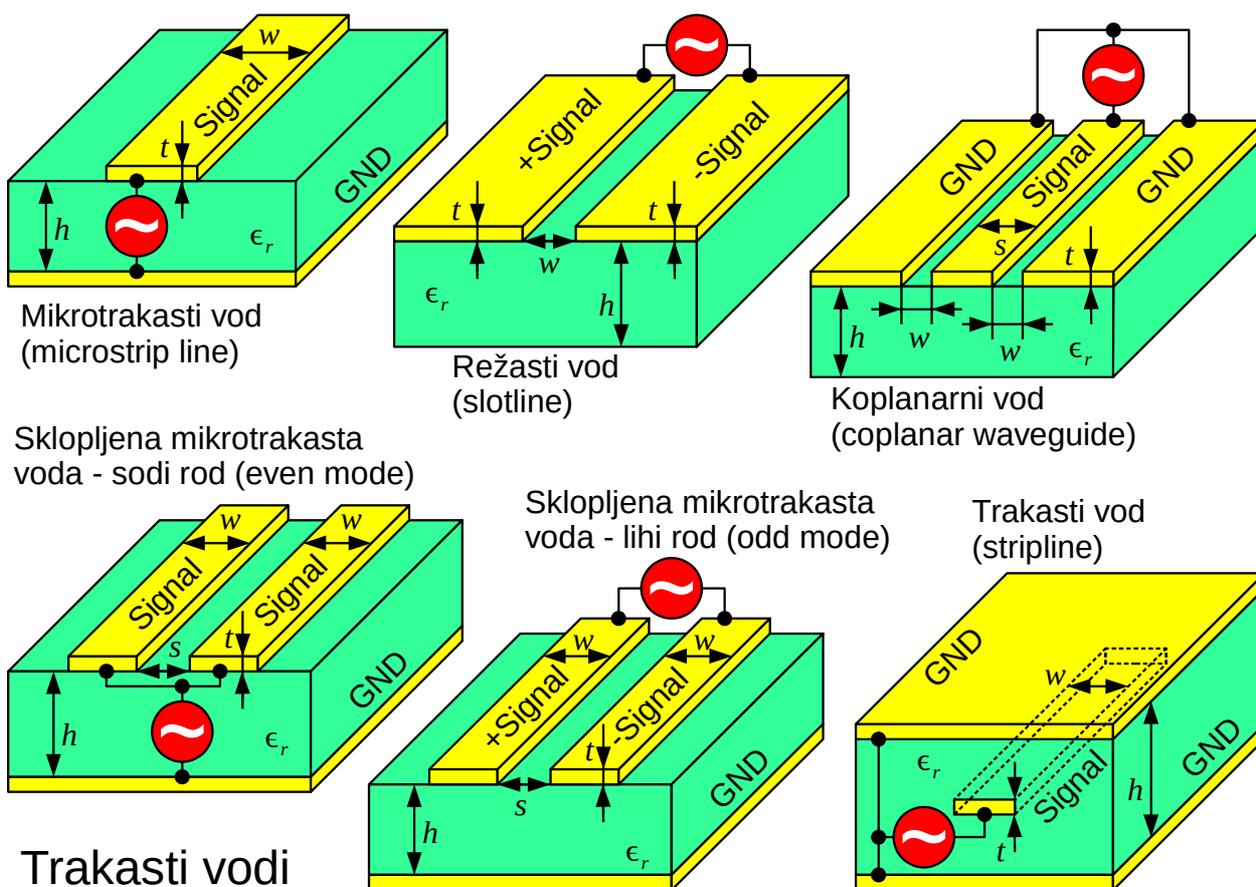


17. Trakasti vodi

Čeprav kovinski trak ni najprimernejša oblika vodnika s stališča elektromagnetnega polja in pripadajočih pojavov, so trakasti vodniki zelo priljubljeni zaradi preproste izdelave. Ploščato žico je lažje navijati od žice okroglega prereza. Ploščate vodnike lahko preprosto izdelamo iz pločevine. Postopki fotolitografije narekujejo električne povezave v monolitnih integriranih vezjih prav tako v obliki trakov.

Daleč najpogostejša oblika trakastih vodnikov v elektroniki in telekomunikacijah so tiskana vezja najrazličnejših izvedb: preprosta enostranska, zahtevnejša dvostranska in najzahtevnejša večslojna tiskana vezja. Na istem tiskanem vezju lahko uporabljamo več različnih oblik trakastih vodov oziroma valovodov. Nabor niti zdaleč ni omejen na nekaj najpogostejših zvrsti, ki so prikazane na spodnji sliki:



Kjer je na istem tiskanem vezju prisotnih več različnih signalov na pripadajočih vodih in so medsebojni sklopi (presluhi) nezaželjeni, se

najpogosteje uporabljajo mikrotrakasti vodi. Mikrotrakasti vod (angleško: microstrip line) zahteva dvostransko ali večslojno tiskano vezje. Ena stran dvostranskega vezja oziroma en sloj večslojnega vezja ni jedkan in deluje kot skupna referenčna ravnina (masa, ground ali GND) za vsa prisotna vezja. Signalni vodniki na drugi strani dvostranskega vezja zaključujejo večino svojega elektromagnetnega polja na opisano referenčno ravnino.

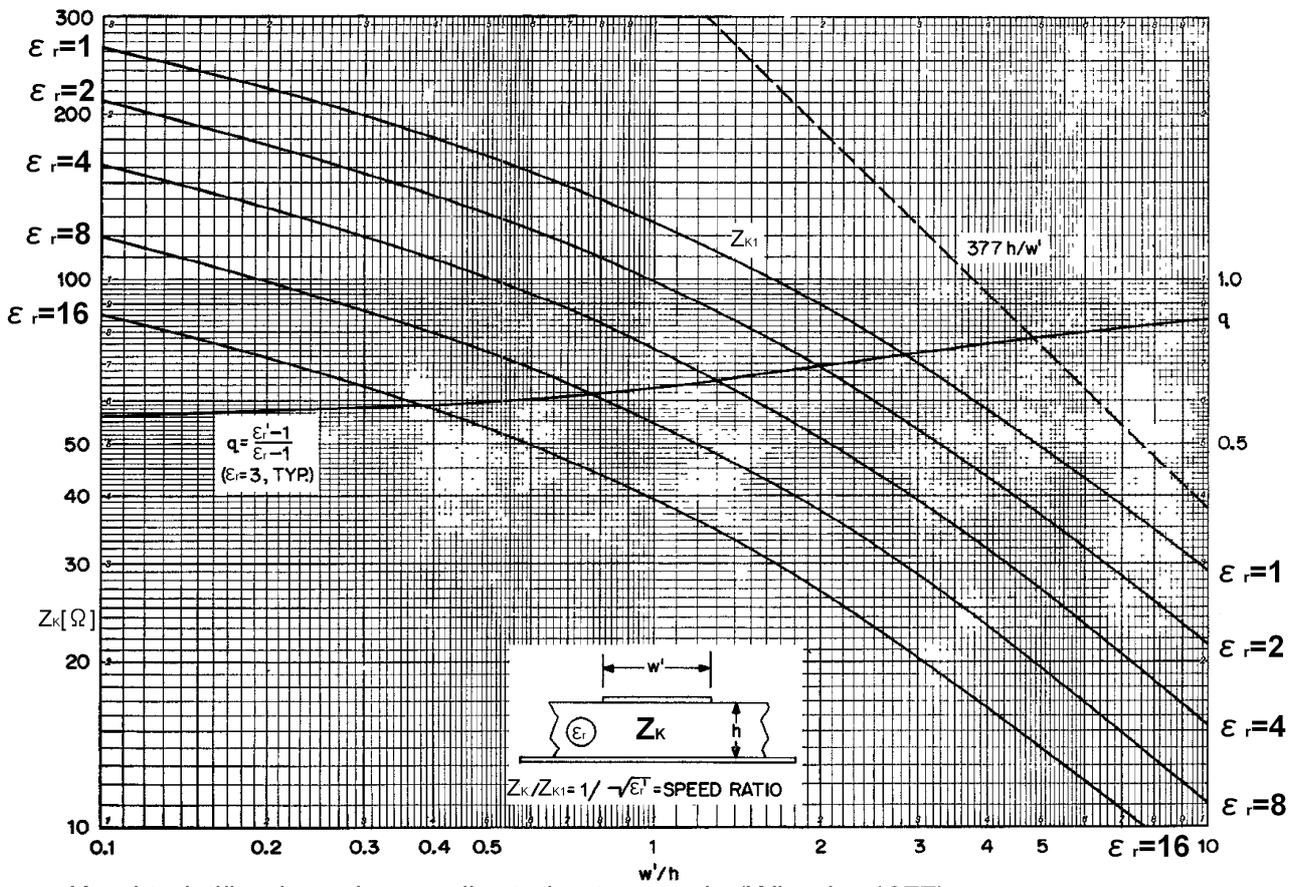
Mikrotrakasti vod je popolnoma opisan s štirimi podatki: debelino podlage h , njeno relativno dielektričnostjo ϵ_r , širino vodnika w in debelino vodnika t . Debelina podlage se giblje med $h=1.6\text{ mm}$ pri preprostih dvostranskih tiskanih vezjih vse do manj kot $h<0.1\text{ mm}$ v večslojnih vezjih. Relativna dielektričnost vitroplasta se giblje okoli $\epsilon_r \approx 4.4$ in je frekvenčno odvisna, dielektričnost teflonskih laminatov pa okoli $\epsilon_r \approx 2.3$. Elektromagnetno polje mikrotrakastega voda sicer sega tudi v prazen polprostor (zrak) nad tiskanim vezjem, kjer velja $\epsilon = \epsilon_0$ in $\mu = \mu_0$.

Debelina vodnika t ustreza debelini bakrene folije, ki je prilepljena na laminat. Debelina $t=35\mu\text{ m}$ ustreza eni unči bakra na kvadraten čevelj, debelina $t=17.5\mu\text{ m}$ pa pol unče bakra na kvadraten čevelj. Načrtovalec ima največjo svobodo pri širini vodnika w , s pomočjo katere izbira željeno kapacitivnost, induktivnost in karakteristično impedanco mikrotrakastega voda.

Referenčno ravnino mase mikrotrakastega voda privzamemo neskončno veliko. Prav tako privzamemo neskončno veliko prazen polprostor nad tiskanim vezjem. V resnici si neskončnosti ne moremo privoščiti. V večini primerov zadošča, da se ravnina mase in prazen prostor nad vezjem raztezata na vsaj $s>3h$ trikratno debelino podlage.

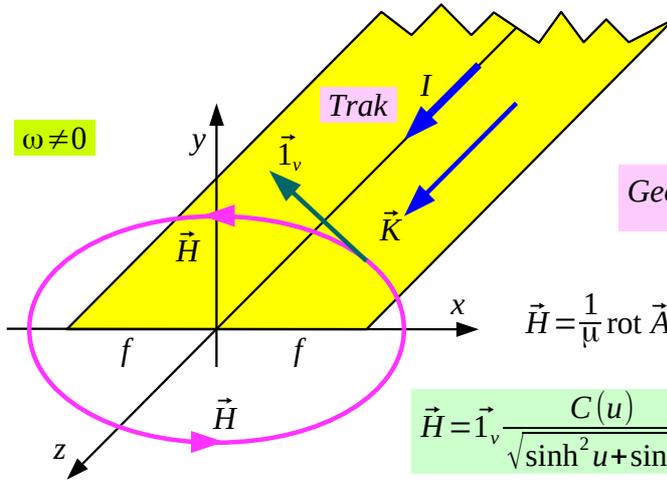
Ko je razdalja med sosednjima mikrotrakastima vodoma $s<3h$ manjša od trikratne debeline podlage, presluh med vodoma ni več zanemarljiv. Dva sklopljena voda opisujeta sodi in lihi rod valovanja. Sodi rod (sofazni rod, angleško: even mode) valovanja vzbudimo tako, da izvor priključimo sofazno (vzporedno) na oba mikrotrakasta voda. Lihi rod (protifazni rod, angleško: odd mode) valovanja vzbudimo tako, da izvor priključimo protifazno (zaporedno) na oba mikrotrakasta voda.

Dualni zgled mikrotrakastega voda je režasti vod (angleško: slotline), kjer pustimo natančno tiste ploskve bakra, ki smo jih pri jedkanju mikrotrakastega voda odstranili. Režasti vod sestavljata dve neskončni polravnini na razdalji w . Vir priključimo med obe polravnini.



Karakteristična impedanca mikrotrakastega voda (Wheeler 1977)

$\omega \neq 0$



Valjno-eliptične koordinate (u, v, z)
 $x = f \cosh u \cos v$ $y = f \sinh u \sin v$ $z = z$

$h_u = h_v = f \sqrt{\sinh^2 u + \sin^2 v}$ $h_z = 1$

Geometrija naloge $\frac{\partial}{\partial v} = \frac{\partial}{\partial z} = 0$ $\vec{A} = \vec{1}_z A_z(u)$

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu} \text{rot } \vec{A} = \frac{1}{h_u h_v} \begin{vmatrix} h_u \vec{1}_u & h_v \vec{1}_v & \vec{1}_z \\ \frac{\partial}{\partial u} & \frac{\partial}{\partial v} & \frac{\partial}{\partial z} \\ h_u 0 & h_v 0 & A_z(u) \end{vmatrix} = -\vec{1}_v \frac{1}{h_u} \frac{\partial A_z(u)}{\partial u}$$

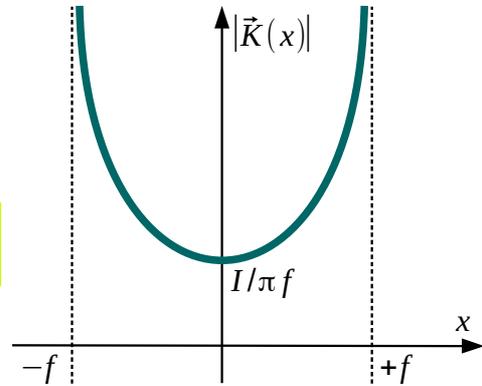
$\vec{H} = \vec{1}_v \frac{C(u)}{\sqrt{\sinh^2 u + \sin^2 v}}$

Trak $u=0$ $x = f \cos v$ $\sin v = \sqrt{1 - (x/f)^2}$

$\vec{H}(u=0) = \vec{1}_v \frac{C}{\sin v} = \vec{1}_v \frac{C}{\pm \sqrt{1 - (x/f)^2}}$

$\vec{K} = \vec{1}_y \times [\vec{H}(+v) - \vec{H}(-v)] = \vec{1}_z \frac{2C}{\sqrt{1 - (x/f)^2}} = \vec{1}_z \frac{I}{\pi \sqrt{f^2 - x^2}}$

$I = \int_{-f}^{+f} \vec{K} \cdot \vec{1}_z dx = 2Cf \int_{-1}^{+1} \frac{du}{\sqrt{1-u^2}} = 2\pi Cf \rightarrow C = \frac{I}{2\pi f}$



Porazdelitev toka na osamljenem kovinskem traku
