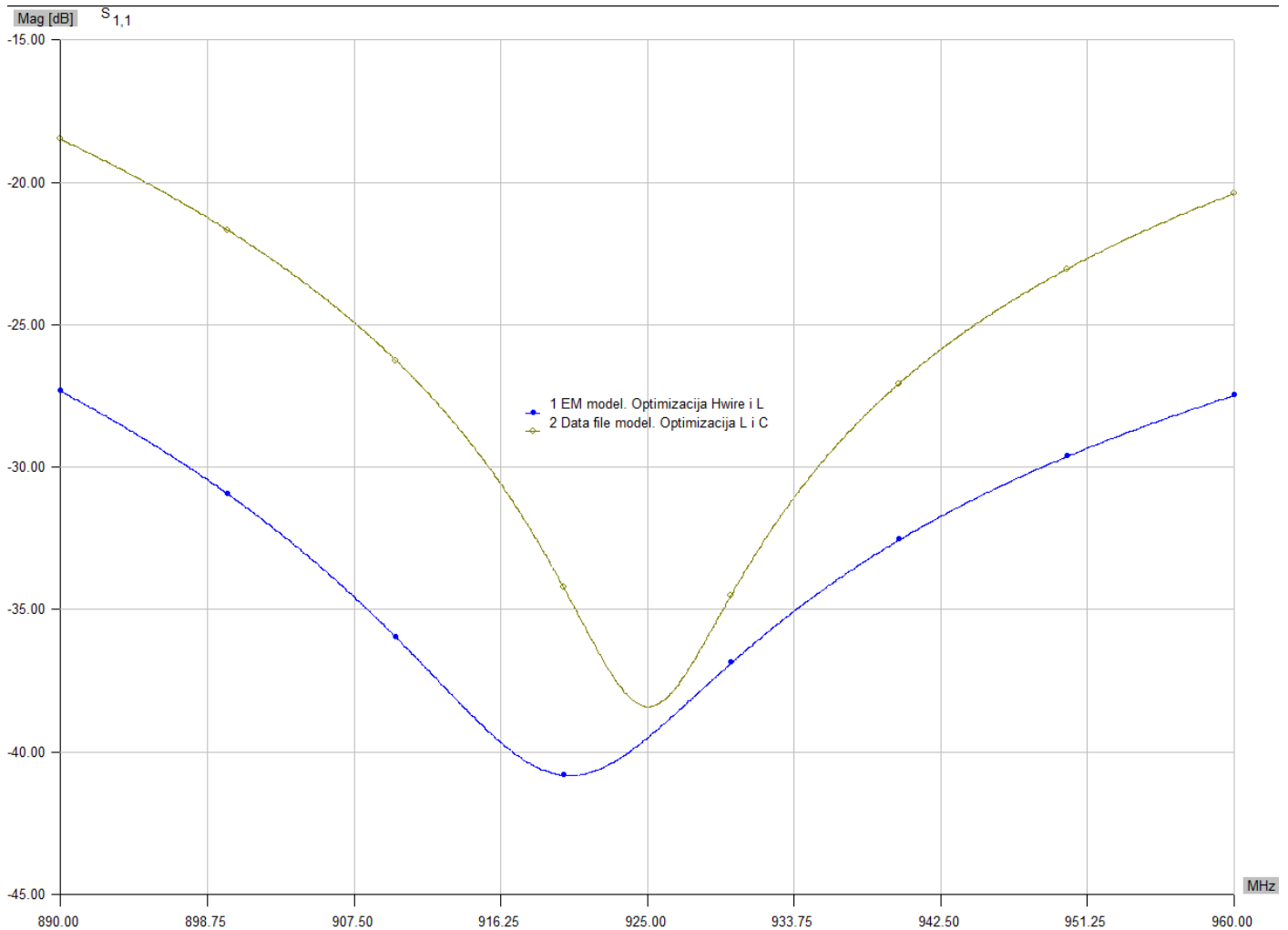
Nakon uvoženja EM modela savijenog L monopola u *MW Circuit Solver* formirano je kolo za prilagođenje sa rednim kalemom, prikazano na slici 2(b).



Slika 2(b).

Pošto se prilikom optimizacije kola za prilagođenje menja i parametar EM strukture ( $H_{\text{wire}}$ ), prilikom svake iteracije izvršava se kompletna 3D EM analiza modela GSM antene na mobilnom telefonu, što znatno produžava ukupno vreme izvršenja simulacije u odnosu na prethodni primer.

Na slici 2(c) prikazan je parametar  $s_{11}$  [dB] za slučaj kola za prilagođenje antene realizovanog pomoću rednog kalema i pomoću LC kola za prilagođenje antene (iz prethodnog primera).



Slika 2(c).

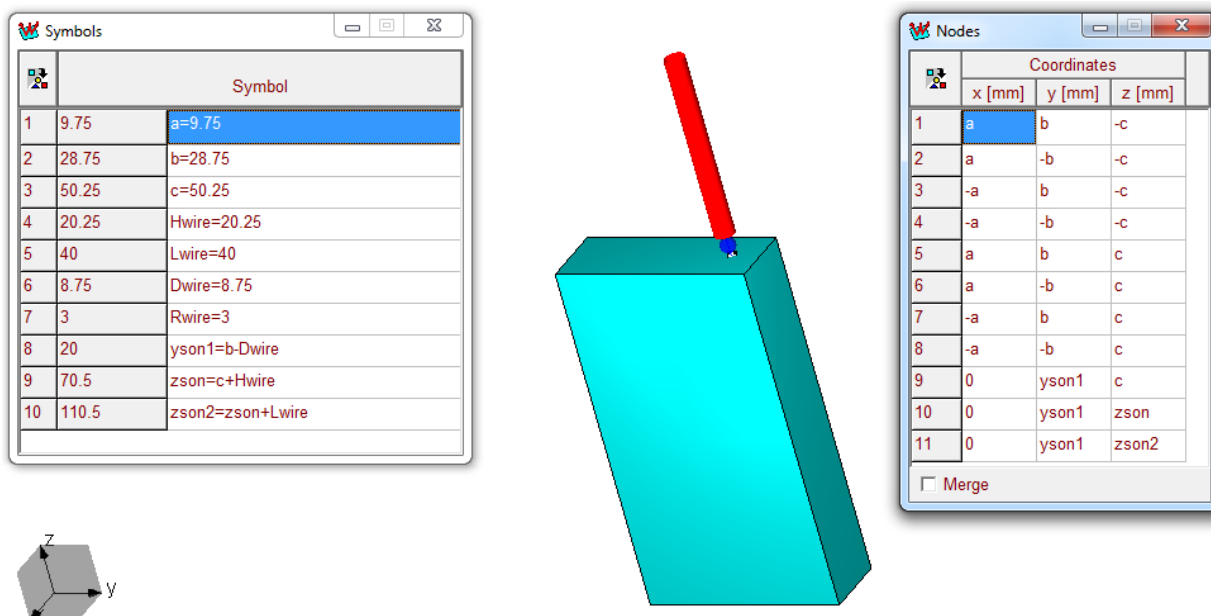
Sa slike 2(c) jasno se vidi da je prilagođenje antene za slučaj kada se optimizuje i visina antene znatno bolje u odnosu na prilagođenje antene LC kolom (kada se ne optimizuje visina antene), iako se u prvom slučaju koristi samo jedan reaktivni element. Poboľšanje je najuočljivije na graničnim učestanostima. Cena koja se plaća je znatno duže vreme izvršavanja simulacije.

**P03.** Ponoviti prethodni primer.

EM model GSM antene treba modifikovati tako da se umesto savijene L monopol antene koristi (obična) monopol antena ukupne dužine  $H_{\text{wire}} + L_{\text{wire}}$ .

- (a) Uporedno prikazati parametre  $s_{11}$ [dB] i  $R_{11}$ [ $\Omega$ ] EM modela savijene L i „obične“ monopol antene u čitavom opsegu učestanosti. Prokomentarisati kompromis prilikom izbora antene (kompromis između kompaktnosti uređaja i otpornosti zračenja).
- (b) Projektovati kolo za prilagođenje sa jednim redno vezanim kalemom (kao u prethodnom primeru). Nakon optimizacije prikazati parametar  $s_{11}$ [dB] u čitavom opsegu učestanosti i uporediti ga sa prethodnim primerom (savijane L monopol antena). Prokomentarisati ostvareno prilagođenje antene.

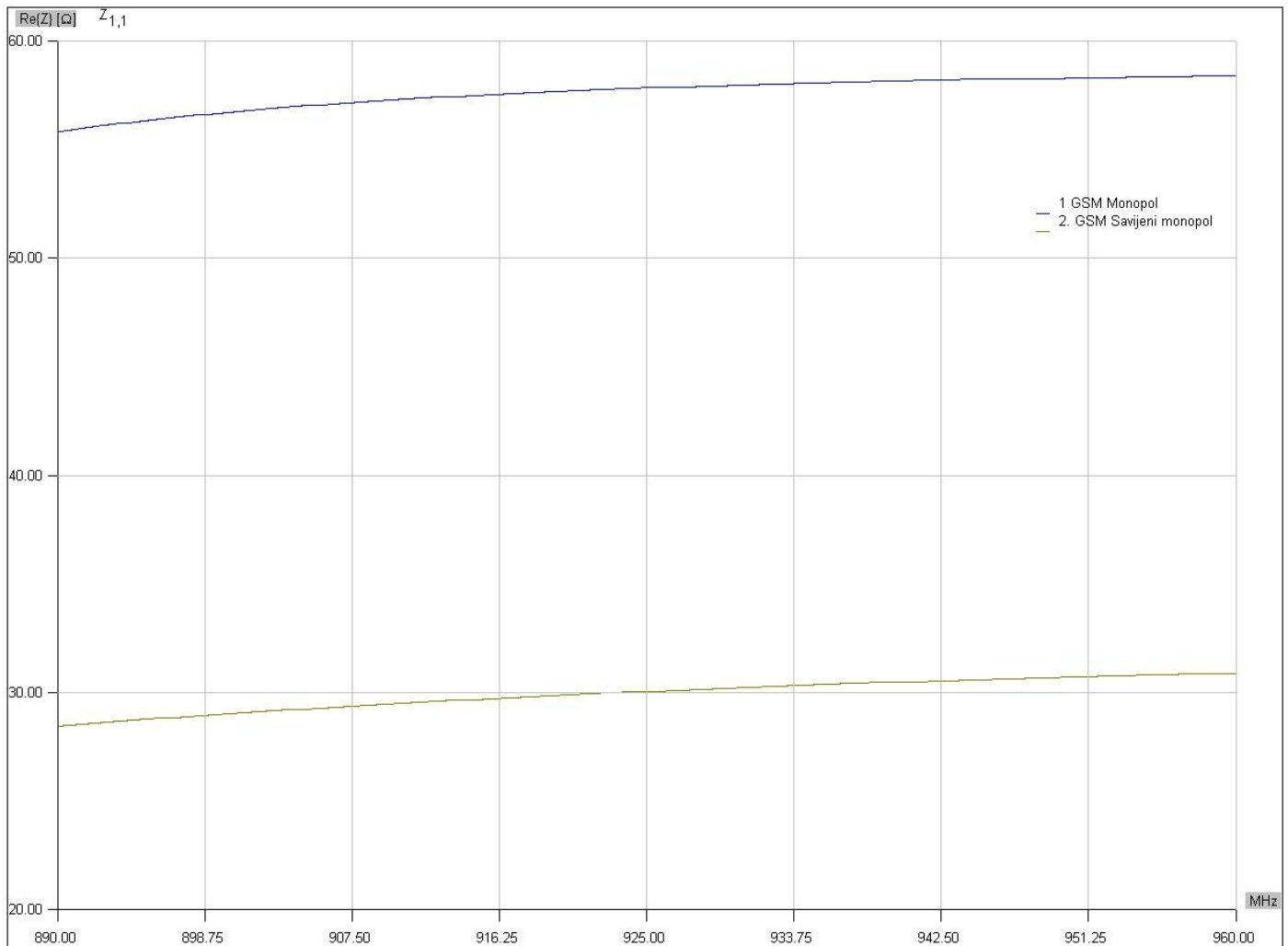
Model GSM monopol antene na mobilnom telefonu prikazan je na slici 3(a).



Slika 3(a).



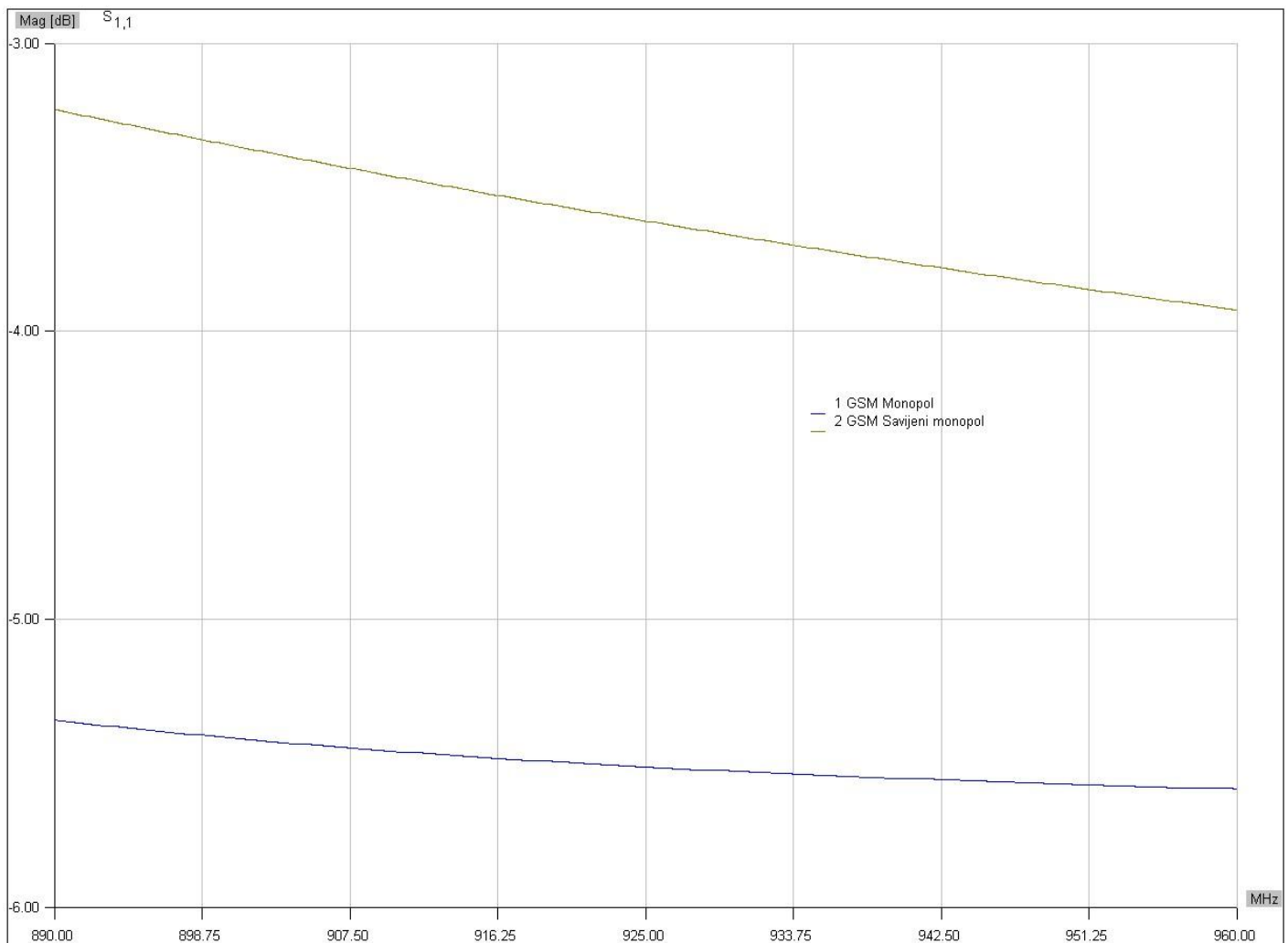
Realni deo ulazne impedanse GSM monopol antene i savijene GSM L monopol antene prikazan je na slici 3(b).



Slika 3(b).

Sa slike 3(b) jasno se vidi da je „običan“ monopol bolje prilagođen u poređenju sa savijenim monopolom, kao i da ima veću otpornost zračenja (što znači da efikasnije zrači). U eri malih prenosnih uređaja, teško je napraviti antene sa dobrim električnim karakteristikama zadovoljavajuće malih dimenzija.

Parametar  $s_{11}$ [dB] monopol antene i savijene L monopol antene (bez kola za prilagođenje) prikazan je na slici 3(c).

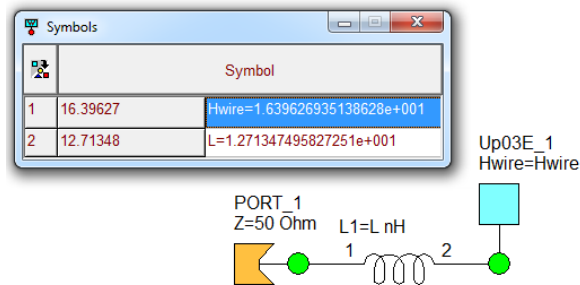


Slika 3(c).

Sa slike 3(c) jasno se vidi da je i bez kola za prilagođenje „obični“ monopol bolje prilagođen u relativno širokom opsegu učestanosti u odnosu na savijeni L monopol. Opravdano je očekivati da će i projektovanje kola za prilagođenje i ostvarivanje projektnih zahteva (koeficijent refleksije manji od  $-30$  dB ) biti lakše za „obični“ monopol u poređenju sa savijenim L monopolom.

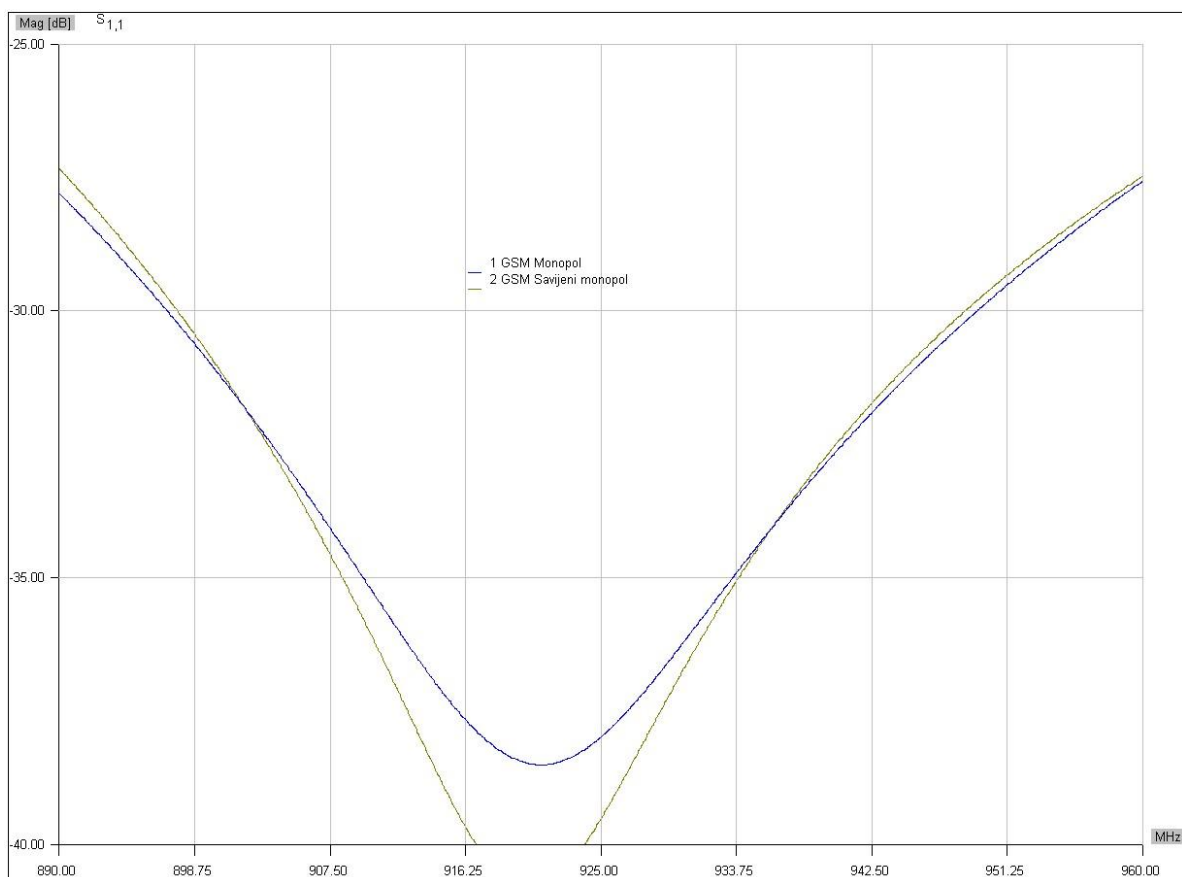
Kako se prilikom procesa optimizacije kola za prilagođenje menja i parametar EM modela (dužina žice  $H_{wire}$ ), 3D EM model GSM monopola antene je potrebno u *MW Circuit Solver* uvesti kao EM strukturu (drugi način), a ne kao *data file* (treći način).

Nakon uvoženja EM modela GSM monopola u *MW Circuit Solver* formirano je kolo za prilagođenje sa rednim kalemom, kao na slici 3(d).



Slika 3(d).

Na slici 3(e) prikazan je parametar  $s_{11}$ [dB] nakon optimizacije kola za prilagođenje ( $L$ ) i dužine žice ( $H_{wire}$ ), za slučaj monopola i savijenog L monopola.

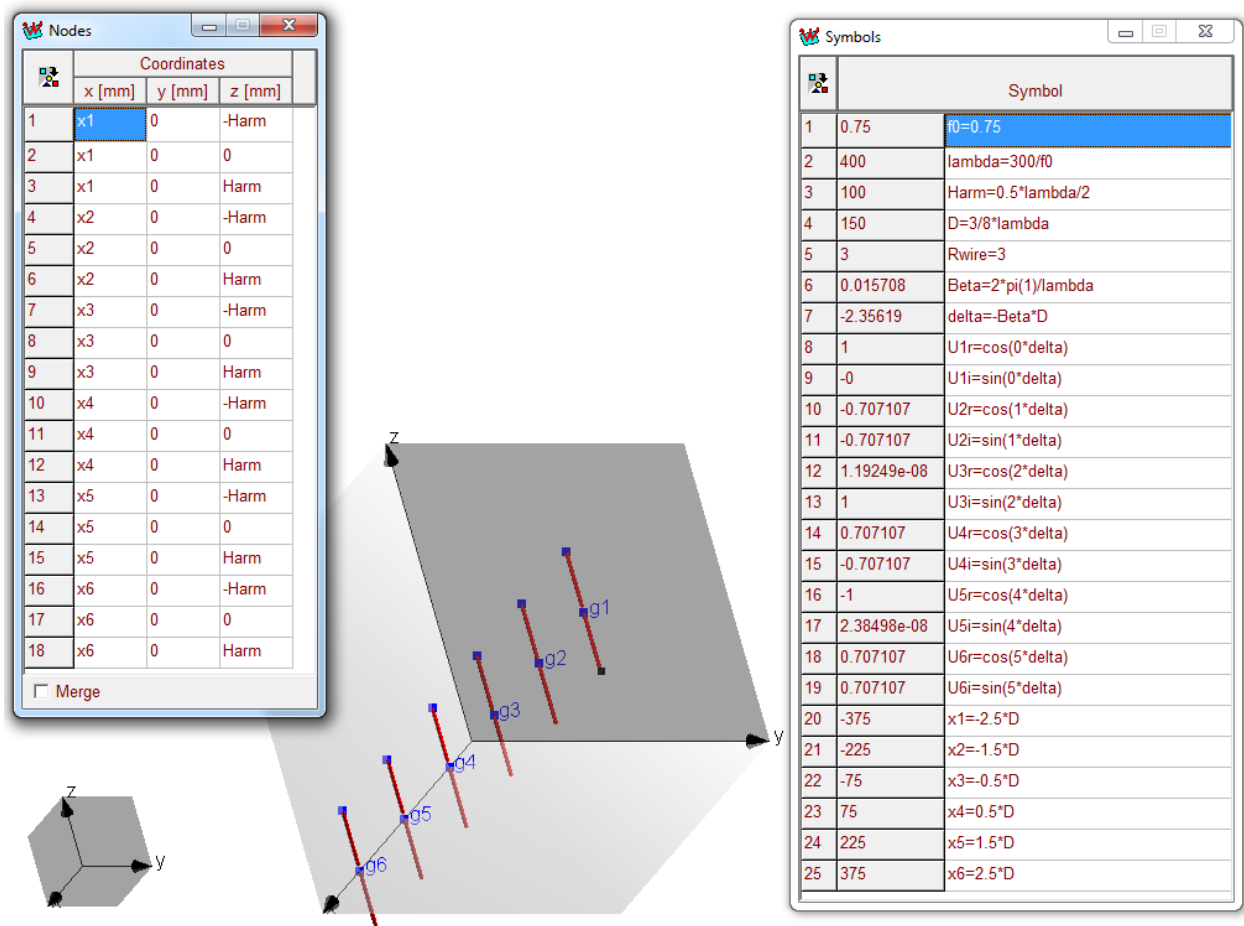


Slika 3(e).

Iako je minimum koeficijenta refleksije manji u slučaju savijenog L monopola, prilagođenje običnog GSM monopola je širokopojasnije i bolje ispunjava optimizacioni kriterijum ( $s_{11}$ [dB] < -30dB).

- P04.** (a) Projektovati linearni uniformni antenski niz sa longitudinalnim zračenjem na centralnoj učestanosti  $f_0 = 0,75$  GHz . Niz se sastoji od 6 polutalasnih dipola ( $H_{\text{wire}} = 0,5\lambda_0$ ) postavljenih upravno na osu niza. Poluprečnika žice polutalasnih dipola je  $R_{\text{wire}} = 3$  mm . Međusobno rastojanje polutalasnih dipola je  $d = \frac{3}{8}\lambda_0$ , gde  $\lambda_0$  predstavlja talasnu dušinu u vakuumu na centralnoj učestanosti. Elementi niza (polutaladni dipoli) napajaju se idealnim naponskim delta generatorima.
- (b) Projektovati identičan antenski niz, sa tom razlikom što je napajanje umesto idealnim naponskim delta generatorima izvedeno idealnim strujnim generatorima. Dati uporedni prikaz 2D dijagrama zračenja u ravni koja sadrži osu antenskog niza i upravna je na ose polutalasnih dipola. Prokomentarisati uporedni grafik.

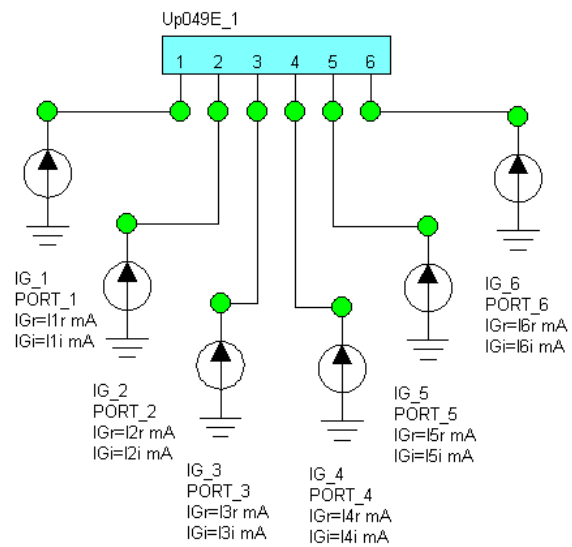
Izgled EM modela linearnog uniformnog antenskog niza sa longitudinalnim zračenjem, za slučaj kada je napajanje dipola izvedeno idealnim naponskim delta generatorima, prikazan je na slici 4(a).



Slika 4(a).

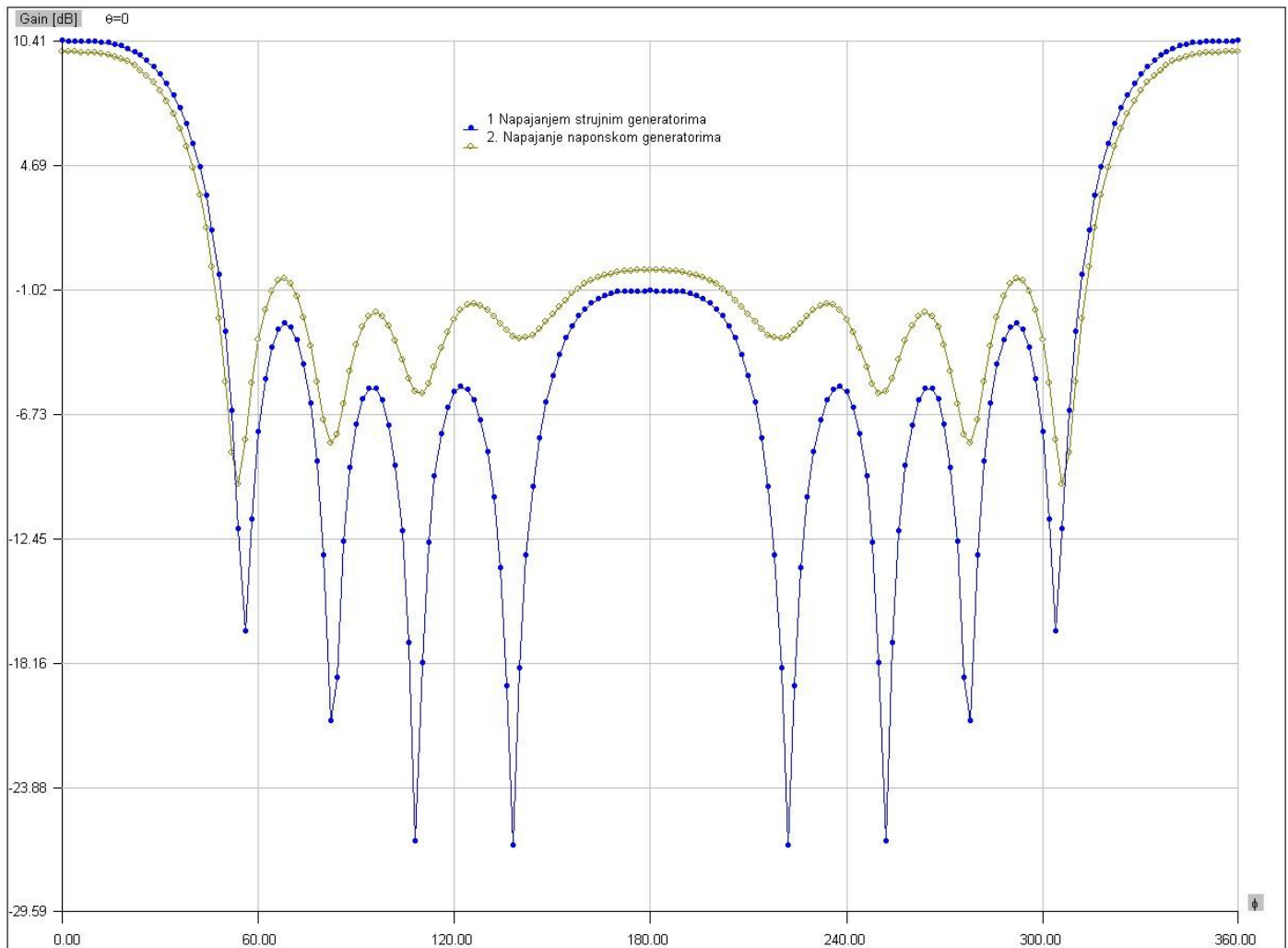
Izgled električne mreže, za slučaj kada je napajanje dipola izvedeno idealnim strujnim generatorima, prikazan je na slici 4(b).

|    | Symbol        |                          |
|----|---------------|--------------------------|
| 1  | 0.75          | $f_0=0.75$               |
| 2  | 400           | $\lambda=300/f_0$        |
| 3  | 150           | $D=3/8*\lambda$          |
| 4  | 0.01570796    | $\beta=2*\pi(1)/\lambda$ |
| 5  | -2.356194     | $\delta=-\beta*D$        |
| 6  | 1             | $I_1r=\cos(0*\delta)$    |
| 7  | 0             | $I_1i=\sin(0*\delta)$    |
| 8  | -0.7071068    | $I_2r=\cos(1*\delta)$    |
| 9  | -0.7071068    | $I_2i=\sin(1*\delta)$    |
| 10 | -1.83691E-16  | $I_3r=\cos(2*\delta)$    |
| 11 | 1             | $I_3i=\sin(2*\delta)$    |
| 12 | 0.7071068     | $I_4r=\cos(3*\delta)$    |
| 13 | -0.7071068    | $I_4i=\sin(3*\delta)$    |
| 14 | -1            | $I_5r=\cos(4*\delta)$    |
| 15 | -3.673819E-16 | $I_5i=\sin(4*\delta)$    |
| 16 | 0.7071068     | $I_6r=\cos(5*\delta)$    |
| 17 | 0.7071068     | $I_6i=\sin(5*\delta)$    |



Slika 4(b).

Uporedni 2D dijagram zračenja, za slučaj kada je napajanje izvedeno idealnim naponskim delta generatorima i idealnim strujnim generatorima, prikazan je na slici 4(c).



Slika 4(c).

Sa slike 4(c) jasno se vidi da slučaj pod (b) (napajanje strujnim generatorima) više odgovara izgledu dijagrama zračenja koji se dobija teorijskim razmatranjem. Slučaj pod (a), od teorijskog slučaja odstupa znatno.

Za slučaj kada je napajanje izvedeno pomoću idealnih naponskih delta generatora, zbog postojanja sprege između pojedinih dipola, njihove ulazne admitanse nisu jednake. Samim tim, raspodela amplituda struja elemenata niza (koje su primarne prilikom teorijskog razmatranja dijagrama zračenja uniformnih antenskih nizova) razlikuju se od raspodele amplituda napona idealnih naponskih delta generatora.