Pola i fale: Ćwiczenia 12

Fale w falowodach prostokątnych.

Prowadzący ćwiczenia:

mgr inż. Mateusz Marek Krysicki

Adres e-mail:

krysicki.politechnika@gmail.com

Strona www:

http://staff.elka.pw.edu.pl/~mkrysick

Konsultacje (proszę wcześniej o maila):

cz. 12:15-14:00, p.543

Materiał opracowany przez M. Krysickiego na podstawie wcześniejszych materiałów do przedmiotów POFA i EFWA opracowanych przez M. Celuch, W. Gwarka oraz B. Salskiego

Instytut Radioelektroniki i Technik Multimedialnych

Zadanie 3.12

W powietrznym falowodzie prostokątnym wzbudzamy falę elektromagnetyczną przestrajając generator od $f = 0$ do $f = 6$ GHz. Obliczyć i zaznaczyć na osi częstotliwości wzbudzanie się kolejnych rodzajów fal, jeżeli wymiary poprzeczne falowodu wynoszą:

a) $a = b = 10$ cm ,

b) $a = 10$ cm, $b = 5$ cm,

c) $a = 10$ cm, $b = 2.5$ cm .

Zadanie 3.13

Obliczyć częstotliwość graniczną i graniczną długość fali rodzaju podstawowego w falowodzie prostokątnym o wymiarach $a = 5$ cm, $b = 2.5$ cm, wypełnionym:

a) powietrzem $(\varepsilon_w = \mu_w = 1,\ \sigma = 0)$;

b) polistyrenem $(\varepsilon_w = 2.7,\ \mu_w = 1,\ \sigma = 0)$;

c) ceramiką alundową $(\varepsilon_w = 9.7,\ \mu_w = 1,\ \sigma = 0)$.

Podstawowe właściwości falowodów bezstratnych

$$\beta_c^2 + \beta_z^2 = \beta^2 \qquad \beta^2 = \omega^2 \mu\varepsilon$$

$$\omega_c = \frac{\beta_c}{\sqrt{\mu\varepsilon}} \qquad \lambda_c = \frac{2\pi}{\beta_c}$$

$$\beta_z = \sqrt{\beta^2 - \beta_c^2} = \beta\sqrt{1 - \frac{\beta_c^2}{\beta^2}} = \beta\sqrt{1 - \frac{\omega_c^2}{\omega^2}}$$

$$\lambda_z = \frac{2\pi}{\beta_z} = \frac{2\pi}{\beta}\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\beta_c^2}{\beta^2}}} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \frac{\lambda^2}{\lambda_c^2}}} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \frac{\omega_c^2}{\omega^2}}}$$

IRTM

$a = b = 10\ [cm]$

MOD	m	n	f_gr
TE10	1	0	1,50
TE01	0	1	1,50
TE20	2	0	3,00
TE02	0	2	3,00
TE30	3	0	4,50
TE03	0	3	4,50
TE40	4	0	6,00
TE04	0	4	6,00
TE50	5	0	7,50
TE05	0	5	7,50
TE11, TM11	1	1	2,12
TE21, TM21	2	1	3,35
TE12, TM12	1	2	3,35
TE22, TM22	2	2	4,24
TE31, TM31	3	1	4,74
TE13, TM13	1	3	4,74
TE32, TM32	3	2	5,41
TE23, TM23	2	3	5,41
TE33, TM33	3	3	6,36
TE41, TM41	4	1	6,18
TE14, TM14	1	4	6,18
TE42, TM42	4	2	6,71
TE24, TM24	2	4	6,71
TE43, TM43	4	3	7,50
TE34, TM34	3	4	7,50
TE44, TM44	4	4	8,49

$a = 10\ [cm]\ \ b = 5\ [cm]$

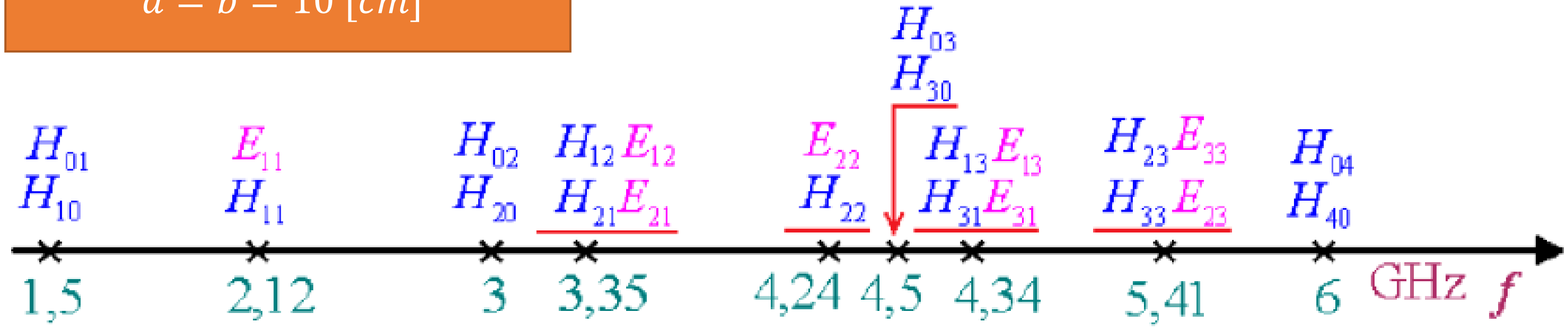
MOD	m	n	f_gr
TE10	1	0	1,50
TE01	0	1	3,00
TE20	2	0	3,00
TE02	0	2	6,00
TE30	3	0	4,50
TE03	0	3	9,00
TE40	4	0	6,00
TE04	0	4	12,00
TE50	5	0	7,50
TE05	0	5	15,00
TE11, TM11	1	1	3,35
TE21, TM21	2	1	4,24
TE12, TM12	1	2	6,18
TE22, TM22	2	2	6,71
TE31, TM31	3	1	5,41
TE13, TM13	1	3	9,12
TE32, TM32	3	2	7,50
TE23, TM23	2	3	9,49
TE33, TM33	3	3	10,06
TE41, TM41	4	1	6,71
TE14, TM14	1	4	12,09
TE42, TM42	4	2	8,49
TE24, TM24	2	4	12,37
TE43, TM43	4	3	10,82
TE34, TM34	3	4	12,82
TE44, TM44	4	4	13,42

$a = 10\ [cm]\ \ b = 2{,}5\ [cm]$

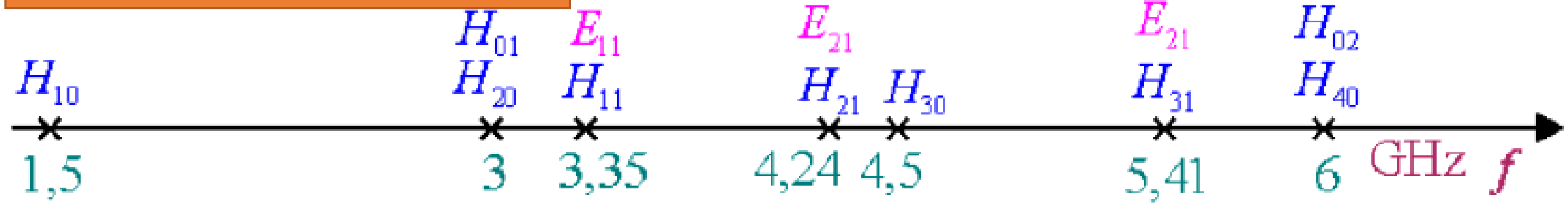
MOD	m	n	f_gr
TE10	1	0	1,50
TE01	0	1	6,00
TE20	2	0	3,00
TE02	0	2	12,00
TE30	3	0	4,50
TE03	0	3	18,00
TE40	4	0	6,00
TE04	0	4	24,00
TE50	5	0	7,50
TE05	0	5	30,00
TE11, TM11	1	1	6,18
TE21, TM21	2	1	6,71
TE12, TM12	1	2	12,09
TE22, TM22	2	2	12,37
TE31, TM31	3	1	7,50
TE13, TM13	1	3	18,06
TE32, TM32	3	2	12,82
TE23, TM23	2	3	18,25
TE33, TM33	3	3	18,55
TE41, TM41	4	1	8,49
TE14, TM14	1	4	24,05
TE42, TM42	4	2	13,42
TE24, TM24	2	4	24,19
TE43, TM43	4	3	18,97
TE34, TM34	3	4	24,42
TE44, TM44	4	4	24,74

Odp.:

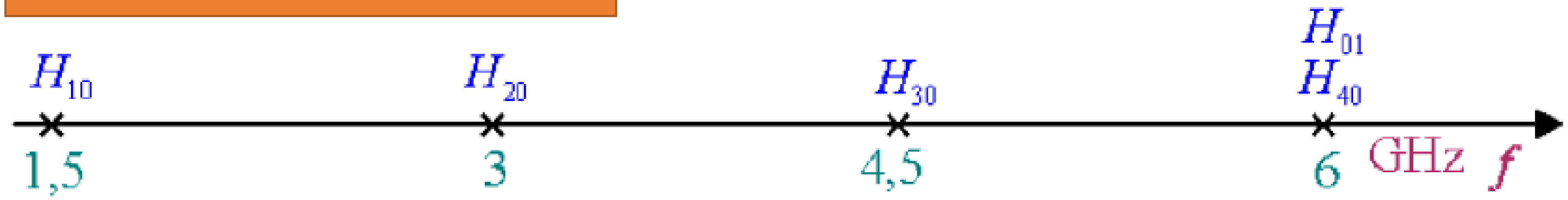
a) $a = b = 10\ [cm]$



b) $a = 10\ [cm]\ \ b = 5\ [cm]$



c) $a = 10\ [cm]\ \ b = 2{,}5\ [cm]$



Jak zmienia się impedancja falowa?

$$Z_{\perp} = \frac{\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}}{\sqrt{1-\frac{\omega_c^2}{\omega^2}}}$$ rodzaje TE

$$Z_{\perp} = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}\sqrt{1-\frac{\omega_c^2}{\omega^2}}$$ rodzaje TM

Zadanie 3.24

Falowód prostokątny wypełnionym powietrzem o bokach a = 2.5 cm, b = 1 cm zakończono zwarciem. Odcinek falowodu o długości d = 1.5 cm, znajdujący się bezpośrednio przed zwarciem, wypełniono dielektrykiem bezstratnym o względnej przenikalności elektrycznej ε_w = 4.64. W falowodzie rozchodzi się fala o rodzaju podstawowym H_{10} i częstotliwości f = 7.5 GHz.

Obliczyć odległość pierwszego minimum (węzła) fali stojącej od płaszczyzny zwarcia.

Podstawowe właściwości falowodów bezstratnych

$$\beta_c^2 + \beta_z^2 = \beta^2 \qquad \beta^2 = \omega^2 \mu\varepsilon$$

$$\omega_c = \frac{\beta_c}{\sqrt{\mu\varepsilon}} \qquad \lambda_c = \frac{2\pi}{\beta_c}$$

$$\beta_z = \sqrt{\beta^2 - \beta_c^2} = \beta\sqrt{1 - \frac{\beta_c^2}{\beta^2}} = \beta\sqrt{1 - \frac{\omega_c^2}{\omega^2}}$$

$$\lambda_z = \frac{2\pi}{\beta_z} = \frac{2\pi}{\beta}\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\beta_c^2}{\beta^2}}} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \frac{\lambda^2}{\lambda_c^2}}} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \frac{\omega_c^2}{\omega^2}}}$$

Zadanie: Narysuj

- TE_{10}
- TE_{01}
- TE_{11}
- TM_{11}

IRTM

Rodzaje TM (E)

$$E_z = E_{z_0} \sin(\beta_x x) \sin(\beta_y y) e^{-\gamma_z z}$$

$$E_x = \frac{-j\beta_z \beta_x}{\beta_c^2} E_{z_0} \cos(\beta_x x) \sin(\beta_y y) e^{-\gamma_z z}$$

$$E_y = \frac{-j\beta_z \beta_y}{\beta_c^2} E_{z_0} \sin(\beta_x x) \cos(\beta_y y) e^{-\gamma_z z}$$

$$H_x = \frac{jE_{z_0} \beta_y \omega\varepsilon}{\beta_c^2} \sin(\beta_x x) \cos(\beta_y y) e^{-\gamma_z z}$$

$$H_y = -\frac{jE_{z_0} \beta_x \omega\varepsilon}{\beta_c^2} \cos(\beta_x x) \sin(\beta_y y) e^{-\gamma_z z}$$

Rodzaje TE (H)

$$H_z = H_{z_0} \cos(\beta_x x) \cos(\beta_y y) e^{-\gamma_z z}$$

$$H_x = \frac{j\beta_z \beta_x}{\beta_c^2} H_{z_0} \sin(\beta_x x) \cos(\beta_y y) e^{-\gamma_z z}$$

$$H_y = \frac{j\beta_z \beta_y}{\beta_c^2} H_{z_0} \cos(\beta_x x) \sin(\beta_y y) e^{-\gamma_z z}$$

$$E_x = \frac{j\beta_y \omega\mu}{\beta_c^2} H_{z_0} \cos(\beta_x x) \sin(\beta_y y) e^{-\gamma_z z}$$

$$E_y = \frac{-j\beta_x \omega\mu}{\beta_c^2} H_{z_0} \sin(\beta_x x) \cos(\beta_y y) e^{-\gamma_z z}$$

Uwaga: możliwe są rodzaje TE_{m0} lub TE_{0n} ale **niemożliwe** są rodzaje TM_{m0} and TM_{0n}.