

QAntSpotCalc

Dragoslav Dobričić, YU1AW

Program za izračunavanje Q faktora antene na osnovu vrednosti njene ulazne impedanse ili SWR

QAntSpotCalc by YU1AW [Ver. Feb. 2024]

QAntSpotCalc

Dragoslav Dobričić, YU1AW

IZRAČUNAVANJE Q FAKTORA ANTENE NA OSNOVU VREDNOSTI NJENE ULAZNE IMPEDANSE ILI SWR-a

R i X - Pomoću simuliranih ili izmerenih vrednosti impedanse antene R i X na tri bliske frekvencije, na međusobnom razmaku manjem od 0.5 %

SWR - Pomoću simuliranih ili izmerenih, jednakih vrednosti SWR-a antene u opsegu SWR=1.5 do 3.0 na frekvencijama ispod i iznad rezonantne.

Niža frekvencija (MHz): 431.8

Centralna / rezonantna frekvencija (MHz): 433.5

Viša frekvencija (MHz): 434.3

Metoda proračuna: ☒ R i X ☐ SWR

R na nižoj frekvenciji (oma): 51

X na nižoj frekvenciji (oma): 12.6

R na centralnoj / rezonantnoj frekvenciji (oma): 49.9

X na centralnoj / rezonantnoj frekvenciji (oma): 14.8

R na višoj frekvenciji (oma): 44

X na višoj frekvenciji (oma): 17.1

IZRAČUNAJ

Qz = 14.54

R i X Metoda

QAntSpotCalc by YU1AW [Ver. Feb. 2024]

QAntSpotCalc

Dragoslav Dobričić, YU1AW

IZRAČUNAVANJE Q FAKTORA ANTENE NA OSNOVU VREDNOSTI NJENE ULAZNE IMPEDANSE ILI SWR-a

R i X - Pomoću simuliranih ili izmerenih vrednosti impedanse antene R i X na tri bliske frekvencije, na međusobnom razmaku manjem od 0.5 %

SWR - Pomoću simuliranih ili izmerenih, jednakih vrednosti SWR-a antene u opsegu SWR=1.5 do 3.0 na frekvencijama ispod i iznad rezonantne.

Niža frekvencija (MHz): 432.0

Centralna / rezonantna frekvencija (MHz): 433.5

Viša frekvencija (MHz): 434.8

Metoda proračuna: ☐ R i X ☒ SWR

SWR na nižoj frekvenciji: 1.2

SWR na višoj frekvenciji: 1.2

IZRAČUNAJ

Qb = 28.27

SWR Metoda

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 spoljašni 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 a samim tim utiču i na dobit antene, koji se manifestuje i promenom ulazne imedanse antene. Pokazalo se da ovaj parametar, iako može da se značajno 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 kablju usled neprilagođenja. Zbog toga rastu gubici na izlaznom stepenu predajnika, što se manifestuje povećanom disipacijom elemenata kola a time i povećanom radnom temperaturom izlaznog stepena predajnika.

Usled 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 prosečan stručnjak 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 senzorom, 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 u indikaciji promene ulazne impedanse i dobiti, daje nam osetljiv i precizan alat kojim možemo da dobijemo informaciju o ponašanju antene a takođe i osigurava da će antena biti manje osetljiva na promenjene uslove u budućem radu. Da bi se postigao ovaj cilj, nizak Q faktor antene trebao 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 da bude 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 QAntSpotCalc

Program izračunava Q faktor za jednu (centralnu ili rezonantnu) frekvenciju ali traži da se unesu još dve bliske frekvencije na kojima će se očitati vrednosti ulazne impedanse ili SWR, zavisno od toga koja se metodologija proračuna izabere.

Pravilan izbor frekvencije je vrlo važan za pravilnu upotrebu i tačnost proračuna Q faktora antene.

R i X Metoda

Za proračun Q faktora antene ovom metodom potrebno je odrediti tri frekvencije. Srednja ili centralna frekvencija je ona na kojoj se izračunava Q faktor antene a susedne dve, jedna malo niža i jedna malo viša, su potrebne da bi se izračunali diferencijali promene realnog i imaginarnog dela ulazne impedanse oko centralne frekvencije. Frekvencije moraju biti relativno blizu jedna drugoj kako bi se postigla visoka tačnost proračuna. Najbolje bi bilo da frekvencije budu taman toliko udaljene koliko je potrebno da bi se očitala promena parametara odnosno nova drugačija vrednost parametara u odnosu na centralnu frekvenciju. Bilo bi dobro da ove dve frekvencije oko centralne, ako je moguće, ne budu udaljene od centralne više od 1-5 promila (0.1-0.5%), tj. 1-5 hiljaditih delova centralne frekvencije. Ukoliko to nije moguće može se koristiti i veći razmak uz nešto malo smanjenu preciznost.

Zapravo, preciznost proračuna Q faktora pri većem rasponu frekvencija zavisi od ponašanja realnog i imaginarnog dela impedanse u odabranom frekvencijskom opsegu. Ukoliko je to ponašanje takvo da su funkcije vrednosti monotone, tj. bez velikih i naglih skokova i promena, preciznost proračuna će ostati visoka. **Dobijeni rezultat predstavlja usrednjenu, prosečnu vrednost Q faktora antene u odabranom frekvencijskom opsegu. Tako da zapravo rezultat uvek predstavlja prosečnu vrednost Q faktora antene u bliskoj okolini oko centralne frekvencije.**

Preciznost proračuna je u najboljem slučaju onoliko dobra koliko je precizan uređaj i metoda merenja koji nam pružaju podatke o impedansi. Da bi se ovo što više poboljšalo potrebno je meriti sa preciznim i pouzdanim mostom za merenje impedanse, analizatorom mreža (VNA) ili drugim pouzdanim RF meračem impedanse.

Pri merenju treba koristiti što kraći i što kvalitetniji kabl jer će dugački i loši kablovi, zbog sopstvenih gubitaka, prikazati bolje vrednosti od stvarnih. Dakle, merač postaviti što bliže anteni i povezati ga preko kvalitetnog, što kraćeg, kabla uz što manje gubitaka. Pri korišćenju VNA kalibraciju treba izvršiti na ravan priključka antene. Kod merenja RF mostom, ukoliko nije moguće priključiti most direktno na antenu potrebno je koristiti kvalitetan kabl koji je celobrojni umnožak polovine talasa sa uračunatim faktorom skraćanja kako bi merenje bilo tačno, jer transformacija impedanse preko kabla menja rezultat proračunatog Q faktora. Ukoliko gubici u kablu nisu zanemarivi treba ih uračunati u dobijenu vrednost impedanse antene.

Prilikom korišćenja rezultata simulacije ili pri merenju kada se merač impedanse nalazi spojen direktno na antenski priključak, ili je električna dužina kabla celobrojni umnožak polovine talasa nema transformacije impedanse preko kabla i rezultati proračuna Q faktora su tačni u granicama tačnosti metode.

Vrednosti za X i R što preciznije očitati i upisati ih u odgovarajuće polje u programu za svaku od izabranih frekvencija.

SWR Metoda

Za SWR metodu je takođe potrebno upotrebiti kvalitetan i pouzdan SWR metar. SWR merači su poznati kao jedni od najmanje pouzdanih uređaja zbog načina svog rada. Naime usmereni sprežnici koji se koriste za merenje stojećih talasa na kablju imaju vrlo ograničenu direktivnost u širem frekvencijskom opsegu. Nažalost, često se prave širokopojasne verzije SWR metara koji su onda obično vrlo neprecizni na rubnim opsezima. Osim toga SWR metri mogu biti vrlo osetljivi na struje koje teku po spoljašnosti kabla usled asimetrije u napajanju antene, tzv. Common Mode Currents (CMC).

Brza, delimična provera pozdanosti može se izvršiti tako što se SWR antene izmeri sa dve malo različite dužine kabla i ukoliko se rezultati razlikuju onda SWR ima problem sa CMC strujama ili je nepouzdan na tom frekvencijskom opsegu. Najbolje je SWR izmeriti sa malom dužinom kabla sa malim gubicima i onda dodati komad kabla dužine između četvrtine i polovine talasa pomnožen sa faktorom skraćivanja kabla.

Dobar i pouzdan SWR metar ne bi smeo da pokaže različita merenja za oba slučaja, jer SWR antene je nepromenljiv na celoj dužini kabla.

Koaksijalni kabl kod SWR metode jedino unosi dodatno slabljenje i bilo bi dobro uračunati ga ukoliko nije zanemarljiv. Pošto je SWR na idealnom kablju, ili kablju sa malim gubicima, na svakom mestu na kablju isti to izmereni SWR mora biti isti sa bilo kojom dužinom kabla.

Izbor frekvencija za ovu metodu je takođe od bitne važnosti za precizan proračun Q faktora.

Prvo je potrebno izabrati rezonantnu frekvenciju ili neku u blizini gde su R i X iste ili vrlo približne vrednosti kao u rezonansi. Rezonansa je ona frekvencija pri kojoj je **vrednost reaktanse $X=0$** . SWR metar nam neće otkriti tu frekvenciju, ali je pretpostavka da je antena dobro konstruisana i da ima rezonantnu frekvenciju u sredini frekvencijskog područja za koji je projektovana da radi. Obično se autori trude da u rezonansi antena ima i dobar SWR, često i najbolji, pa je to logičan izbor, iako se mora napomenuti da **rezonantna frekvencija i frekvencija minimalnog SWR nisu ista stvar!** Međutim, pogreška usled ovoga će biti relativno mala tako da izbor frekvencije minimalnog SWR najčešće neće mnogo narušiti tačnost proračuna Q faktora. Od rezonantne frekvencije na niže i na više treba izabrati po jednu frekvenciju na kojima je SWR identičan. Veličina SWR na tim frekvencijama može se kretati između 1.5 i 3. Niže vrednosti se takođe mogu koristiti ali su obično manje tačne zbog uticaja raznih činilaca, pre svega gubitaka kablova, nelinearnosti dioda, itd. koji unose grešku u merenje. Prevelike vrednosti sa druge strane, takođe su upotrebive ali mogu kod nekih merača da dovedu diode za detekciju RF signala u zasićenje ili u nelinearni deo karakteristike i da na taj način unesu dodatnu grešku u merenje.

Antene sa više rezonantnih frekvencija

Mnoge antene sa većim brojem elemenata autori su tako koncipirali da pokriju veći frekvencijski opseg specijalnim načinom raspodele struja u elementima antene. Ovo se može videti po krivoj SWR koja u datom opsegu frekvencija ima dva ili više minimuma SWR na različitim delovima frekvencijskog opsega.

Praktično, za precizan proračun kriva SWR u zavisnosti od frekvencije treba da izgleda kao slovo U, a ne kao slovo W. Uglavnom kod antena sa više rezonantnih frekvencija, tj. sa SWR krivom u obliku slova W pri određivanju frekvencija sa istim SWR moguće je naći tri i više, pa je savet da se izaberu parovi frekvencija između kojih je samo po jedan minimum SWR, tj. deo SWR krive u obliku slova U i proračuna Q faktor za svaki od parova, birajući centralnu, tj. rezonantnu frekvenciju u lokalnom minimumu između odabranih parova frekvencija. Ovo obično daje bolju sliku ponašanja Q faktora u širem opsegu frekvencija kod antena koje su na ovakav način učinjene širokopojasnim. Razlog ovome je što tako koncipirane antene imaju širi propusni opseg od onoga koji je određen stvarnim Q faktorom antene i **time daju netačan proračun Q faktora**. Pošto je program baziran na proračunu Q faktora iz propusnog opsega za ekvivalentno RLC kolo antene na jednoj rezonantnoj frekvenciji, koje u osnovi ima SWR krivu u obliku slova U, onda je potrebno o ovome voditi računa, kako je rečeno, i koristiti ga na pravi način ukoliko se ne žele lažni rezultati.

Rezultati

Izračunati Q faktor antene za izabranu centralnu ili rezonantnu frekvenciju je dat kao rezultat ispisan na obojenoj pozadini. Boja pozadine za svaki ispis Q faktora arbitrarno je izabrana u zavisnosti od veličine, odnosno prihvatljivosti date vrednosti. Prihvatljivost može u izvesnoj meri da varira u zavisnosti od tipa antene, frekvencije, namene, geometrije, uslova primene, itd. Zato su ovo orijentacione vrednosti za uobičajene antene.

Ako je Q faktor ispod 15, pozadina je zelena i to su vrlo dobre stabilne antene.

ZA Q faktore između 15 i 30, pozadina je žuta i to su prihvatljive vrednosti malo manje stabilnih antena.

Ako je Q faktor između 30 i 50, pozadina je crvena i to su relativno nestabilne antene.

Za Q faktore preko 50, pozadina je ljubičasta i to su 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 frekvencijskih 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**.

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

<http://www.qsl.net/yu1aw/Misc/QAntSpotCalc.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. **Uticaj koaksijalnog kabla na Yagi Antenu - 2. deo**, Dragoslav Dobričić, YU1AW, https://www.qsl.net/yu1aw/Misc/Uticaj_koaksa_na_Yagi-2.pdf
4. **Uticaj koaksijalnog kabla na sistem od četiri Yagi antene**, Dragoslav Dobričić, YU1AW, https://www.qsl.net/yu1aw/Misc/Uticaj_kabla_na_%20ant_sistem.pdf
5. **Uticaj 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

Qb i Qz 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.]:

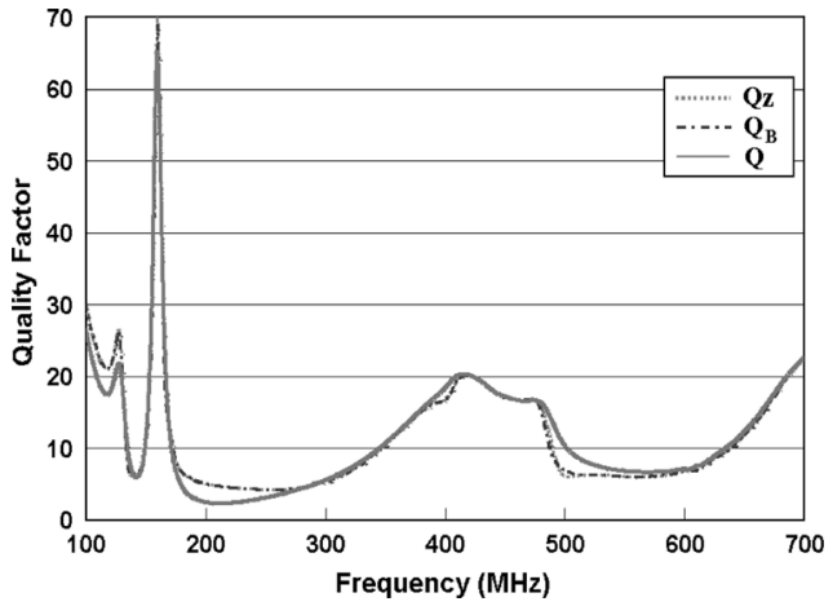


Fig. 17. Comparison of the Q , Q_Z , and Q_B (1.5:1 matched VSWR bandwidth) for the tuned, lossless, 3-element Yagi antenna with the coordinate origin placed at the center of the driven element, but with the exact Q at each frequency determined by interpolating between its values at the natural resonant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