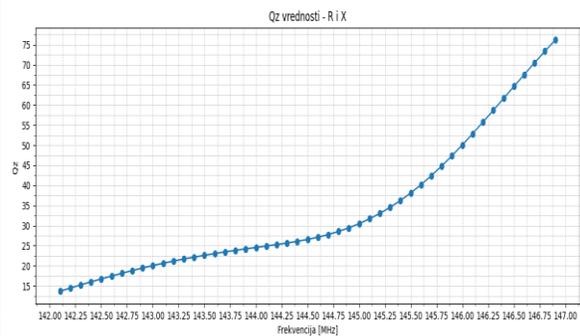
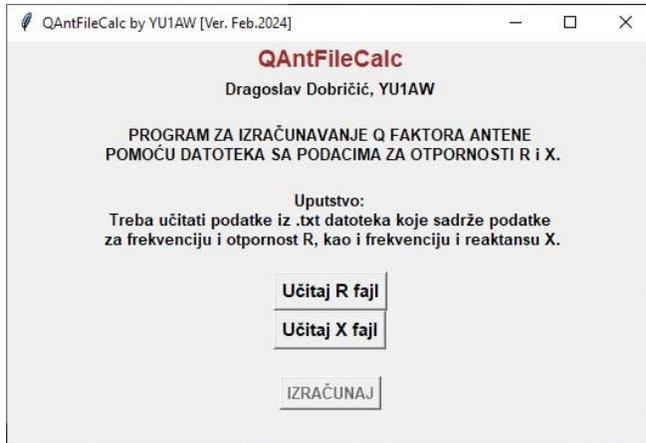


QAntFileCalc

Dragoslav Dobričić, YU1AW

Program za izračunavanje Q faktora antene pomoću datoteke sa vrednostima njene ulazne impedanse



Važnost Q faktora antene

Program za izračunavanje Q faktora antena urađen je za potrebe realnog i sveobuhvatnog vrednovanja antena na osnovu njenog Q faktora.

Naime, poznato je da Q faktor nekog oscilatornog elektromagnetnog sistema, pored direktnog uticaja na efikasnost, određuje i to koliko će sistem biti otporan na spoljašnje uticaje. Sa povećanjem gubitaka u anteni usled povećanog Q faktora raste i šumna temperatura antene, koja je posledica gubitaka, koji direktno transformišu fizičku temperaturu antene u šumnu.

Lako je pokazati [Ref. 3, 4, 5] da eventualni spoljašnji uticaji na antenu, kao što su okolni bliski objekti, konačna visina od zemlje, stub, nosači, koaksijalni kablovi, druge antene na stubu, kiša, inje, led, sneg, itd. remete dijagram zračenja antene, smanjuju dobit antene, što se manifestuje promenom ulazne impedanse antene. Pokazalo se da SWR, kao važan parametar, iako može značajno da se menja, ne odražava ni približno pravo stanje antene u pogledu porasta šuma i promene njenog dijagrama a time i dobiti.

Recimo, pri zadržavanju vode na elementima antene na kiši, dolazi do promene rezonantne frekvencije, promene dijagrama antene, odnosa napred/nazad i napred/bočno, što utiče na dobit. Promena dijagrama zračenja i rezonantne frekvencije sa druge strane utiče na promenu ulazne impedanse i na povećane gubitke u napojnom kablusled neprilagođenja. Zbog toga rastu gubici u izlaznom stepenu

predajnika, što se manifestuje povećanom disipacijom elemenata kola a time i povećanom radnom temperaturom izlaznog stepena predajnika.

Usled okolnih objekata i promena elektromagnetnih osobina u okolnom prostoru oko antene, ona reaguje promenom veličine i rasporeda struja u provodnim elementima a time i svog Q faktora i ulazne impedanse. Obično je uticaj promenjenog Q faktora na šumnu temperaturu antene mnogo veća nego uticaj na dobit i ulaznu impedansu. Recimo, za mnoge antene je promena usled sloja vode na elementima izazvala promenu dobiti za oko 0.5 dB, ulaznu impedansu za nekoliko oma, ali je šumna temperatura sistema, usled promenjenog dijagrama i povećanih gubitaka, porasla za više od 100 K.

Imajući sve ovo u vidu, postalo je očigledno da je kontrola osetljivosti antene na uticaje okoline od ključne važnosti za kontrolu i predviđanje rada antene u promenjenim uslovima okoline. Ti uslovi su obično zanemareni (ili idealizovani) kada se vrši deterministička optimizacija antene na računaru. Međutim, postavlja se pitanje kako iskontrolisati antenu na stubu sa instrumentima i znanjem kojim prosečno stručan radioamater raspolaže. Teško!

Dobit antene se teško meri direktno, potrebni su posebni poligoni za merenja antena da bi se sprečili uticaji okoline na merenja posebno refleksije od zemljišta i drugih objekata. Pored toga potrebne su kalibrisane antene i uređaji za merenje. Dijagram direktivnosti antene se takođe teško meri u realnim uslovima jer ogroman broj reflektovanih talasa od okolnih objekata unosi greške i smanjuje dinamiku i tačnost izmerenog dijagrama.

Ulazna impedansa se može relativno tačno izmeriti pomoću nekog RF mosta ili analizatora mreža (VNA), nešto manje tačno, a često i potpuno netačno, pomoću širokopojasnih SWR metara za više opsega. Međutim, promena ulazne impedanse antene nam pokazuje da se antena promenila usled uticaja sredine, ali ne i koliko je to uticalo na promenu njenih performansi.

Sva druga subjektivna zapažanja i ocene rada antene mogu biti vrlo pogrešna ili u najboljem slučaju nepotpuna i vrlo malo koriste u proceni toga do koje mere su se performanse antene degradirale usled uticaja okoline.

Iz svega rečenog, jasno je da je antena optimizovana u jednom okruženju i postavljena da radi u drugačijem, gotovo uvek daleko nepovoljnijem, ostaje potpuna nepoznanica i izmiče svakoj objektivnoj evaluaciji njenih karakteristika u novim uslovima rada.

Jedini parametar antene koji sveobuhvatno pokazuje moguće ponašanje antene u izmenjenim uslovima rada je njen Q faktor. Time što je njegova vrednost posledica svih elektromagnetskih procesa u anteni, on predstavlja jedinstveno oruđe za kontrolu i evaluaciju promena koje su se dogodile pri promeni uslova rada antene. Njegova velika osetljivost na relativno male razlike u promeni tih procesa čini ga osetljivim sensorom, kakav nam upravo treba da bismo mogli da znamo da li je antena i dalje ona ista koja je bila na računaru. Ta njegova osetljivost, koja uveliko prevazilazi osetljivost drugih indikatora kao što su promena ulazne impedanse i dobiti, daje nam osetljiv i precizan alat kojim možemo da dobijemo informaciju o ponašanju antene, a takođe osigurava da će antena biti manje osetljiva na promenjene

uslove u budućem radu. Da bi se postigao ovaj cilj, nizak Q faktor antene morao bi biti važan cilj u procesu dizajniranja antene.

Ciljano projektovanje niskih vrednosti Q faktora antene osigurava da antena u budućem radu bude manje osetljiva na promenjene uslove rada.

Dakle, Q faktor nam je jedini alat preko koga možemo precizno da uporedimo promene u radu, a nizak Q faktor je i **jedina garancija** da će antena biti manje osetljiva na okolinu i loše uslove rada, i da će tako u većoj meri sačuvati svoje originalne performanse. Time će ustaljene zablude, da antene rade isto i u idealizovanim okruženjima računarskih simulacija i u praksi, bar delimično biti umanjene.

Ostaje problem merenja i proračuna Q faktora antena. Ovaj program je upravo napisan da bi se taj problem prevazišao i da bi se na osnovu merenja ulazne impedanse ili prilagođenja precizno izračunao Q faktor antene koji ona ima na novoj lokaciji i uporedio sa onim u kompjuteru ili na prethodnoj lokaciji.

Program će takođe pomoći autorima novih antena da svoje antene egzaktno provere u radu na računaru prema dobijenim parametrima ulazne impedanse na određenim frekvencijama od interesa. Sa druge strane korisnici i graditelji tih antena će moći merenjem novih parametara ulazne impedanse na realnoj lokaciji i poređenjem sa onim što je objavljeno od strane autora za datu antenu, a dobijeno simulacijom u računaru, da procene koliko se stvar promenila i da li je antena ostala, koliko toliko, u granicama predviđenih performansi.

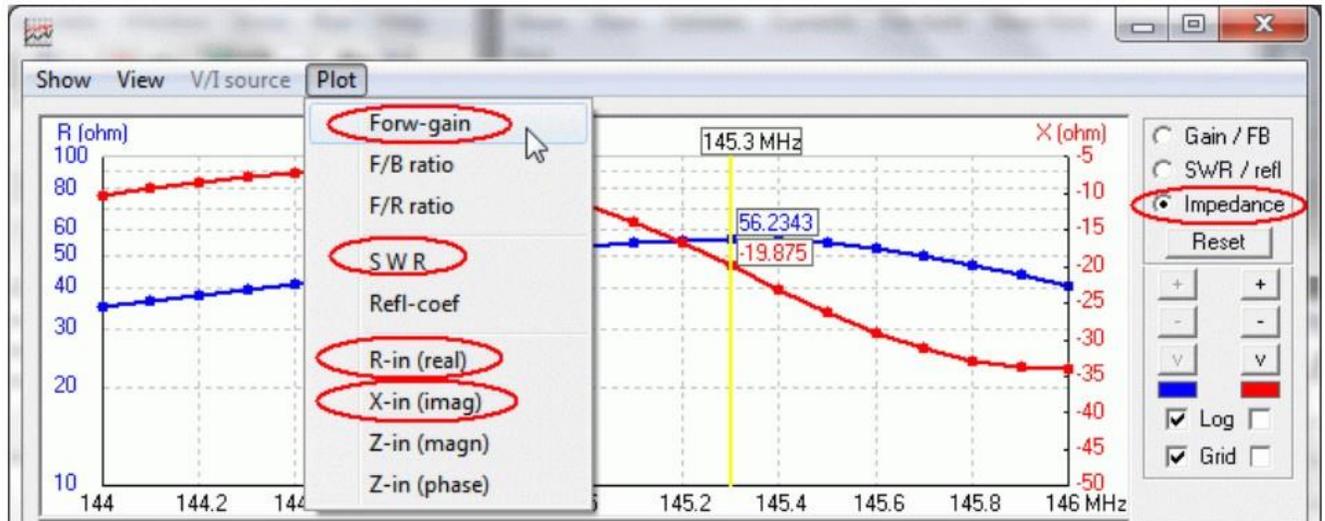
Postavlja se opravdano pitanje koliko je ovakav način proračuna precizan i opravdan sa stanovišta elektromagnetike i drugih prirodnih zakona? Elaboracija ovoga bi zahtevala mnogo više prostora i dosta ozbiljnije poznavanje elektromagnetike od onoga kojim u proseku većina zainteresovanih raspolaže. Zato ću, sve one koje interesuje teorijski pristup i primenjen matematički formalizam kao i kompletna provera laboratorijskim merenjima, uputiti na članak naveden u **[Ref. 1]** iz 2005. godine kao i drugi članak **[Ref. 2]** u vezi sa ovom temom, dat u nastavku spiska Referenci. Takođe na internetu se može naći mnoštvo članaka i radova na ovu temu tako da oni koji su zainteresovani mogu dobiti kompletnu informaciju.

Na kraju, da bi se obezbedila što bolja i pravilnija upotreba ovog programa i postigle što tačnije vrednosti rezultata biće data neka osnovna uputstva i važne napomene.

Uputstvo za upotrebu programa QAntFileCalc

Program izračunava Q faktor i crta dijagram zavisnosti Q faktora od frekvencije. Datoteke sa podacima su **.txt** fajlovi u kojima u svakoj liniji ima dva podatka: frekvencija i otpornost **R**, odnosno frekvencija i reaktansa **X**. Prve dve linije se ne čitaju jer sadrže podatke o anteni i nazive veličina koje su u tabeli.

Datoteke mogu biti generisane od strane programa za analize i optimizacije antena kao što su 4nec2, Eznec i slični. U tom slučaju je potrebno samo da format datoteke zadovolji date uslove.



Primer snimanja R i X datoteke u 4nec2 programu

```
#12e1DL6WU 144: R-in (real)
#Freq [MHz] R-in (real) [ohm]
140 64.503
140.1 64.6519
140.2 64.7333
140.3 64.7452
140.4 64.6859
140.5 64.5547
140.6 64.3515
140.7 64.0775
140.8 63.7342
```

```
#12e1DL6WU 144: X-in (imag)
#Freq [MHz] X-in (imag) [ohm]
140 -5.29459
140.1 -5.99824
140.2 -6.71617
140.3 -7.44163
140.4 -8.1688
140.5 -8.88999
140.6 -9.59854
140.7 -10.2877
```

Pravilan format R i X datoteke

Moguće je generisati podatke iz VNA kojim se meri antena. U tom slučaju kalibraciju VNA treba izvršiti na ravan priključka antene da bi se sprečio uticaj kabla na rezultat.

Pravilan izbor opsega frekvencija u kome se izračunava Q faktor je vrlo važan za pravilnu upotrebu proračunatog Q faktora i valorizaciju antene.

Isuviše uzan frekvencijski opseg može da pruži lažnu sliku o ukupnom Q faktoru antene. Q faktor antene se menja sa frekvencijom i može da ima prilično velike varijacije. Za objektivnu procenu potrebno je izračunati Q faktore antene na znatno širem frekvencijskom opsegu od predviđenog radnog opsega antene. Time se dobija kompletnija slika o mogućem ponašanju antene u realnim uslovima okruženja i uticaja. Razni uticaji na antenu deluju tako da ona menja svoje preformance: rezonantnu frekvenciju,

dijagram zračenja, dobit, ulaznu impedansu, efikasnost, šumnu temperaturu i Q faktor. To podrazumeva da će, usled nepovoljnih uticaja doći do promene rezonantne frekvencije. Promena rezonantne frekvencije, najčešće na niže, dovodi do toga da dolazi i do povećanja Q faktora i pomeranja krive Q faktora na niže po frekvenciji. Zbog toga je vrlo važno kako izgleda kriva Q faktora na frekvencijama iznad radnog opsega. Ponašanje Q faktora ispod radnog opsega je takođe važno pri proceni ukupne stabilnosti antene na moguće spoljašnje uticaje. Antene koje u jednom delu svog radnog opsega imaju nizak Q faktor, ali u drugim delovima radnog opsega ili neposredno iznad i ispod radnog opsega imaju visok Q faktor su nestabilne antene koje u različitim uslovima spoljašnje sredine reaguju promenom svojih karakteristika. Za ukupnu procenu kvaliteta jedne antene od velike važnosti je sagledavanje kompletnog ponašanja Q faktora u širem frekventijskom opsegu od predviđenog radnog opsega antene. Upravo je zato prezentacija šireg opsega frekvencija važna jer se izbegava pogrešna procena na osnovu malog dela frekventijskog opsega bez uvida u celokupno ponašanje antene i njenog Q faktora u širem opsegu.

Rezultati

Izračunati Q faktor antene za izabran frekventijski opseg je dat kao dijagram promene Q faktora u zavisnosti od frekvencije. Prihvatljivost veličine Q faktora može u izvesnoj meri da varira u zavisnosti od tipa antene, frekvencije, namene, geometrije, uslova primene, itd. ali orijentacione, iskustveno izabrane, vrednosti za uobičajene antene su:

Ako je Q faktor ispod 15 u širokom opsegu frekvencija iznad i ispod radnog opsega, to su vrlo dobre stabilne antene.

Q faktori između 15 i 30 u širokom opsegu frekvencija iznad i ispod radnog opsega, predstavljaju prihvatljive vrednosti malo manje stabilnih antena.

Q faktori između 30 i 50 pokazuju da su to relativno nestabilne antene, iako često u nekom uskom delu opsega mogu imati i niži Q faktor.

Q faktori preko 50, bez obzira na moguće uske delove opsega sa nižim Q, predstavljaju ekstremno nestabilne antene.

Program je napisan u Python-u i korišćene su kompleksne formule koje su dovoljno precizne i pri računanju Q faktora na antirezonantnim frekvencijama, što može ponekad biti od koristi pri proračunu multiplexera za rad sa više antena na više frekventijskih opsega u harmonijskom odnosu. Poređenje rezultata raznih metoda proračuna dato je na dijagramu u Appendix-u.

Zbog ograničenja Python kompajlera, program nažalost radi samo **na Win 10 + i na 64 bit računarima.**

Takođe pri crtanju dijagrama sa velikim rasponom frekvencija ili Q faktora u malom prozoru može doći do preklapanja linija mreže i nečitkog dijagrama. U tom slučaju treba izvršiti isecanje dela dijagrama od interesa pomoću alatke označene slikom lupe u donjem levom delu prozora.

Program se može besplatno skinuti sa mog web sajta na linku:

<http://www.qsl.net/yu1aw/Misc/QAntFileCalc.zip> u sekciji 'Programi' i može se besplatno deliti bez ograničenja u integralnom obliku i bez modifikacija.

Napomena

Excel program koji sam ranije napisao za proračun Q faktora preko X i R ulazne impedanse antene, koji je objavljen na mom web sajtu, (<http://www.qsl.net/yu1aw/Misc/YagiQ.zip>) koristi istu formulu gde se koristi kompletna impedansa Z za proračun. Realizacija proračuna Q faktora u Excel-u je bila zgodnija i lakša. Excel program daje iste rezultate koje daje i ovaj program u slučajevima kada se računa Q faktor antene na antirezonantnim frekvencijama. Na rezonantnim frekvencijama, na kojima antene, osim u veoma retkim slučajevima, uvek rade, tačnost je identična, jer oba programa koriste iste formule i postupke za proračun.

References

1. **Impedance, Bandwidth, and Q of Antennas**; Arthur D. Yaghjian, Fellow, IEEE, and Steven R. Best, Senior Member, IEEE; IEEE Transaction on Antennas and Propagation, Vol. 53, No. 4, April 2005, pp 1298-1324.
2. Jacques Audet, VE2AZX, **Q Calculations of L-C Circuits and Transmission Lines: A Unified Approach**, QEX magazine Sep/Oct 2006.
3. **Uticao koaksijalnog kabla na Yagi Antenu - 2. deo**, Dragoslav Dobričić, YU1AW, https://www.qsl.net/yu1aw/Misc/Uticao_koaksa_na_Yagi-2.pdf
4. **Uticao koaksijalnog kabla na sistem od četiri Yagi antene**, Dragoslav Dobričić, YU1AW, https://www.qsl.net/yu1aw/Misc/Uticao_kabla_na_%20ant_sistem.pdf
5. **Uticao koaksijalnog kabla na šumnu temperaturu Yagi antenskih sistema**, Dragoslav Dobričić, YU1AW, https://www.qsl.net/yu1aw/Misc/Utic_kabla_sum_temp_Yagi_sist.pdf

Appendix

Q_b i Q_z faktori u programu su računati prema sledećim formulama [Ref.1.]:

$$Q_B(\omega_0) \equiv \frac{2\sqrt{\beta}}{\text{FBW}_V(\omega_0)}, \quad \sqrt{\beta} = \frac{s-1}{2\sqrt{s}}$$

$$\begin{aligned} Q_Z(\omega_0) &= \frac{\omega_0}{2R_0(\omega_0)} |Z'_0(\omega_0)| \\ &= \frac{\omega_0}{2R(\omega_0)} \sqrt{[R'(\omega_0)]^2 + [X'(\omega_0) + |X(\omega_0)|/\omega_0]^2} \end{aligned}$$

Egzaktna vrednost Q faktora za poređenje i validaciju je računata prema **[Ref.1.]**:

$$Q(\omega_0) = \left| \frac{\omega_0}{2R_0(\omega_0)} X'_0(\omega_0) - \frac{2\omega_0}{|I_0|^2 R_0(\omega_0)} [W_{\mathcal{L}}(\omega_0) + W_{\mathcal{R}}(\omega_0)] \right|.$$

Provera tačnosti i poređenje rezultata izračunatih Q faktora pomoću različitih metoda za troelementnu Yagi antenu dizajniranu za opseg 140-150 MHz **[Ref.1.]**:

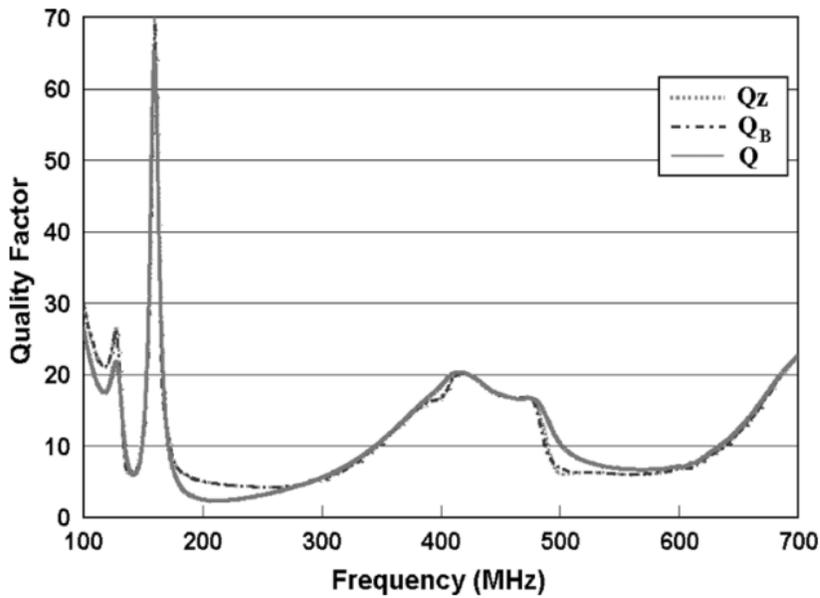


Fig. 17. Comparison of the Q , Q_Z , and Q_B (1.5:1 matched VSWR bandwidth) for the tuned, lossless, 3-element Yagi antenna with the coordinate origin placed at the center of the driven element, but with the exact Q at each frequency determined by interpolating between its values at the natural resonant and antiresonant frequencies.