دانشکده مهندسی
گروه برق

پایان‌نامه کارشناسی

گرایش: مخابرات

عنوان :

تحلیل،طراحی و شبیه سازی فیلتر های ماکرواستریپ

استاد راهنما: دکتر علی میرکمالی

نگارش: محمد سپهری

آبان۸۷

فهرست مطالب :

چکیده : ۱

مقدمه : ۲

فصل اول :

۱-۱ خطوط مایکروستریپ

ساختمان مایکرواستریپ ۳

امواج در مایکرواستریپ ۴

تقریب شبه TEM ۴

ثابت دی الکتریک و امپدانس مشخصه ۴

طول موج هدایتی و ۷

تأثیر ضخامت نوار ۸

پراکندگی در مایکرواستریپ ۹

تلفات در مایکرواستریپ ۱۰

تأثیر محفظه ی بیرونی ۱۲

امواج سطحی و مدهای بالاتر ۱۳

۱-۲ خطوط تزویج شده : ۱۴

خازن های مدهای زوج وفرد ۱۵

امپدانس مشخصه و ثابت دی الکتریک برای مدهای زوج وفرد ۱۷

۱-۳ ناپیوستگی ها و اجزای مربوطه : ۱۸

ناپیوستگی های مایکرواستریپ : ۱۸

وجود پله در پهنای مایکرواستریپ ۲۰
اتصال بازها ۲۱
فواصل مایکرواستریپ ۲۲
خم ها ۲۴
قطعات مایکرو استریپ ۲۵
سلف ها و خازن های فشرده ۲۵
عناصر شبه فشرده ۳۱
رزوناتورها ۳۷
محاسبه ی تلفات برای رزوناتورها ۴۲
۴-۱ انواع دیگر خطوط مایکرواستریپ ۴۶

فصل دوم :

فیلترهای پایین گذر مایکرواستریپ :

طرح فیلتر های پایین گذر ۴۸
فیلترهای نوع نردبانی L,C و امپدانس پله ای ۴۹
فیلترهای نوع نردبانی L,C با استفاده از استاب های مدار باز 55
فیلترهای پایین گذر فشرده با قطب های میرایی فرکانس محدود ۶۳

فصل سوم :

فیلترهای میان گذر :

فیلترهای رزوناتوری تزویج شده از انتهای نصف طول موج ۷۱
فیلترهای شانه ای ۷۹

طرح فیلتر ۷۹
مثال طراحی ۸۳
حساسیت ۸۶

چکیده :

استفاده از خطوط مایکرواستریپ ، طی سالیان اخیر در ازدیاد روزافزون بوده است . علل این اقبال را می توان در کوچکی اندازه و امکان تغییرات شکلی زیاد این خطوط دانست .

از موارد استفاده ی این خطوط می توان به آنتن های مختلف با ابعاد کوچک ، کاربرد در ساخت مدارات مجتمعی که در فرکانس های بالا کار می کنند و همچنین ، استفاده از آن در ساخت فیلترهای فرکانس گزین در فرکانس های مایکروویو می باشد . که مورد اخیر ، موضوع این پروژه می باشد .

در این پروژه ، پس از بررسی خطوط مایکرواستریپ و انواع مختلف قطعات و عناصری که توسط این خطوط ساخته می شود ؛ چگونگی طرح یک فیلتر مایکرواستریپ با استفاده از یک پیش الگوی اولیه مورد بررسی قرار گرفته است . سپس نتایج طراحی با استفاده از نرم افزار HFSS v10 شبیه سازی شده ، و با نتایج مطلوب مقایسه شده است . (شکل طرح در محیط HFSS بهمراه پاسخ فرکانسی رسم شده توسط نرم افزار ارائه شده است) و نهایتاً حساسیت پاسخ فرکانسی یک طرح از فیلترهای طراحی شده ، نسبت به چند پارامتر خطوط مایکرواستریپ به مدد شبیه سازی های متعدد ، معین شده است ..

مقدمه :

خطوط انتقال صفحه ای به محیط هایی همچون خط نواری[1] ، ریز نوار[2] (مایکرواستریپ) ، خط شیاری[3] ، وساختارهای مشابه اطلاق می گردد . چنین خطوط انتقالی کم حجم و با قیمت پایین بوده و در آنها می توان از عناصری همچون دیود و ترانزیستور نیز استفاده نمود .

اولین استفاده از این نوع خطوط به زمان جنگ جهانی دوم برمی گردد ؛ ولی می توان گفت که تا سال ۱۹۵۰ خطوط انتقال صفحه ای ، پیشرفت چندانی نکردند .

خط مایکرواستریپ ابتدا در آزمایشگاههای ITT ساخته شد و رقیبی جدی برای خط نواری که مورد استفادهٔ بسیار داشت به شمار آمد . مزیت خط مایکرو استریپ بر خط نواری پاسخ فرکانسی بهتر آن بود ولی در مقابل این مزیت ، یک ایراد مهم داشت و آن ضخامت زیاد زیرلایه[4] ی آن بود ؛ تا آن که دردهه ی ۱۹۶۰ باپیشرفت تکنولوژی های مرتبط ، این ضخامت به شدت کاهش یافت و منجر به ورود خطوط مایکرواستریپ به عرصه ی تولید وصنعت شد . امروزه خط مایکرواستریپ در مدارات مجتمع به هر خط انتقال دیگری ترجیح داده می شود .

یک نمونه از کاربردهای بسیار خطوط مایکرواستریپ ، استفاده در ساخت فیلترهایی است که در باند فرکانسی مایکروویو کار می کنند .

امروزه این فیلترها کاربردهای متنوع و مهمی نظیر ارتباط بی سیم (موبایل)، رادارهای بی سیم یا سنسورهای بی سیم و ... دارند .

در نوشتار حاضر ابتدا به خطوط مایکرواستریپ پرداخته شده است . سپس در دو فصل فیلترهای مایکرواستریپ پایین گذر و میان گذر به اختصار مورد بررسی قرار گرفته اند .

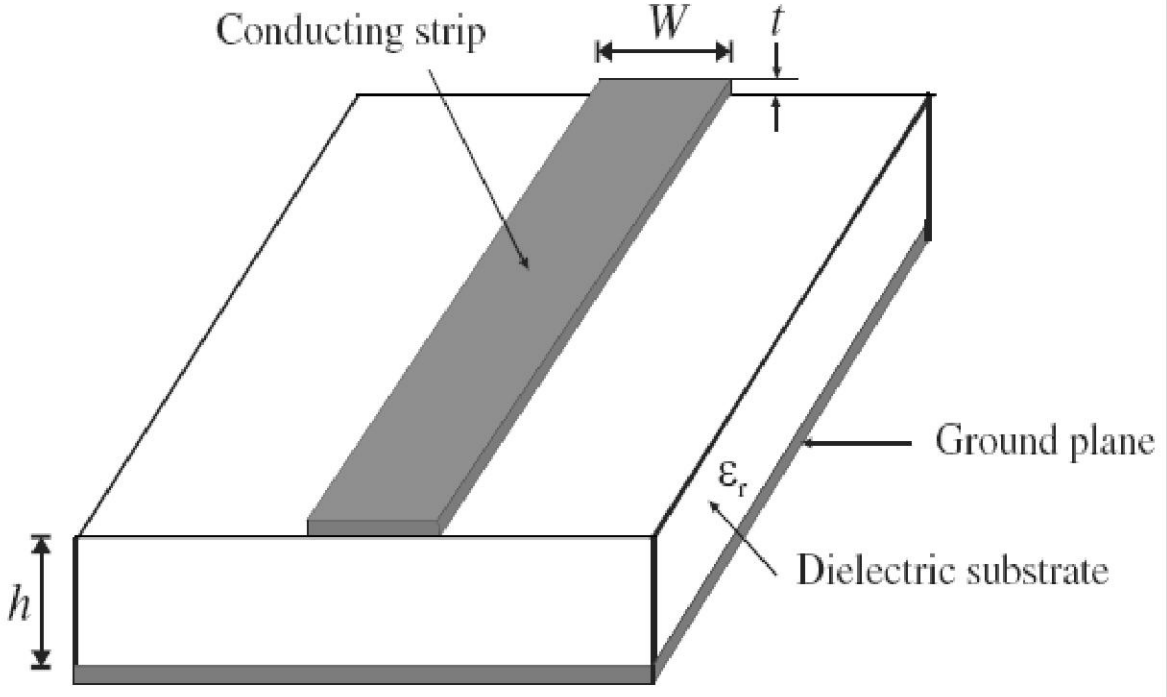
---

[1] stripline
[2] microstrip
[3] slotline
[4] substrate

۱-۱ خطوط مایکرواستریپ

۱-۱-۱ ساختمان مایکرواستریپ:

ساختمان عمومی مایکرو استریپ در شکل نشان داده شده است . یک نوار هدایت کننده با پهنای w وضخامت t برروی زیرلایه ی[1] دی الکتریک که ضریب دی الکتریک نسبی اش ε_r است وضخامتش h وکف زیرلایه، یک لایه ی هادی زمین شده است.



شکل ۱-۱ ساختار عمومی مایکرو استریپ

[1] substrate

۲-۱-۱ امواج در مایکرو استریپ:

امواج در مایکرواستریپ در دوبخش هوا و دی الکتریک پخش می شوند که نتیجه ی غیرهمگن بودن ساختمان این خط انتقال است . بخاطر همین غیرهمگنی ذاتی ، خط مایکرو استریپ ، موج TEM رانمی تواند منتقل کند . علت این مطلب این است که موج در مد TEM فقط مؤلفه های ترانسورس دارد وسرعت انتشار آن به خواص ماده (ثابت گذردهی الکتریکی ε وثابت نفوذ مغناطیسی μ)بستگی دارد در حالی که با حضور دوماده ی هدایت کنندهٔ موج (زیرلایه دی الکتریک و هوا) ، مؤلفه های الکتریکی ومغناطیسی میدانها در خطوط مایکرواستریپ در جهت انتشار هیچگاه صفر نخواهند شد و سرعت انتشار آنها فقط به خواص مادی بستگی نخواهد داشت بلکه همچنین به ابعاد فیزیکی مایکرواستریپ هم بستگی خواهد داشت .

۳-۱-۱ تقریب شبه TEM

وقتی مؤلفه های طولی [در جهت انتشار] میدانهای مد غالب خط مایکرواستریپ خیلی کوچکتر از مؤلفه های عرضی میدان ها شد ، می توان از مؤلفه های طولی میدان صرفنظر کرد .در این صورت مد غالب رفتاری همانند مد TEM خواهد داشت . وتئوری خط انتقال TEM در مورد خط مایکرواستریپ بخوبی قابل کاربرد خواهد بود . که بنام تقریب شبه TEM نامیده می شود . و در اغلب فرکانس های کاربردی در مایکرواستریپ صدق می کند.

۴-۱-۱ ثابت دی الکتریک مؤثر وامپدانس مشخصه :

در تقریب شبه TEM ،یک مادهٔ دی الکتریک همگن با ثابت گذردهی دی الکتریک مؤثر جایگزین دی الکتریک-هوا ی ناهمگن در مایکرو استریپ می شود . مشخصه ی انتقال مایکرواستریپ با دو پارامتر توضیح داده می شود . یعنی ثابت دی الکتریک مؤثر ε_{re} و امپدانس مشخصه Z_c ،که ممکن است با تحلیل و شبیه سازی بدست آید.در تحلیل شبه ایستا ،مد پایه ای انتشار موج در

مایکرو استریپ ، TEM فرض می شود . سپس دو پارامتر مایکرواستریپ بالا ، از مقادیر دو خازن، طبق فرمول زیر بدست می آیند.

C_d خازن در واحد با زیرلایه ی دی الکتریک است.

$$\varepsilon_{re} = \frac{C_d}{C_a}$$

C_a خازن در واحد بازیر لایه ی هوا است.

c سرعت انتشار موج در خلا است .

$$Z_c = \frac{1}{c\sqrt{C_a C_d}}$$

برای هادی های بسیار نازک (یعنی $t \to 0$) دقت محاسبات بفرم زیر بالاتر از ۱ ٪ است:

For $W/h \leq 1$:

$$\varepsilon_{re} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}\left\{\left(1 + 12\frac{h}{W}\right)^{-0.5} + 0.04\left(1 - \frac{W}{h}\right)^2\right\}$$

$$Z_c = \frac{\eta}{2\pi\sqrt{\varepsilon_{re}}} \ln\left(\frac{8h}{W} + 0.25\frac{W}{h}\right)$$

که $\eta = 120\pi$ امپدانس مشخصه ی موج در محیط خلأ می باشد.

For $W/h \geq 1$:

$$\varepsilon_{re} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}\left(1 + 12\frac{h}{W}\right)^{-0.5}$$

$$Z_c = \frac{\eta}{\sqrt{\varepsilon_{re}}}\left\{\frac{W}{h} + 1.393 + 0.677 \ln\left(\frac{W}{h} + 1.444\right)\right\}^{-1}$$

بیان های بادقت بالاتری هم برای امپدانس مشخصه و ثابت دی الکتریک مؤثر وجود دارد که یکی از آن ها به قرار زیر است :

$$\varepsilon_{re} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}\left(1 + \frac{10}{u}\right)^{-ab}$$

where $u = W/h$, and

$$a = 1 + \frac{1}{49}\ln\left(\frac{u^4 + \left(\frac{u}{52}\right)^2}{u^4 + 0.432}\right) + \frac{1}{18.7}\ln\left[1 + \left(\frac{u}{18.1}\right)^3\right]$$

$$b = 0.564\left(\frac{\varepsilon_r - 0.9}{\varepsilon_r + 3}\right)^{0.053}$$

دقت این مدل برای $\varepsilon_r \leq 128$ و $0.01 \leq u \leq 100$ بیش از ۰،۲٪ است.

بیان با دقت بالاتر برای امپدانس مشخصه :

$$Z_c = \frac{\eta}{2\pi\sqrt{\varepsilon_{re}}}\ln\left[\frac{F}{u} + \sqrt{1 + \left(\frac{2}{u}\right)^2}\right]$$

where $u = W/h$, $\eta = 120\pi$ ohms, and

$$F = 6 + (2\pi - 6)\exp\left[-\left(\frac{30.666}{u}\right)^{0.7528}\right]$$

دقت $Z_c\sqrt{\varepsilon_r}$ برای $u \leq 1$ بیش از ۰،۰۱٪ وبرای $u \leq 1000$ بیش از ۰،۰۳٪ است .

۵-۱-۱ طول موج هدایتی ،ثابت انتشار ، سرعت فاز وطول الکتریکی :

ثابت دی الکتریک مؤثر مایکرواستریپ که تعیین شد . طول موج هدایتی مد شبهTEM مایکرواستریپ با رابطه ی زیر بدست می آید :

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_{re}}}$$

که λ_0 طول موج فضای آزاد در فرکانس کاراست . جایی که فرکانس برحسب GHZ داده می شود ، طول موج هدایتی ، مستقیما از رابطه ی زیر برحسب میلی متر محاسبه می شود :

$$\lambda_g = \frac{300}{f(GHZ)\sqrt{\varepsilon_{re}}} \quad (\text{mm})$$

ثابت انتشار β وسرعت فاز v_p هم با روابط زیر معین می شوند :

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda_g}$$

.

$$v_p = \frac{\omega}{\beta} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_{re}}}$$

که c سرعت موج در خلأ است .

طول الکتریکی θ برای طول فیزیکی داده شده l برای مایکرواستریپ ، با رابطه ی زیر تعریف می شود :

$$\theta = \beta l$$

در نتیجه $\theta = \frac{\pi}{2}$وقتی که $l = \frac{\lambda_g}{4}$ و $\theta = \pi$ وقتی که $l = \frac{\lambda_g}{2}$

این ها بنام ربع طول موج و نصف طول موج خطوط مایکرواستریپ نامیده می شود که در طراحی فیلترهای مایکرواستریپ اهمیت دارند .

۶-۱-۱ تأثیر ضخامت نوار :

تا بحال به تأثیر ضخامت نوار توجهی نداشتیم . وقتی که خط مایکرواستریپ بوسیله ی غشای نازکی از هادی درست می شود ؛ ضخامت t معمولا بسیار کوچک است . بنابراین تأثیر آن بکلی نادیده گرفته می شود . وگرنه تأثیر آن در امپدانس مشخصه و ثابت دی الکتریک مؤثر ، شامل عبارت زیر می شود :

For $W/h \leq 1$:

$$Z_c(t) = \frac{\eta}{2\pi\sqrt{\varepsilon_{re}}} \ln\left\{ \frac{8}{W_e(t)/h} + 0.25\frac{W_e(t)}{h} \right\}$$

For $W/h \geq 1$:

$$Z_c(t) = \frac{\eta}{\sqrt{\varepsilon_{re}}} \left\{ \frac{W_e(t)}{h} + 1.393 + 0.667 \ln\left(\frac{W_e(t)}{h} + 1.444 \right) \right\}^{-1}$$

که :

$$\frac{W_e(t)}{h} = \begin{cases} \dfrac{W}{h} + \dfrac{1.25}{\pi}\dfrac{t}{h}\left(1 + \ln\dfrac{4\pi W}{t}\right) & (W/h \leq 0.5\pi) \\ \dfrac{W}{h} + \dfrac{1.25}{\pi}\dfrac{t}{h}\left(1 + \ln\dfrac{2h}{t}\right) & (W/h \geq 0.5\pi) \end{cases}$$

$$\varepsilon_{re}(t) = \varepsilon_{re} - \frac{\varepsilon_r - 1}{4.6}\frac{t/h}{\sqrt{W/h}}$$

در روابط بالا ، ε_{re} ثابت دی الکتریک مؤثر به ازای $t = 0$ است . ومشهود است که تأثیر ضخامت نوار در هر رابطه ی امپدانس مشخصه و ثابت دی الکتریک مؤثر بصورت ناچیزی به ضریب کوچک $\frac{t}{h}$ بستگی دارد . اگرچه تأثیر ضخامت نوار برای تضعیف خط مایکرواستریپ ، مهم و قابل توجه است.

دانشجویان محترم:

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

مراجع :

[1] Jia Sheng Hong , M.J.Lancaster , Microstrip Filters for RF/Microwave Applications , John wiley , New York , 2001.

[2] Daniel G.Swanson,Jr.Wolfgang J.R. Hoefer. Microwave Circuit Modeling Using Electromagnetic Simulation . ARTECH HOUSE,INC . Boston, London ,2003.

[3] HFSS User's guid , Ansoft Corporation ,Pittsburgh, 2003

[4] David M . Pozar , Microwave Engineering , 3rd ed , Wiley, 2005.