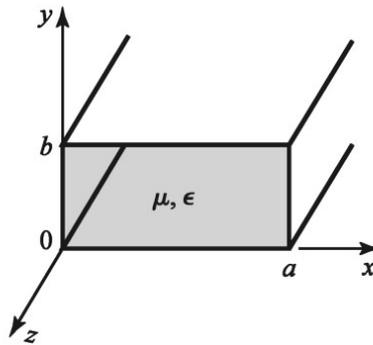


O guia de onda WR-340 mostrado na figura abaixo é constituído por PEC e é preenchido por vácuo. As dimensões são $a=86.36\text{mm}$, $b=43.18\text{mm}$ e o comprimento do guia é $L=734.06\text{mm}$.



- (I) Com base na Tabela 3.2 do Cap I das notas de aula, pede-se para uma frequência de operação $f=2.5\text{GHz}$:
- Determine a matriz $f_{c_{m,n}}$ das frequências de corte dos modos TE_{mn} e TM_{mn} , sendo $m=0,1,2$ e $n=0,1,2$. **Nota:** Não existem modos TE_{00} , TM_{00} , TM_{01} e TM_{10} em uma guia de onda retangular – assim $f_{c_{m,n}}$ não tem sentido físico para valores de m e n referentes a estes modos.
 - Determine a matriz $\sqrt{2} f_{c_{m,n}}$ das frequências de operação mínimas dos modos TE_{mn} e TM_{mn} , sendo $m=0,1,2$ e $n=0,1,2$.
 - Determine a matriz $k_{c_{m,n}}$ dos *cutoff wave numbers* dos modos TE_{mn} e TM_{mn} , sendo $m=0,1,2$ e $n=0,1,2$.
 - Determine a matriz $\beta_{m,n}$ das constantes de propagação dos modos TE_{mn} e TM_{mn} , $m=0,1,2$ e $n=0,1,2$. Identifique os modos evanescentes.
 - Determine a matriz $\lambda_{c_{m,n}}$ dos comprimentos de onda de corte dos modos TE_{mn} e TM_{mn} , $m=0,1,2$ e $n=0,1,2$.
 - Determine a matriz $\lambda_{g_{m,n}}$ dos comprimentos de onda guiados dos modos TE_{mn} e TM_{mn} , $m=0,1,2$ e $n=0,1,2$.
 - Determine a matriz $Z_{TE_{m,n}}$ das impedâncias de onda do modo TE_{mn} , $m=0,1,2$ e $n=0,1,2$.
 - Determine a matriz $Z_{TM_{m,n}}$ das impedâncias de onda do modo TM_{mn} , $m=0,1,2$ e $n=0,1,2$.
- (II) Com base na Tabela 3.2 do Cap I das notas de aula, refaça (I) acima para uma frequência de operação $f=7.0\text{GHz}$.
- (III) Modele a guia de onda em questão em um simulador FDTD na frequência de operação $f=2.5\text{GHz}$.
- Identifique os primeiros k -ésimos modos não-evanescentes ou evanescentes na frequência de operação, sendo $k=1,2,\dots,8$. Os modos devem ser ordenados de acordo com o valor crescente das frequências de corte f_{c_k} identificadas pelo simulador FDTD.
 - Compare as frequências de corte identificadas pelo simulador em a) com a matriz $f_{c_{m,n}}$ obtida no item a) de (I) acima.
 - Usando o simulador FDTD, obtenha e plote a distribuição espacial dos campos E e H no plano xy da porta de entrada (porta 1) da guia de onda para cada modo identificado em a). Compare a distribuição espacial obtida do simulador FDTD com a distribuição espacial de E e H mostradas no plano de corte “3” da Figura 3.9 do Cap I das notas de aula. Verifique a consistência dos índices m e n dos modos TE_{mn} e TM_{mn} da Figura 3.9 com as frequências de corte obtidas na matriz $f_{c_{m,n}}$ obtida no item a) de (I) acima e com a distribuição dos campos E e H obtidas via simulador FDTD.
 - Para o modo TE não-evanescente dominante, identifique um possível método de excitação H (espira) e/ou E (monopolo), desenhando simplificada o método de excitação na distribuição espacial obtida em c).
 - Para o modo TM não-evanescente dominante, identifique um possível método de excitação H (espira) e/ou E (monopolo), desenhando simplificada o método de excitação na distribuição espacial obtida em c).
 - Para o modo TE não-evanescente dominante, plote a distribuição em perspectiva (3D) dos campos E e H.
 - Para o modo TM não-evanescente dominante, plote a distribuição em perspectiva (3D) dos campos E e H.
 - Plote o gráfico em dB da transmitância $S_2(k), 1(k)$ entre porta 1 e 2 para o modo dominante não-evanescente de ordem k , sendo $k=1,2,\dots,8$. Identifique a frequência de corte f_c deste k -ésimo modo dominante no respectivo gráfico
 - Plote o gráfico em dB da transmitância $S_2(k), 1(k)$ entre porta 1 e 2 para o primeiro k -ésimo modo evanescente, sendo $k=1,2,\dots,8$. Identifique a frequência de corte deste k -ésimo modo evanescente no respectivo gráfico.
- (IV) Refaça (III) para uma frequência de operação $f=7.0\text{GHz}$.

(I) - solução:

$$\epsilon_r := 1 \quad a := 86.36 \cdot \text{mm} \quad b := 43.18 \cdot \text{mm} \quad f := 2.5 \text{GHz} \quad \underline{L} := 8.5 \cdot a \quad L = 734.06 \cdot \text{mm}$$

$$\underline{N} := 2 \quad m_x := 0, 1 \dots N \quad n_y := 0, 1 \dots N$$

O desenvolvimento analítico que segue baseia-se na Tabela 3.2 do Cap I das notas de aula:

$$k := 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sqrt{\mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \quad k = 52.384 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{m}}$$

$$\eta := \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r}} \quad \eta = 376.819 \Omega$$

a) Frequencia de corte dos modos TE_{mn} e TM_{mn} , $m=0,1,\dots,N=2$ e $n=0,1,\dots,N=2$:

$$f_{c_{m_x, n_y}} := \frac{c}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\epsilon_r}} \cdot \sqrt{\left(\frac{m_x \cdot \pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n_y \cdot \pi}{b}\right)^2}$$

	0	1	2	
$f_c =$	0	3.471	6.943	·GHz
0	0	3.471	6.943	
1	1.736	3.881	7.157	
2	3.471	4.909	7.762	

Nota: Não existem modos TE_{00} , TM_{00} , TM_{10} e TM_{01} em uma guia de onda retangular - assim $f_{c_{m,n}}$ não tem sentido físico para valores de m e n referentes a estes modos. Esta observação é válida também para $k_{c_{m,n}}$, $\beta_{m,n}$, $\lambda_{c_{m,n}}$, $\lambda_{g_{m,n}}$, $ZTE_{m,n}$ e $ZTM_{m,n}$, obtidos abaixo.

b) Freq. mínima de operação dos modos TE_{mn} e TM_{mn} , $m=0,1,\dots,N=2$ e $n=0,1,\dots,N=2$:

	0	1	2	
$\sqrt{2} \cdot f_c =$	0	4.909	9.819	·GHz
0	0	4.909	9.819	
1	2.455	5.489	10.121	
2	4.909	6.943	10.978	

c) Cutoff wave number dos modos TE_{mn} e TM_{mn} , $m=0,1,\dots,N=2$ e $n=0,1,\dots,N=2$:

$$k_{c_{m_x, n_y}} := \sqrt{\left(\frac{m_x \cdot \pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n_y \cdot \pi}{b}\right)^2}$$

	0	1	2	
$k_c =$	0	72.756	145.511	· rad
0	0	72.756	145.511	m
1	36.378	81.343	149.99	
2	72.756	102.892	162.687	

d) Constante de propagação dos modos TE_{mn} e TM_{mn} , $m=0,1,\dots,N=2$ e $n=0,1,\dots,N=2$:

$$\beta_{m_x, n_y} := \sqrt{k^2 - (k_{c_{m_x, n_y}})^2}$$

	0	1	2	
$\beta =$	52.384	50.491i	135.755i	· rad
0	52.384	50.491i	135.755i	m
1	37.692	62.231i	140.545i	
2	50.491i	88.559i	154.022i	

Nota: β imaginário \Rightarrow modo evanescente em $f = 2.5 \cdot \text{GHz}$

e) λ de corte dos modos TE_{mn} e TM_{mn} , $m=0,1,\dots,N=2$ e $n=0,1,\dots,N=2$:

$$\lambda_{c_{mx,ny}} := \text{if} \left(k_{c_{mx,ny}} \neq 0 \frac{\text{rad}}{\text{m}}, \frac{2 \cdot \pi}{k_{c_{mx,ny}}}, \infty \text{ m} \right)$$

	0	1	2	
$\lambda_c =$	1.10307	0.086	0.043	m
0	0.173	0.077	0.042	
1	0.086	0.061	0.039	
2				

f) λ guiado dos modos TE_{mn} e TM_{mn} , $m=0,1,\dots,N=2$ e $n=0,1,\dots,N=2$:

$$\lambda_{g_{mx,ny}} := \frac{2\pi}{\beta_{mx,ny}}$$

	0	1	2	
$\lambda_g =$	0.12	-0.124i	-0.046i	m
0	0.167	-0.101i	-0.045i	
1	-0.124i	-0.071i	-0.041i	
2				

Nota: λ imaginário \Rightarrow modo evanescente em $f = 2.5 \cdot \text{GHz}$

g) Impedância de onda do modo TE_{mn} , $m=0,1,\dots,N=2$ e $n=0,1,\dots,N=2$:

$$Z_{TE_{mx,ny}} := \frac{\eta \cdot k}{\beta_{mx,ny}}$$

	0	1	2	
$Z_{TE} =$	376.819	-390.945i	-145.403i	Ω
0	523.694	-317.193i	-140.448i	
1	-390.945i	-222.893i	-128.158i	
2				

Nota: Z imaginário \Rightarrow modo evanescente em $f = 2.5 \cdot \text{GHz}$

h) Impedância de onda do modo TM_{mn} , $m=0,1,\dots,N=2$ e $n=0,1,\dots,N=2$:

$$Z_{TM_{mx,ny}} := \frac{\eta \cdot \beta_{mx,ny}}{k}$$

	0	1	2	
$Z_{TM} =$	376.819	363.204i	976.549i	Ω
0	271.137	447.655i	1.011i · 10 ³	
1	363.204i	637.046i	1.108i · 10 ³	
2				

Nota: Z imaginário \Rightarrow modo evanescente em $f = 2.5 \cdot \text{GHz}$

(II) - solução:

$$\epsilon_r := 1 \quad a := 86.36 \text{ mm} \quad b := 43.18 \text{ mm} \quad f := 7.0 \text{ GHz} \quad L := 8.5 \cdot a \quad L = 734.06 \text{ mm}$$

$$N := 2 \quad m_x := 0, 1..N \quad n_y := 0, 1..N$$

O desenvolvimento analítico que segue baseia-se na Tabela 3.2 do Cap I das notas de aula:

$$k := 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sqrt{\mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \quad k = 146.674 \frac{\text{rad}}{\text{m}}$$

$$\eta := \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r}} \quad \eta = 376.819 \Omega$$

a) Frequencia de corte dos modos TE_{mn} e TM_{mn} , $m=0,1,\dots,N=2$ e $n=0,1,\dots,N=2$:

$$f_{c_{m_x, n_y}} := \frac{c}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\epsilon_r}} \cdot \sqrt{\left(\frac{m_x \cdot \pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n_y \cdot \pi}{b}\right)^2}$$

	0	1	2	
$f_c =$	0	3.471	6.943	·GHz
0	0	3.471	6.943	
1	1.736	3.881	7.157	
2	3.471	4.909	7.762	

Nota: Não existem modos TE_{00} , TM_{00} , TM_{10} e TM_{01} em uma guia de onda retangular - assim $f_{c_{m,n}}$ não tem sentido físico para valores de m e n referentes a estes modos. Esta observação é válida também para $kc_{m,n}$, $\beta_{m,n}$, $\lambda_{c_{m,n}}$, $\lambda_{g_{m,n}}$, $ZTE_{m,n}$ e $ZTM_{m,n}$, obtidos abaixo.

b) Freq. mínima de operação dos modos TE_{mn} e TM_{mn} , $m=0,1,\dots,N=2$ e $n=0,1,\dots,N=2$:

	0	1	2	
$\sqrt{2} \cdot f_c =$	0	4.909	9.819	·GHz
0	0	4.909	9.819	
1	2.455	5.489	10.121	
2	4.909	6.943	10.978	

c) Cutoff wave number dos modos TE_{mn} e TM_{mn} , $m=0,1,\dots,N=2$ e $n=0,1,\dots,N=2$:

$$k_{c_{m_x, n_y}} := \sqrt{\left(\frac{m_x \cdot \pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n_y \cdot \pi}{b}\right)^2}$$

	0	1	2	
$k_c =$	0	72.756	145.511	· $\frac{\text{rad}}{\text{m}}$
0	0	72.756	145.511	
1	36.378	81.343	149.99	
2	72.756	102.892	162.687	

d) Constante de propagação dos modos TE_{mn} e TM_{mn} , $m=0,1,\dots,N=2$ e $n=0,1,\dots,N=2$:

$$\beta_{m_x, n_y} := \sqrt{k^2 - (k_{c_{m_x, n_y}})^2}$$

	0	1	2	
$\beta =$	146.674	127.358	18.434	· $\frac{\text{rad}}{\text{m}}$
0	146.674	127.358	18.434	
1	142.092	122.052	31.361i	
2	127.358	104.53	70.382i	

Nota: β imaginário \Rightarrow modo evanescente em $f = 7 \cdot \text{GHz}$

e) λ de corte dos modos TE_{mn} e TM_{mn} , $m=0,1,\dots,N=2$ e $n=0,1,\dots,N=2$:

$$\lambda_{c_{mx,ny}} := \text{if} \left(k_{c_{mx,ny}} \neq 0 \frac{\text{rad}}{\text{m}}, \frac{2 \cdot \pi}{k_{c_{mx,ny}}}, \infty \text{ m} \right)$$

	0	1	2	
$\lambda_c =$	0	1.10 ³⁰⁷	0.086	0.043
	1	0.173	0.077	0.042
	2	0.086	0.061	0.039

f) λ guiado dos modos TE_{mn} e TM_{mn} , $m=0,1,\dots,N=2$ e $n=0,1,\dots,N=2$:

$$\lambda_{g_{mx,ny}} := \frac{2\pi}{\beta_{mx,ny}}$$

	0	1	2	
$\lambda_g =$	0	0.043	0.049	0.341
	1	0.044	0.051	-0.2i
	2	0.049	0.06	-0.089i

Nota: λ imaginário \Rightarrow modo evanescente em $f = 7 \cdot \text{GHz}$

g) Impedância de onda do modo TE_{mn} , $m=0,1,\dots,N=2$ e $n=0,1,\dots,N=2$:

$$Z_{TE_{mx,ny}} := \frac{\eta \cdot k}{\beta_{mx,ny}}$$

	0	1	2	
$Z_{TE} =$	0	376.819	433.973	$2.998 \cdot 10^3$
	1	388.973	452.839	$-1.762i \cdot 10^3$
	2	433.973	528.744	$-785.286i$

Nota: Z imaginário \Rightarrow modo evanescente em $f = 7 \cdot \text{GHz}$

h) Impedância de onda do modo TM_{mn} , $m=0,1,\dots,N=2$ e $n=0,1,\dots,N=2$:

$$Z_{TM_{mx,ny}} := \frac{\eta \cdot \beta_{mx,ny}}{k}$$

	0	1	2	
$Z_{TM} =$	0	376.819	327.193	47.358
	1	365.046	313.562	80.57i
	2	327.193	268.548	180.817i

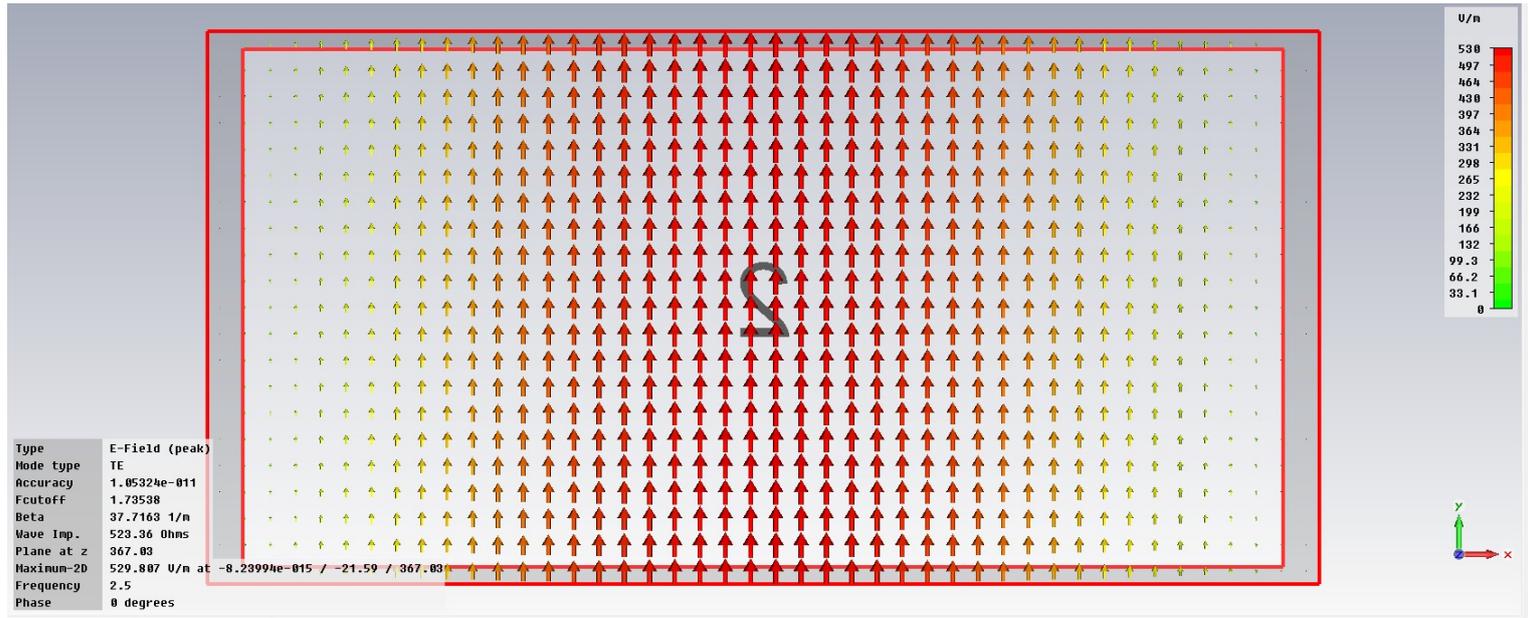
Nota: Z imaginário \Rightarrow modo evanescente em $f = 7 \cdot \text{GHz}$

(III) – solução:

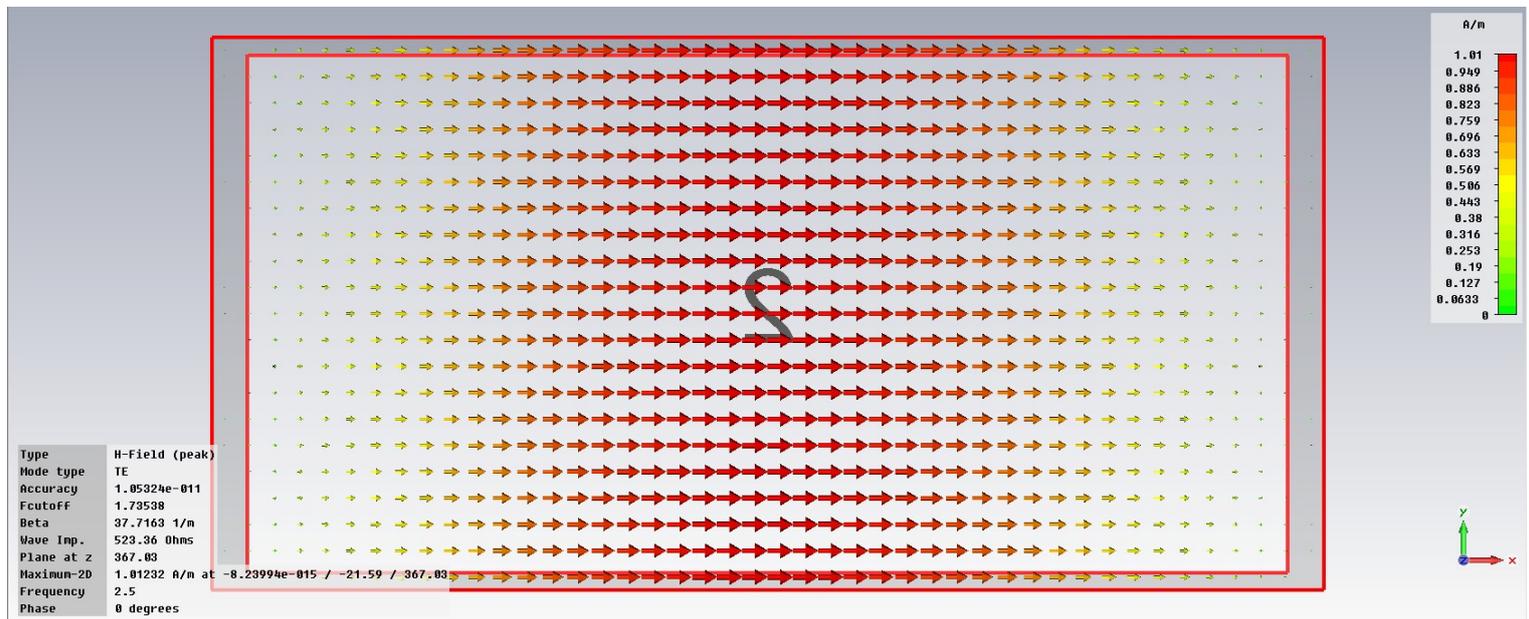
(III) Modele a guia de onda em questão em um simulador FDTD na frequência de operação $f=2.5\text{GHz}$.

a) Identifique os primeiros k -ésimos modos não-evanescentes ou evanescentes na frequência de operação, sendo $k=1,2,\dots, 8$. Os modos devem ser ordenados de acordo com o valor crescente das frequências de corte f_{c_k} identificadas pelo simulador FDTD.

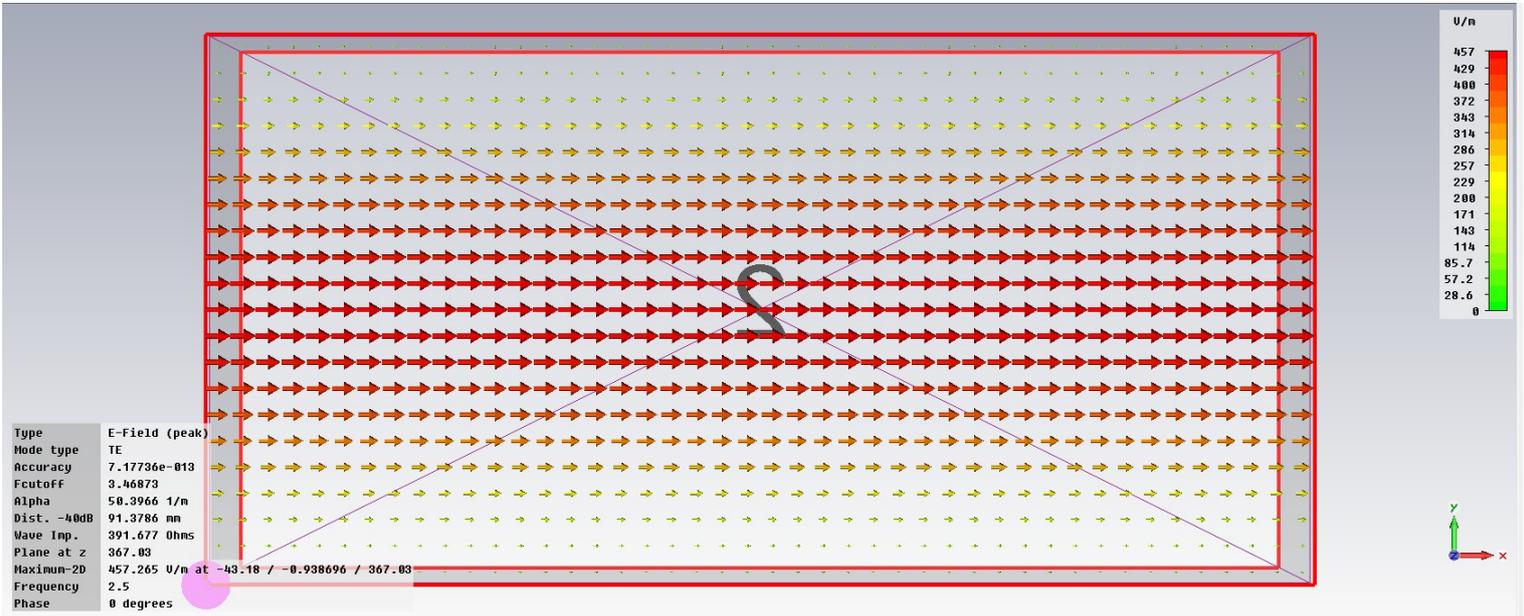
e1:



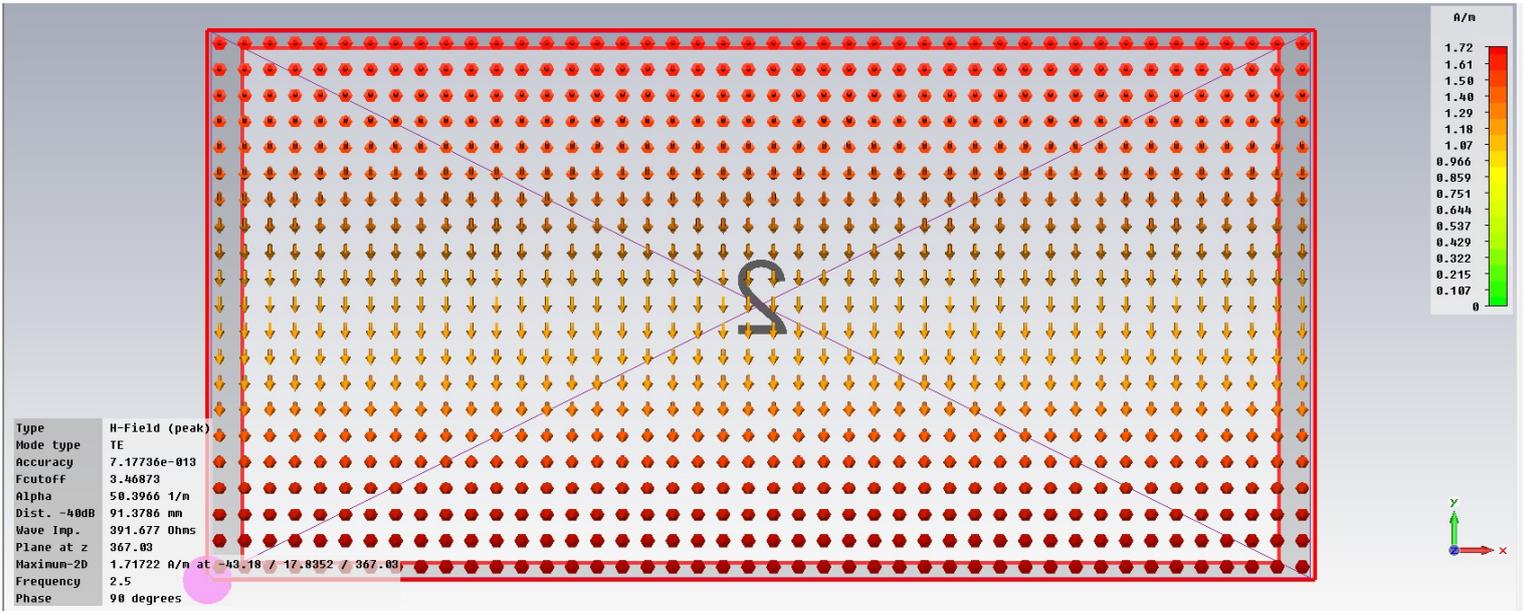
h1:



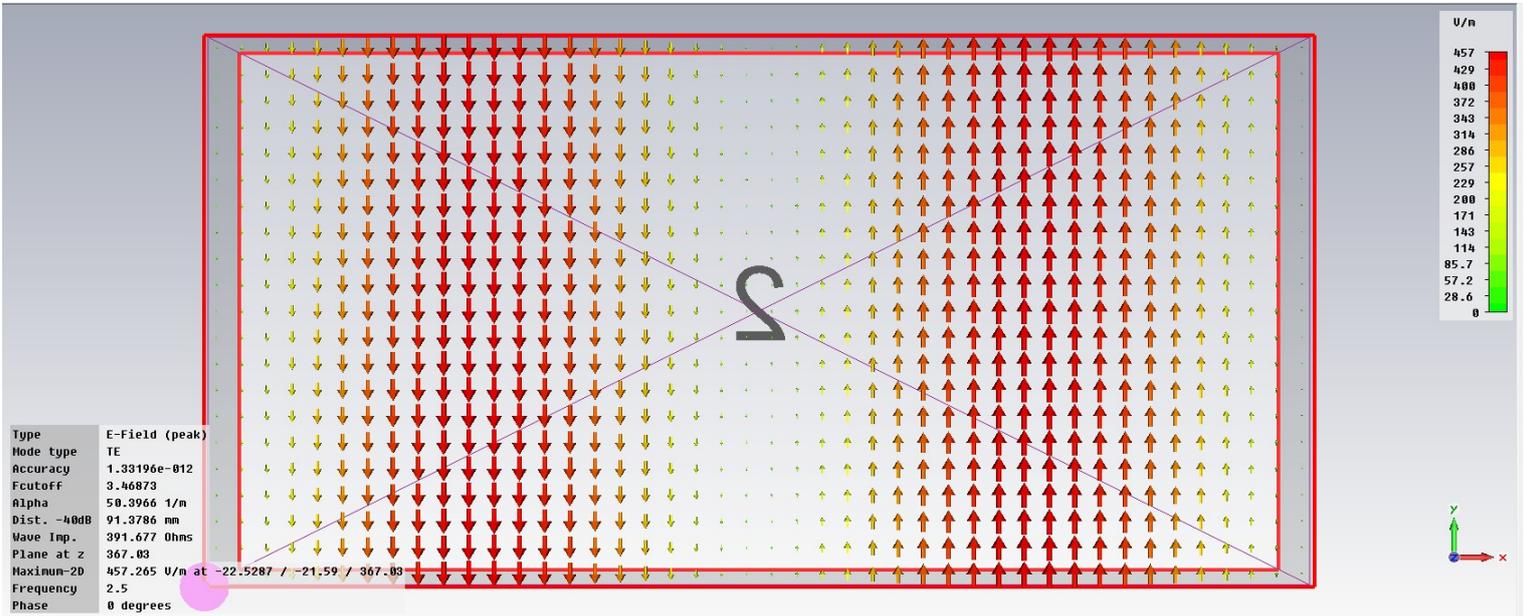
e2:



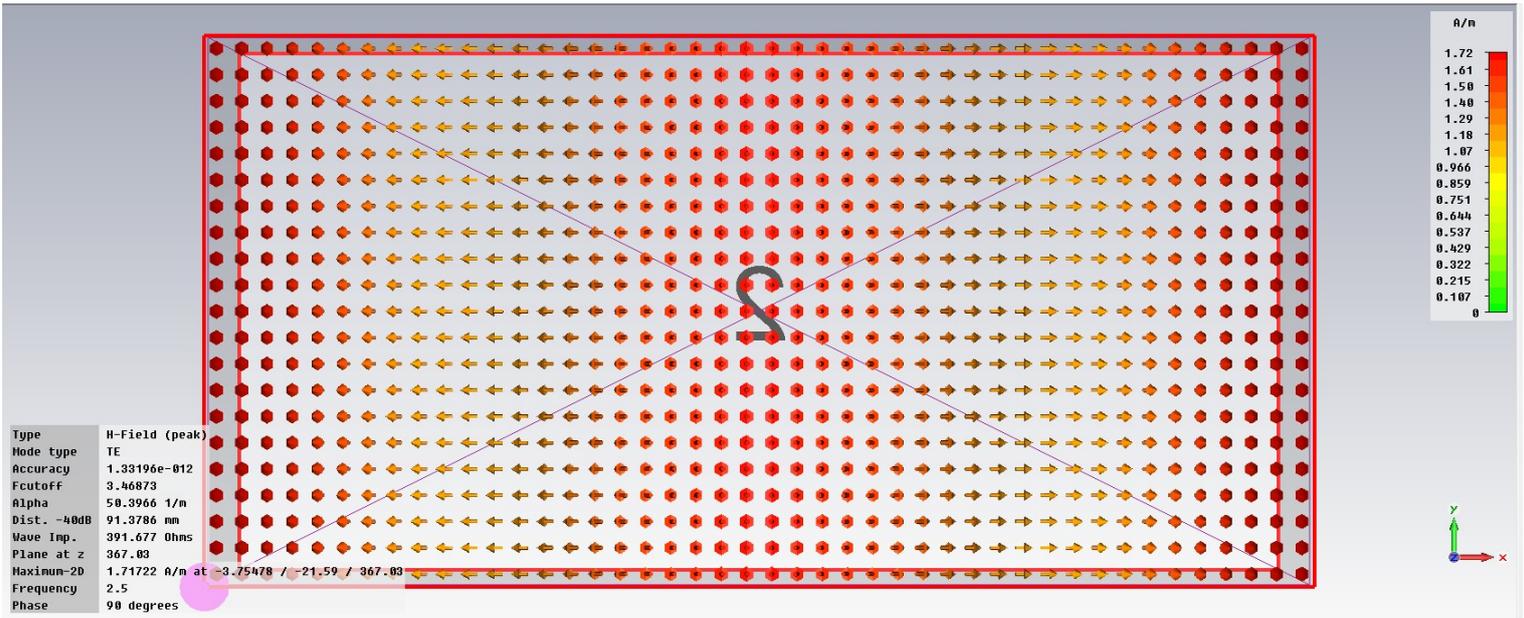
h2:



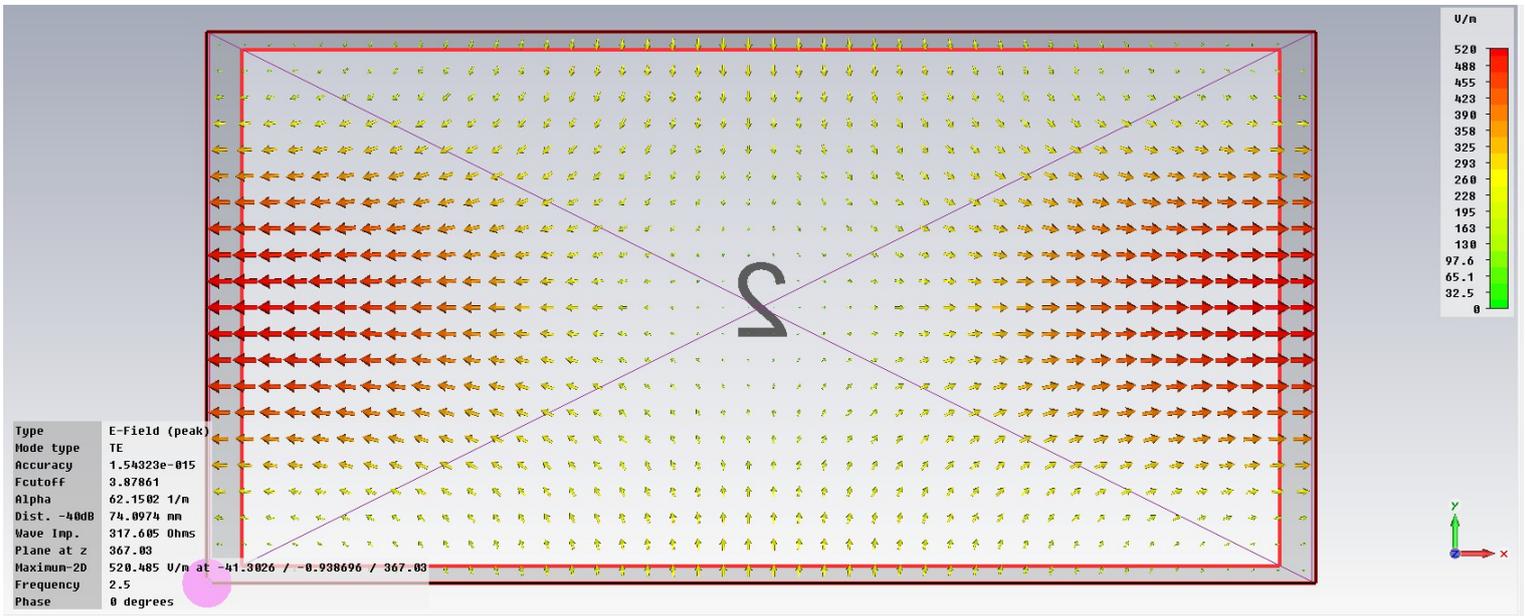
e3:



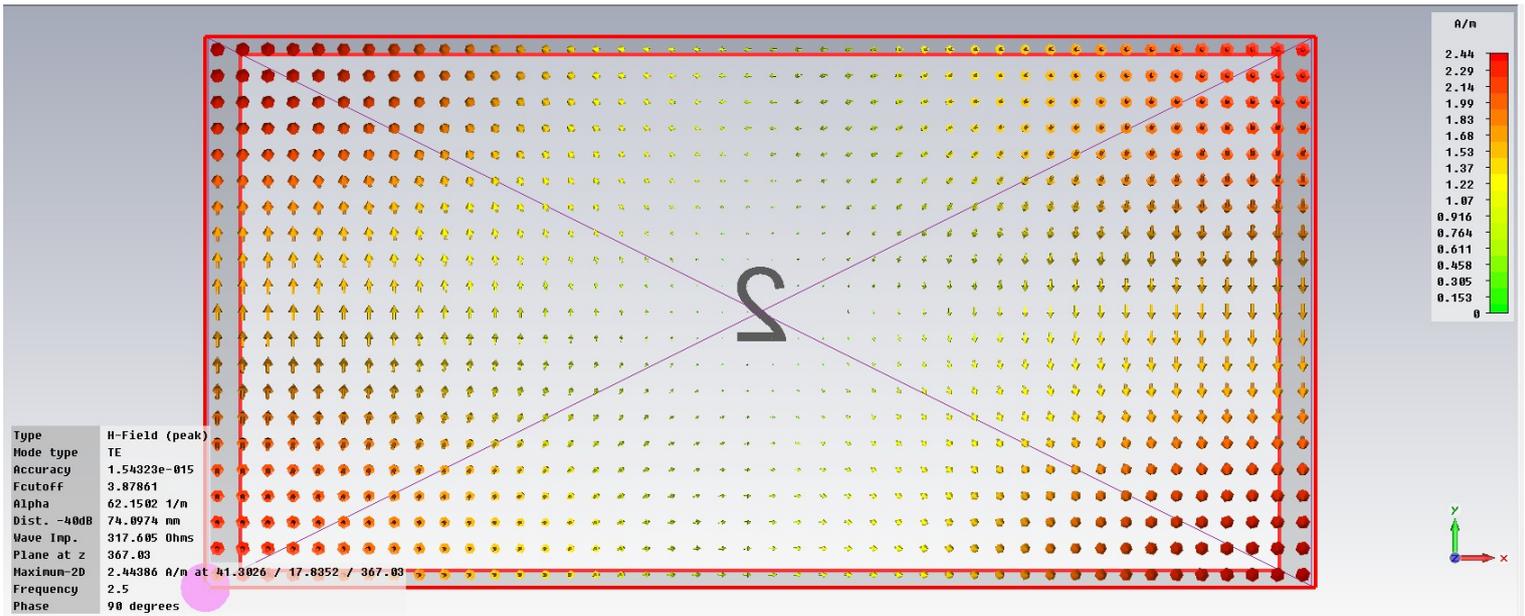
h3:



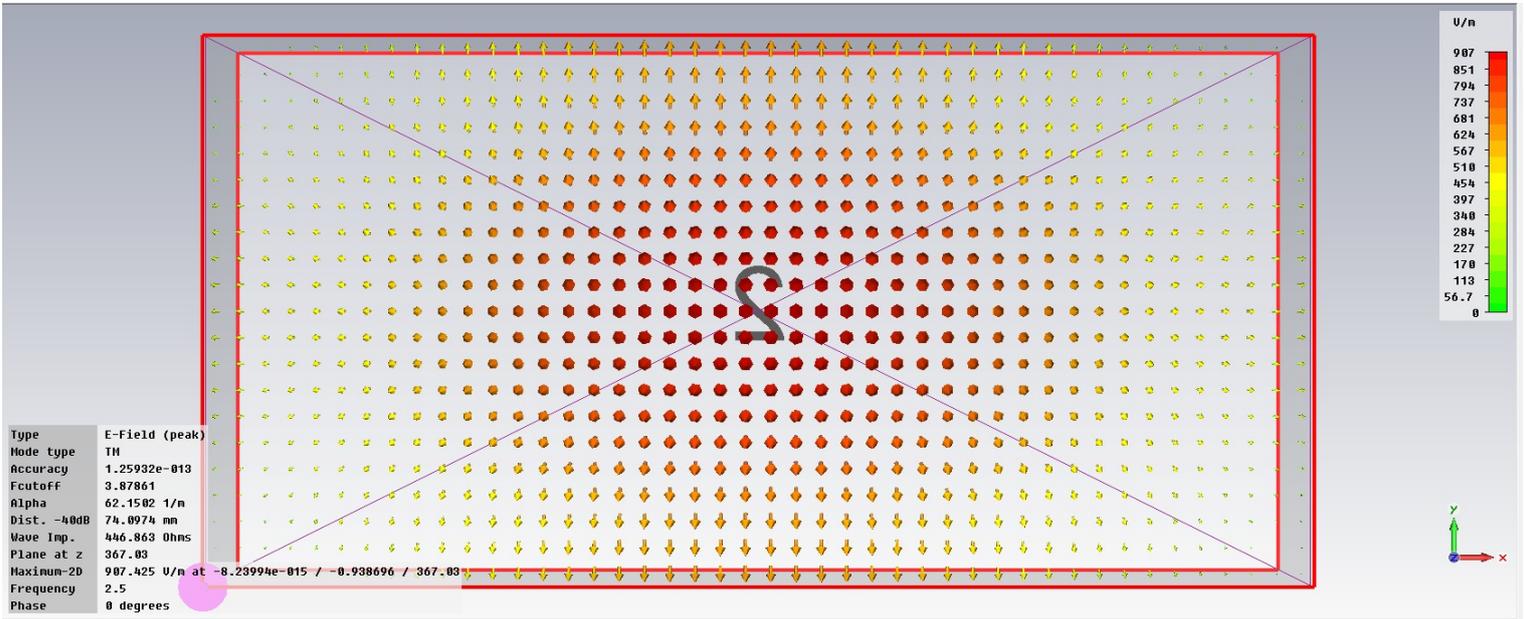
e4:



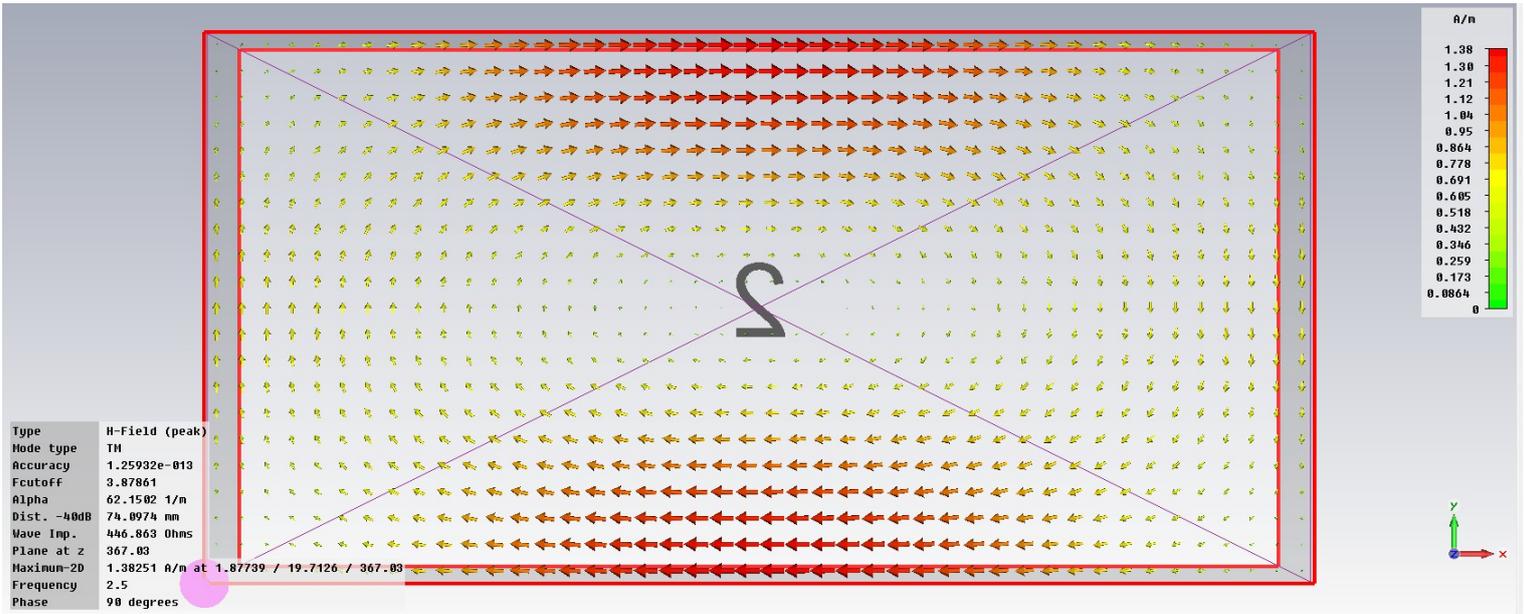
h4:



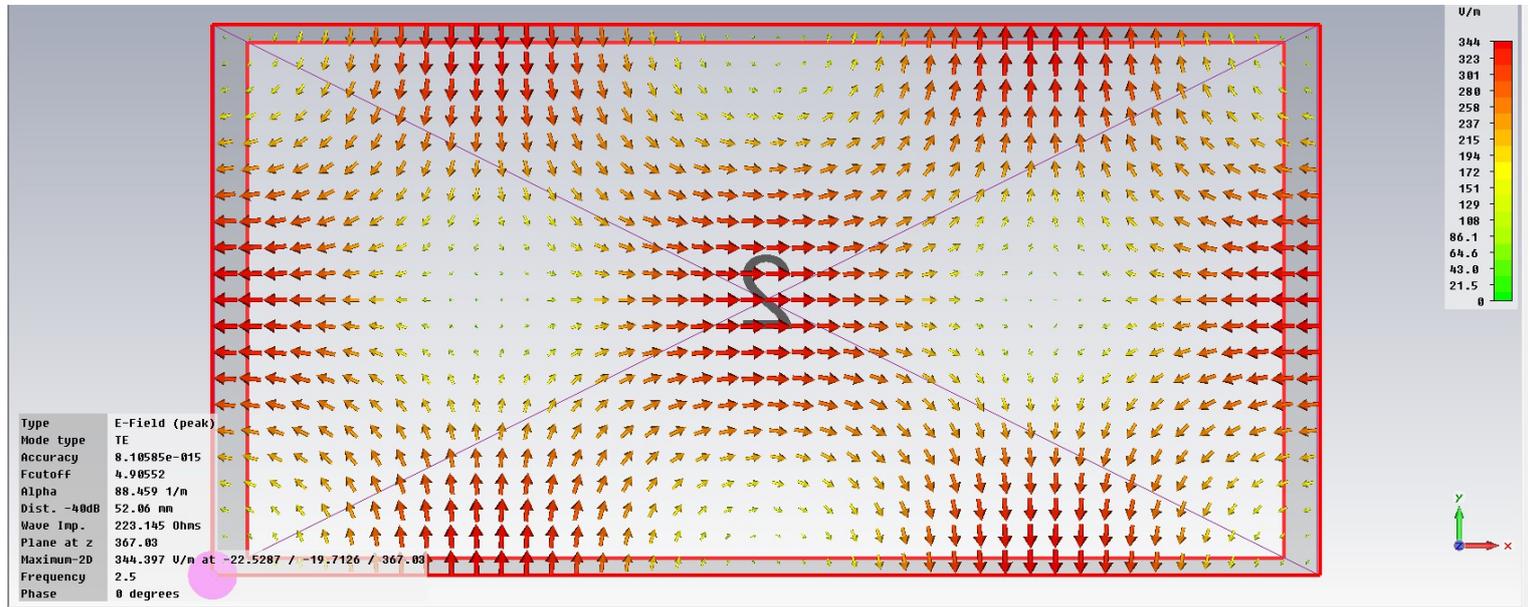
e5:



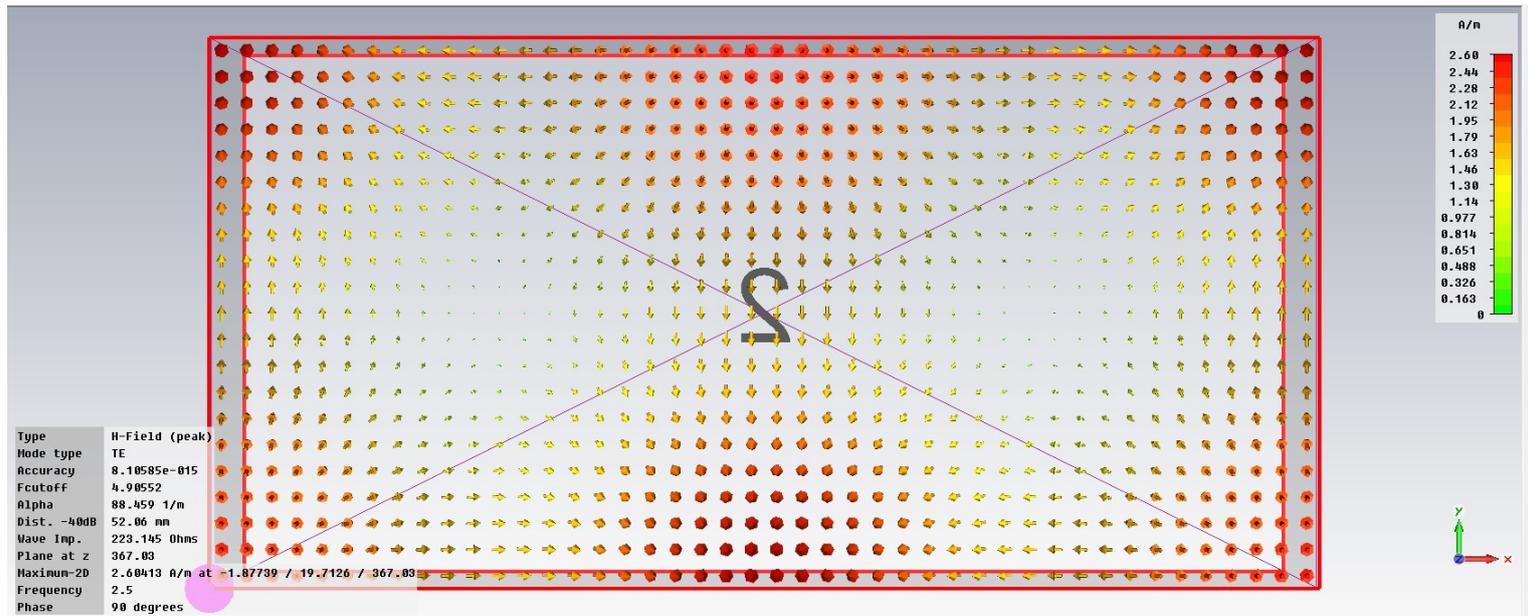
h5:



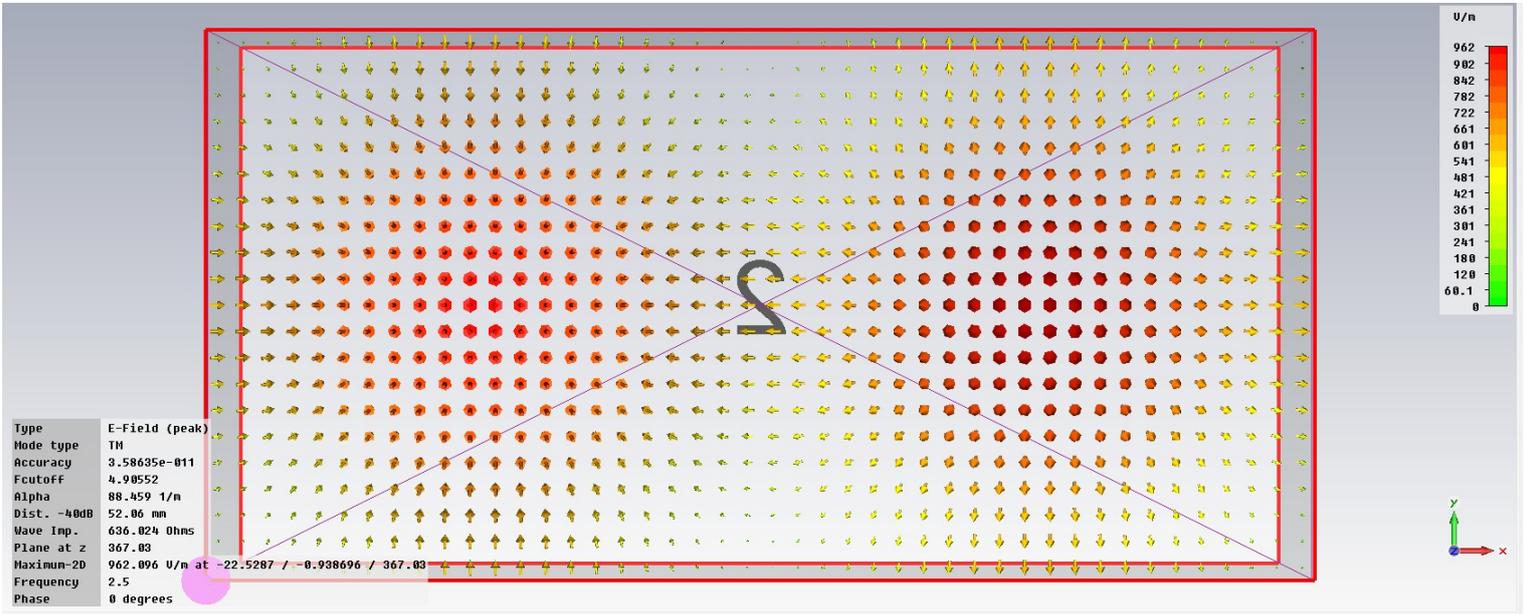
e6:



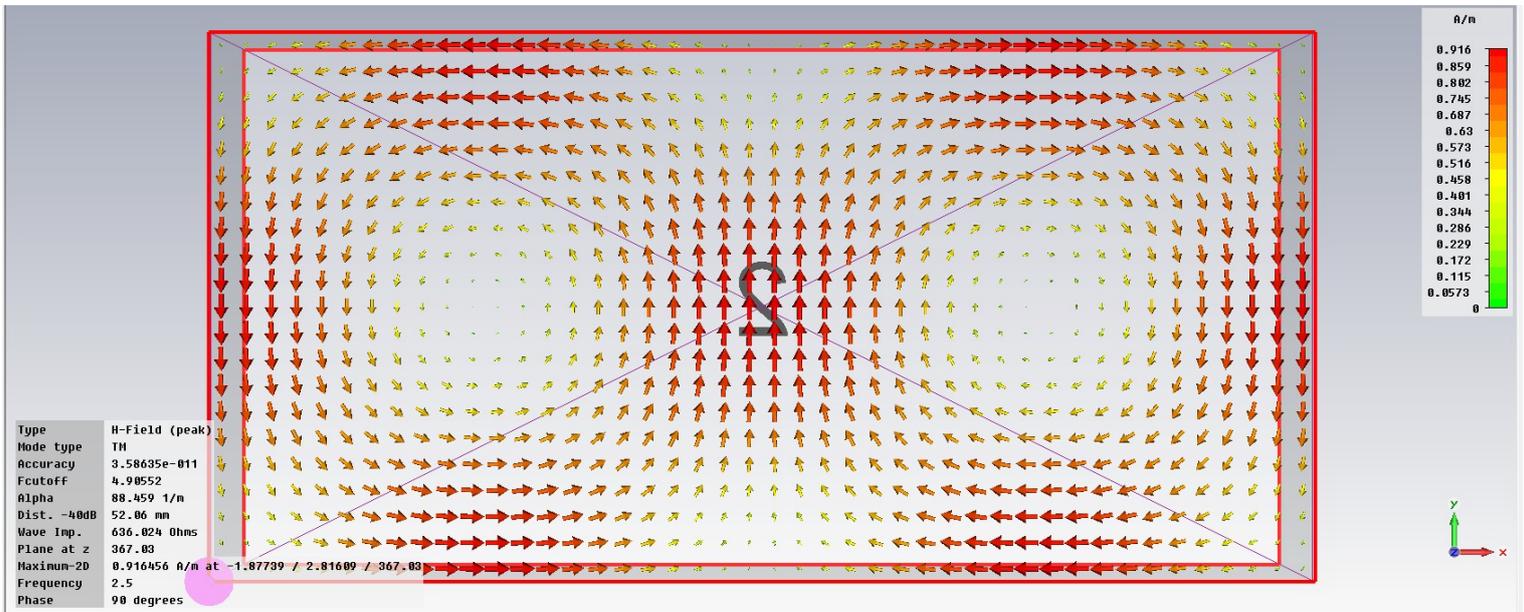
h6:



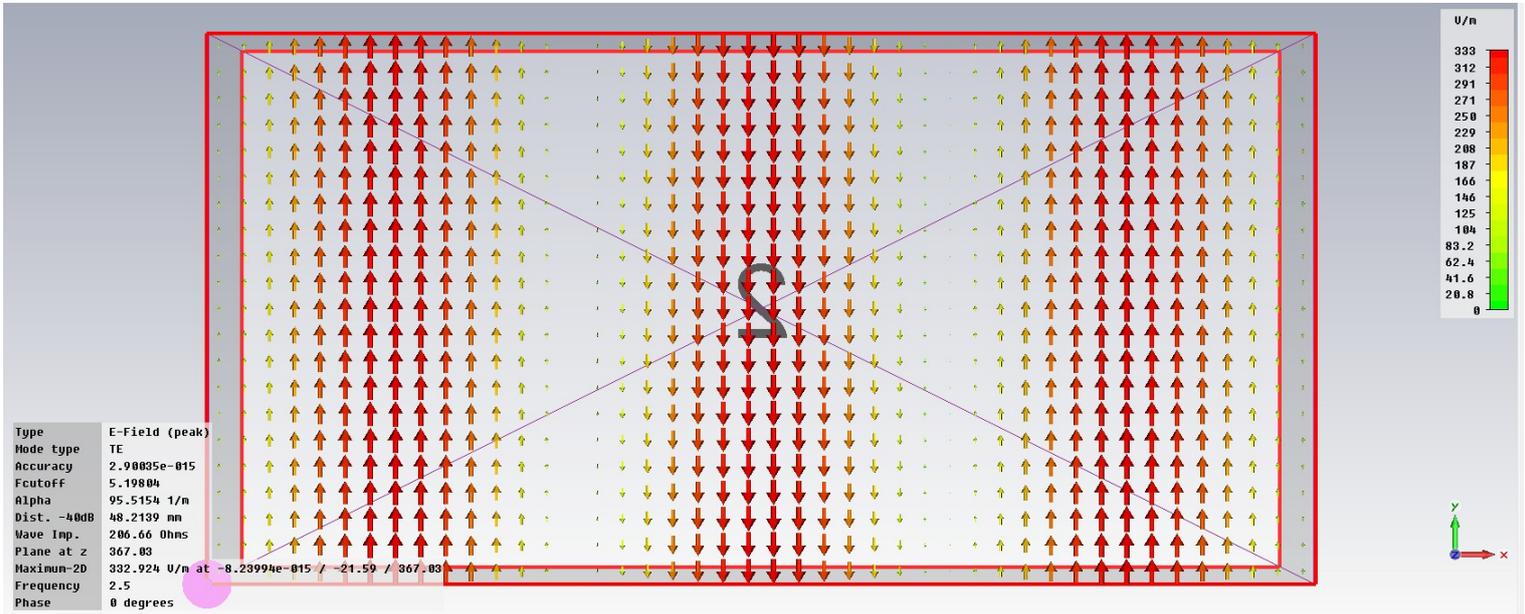
e7:



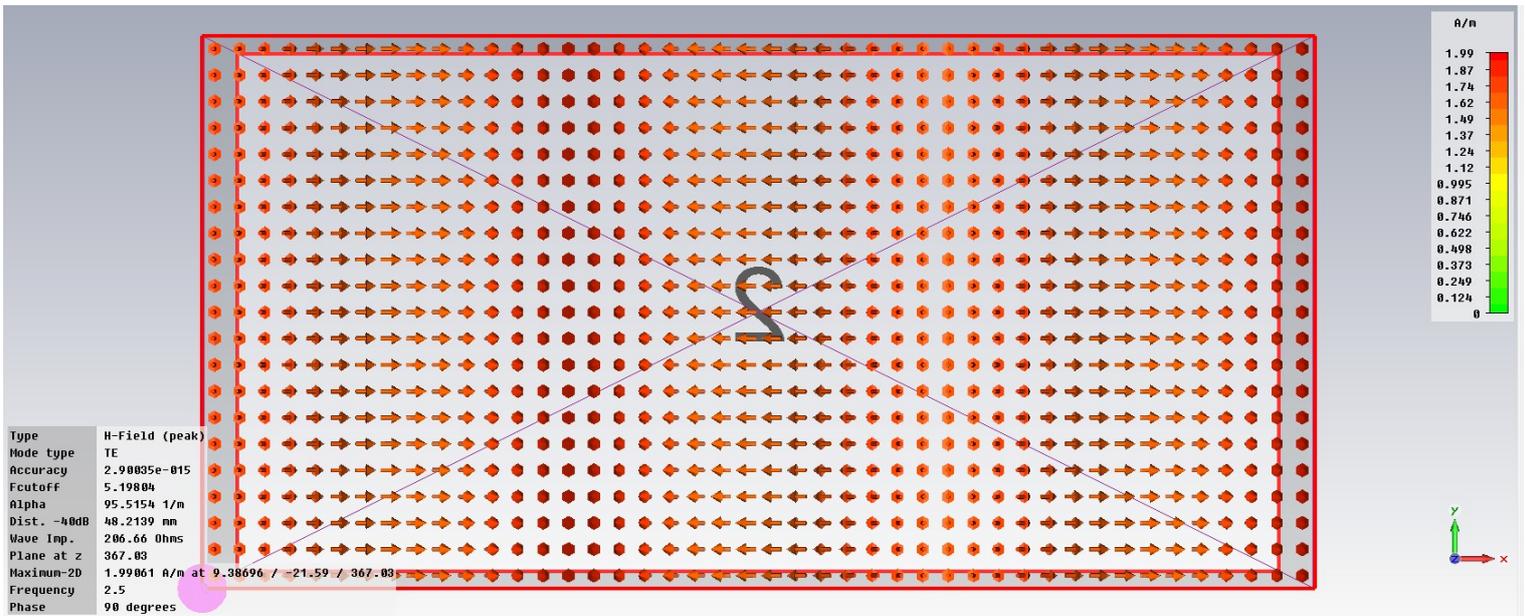
h7:



e8:



h8:



b) Compare as frequências de corte identificadas pelo simulador em a) com a matriz $f_{c_{m,n}}$ obtida no item a) de (I).

$$f_{c_{m,n}} = \frac{c}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}$$

	0	1	2	3	
0	0	3.471	6.943	10.414	-GHz
1	1.736	3.881	7.157	10.558	
2	3.471	4.909	7.762	10.978	
3	5.207	6.258	8.679	11.644	

Nota: A matriz $f_{c_{m,n}}$ foi aumentada para 4x4 para contemplar o modo TE_{30} .

Ordem k do modo obtido no simulador FDTD (ordenado em ordem crescente de fc):	fc obtida no simulador FDTD [GHz]:	fc obtida da matriz $f_{c_{m,n}}$ [GHz]:	Modo (TE/TM) identificado pelo simulador FDTD e índices m e n do k-ésimo modo, inferido da matriz $f_{c_{m,n}}$ acima em comparação com a fc obtida no simulador:
1	1.73538	1.736	TE_{10}
2	3.46873	3.471	TE_{01}
3	3.46873	3.471	TE_{20}
4	3.87861	3.881	TE_{11}
5	3.87861	3.881	TM_{11}
6	4.90552	4.909	TE_{21}
7	4.90552	4.909	TM_{21}
8	5.19804	5.207	TE_{30}

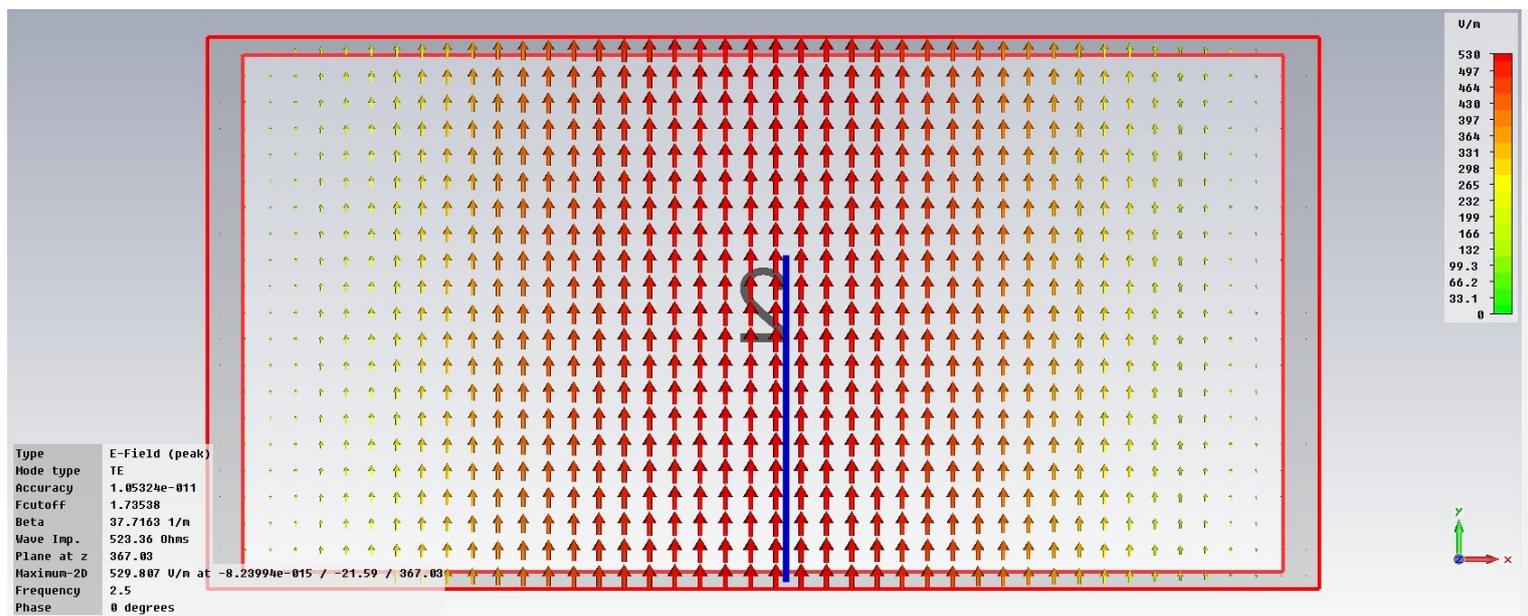
c) Usando o simulador FDTD, obtenha e plote a distribuição espacial dos campos E e H no plano xy da porta de entrada (porta 1) da guia de onda para cada modo identificado em a). Compare a distribuição espacial obtida do simulador FDTD com a distribuição espacial de E e H mostradas no plano de corte "3" da Figura 3.9 do Cap I das notas de aula. Verifique a consistência dos índices m e n dos modos TE_{mn} e TM_{mn} da Figura 3.9 com as frequências de corte obtidas na matriz $f_{c_{m,n}}$ obtida no item a) de (I) acima e com a distribuição dos campos E e H obtidas via simulador FDTD.

Vide gráficos dos 8 modos de E e H no plano xy incluídos na resposta de a) e tabela na resposta de b).

d) Para o modo TE não-evanescente dominante, identifique um possível método de excitação H (espira) e/ou E (monopolo), desenhando simplificada o método de excitação na distribuição espacial obtida em c).

guiado

O modo TE_{10} (único modo não-evanescente em $f=2.5\text{GHz}$) pode ser excitado por um monopolo localizado na coordenada z a $\lambda/4$ da parede de fundo do guia, alinhado com o campo E e na coordenada x de maior intensidade de E conforme indicado em azul abaixo:

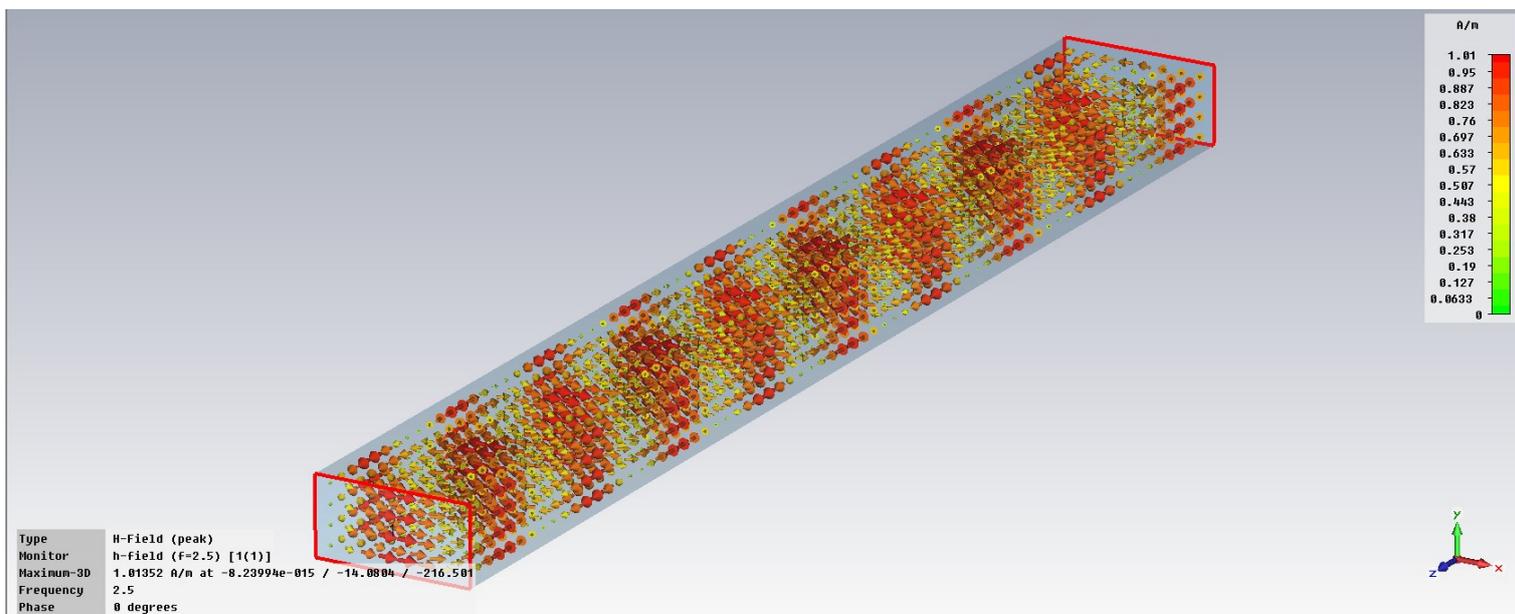
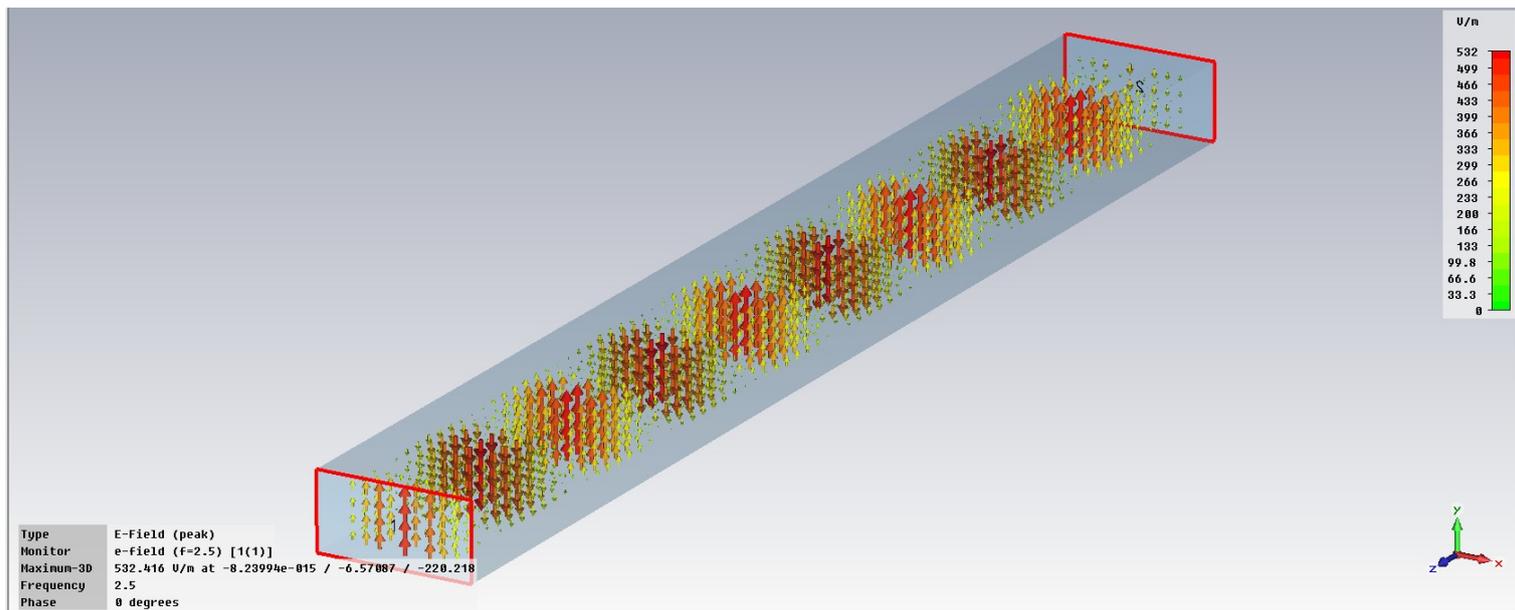


e) Para o modo TM não-evanescente dominante, identifique um possível método de excitação H (espira) e/ou E (monopolo), desenhando simplificada o método de excitação na distribuição espacial obtida em c).

O modo TE_{10} é o único modo não-evanescente em $f=2.5\text{GHz}$, logo não há modo TM que possa ser excitado nesta frequência.

f) Para o modo TE não-evanescente dominante, plote a distribuição em perspectiva (3D) dos campos E e H.

O modo de ordem $k=1$ (TE_{10}) é o modo TE dominante, pois tem a menor f_c dentre os modos TE. Ele é não-evanescente pois $f_c < f = 2.5\text{GHz}$, e, portanto se propaga ao longo da coordenada z conforme mostram os gráficos de E e H abaixo:

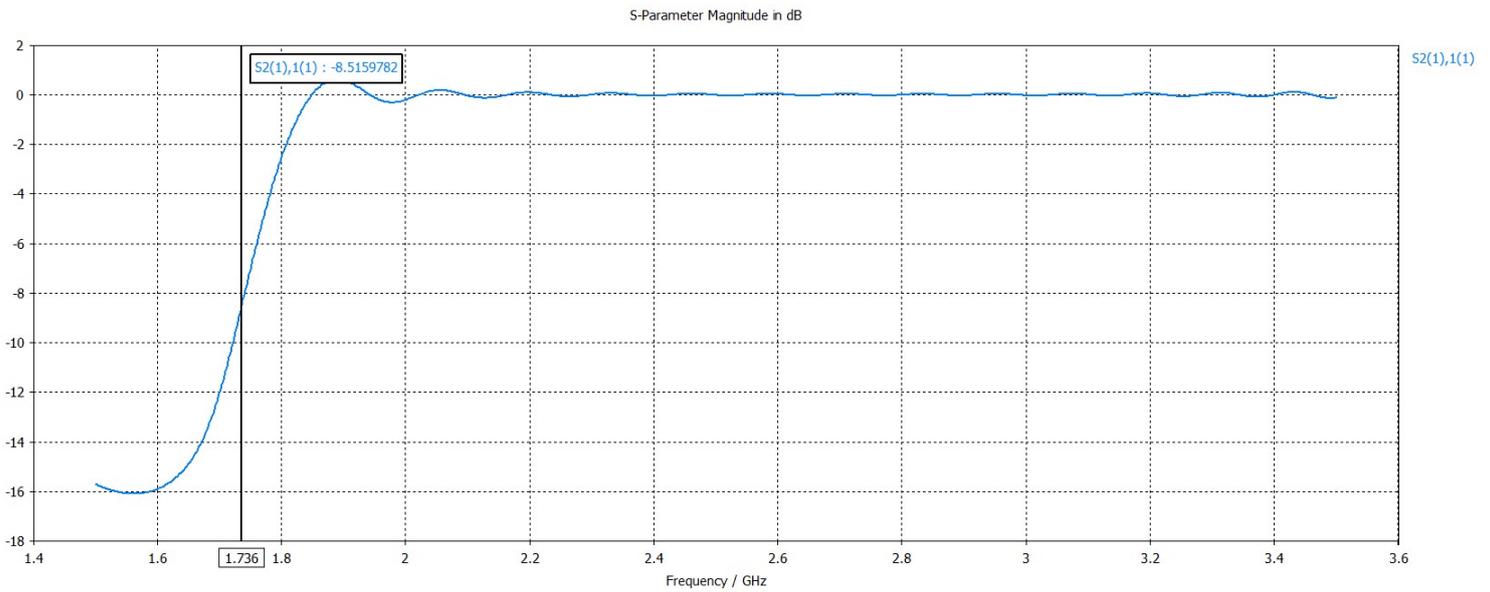


g) Para o modo TM não-evanescente dominante, plote a distribuição em perspectiva (3D) dos campos E e H.

O modo TE_{10} é o único modo não-evanescente em $f=2.5\text{GHz}$, logo não há como um modo TM se propagar ao longo da coordenada z da guia de onda nesta frequência de operação.

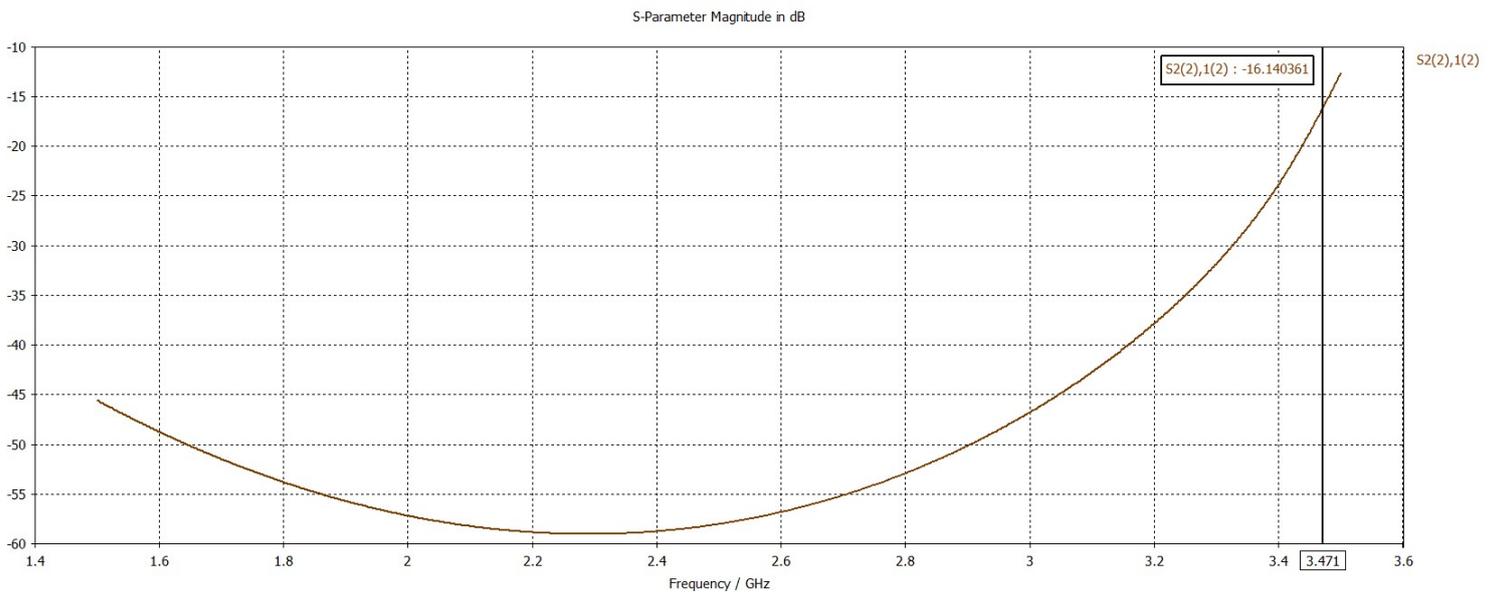
- h) Plote o gráfico em dB da transmitância $S_2(k),1(k)$ entre porta 1 e 2 para o modo dominante não-evanescente de ordem k , sendo $k=1,2... 8$, Identifique a frequência de corte f_c deste k -ésimo modo dominante no respectivo gráfico.

O modo de ordem $k=1$ (TE_{10}) é o modo dominante em $f=2.5\text{GHz}$. A frequência de corte f_c encontra-se indicada no *box* preto do gráfico da transmitância $S_2(k),1(k)$ abaixo:



- i) Plote o gráfico em dB da transmitância $S_2(k),1(k)$ entre porta 1 e 2 para o primeiro k -ésimo modo evanescente, sendo $k=1,2... 8$, Identifique a frequência de corte deste k -ésimo modo evanescente no respectivo gráfico.

O modo de ordem $k=2$ (TE_{01}) é o primeiro modo evanescente em $f=2.5\text{GHz}$. A frequência de corte f_c encontra-se indicada no *box* preto do gráfico da transmitância $S_2(k),1(k)$ abaixo:

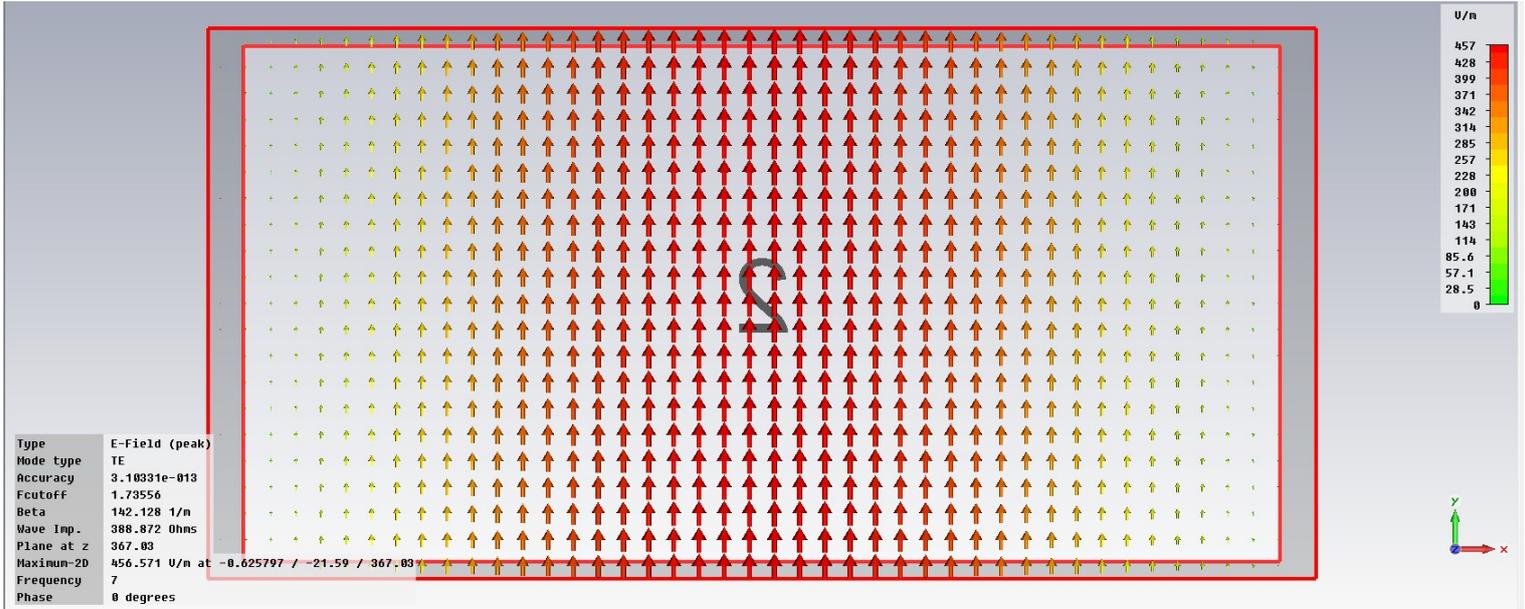


(IV) – solução:

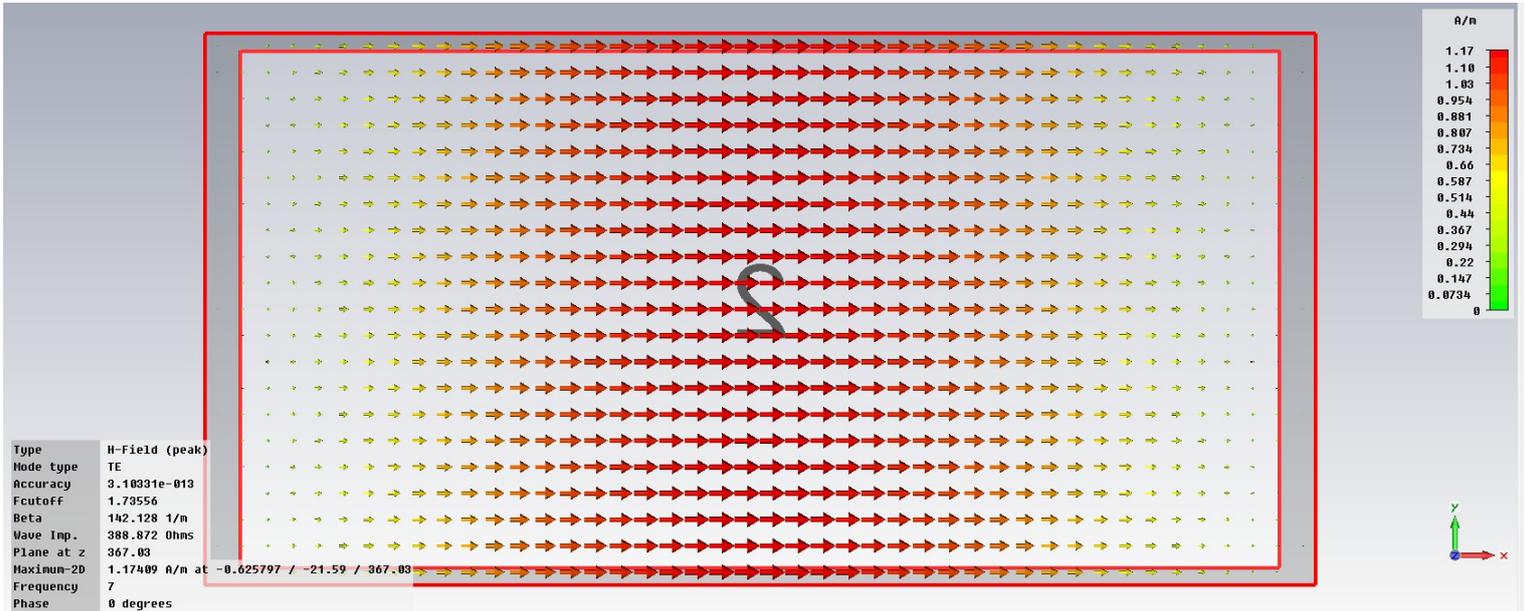
(IV) Modele a guia de onda em questão em um simulador FDTD na frequência de operação $f=7.0\text{GHz}$.

- a) Identifique os primeiros k -ésimos modos não-evanescentes ou evanescentes na frequência de operação, sendo $k=1,2,\dots, 8$. Os modos devem ser ordenados de acordo com o valor crescente das frequências de corte f_{c_k} identificadas pelo simulador FDTD.

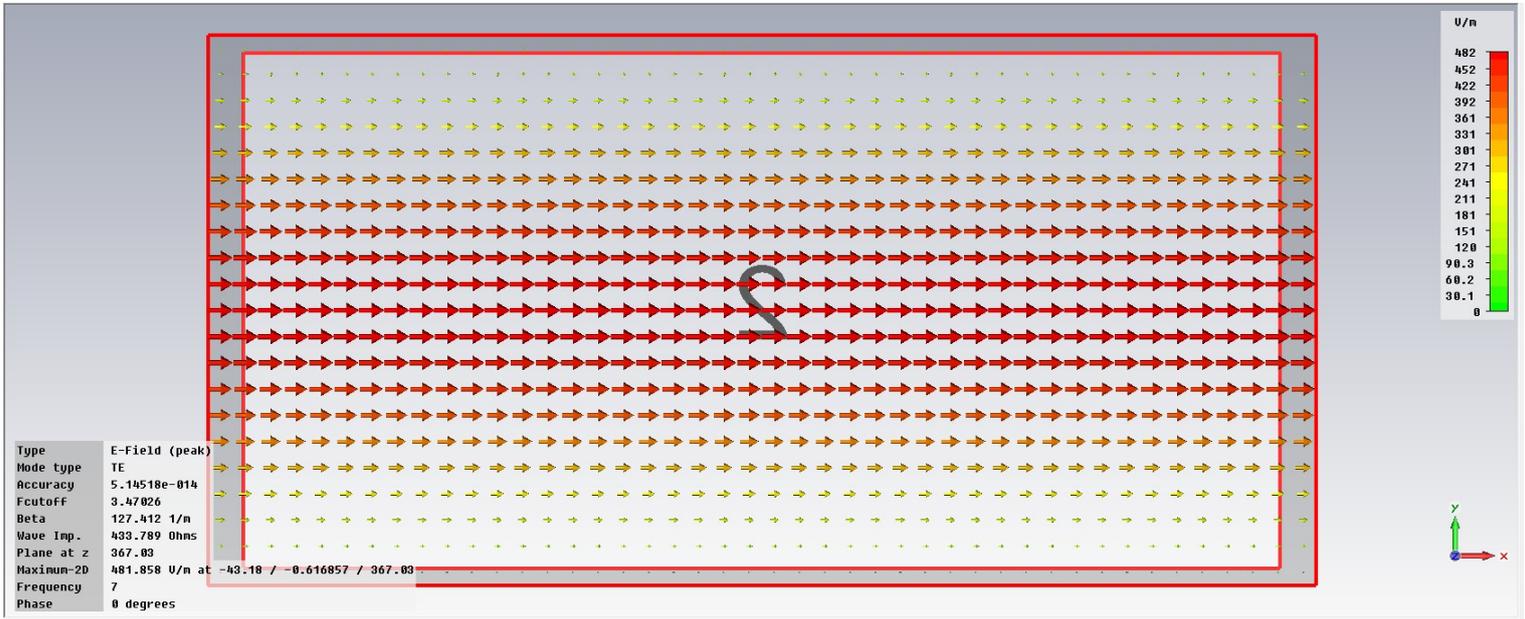
e1:



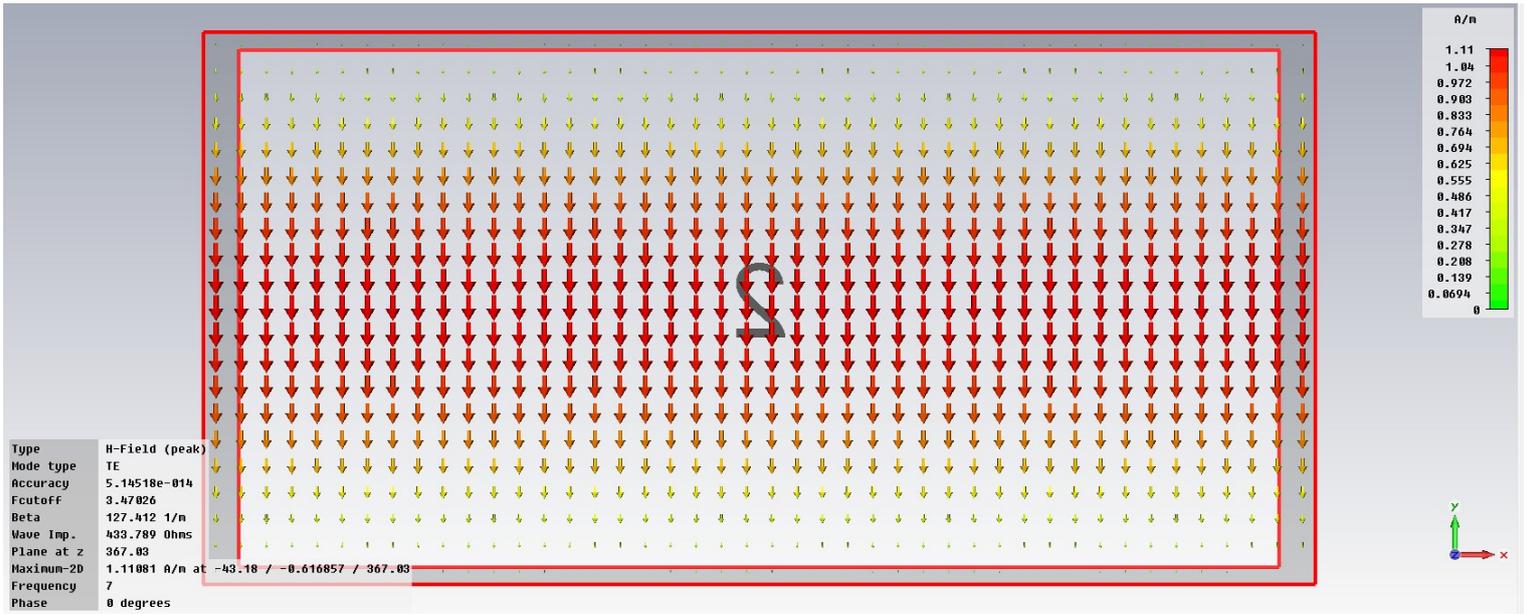
h1:



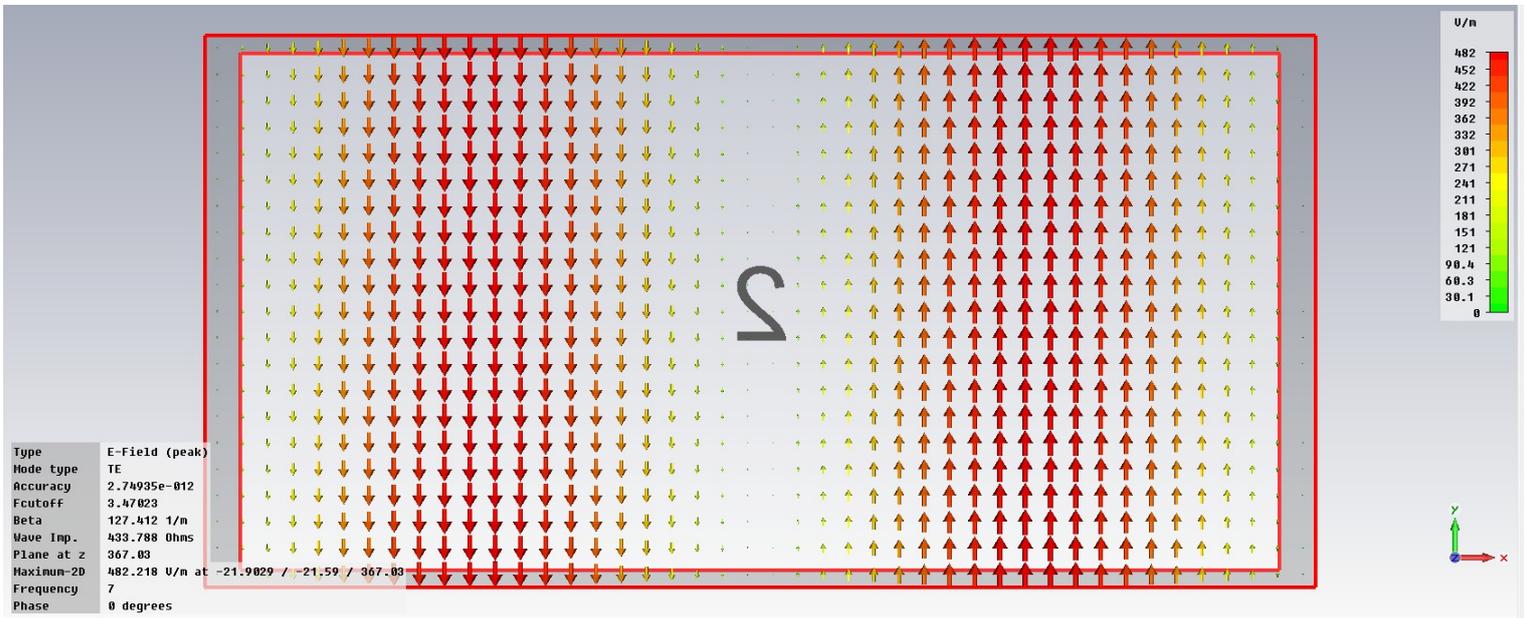
e2:



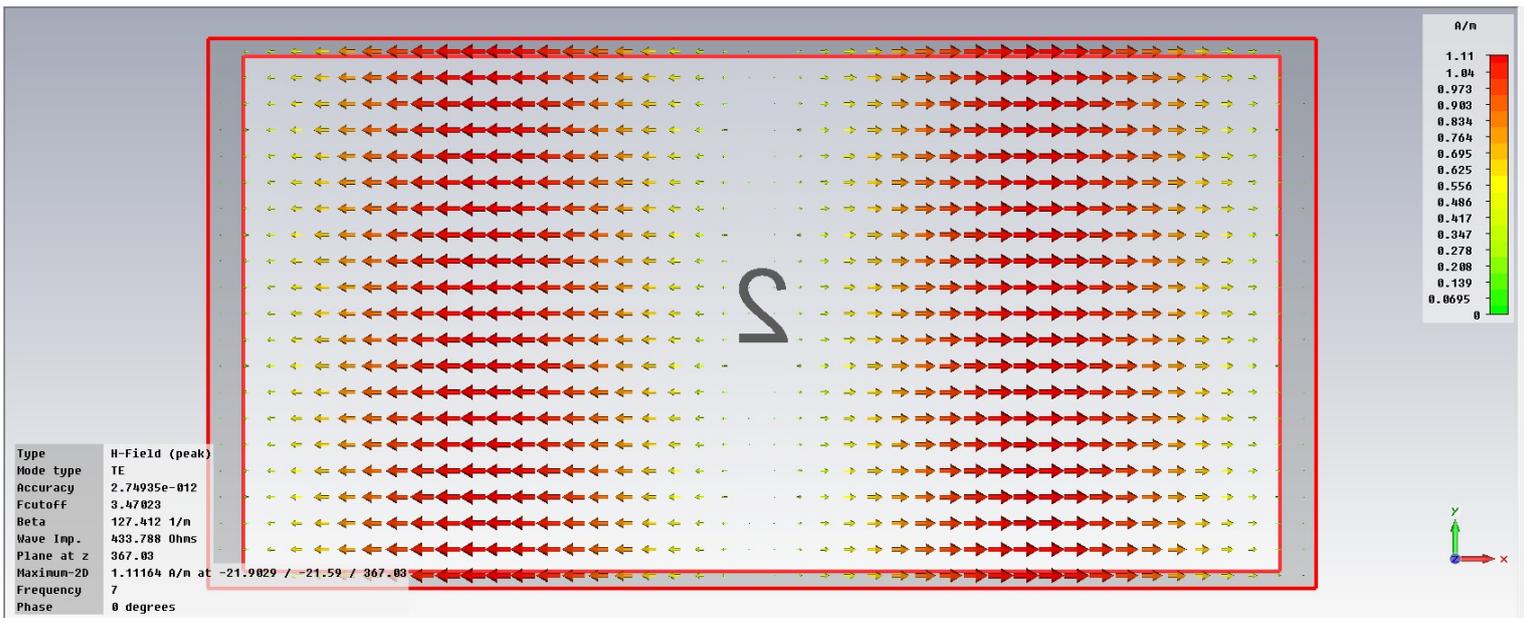
h2:



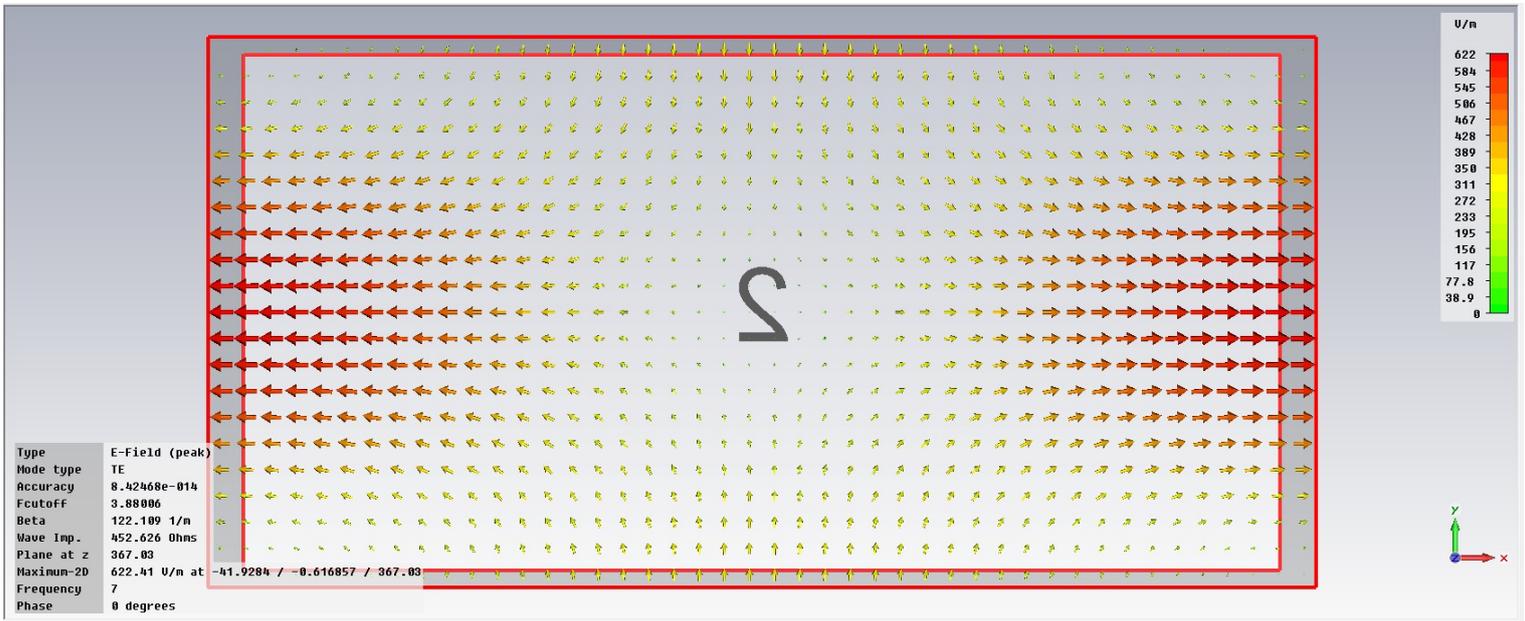
e3:



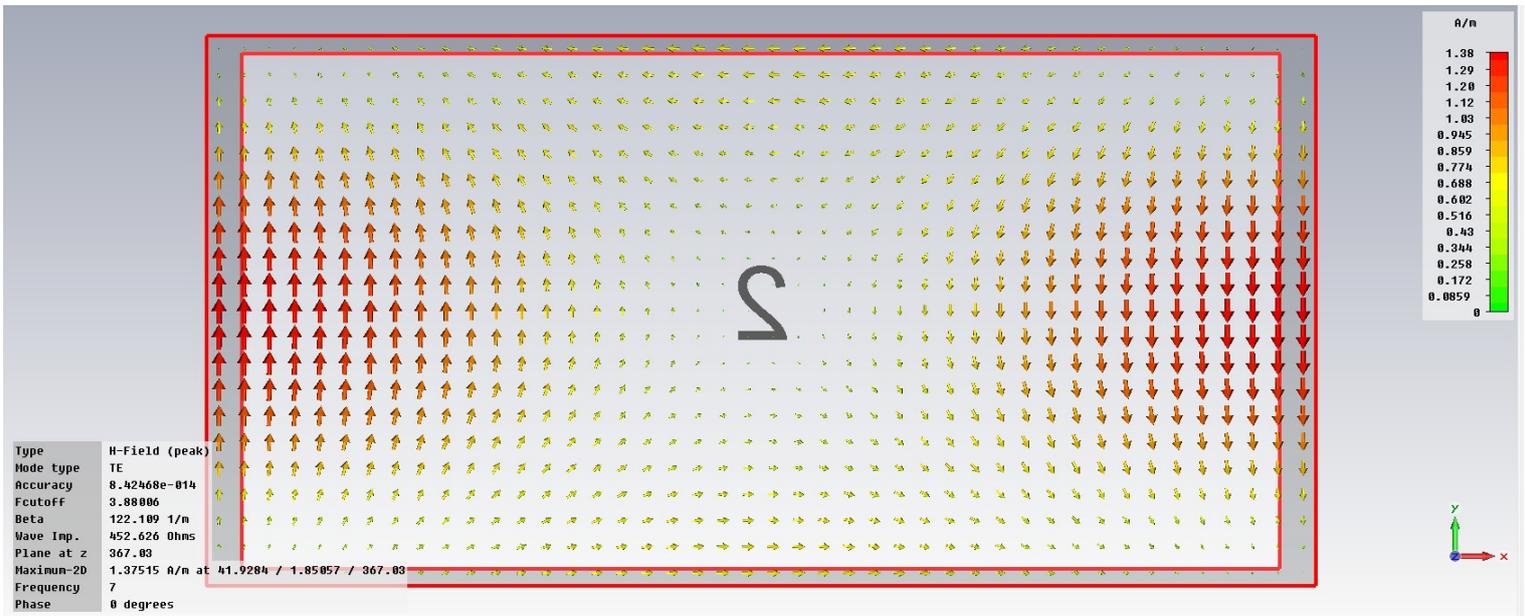
h3:



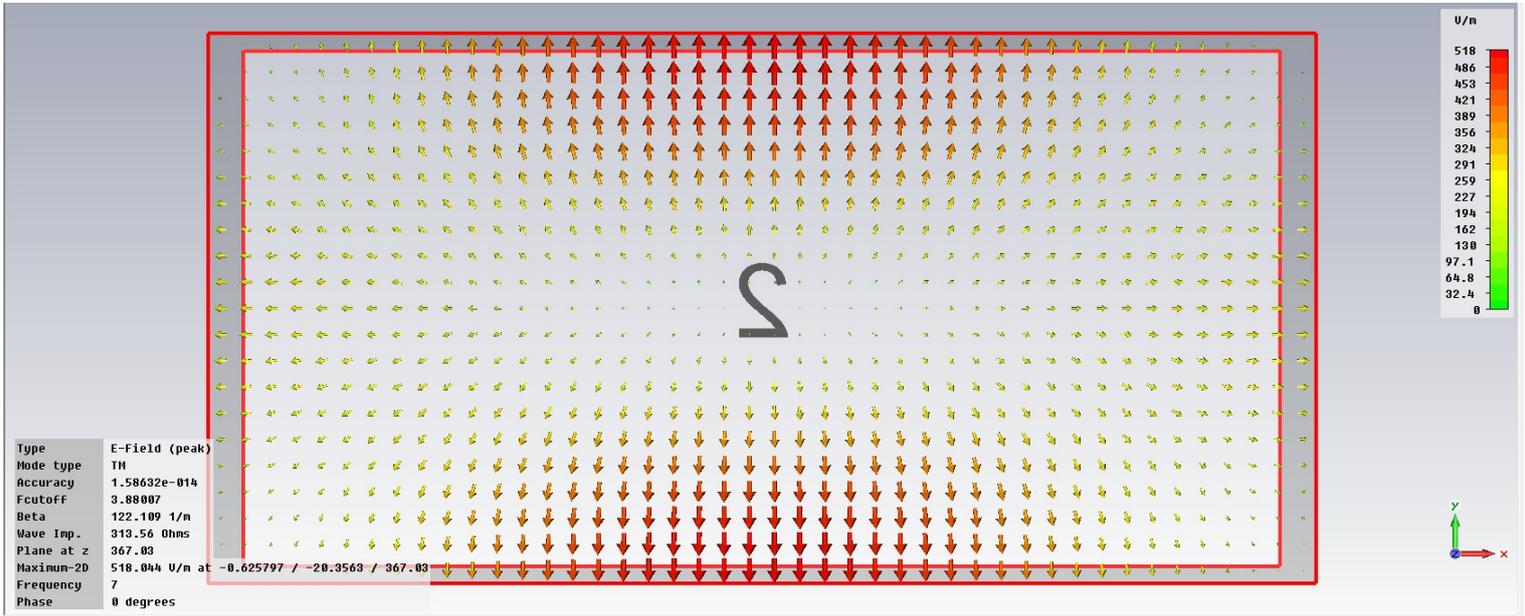
e4:



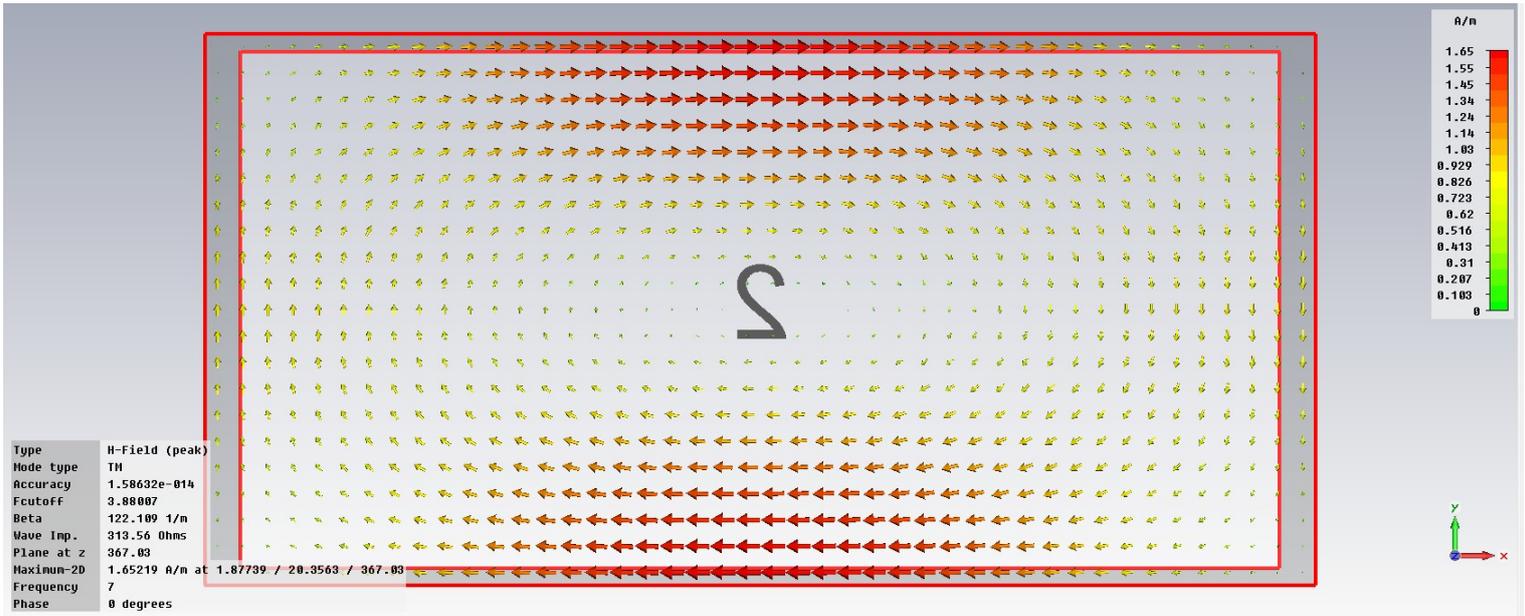
h4:



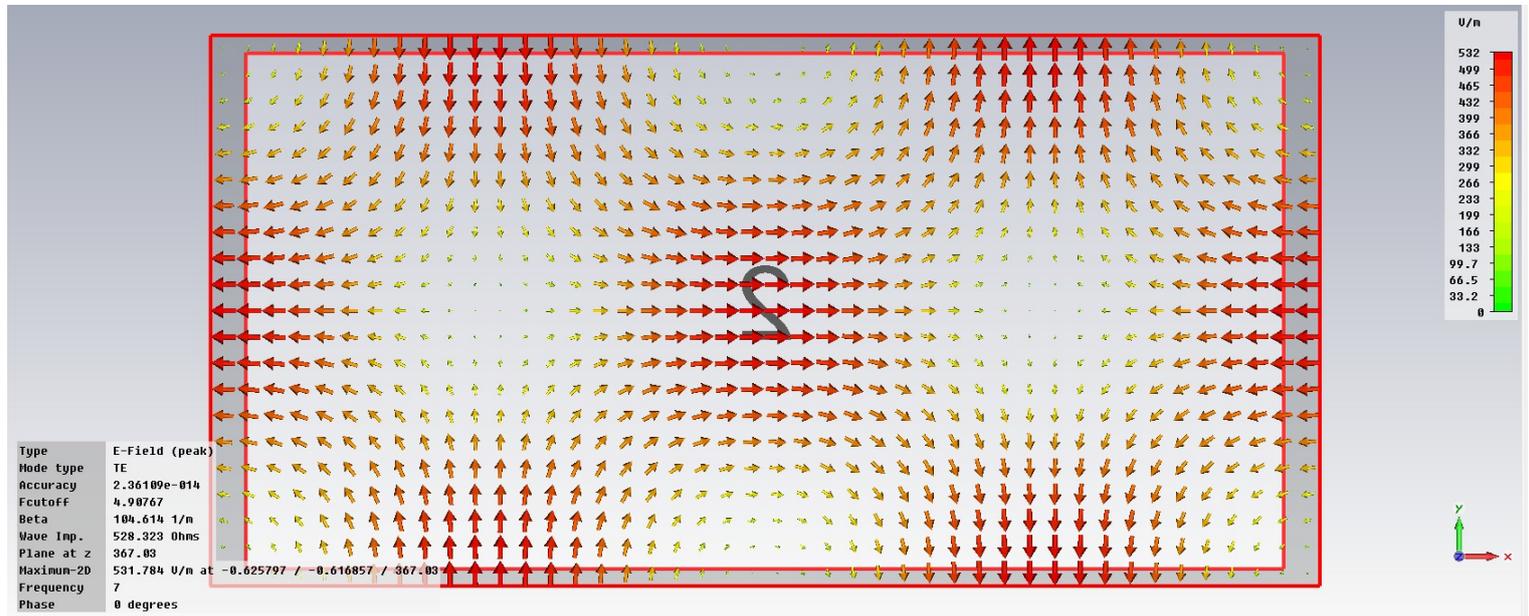
e5:



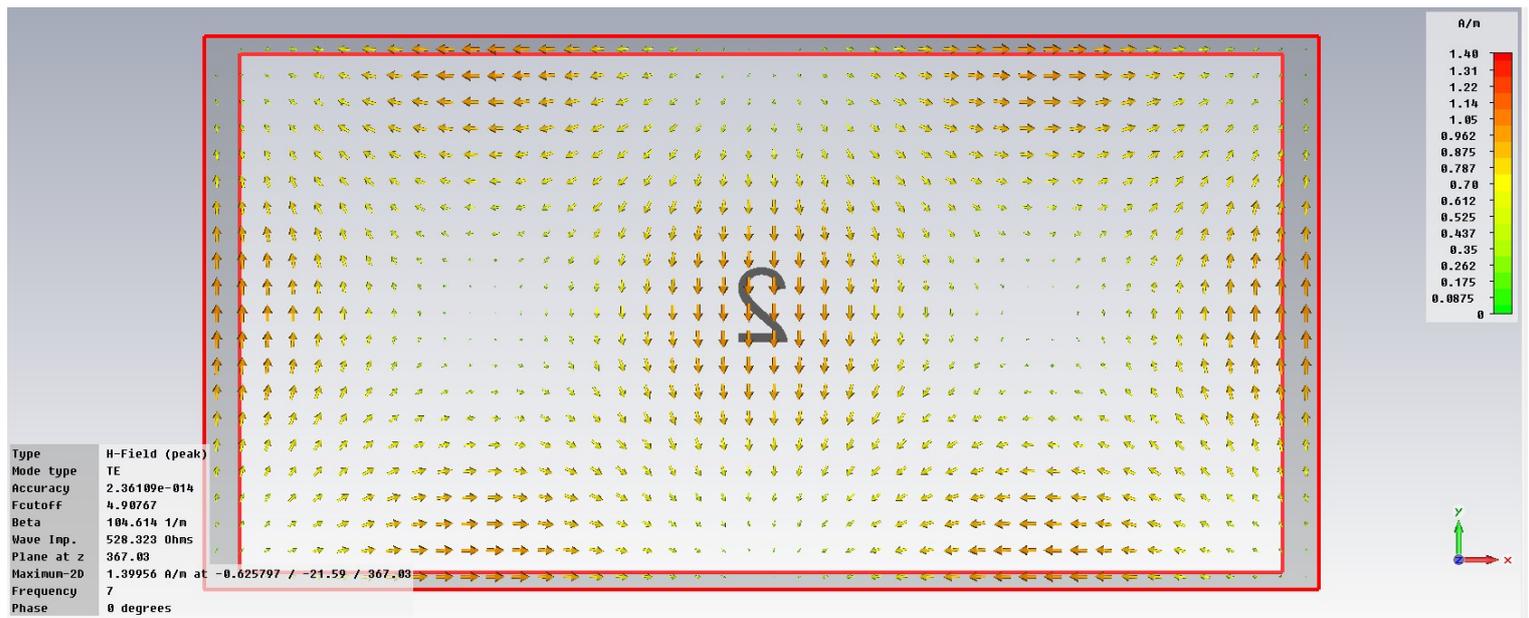
h5:



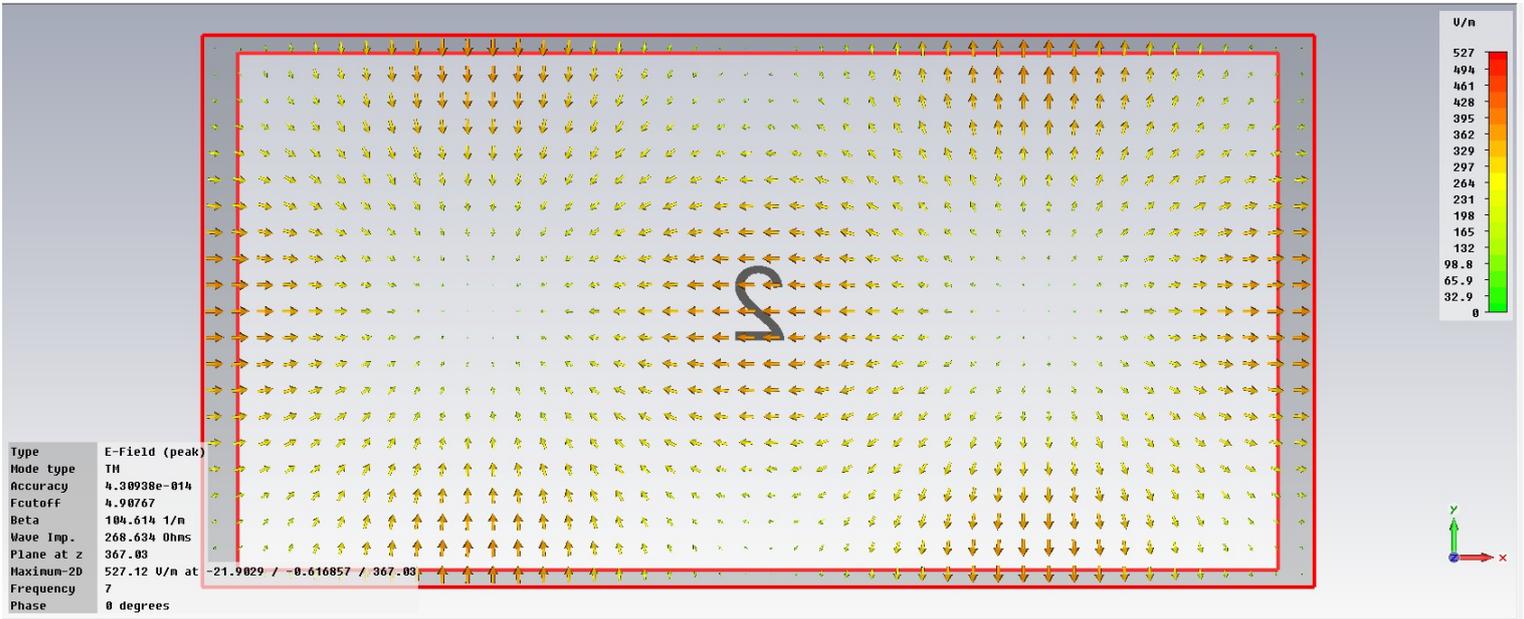
e6:



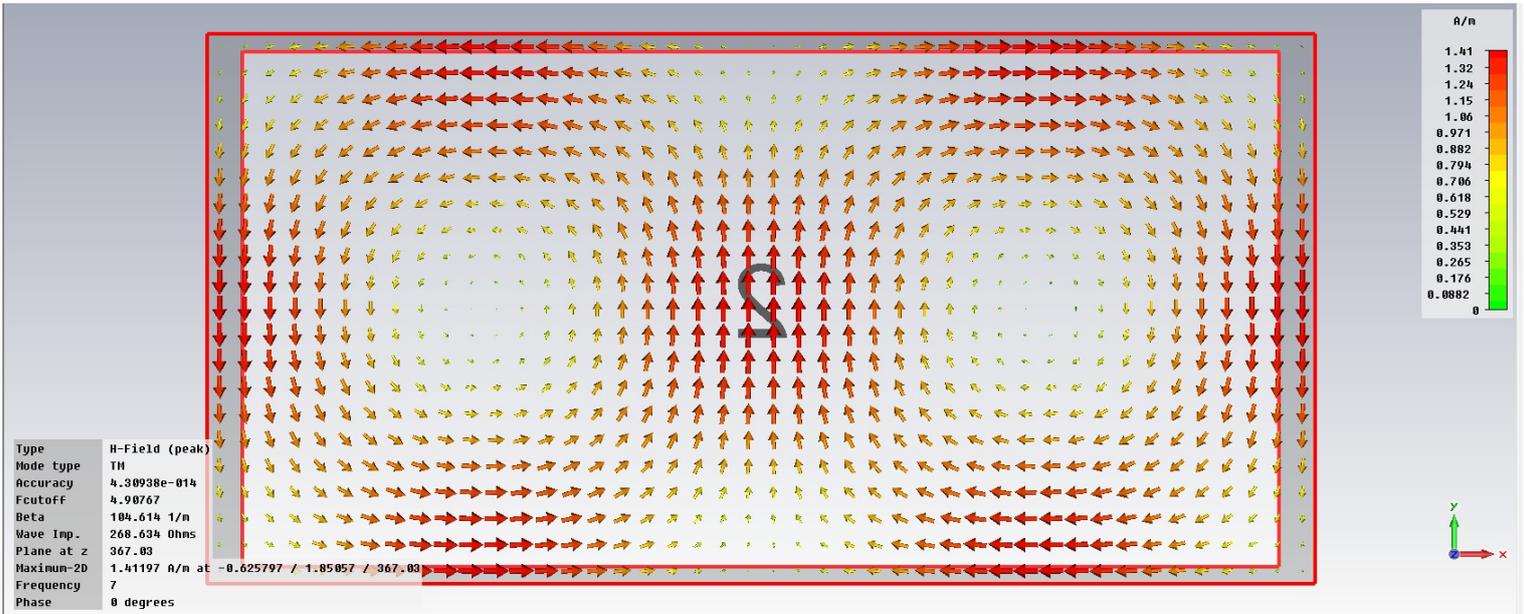
h6:



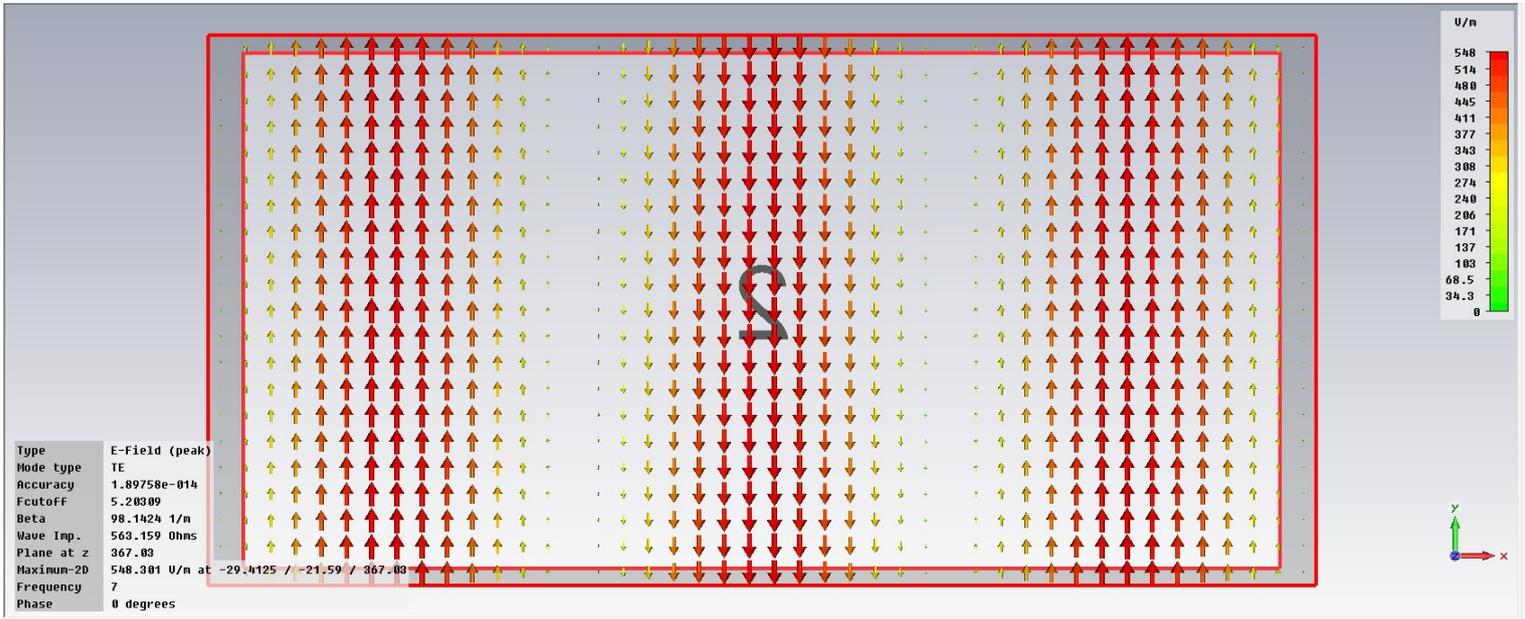
e7:



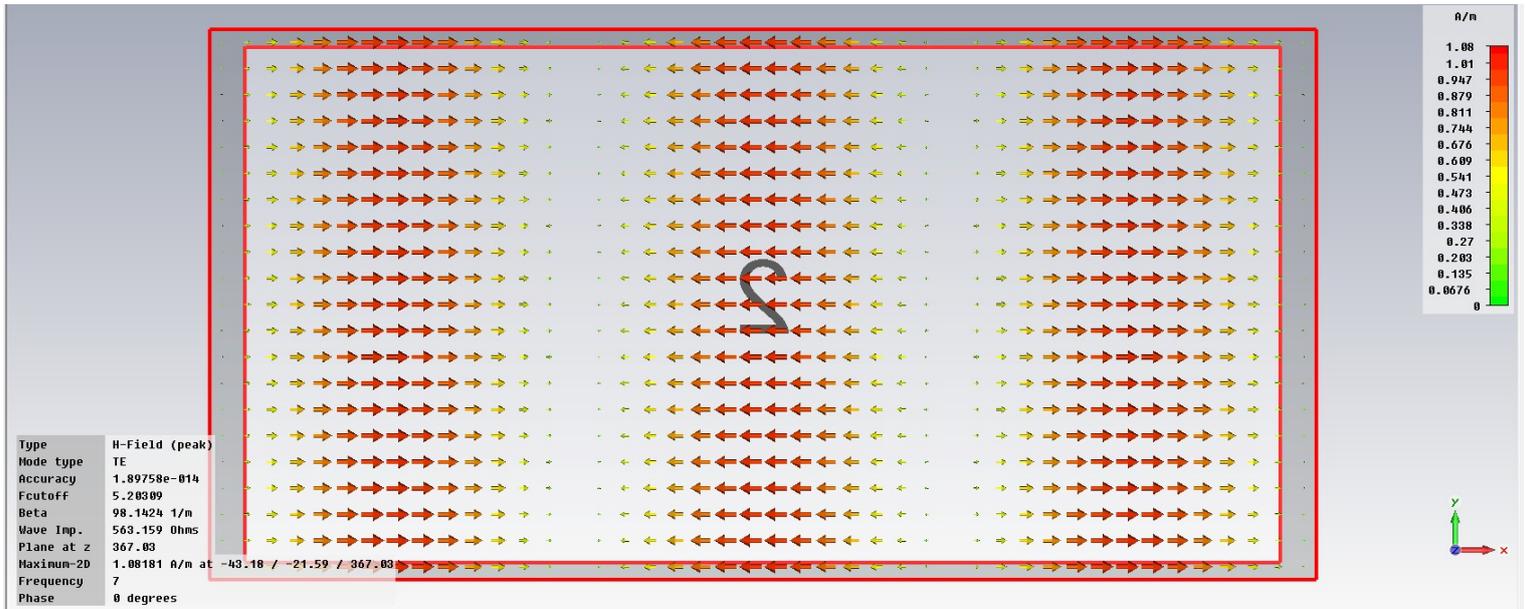
h7:



e8:



h8:



b) Compare as frequências de corte identificadas pelo simulador em a) com a matriz $f_{c_{m,n}}$ obtida no item a) de (I).

$$f_{c_{m,n}} = \frac{c}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}$$

	0	1	2	3	
0	0	3.471	6.943	10.414	-GHz
1	1.736	3.881	7.157	10.558	
2	3.471	4.909	7.762	10.978	
3	5.207	6.258	8.679	11.644	

Nota: A matriz $f_{c_{m,n}}$ foi aumentada para 4x4 para contemplar o modo TE_{30} .

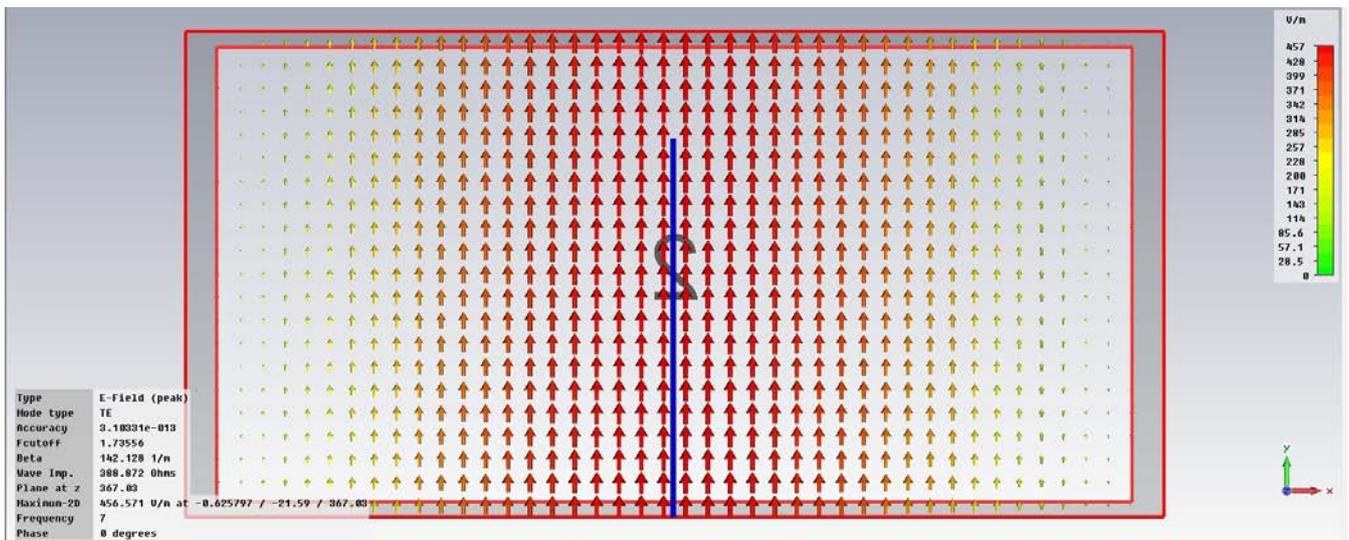
Ordem k do modo obtido no simulador FDTD (ordenado em ordem crescente de fc):	fc obtida no simulador FDTD [GHz]:	fc obtida da matriz $f_{c_{m,n}}$ [GHz]:	Modo (TE/TM) identificado pelo simulador FDTD e índices m e n do k-ésimo modo, inferido da matriz $f_{c_{m,n}}$ acima em comparação com a fc obtida no simulador:
1	1.73556	1.736	TE_{10}
2	3.47026	3.471	TE_{01}
3	3.47023	3.471	TE_{20}
4	3.88006	3.881	TE_{11}
5	3.88007	3.881	TM_{11}
6	4.90767	4.909	TE_{21}
7	4.90767	4.909	TM_{21}
8	5.20309	5.207	TE_{30}

c) Usando o simulador FDTD, obtenha e plote a distribuição espacial dos campos E e H no plano xy da porta de entrada (porta 1) da guia de onda para cada modo identificado em a). Compare a distribuição espacial obtida do simulador FDTD com a distribuição espacial de E e H mostradas no plano de corte "3" da Figura 3.9 do Cap I das notas de aula. Verifique a consistência dos índices m e n dos modos TE_{mn} e TM_{mn} da Figura 3.9 com as frequências de corte obtidas na matriz $f_{c_{m,n}}$ obtida no item a) de (I) acima e com a distribuição dos campos E e H obtidas via simulador FDTD.

Vide gráficos dos 8 modos de E e H no plano xy incluídos na resposta de a) e tabela na resposta de b).

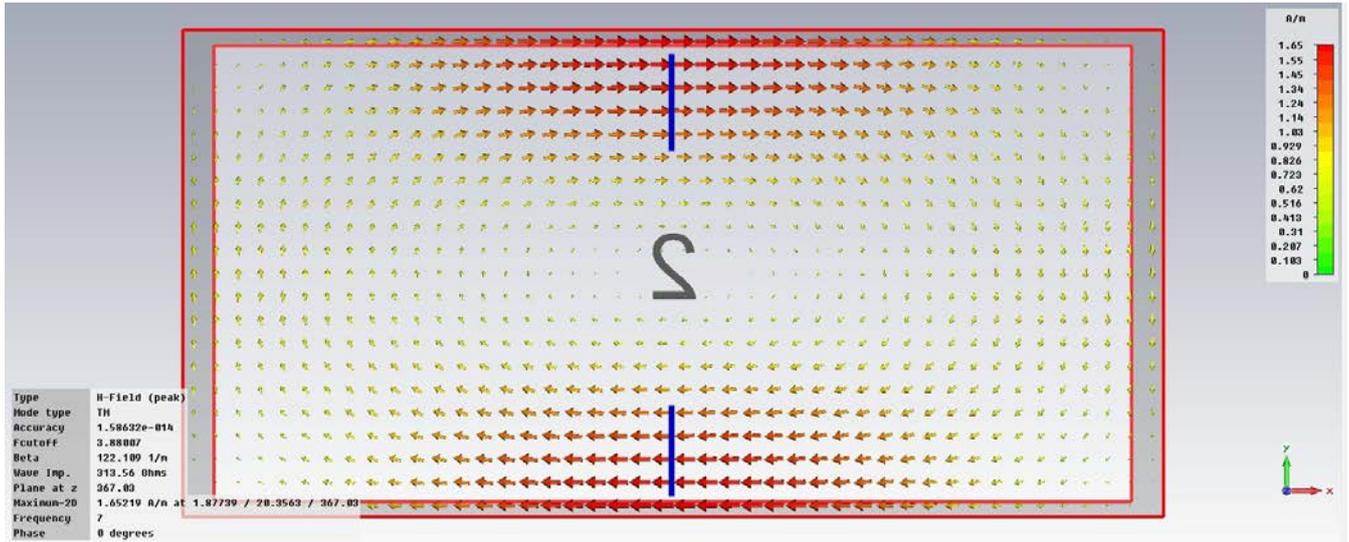
d) Para o modo não-evanescente dominante TE, identifique um possível método de excitação H (espira) e/ou E (monopolo), desenhando simplificadamente o método de excitação na distribuição espacial obtida em c).

O modo TE_{10} é o modo TE não-evanescente dominante em $f=7.0\text{GHz}$. Este modo pode ser excitado por um monopolo localizado na coordenada z a $\lambda/4$ da parede de fundo do guia, alinhado com o campo E e na coordenada x de maior intensidade de E conforme indicado em azul abaixo:



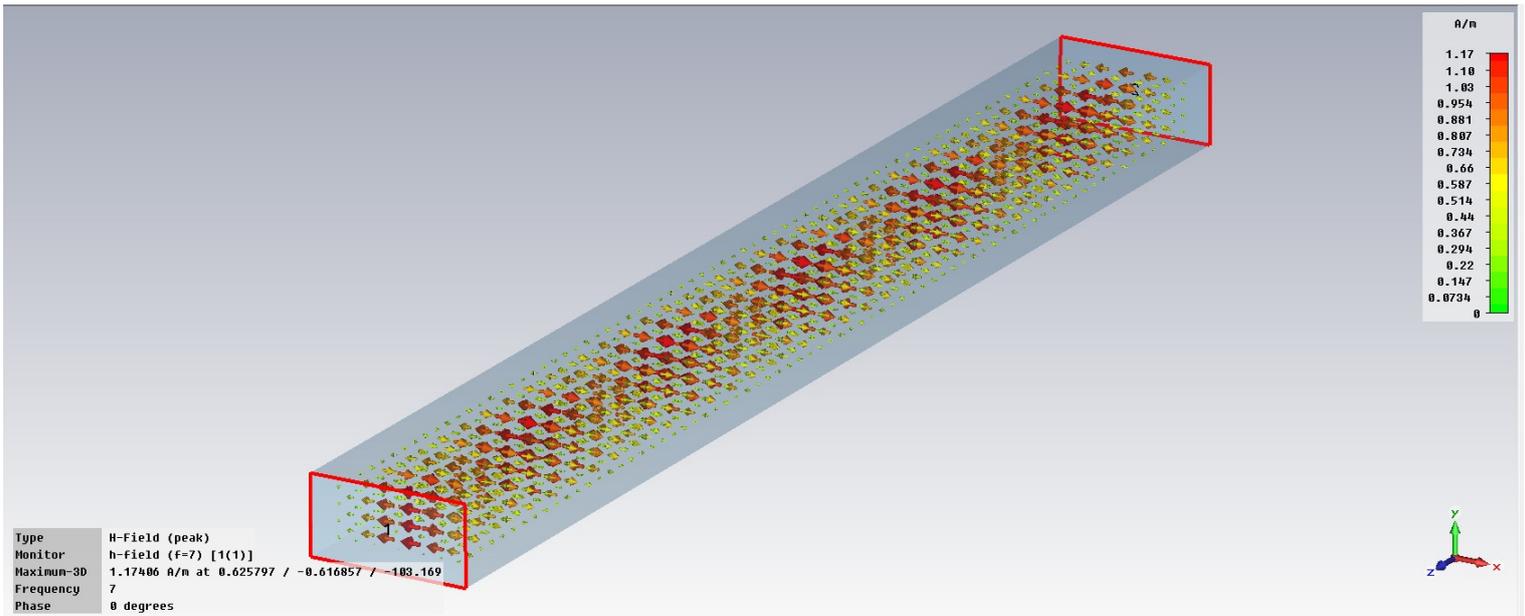
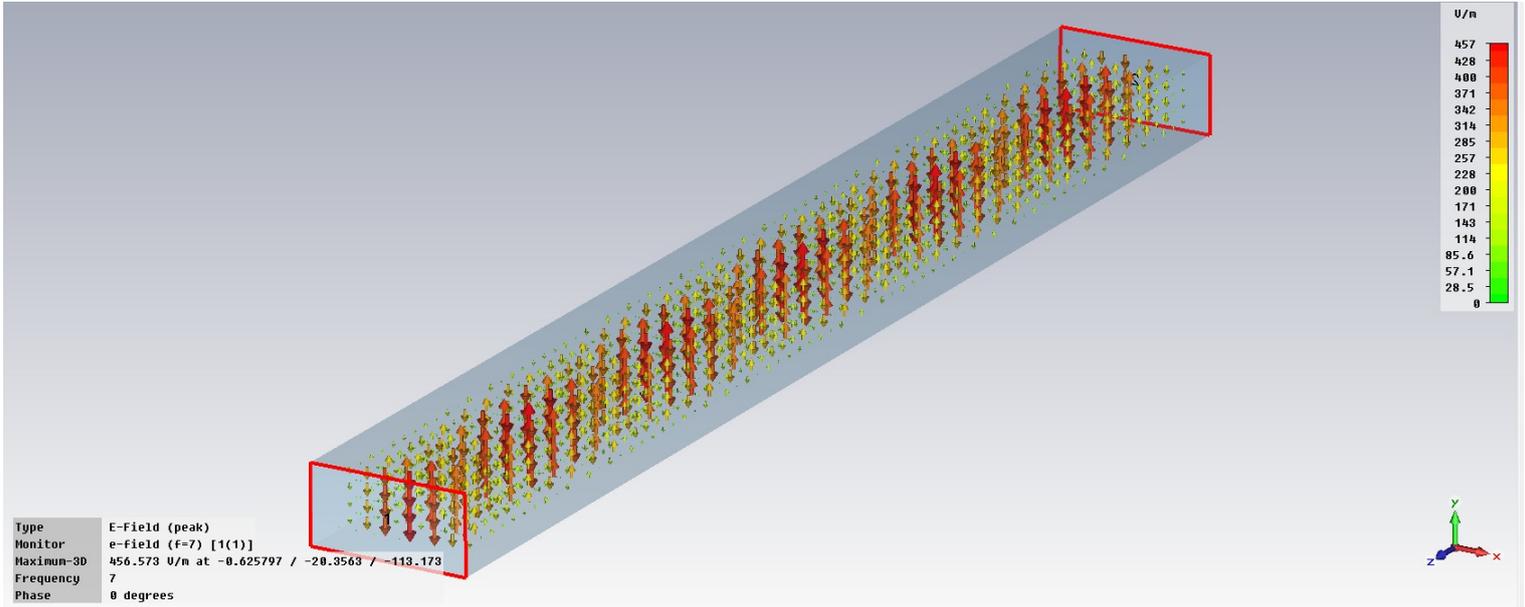
- e) Para o modo TM não-evanescente dominante, identifique um possível método de excitação H (espira) e/ou E (monopolo), desenhando simplificadamente o método de excitação na distribuição espacial obtida em c).

O modo TM_{11} é o modo TM não-evanescente dominante em $f=7.0\text{GHz}$. Este modo pode ser excitado por duas espiras com correntes contrárias (com plano da espira perpendicular ao plano xy) e com centro da espira localizado nas coordenadas xy em que H é mais intenso, conforme mostrado em azul abaixo.



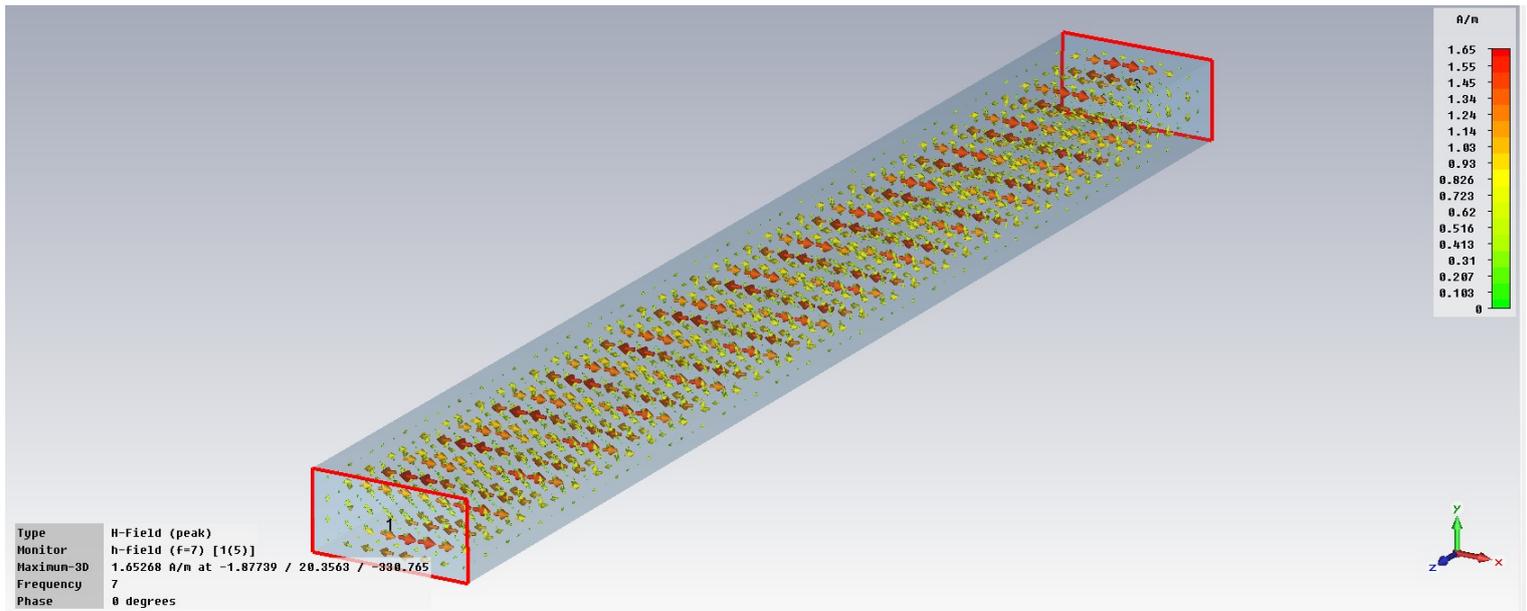
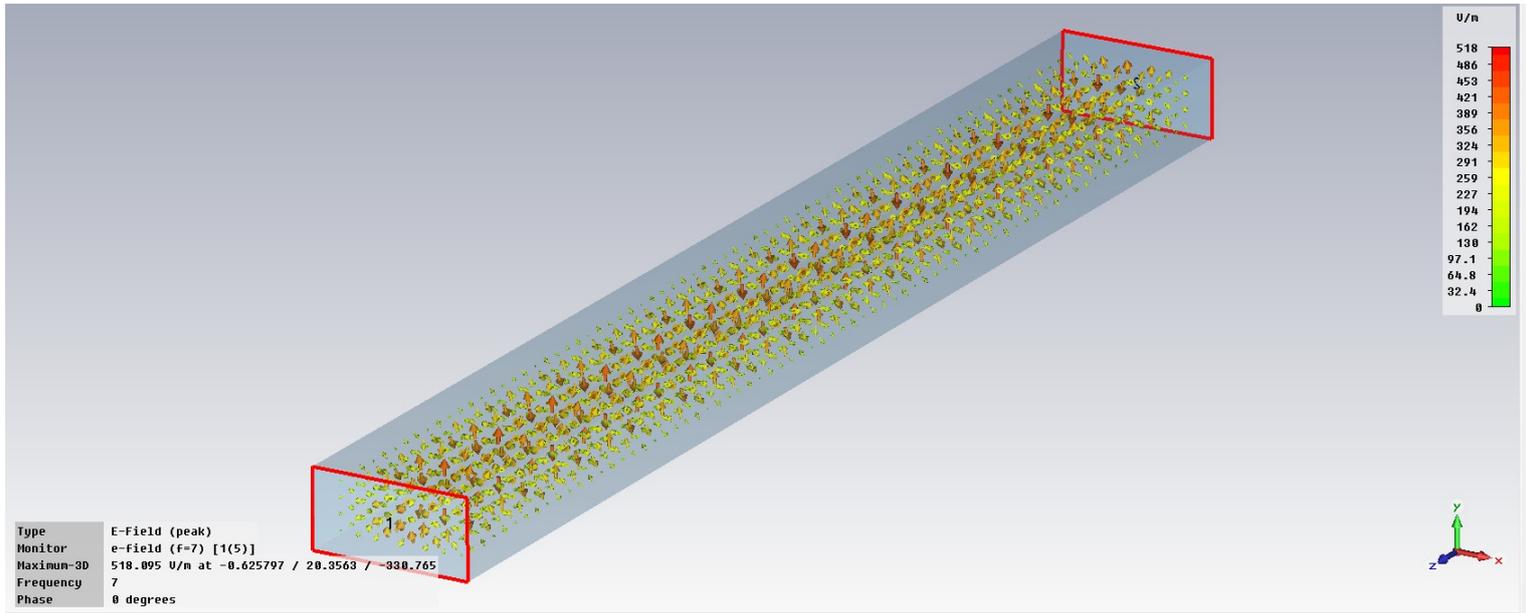
f) Para o modo TE não-evanescente dominante, plote a distribuição em perspectiva (3D) dos campos E e H.

O modo de ordem $k=1$ (TE_{10}) é o modo TE dominante, pois tem a menor f_c dentre os modos TE. Ele é não-evanescente pois $f_c < f = 7.0\text{GHz}$, e, portanto se propaga ao longo da coordenada z conforme mostram os gráficos de E e H abaixo:



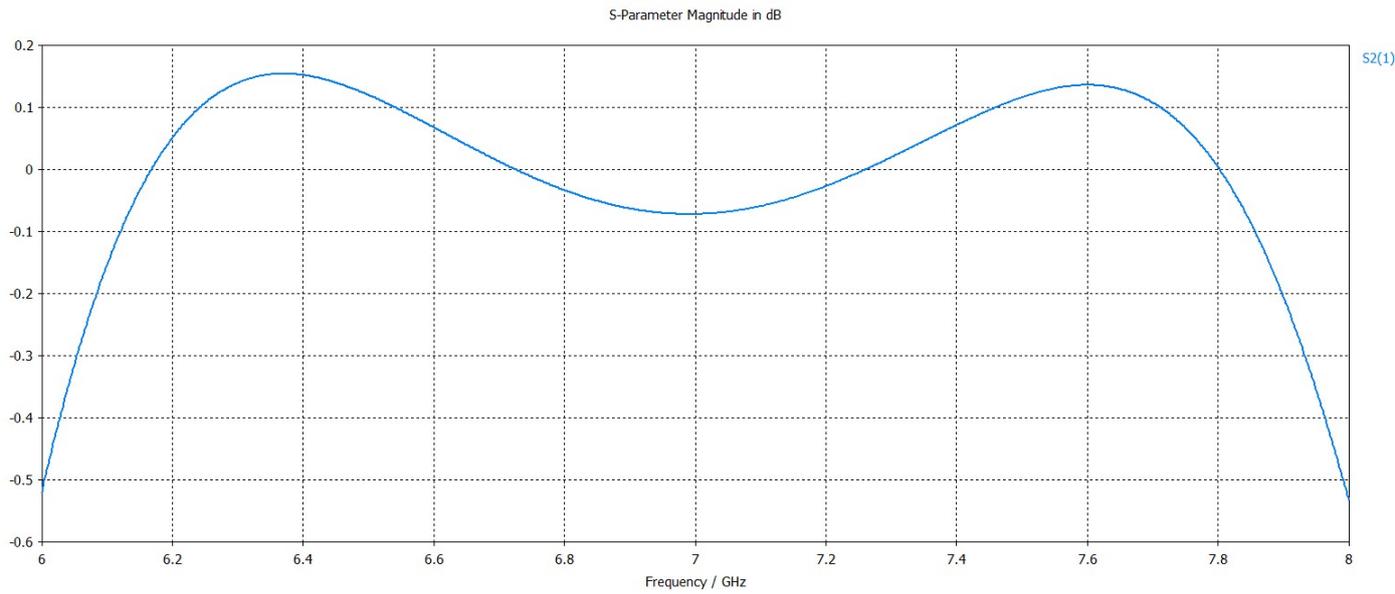
g) Para o modo TM não-evanescente dominante, plote a distribuição em perspectiva (3D) dos campos E e H.

O modo de ordem $k=5$ (TM_{11}) é o modo TM dominante, pois tem a menor f_c dentre os modos TM. Ele é não-evanescente pois $f_c < f = 7.0\text{GHz}$, e, portanto se propaga ao longo da coordenada z conforme mostram os gráficos de E e H abaixo:



- h) Plote o gráfico em dB da transmitância $S_2(k), 1(k)$ entre porta 1 e 2 para o modo dominante não-evanescente de ordem k , sendo $k=1,2,\dots, 8$, Identifique a frequência de corte f_c deste k -ésimo modo dominante no respectivo gráfico.

O modo de ordem $k=1$ (TE_{10}) é o modo dominante em $f=7.0\text{GHz}$. A frequência de corte f_c encontra-se fora da faixa mostrada:



- i) Plote o gráfico em dB da transmitância $S_2(k), 1(k)$ entre porta 1 e 2 para o primeiro k -ésimo modo evanescente, sendo $k=1,2,\dots, 8$, Identifique a frequência de corte deste k -ésimo modo evanescente no respectivo gráfico.

Os 8 primeiros modos TE e/ou TM são não-evanescentes quando a frequência de operação é $f=7.0\text{GHz}$ – portanto não há modo evanescente de ordem k cujo $S_2(k), 1(k)$ possa ser plotado.