

طرح و ساخت صافی میانگذر به فرکانس ۱۲/۱ ژیگاهرتز

با استفاده از خطوط میکرواستریپ بهم تزویج شده

دکتر محمدنقی آذرمنش

استادیار آموزشکده فنی مهندسی دانشگاه ارومیه

چکیده:

خطوط میکرواستریپ به جهت ساختار مسطح "Planar" خود به خوبی می تواند در مدارهای مجتمع میکروویو (MICs) مورد استفاده قرار گیرد. در این مقاله نحوه طراحی و محاسبه ابعاد خطوط میکرواستریپ بهم تزویج شده جهت ساخت یک صافی میانگذر ۱۲/۱ ژیگاهرتز مورد بحث و بررسی قرار می گیرد. مورد استفاده این صافی در سیستم گیرنده مستقیم تصاویر تلویزیونی از ماهواره فرانسوی است. مشکلات طرح مورد بحث قرار می گیرد و تقریب های اعمال و نتایج حاصل ارائه می شود.

Design and Realization of Band Pass Filter with a Middle Frequency of 12.1 GHz Made of Coupled Microstrip Lines.

M.N. Azarmanesh, Ph.D.

Tech. Dept. Ormniya, Univ.

ABSTRACT:

The Microstrip Lines can be easily used in Microwave Integrated Circuits (MIC,s) due to their planar structure. In this paper the manner of designing the coupled microstrip lines and calculation of their dimensions for construction of a Band pass Filter with the band width of 1 GHz and with a middle frequency of 12.1 GHz. were considered.

In the present work the approximate equations for programming calculations were also given.

Based on the given equations, this filter leads us to a relative good results with a minimised error.

مقدمه:

الف - مشخصات صافی

این صافی در مدار هیبرفرکانس گیرنده تصاویر تلویزیونی از طریق ماهواره، (شکل ۱) مورد استفاده قرار می گیرد.

فرکانس میانی $f_0 = 12/1 \text{ GHz}$ و عرض نوار عبوری 1 GHz است. قطع پائین $f_{1a} = 11/6 \text{ GHz}$ و قطع بالا $f_{2a} = 12/6 \text{ GHz}$ ، تضعیف ۲۰ dB در فرکانسهای $f_{1p} = 10/9 \text{ GHz}$ و $f_{2p} = 13/3 \text{ GHz}$ مورد نظر است؛ (شکل ۲C) با توجه به شیب تند تضعیف، صافی از نوع چپی شف انتخاب می شود.

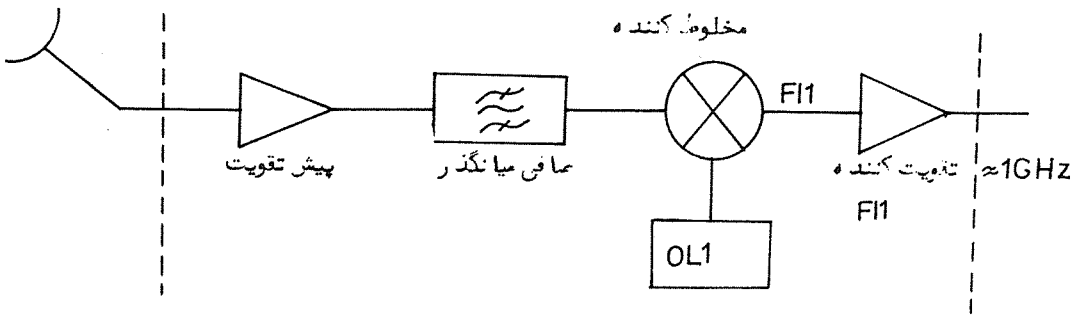
در شکل (۲a) منحنی جوابی پائین گذر نمونه و در شکل (۲b) نمونه یک مدار پائین گذر، در شکل (۲c) میانگذر مربوط به پائین گذر نمونه و بالاخره در شکل (۲d) مدار مربوط به آن داده شده است.

مقادیر عناصر صافی نمونه به نحوی نرمالیزه می شوند که $\omega_0 = 1$ و $\omega_1 = 1$ می شود.

در مدار پائین گذر نمونه شکل (۲b) می توان این نمونه ها را با روابط زیر به سایر امپدانس ها تبدیل کرد و جابجایی فرکانس را انجام

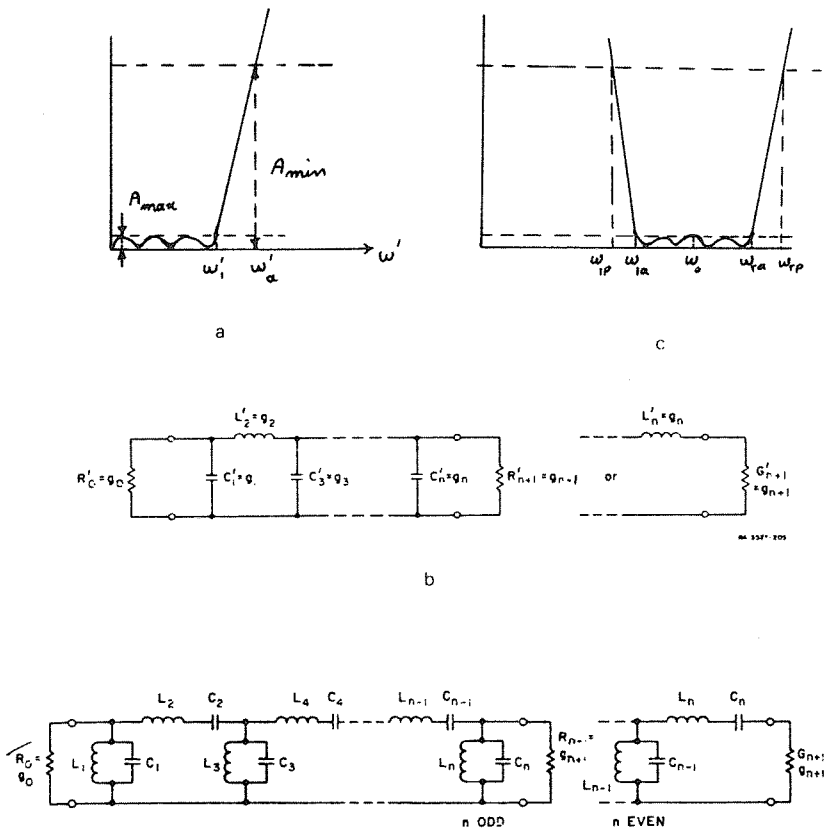
فکر ساخت مدارهای مجتمع میکروویو جایگزینی موج برهای معمول فلزی را با ساختارهای مسطح الزامی نمود. طی دو سه دهه اخیر کارهای تحقیقاتی عمده ای روی موج برهای دی الکتریکی با ساختارهای مختلف و خطوط میکرواستریپ صورت گرفته است. مشکل محاسبات دقیق پارامترهای چنین خطوط هنوز هم پابرجاست و ارائه روش های محاسباتی با دقت بالاتر در مورد این خطوط در نشریات جدید باز هم ادامه دارد. در این مقاله به نحوه محاسبات پارامترهای مشخصه خط میکرواستریپ اشاره ای نرفته و تنها به روش استفاده از نتایج حاصله در مورد این خطوط برای طرح صافی میانگذر پرداخت می شود، در عین حال جدیدترین منابع در مورد چنین محاسباتی در مراجع آخر مقاله معرفی شده است. در اینجا فرمول های محاسباتی مربوطه به صافی میانگذر برحسب مشخصه های صافی و مشخصه های صفحه دی الکتریکی که مدار بر روی آن پیاده می شود آورده شده است.

نتایج عملی در مورد صافی میانگذر به فرکانس میانی ۱۲/۱ ژیگاهرتز بر اساس فرمول های حاصله ارائه می گردد. ضمناً مختصری نیز راجع به تکنولوژی ساخت و نحوه تصحیح نتایج اشاره رفته است.



بخش میکروویو فرکانس

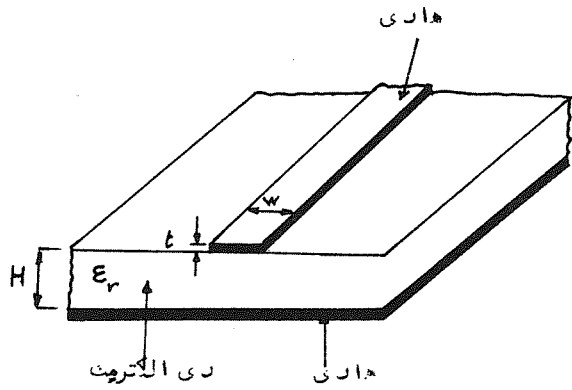
شکل ۱ - بخش میکروویو گیرنده به صورت بلوک



شکل ۲

ب - خط میکرواستریپ

این خط دارای ساختار شکل (۳) است. و به جهت ساختار مسطح خود می‌تواند در مدارهای مجتمع میکروویوی (MICs) مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۳

امپدانس مشخصه و ثابت فاز β این خط از روابط زیر به دست می‌آید:

$$Z_{om} = Z_{om}^a \left(\frac{C_a}{C} \right)^{1/2} \quad (6a)$$

$$\beta = \beta_0 \left(\frac{C}{C_a} \right)^{1/2} \quad (6b)$$

که در آن $Z_{om}^a = \frac{1}{\epsilon_0 C_a}$ و $\beta_0 = \frac{w}{c}$ سرعت موج الکترومغناطیسی در فضای آزاد است.

$$Z_{om} = \frac{1}{C \sqrt{\epsilon_0 \epsilon_r}} = \frac{120 \pi \epsilon_0}{\sqrt{\epsilon_r} C} \quad (6c)$$

C_a خازن برای واحد طول میکرواستریپ وقتی که فاصله دو هادی هوا است. C خازن واحد طول میکرواستریپ وقتی بین هادی‌ها، دی‌الکتریک قرار گرفته باشد.

روشهای مختلفی برای محاسبه خازنهای الکتروستاتیکی C_a و C موجود است.

(مطالعه‌کننده لطفاً به مراجع آخر مقاله مراجعه کند).

ج - خطوط میکرواستریپ بهم تزویج شده

بین دو خط انتقال که به‌طور موازی در کنار هم قرار گرفته باشند

یک تزویج ممتد بین امواج الکترومغناطیسی دو خط برقرار می‌شود. از خطوط بهم تزویج شده در ساخت directional couplers صافی‌ها و ... استفاده می‌شود.

یک جفت خط بهم تزویج شده می‌تواند دو مد انتشار مختلف تحمل کند.

شکل (۴) توزیع پتانسیل برای این دو مد را که زوج و فرد نامیده می‌شوند نشان می‌دهد. هرگاه این دو خط در محیط دی‌الکتریکی همگنی قرار گیرد سرعت انتشار برای دو مد یکسان خواهد بود.

$$R = \left(\frac{R_0}{R'_0} \right) R', \quad G = \left(\frac{G_0}{G'_0} \right) G' \quad (1)$$

$$L = \left(\frac{R_0}{R'_0} \right) \left(\frac{\omega'_1}{\omega_1} \right) L' = \left(\frac{G_0}{G'_0} \right) \left(\frac{\omega'_1}{\omega_1} \right) L' \quad (2)$$

$$C = \left(\frac{R_0}{R'_0} \right) \left(\frac{\omega'_1}{\omega_1} \right) C' = \left(\frac{G_0}{G'_0} \right) \left(\frac{\omega'_1}{\omega_1} \right) C' \quad (3)$$

در این روابط کمیت‌های پریم دار مربوط به مدار نمونه نرمالیزه و میت‌های بدون پریم مربوط به مدار جابجاشده مورد نظر است.

در مدار شکل (۲d) برای مشددهای موازی:

$$\omega_0 C_J = \frac{1}{\omega_0 O L_J} = \frac{\omega'_1 g_J}{W}$$

برای مشددهای سری:

$$\omega_0 L_k = \frac{1}{\omega_0 C_k} = \frac{\omega'_1 g_k}{W}$$

ه در آن:

$$W = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0} \quad \omega_0 = \sqrt{\omega_1 \omega_2}$$

عناصر صافی‌های چپی‌شف که از هر دو انتها به مقاومت ختم شده باشند و با توجه به مقادیر نرمالیزه $w_1 = 1$ و $g_0 = 1$ به‌ازاء تموج A_{max} (dB) از روابط زیر به دست می‌آید:

$$(4a) \quad \beta = \text{Ln} \left(\text{Coth} \frac{A_{max}}{17.37} \right)$$

$$(4b) \quad \gamma = \text{Sinh} \left(\frac{\beta}{2n} \right)$$

$$(4c) \quad a_k = \text{Sin} \left[\frac{(2k-1)\pi}{2n} \right] \quad K=1, 2, \dots, n$$

$$(4d) \quad b_k = \gamma^2 + \text{Sin}^2 \left(\frac{k\pi}{n} \right) \quad K=1, 2, \dots, n$$

$$(4e) \quad g_1 = \frac{2a_1}{\gamma}$$

$$(4f) \quad g_k = \frac{4a_k - 1}{b_{k-1} g_{k-1}}$$

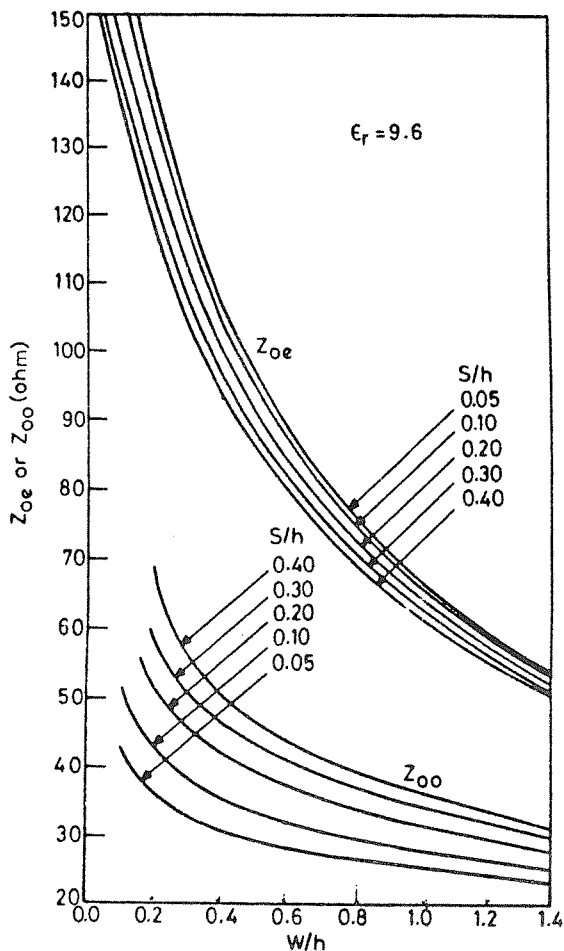
$$(4g) \quad g_{n+1} \begin{cases} = 1 & \text{برای } n \text{ فرد} \\ = \text{coth}^2 \left(\frac{\beta}{4} \right) & \text{برای } n \text{ زوج} \end{cases}$$

n ، تعداد سلولها را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$n \approx \frac{\log(10^{A_{min}/10} - 1) - \log(10^{A_{max}/10} - 1) + 0.6}{0.6 - 2 \log k} \quad (5)$$

که در آن $K = \frac{\Delta f_a}{\Delta f_p}$ است. مقدار n بعد از محاسبه، نزدیکترین عدد صحیح انتخاب می‌شود.

محققین مختلف با روشهای متنوع، امیدانسههای مشخصه مدهای زوج و فرد را بهازاء پارامترهای مختلف ساختار به صورت منحنی‌هایی مشخص کرده‌اند در شکل ۵ نمونه‌ای از آن نشان داده شده است.



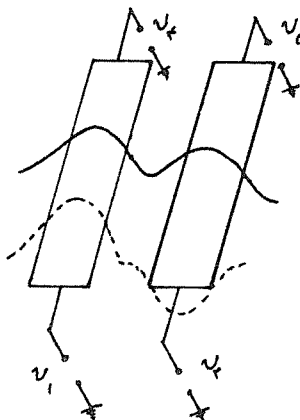
شکل ۵ - امیدانسههای مشخصه زوج و فرد برای خطوط میکرواستریپ بهم تزیوج شده

ج - صافی با استفاده از مشددهای میکرواستریپ موازی بهم تزیوج شده

شکل (۶) دو خط میکرواستریپ بهم تزیوج شده را نشان می‌دهد. s فاصله دو خط از هم، w عرض نواریها و l طول نواریها به هم تزیوج شده می‌باشد که تماماً روی مقدار خازن خطوط و خازن متقابل دو نوار و در نتیجه روی امیدانسه خط b از دید خط a تاثیر می‌گذارد. در طرح صافی با تغییر دادن مقادیر s و l و w، شرط زیر در وسط باند عبوری تحقق می‌پذیرد.

$$(Z_{in}) = (Z \text{ مشخصه } a)$$

خط a خط b



شکل ۶

در خطوط میکرواستریپ به جهت بسط قسمتی از میدان به بالای ماده و در هوا سرعت فاز برای دو مد یکسان نیست. هرگاه دو خط بهم تزیوج شده یک جفت مشابه باشند شمای متقارن خواهیم داشت. این تقارن برای ساده نمودن آنالیز و طراحی چنین خطوط تزیوج شده‌ای مفید است. چون قبول می‌کنیم که خطوط میکرو-استریپ مقرر مد شبه TEM هست و در آنالیز آنها از تقریب شبه ایستا استفاده می‌شود بنابراین خواص این خطوط را می‌توان از روی خود القا و القای متقابل و خازنهای خطوط تعیین نمود. معادلات روابط به صورت زیر می‌باشند:

$$L = \frac{\mu_0 \epsilon_0}{2} \left[\frac{1}{C_0^a} + \frac{1}{C_e^a} \right] \quad (7a)$$

$$L_m = \frac{\mu_0 \epsilon_0}{2} \left[\frac{1}{C_0^a} - \frac{1}{C_e^a} \right] \quad (7b)$$

$$C = \frac{1}{2} [C_0^d + C_e^d] \quad (7c)$$

$$C_m = \frac{1}{2} [C_0^d - C_e^d] \quad (7d)$$

$$\beta_{e_0} = \omega (\epsilon_0 \mu_0)^{1/2} \left(\frac{C_{eio}^d}{C_{ejo}^a} \right)^{1/2} \quad (8a)$$

$$Z_{e_0} = \frac{(\mu_0 \epsilon_0)^{1/2}}{(C_{e_0}^a C_{e_0}^d)^{1/2}} \quad (8b)$$

که در آنها (C_0^a, C_e^a) خازنهای مدهای مختلف برای ساختار بدون دی‌الکتریک و (C_0^d, C_e^d) برای ساختار در حضور دی‌الکتریک می‌باشد.

در اینجا نیز روشهای مختلفی برای محاسبه خازنهای فوق وجود دارد که خواننده به مراجع آخر مقاله ارجاع داده می‌شود. مولفین و

$$\left. \frac{J_{j,j+1}}{Y_0} \right|_{j=1 \text{ in } -1} = \frac{\pi w}{2 \omega_1} \frac{1}{\sqrt{g_j g_{j+1}}} \quad (9b)$$

$$\frac{J_{n,n+1}}{Y_0} = \sqrt{\frac{\pi w}{2 g_n g_{n+1}}} \quad (9)$$

که در آنها g_0, g_1, \dots, g_{n+1} مربوط به صافی چینی سف از روابط (4) به دست می آیند.

$$w = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0}, \quad \omega_0 = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}, \quad \frac{\omega'}{\omega_1} = \frac{2}{w} \left(\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \right)$$

این ضرایب می توان امیدانس های مدهای فرد و زوج را از روابط زیر به دست آورد. [2]

$$(Z_{oe})_{j,j+1} \Big|_{j=0 \text{ to } n} = Z_0 [1 + Z_{0j} J_{j,j+1} + Z_0^2 J_{j,j+1}^2] \quad (10a)$$

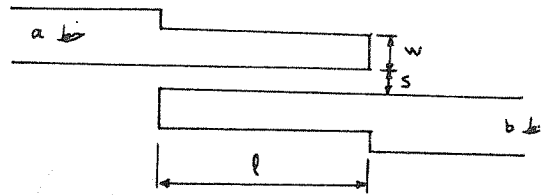
$$(Z_{oo})_{j,j+1} \Big|_{j=0 \text{ to } n} = Z_0 [1 - Z_{0j} J_{j,j+1} + Z_0^2 J_{j,j+1}^2] \quad (10b)$$

حال با داشتن امیدانس های مشخصه به کیفیت حصول $\frac{W}{H}$ و $\frac{S}{H}$ خطوط مختلف می پردازیم: ولر (Wheeler) دسته منحنی هائی را ارائه داده، (شکل ۸)، که می توان با استفاده از آنها $\frac{W}{H}$ خط مورد نظر را بطور تریسمی به دست آورد. [4]

در عین حال ولر فرمول سنتز مربوط را نیز ارائه داده است که در مقاله اختراذاد [5] منعکس است. برای یک خط تنها می توان نوشت:

$$\left(\frac{W}{H} \right)_s = \frac{2}{\pi} (d-1) - \left(\frac{2}{\pi} \right) \text{Ln} (2d-1) + \frac{\epsilon_r - 1}{\pi \epsilon_r} \left[\text{Ln} (d-1) + 0,293 - \frac{0,517}{\epsilon_r} \right] \quad (11)$$

$$d = \frac{60 \pi^2}{Z_0 (\epsilon_r)^{1/2}} \quad (12)$$



شکل ۶

پس خطوط a و b در عرض نوار عبوری تطبیق می یابند و در خارج نوار به جهت وجود عدم تطبیق انعکاس موج تابشی وجود خواهد داشت یعنی تزویج نقش صافی را بازی خواهد کرد. با قراردادن بتوالی چنین خطوط سلکتیو بهم تزویج شده، باند عبوری را صافتر می کنند یعنی درجه صافی را افزایش می دهند (شکل ۷)

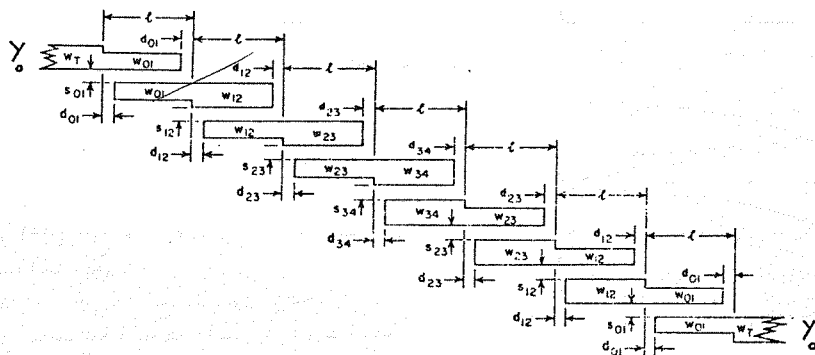
برای حصول تزویج ماگزیم، طول خطوط را $\frac{\lambda g}{4}$ انتخاب می کنند. در این صورت مساله منجر به تعیین w و s نسبت به H ، ضخامت نای الکتریک، $\left(\frac{S}{H} \text{ و } \frac{W}{H} \right)$ ، می شود.

برای این هدف می توان جدول یا منحنی هائی برای مجموعه های از خطوط بهم تزویج شده به ازاء مجموعه ای از پارامترها فراهم نمود و از آنها اطلاعات مورد نظر را استنتاج کرد. این روش از نظر محاسبات کامپیوتری به زمان نسبتاً زیادتری نیاز دارد و ممکن است دقت کافی هم نداشته باشد. به همین منظور عده ای از مولفین درصد تعیین معادلات مربوط به W و S برآمده اند. به طوری که نتایج آنالیزها را به صورت معادلات تقریبی در آورده اند. روابط تقریبی برای آغاز فرایند آنالیز یا سنتز مورد استفاده قرار می گیرد و در صورتی که نتیجه معقول و مورد قبول باشد می تواند به عنوان نتیجه نهائی انتخاب شود.

د - معادلات طرح

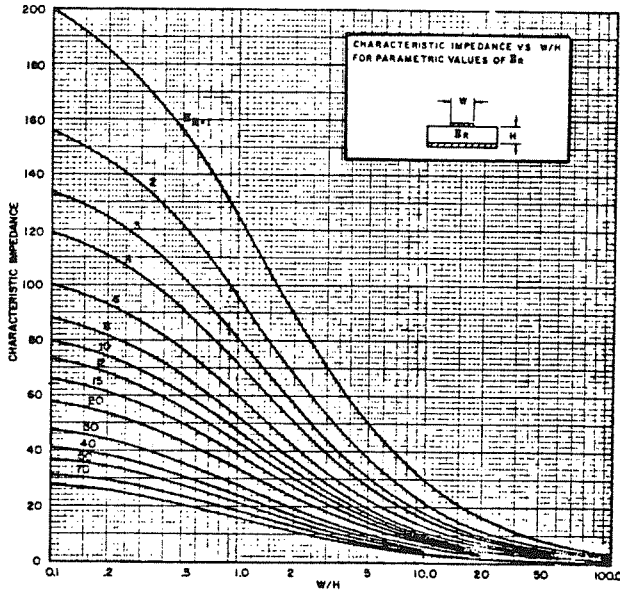
ضریب تزویج بین خطوط مختلف در شکل (۷) از روابط زیر به دست می آید. [2]

$$\frac{J_{01}}{Y_0} = \sqrt{\frac{\pi w}{2 g_0 g_1}} \quad (9a)$$



شکل ۷

WIDE STRIP APPROXIMATION (W/H > .1)



شکل ۸

خیلی ساده تر می شود و برای ضرایب دی الکتریکی بالاتر، از دقت کافی نیز برخوردار است. در صورتی که جوابهای حاصل دقت مورد نظر را نداشته باشد می تواند به عنوان نقطه آغازی برای بهینه کردن جوابهای معادلات مزبور به کار رود. همچنانکه قبلاً توضیح داده شد طول خطوط برابر $\frac{\lambda g}{4}$ اختیار، و از رابطه زیر محاسبه می شود:

مقادیر $\frac{S}{H}$ و $\frac{W}{H}$ در مورد خطوط بهم تزویج شده از فرمولهای زیر حاصل می شود [5]

$$\left(\frac{W}{H}\right)_e = \frac{2}{\pi} \text{Cosh}^{-1} \left(\frac{2h - g + 1}{g + 1} \right) \quad (13)$$

بازاء $\epsilon_r \geq 1$

$$g = \frac{\lambda g}{4} = \frac{C}{4 \sqrt{\epsilon_r} f} \quad (17)$$

$$\left(\frac{W}{H}\right)_o = \frac{2}{\pi} \text{cosh}^{-1} \left(\frac{2h - g - 1}{g - 1} \right) + \frac{1}{\pi} \text{Cosh}^{-1} \left(1 + 2 \frac{W/H}{S/H} \right) \quad (14)$$

و بازاء $\epsilon_r \leq 1$

$$\left(\frac{W}{H}\right)_o = \frac{2}{\pi} \text{cosh}^{-1} \left(\frac{2h - g - 1}{g - 1} \right) + \frac{4}{\pi(1 + \frac{\epsilon_r}{2})} \text{Cosh}^{-1} \left(1 + 2 \frac{W/H}{S/H} \right) \quad (15)$$

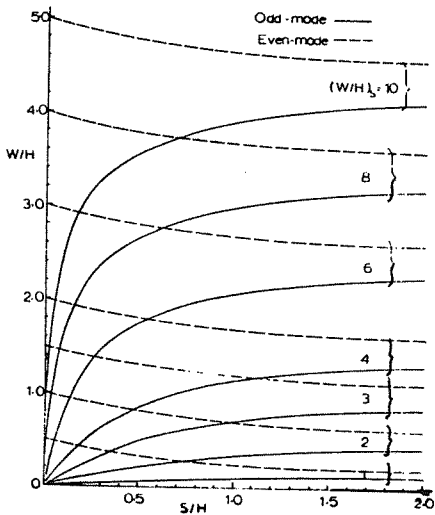
که در آنها:

$$g = \cosh \left[\frac{1}{2} \pi \left(\frac{S}{H} \right) \right] \quad (16a)$$

$$h = \cosh \left[\pi \frac{W}{H} + \frac{1}{2} \pi \left(\frac{S}{H} \right) \right] \quad (16b)$$

معادلات (13) و (14) بازاء $\epsilon_r = 6$ به صورت دسته منحنی هائی در شکل (9) داده شده است. [5]

این منحنی ها بازاء $\epsilon_r = 6$ نتایج دقیق تری می دهد ولی برای $\epsilon_r = 2$ در حدود 10 درصد خطا خواهد داشت. در صورت صرف نظر کردن از جمله دوم رابطه (14)، محل همزمان معادلات (13) و (14)



شکل ۹

$$F_0 = 12100 \text{ MHz} \quad e = 10^{-5} \quad n = 4$$

$$B = 1000 \text{ MHz} \quad H = 1.27 \quad A_m = 0.01 \text{ dB}$$

$$g_0 = 1$$

$$g_1 = 0.713$$

$$g_2 = 1.200$$

$$g_3 = 1.321$$

$$g_4 = 0.648$$

$$g_5 = 1.101$$

$$Z_{oe}(1) = 80.442 \quad , \quad Z_{oo}(1) = 37.768$$

$$w_1 = 0.775 \quad s_1 = 0.268$$

$$L_1 = 2.408 \quad \Delta \ell = d_{01} = 0.353$$

$$Z_{oe}(2) = 50.002 \quad Z_{oo}(2) = 43.968$$

$$W_2 = 1.159 \quad S_2 = 1.138$$

$$L_2 = 2.379 \quad \Delta \ell = d_{12} = 0.390$$

سلول شماره ۱

بر حسب اهم

در واحد میلیمتر

سلول شماره ۲

شکل ۱۰ - شمای صافی با ابعاد ده برابر

که در آن C سرعت نور در خلاء، f فرکانس مرکز باند و ϵ_{re} ضریب دی الکتریکی موثر می باشد و از رابطه زیر به دست می آید:

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{\ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \frac{4}{\pi}}{\ln \frac{8H}{W}} \quad (18)$$

این فرمول برای مقادیر $\frac{W}{H} < 2$ معتبر است.

آخرین نکته ای که در طرح این نوع صافی ها مورد توجه قرار می گیرد اعمال اصلاح در طول ℓ جهت رعایت خازن مربوط به انتهای خطوط می باشد و رابطه زیر برای چنین اصلاحی پیشنهاد شده است. [3]

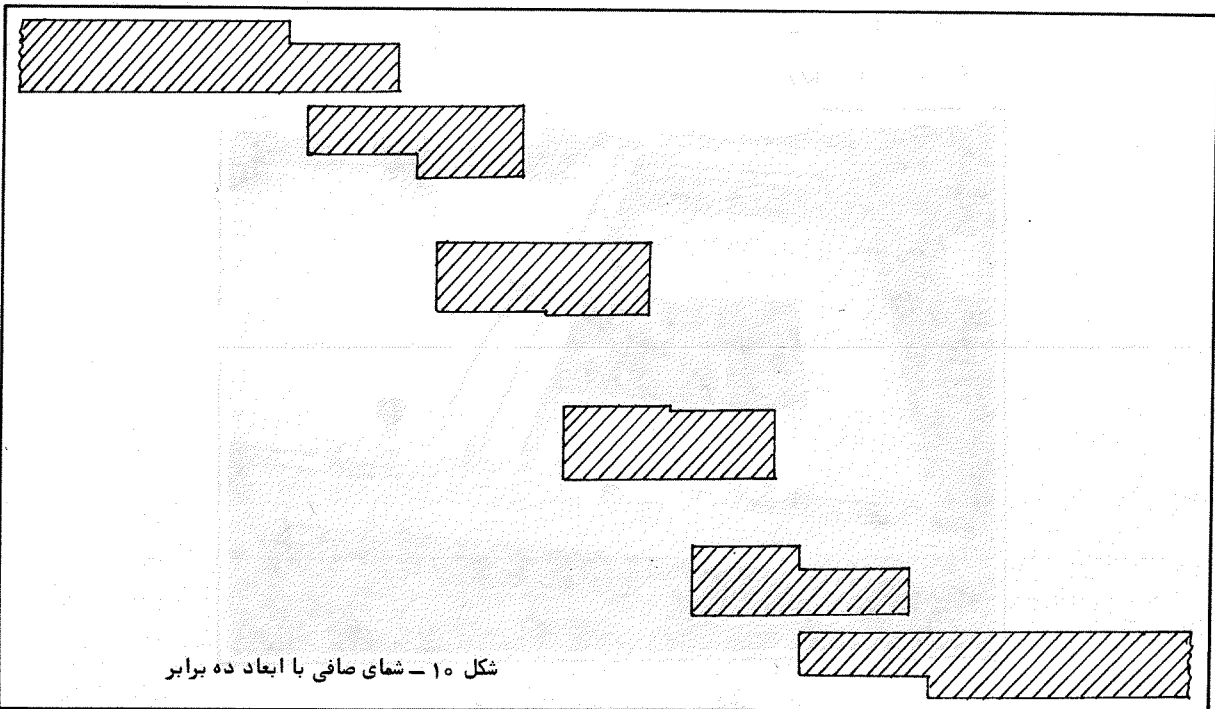
$$\frac{\Delta \ell}{H} = 0.412 \left[\frac{\epsilon_{re} + 0.3}{\epsilon_{re} - 0.258} \right] \left[\frac{W/H + 0.264}{W/H + 0.8} \right] \quad (19)$$

هـ- محاسبه و ساخت و نتایج

هـ-۱ - نتایج محاسبات

محاسبات را به کمک کامپیوتر انجام داده ایم نوع دی الکتریک انتخابی (DUROID - RT 5880) به ضخامت $H = 1/27 \text{ mm}$ و ضریب دی الکتریکی نسبی $\epsilon_r = 10/5$ است.

با توجه به مشخصات صافی مورد نظر که در قسمت الف مطرح شد، با استفاده از رابطه (۵) تعداد سلول برابر چهار ($n=4$) حاصل می شود: با اعمال روابط (۴) مقادیر g به دست می آید و سپس از روابط ۹ و ۱۰ مقادیر امید انسهای مشخصه زوج و فرد برای هر خط به دست می آید. بعد به کمک روابط (۱۱) الی (۱۶) عرض خطوط و فاصله آنها از هم دیگر، محاسبه و بالاخره طول ℓ و $\Delta \ell$ از روابط (۱۷) الی (۱۹) حاصل می شوند:



نام کوئوردیناتوگراف (Coordinatographe) با دقت یک صد میلی متر می توان برید (شکل ۱۱) بخشهای بریده شده روی لایه نازک قرمز رنگ، از برگ اصلی جدا می شود.

$$Z_{oe}(3) = 55\ 685 \quad Z_{oo}(3) = 45\ 377$$

$$W_3 = 1.198 \quad S_3 = 1.538$$

$$L_3 = 2\ 376 \quad \Delta l = d_{23} = 0\ 393$$

سیس از این ماسک اولیه به کمک دوربین عکاسی با نسبت ۱-۱، ماسک شیشه‌ای تهیه می گردد و از این ماسک شیشه‌ای به کمک تکنیکهای معمول مدارهای چاپی، مدار مورد نظر روی فیبر انتخابی چاپ می شود. این مدار در داخل جعبه‌ای که به ابعاد مناسب ساخته شده قرار داده می شود. جهت اجتناب از تداخل مدهای جعبه ارتفاع سرپوش آن حداقل بایستی ۵ برابر ضخامت فیبر باشد. ضمناً اگر یک جاذب امواج الکترومغناطیسی در فاصله خیلی جزئی روی مدار قرار داده شود در جذب مدهای جعبه کمک می کند. تحریک مدار به کمک SMA است که نحوه تحریک در شکل (۱۲) نمایش داده شده است. برای برخورد بهتر مغز SMA با خط ۵۰ اهم، در محل تماس ایندو، یک نقطه کوچک

$$Z_{oe}(4) = 58\ 002 \quad Z_{oo}(4) = 43\ 968$$

$$W_4 = 1.159 \quad S_4 = 1\ 138$$

$$L_4 = 2\ 379 \quad \Delta l_4 = 0\ 390$$

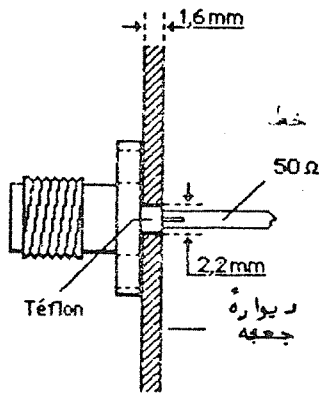
$$Z_{oe}(5) = 80.442 \quad Z_{oo}(5) = 37\ 768$$

$$W_5 = 0.775 \quad S_5 = 0\ 268$$

$$l_5 = 2.408 \quad \Delta l_5 = d_{45} = 0.353$$

خطوط انتهائی به امپدانس مشخصه ۵۰ اهم ختم می شود که عرض آن $W = 1.149$ میلی متر می باشد. شکل نهائی صافی با ابعاد ده برابر مقادیر محاسبه شده در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

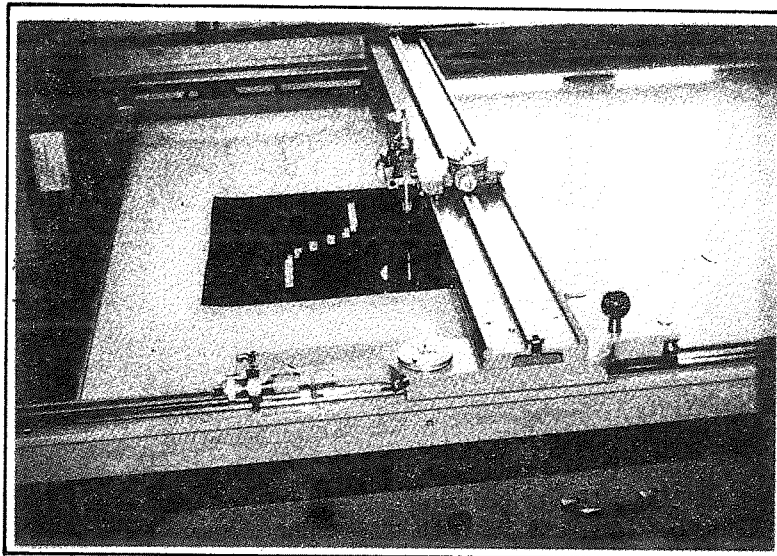
هـ-۲- نحوه ساخت



شکل (۱۲) - نحوه اتصال يك

SMA به جعبه

ابعاد محاسبه شده ابتدا به صورت ۱۰ برابر روی برگه‌ای که Pelliculable نامیده می شود، پیاده می گردد. این برگ از دو لایه تشکیل می شود یکی از لایه‌های آن نازکتر و به رنگ قرمز کدر و دیگری شفاف بی رنگ است می توان این دو لایه را از همدیگر جدا کرد. صافی با ابعاد ده برابر را روی برگ فوق به کمک دستگاهی به



شکل ۱۱ - دستگاه کوئوردیناتوگراف

صنعت معمولاً بعد از آزمایش اولین مدار، با توجه به نتایج حاصل، روی ابعاد مدار یعنی عرض خطوط، فاصله آنها از هم و طول خطوط تغییرات جزئی می دهند. این کار را در اصطلاح فرانسوی "تکثیر مونت کارلو (۱)" می نامند.

بعد از ساختن دهها مدار با این روش که با هم اختلاف جزئی در ابعاد دارند، بالاخره مداری که نتایج دلخواه را دارد به عنوان نمونه انتخاب و وارد خط تولید می گردد. در هر حال اولین مدار از نقطه نظر محاسباتی نیز می تواند نقطه آغازی برای بهینه کردن مورد استفاده قرار گیرد.



پاوری:

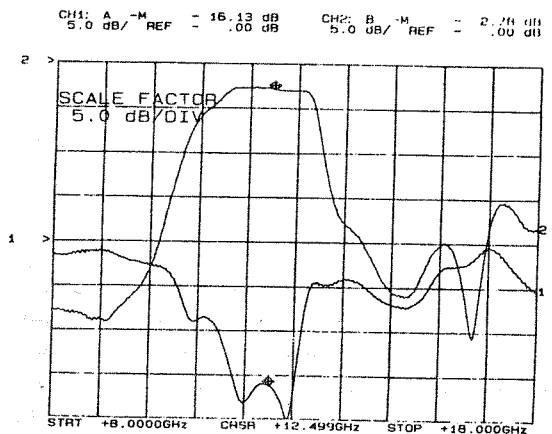
۱. مونت کارلو شهری در کنار دریای مدیترانه و در جنوب فرانسه مرکز قمارخانه اروپا است. نظر به این که این روش جنبه شانس - فکری دارد و بی شباهت به قماربازی نیست، بنابراین به نام آن شهر نامیده شده است.

منابع:

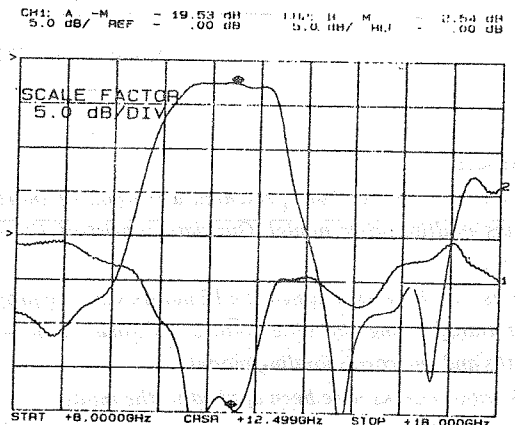
1. K. C. Gupta, Ramesh Garg, I.J. Bah1 " Microstriplines and Slotlines" Artech House, 1979.
2. G.L. Matthaei, Leo Young, E.M.T. Jones " Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures" Mc Graw Hill 1964.
3. K.C. Gupta, Ramesh Garg, Rakesh Chadha "Computer Aided Design of Microwave Circuits" Artech House 1981
4. T.S.Saad, R.C.Hansen, G.J.Wheeler " Microwave Engineers Handbook" Artech House 1971
5. S.Akhtarzad, T.R. Rowbotham and P.B.Johns " The Design of Coupled Microstrip Lines" IEEE, Vol. Mtt 23, No.6, June 1975
6. J.A.G. Malherbe " Microwave Transmission Line Fifters" Artech House 1979
7. Claude Gimenes " Les Filtrés Electriques de Frequence" Masson 1983.



با لاک نقره گذاشته می شود تا اتصال کاملتر شود. منحنی های جواب صافی برای بدون جاذب (شکل ۱۳ a) و با جاذب (شکل ۱۳ b) نشان داده شده است. اثر آن عمدتاً در لبه های ثانویه مشهود است. منحنی شکل (۱۳ b) نشان می دهد که عرض نوار عبوری، کمی بیشتر از عرض مورد نیاز است. یعنی از ۱۱/۵ الی ۱۳/۲ زیگهرتز به جای ۱۱/۶ الی ۱۲/۶ زیگهرتز است. و بیست دسیبل پائین تر به جای ۱۳/۳ - ۱۵/۹ زیگهرتز برابر ۱۴ - ۱۵/۳ زیگهرتز حاصل شده است. نظر به اینکه آنالیز و محاسبه دقیق امپدانس خطوط میکرواستریپ امکان پذیر نیست و عموماً با اعمال تقریبهایی از قبیل شبه TEM و شبه ایستا صورت می گیرد بنابراین در عمل می توان انتظار چنین نتایجی را داشت. در



شکل ۱۳ a - منحنی جوابی صافی در جعبه بدون جاذب



شکل ۱۳ b - منحنی جوابی صافی در جعبه با جاذب