

Магистърски курс "Анени за безжични комуникации"

Обзор на методите за проектиране на микролентови излъчватели

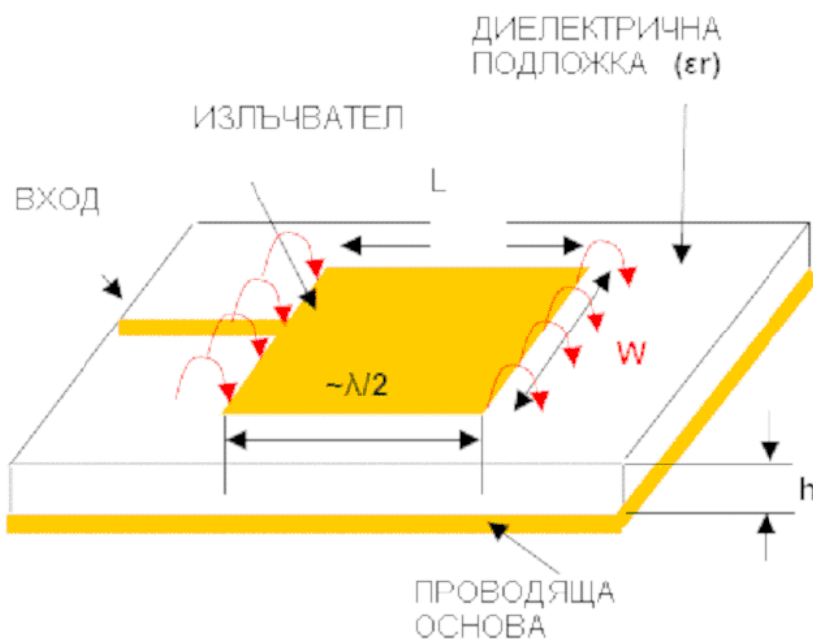
Микролентовите антени са едни от утвърдените антени, които намират широко приложение в съвременните комуникации. Техните основни предимства са Въпреки това да се твърди, че типовете микролентови антени и методите за тяхното проектиране са вече напълно установени би било неправилно ако се съди по нарастващия брой публикации и появата на пазара на все по-нови антени с подобрени параметри. Основната причина за това е стремежа да се намали допълнително цената, теглото и размерите на произвежданите антени. За това, обаче, е необходимо да се разработят нови компютърни модели, които позволяват да се съкрати процеса на проектиране и да се търсят по-надеждни методи на производство, с които да се постигне повторимост на параметрите. Не на последно място е подходящия избор на диелектрични материали за подложки и радоми, които са съществена част от цената на антените.

- Модел на предавателната линия

Моделът на предавателна линия (МПЛ) [12,13] е най-простият модел, при който правоъгълния излъчвателен елемент се представя като микролентова линия върху диелектрична подложка с диелектрична константа ϵ_r , която съединява два излъчващи процепа, всеки от които е с височина h и ширина W . На *Фиг.2.11* Z е посоката на разпространение на вълната в предавателната линия.

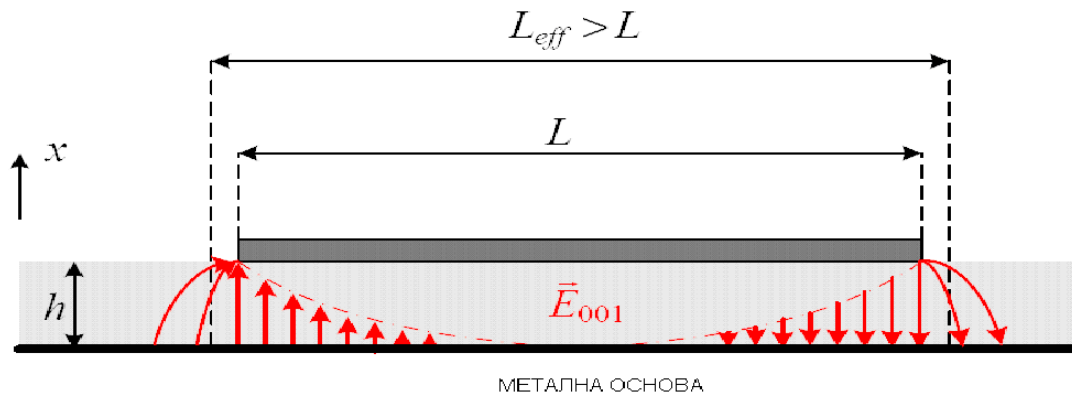
МПЛ не е достатъчно точен, но позволява да се обясни физическата същност на работа на печатните излъчватели за всички типове трептения TM_{00n} и да се определят ориентировъчно размерите им.

Процепите представляват товари с много висок импеданс в двата края на линията и поради тази причина излъчвателят има силно изразени резонансни свойства в зависимост от размера в посока z , L . Резонансната дължина, обаче, не е равна точно на физическата дължина на излъчвателя поради наличието на краеве ефекти. Тези ефекти водят до това, че ефективната дължина е по-голяма от физическата, $L_{eff} > L$.



Фиг.2.11. Микролентов излъчвател

По този начин условията за резонанс се определят от условието $\beta \cdot L_{\text{eff}} = n \cdot \pi / 2, n = 1, 2, \dots$; β е константата на разпространение в предавателната линия.



Фиг. 2.12, Разпределение на електромагнитното поле, ефективна дължина на излъчвателя

На Фиг. 2.12 е показано разпределението на полето при основния вид трептения E_{001} ($n=1$). Константата на разпространение β се определя от ефективната диелектрична константа ϵ_{reff}

$$\epsilon_{\text{reff}} := \frac{(\epsilon_r + 1) + \frac{(\epsilon_r - 1)}{\sqrt{1 + \frac{12h}{w}}}}{2} \quad (1)$$

$$\beta := 2 \cdot \frac{\pi}{\lambda_0 \cdot \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \quad (2)$$

λ_0 е дължината на вълната в свободното пространство при съответната честота. Ефективната дължина L_{eff} се определя от съотношението:

$L_{\text{eff}} = L + 2 \cdot \Delta L$, където

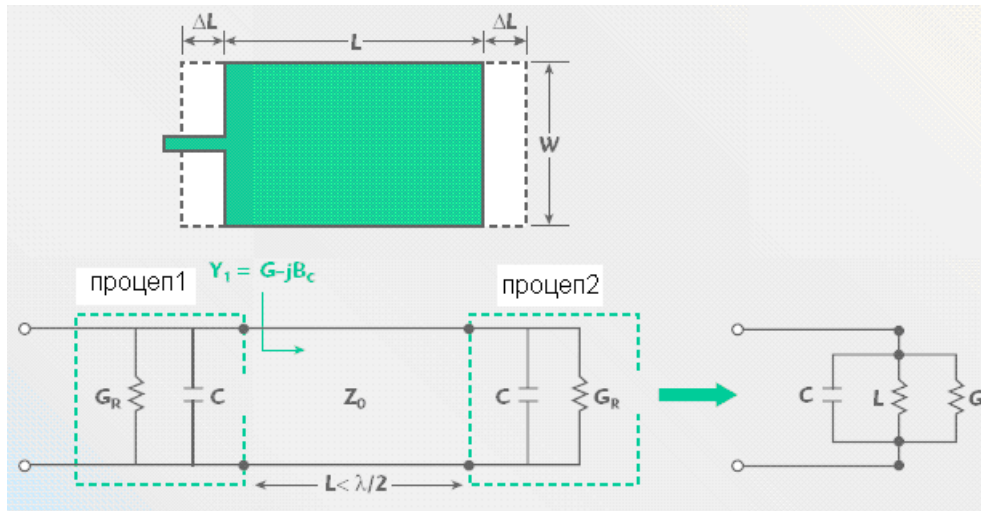
$$\Delta L := .412 \cdot h \cdot (\epsilon_{\text{reff}} + .3) \cdot \frac{\left[\left(\frac{w}{h} \right) + .264 \right]}{(\epsilon_{\text{reff}} - .258) \cdot \left[\left(\frac{w}{h} \right) + .8 \right]} \quad (3)$$

Резонансната честота в първо приближение не зависи от ширината W , а се избира от съображения за по-добра ефективност на излъчване и приемливи размери. Обикновено се използва следната формула:

$$W := \frac{\lambda_0}{2} \cdot \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (4)$$

Еквивалентна схема на излъчвателя

На *Фиг.2.13* е показан излъчвател, захранван от микрентова линия и неговата еквивалентна схема. Y_s е еквивалентната комплексна проводимост на процепите, L и W са параметри на излъчвателя, L_m и W_m са параметри на захранващата линия.



Фиг.2.13, Еквивалентна схема на излъчвателя

В съответствие с [2] G_r и $B=j\omega C$ се определят от:

$$G_r := \frac{W}{120 \cdot \lambda_0} \cdot \left[1 - \frac{\left[\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{h}{\lambda_0} \right)^2 \right]}{24} \right] \quad (5)$$

$$B := \frac{W \cdot \left(1 - .636 \cdot \ln \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{h}{\lambda_0} \right)^2 \right)}{120 \cdot \pi} \quad (6)$$

Еквивалентната схема на процепа може да се представи като паралелна R-C верига, където G отразява загубите от излъчване докато $B=j\omega C$ е еквивалентната реактивна проводимост, която отразява капацитивния характер на процепите.

Когато дължината на излъчвателя L е избрана да бъде равна на

$$L = \lambda_0 / 2 \cdot \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}} - 2 \cdot \Delta L \quad (7),$$

тогава в точката на захранване реактивните компоненти на процепите се компенсират и входният импеданс е чисто активен и равен на:

$$R_{\text{in}} = 1 / (2 \cdot G) \quad (8).$$

На практика съществува взаимно влияние между двата процепа, за отчитането на което в израза за входния импеданс трябва да се включи и взаимна проводимост между процепите G_{12} :

$$R_{in} = 1 / (2 * (G + G_{12}))$$

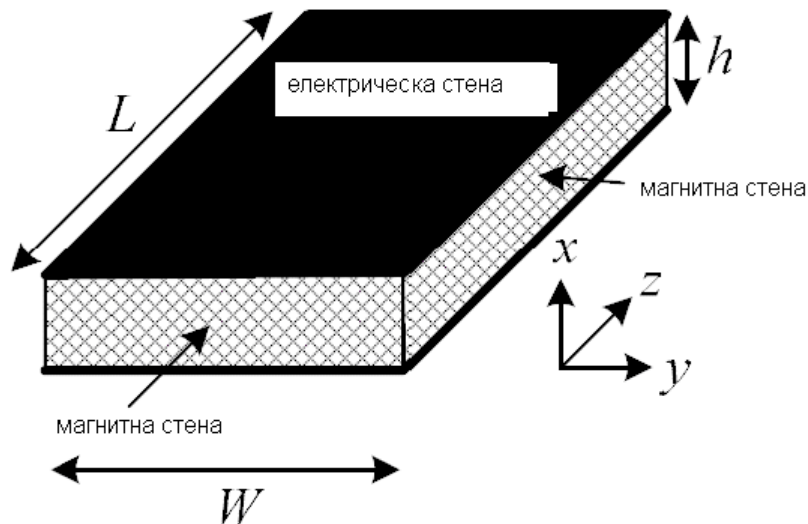
(9)

Обикновено $G_{12} \ll G$.

- Модел на резонатора

Методът на предавателната линия дава относително ограничена представа за процесите при възбуждане на облъчвателя. При него се отчитат само модове от типа TM_{00n} , при които енергията се разпространява само в посока Z , а полето в посока X и Y е постоянно. Модът TM_{00n} е доминиращ, но на практика другите моди също оказват влияние. Освен това моделът на резонатора позволява да се определи и диаграмата на излъчване.

Моделът на резонатора е един по-обобщен модел при който облъчвателя се представя като запълнен с диелектрик резонатор, който отгоре и отдолу е ограничен от електрическа стена, а от всички други страни - с магнитна (Фиг.2.14)[12,13].



Фиг.2.14, Представяне на излъчвателя като резонатор

Без да навлизаме подробно в този метод ще покажем само някои крайни резултати [12].

1. Възможните резонансни честоти при така приетите гранични условия:

$$f_r(m, n, p) := \frac{\sqrt{\left(\frac{m\pi}{h}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{W}\right)^2 + \left[\left(\frac{p\pi}{L}\right)^2\right]}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\mu \cdot \epsilon}} \quad (10)$$

Видът трептения с най- ниската резонансна честота е TM_{001}

$$f_r(0, 0, 1) := \frac{\frac{\pi}{L}}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\mu \epsilon}} \quad (11)$$

2. Входната проводимост на излъчвателя:

$$G := \frac{I}{120 \cdot \pi \cdot \pi}$$

(12)

където

$$I := \int_0^{\pi} \left(\frac{\sin \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{W \cdot \cos(\Theta)}{\lambda_0} \right)}{\cos(\Theta)} \right)^2 \cdot (\sin(\Theta))^3 d\Theta$$

(13)

3. Диаграма на излъчване в Е-равнина (плоскост X-Z, $\Phi=0$):

$$f(\Theta) := \left(\frac{\sin \left(k \cdot \frac{h}{2} \cdot \sin(\Theta) \right)}{k \cdot h \cdot \frac{\sin(\Theta)}{2}} \right) \cdot \cos \left(k \cdot L_{\text{eff}} \cdot \frac{\cos(\Theta)}{2} \right)$$

(14)

4. Диаграма на излъчване в Н-равнина (плоскост X-Y, $\Phi=90$):

$$f(\Phi) := \frac{\cos \left(\Phi \cdot \sin \left(k \cdot \frac{h \cdot \cos(\Phi)}{2} \right) \right)}{k \cdot \frac{h \cdot \cos(\Phi)}{2}} \cdot \frac{\sin \left(k \cdot \frac{W \cdot \sin(\Phi)}{2} \right)}{k \cdot W \cdot \frac{\sin(\Phi)}{2}}$$

(15)

където $k = 2 \cdot \pi / \lambda_0$

Диаграма Ширината на диаграмата на излъчване на ниво 3 ч Н и Е равнините се определя от:

$$\Theta_H := 2 \cdot \arccos \left(\sqrt{\frac{1}{1 + k \cdot W}} \right)$$

$$\Theta_E := \arccos \left[\sqrt{\frac{7.03}{3 \cdot k^2 \cdot (L_{\text{eff}})^2 + k^2 \cdot h^2}} \right]$$

(16)

- Числени методи

Предимство на описаните два метода е, че позволяват да се получат аналитични резултати и по този начин да се наблюдават физическите процеси и да се определят основните параметрите на микролентовите излъчватели [1]. Наред с това те имат един съществен недостатък, че не могат да отчетат взаимното влияние на облъчвателите в антенната решетка, трудно се прилагат към излъчватели с произволна форма и към многослойни структури. Ето защо в повечето случаи при проектирането на печатни антени се налага използването на по-сложни числени методи. Прилагането им от своя страна изисква използването на сложни и скъпи софтуерни продукти.

Най-разпространените числени методи са Методът на интегралните уравнения (МОМ) и Методът на крайните разлики във времевата област (FDTD). Най-популярните програмни продукти, приложими към проектиране на печатни антени, които използват МОМ, са IE3D [8], Sonnet [9] и Ensemble [3]. При по-сложни обемни конфигурации най-често се прилага продукта HFSS [10], който използва метода на FDTD.

Цената на тези програмни продукти е много висока, поради което в рамките на тази фаза от проекта не можем да ги закупим. Съществуват някои безплатни програми, които дават достатъчно добри резултати. Такава е PCAAD3 [7], с помощта на която могат да се пресметнат параметрите на различни печатни излъчватели както с модела на предавателната линия, така и с модела на резонатора. Друга безплатно разпространявана програма е Sonnet-lite, при която се използва Метода на интегралните уравнения (МОМ). Въпреки някои ограничения върху сложността на излъчвателите, продукта Sonnet lite позволява анализа на голям брой структури.