Generated by Foxit PDF Creator © Foxit Software
http://www.foxitsoftware.com For evaluation only.

UZROCI I POSLJEDICE STOJNIH VALOVA

Zvonimir MAKOVEC, dipl. inž. — YU2RDU

Među radio-amaterima uobičajene su diskusije o vrijednosti pojedinih antena, konstrukcijskim detaljima, prilagođenju na prenosni vod, zračenju, dobitku itd. Polazne teoretske i praktične osnove za ovakve diskusije su opće poznate iz osnova elektrotehnike i radio-tehnike, ali su na žalost krajnji zaključci često pogrešni. Na primjer, često se čuje na bandu: »ne smijem raditi na toj frekvenciji jer mi je tu SWR veliki, pa će mi uništiti izlazne cijevi«, ili »antena mi slabo ide jer mi je veliki SWR, pa gubim mnogo reflektirane energije«, itd.

Ovakve tvrdnje, za koje i oni koji su ih izrekli i oni koji su ih slušali misle da su ispravne, ukazuju na raširen pogrešan način mišljenja, uzrokovan nedovoljnim povezivanjem teorije prijenosnog sistema.

Jasno je da prosječan radio-amater ne treba i ne može poznavati ovu teoriju, ali ipak ovakvo stanje pokazuje veliki utjecaj »nazovi-stručnjaka«, koji nepravilno i nestručno tumače razne pojave iz radio-amaterske prakse i pogrešno zaključuju zbog nepoznavanja kompleksne situacije iz oblasti prijenosnih sistema.

Namjera ovog članka je da ukaže na neke nepravilne tvrdnje koje se čuju među radio-amaterima, te da ih pravilno objasni primjenjujući principe teorije prijenosnih sistema.

Jedna od najčešćih pogrešnih tvrdnji (u koju radio-amateri čvrsto vjeruju) je da se energija odbijena uslijed neprilagođenja antene na prenosni vod, vraća natrag u izvor, tu opterećuje aktivne izlazne elemente i uzrokuje njihovo prekomjerno zagrijavanje i uništenje. Radio-amaterskim rječnikom rečeno — veliki SWR uzrokuje uništenje izlaznih cijevi. U stvari, SWR je samo posljedica stanja koje može, ali općenito ne mora i neće izazvati uništenje aktivnih elemenata izlaznog stupnja.

SWR (skraćeno engl. Standing Wawe Ratio, ili omjer stojnih valova) je brojčani pokazatelj omjera maksimuma i minimuma napona (ili struje) uzduž prenosnog voda, koji se stvaraju zbog zaključivanja prenosnog voda određene karakteristične impedancije zaključnom impedancijom različitom od karakteristične impedancije prenosnog voda. Tu je, istovremeno, i brojčani omjer veličine zaključne i karakteristične impedancije, pri čemu je veća veličina uvijek u brojniku, pa je SWR uvijek veći od 1 (SWR = $=Z_a/Z_o$ ili Z_o/Z_a).

Pretpostavimo da imamo idealni prenosni vod bez gubitaka i neprilagođen, to jest zaključen impedancijom različitom od karakteristične impedancije prenosnog voda, a koja je čisto realna. Visokofrekventna energija ili elektromagnetski val, koji se iz izvora preko izlaznog prilagodnog sklopa širi prema kraju prenosnog voda, nailazi na neprilagođenje, te se određeni dio te energije odbija (reflektira) natrag prema izvoru. Reflektirana i upadna snaga odnose se prema jednadžbi:

$$P_{ref} = [(SWR-1) : (SWR + 1)]^2 P_u$$

Tako na prenosnom vodu u isto vrijeme postoje dva vala energije, napredujući i odbijeni val. Ta dva vala se međusobno zbrajaju (vektorski) i čine ukupni val na prenosnom vodu.

Zbrajanje ta dva vala uz poštovanje njihove razlike u amplitudi (ovisna o veličini neprilagođenja) i fazi (zbog vremena koje je valu potrebno da iz jedne točke prenosnog voda stigne do zaključne impedancije i da se odbije natrag do te točke), uzrokuje nastanak stojnog vala elektromagnetske energije na prenosnom vodu. Stojni val u slučaju neprilagođenja ima istaknute maksimume i minimume napona i struje. Omjer amplitude maksimuma i minimuma napona (ili struje) naziva se omjer stojnih valova (engl. SWR).

Da li će pri kraju prenosnog voda biti stvoren prvo maksimum ili minimum napona (ili struje), ovisi o karakteru neprilagođenja. Ako to neprilagođenje ima karakter kratkog spoja (to jest, ako je zaključna impedancija Z_a, realna i manja od karakteristične impedancije prenosnog voda Z_o) na kraju voda, stvoriti će se maksimum struje i minimum napona (uz stvarni kratki spoj struja bi porasla na dvostruku vrijednost, a napon bi pao na nulu). Znači da je reflektirani struji val odbijen u fazi, a reflektirani naponski val u protufazi s napredujućim strujnim i naponskim valovima.

Ako prilagođenje ima karakter praznog hoda (zaključna impedancija Z_a je realna i veća od karakteristične impedancije prenosnog voda Z_o), na kraju prenosnog voda stvoriti će maksimum napona i minimum struje (uz stvarni prazni hod napon bi porastao na dvostruku vrijednost, a struja bi pala na nulu). Znači da se u tom slučaju reflektirani naponski val odbija u fazi, a reflektirani strujni val u protufazi s napredujućim naponskim i strujnim valovima.

Ukoliko zaključna impedancija Z_a nije realna, maksimumi ili minimumi se neće stvoriti na samom kraju prenosnog voda, nego pri kraju, na udaljenosti do najviše četvrtine valne duljine od kraja prenosnog voda.

Omjer napona i struje u svakoj točki prenosnog voda je određena impedancija i to preslikana impedancija zaključne impedancije. Ta preslikana impedancija u općem slučaju je kompleksna impedancija, nije jednaka zaključnoj impedanciji, a samo u pojedinim točkama uzduž prenosnog voda ima samo realnu komponentu. Nas interesiraju one točke uzduž prenosnog voda u kojima ta preslikana impedancija ima realni dio jednak karakterističnoj impedanciji prenosnog voda, također, postoji i neki njezin određeni imaginarni dio.

Savršeno prilagođenje postižemo zaključivanjem prenosnog voda realnom impedancijom veličine jednake karakterističnoj impedanciji prenosnog voda. Dakle, u ovim točkama bi mogli postići savršeno prilagođenje samo kada ne bi bilo tog imaginarnog dijela preslikane zaključne impedancije.

Da bi taj imaginarni dio poništili, u tu točku prenosnog voda trebalo bi serijski spojiti čisto imaginarnu impedanciju (reaktanciju) iste veličine kao i imaginarnog dijela preslikane završne impedancije, ali suprotnog predznaka. Takva jedna čisto imaginarna impedancija je, na primjer, komad prenosnog voda određene duljine manje od četvrtine valne duljine, kratko spojen ili otvoren na kraju, već prema tome želimo li kapacitivnu ili induktivnu reaktanciju.

Dvije suprotne imaginarne komponente se poništavaju i prenosni vod je u toj točki (nazovimo je točka prilagođenja) prividno zaključen realnom impedancijom veličine jednake karakterističnoj impedanciji prenosnog voda, te postoji sa-