دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان‌نامه کارشناسی

گرایش: **مخابرات**

عنوان :

بررسی و شبیه سازی روشهای حل خط انتقال ماکرواستریپ غیر یکنواخت

استاد راهنما: **دکتر زلفخانی**

نگارش: **محمد ابراهیم آبادی**

شهریور ۸۷

فهرست

مقدمه: ۳

فصل اول : بررسی خط انتقال غیر یکنواخت خطی ۷

بررسی خط انتقال ماکرواستریپ غیر یکنواخت خطی ۸

مختصری راجع مدل با تلفاتLTML ۲۱

فصل دوم : بدست اوردن ضریب میدان ، ضریب انتقال وانعکاس ، با استفاده از فرم معادلات موج ولتاژ وجریان ۲۲

بدست آوردن ضریب میدان ، ضریب انتقال وانعکاس ۲۴

بدست آوردن ضریب انعکاس خط انتقال غیر یکنواخت با استفاده از تئوری انعکاسهای کوچک ۲۹

بررسی نموداری خط انتقال ۳۵

فصل سوم: بررسی خط انتقال ماکرواستریپ غیر یکنواخت از طریق تکه تکه کردن به خطوط انتقال یکنواخت ۴۱

بدست آوردن ماتریس انتقال با استفاده از روش تکه تکه کردن ۴۲

فصل چهارم: روش پیکاردکارسون ۵۲

بدست آوردن ماتریس انتقال با استفاده از روش عددی ۵۳

جمع بندی ۶۷

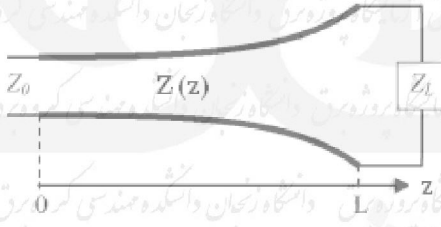
مراجع ۷۱

مقدمه

با پیشرفت ادوات و سیستم های مایکروویو حالت جامد به کاربرد وسیع شکل خاصی از خطوط انتقال صفحه ای موازی به نام خطوط ما کرواستریپ یا خطوط نواری منتهی شده است.یک خط انتقال ماکرواستریپ معمولا از یک لایه ی دی الکتریک واقع بر یک صفحه ی هادی زمین شده،به همراه نوار فلزی باریکی بر روی لایه ی دی الکتریک تشکیل شده است،مطابق شکل زیر

با پیشرفت تکنیک های مدار چاپی،خطوط نواری را به سادگی می توان ساخت وبا دیگر عناصر مداری مجتمع نمود.حل تحلیلی دقیق خط نواری که تمام شرایط مرزی را برآورده سازد،مسئله ی مشکلی است.تمام میدان ها در لایه ی دی الکتریک محدود نخواهد شد،برخی از نوار بالائی به ناحیه ی بیرون نوار پراکنده شده و باعث ایجاد تداخل در مدارهای مجاور

می شوند.برا ی محاسبات دقیق تر لازم است تصحیحات تجربی در فرمولهای مربوط به پارامترهای گسترده وامپدانس مشخصه بکار گرفته شود که تمامی این کمیات وابسته به فرکانس بوده وخطوط نواری پراکنده ساز می باشند اما انچه که در این نوشته برسی شده است خط انتقال ماکرواستریپ غیر یکنواخت (خط نواری غیر یکنواخت می باشد) تفاوت این خط انتقال با خط انتقال معمولی در این است که پهنای صفحه بالایی ان بتدریج کم یا زیاد می شود که این باعث می شود که تحلیل دقیق ای خط انتقال خیلی مشکل شود،تصویر این خط انتقال را در زیر می بینید .



نمای بالای صفحه ی بالایی

تحلیل این خطوط تحت شرایط خاصی امکان پذیر می باشد مثلا صفحه بالایی دارای شکل ساده ای باشد مشخصه امپدانس وادمیتانس یا ضریب دی الکتریک ان مشخص باشد یا به طور کلی یک سری فرمول ها یا نمودارهای تجربی در اختیار قرار گیرد

کاربرد های خط انتقال:

محو کردن ناپیوستگی بین خطوط انتقال ولامپ ها ، در پردازش سیگنالهای انالوگ ، در شکل دادن به پالس ، در طراحی مدارهای VLSI ، در انتن ها ، در فیلترها ، در مدارهای مایکروویو

مثلا رزوناتور ها ،همچنین یکی از مهمترین کاربردهای ان در تطبیق امپدانس می باشد چون انکه می تواند یک تطبیق بار در پهنای باند زیاد ایجاد کند

در این نوشته سعی شده است با تعدادی از تکنیک های برسی این خطوط که تحلیل ان دشوار است اشنا بشویم تا بتوانیم اطلاعاتی از ولتاژ،جریان ، ضریب انعکاس وانتقال در طول خط انتقال بدست بیاوریم

در اینجا سعی شده تامطالب درچهار قسمت عمده بیان شود

فصل اول :

برسی خط انتقال غیر یکنواخت خطی :

علت این که غیر یکنواخت خطی بیان شد این است که پهنای صفحه ی بالایی خط انتقال بصورت خطی تغییر میکند. در این بخش با استفاده از معادلات تلگراف همچنین استفاده از داده های تجربی (ضریب دی الکتریک ومشخصه امپدانس) وبا فرض بدون تلفات بودن خط انتقال به یک معادله دیفرانسیل می رسیم که با استفاده از روش ریاضی توابع Airy وکمی محاسبه، ماتریس انتقال خط را بدست اوریم

فصل دوم :

بدست آوردن ضریب میدان ، ضریب انتقال وانعکاس ، با استفاده از فرم معادلات موج ولتاژ وجریان

در این بخش باز هم سعی شده پارمترهای ثانوی ولتاژ (میدان) برحسب پارمترهای اولیه بیان شود ودر نهایت به محاسبه ضریب انعکاس وانتقال می پردازیم همچنین در این بخش با استفاده از تئوری انعکاسهای کوچک ضریب انعکاس خط غیر یکنواخت را بدست می آوریم .

وبه معرفی چند خط انتقال مایکرواستریپ غیر یکنواخت معروف می پردازیم.همچنین در این فصل به بررسی نموداری آن خطوط می پردازیم .

فصل سوم :

بررسی یک خط انتقال ماکرواستریپ غیر یکنواخت از طریق تکه تکه کردن به خط انتقال های یکنواخت

در این روش خط انتقال به تعدادی خطوط انتقال یکنواخت تقسیم می شود وچون برای یک خط انتقال یکنواخت تمامی پارامترها اعم از R,G,L,C,γ, وماتریس انتقال را داریم . می توانیم ماتریس انتقال کل شبکه را از طریق ضرب کردن تمام ماتریس انتقال ها بدست آوریم

فصل چهارم :

روش پیکارد کارسون :

در این بخش با استفاده از روش عددی پیکارد کارسون که برای معادلات تلگراف پیاده سازی شده است . وسپس ماتریس انتقال خط انتقال را بدست می اوریم در این روش باید مشخصه ی امپدانس وادمیتانس خط انتقال مشخص باشد .

در ضمن این روش یکی از قویترین روشهای تحلیل خط انتقال ماکرواستریپ غیر یکنواخت می باشد

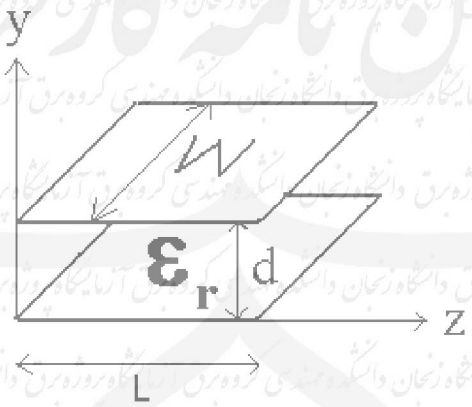
فصل اول :

بررسی خط انتقال ماکرواستریپ غیر یکنواخت خطی :

هدف:بدست آوردن ماتریس انتقال غیر یکنواخت خطی.

یادآوری:

یک خط انتقال صفحه ای موازی یکنواخت از دو صفحه ی هادی موازی تشکیل شده استکه توسط یک باریکه ی دی الکتریک با ضخامت یکنواخت از یکدیگر جدا شده اند.در فرکانس های مایکروویو با استفاده از تکنولوژی مدار چاپی می توان خطوط انتقال صفحه ای موازی را با هزینه ی کمی روی لایه ی دی الکتریک تشکیل داد.مطابق شکل



همانطور که در تئوری مایکروویو دیدیم با در نظر گرفتن مد TEMدر خط انتقال و با استفاده از معادلات ماکسول اندوکتانس و ظرفیت خط انتقال را بدست آوردیم:

$$L = \mu \frac{d}{w}$$

$$C = \varepsilon \frac{w}{d}$$

که با استفاده از معادلات تلگراف فرم انتشار موج جریان وولتاژ را بدست آوردیم

$$V(z) = V_0 e^{-j\beta z}$$

$$I(z) = I_0 e^{-j\beta z}$$

که در آن βثابت فاز می باشد.وامپدانس مشخصه آن عبارت است از:

$$Z_0 = \frac{V(z)}{I(z)} = \frac{V_0}{I_0} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

همچنین ما در مورد خط انتقال با تلفات بحث کردیم که منشا تلفات به دو دلیل می تواند باشد :

۱ . ممکن است تانژانت تلفات محیط دی الکتریک غیر صفر باشد

۲ .ممکن است صفحات هادی ها کامل نباشد.

که برای مشخص کردن این دو اثر دو پارامتر جدید تعریف کردیم:

Gرسانایی در واحد طول بین دو صفحه وRمقاومت در واحد طول دو صفحه ی هادی که با استفاده از روابطی گه در الکترومغناطیس داشتیم می نویسیم:

$$G = C\frac{\sigma}{\varepsilon} = \sigma\frac{W}{d}$$

وهمچنین

$$G = 2(\frac{R_s}{W}) = \frac{2}{W}\sqrt{\frac{\pi f \mu_c}{\sigma_c}}$$

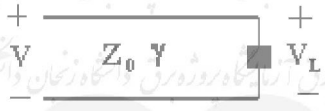
که با داشتن پارامتر های گسترده R,L,G,Cتمام مشخصات خط انتقال برای ما مشخص است.

و در نهایت داریم:

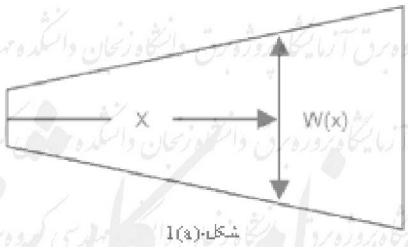
$$V(z) = V_0^{+}e^{-j\beta z} + V_0^{=}e^{-j\beta z}$$

$$I(z) = I_0^{+}e^{-j\beta z} + I_0^{=}e^{-j\beta z}$$

که برای شکل زیر داریم:



آنالیز را با یک خط انتقال به طول l که بدون تلفات می باشد آغاز می کنیم ، شکل این خط انتقال در زیر رسم شده است .



شکل۱(a)

این خط انتقال شامل امپدانس Z و ادمیتانس Y و همچنین شامل سلف و خازن در واحد طول می باشد که همگی تابعی از x می باشند ، پس اجازه دهید آنها را به صورت Z(x) ، Y(x) ، C(x) و L(x) نمایش دهیم .

فرض کنید فقط هارمونیک اصلی $e^{j\omega t}$ وجود داشته باشد .

$$Z(x) = j\omega L(x) \qquad (1)$$

$$Y(x) = j\omega C(x) \qquad (2)$$

معادلات تلگراف یا معادلات کلی خط انتقال رابطه بین ولتاژ وجریان را بیان می کند

$$\frac{dI(x)}{dx} = -Y(x)V(x) \qquad (3)$$

$$\frac{dV(x)}{dx} = -Z(x)I(x) \qquad (4)$$

از طرفین معادله (۴) مشتق می گیریم :

$$\frac{d^2V(x)}{dx} = -I(x)\frac{dZ(x)}{dx} - Z(x)\frac{dI(x)}{dx} \qquad (5a)$$

از معادلات (۳) و (۴) داریم :

$$I(x) = -\frac{1}{Z(x)}\frac{dV(x)}{dx} \qquad (5b)$$

رابطه(5b) و رابطه۳ را در معادله (5a) قرار داده و به معادله زیر می رسیم :

$$\frac{d^2V(x)}{dx^2} - (\frac{1}{z}\frac{dZ}{dx})\frac{dV}{dx} - (YZ)V = 0 \qquad (5c)$$

کمیت YZ معرف توان دوم ثابت انتشار می باشد که به ثابت دی الکتریک وابسته می باشد که این وابستگی را از طریق سرعت فاز υ_P می توان نشان داد .

ما در اینجا به جای ε_r از ε_{eff} که ثابت دی الکتریک موثر می باشد استفاده می کنیم .

اجازه دهید با کمی تقریب از روابط سلف و خازن که در خط انتقال صفحه ای معمولی داریم استفاده کنیم:

$$L = \mu \frac{d}{W}$$

$$C = \varepsilon \frac{W}{d} \qquad \Rightarrow \; LC = \mu\varepsilon = \frac{1}{\upsilon_p} = \frac{\varepsilon_{eff}}{C}$$

از روابط (۱) و (۲) داریم

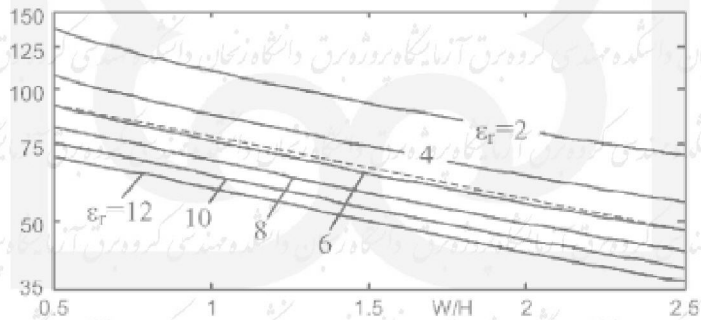
$$YZ = -\omega^2 LC = -(\frac{\omega}{\upsilon_p})^2 = -(\frac{\omega}{C})^2 \varepsilon_{eff}$$

پس معادله (5d) به معادله زیر تبدیل می شود :

$$\frac{d^2V(x)}{dx} - (\frac{1}{z}\frac{dZ}{dx})\frac{dV}{dx} - (YZ)V = 0 \qquad (6)$$

حال رابطه ی بالا را در ذهن داشته باشید.حال در مورد ضریب دی الکتریک و امپدانس خط مطالبی را بیان می کنیم.

شکل های ۱(c) و ۱(b) رابطه ی ضریب دی الکتریک و امپدانس را با نسبت عرض به ضخامت یا همان $\frac{W}{H}$ نشان می دهد که از نتایج بدست آمده در مرجع [1] بدست آمده است .(این نمودار ها بصورت تجربی بدست آمده است)



شکل ۱(b)

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

جمع بندی:

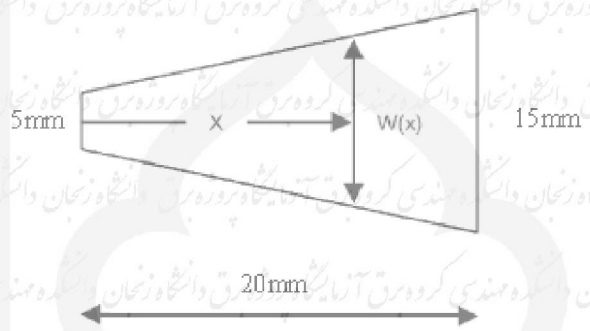
در این بخش در ابتدا یک خط انتقال LTMLرا که دارای مشخصات زیر است، از طریق شبیه سازی در نرم افزار C تحلیل می کنیم که شبیه ساز از طریق روش تکه تکه کردن به خطوط یکنواخت می باشد.

$\varepsilon_r = 6$

$\sigma = 0.0057$

$H = 5mm$

$W(z) = 0.5x + 5$



بر طبق برنامه ای که نوشته شد،ماتریس انتقال را برای قسمت کردن به۱۲و۱۳و ۱۴و۱۵و۱۶و...و۲۰ قسمت به صورت زیر در آمده است:

A=-0.649018+3.91635i B=-9.54429+9.85807i C=0.470503+0.466773i D=0.260882+2.04774i	n=12
A=-1.31894+4.50425i B=-12.3011+9.75332i C=0.464039+0.595042i D=-0.0430057+2.37207i	n=13
A=-2.17175+5.06979i B=-15.5036+9.21462i C=0.435796+0.741944i D=-0.433345+2.69653i	n=14
A=-3.23409+5.58173i B=-19.1444+8.10937i C=0.380436+0.906836i D=-0.923481+3.00671i	n=15
A=-4.53164+6.00387i B=-23.1343+6.28397i C=0.293016+1.08909i D=-1.52026+3.28029i	n=16

```
A=-6.08613+6.2787i        B=-27.5495+3.5843i
C=0.163683+1.28376i       D=-2.24911+3.505i
```

```
A=-7.91764+6.35983i       B=-32.0903+-0.155332i
C=-0.0112096+1.49007i     D=-3.0962+3.64135i
```

n=17

n=18

```
A=-10.0354+6.1628i        B=-36.8279+-5.14883i
C=-0.243615+1.6986i       D=-4.09222+3.66923i
```

n=19

```
A=-12.4427+5.61406i       B=-41.4417+-11.5508i
C=-0.539693+1.90379i      D=-5.22151+3.54584i
```

n=20

حال ما خط انتقال فوق را از روشی که در فصل یک که با استفاده ازتوابع airy تحلیل می کنیم. همانطور که می دانیم ماده بکار رفته ما در خط انتقال فوق، $\varepsilon_r = 6$ میبا شد. بر طبق شکل های 1-b و 1-c داریم:

$$\varepsilon_r = \frac{5.7}{2.5}\frac{4.7}{0.5}\frac{W}{H} + 4.45$$

$$\varepsilon_r = 0.1W + 4.45$$

از طرفی H=5mm و بر طبق مسئله w=0.5x+5 است.پس خواهیم داشت:

$$\varepsilon_r = \frac{1}{10}(0.5x + 5) + 4.45$$

$$\varepsilon_r = 0.05x + 4.45$$

بر طبق رابطه۷:

$$d_1 = 0.05$$

$$d_2 = 4.95$$

حال به بررسی نمودار امپدانس می پردازیم:

اگرنمودار را با تقریب به صورت نمایی در نظر بگیریم از روی نمودار داریم:

$$90 = cd_3 e^{-0.5\alpha}$$

$$45 = cd_3 e^{-2.5\alpha}$$

بر طبق روابط بالا α=0.34 .پس مشخصه امپدانس به صورت زیر در می آید:

$$Z_c = cd_3 e^{-034\frac{W}{H}}$$

که با قرار دادن W و H مشخصه امپدانس به صورت زیر در می آید:

$$Z_c = 97.9e^{-0.034x}$$

که x باید بر حسب mm باشد پس برای اینکه بر حسب m بیان شود داریم:

$$Z_c = 97.9e^{-34x}$$

پس ضریب $d_4 = 34$. است.

حال با استفاده از روابط 11-a,24-a,24-b,24-c,24-d,15

ماتریس انتقال رابدست می آوریم:

A=-1.75+6.4i
B= -9+10i
C=1.2+1.2i
D=-0.8+3.4i

که بهترین ماتریس انتقالی که از روش تکه تکه کردن بدست می آید،و با ماتریس فوق مقاربت دارد، در تقسیم بندی ۱۴ قسمت به دست می آید.
یعنی اینکه در تقسیم بندی وقتی تعداد تقسیم ها زیاد می شود، تاتقسیم بندی ۱۴ به جواب نزدیک می شویم و بعد از ۱۴ از جواب دور می شویم.

.

حال توضیحی در مورد روش های فوق بیان می کنیم:

روشی که در فصل اول ارائه شد، فقط برای خط انتقال غیر یکنواخت خطی می باشد .
در این روش حتما باید مشخصه امپدانس و ضریب دی الکتریک مشخص باشد.محاسبات در این روش طولانی بوده و جواب به دست آمده دقیق می باشد.در مورد خطوط LTML این روش پیشنهاد می شود.

روشی که در فصل دوم بیان شد،برای هر خط انتقالی صادق می باشد. در این روش باید مشخصه امپدانس مشخص باشد .در صورتی که با فرم موجی ولتاژوجران کارمی کنیم(موج رونده و موج باز گشتی)این روش مناسب است.در این روش به محاسبات کامپیوتری نیاز است.

روشی که در فصل سوم بیان شد(بدست آوردن ضرایب هارمونیک های ولتاژ) . در این روش روش به محاسبات پیچیده نیاز است.مخصوصا زمانی که تعداد اتصالات زیاد شود ، اما در کل برای تحلیل خطوط غیر یکنواخت مناسب نمی باشد.

روش مربوط به فصل چهارم (تکه تکه کردن با خطوط یکنواخت) برای تمامی خطوط غیر یکنواخت موثر می باشد. این روش یک روش کامپیوتری منظم می باشد. مشخصه ضریب دی الکتریک باید در این روش مشخص باشد.

روشی که در فصل پنجم بررسی شد ،موسوم به روش کارسون می باشد. یک روش بسیار قوی و مشخص می باشد و برای هر خط انتقالی به کار می رود. در این روش باید مشخصه های امپدانس و ادمیتانس مشخص باشد.

مراجع:

[1] M. Kirschning and R. H. Jansen, "Accurate model for effective dielectric constant of microstrip with validity up to millimeter wave frequencies," Electron. Lett., vol. 18, no. 6, pp. 272–273, 1982.

[2] S. Ramo, J. R. Whinnery, and T. Van Duzer, Fields and Waves in Communication Electronics, 3rd ed. New York:Wiley, 1994, pp. 411–414.

.3مهندسی مایکروویو،دیوید پوزار،مهندس محمد رضا سهیلی فر،انتشارات جهان نو

[4]. Collin, R. E., Foundations for Microwave Engineering, McGrawHill, 1996.

[5] S. M. Ghausi and J. J. Kelly: Introduction to Distributed-Parameter Networks, Holt, Rinehartand Winston, Inc. 1968, New York.