

dr. sc. Ivan Šimatović, dipl. inž. el.
nezavisni istraživač
ivan0simatovic@gmail.com

00-00

DVOFAZNI MIKROVALOVI S ROTIRAJUĆIM I TORZIJSKI TITRAJUĆIM VEKTORIMA POLJA

Sažetak: U fizici i elektrotehnici poznati su, temeljito istraženi i svesrano se koriste u prijenosu radio i TV signala linearno polarizirani transverzalno-vektorski valovi, a u suvremenim mobilnim i satelitskim komunikacijama helikoidalni (kružno polarizirani) mikrovalovi. Zbog nezadrživog razvoja i naglog širenja radiodifuzije i televizije te posebice suvremenih mobilnih komunikacija već dulje vrijeme vlada velika nestašica raspoloživih frekvencija. U području mobilnih i satelitskih komunikacija mogao bi se otvoriti novi prostor za njihovu daljnju ekspanziju ako bi se, uz helikoidalne mikrovalove, uveli funkcionalno složeniji dvofazni mikrovalovi koji se dobivaju slaganjem duž valne zrake dva međusobno okomito linearno polarizirana te odgovarajuće modulirana mikrovala. Područje dvofaznih mikrovalova još nije ni izdaleka iskorišteno po mogućnostima koje pruža i moglo bi se u dogledno vrijeme obogatiti za tri nove vrste mikrovalova. To su: helikoidalni mikrovalovi s torzijski titrajućim vektorima polja konstantne jakosti i dva funkcionalno složena hiperdinamička mikrovala čiji vektori polja poprečno titraju te istovremeno rotiraju ili torzijski titraju oko valne zrake. Prikazano je kako se ti mikrovalovi načelno mogu proizvesti.

Ključne riječi: dvofazni mikroval, helikoidalni mikroval, kružno polariziran, helikoidalni torzijski mikroval, hiperdinamičko polje, hiperdinamički mikroval, vektori jakosti polja, rotirajući vektori, torzijski titrajući vektori

Uvod

U fizici i elektrotehnici poznati su, temeljito istraženi i koriste se za prijenos radio i TV signala horizontalno i vertikalno linearno polarizirani transversalno-vektorski (TVEM) valovi te, u posljednjih nekoliko desetljeća, cilindrični helikoidalni mikrovalovi u mobilnim i satelitskim komunikacijama. Njihovi poprečni vektori jakosti polja, sinkrono rotiraju oko valne zrake i u ravnom valu su duž nje na svim pozicijama i u svakom trenutku konstantne jakosti i mijenjaju se samo neizravno (kinetički) u vremenu zbog njihove jednolike brze rotacije.

Toj nevelikoj porodici elektromagnetskih valova valjalo bi, kao moguće perspektivne prinove, pridodati još:

- a) torzijski titrajuće mikrovalove s konstantnim vektorima jakosti polja,
- b) hiperdinamičke mikrovalove s poprečno titrajućim te istovremeno jednoliko rotirajućim vektorima jakosti polja i
- c) hiperdinamičke mikrovalove s poprečno titrajućim te istovremeno torzijski titrajućim vektorima jakosti polja.

Za funkcionalno složene mikrovalove pod b) i c) je svojstveno da je njihova ukupna brzina promjene jakosti EM polja u vremenu na promatranom mjestu u trenutku t jednaka vektorskom zbroju:

- radijalne brzine izravne promjene u vremenu i na nju okomite
- tangencijalne brzine neizravne (kinetičke) promjene u vremenu.

Ti osebujni mikrovalovi s "*dvobrzinskim*" EM poljem koje se istovremeno mijenja izravno i neizravno u vremenu, za razliku od "*jednobrzinskog*" dinamičkog polja hercijanskih TVEM valova koje se mijenja samo izravno u vremenu te rotirajućeg (kinetičkog) polja helikoidalnih mikrovalova koje se mijenja samo neizravno (kinetički) u vremenu mogu se nazvati hiperdinamičkim valovima.

Tehnike pridobivanja tih mikrovalova, njihova svojstva i mogućnosti primjene tek treba razraditi i pobliže istražiti. To bi moglo biti vrlo perspektivno područje niza dugoročnih multidisciplinarnih istraživanja.

1. Hiperdinamički mikroval kao linearna kombinacija dva jednofazna linearno polarizirana mikrovala

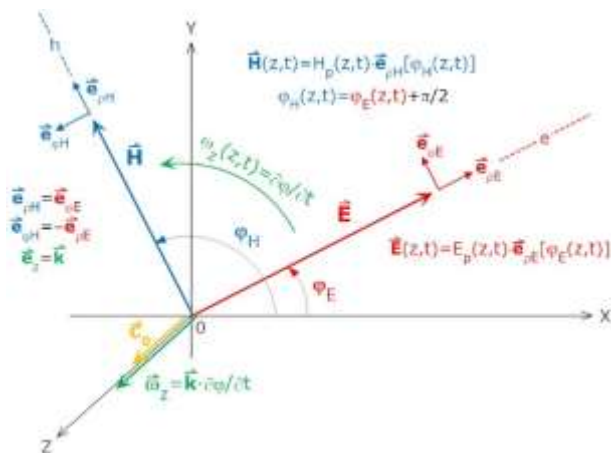
Rotirajući ili torzijski titrajući poprečni vektori $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ jakosti polja kružno polariziranog helikoidalnog (kinetičkog) vala i funkcionalno složenog hiperdinamičkog vala mogu se u promatranj valnoj fronti jednoznačno prikazati kao vektorski zbroj polja dva odgovarajuće modulirana te međusobno okomito linearno polarizirana TVEM vala koji se duž valne zrake šire u istom smjeru. Stoga su ti funkcionalno složeni mikrovalovi u svojoj biti dvofazni.

Načelo slaganja dva linearno polarizirana mikrovala [1, str. 284-286] u funkcionalno manje ili više složen dvofazni mikroval analogno je Teslinom konceptu pridobivanja brzo rotirajućeg magnetskog polja konstantne jakosti u električnom stroju superpozicijom dva međusobno okomita harmonijski titrajuća magnetska polja dvofaznih struja jednake frekvencije fazno pomaknuta za $\pi/2$.

Uzajamno okomiti vektori $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ jakosti polja ravnog putujućeg hiperdinamičkog mikrovala duž valne zrake (Z osi), koji u valnoj fronti harmonijski poprečno titraju te istovremeno postranično jednoliko rotiraju ili torzijski titraju oko valne zrake, mogu se u cilindričnim koordinatama općenito prikazati parom jednočlanih vektorskih izraza s međusobno nezavisnim varijablama z i t :

$$\vec{\mathbf{E}}[\varphi_E(z,t), z, t] = E_\rho(z,t) \cdot \vec{\mathbf{e}}_{\rho E}[\varphi_E(z,t)]$$

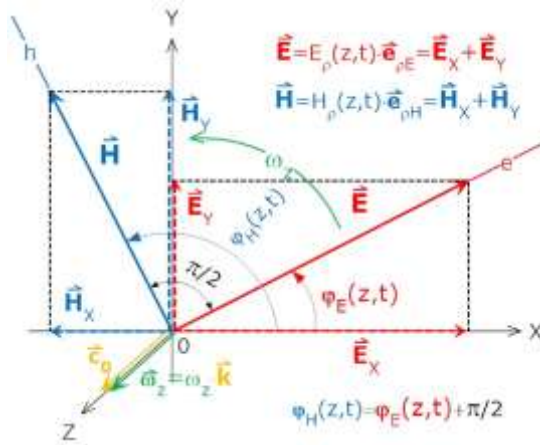
$$\vec{\mathbf{H}}[\varphi_H(z,t), z, t] = H_\rho(z,t) \cdot \vec{\mathbf{e}}_{\rho H}[\varphi_H(z,t)] = H_\rho(z,t) \cdot \vec{\mathbf{e}}_{\varphi E}[\varphi_E(z,t)]$$



Slika 1 – Vektori jakosti EM polja u valnoj fronti hiperdinamičkog mikrovala

Uzajamno okomiti fluktuirajući poprečni jedinični vektori $\mathbf{e}_{\rho E}$ i $\mathbf{e}_{\rho H} = \mathbf{e}_{\varphi E}$ cilindričnih koordinata, pridruženi radijalnim vektorima jakosti polja $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$, posredno su zavisni preko dinamičkih polarnih kutova φ_E i φ_H , mjenjenih od pozitivnog smjera X osi, o varijablama z i t . Stoga oni po njima imaju parcijalne derivacije koje se određuju prema pravilu diferenciranja složenih funkcija [2].

Svaki kinetički ili hiperdinamički ravni mikroval može se dobiti slaganjem dva linearno polarizirana te odgovarajuće modulirana gradbena ravna TVEM mikrovala međusobno okomite polarizacije koji se duž valne zrake (Z osi) istovremeno šire u istom smjeru. Njihovi vektori jakosti polja u pravcu poprečnih koordinatnih osi X i Y dobivaju se projekcijom radijalnih vektora $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ pretpostavljenog kinetičkog ili hiperdinamičkog mikrovala na os X ("tlocrt vala") i os Y ("bokocrt vala"). Prema Slici 2 njihovi vektori jakosti polja općenito jesu:



Slika 2 – Gradbene komponente jakosti polja dvofaznog hiperdimamičkog mikrovala

$$\begin{aligned} \text{Val 1} &= \begin{cases} \vec{E}_x(z,t) = E_x(z,t) \cdot \vec{i} = E_\rho(z,t) \cdot \cos \varphi_E(z,t) \cdot \vec{i} \\ \vec{H}_y(z,t) \cdot \vec{j} = H_y(z,t) = H_\rho(z,t) \cdot \sin \varphi_H(z,t) \cdot \vec{j} = H_\rho(z,t) \cdot \cos \varphi_E(z,t) \cdot \vec{j} \end{cases} \\ \text{Val 2} &= \begin{cases} \vec{E}_y(z,t) = E_y(z,t) \cdot \vec{j} = E_\rho(z,t) \cdot \sin \varphi_E(z,t) \cdot \vec{j} \\ \vec{H}_x(z,t) = H_x(z,t) \cdot \vec{i} = H_\rho(z,t) \cdot \cos \varphi_H(z,t) \cdot \vec{i} = -H_\rho(z,t) \cdot \sin \varphi_E(z,t) \cdot \vec{i} \end{cases} \end{aligned}$$

Rezultirajući vektori jakosti polja **E** i **H** dvofaznog kinetičkog ili hiperdinamičkog ravnog mikrovala mogu se u prostornim Kartezijevim i cilindričnim koordinatama predložiti općim izrazima:

$$\begin{aligned} \vec{E}(z,t) &= E_x(z,t) \cdot \vec{i} + E_y(z,t) \cdot \vec{j} = E_\rho(z,t) \cdot \vec{e}_{\rho E}[\varphi_E(z,t)] \\ \vec{H}(z,t) &= H_x(z,t) \cdot \vec{i} + H_y(z,t) \cdot \vec{j} = H_\rho(z,t) \cdot \vec{e}_{\rho H}[\varphi_H(z,t)] = H_\rho(z,t) \cdot \vec{e}_{\varphi E}[\varphi_E(z,t)] \end{aligned}$$

2. Matematičko modeliranje dvofaznih mikrovalova

Za konstruiranje matematičkih modela nekoliko putujućih ravnih harmonijskih dvofaznih mikrovalova stoje na raspolaganju dvije mogućnosti za njihove radialne komponente vektora jakosti EM polja:

$$E_\rho(z,t), H_\rho(z,t) = \begin{cases} E_0, H_0 & \text{konstantne jakosti vektora EM polja} \\ E_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z), H_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) & \text{harmonijsko titranje} \end{cases}$$

i za svaku od njih dvije mogućnosti pripadnih dinamičkih polarnih kutova $\varphi_E(z,t)$ i $\varphi_H(z,t)$ vektora jakosti EM polja.

$$\varphi_E(z,t) = \begin{cases} \omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0 & - \text{jednolika rotacija oko valne zrake} \\ \tau_0 \cdot \sin(\omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0) & - \text{torzijsko titranje oko valne zrake} \end{cases}$$

$$\varphi_H(z,t) = \varphi_E(z,t) + \frac{\pi}{2}, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c_0}, \quad k_r = \frac{2\pi}{\lambda_r} = \frac{\omega_r}{c_0}, \quad k_\tau = \frac{2\pi}{\lambda_\tau} = \frac{\omega_\tau}{c_0}$$

Dvofazni hiperdinamički mikrovalovi, koji su općenito uzevši dvofrekventni, funkcionalno su bitno jednostavniji ako je kutna brzina rotacije ω_r vektora polja ili kutna frekvencija ω_r njihovog torzijskog titranja oko valne zrake jednaka kutnoj frekvenciji ω njihovog poprečnog titranja. U nastavku slijedi prikaz matematičkih modela nekoliko tehnički zanimljivih dvofaznih mikrovalova.

2.1 Helikoidalni mikroval s rotirajućim vektorima polja

Funkcionalno najjednostavniji dvofazni ravni mikroval je dobro poznat kružno polariziran helicoidalni mikroval s međusobno okomitim radijalnim vektorima jakosti polja $\mathbf{E}_0$ i $\mathbf{H}_0$ konstantnih iznosa E_0 i H_0 , koji brzo rotiraju oko valne zrake (Z osi) jednolikom kutnom brzinom ω_r i stoga se mijenjaju samo neizravno (kinetički) u vremenu. U cilindričnim koordinatama vektori jakosti EM polja tog mikrovala mogu se predočiti parom jednočlanih vektorskih izraza:

$$\vec{\mathbf{E}}_0[\varphi_E(z,t), z, t] = E_0 \cdot \vec{\mathbf{e}}_{\rho E}[\varphi_E(z,t)]$$

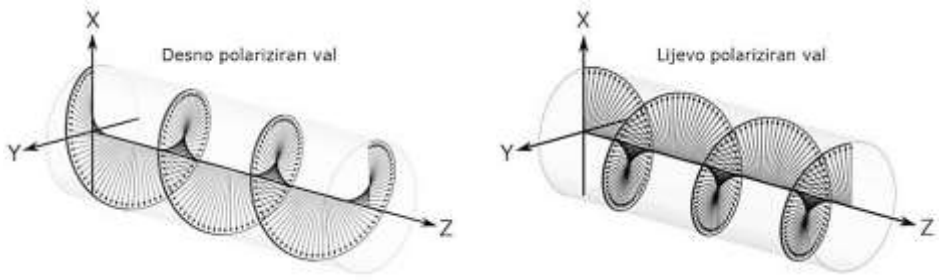
$$\vec{\mathbf{H}}_0[\varphi_H(z,t), z, t] = H_0 \cdot \vec{\mathbf{e}}_{\rho H}[\varphi_H(z,t)] = H_0 \cdot \vec{\mathbf{e}}_{\varphi E}[\varphi_E(z,t)]$$

Dinamički polarni kutovi $\varphi_E(z,t)$ i $\varphi_H(z,t)$ vektora jakosti polja $\mathbf{E}_0$ i $\mathbf{H}_0$ i njihova kutna brzina rotacije $\omega_z = \omega_r$ oko valne zrake određeni su izrazima:

$$\varphi_E(z,t) = \omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0, \quad \varphi_H(z,t) = \varphi_E(z,t) + \frac{\pi}{2}, \quad \omega_z = \omega_r = \frac{\partial \varphi_E}{\partial t} = \frac{\partial \varphi_H}{\partial t}$$

$\omega_r > 0$ – desni val, $\omega_r < 0$ – lijevi val

$$\text{Pri tom je: } k_r = \frac{2\pi}{\lambda_r} = \frac{\omega_r}{c_0}, \quad \lambda = \lambda_r = 2\pi \cdot \frac{c_0}{\omega_r}$$



Slika 3 – Desno i lijevo kružno polariziran helikoidalni ravni mikroval

Vektori jakosti polja dva putujuća ravna te horizontalno i vertikalno linearno polarizirana harmonijska gradbena TVEM mikrovala, koji superpozicijom duž valne zrake daju helikoidalni mikroval s rotirajućim vektorima, dobivaju se projekcijom njegovih radijalnih vektora EM polja u valnoj fronti na X i Y os. Na promatranom mjestu z u trenutku t te projekcije određuju polarni kutovi $\varphi_E(z,t)$ i $\varphi_H(z,t)$, pa vektori jakosti polja gradbenih mikrovalova u valnoj fronti jesu:

$$\begin{aligned} \text{Val 1} &= \begin{cases} \vec{E}_x = E_0 \cdot \cos \varphi_E(z,t) \cdot \vec{i} = E_0 \cdot \cos(\omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0) \cdot \vec{i} \\ \vec{H}_y = H_0 \cdot \sin \varphi_H(z,t) \cdot \vec{j} = H_0 \cdot \sin\left(\omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) \cdot \vec{j} \end{cases} \\ \text{Val 2} &= \begin{cases} \vec{E}_y = E_0 \cdot \sin \varphi_E(z,t) \cdot \vec{j} = E_0 \cdot \sin(\omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0) \cdot \vec{j} \\ \vec{H}_x = H_0 \cdot \cos \varphi_H(z,t) \cdot \vec{i} = H_0 \cdot \cos\left(\omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) \cdot \vec{i} \end{cases} \end{aligned}$$

Oni se mogu proizvesti harmonijskim signalima jednake amplitude (primjerice $e_0 = 100 \text{ V}$) i jednake kutne frekvencije ω_r fazno pomaknutim za $\pi/2$:

$$\begin{aligned} e_x(t, \omega_r, \varphi_0) &= e_0 \cdot \cos(\omega_r \cdot t + \varphi_0) = 100 \cdot \cos(\omega_r \cdot t + \varphi_0) \\ e_y(t, \omega_r, \varphi_0) &= e_0 \cdot \sin(\omega_r \cdot t + \varphi_0) = 100 \cdot \sin(\omega_r \cdot t + \varphi_0) \end{aligned}$$

2.2 Helikoidalni mikroval s torzijski titrajućim vektorima polja

Najbliži srodnik kružno polariziranog helikoidalnog mikrovala je funkcionalno relativno jednostavan ravni mikroval čiji uzajamno okomiti radijalni vektori jakosti polja $\vec{E}_0$ i $\vec{H}_0$ konstantnih iznosa E_0 i H_0 torzijski titraju oko valne zrake i stoga se mijenjaju samo neizravno (kinetički) u vremenu. U cilindričnim koordinatama oni se mogu predložiti parom jednočlanih vektorskih izraza:

$$\begin{aligned} \vec{E}_0[\varphi_E(z,t), z, t] &= E_0 \cdot \vec{e}_{\rho E}[\varphi_E(z,t)] \\ \vec{H}_0[\varphi_H(z,t), z, t] &= H_0 \cdot \vec{e}_{\rho H}[\varphi_H(z,t)] = H_0 \cdot \vec{e}_{\varphi E}[\varphi_E(z,t)] \end{aligned}$$

Dinamički polarni kutovi $\varphi_E(z,t)$ i $\varphi_H(z,t)$ vektora jakosti polja $\mathbf{E}_0$ i $\mathbf{H}_0$ na mjestu z u trenutku t i kutna brzina ω_z njihovog torzijskog titranja oko valne zrake određeni su izrazima:

$$\varphi_E(z,t) = \tau_E(z,t) = \tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0) \quad , \quad \varphi_0 \in [0, \pi/2]$$

$$\varphi_H(z,t) = \tau_H(z,t) = \varphi_E(z,t) + \frac{\pi}{2} \quad , \quad k_\tau = \frac{2\pi}{\lambda_\tau} = \frac{\omega_\tau}{c_0} \quad , \quad \lambda_\tau = 2\pi \cdot \frac{c_0}{\omega_\tau}$$

$$\omega_z(z,t) = \frac{\partial \varphi_E}{\partial t} = \frac{\partial \varphi_H}{\partial t} = \tau_0 \cdot \omega_\tau \cdot \cos(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0)$$

Za $\tau_0 < \pi$ polarizacijski profil tog mikrovala je lepezast jer njegovi vektori jakosti EM polja pri torzijskom titranju oko valne zrake ne opisuju puni krug.

Vektori jakosti polja dva horizontalno i vertikalno linearno polarizirana te prikladno modulirana gradbena ravna TVEM mikrovala, koji superpozicijom duž valne zrake daju helikoidalni torzijski mikroval, dobivaju se projekcijom njegovih radijalnih vektora polja $\mathbf{E}_0$ i $\mathbf{H}_0$ u promatranoj valnoj fronti na X i Y os. Na mjestu z u trenutku t određuju ih polarni kutovi $\varphi_E(z,t)$ i $\varphi_H(z,t)$, pa vektori jakosti polja gradbenih mikrovalova u valnoj fronti jesu:

$$\begin{aligned} \text{Val 1} = & \begin{cases} \vec{\mathbf{E}}_X = E_0 \cdot \cos \varphi_E(z,t) \cdot \vec{\mathbf{i}} = E_0 \cdot \cos[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0)] \cdot \vec{\mathbf{i}} \\ \vec{\mathbf{H}}_Y = H_0 \cdot \sin \varphi_H(z,t) \cdot \vec{\mathbf{j}} = H_0 \cdot \sin\left[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0) + \frac{\pi}{2}\right] \cdot \vec{\mathbf{j}} \end{cases} \\ \text{Val 2} = & \begin{cases} \vec{\mathbf{E}}_Y = E_0 \cdot \sin \varphi_E(z,t) \cdot \vec{\mathbf{j}} = E_0 \cdot \sin[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0)] \cdot \vec{\mathbf{j}} \\ \vec{\mathbf{H}}_X = H_0 \cdot \cos \varphi_H(z,t) \cdot \vec{\mathbf{i}} = H_0 \cdot \cos\left[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0) + \frac{\pi}{2}\right] \cdot \vec{\mathbf{i}} \end{cases} \end{aligned}$$

Oni se mogu proizvesti moduliranim signalima jednake amplitude (primjerice $e_0 = 100 \text{ V} \rightarrow$ vidi dodatak na kraju članka!) određenim izrazima:

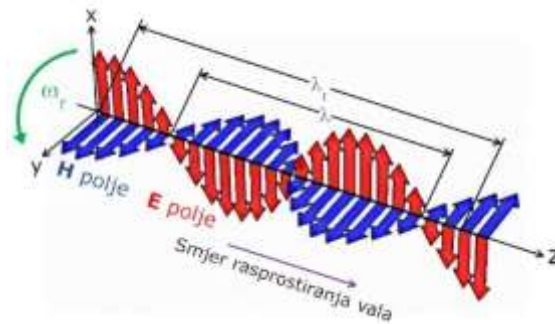
$$e_X(t, \tau_0, \omega_\tau, \varphi_0) = e_0 \cdot \cos[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t + \varphi_0)] = 100 \cdot \cos[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t + \varphi_0)]$$

$$e_Y(t, \tau_0, \omega_\tau, \varphi_0) = e_0 \cdot \sin[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t + \varphi_0)] = 100 \cdot \sin[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t + \varphi_0)]$$

Pri tom su amplituda torzijskog titranja vektora EM polja τ_0 , njegova kutna frekvencija ω_τ i početni fazni kut $\varphi_0 \in [0, \pi/2]$ po volji odaberivi parametri.

2.3 Hiperdinamički mikroval s rotirajućim vektorima polja

To je funkcionalno složen mikroval čiji uzajamno okomiti radijalni vektori jakosti polja $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ harmonijski titraju poprečno na valnu zraku (Z os) kutnom frekvencijom ω te istovremeno oko nje brzo rotiraju jednolikom kutnom brzinom $\omega_r \neq \omega$, pa je to u punom smislu riječi hiperdinamički mikroval (Slika 4).



Slika 4 – Hiperdinamički harmonijski mikroval s rotirajućim vektorima polja

Vektori jakosti polja tog mikrovala u promatranoj valnoj fronti mogu se u cilindričnim koordinatama predočiti parom jednočlanih vektorskih izraza:

$$\begin{aligned}\vec{E}[\varphi_E(z,t), z, t] &= E_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \vec{e}_{\rho E}[\varphi_E(z,t)] \\ \vec{H}[\varphi_H(z,t), z, t] &= H_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \vec{e}_{\rho H}[\varphi_H(z,t)] = \\ &= H_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \vec{e}_{\varphi E}[\varphi_E(z,t)]\end{aligned}$$

Dinamički polarni kutovi $\varphi_E(z,t)$ i $\varphi_H(z,t)$ vektora jakosti polja i njihova kutna brzina rotacije $\omega_z = \omega_r$ oko valne zrake određeni su izrazima:

$$\varphi_E(z,t) = \omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0 \quad , \quad \omega_z = \omega_r = \frac{\partial \varphi_E}{\partial t} = \frac{\partial \varphi_H}{\partial t} \neq \omega$$

$$\varphi_H(z,t) = \varphi_E(z,t) + \frac{\pi}{2}$$

$$\omega_r > 0 - \text{desni val} \quad , \quad \omega_r < 0 - \text{lijevi val}$$

$$\text{Pri tom je:} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c_0} \quad , \quad k_r = \frac{2\pi}{\lambda_r} = \frac{\omega_r}{c_0}$$

Vektori jakosti polja dva horizontalno i vertikalno linearno polarizirana te prikladno modulirana gradbena TVEM mikrovala, koji superpozicijom duž valne zrake daju općenito dvofrekventan ($\omega_r \neq \omega$) hiperdinamički mikroval s jednoliko rotirajućim vektorima polja, dobivaju se projekcijom njegovih radijalnih vektora jakosti polja $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ u promatranoj valnoj fronti na X i Y os. Na mjestu z u trenutku t određuju ih polarni kutovi $\varphi_E(z,t)$ i $\varphi_H(z,t)$, pa vektori jakosti polja gradbenih mikrovalova u valnoj fronti jesu:

$$\begin{aligned} \text{Val 1} &= \begin{cases} \vec{E}_X = E_\rho(z, t) \cdot \cos \varphi_E(z, t) \cdot \vec{i} = E_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \cos(\omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0) \cdot \vec{i} \\ \vec{H}_Y = H_\rho(z, t) \cdot \sin \varphi_H(z, t) \cdot \vec{j} = H_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \sin\left(\omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) \cdot \vec{j} \end{cases} \\ \text{Val 2} &= \begin{cases} \vec{E}_Y = E_\rho(z, t) \cdot \sin \varphi_E(z, t) \cdot \vec{j} = E_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \sin(\omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0) \cdot \vec{j} \\ \vec{H}_X = H_\rho(z, t) \cdot \cos \varphi_H(z, t) \cdot \vec{i} = H_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \cos\left(\omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) \cdot \vec{i} \end{cases} \end{aligned}$$

Oni se mogu proizvesti signalima jednake amplitude (npr. $e_0 = 100 \text{ V}$) određenim izrazima:

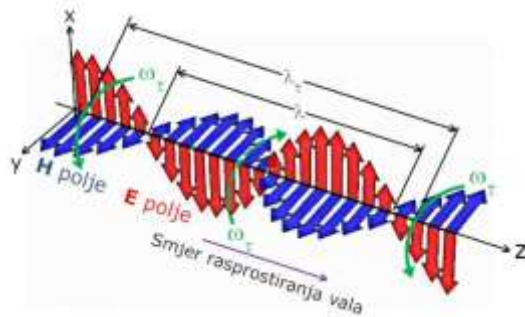
$$e_x(t, \omega, \omega_r, \varphi_0) = e_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \cos(\omega_r \cdot t + \varphi_0) = 100 \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \cos(\omega_r \cdot t + \varphi_0)$$

$$e_y(t, \omega, \omega_r, \varphi_0) = e_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \sin(\omega_r \cdot t + \varphi_0) = 100 \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \sin(\omega_r \cdot t + \varphi_0)$$

Pri tom su kutna frekvencija poprečnog titranja ω , kutna brzina rotacije vektora polja ω_r i početni fazni kut $\varphi_0 \in [0, \pi/2]$ po volji odaberivi parametri.

2.4 Hiperdinamički mikroval s torzijski titrajućim vektorima polja

U tom funkcionalno vrlo složenom mikrovalu uzajamno okomiti poprečni vektori jakosti polja $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ harmonijski titraju poprečno na valnu zraku (Z os) kutnom frekvencijom ω i istovremeno oko nje torzijski titraju kutnom frekvencijom $\omega_r \neq \omega$ uz kutnu amplitudu τ_0 i pripadnu valnu duljinu λ_r koja se općenito razlikuje od valne duljine λ poprečnog titranja (Slika 5).



Slika 5 - Hiperdinamički harmonijski mikroval s torzijski titrajućim vektorima polja

Vektori jakosti polja tog mikrovala mogu se u cilindričnim koordinatama predložiti parom jednočlanih vektorskih izraza:

$$\vec{E}[\varphi_E(z,t), z, t] = E_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \vec{e}_{\rho E}[\varphi_E(z,t)]$$

$$\vec{H}[\varphi_E(z,t), z, t] = H_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \vec{e}_{\rho H}[\varphi_H(z,t)] = H_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \vec{e}_{\varphi E}[\varphi_E(z,t)]$$

Dinamički polarni kutovi $\varphi_E(z,t)$ i $\varphi_H(z,t)$ vektora jakosti polja i njihova kutna brzina $\omega_z(z,t)$ torzijskog titranja oko valne zrake određeni su izrazima:

$$\varphi_E(z,t) = \tau_E(z,t) = \tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0) \quad , \quad \omega_\tau \neq \omega \quad , \quad \varphi_0 \in [0, \pi/2]$$

$$\varphi_H(z,t) = \tau_H(z,t) = \varphi_E(z,t) + \frac{\pi}{2}$$

$$\omega_z(z,t) = \omega_\tau(z,t) = \frac{\partial \varphi_E}{\partial t} = \frac{\partial \varphi_H}{\partial t} = \tau_0 \cdot \omega_\tau \cdot \cos(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0)$$

$$\text{Pri tom je:} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c_0} \quad , \quad k_\tau = \frac{2\pi}{\lambda_\tau} = \frac{\omega_\tau}{c_0}$$

Za $\tau_0 < \pi$ polarizacijski profil tog vala je lepezast jer vektori jakosti EM polja pri torzijskom titranju ne opisuju puni krug.

Vektori jakosti polja dva putujuća horizontalno i vertikalno linearno polarizirana gradbena TVEM mikrovala, koji superpozicijom duž valne zrake daju općenito dvofrekventan ($\omega_\tau \neq \omega$) mikroval s torzijski titrajućim vektorima, dobivaju se projekcijom radijalnih vektora jakosti polja $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ u promatranoj valnoj fronti na X i Y os. Na mjestu z u trenutku t određuju ih polarni kutovi $\varphi_E(z,t)$ i $\varphi_H(z,t)$, pa vektori jakosti polja gradbenih mikrovalova u valnoj fronti jesu:

$$\begin{aligned} \text{Val 1} &= \begin{cases} \vec{E}_X = E_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \cos[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0)] \cdot \vec{i} \\ \vec{H}_Y = H_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \sin\left[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0) + \frac{\pi}{2}\right] \cdot \vec{j} \end{cases} \\ \text{Val 2} &= \begin{cases} \vec{E}_Y = E_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \sin[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0)] \cdot \vec{j} \\ \vec{H}_X = H_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \cos\left[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0) + \frac{\pi}{2}\right] \cdot \vec{i} \end{cases} \end{aligned}$$

Oni se mogu proizvesti signalima jednake amplitude (npr. $e_0 = 100$ V) određenim izrazima:

$$e_X(t, \omega, \tau_0, \omega_\tau, \varphi_0) = e_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \cos[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t + \varphi_0)]$$

$$e_Y(t, \omega, \tau_0, \omega_\tau, \varphi_0) = e_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \sin[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t + \varphi_0)]$$

3. Što i kako dalje?

Predstavljeni matematički modeli dvofaznih mikrovalova s rotirajućim i torzijski titrajućim radijalnim vektorima polja zadovoljavaju jednačbe elektrodinamike i valnu jednačbu jer se dobivaju superpozicijom dva TVEM mikrovala međusobno okomite polarizacije koji te jednačbe zadovoljavaju. Stoga su prikazani dvofazni mikrovalovi fizikalno neupitni i zasigurno tehnički mogući.

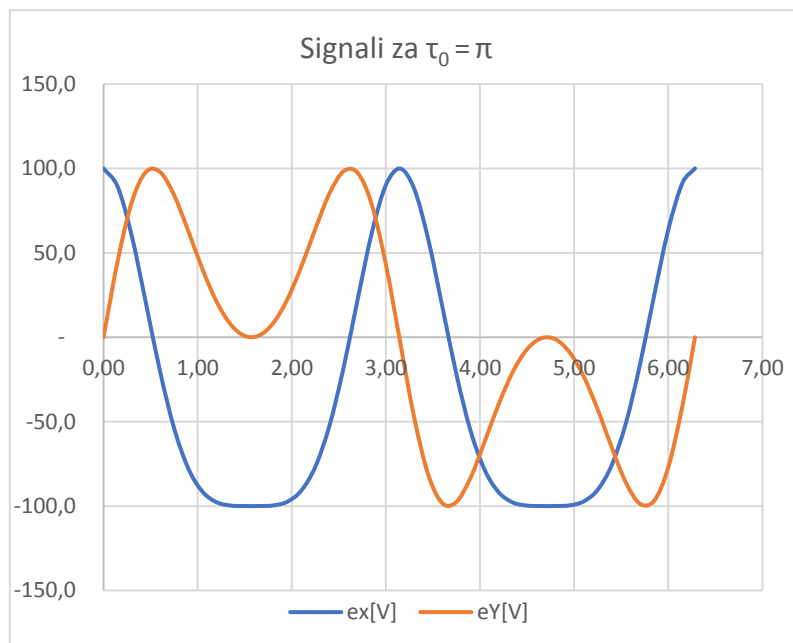
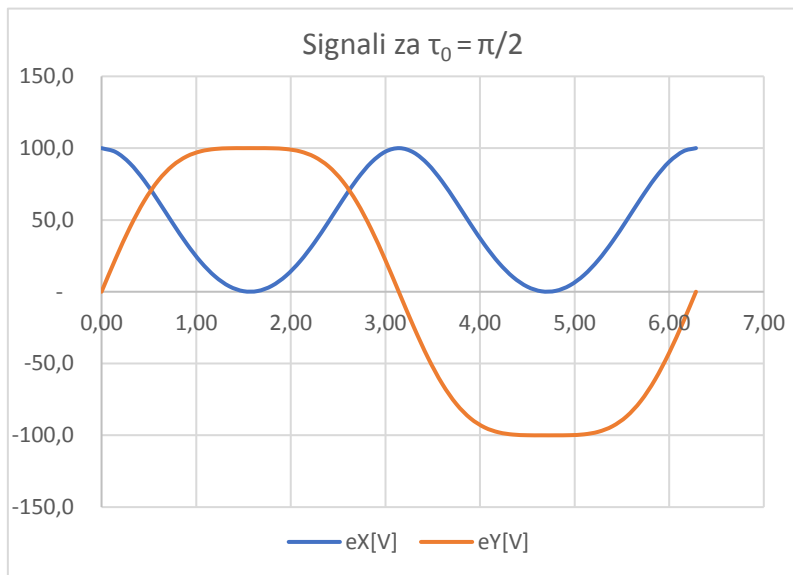
Bilo bi korisno da se što prije pristupi njihovoj cjelovitoj teorijskoj razradi, a posebice iznalaženju tehnika njihovog pridobivanja, modulacije i prijema. Pri tom bi prednost trebalo dati relativno jednostavnim helikoidalnim torzijskim mikrovalovima te jednofrekventnim ($\omega_r = \omega$, $\omega_\tau = \omega$) rotirajućim i torzijski titrajućim hiperdinamičkim mikrovalovima jer su oni funkcionalno jednostavniji.

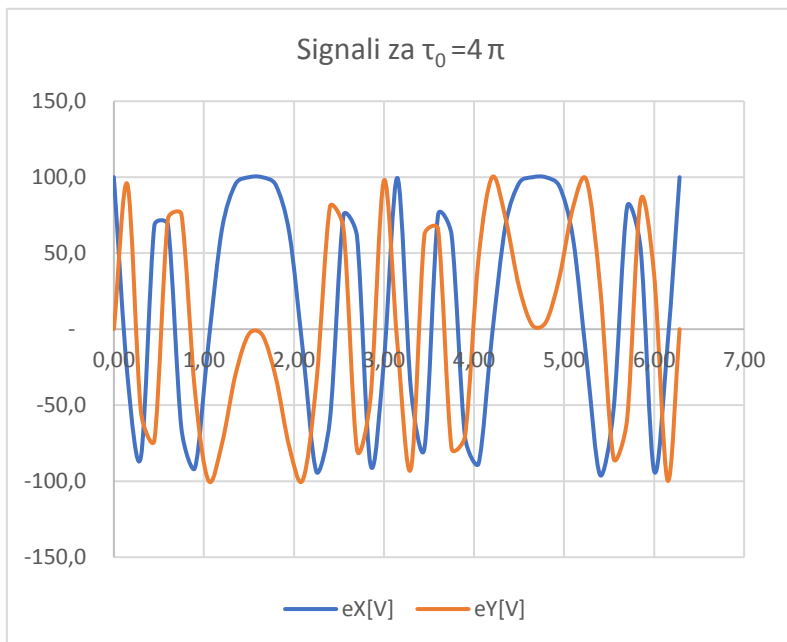
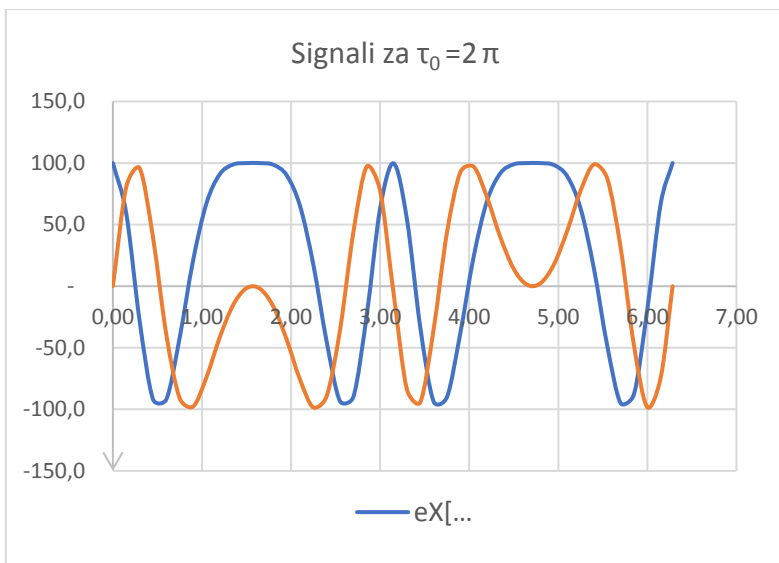
Nakon što se uspješno riješi tehnike njihovog pridobivanja i prijema treba mjerenjima pobliže istražiti njihova svojstva, a zatim se valja pozabaviti iznalaženjem mogućnosti njihove primjene u tehnici mobilnih i satelitskih komunikacija, bežičnom prijenosu energije, tehnologiji, biologiji i medicini. Ako se u tome uspije moglo bi u tim područjima uslijediti više značajnih otkrića i patenata.

Literatura

- [1] Tomo Bosanac, *Teoretska elektrotehnika*, prvi dio, Tehnička knjiga, Zagreb, 1973.
- [2] Bronštejn – Semendjajev, *Matematički priručnik*, Golden marketing & Tehnička knjiga, Zagreb, 2004.

Dodatak – Dijagrami signala za helikoidalni torzijski val





TWO-PHASE MICROWAVES WITH ROTATING AND TORSIONAL OSCILLATING FIELD VECTORS

Abstract: Linearly polarized transversal-vector waves are known and thoroughly researched in physics and electrical engineering, and widely used in radio and TV signal transmission, and helical (circularly polarized) microwaves in contemporary mobile and satellite communications. Due to the unstoppable development and rapid expansion of broadcasting and television, and especially modern mobile communications, there has been a great shortage of available frequencies for a long time. In the field of mobile and satellite communications, a new space could be opened for their further expansion if, in addition to the helical microwaves, functionally more complex two-phase microwaves were introduced. The area of two-phase microwaves is far from being used according to the possibilities it offers and could be enriched in the foreseeable future with three new types of microwaves. These are: helical microwaves with torsional oscillating field strength vectors of constant strength, and two functionally more complex hyperdynamic microwaves whose field vectors oscillate transversely and simultaneously rotate or torsional oscillate around the wave beam. It is shown how these microwaves can in principle be engineered.

Key words: two-phase microwave, helical microwave, circularly polarized, helical torsional microwave, hyperdynamic field, hyperdynamic microwave, field strength vectors, rotating vectors, torsional titrating vectors

Ivan Šimatović