

ბრტყელი და დაბეჭდილი ანტენების გამოკვლევა და ოპტიმიზაცია

ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი
ელექტრული და ელექტრონული ინჟინერიის დეპარტამენტი

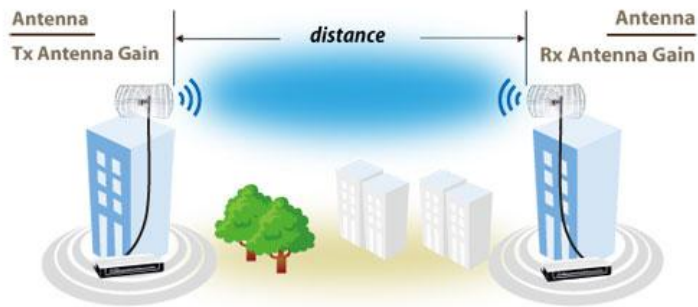
მომხსენებელი: *თამარ მახარაშვილი*

ხელმძღვანელი: *ანა გეონჯიანი*



- ◆ საკითხის აქტუალობა
- ◆ ნაშრომის მიზნები
- ◆ კვლევის ობიექტები
- ◆ რიცხვითი მეთოდები
- ◆ ანტენის პარამეტრები
- ◆ მართკუთხა ბრტყელი ანტენა
- ◆ ლოგო პერიოდული დაბეჭდილი ანტენა **HyperLOG 60100**
- ◆ U ფორმის ჭრილიანი ლოგო პერიოდული ანტენა
- ◆ დასკვნები

საკითხის აქტუალობა



- სიგნალის ოპტიმალური გადაცემა და მიღება

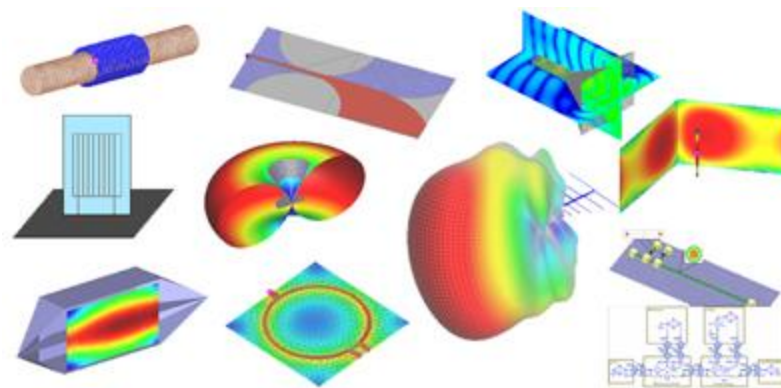


- ანტენების ურთიერთქმედება



©2001 HowStuffWorks

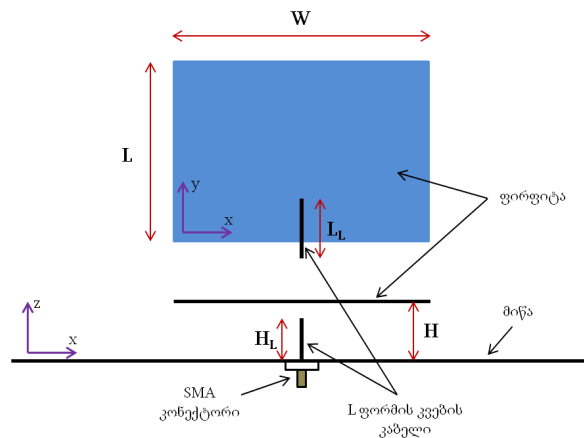
- კომუნიკაციის უმნიშვნელოვანესი ნაწილი - ანტენა



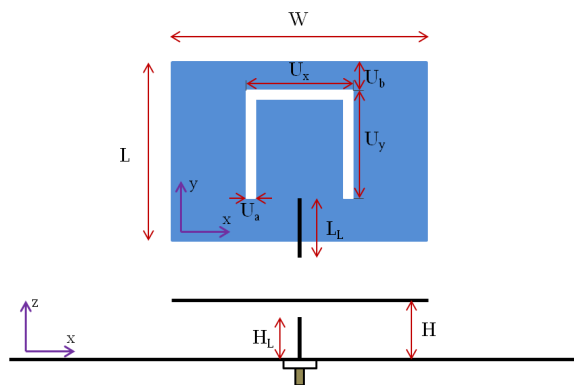
- კომპიუტერული სიმულაცია - სწრაფი და ადვილი პრობლემის გადაჭრის გზა

- U ფორმის ჭრილის მნიშვნელობისა და ფუნქციონალურობის დადგენა ფართოზოლოვანი მართკუთხა ბრტყელი ანტენის მაგალითზე;
- ლოგო პერიოდული დაბეჭდილი HyperLOG 60100 ანტენის კომპიუტერული მოდელის შექმნა და სიგანეში ოპტიმიზაციის მეთოდის ეფექტურობის შემოწმება;
- მიზანია ლოგო პერიოდული დაფენილი ანტენის გატარების ზოლში გარკვეული აკრძალული სიხშირეების დამატება და გაფილტვრა. ეს განხორციელებულია U ფორმის ჭრილის დამატებით ანტენის მთავარ ღერძში.

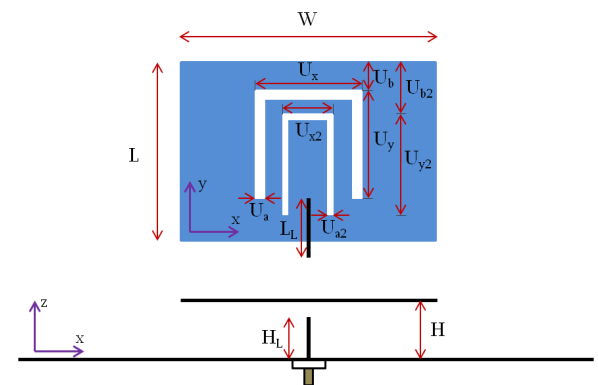
კვლევის ობიექტები



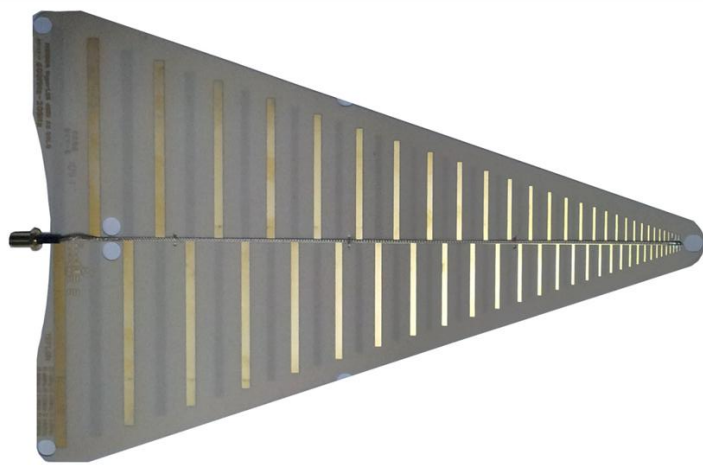
ფართოზოლოვანი
მართკუთხა ბრტყელი ანტენა



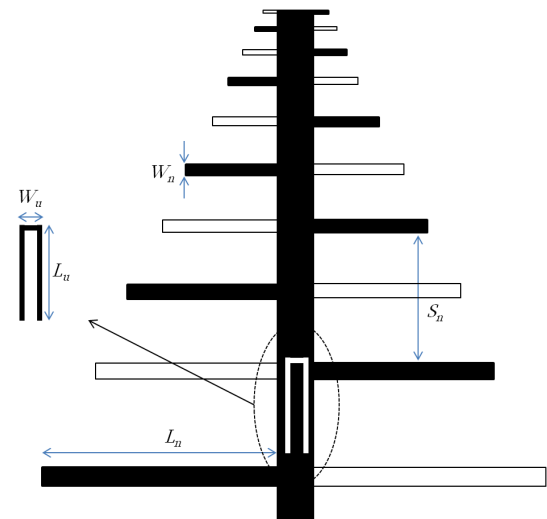
ორზოლოვანი U ფორმის
ჭრილიანი ბრტყელი ანტენა



სამზოლოვანი U ფორმის
ჭრილიანი ბრტყელი ანტენა



ლოგო პერიოდული დაბეჭდილი HyperLOG 60100 ანტენა



U ფორმის ჭრილიანი ლოგო პერიოდული ანტენა

რიცხვითი მეთოდები

მომენტების მეთოდი (MoM)

$$L(\vec{J}) = \vec{U}$$

სადაც მარჯვენა მხარეს მოცემულია დაცემული ველის სიდიდეები, ხოლო მარჯვენა მხარეს - $\vec{J}$ ველის მიერ ინდუცირებული დენი.

გავშალოთ დენი საბაზისო ფუნქციების სასრულ ჯამად:

$$\vec{J} = \sum_i J_i \vec{b}_i$$

სადაც b_i არის i -იური საბაზისო ფუნქცია და J_i უცნობი კოეფიციენტი.

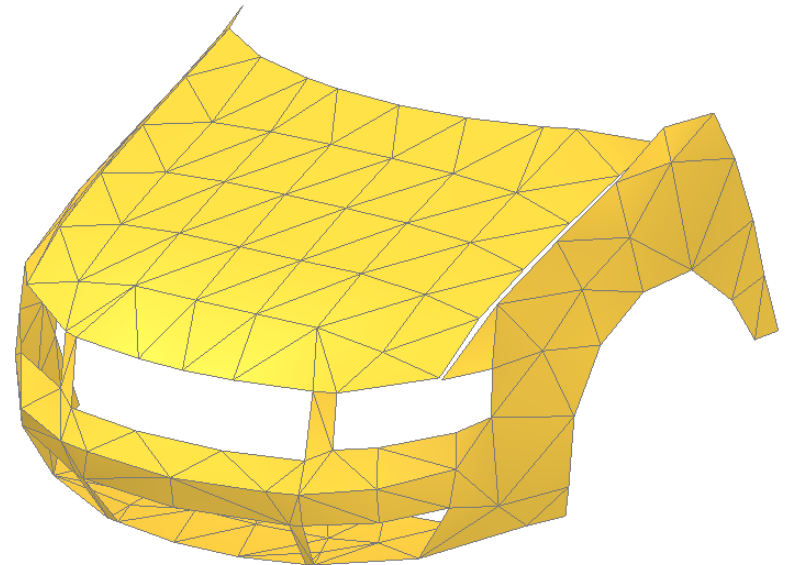
$$\sum_i J_i L(b_i) = \vec{U}$$

განისაზღვრება M საწონი (weighting) ფუნქცია w_m . მათი სკალარული ნამრავლი განტოლების ორივე მხარესთან შეადგენს ამოსახსნელ გამოსახულებას:

$$\sum_i J_i \langle w_m, L(b_i) \rangle = \langle w_m, \vec{U} \rangle$$

$$[Z_{mi}][J_i] = [U_m]$$

ვექტორი U შეიცავს ცნობილ დაცემული ველის სიდიდეებს, ხოლო Z მატრიცის შემადგენელი ელემენტები წარმოადგენს გეომეტრიის ფუნქციას. უცნობი კოეფიციენტები წარმოადგენენ J_i ვექტორის ელემენტებს.



რიცხვითი მეთოდები

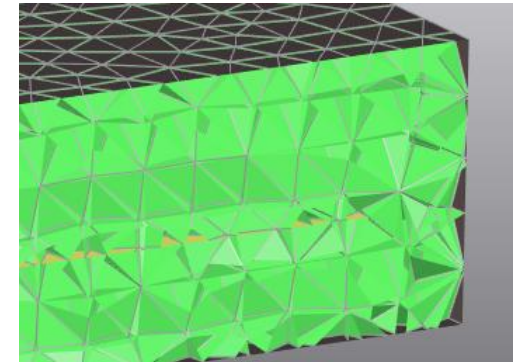
გალერკინის წყვეტილი მეთოდი დროით არეში (DGTD)

გამოვსახოთ მაქსველის განტოლებები შენახვის ფორმაში:

$$Q \frac{\partial \vec{u}(x, t)}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{F}(\vec{u}(x, t)) = 0$$

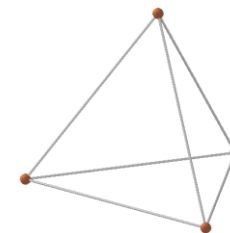
სადაც $x \in \Omega$

$$Q = \begin{bmatrix} \varepsilon & 0 \\ 0 & \mu \end{bmatrix}, \vec{u} = \begin{bmatrix} \vec{E} \\ \vec{H} \end{bmatrix}, \vec{F}_i(\vec{u}) = \begin{bmatrix} -\vec{e}_i \times \vec{H} \\ \vec{e}_i \times \vec{E} \end{bmatrix}$$



სადაც აღნიშნავს სამ მართკუთხა საკოორდინატო სისტემის ერთეულოვან გეზს. სივრცე Ω დაიყოფა ურთიერთგადაუკვეთავ ელემენტებად D^k

$$\Omega \approx \Omega_h = \bigcup_{k=1}^K D^k$$



სადაც არის ზოგადი ელემენტი, მაგრამ ამონახსნში გამოიყენება ტეტრაედრები. გლობალური ამონახსნი გამოისახება როგორც:

$$\vec{u}(x, t) \approx \vec{u}_h(x, t) = \sum_{k=1}^K \vec{u}_h^k(x, t)$$

ანტენის პარამეტრები

ანტენის შესავალი (საკუთარი) წინაღობა

არის ანტენის ტერმინალებზე მოდებული ძაბვის ფარდობა გამავალ დენზე. წინაღობა Z კომპლექსური რიცხვია და შედგება რეალური და წარმოსახვითი ნაწილებისაგან. რეალური ნაწილი დაკავშირებულია სიმძლავრის რადიაციასთან, რომელიც გამოსხივდა ან შთაინთქა ანტენის მიერ, ხოლო წარმოსახვითი - ანტენის ახლო ველში ჩაჭერილ სიმძლავრესთან.

ანტენის არეკვლის კოეფიციენტი

აჩვენებს თუ რა რადიაციის სიმძლავრე აირეკლა ანტენიდან. როგორც წესი, იზომება დეციბელებში.

$$S_{11} = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0}$$

მდგარი ტალღის კოეფიციენტი

რადიაციის სიმძლავრის ადგილზე თუ რამდენად კარგად არის ანტენის შესავალი წინაღობა შეთანხმებული მკვებავის გადამცემ ხაზთან

$$VSWR = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|}$$

გადლიერების კოეფიციენტი

განისაზღვრება, როგორც მაქსიმალური გამოსხივების მიმართულებით გამოსხივებული სიმძლავრის ფარდობა იზოტროპული უდანაკარგო ანტენის გამოსხივებასთან.

$$gain = 4\pi \frac{\text{radiation intensity}}{\text{total input power}}$$

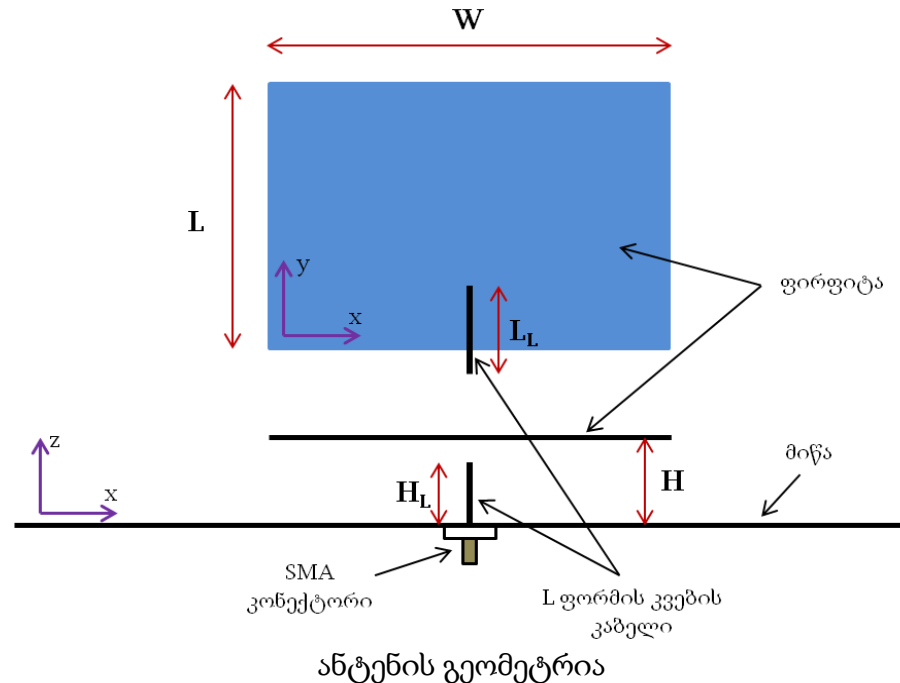
მუშაობის დიაპაზონი, გატარების ზოლი

სიხშირეთა შუალედი, რომელზედაც $S_{11} < -10$ dB ან $VSWR < 2$. მუშაობის დიაპაზონი პროცენტებში გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$BW\% = 2 \frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} 100$$

ფართოზოლოვანი მართკუთხა დაფენილი ანტენა

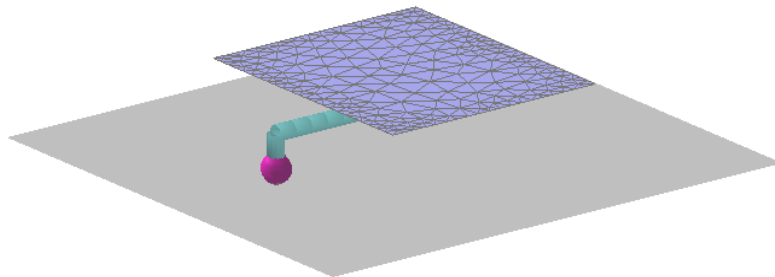
ფართოზოლოვანი მართკუთხა ბრტყელი ანტენა (ინგ. Broadband rectangular patch antenna) შედგება გამტარი ფირფიტისა და მიწისაგან, მათ შორის კი არ არის დიელექტრიკი. კვება ხდება L ფორმის კაბელით.



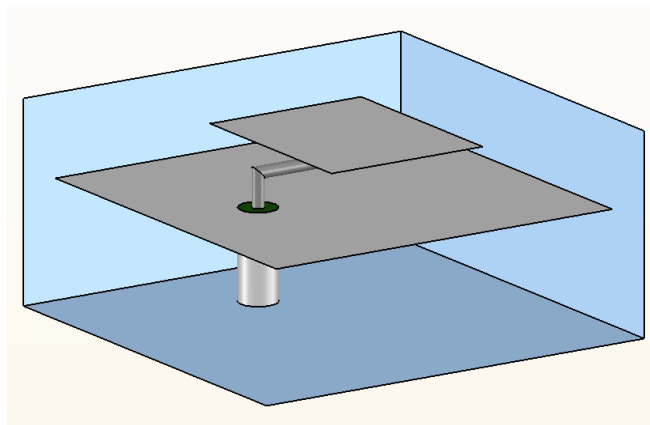
W	L	H	H_L	L_L
22	18	5.0	3.5	8.5

ანტენის განზომილებები [მმ]

ფართოზოლოვანი მართკუთხა დაფენილი ანტენის გეომეტრია და გაზომვების შედეგებია აღებულია * პუბლიკაციიდან.

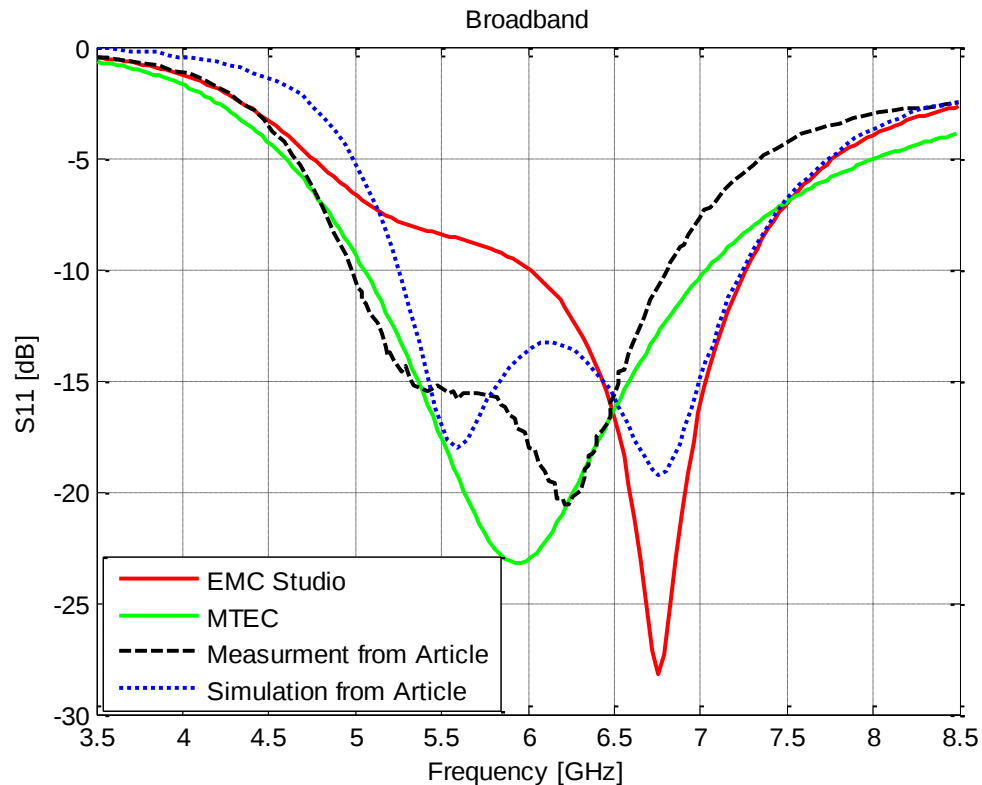


კომპიუტერული მოდელი EMCoS Antenna VLab-ში



კომპიუტერული მოდელი EMCoS MTEC VLab-ში

გამოთვლილი და გაზომილი ანტენის არეკვლის კოეფიციენტი (S_{11}) ნაჩვენებია გრაფიკზე

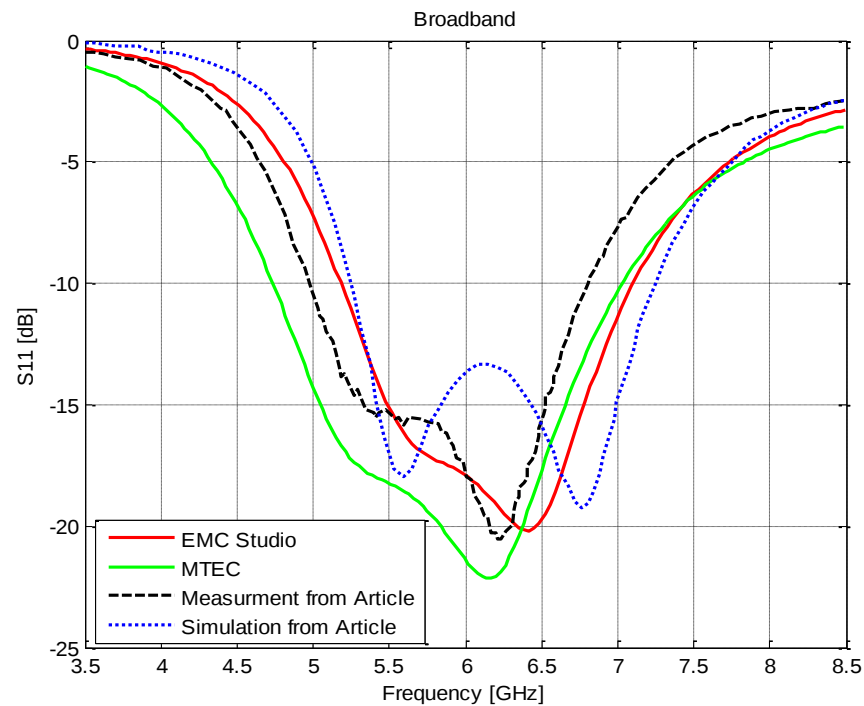


ანტენის არეკვლის კოეფიციენტის დამოკიდებულება სიხშირეზე

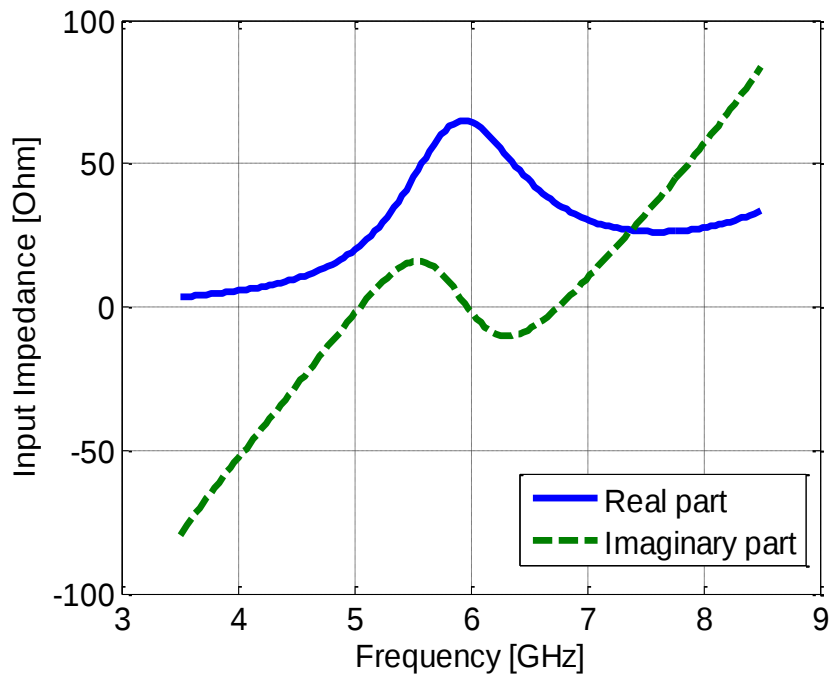
შედეგები

შედეგების აცდენის გამო ჩატარდა პარამეტრული კვლევა. გამოვიკვლიეთ შესაძლო მიზეზები, როგორც კონექტორის არსებობა ასევე, კაბელის რადიუსი და ფირფიტის ზომები.

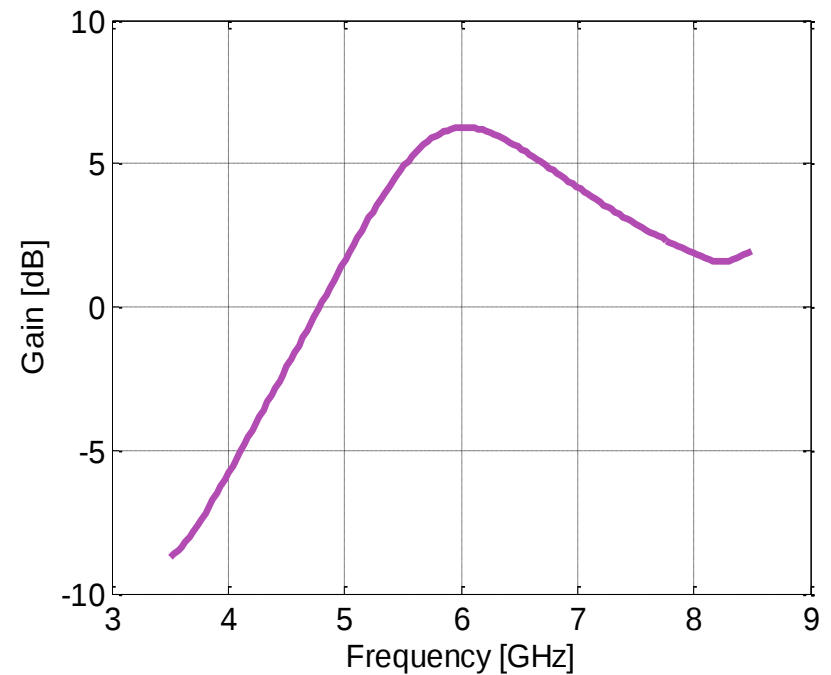
შედეგად დადგინდა, რომ თუ H პარამეტრს გავზრდით 0.7მმ-ით მივიღებთ საკმაოდ კარგ დამთხვევას შედეგებს შორის:



ანტენის არეკვლის კოეფიციენტის დამოკიდებულება სიხშირეზე

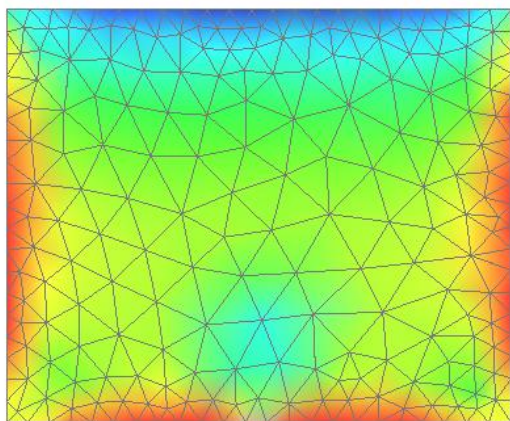


ანტენის საკუთარი წინაღობის
დამოკიდებულება სიხშირეზე

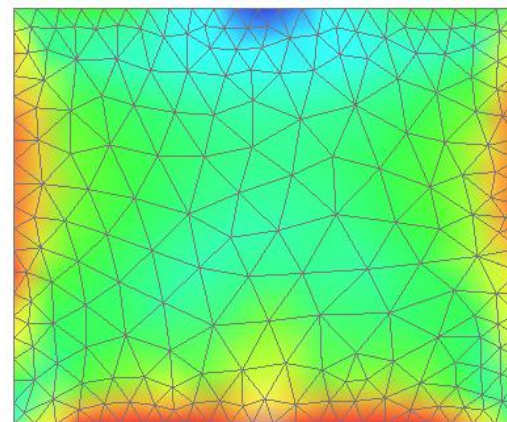


ანტენის გაძლიერების კოეფიციენტი
დამოკიდებულება სიხშირეზე

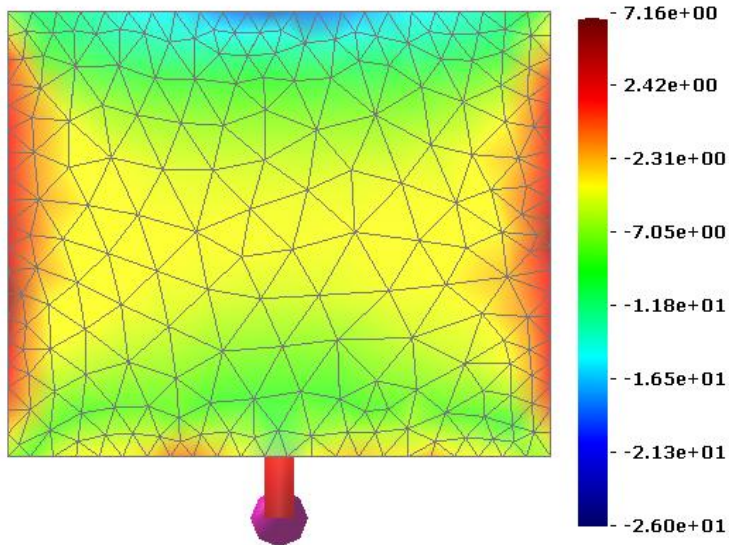
გაზომვები [GHz]	EMCoS Antenna Vlab [GHz]	EMCoS MTEC Vlab [GHz]
5-6.8 GHz (30.5%)	5.18-7.1 GHz (31.3%)	4.7-7 GHz (43.3%)



დენის განაწილება
4.7 GHz-ზე [dB]



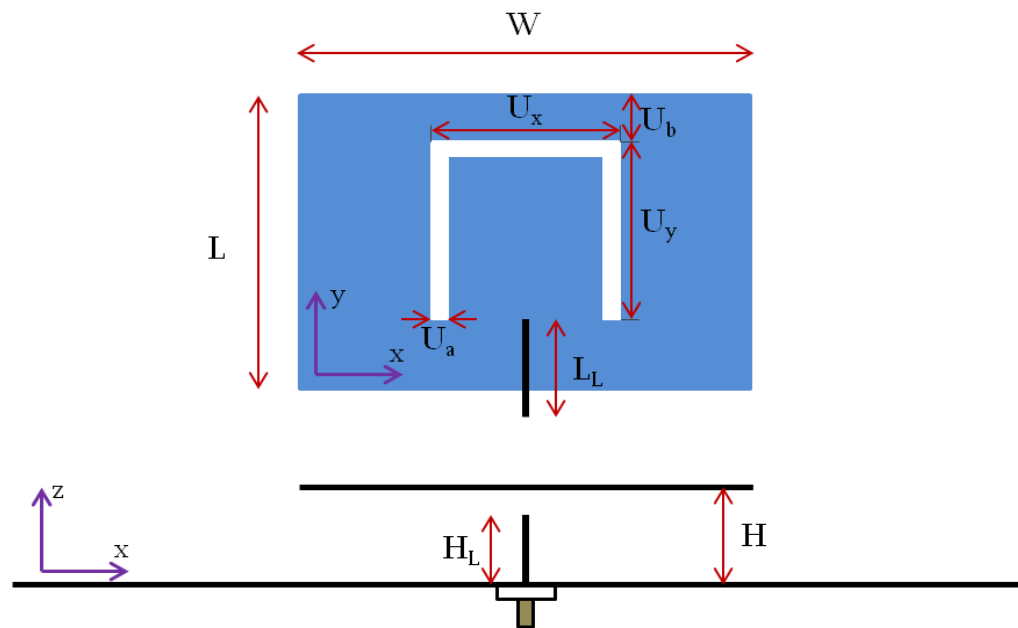
დენის განაწილება
8 GHz-ზე [dB]



დენის განაწილება 6 GHz-ზე [dB]

ორზოლოვანი U ფორმის ჭრილიანი ბრტყელი ანტენა

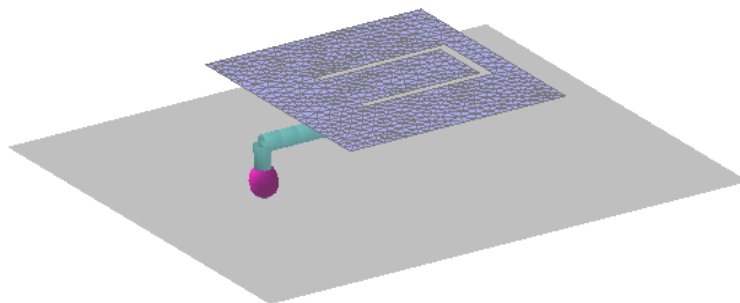
U - ჭრილის ამოჭრით ბირფიტიდან, არსებულ გატარების ზოლში ჩნდება ამკრძალავი რეზონანსი, რის შედეგადაც მიიღება ანტენა ორი გატარების ზოლით.



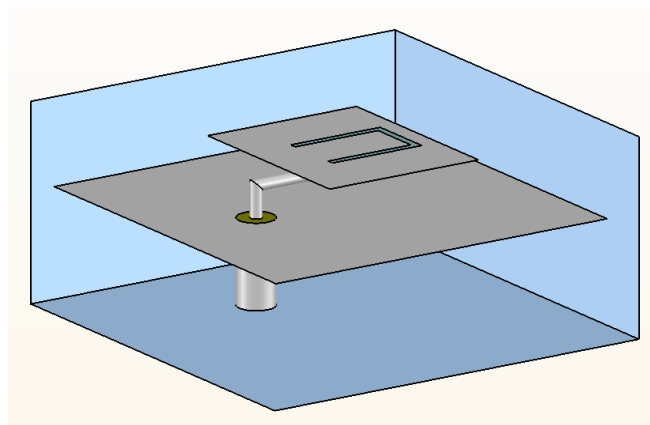
ანტენის გეომეტრია

W	L	H	H _L	L _L	U _a	U _b	U _x	U _y
22	18	5.0	3.5	8.5	0.8	2	7.5	10.8

ანტენის განზომილებები [მმ]

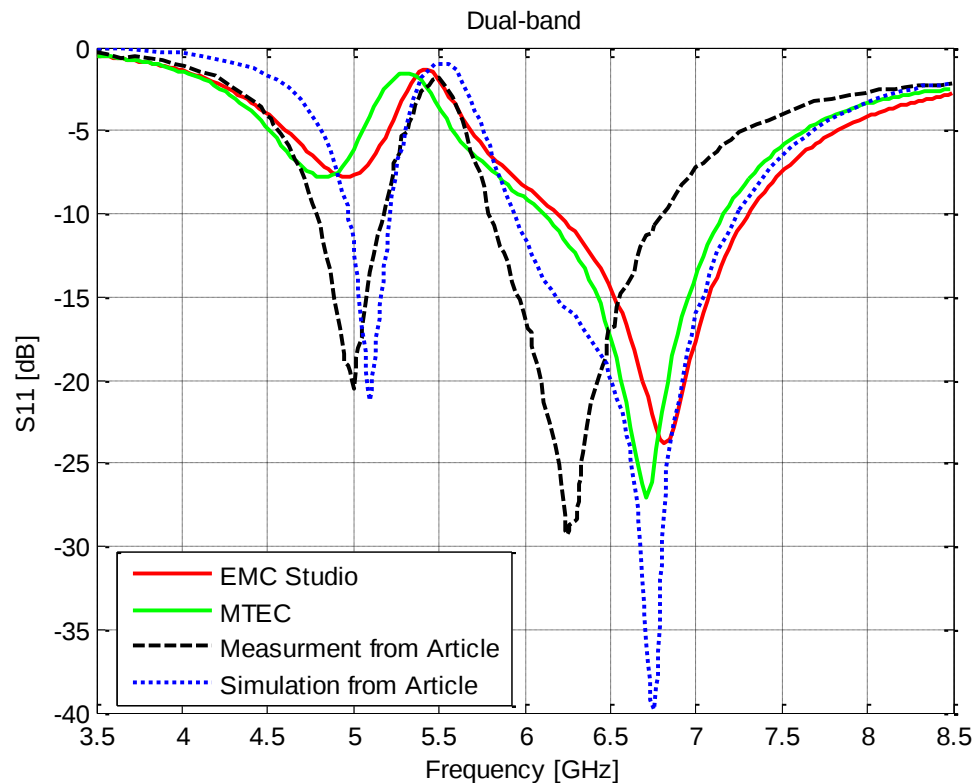


კომპიუტერული მოდელი EMCoS Antenna VLab-ში



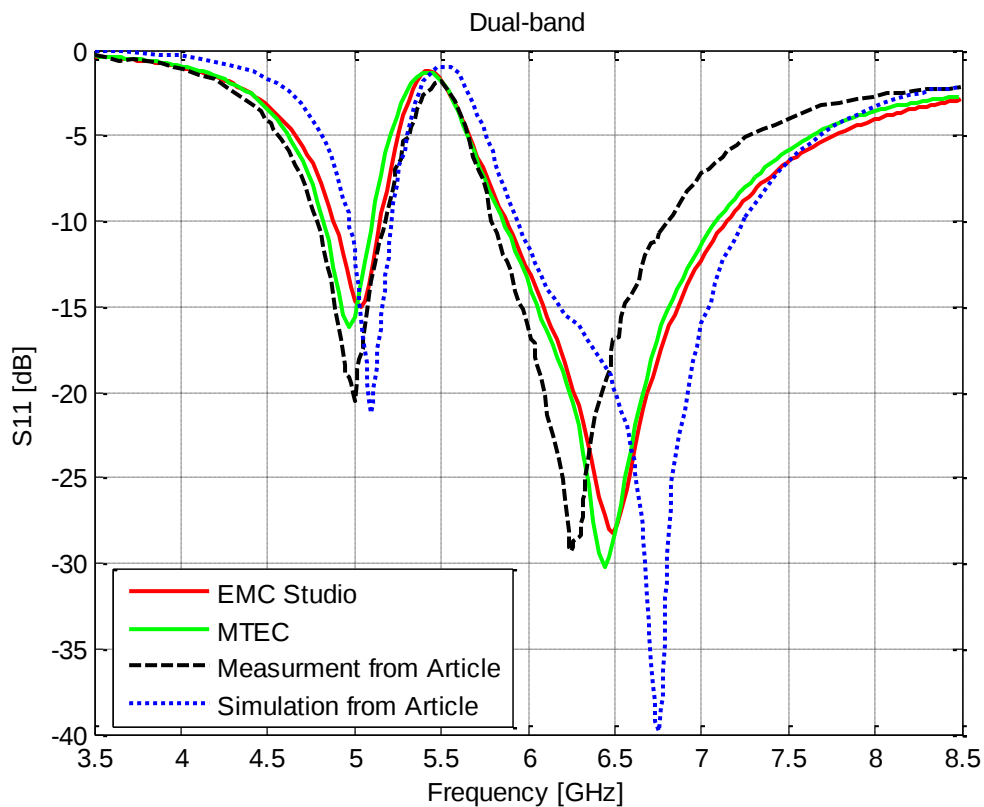
კომპიუტერული მოდელი EMCoS MTEC VLab-ში

ელექტრომაგნიტური სიმულაციით მიღებული ანტენის არეკვლის კოეფიციენტი შედარებულია გაზომვებთან:

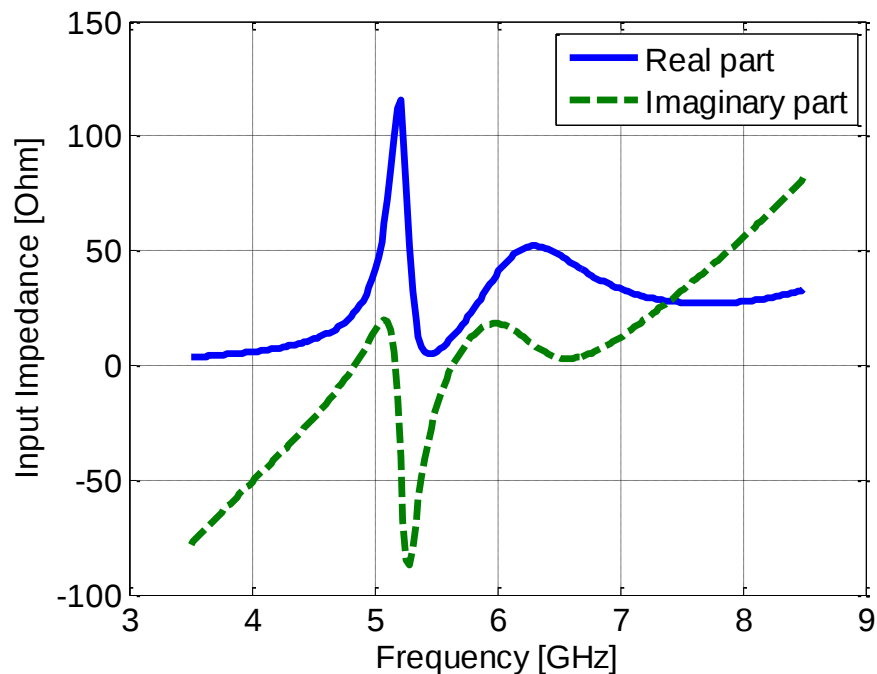


ანტენის არეკვლის კოეფიციენტის დამოკიდებულება სიხშირეზე

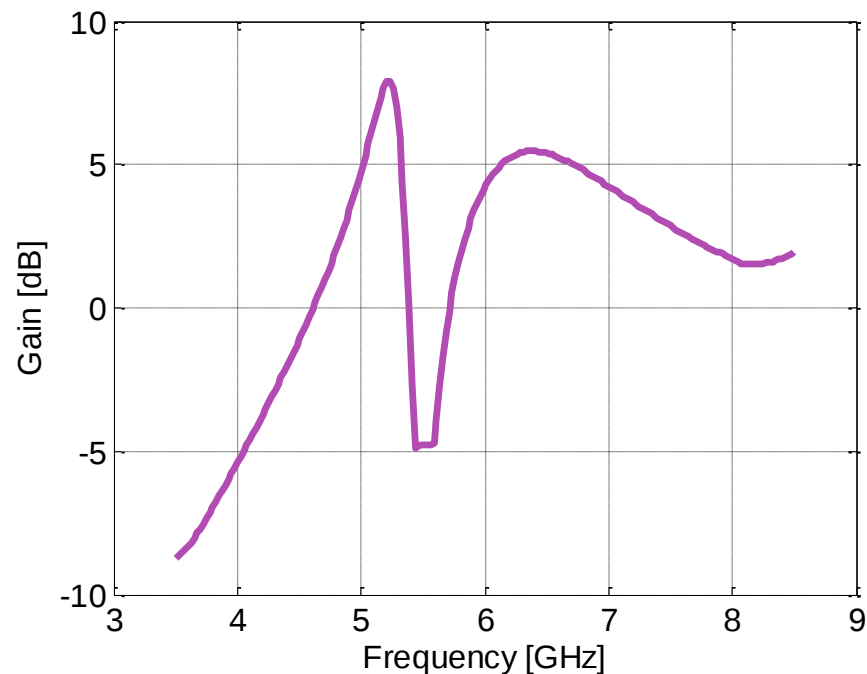
პარამეტრულმა კვლევამ აჩვენა, რომ მანძილის გაზრდით (5.7მმ) ფირფიტასა და მიწას შორის სიმულაციისა და გაზომვების შედეგები ერთმანეთს ემთხვევა:



ფართოზოლოვანი ოთხკუთხა ბრტყელი ანტენის S_{11} პარამეტრი

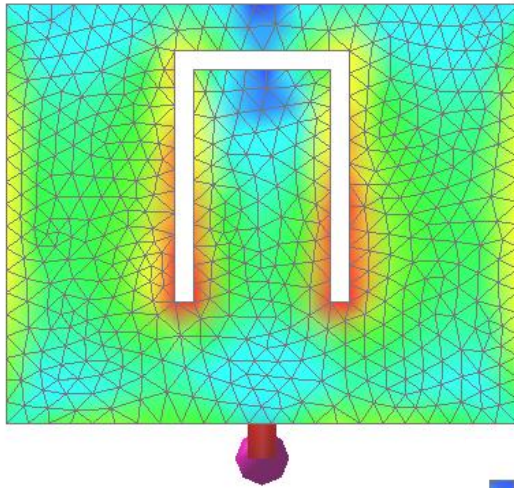


ანტენის წინააღობის დამოკიდებულება სიხშირეზე

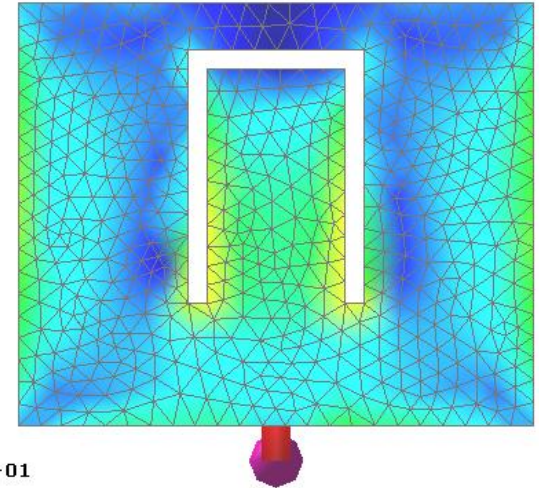


ანტენის გაძლიერების კოეფიციენტის დამოკიდებულება სიხშირეზე

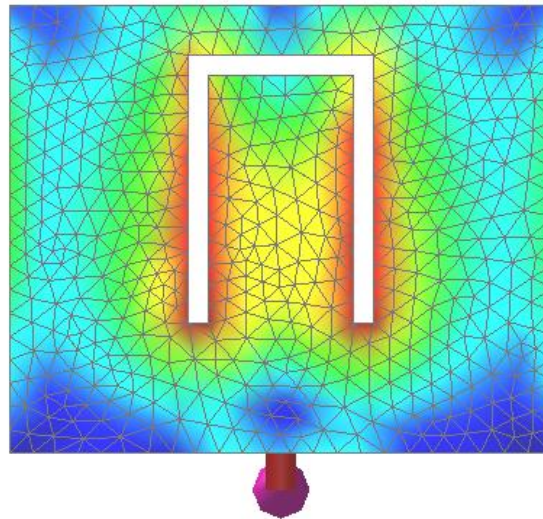
გაზომვები [GHz]	EMCoS Antenna Vlab [GHz]	EMCoS MTEC Vlab [GHz]
4.8 - 5.18 (7.6%)	4.88 - 5.16 (5.6%)	4.82 - 5.09 (5.4%)
5.8 - 6.8 (15.9%)	5.86 - 7.14 (19.7%)	5.84 - 7.07 (19.1)



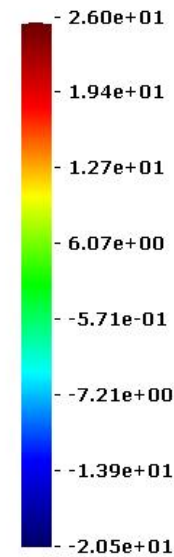
დენის განაწილება
5 GHz-ზე [dB]



დენის განაწილება
6.5 GHz-ზე [dB]

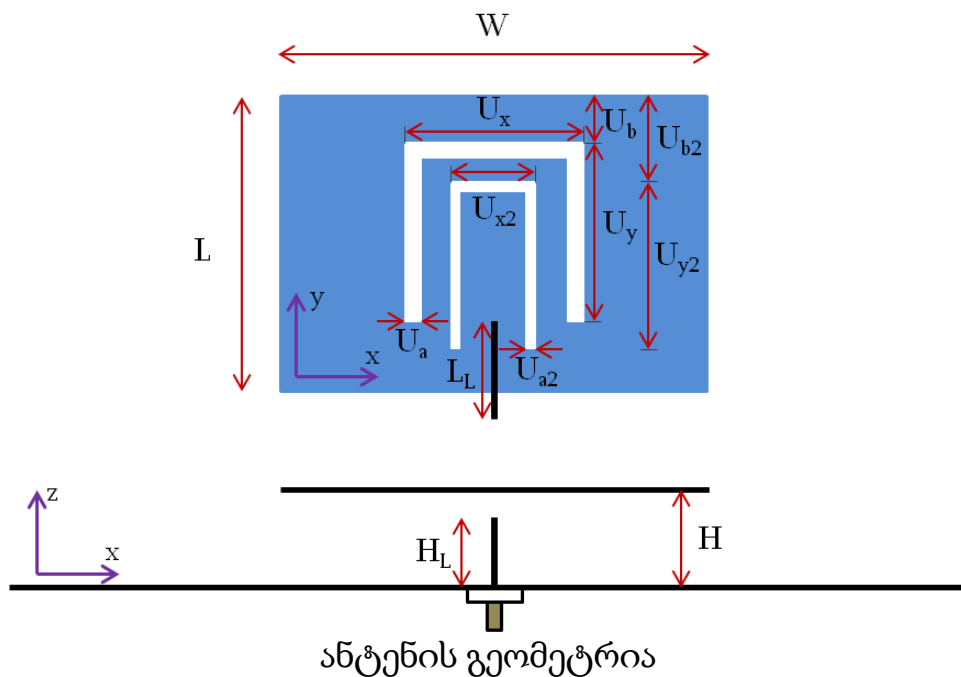


დენის განაწილება 5.5 GHz-ზე [dB]



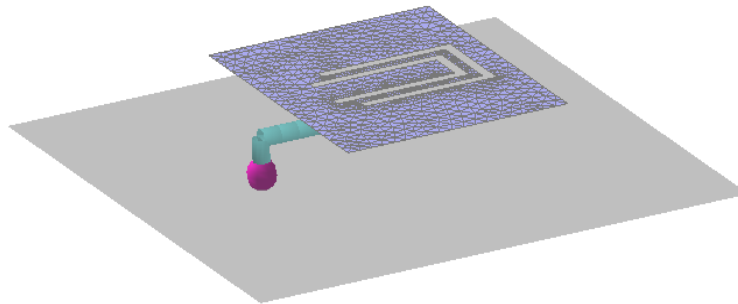
სამზოლოვანი U ფორმის ჭრილიანი ბრტყელი ანტენა

სამზოლოვანი U ფორმის ჭრილიანი ბრტყელი ანტენის მისაღებად წინა ორზოლიან მოდელზე დამატებულია კიდევ ერთი ჭრილი. მათი ზომები ისეა შერჩეული, რომ დამატებითი ჭრილზე რეზონანსი ხდება 5.7 GHz-ზე.

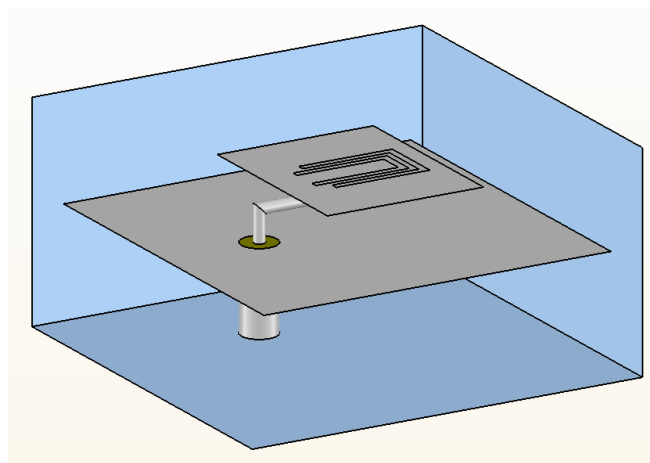


W	L	H	H _L	L _L	U _a	U _b	U _x	U _y	U _{a2}	U _{b2}	U _{x2}	U _{y2}
22	18	5.0	3.5	8.5	0.8	2	7.5	10.8	0.8	3.5	4.5	10.8

ანტენის განზომილებები [მმ]

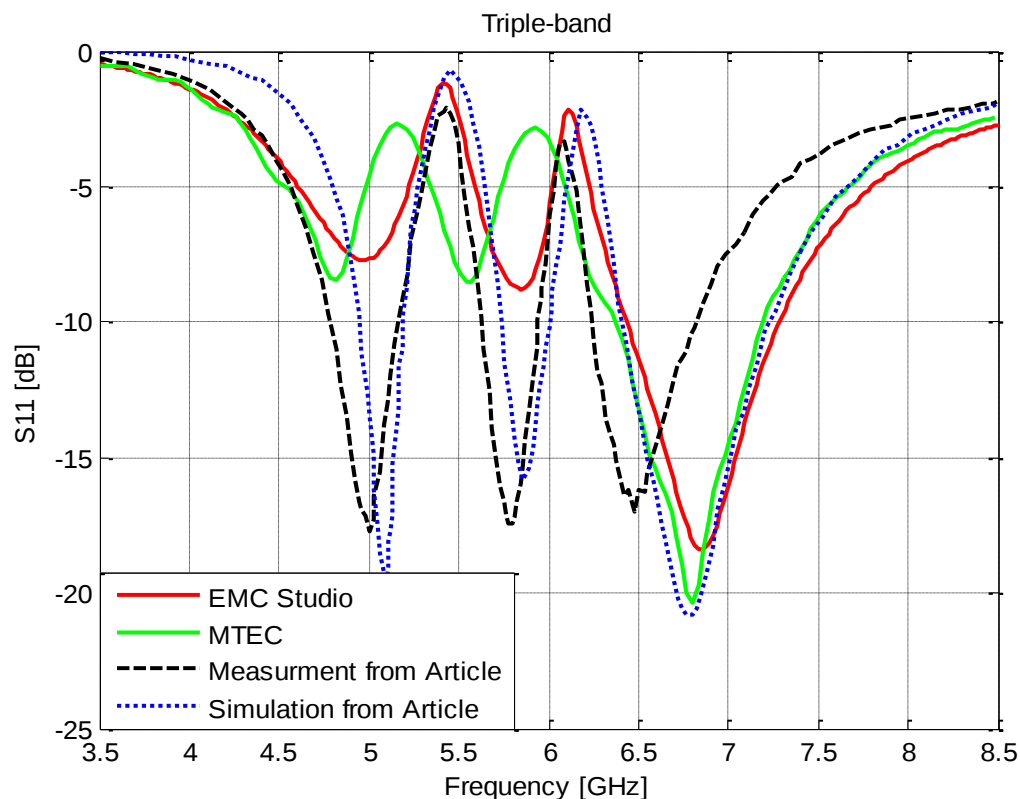


კომპიუტერული მოდელი EMCoS Antenna VLab-ში



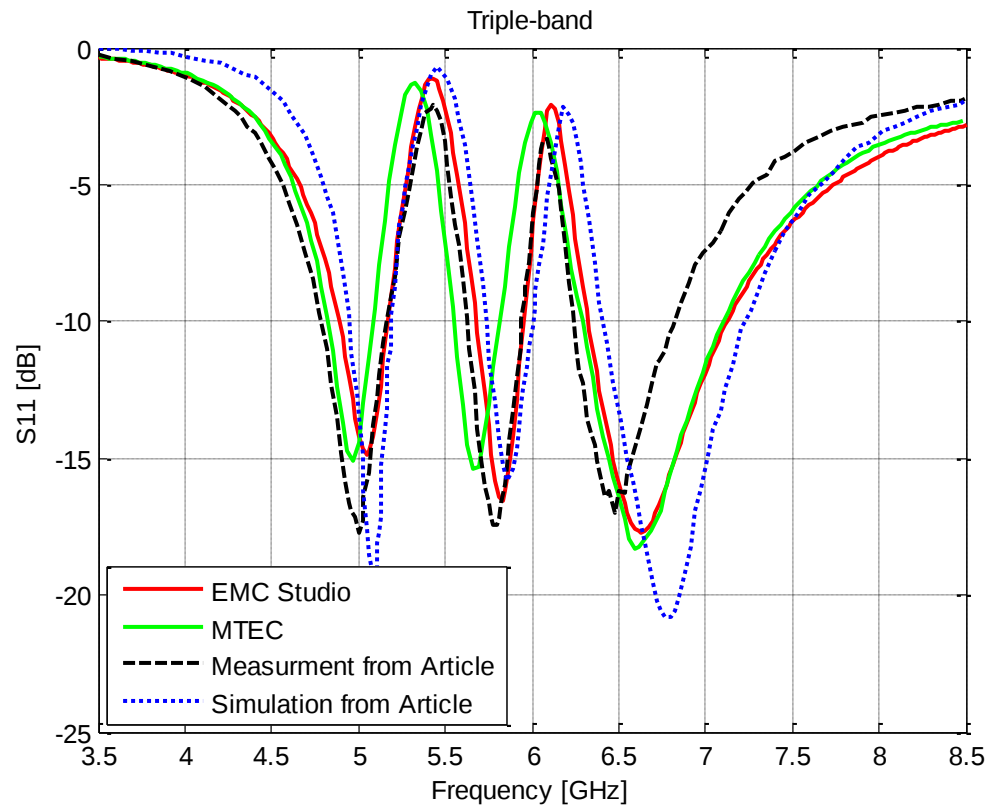
კომპიუტერული მოდელი EMCoS MTEC VLab-ში

ნაჩვენებია მიღებული კომპიუტერული სიმულაციის შედეგების შედარება გაზომვებით მიღებულ მონაცემებთან:

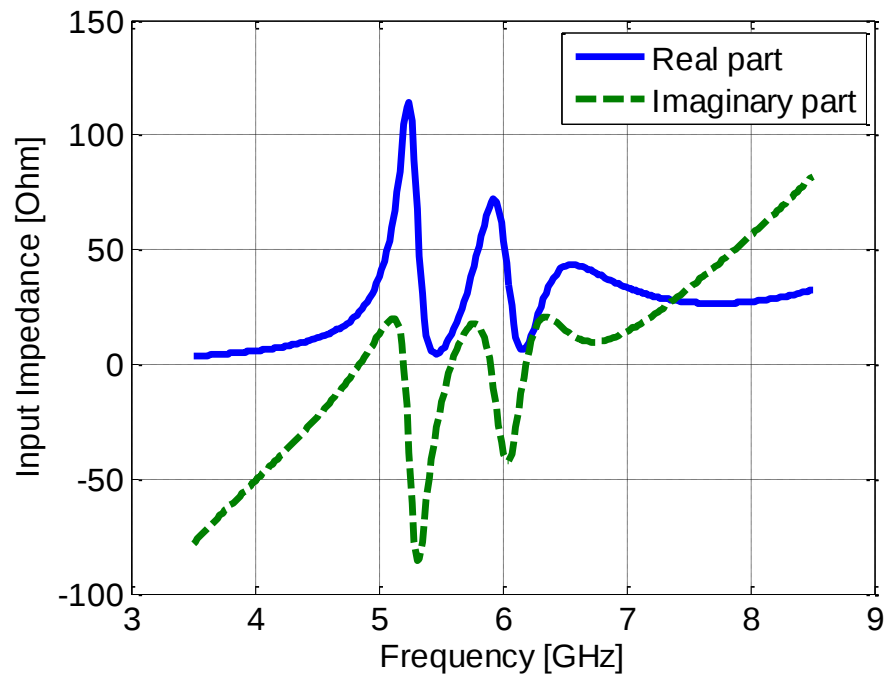


S_{11} პარამეტრის დამოკიდებულება სიხშირეზე

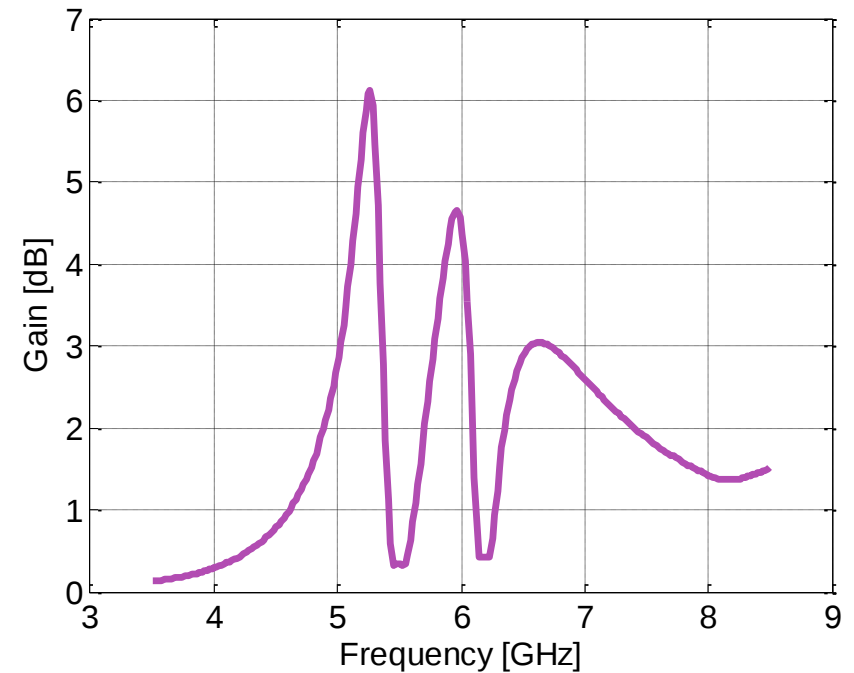
პარამეტრულმა კვლევამ აჩვენა, რომ H პარამეტრის გაზრდით 0.7 მმ-ით, გაზომილი და სიმულაციით მიღებული შედეგები ერთმანეთს ემთხვევა:



სამზოლოვანი ბრტყელი ანტენის S_{11} პარამეტრი

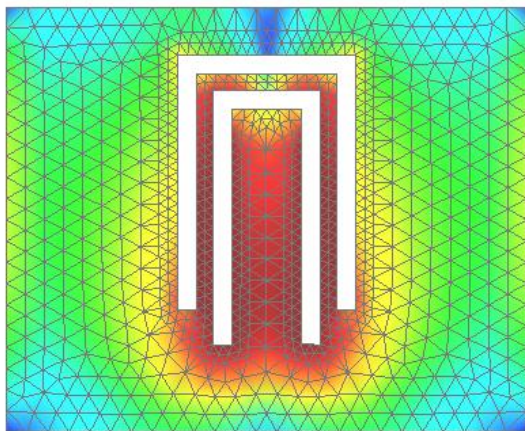


ანტენის წინაღობის დამოკიდებულება სიხშირეზე

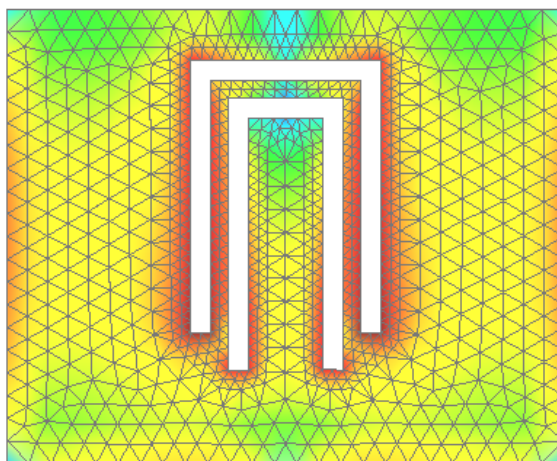


ანტენის გამლიერების კოეფიციენტის დამოკიდებულება სიხშირეზე

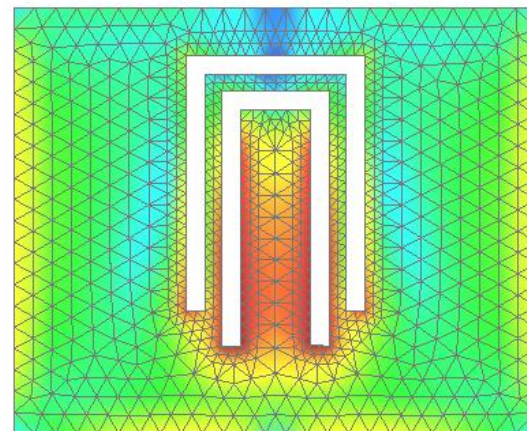
გაზომვები [GHz]	EMCoS Antenna Vlab [GHz]	MTEC [GHz]
4.8 - 5.18 (7.6%)	4.88 - 5.16 (5.6%)	4.82 - 5.09 (5.4%)
5.63 - 5.95 (5.5%)	5.69 - 5.94 (4.3%)	5.55 - 7.82 (4.7%)
6.25 - 6.83 (8.9%)	6.33 - 7.14 (12.0%)	6.3 - 7.1 (11.9%)



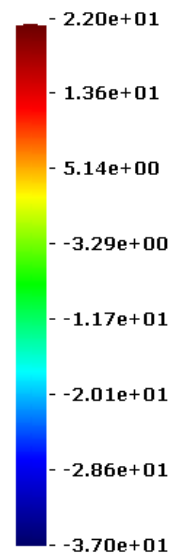
დენის განაწილება
6.2 GHz-ზე [dB]



დენის განაწილება 5.5 GHz-ზე [dB]

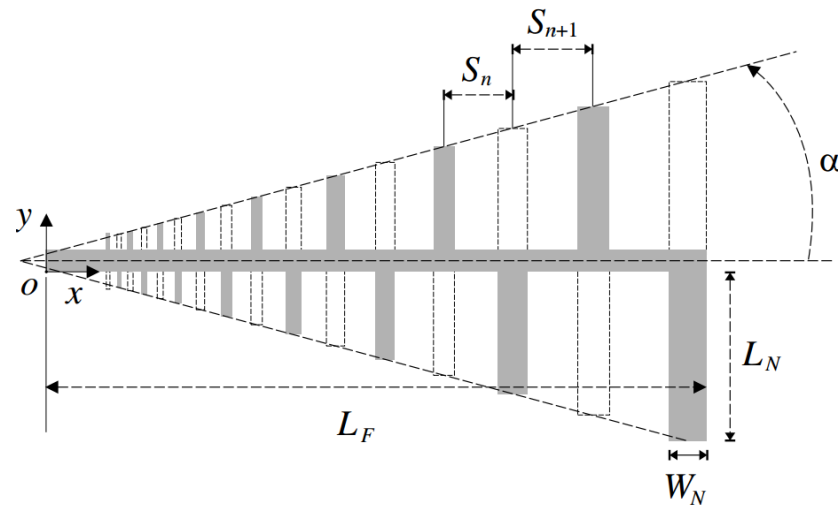


დენის განაწილება
6.51 GHz-ზე [dB]



ლოგო პერიოდული დაბეჭდილი ანტენა HyperLOG 60100

გამოკვლეული იქნა LPDA HyperLOG® 60100 მოდელის ანტენა, წარმოებული კომპანია AARONIA AG-ის მიერ

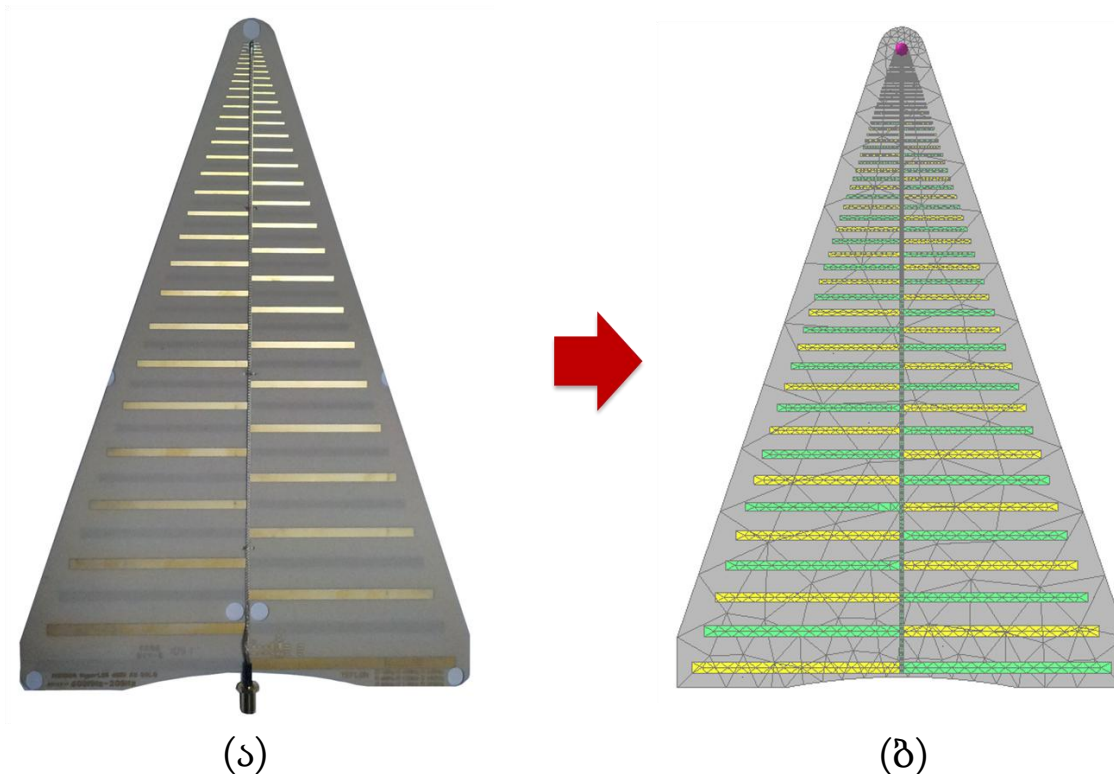


მუქი ზოლებით გამოსახულია დიელექტრიკის ზედა მხარე, ხოლო წყვეტილი კონტურით დიელექტრიკის ქვედა მხარე.

სიხშირეთა დიაპაზონი	ნომინალური წინაღობა [ომი]	VSWR	მიმართულობა [dBi]	მაქსიმალური გადაცემული სიმძლავრე [W]
680MHz - 10GHz	50	<1:2,5	5	100 (400GHz)

AARONIA AG HyperLOG 60100 ანტენის მახასიათებლები

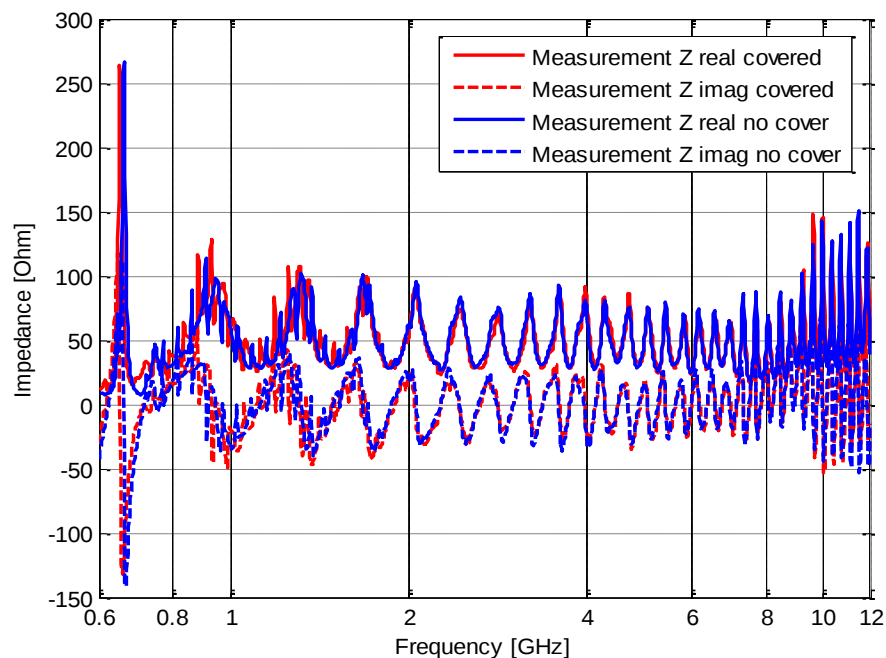
მოცემული მონაცემების მიხედვით პროგრამულ უზრუნველყოფა Antenna VLab-ში
აიგო კომპიუტერული მოდელი:



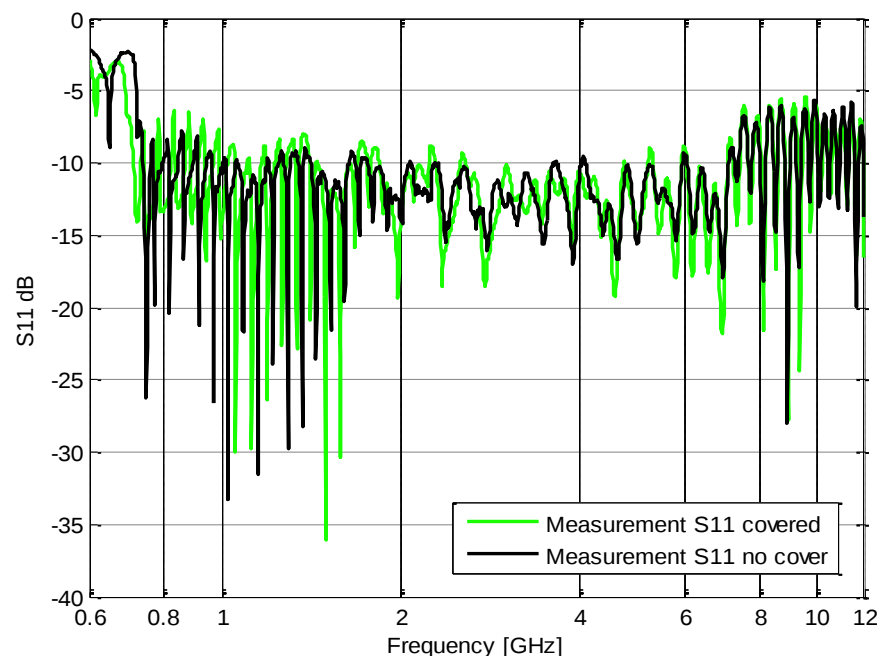
(ა) გამოსახულია HyperLOG 60100 ანტენა გარეთა საფარის გარეშე.

(ბ) მიღებული კომპიუტერული მოდელი

გაზომვები ჩატარდა Network Analyzer (Hp 8720B) -ით ორი შემთხვევისათვის: ანტენა საფარით და საფარის გარეშე. გაიზომა ანტენის საკუთარი წინაღობა და არეკვლის S_{11} კოეფიციენტი:



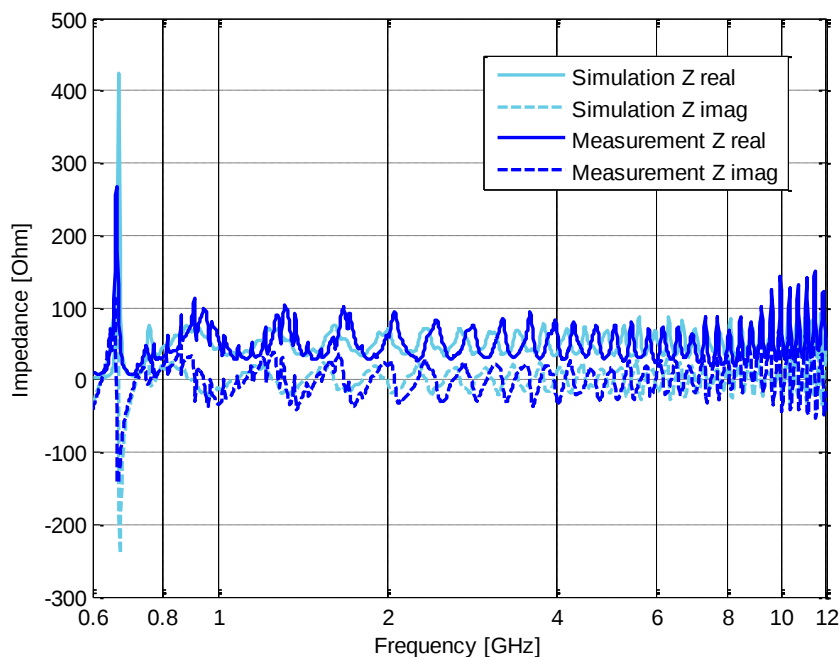
ანტენის იმპედანსის დამოკიდებულება
სიხშირეზე



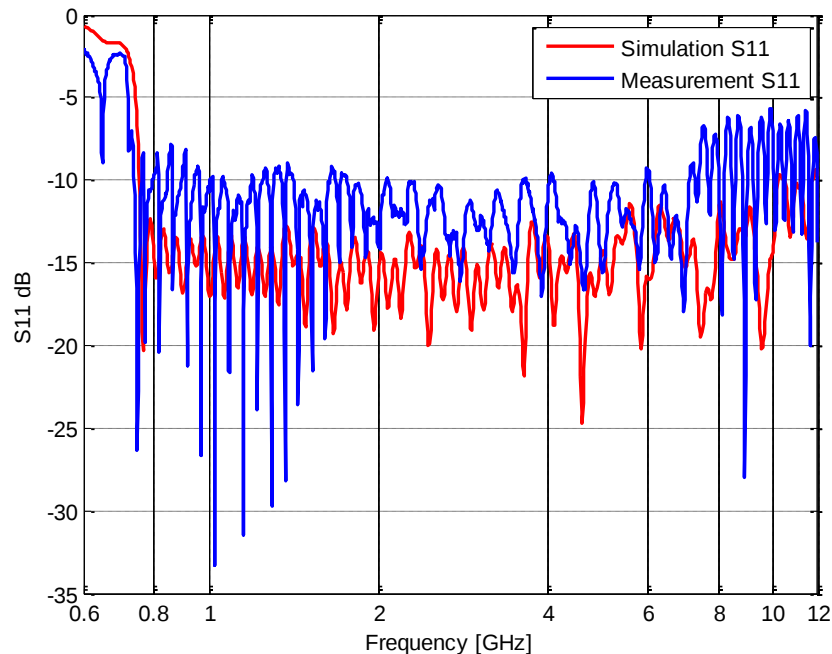
ანტენის არეკვლის კოეფიციენტის
დამოკიდებულება სიხშირეზე

ანტენა საფარის გარეშე და საფარით გაზომილი მახასიათებლების შედარება

პროგრამა EMCoS Antenna VLab-ში მიღებული შედეგები შედარებულია გაზომვებთან. გაზომვებისა და სიმულაციის შედეგები მიღებულია საფარის გარეშე ანტენისათვის:



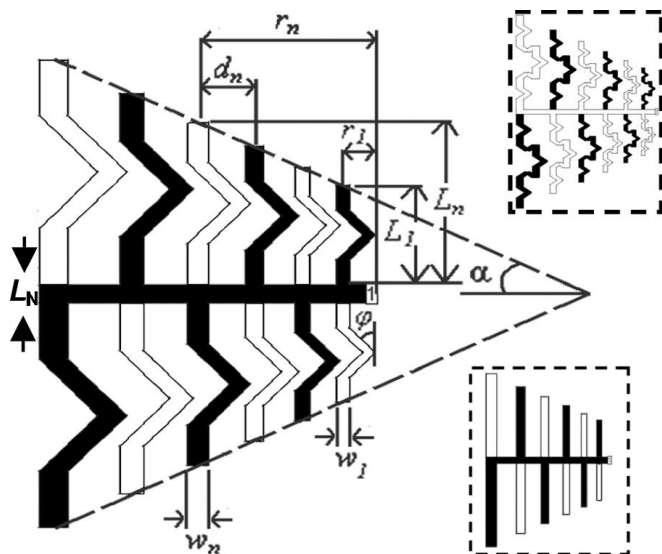
ანტენის იმპედანსის დამოკიდებულება
სიხშირეზე



ანტენის არეკვლის კოეფიციენტის
დამოკიდებულება სიხშირეზე

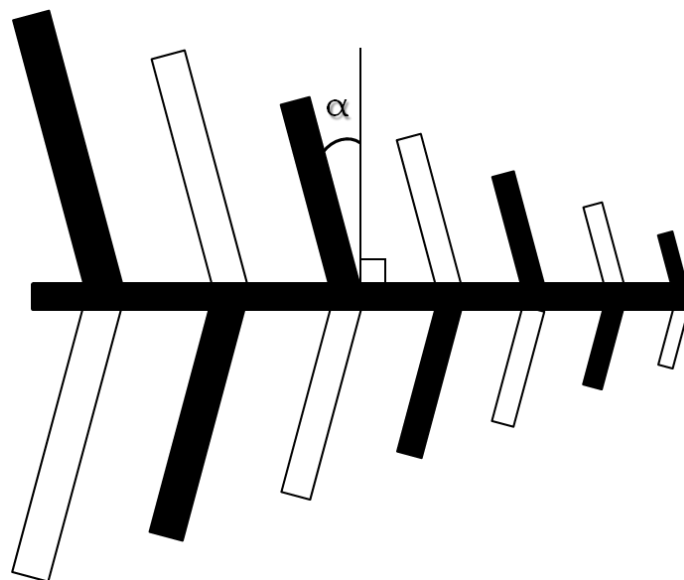
საფარის გარეშე ანტენის კომპიუტერული სიმულაციითა და გაზომვებით მიღებული შედეგების
შედარება

კოშის მიერ შემუშავებულ პრინციპი, მდგომარეობს იმაში, რომ ანტენის დიპოლების ილუნებიან გარკვეული კუთხეებით. მოლუნვათა იტერაცია დაფუძნებულია ფრაქტალების ფორმაზე. ასეთი ფორმის დიპოლებს ხშირად მოიხსენიებენ, როგორც კოშის ფორმიან დიპოლებს.



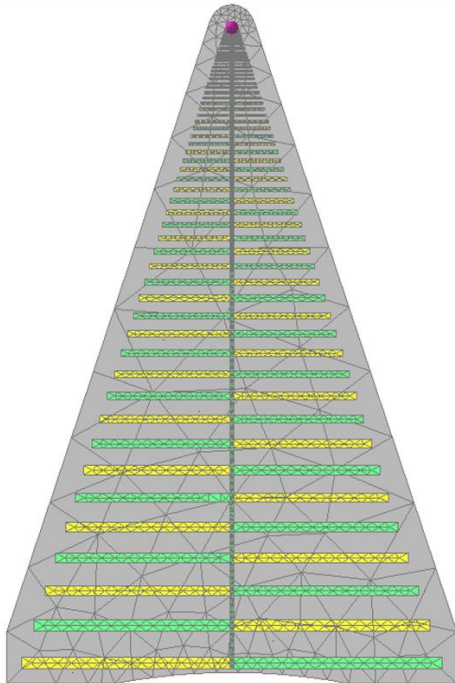
კოშის ფორმიანი დიპოლების მიღება

განხილულია ალტერნატიული მიდგომა ლოგო პერიოდული დაფენილი ანტენის ზომის შესამცირებლად იმის გათვალისწინებით, რომ ანტენის მახასიათებლები უცვლელი უნდა დარჩეს. ალტერნატიული მიდგომა მდგომარეობს ანტენის დიპოლების გარკვეული კუთხით მოხრით მთავარი ღერძის მიმართ.

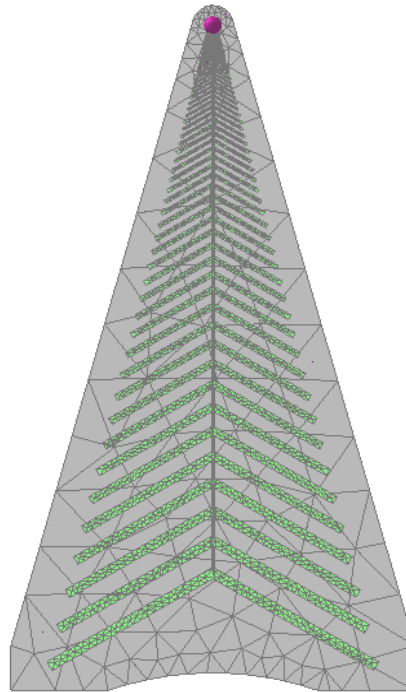


დიპოლები დახრილია α კუთხით მთავარი ღერძის მიმართ

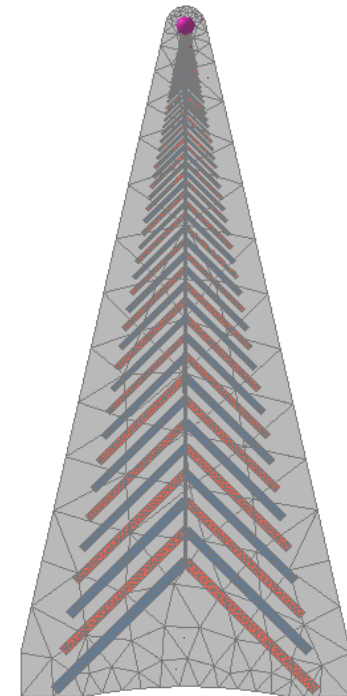
ანტენის კომპიუტერული მოდელირება და ყველა გამოთვლა განხორციელდა EMCoS Antenna VLab-ში.



საწყისი ორიგინალური
მოდელი

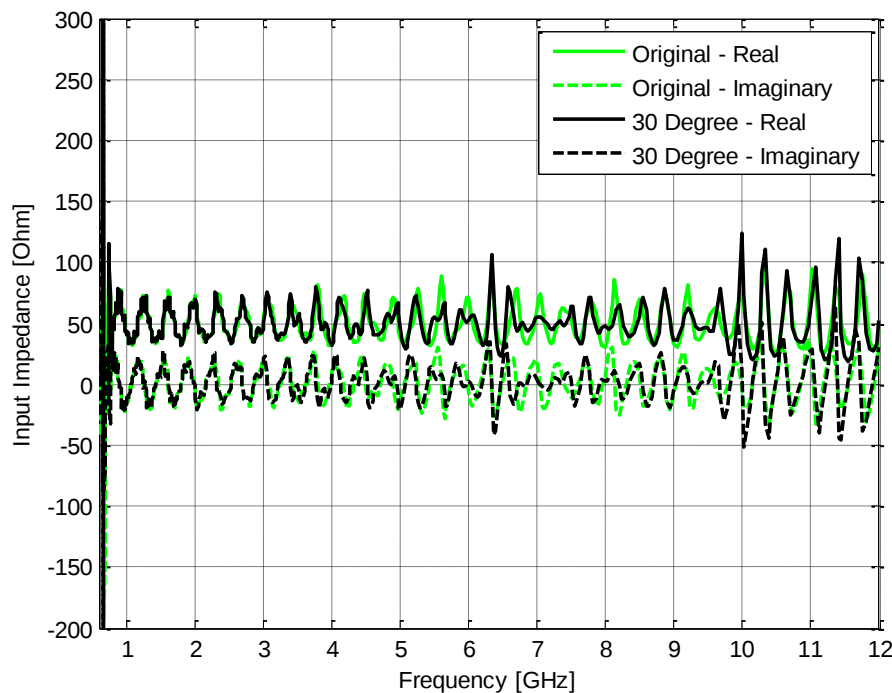


30° გრადუსით დახრილი
დიპოლები

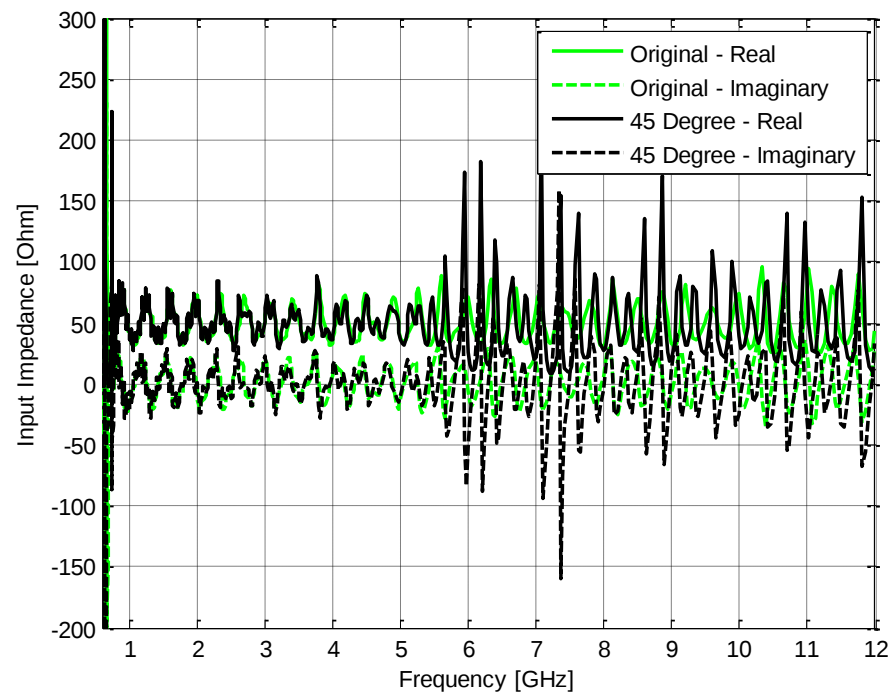


45° გრადუსით დახრილი
დიპოლები

განხილულია ორი მოდელი, როდესაც $\alpha = 30^\circ$, 45° და შედარებულია ანტენის წინაღობა, მიმართულობა და VSWR.



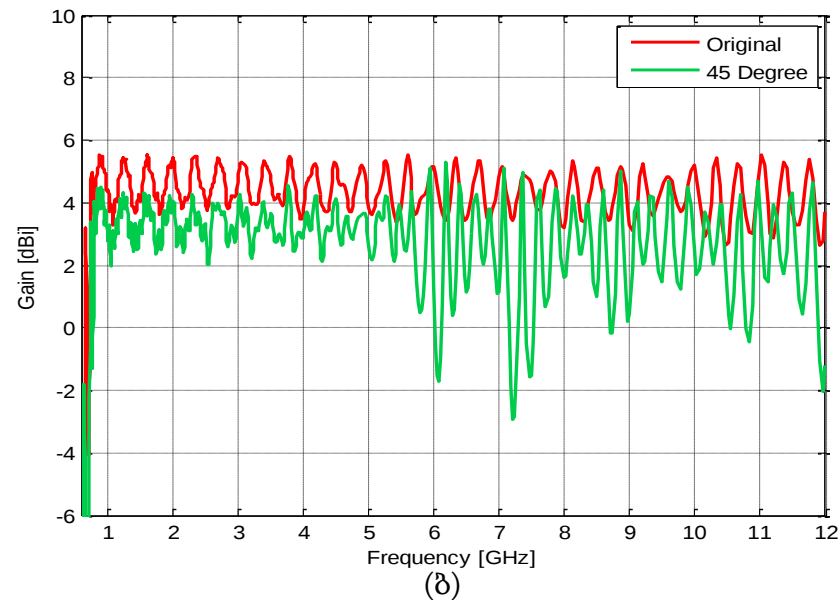
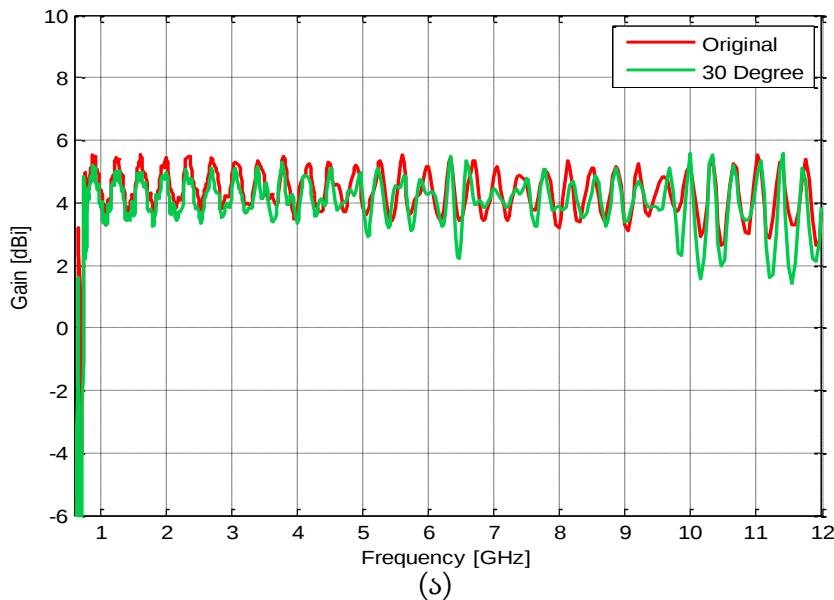
(ა)



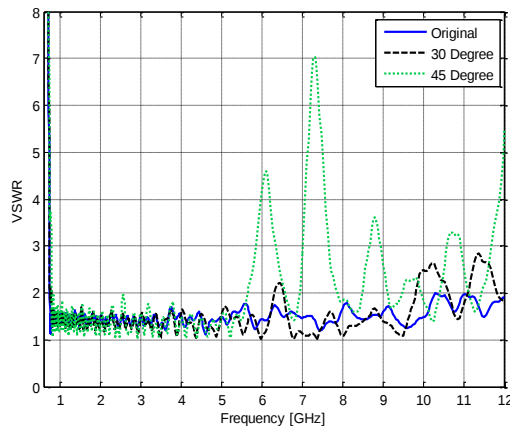
(ბ)

თავდაპირველი ანტენის წინააღობის შედარება (ა) 30° -ითა და (ბ) 45° -ით დახრის შედეგად მიღებულ შედეგებთან

ოპტიმიზაციის შედეგები



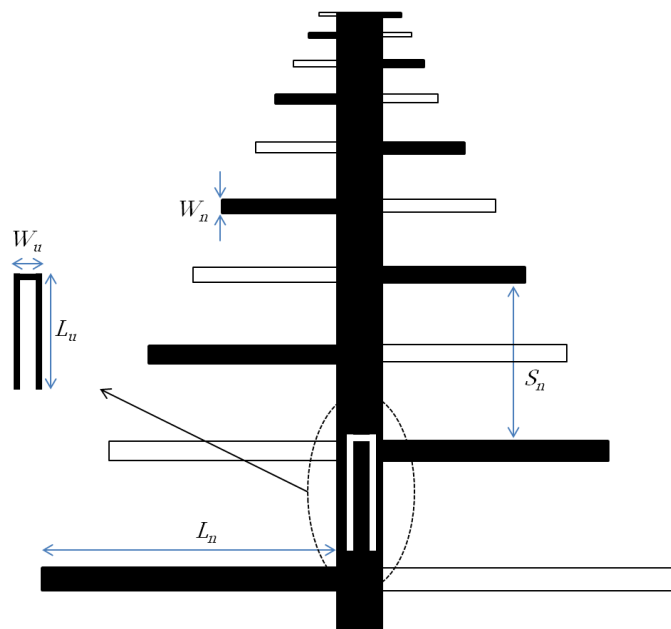
თავდაპირველი ანტენის გაძლიერების კოეფიციენტის შედარება (ა) 30°-ითა და (ბ) 45°-ით დახრის შედეგად მიღებულ შედეგებთან



თავდაპირველი ანტენის მდგარი ტალღის კოეფიციენტის შედარება 30°-ითა და 45°-ით დახრის შედეგად მიღებულ შედეგებთან.

U ფორმის ჭრილიანი ლოგო პერიოდული ანტენა

ლოგო პერიოდული დიპოლების მასივის ანტენის (LPDA) გეომეტრია აღებულია ** პუბლიკაციიდან. შეირჩა შემდეგი პარამეტრები გეომეტრიის ასაგებად: სკალირების კოეფიციენტი (scale factor) $\tau = 0.61$, დაშორების კოეფიციენტი (spacing factor) $\sigma = 0.155$, და დიპოლების რაოდენობა $N = 10$.



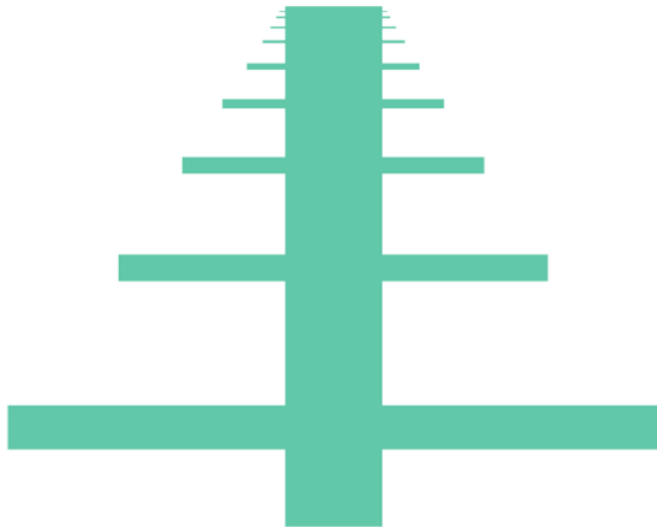
დამოკიდებულება U ფორმის ჭრილის სიგრძისა და აკრძალული სიხშირის გამოსახულია ფორმულით:

$$L_u = \frac{c}{4f_{notch}\sqrt{\epsilon_{eff}}}$$

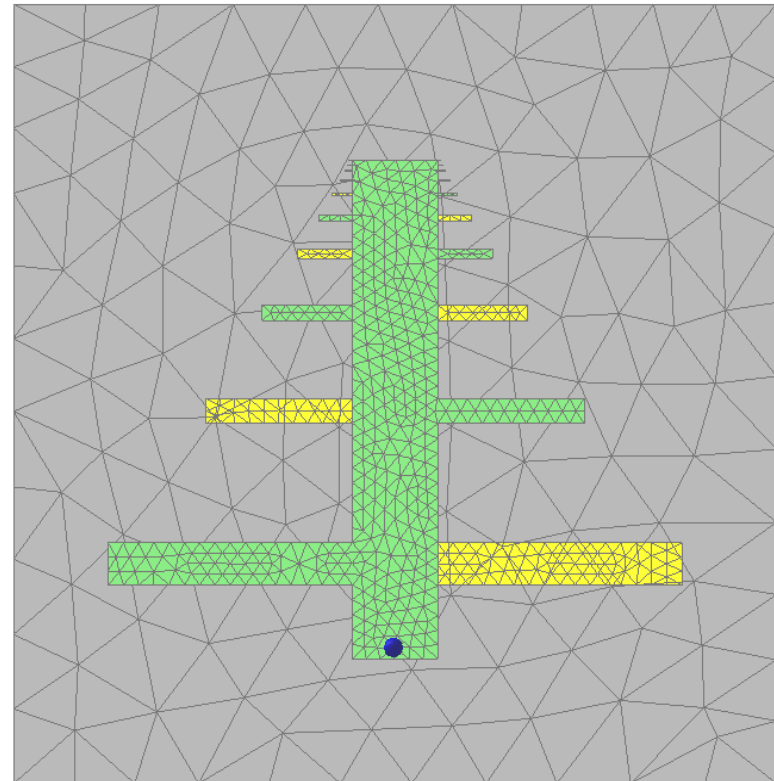
სადაც f_{notch} არის ჭრილის რეზონანსული სიხშირე.

გრძელი U ფორმის ჭრილის სიგრძე გავლენას ახდენს დაბალ სიხშირეებზე. ხოლო მისი სიგანე მცირედით მოქმედებს აკრძალულ სიხშირეზე. აკრძალული სიხშირე დამოკიდებულია ძირითადად U ფორმის ჭრილის სიგრძეზე და მცირედით იცვლება სიგანის მიხედვით.

პროგრამულ უზრუნველყოფა EMCoS Antenna VLab-ში აიგო ლოგო პერიოდული ანტენის შესაბამისი კომპიუტერული მოდელი



ლოგო პერიოდული დიპოლების მასივიანი
ანტენის გეომეტრია



ლოგო პერიოდული ანტენა დისკრეტული
ზადის სახით

კომპიუტერული მოდელები



მოდელი 1

ლოგო პერიოდული ანტენა, რომლის გატარების ზოლია 3.1GHz – 10.6GHz.



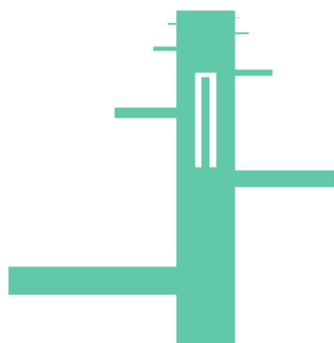
მოდელი 2

ამოჭრილია U ფორმის ჭრილი, რომლის სიგრძეა 9მმ და სიგანე 2მმ და დაშორებულია ანტენის წვეროდან 15მმ-ით.



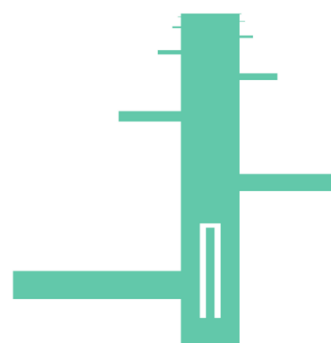
მოდელი 3

ჭრილის ზომები და მდებარეობა უცვლელია, მხოლოდ შეცვლილია ჭრილის პირის მიმართულება.



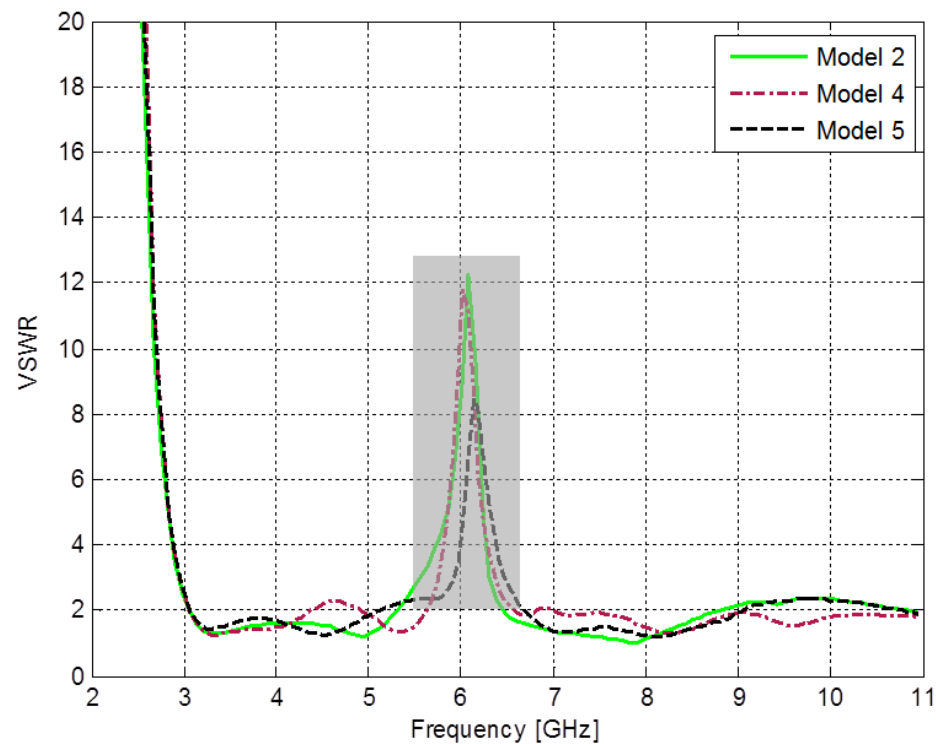
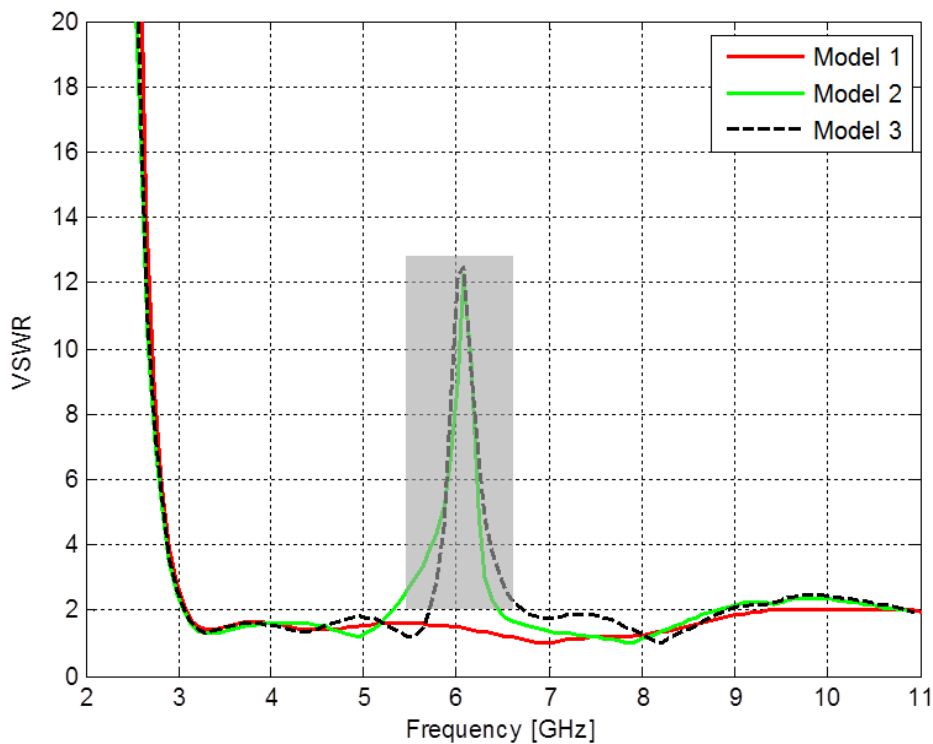
მოდელი 4

U ჭრილი დაშორებულია ანტენის წვეროდან 6მმ-ით.



მოდელი 5

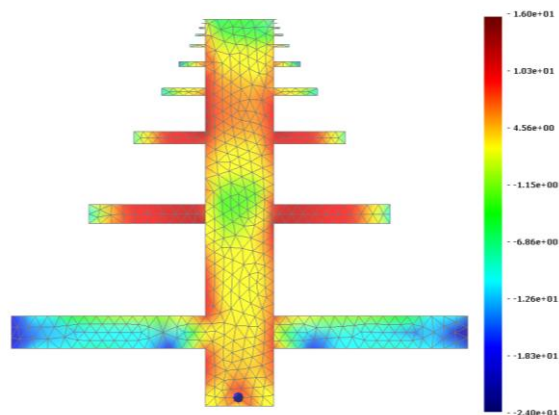
ფორმის ჭრილი ჩამოწეულია 9.6მმ-იანი მეცხრე დიპოლის ქვევით.



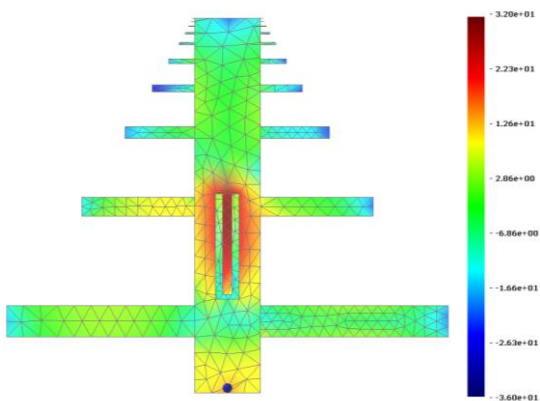
მდგარი ტალღის კოეფიციენტის დამოკიდებულება სიხშირეზე

ცხრილში ჩამოთვლილია აკრძალვის ზონის სიხშირეები თითოეული მოდელისათვის:

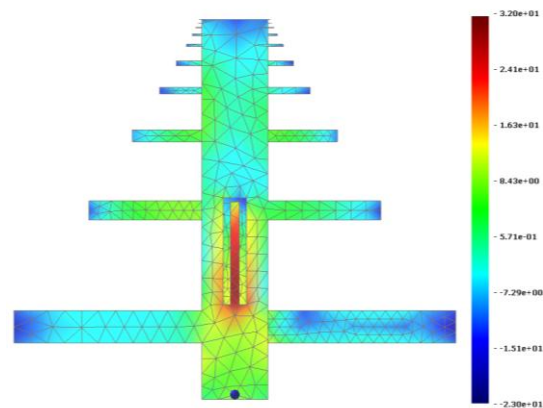
მოდელი 2 [GHz]	მოდელი 3 [GHz]	მოდელი 4 [GHz]	მოდელი 5 [GHz]
5.3 - 6.4 (18%)	5.7 - 6.7 (16%)	5.6 - 6.6 (16%)	5.2 - 6.6 (23.7%)



მოდელი 1-ისთვის დენის განაწილება 6 GHz-ზე [dB]



მოდელი 2-ისთვის დენის განაწილება 6 GHz-ზე [dB]



მოდელი 3-ისთვის დენის განაწილება 6 GHz-ზე [dB]

- ❖ განხილულია და შესწავლილია ბტყელი და დაფენილი ანტენები, ლოგო პერიოდული და მართკუთხა ბრტყელი ანტენების მაგალითზე.
- ❖ გამოკვლეულია ფირფიტაში U ფორმის ჭრილის დამატების ფუნქციონალურობა და ანტენის მახასიათებლებზე გავლენა.
- ❖ განხილულია ფართოზოლოვანი მართკუთხა ბრტყელი ანტენა და ნაჩვენებია, რომ ფირფიტაში U ფორმის ჭრილის დამატებით მიიღება ორზოლოვანი და სამზოლოვანი ბრტყელი ანტენები.
- ❖ ლოგო პერიოდული დაბეჭდილი ანტენისათვის **AARONIA AG HyperLOG 60100** შექმნილია კომპიუტერული მოდელი და პროგრამული უზრუნველყოფა **EMCoS Antenna VLab**-ის მეშვეობით შესწავლილია სიგანეში შემცირების მიდგომა.
- ❖ მოიცავს ლოგოპერიოდული დაფენილი ანტენის გატარების ზოლში (**3.1GHz - 11GHz**) გარკვეული აკრძალული სიხშირის (**6GHz**) დამატებას, გაფილტვრას. ეს განხორციელებულია U ფორმის ჭრილის დამატებით ანტენის მთავარ ღერძში. შედეგებზე დაყრდნობით მიღებულია რომ U ფორმის ჭრილის მდებარეობას მთავარ ღერძში არ აქვს არსებითი მნიშვნელობა.

გმადლობთ
ყურადღებისათვის !