

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دانشکده فنی

گروه برق - مخابرات

طراحی و امکان‌سنجی ساخت تطبیق‌کننده‌های امپدانسی موجبری با استفاده از صفحات عرضی طرح‌دار

از

علی قجر

استاد راهنما:

دکتر حبیب قربانی نژاد فومنی

بهمن‌ماه ۱۳۹۳

تقدیم به:

پدر و مادر مهربان و دلسوز و برادر عزیزم؛

به خاطر محبت‌ها، تشویق‌ها و حمایت‌های بی‌دریغشان طی کلیه
مراحل زندگی.

تشکر و قدردانی:

سپاس بی کران از خدای بزرگ که توفیق کسب علم، زندگی خوش و نعمات بی شماری را از دریای کرمش به من ارزانی داشته‌است.

بنده همان به که زتقصیر خویش ** عذر به درگاه خدای آورد

ور نه سزاوار خداوندیش ** کس نتواند که بجای آورد

بر خود لازم می‌دانم از زحمات بی دریغ استاد بزرگووارم دکتر قربانی نژاد فومنی که در طی دوره تحصیلی کارشناسی ارشد و انجام این پایان‌نامه همواره از کمک‌ها و راهنمایی‌هایشان بهره برده‌ام، تشکر و قدردانی نمایم.

همچنین از استاد گرامی دکتر باقر سلیمی که در طول این دوره زحمات فراوانی برای اینجانب کشیدند، تشکر می‌نمایم.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل ۱: مقدمه ۱

۱-۱- مفهوم تطبیق امپدانس ۲

۱-۲- ملاحظات انتخاب شبکه تطبیق امپدانس و هدف از ارائه پایان نامه ۴

۱-۳- توضیحات کلی درباره شبکه تطبیق امپدانس با استفاده از صفحات رسانا طرح دار ۴

فصل ۲: پیشینه و کارهای انجام شده برای تطبیق امپدانس ۶

۱-۲- تطبیق امپدانس با عناصر فشرده ۷

۲-۲- تطبیق امپدانس با استفاده از میله، دهانه، پُست ۸

۳-۲- تطبیق امپدانس استابی ۹

۴-۲- میله دی الکتریک نازک شونده در محل ناپیوستگی در موجبر ۱۰

۵-۲- مبدل ربع موج ۱۰

۶-۲- تغییردهنده فاز موجبری پر شده از قطعات دی الکتریک ۱۱

۷-۲- مبدل های امپدانس باریک شونده یا پله ای ۱۲

۸-۲- موجبر پر شده با دی الکتریک غیر همگن طولی ۱۳

۹-۲- نتیجه گیری ۱۵

فصل ۳: سطوح انتخاب گر فرکانسی ۱۶

۱-۳- مقدمه ۱۷

۲-۳- خاصیت فیلتری صفحات انتخاب گر فرکانس ۱۷

۳-۳- طرح صفحات انتخاب گر فرکانس ۱۸

۴-۳- اثرات بارگذاری با دی الکتریک ۱۹

۵-۳- انواع کلی FSS ها ۲۱

۳-۵-۱- صفحات انتخاب گر فرکانس چندصفحه ای ۲۱

۳-۵-۲- صفحات انتخاب گر فرکانس با دو لایه دی الکتریک ۲۱

- ۳-۵-۳ صفحات انتخاب‌گر فرکانس عایقی..... ۲۱
- ۳-۵-۴ صفحات انتخاب‌گر فرکانس فعال..... ۲۱
- ۳-۶-۶ روش‌های تحلیل صفحات انتخاب‌گر فرکانس..... ۲۲
- ۳-۶-۱ قضیه فلوکه..... ۲۲
- ۳-۶-۲ روش مدار معادل یا روش تقریب شبه ساکن..... ۲۲
- ۳-۶-۳ روش مودال (معادله انتگرالی)..... ۲۳
- ۳-۶-۴ روش تغییرات..... ۲۳
- ۳-۶-۵ روش FDTD..... ۲۳
- ۳-۶-۶ روش ماتریس خط انتقال..... ۲۳
- ۳-۶-۷ روش ماتریس پراکندگی..... ۲۳
- ۳-۶-۸ روش امپدانس متقابل..... ۲۳

فصل ۴: تعیین تابع گرین میدان مغناطیسی حاصل از منابع جریان مغناطیسی ۲۴

- ۴-۱-۱ تشریح ساختار تطبیق‌کننده امپدانس ۲۵
- ۴-۲-۲ پیدا کردن تابع گرین میدان مغناطیسی ساختار..... ۲۵
- ۴-۲-۱ تابع گرین..... ۲۵
- ۴-۲-۲ تابع گرین میدان مغناطیسی..... ۲۶

فصل ۵: طراحی تطبیق‌کننده امپدانس موجبری و نتیجه‌گیری ۳۱

- ۵-۱-۱ مقدمه..... ۳۲
- ۵-۲-۲ تشکیل معادلات انتگرالی میدان مغناطیسی در دهانه ساختار..... ۳۲
- ۵-۲-۱ روش بدست آوردن ضرایب سری فوریه دوبعدی توابع متناوب..... ۳۲
- ۵-۲-۲ پیدا کردن میدان مغناطیسی در دو طرف دهانه ساختار..... ۳۳
- ۵-۳-۳ حل معادلات انتگرالی میدان مغناطیسی با روش گالرکین..... ۳۶
- ۵-۴-۴ پیدا کردن ضریب انعکاس از دهانه ساختار و بهینه کردن آن جهت تطبیق..... ۳۷

- ۳۸.....۵-۵-مثال اول.....
- ۴۰.....۶-۵-مثال دوم.....
- ۴۱.....۷-۵-مثال سوم.....
- ۴۲.....۸-۵-مثال چهارم.....
- ۴۵.....۹-۵-معیار بوده-فینو.....
- ۴۷.....۱۰-۵-نتیجه گیری.....

- ۴۸مراجع
- ۵۲پیوست‌ها
- ۵۳پیوست الف.....
- ۵۴پیوست ب.....
- ۵۵پیوست ج.....

فهرست جداول

جدول (۱-۲) مقایسه مدارات تطبیق از لحاظ پهنای باند..... ۱۵

جدول (۲-۲) مقایسه مدارات تطبیق از لحاظ اندازه..... ۱۵

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) انعکاس و انتقال در مرز دو خط انتقال با امپدانس مشخصه‌های متفاوت..... ۲
- شکل (۲-۱) تطبیق امپدانس بدون تلف میان خط انتقال و بار..... ۳
- شکل (۳-۱) نمونه‌ای از شبکه تطبیق امپدانس با استفاده از صفحات رسانا طرح دار..... ۵
- شکل (۱-۲) عناصر فشرده در مدارات مجتمع میکروویو..... ۷
- شکل ۲-۲ (a) دیافراگم نامتقارن سلفی. (b) پُست خازنی..... ۸
- شکل (۳-۲) یک نمونه مدار تک استاب..... ۹
- شکل (۴-۲) انواع روش‌های تطبیق موجبرهای با سطح مقطع متفاوت..... ۱۰
- شکل (۵-۲) تغییردهنده‌ی فاز موجبری پرشده از قطعات دی‌الکتریک..... ۱۱
- شکل (۶-۲) تلفات بازگشتی برحسب فرکانس برای مقادیر دو تغییر فاز نسبی مرسوم..... ۱۲
- شکل (۷-۲) تقاطع موجبر معمولی با موجبر پرشده با دی‌الکتریک..... ۱۲
- شکل (۸-۲) نمودار نسبت موج ایستا برحسب فرکانس برای تطبیق موجبر RG52 با موجبر پرشده با تیتانیوم..... ۱۳
- شکل (۹-۲) موجبر پرشده با دی‌الکتریک غیر همگن..... ۱۴
- شکل (۱۰-۲) نمودار تلفات بازگشتی موجبر پرشده با دی‌الکتریک غیر همگن برای دو پهنای باند متفاوت..... ۱۴
- شکل (۱-۳) عناصر متداول در FSS. (آ) آرایه پچ (ب) آرایه به‌علاوه (توری)..... ۱۸
- شکل ۲-۳ (a) هندسه آرایه، (b) آرایه روی یک‌لایه دی‌الکتریک، (c) آرایه در میان دو لایه دی‌الکتریک..... ۱۹
- شکل (۳-۳) تغییرات فرکانس تشدید برحسب ضخامت t برای تابش مستقیم بر روی FSS..... ۲۰
- شکل ۴-۳ (آ) پهنای باند 1 dB برحسب ضخامت دی‌الکتریک برای آرایه‌های پچ و روزنه. (ب) پاسخ فرکانسی آرایه روزنه درون دی‌الکتریک با تابش موج متعامد..... ۲۰
- شکل ۱-۴ (آ) ساختار مدار تطبیق امپدانس ارائه‌شده. (ب) دید از پهلو. (ج) ساختار معادل با قسمت (آ)..... ۲۵
- شکل (۱-۵) وجود تقارن فیزیکی و الکترومغناطیسی در ساختار تطبیق گر امپدانس..... ۳۵
- شکل ۲-۵ (آ) توابع پایه‌ای زیر دامنه مثلثی برای معرفی M_x و (ب) توابع پایه‌ای مثلثی برای معرفی M_y ۳۷
- شکل (۳-۵) هندسه طراحی‌شده‌ی صفحه فلزی که توسط روش بهینه‌سازی بدست آمد. بخش‌های سیاه فلزکاری شده و بخش‌های سفید دی‌الکتریک پشت سر صفحه را نشان می‌دهند..... ۳۹

- شکل (۴-۵) تلفات بازگشتی مدار تطبیق امپدانس طراحی شده به کمک نرم افزار متلب و نتیجه شبیه سازی با نرم افزار HFSS برای باری با ضریب انعکاس $1/3 \exp(j\pi/2)$ در فرکانس مرکزی..... ۴۰
- شکل (۵-۵) تلفات بازگشتی مدار تطبیق امپدانس ارائه شده در این مثال در مقایسه با نمونه معرفی شده در [۷]..... ۴۰
- شکل (۶-۵) هندسه طراحی شده ی صفحه فلزی مدار تطبیق امپدانس. بخش های سیاه، فلزکاری شده و بخش های سفید دی الکتریک پشت سر صفحه را نشان می دهند..... ۴۱
- شکل (۷-۵) تلفات بازگشتی مدار تطبیق امپدانس طراحی شده به کمک نرم افزار متلب و نتیجه شبیه سازی با نرم افزار HFSS برای باری با ضریب انعکاس $1/2 \exp(j\pi/2)$ در فرکانس مرکزی..... ۴۱
- شکل (۸-۵) تلفات بازگشتی مدار تطبیق امپدانس طراحی شده به کمک نرم افزار متلب برای $\Gamma_L=1/3$ ۴۲
- شکل (۹-۵) تلفات بازگشتی مدار تطبیق امپدانس طراحی شده به کمک نرم افزار متلب برای $\Gamma_L=1/3 \exp(j\pi)$ ۴۲
- شکل (۱۰-۵) نمای سه بعدی مدار تطبیق امپدانس برای باری با ضریب انعکاس $1/3 \exp(j\pi)$ در فرکانس مرکزی، با استفاده از سه صفحه فلزی طرح دار ۴۳
- شکل (۱۱-۵). (آ) نمای از پهلو ی ساختار تطبیق امپدانس با سه صفحه طرح دار. (ب) ساختار معادل با قسمت (آ)..... ۴۳
- شکل (۱۲-۵) هندسه ی طراحی شده ی صفحات فلزی مدار تطبیق امپدانس. (آ) هندسه دو صفحه فلزی کناری. (ب) ساختار صفحه فلزی وسط..... ۴۴
- شکل (۱۳-۵) تلفات بازگشتی مدار تطبیق امپدانس طراحی شده به کمک نرم افزار متلب و نتیجه شبیه سازی با نرم افزار HFSS برای باری با ضریب انعکاس $1/3 \exp(j\pi)$ در فرکانس مرکزی..... ۴۵
- شکل (۱۴-۵) ضریب انعکاس بر حسب فرکانس مدارهای تطبیق تحقق پذیر و تحقق ناپذیر..... ۴۶
- شکل (۱۵-۵) تلفات بازگشتی شبکه تطبیق امپدانس طراحی شده برای باری یکسان و پهنای باند فرکانسی متفاوت ۴۶
- شکل (۱۶-۵) هندسه صفحات فلزی، برای شبکه تطبیق امپدانس با پهنای باند فرکانسی 9-11GHz. (آ) هندسه دو صفحه فلزی کناری. (ب) ساختار صفحه فلزی وسط..... ۴۶
- شکل (ج-۱) پیاده سازی GA، ممتازی، باز ترکیب و جهش، برای بعضی انطباقات عمومی / تابع هدف f ۵۷

عنوان: طراحی و امکان سنجی ساخت تطبیق کننده های امپدانسی موجبری با استفاده از صفحات عرضی طرح دار

نویسنده: علی قجر

تطبیق کننده های امپدانسی از اجزای مهم در مهندسی میکروویو و طراحی آنتن به شمار می روند. به طور مثال در ورودی تقسیم کننده های توان موجبری و آنتن ها به چنین تطبیق کننده هایی نیاز است. در انتخاب شبکه تطبیق امپدانس توجه به مسائلی از جمله ساده بودن ساخت، قابلیت تطبیق در پهنای باند زیاد، اندازه کوچک و قابل تنظیم بودن با تغییر بار، مهم است. تا به حال روش هایی از جمله: استفاده از عناصر سلفی یا خازنی مانند آیریس ها، میله ها، روزنه ها و عناصر فشرده یا مدار استابی جهت تطبیق امپدانس معرفی شده است. این روش ها را فقط می توان در تطبیق باند باریک بکار برد. روش های دیگر در تطبیق امپدانسی موجبری استفاده از مبدل مخروطی یا پله ای میان موجبرهای با سطح مقطع متفاوت و یا مبدل ربع موج چندبخشی، استفاده از موجبرهایی که به طور جزئی با دی الکتریک همگن باریک شونده یا دی الکتریک غیر همگن، پر شده اند، می باشد که پهنای باند فرکانسی خوبی دارند اما طول آن ها گاهی در حدود اندازه طول موج می شود. از طرف دیگر ساخت دی الکتریک غیر همگن چندان عملی نیست. در این پایان نامه شبکه تطبیق امپدانسی معرفی شده است که برای بارهای مختلف تطبیق امپدانس خوبی در پهنای باند زیادی را فراهم می کند و در عین حال طول آن کمتر شده است. در این تطبیق کننده ی امپدانس از صفحات انتخاب کننده فرکانس استفاده می شود. این صفحات خاصیت فیلتری و تنظیم میزان انعکاس و انتقال دارند و به همین دلیل می توان از آن ها برای تطبیق امپدانس استفاده کرد.

برای طراحی ابتدا تابع گرین ساختار را به دست می آوریم و از آنجا معادلات انتگرالی میدان مغناطیسی را تشکیل می دهیم. برای حل معادلات از روش گالرکین استفاده می کنیم. پس از بدست آوردن ضریب انعکاس و بهینه سازی آن توسط الگوریتم ژنتیک، طرح مناسب صفحه فلزی تعیین می شود. به جهت تأیید کارایی این نوع مدار تطبیق امپدانس، تعدادی مثال آورده می شود. تمام نتایج طراحی با روش ارائه شده در این پایان نامه، با نتایج شبیه سازی با نرم افزار تجاری HFSS مقایسه و صحت نتایج تأیید می شود. همچنین مشخص می شود که شبکه معرفی شده در مقایسه با یک شبکه تطبیق امپدانس میکروویوی فشرده و پهن باند دیگری، خیلی فشرده تر و عملیاتی تر است.

واژه های کلیدی:

الگوریتم ژنتیک، تطبیق امپدانس، تابع گرین، روش گالرکین، صفحات انتخاب کننده فرکانس

Abstract:

Design and Feasibility Construction of Waveguide Impedance Matching Using Transverse Patterned Planes

By: Ali Ghajar

Impedance matching networks, are very important in microwave engineering. We need matching at the input of waveguide type power dividers and antennas. Some considerations of designing matching network are complexity of implementation, having wide bandwidth, compactness and adjustability.

Many approaches has been investigated for impedance matching such as using irises, rods , apertures, posts, stub tuners and lumped microwave elements, which could be used only for narrow band matching. Another approaches are tapered or stepped transformer, multi-section quarter wave transformer, tapered homogeneous dielectrics filled waveguide, longitudinally inhomogeneous waveguides, which have a wide bandwidth, but sometimes their length reach to wavelength.

In this thesis, new type of impedance matching network in microwave was introduced, which has wide bandwidth, while its length was shortened. The Structure of proposed impedance matching network consists of some patterned dielectric backed conductive planes.

First, Green's functions of the structure were obtained, then magnetic field integral equations were formed, and then these equations were solved, by Galerkin's method. Next, suitable pattern of conductive plane, was obtained by MATLAB genetic algorithm tool. The extracted results obtained by the proposed approach, were compared with that of simulated one by HFSS, and method accuracy was verified. Also it has been shown that, the proposed impedance matcher in comparison with another compact and wideband microwave impedance matcher, is more compact, and more practical.

Key words: Genetic algorithm, Impedance matching, Green's function, Galerkin's method, and Frequency selective surface.

فصل ١:

مقدمه

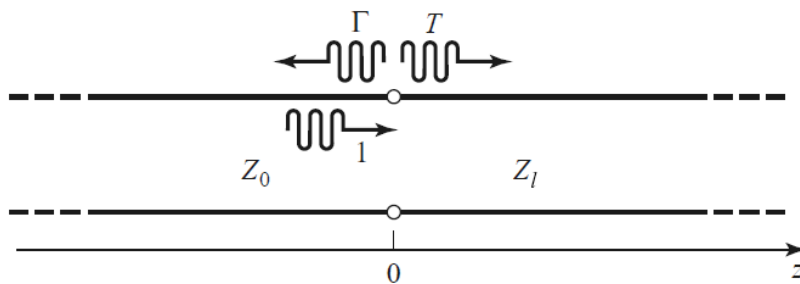
۱-۱- مفهوم تطبیق امپدانس

همان طور که در شکل (۱-۱) مشاهده می شود اگر یک خط انتقال با امپدانس مشخصه Z_0 خط دیگری با امپدانس مشخصه Z_l را تغذیه کند و طول خط بار بی نهایت باشد یا به امپدانس برابر خودش منتهی شده باشد، آنگاه ضریب انعکاس Γ برابر خواهد بود با:

$$\Gamma = S_{11} = \frac{Z_l - Z_0}{Z_l + Z_0} \quad (1-1)$$

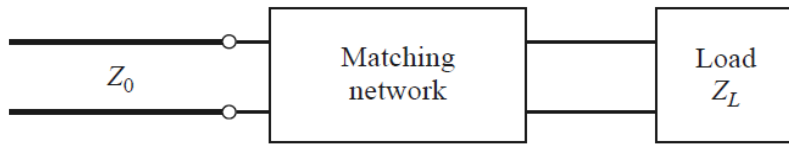
تطبیق امپدانس به مفهوم حداکثر انتقال توان از منبع به بار است که بخش مهمی از سیستمهای میکروویوی را تشکیل می دهد. به عنوان مثال در سیستمهای میکروویوی در ورودی تقسیم کننده های موجبری، آنتن ها، تقویت کننده ها و ... به تطبیق کننده امپدانس نیاز داریم. شکل (۲-۱) یک تطبیق کننده امپدانس را که میان خط انتقال و امپدانس بار قرار گرفته است نشان می دهد. تطبیق کننده امپدانس در حالت ایدئال، یک شبکه بدون تلف است که برای آنکه امپدانس دیده شده از سر آن برابر امپدانس خط Z_0 باشد طراحی می شود. در این صورت انعکاس میان سمت چپ مدار و خط انتقال از بین می رود و ضریب انعکاس برابر صفر است.

روش های متعددی برای طراحی مدارات تطبیق امپدانس در حوزه میکروویو تا به حال ارائه شده است:



شکل (۱-۱) انعکاس و انتقال در مرز دو خط انتقال با امپدانس مشخصه های متفاوت.

¹ Characteristic impedance



شکل (۲-۱) تطبیق امپدانس بدون تلف میان خط انتقال و بار

استفاده از آیریس‌ها^۱، میله، دهانه‌ها^۲، پست‌ها^۳ و عناصر فشرده میکرواستریپی مثل سلف حلقه‌ای و ماریپیچی، خازن‌های فاصله‌ای اینتردیجیتال^۴ و... [۴-۱] که فقط در تطبیق امپدانس با باند فرکانسی کوتاه کاربرد دارند و دیگر روش‌های: مبدل ربع موج چندبخشی، موجبر پرشده با دی‌الکتریک همگن باریک شونده [۵ و ۶]، موجبر با دی‌الکتریک غیر همگن طولی [۷]، مبدل‌های پله‌ای و باریک شونده [۸] که از جهت پهنای باند نسبتاً خوب هستند ولی گاهی طولشان به یک طول موج یا بیشتر هم می‌رسد.

دلایل نیاز به شبکه تطبیق امپدانس را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

۱- حداکثر توان وقتی به بار منتقل می‌شود که خط انتقال هم در محل بار و هم منبع تطبیق باشند که همان شرط مزدوج مختلط بودن امپدانس‌هاست.

۲- با تطبیق خوب امپدانس‌ها توان بیشتری به بار انتقال می‌یابد و تلفات توان در خط تغذیه حداقل می‌شود، در نتیجه بازده را بهبود می‌بخشد.

۳- تطبیق امپدانس در وسایل گیرنده (آنتن، تقویت‌کننده با نویز پایین و...) نسبت سیگنال به نویز را بهبود می‌بخشد.

۴- از آنجایی که در بعضی تجهیزات (مثلاً بعضی تقویت‌کننده‌ها و گیرنده‌هایی که با فرستنده در یکجا هستند)، اگر مقدار توان برگشتی از خروجی آن‌ها از حد مجاز زیادتر شود، آسیب می‌بینند، پس باید خروجی آن‌ها تطبیق باشد.

¹ Irises

² Apertures

³ Posts

⁴ Interdigital gap capacitor

۲-۱- ملاحظات انتخاب شبکه تطبیق امپدانس و هدف از ارائه پایان نامه

ملاحظات انتخاب یک شبکه تطبیق امپدانس را می توان در موارد زیر خلاصه کرد:

۱- در صورت امکان طراحی و ساخت آن ساده باشد. هر چه شبکه تطبیق ساده تر باشد، ارزان تر، کوچک تر، قابل اطمینان تر و با تلفات کمتر خواهد بود.

۲- معمولاً تطبیق امپدانس در یک فرکانس کار مشکلی نیست و از آنجایی که بسیاری کاربردها نیاز به تطبیق در یک باند فرکانسی دارند، مهم این است که ساختار تطبیق کننده قابلیت تطبیق در پهنای باند مناسبی را داشته باشد که معمولاً طراحی با پهنای باند زیاد دشوار است.

۳- وقتی بار تغییر می کند مدار تطبیق خوب عمل کند یا قابل تنظیم باشد.

۴- از آنجایی که سیستمهای مخابراتی جدید هر روز کوچک و کوچک تر می شوند، می توان نتیجه گرفت که کم کردن ابعاد اجزای آن ها از جمله تطبیق کننده امپدانس مسئله ای حائز اهمیت است.

۵- با توجه به محل استفاده از تطبیق کننده امپدانس و امکانات پیاده سازی، ممکن است نوعی تطبیق کننده بر دیگری برتری داشته باشد. مثلاً پیاده سازی استاب تیونرها به نسبت مبدل ربع موج چندبخشی در موجبر ساده تر است [۱].

هدف از اجرای این پایان نامه طراحی شبکه تطبیق امپدانس به جهت استفاده در سیستم موجبری است که قابلیت دارد تا در پهنای باند زیاد به کار گرفته شود و در عین حال طول بسیار کمی داشته باشد.

۳-۱- توضیحات کلی درباره شبکه تطبیق امپدانس با استفاده از صفحات رسانا طرح دار

شبکه ای که به عنوان تطبیق کننده امپدانس معرفی می کنیم شامل یک یا چند صفحه رسانا طرح دار است که بر روی یک لایه دی الکتریک نازک، قرار گرفته و به صورت عرضی در درون موجبر قرار داده می شوند. در شکل (۱-۳) یک نمونه از آن با یک صفحه طرح دار نشان داده شده است. این لایه نوعی از صفحات انتخاب کننده فرکانس^۱ است. این صفحات قبل از این به عنوان فیلتر^۲،

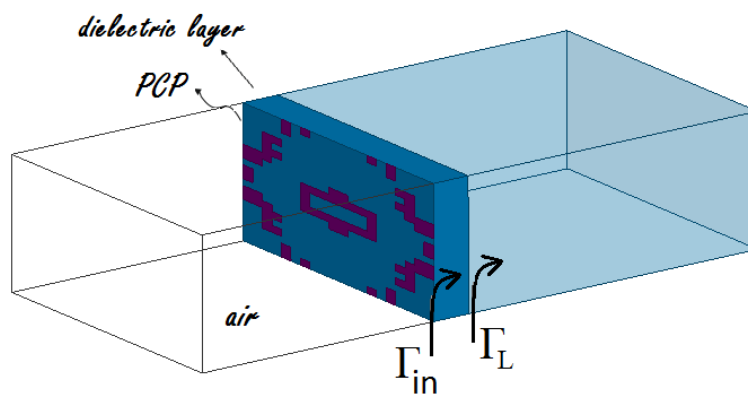
¹ Frequency selective surfaces (FSS)

² Filter

رادوم^۱، تضعیف‌کننده، شیفت‌دهنده فاز، تغییردهنده پلاریزاسیون، بهبوددهنده گین و تلفات بازگشتی در آنتن‌ها، چرخاننده بیم آنتن، کنترل بازده طیفی و قطع و وصل‌کننده انتشار امواج در ساختمان‌ها استفاده شده بودند.

پاسخ فرکانسی این صفحات به شکلی است که مشخصات آن مثل پهنای باندش به طرح صفحه فلزی و ضخامت و ضریب گذردهی الکتریکی دی‌الکتریک، بستگی دارد که این ویژگی صفحات و استفاده آن‌ها به‌عنوان فیلتر، ما را ترغیب کرد که استفاده از آن به‌عنوان تطبیق‌کننده امپدانس را تحقیق کنیم.

علاوه بر این‌ها به خاطر خاصیت انتخاب‌کنندگی فرکانسی خوب و تنظیم پاسخ فرکانسی این صفحات می‌توانیم به تطبیق‌کننده‌هایی با پهنای باند زیاد و یا چندبندی برسیم. از طرفی می‌توانیم جنس دی‌الکتریک آن را دلخواه از آنچه در دسترس داریم فرض کنیم و ضخامت لایه دی‌الکتریک نیز می‌تواند خیلی کم حتی در حد چند دهم میلی‌متر در نظر گرفته شود و بدین ترتیب با تعیین طرح مناسب صفحه فلزی، تطبیق‌کننده امپدانس طراحی می‌شود.



شکل (۳-۱) نمونه‌ای از شبکه تطبیق امپدانس با استفاده از صفحات رسانا طرح دار

¹ Radomes

فصل ۲:

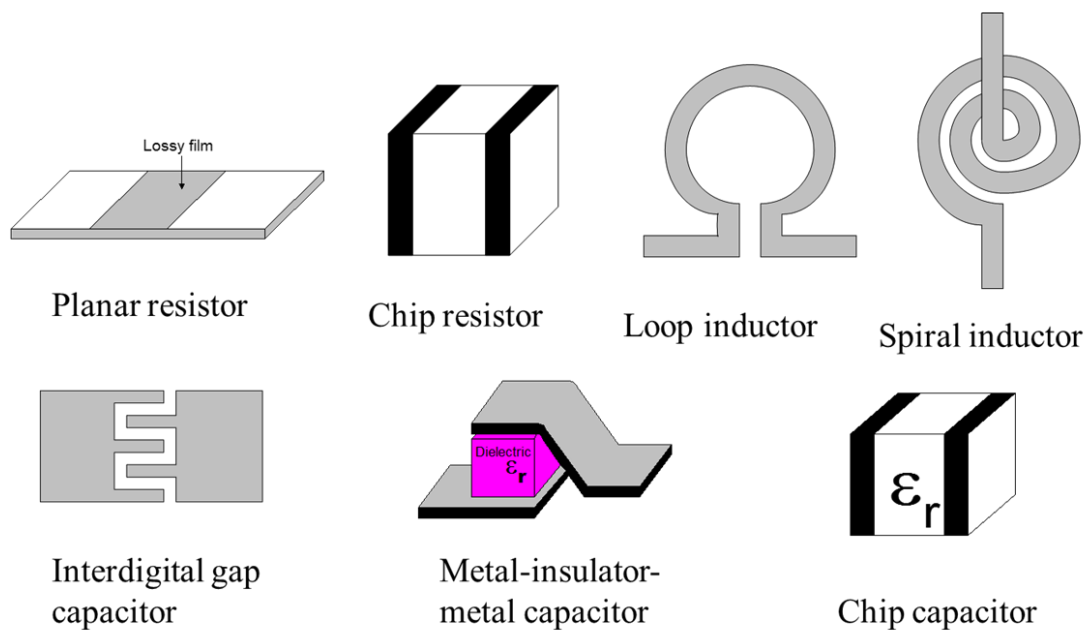
پیشینه و کارهای انجام شده برای تطبیق

امپدانس

۱-۲- تطبیق امپدانس با عناصر فشرده

همان طور که می دانیم مدار تطبیق شامل سلف و خازن یا معادل های آن ها است و برای تطبیق بار Z_L به خطی با امپدانس Z_0 ، با تعیین مقادیر سلف و خازن ها این امر محقق می شود. منظور از عناصر فشرده قطعاتی میکروویوی با خواص سلفی یا خازنی است که طول فیزیکی آن ها نسبت به طول موج کوچک است. طول مدنظر این عناصر در حوزه میکروویو کمتر از یک دهم طول موج است.

در شکل زیر نمونه هایی از عناصر فشرده در حوزه میکروویو، آورده شده است.



شکل (۱-۲) عناصر فشرده در مدارات مجتمع میکروویو

از محدودیت های اجزای ناپیوسته در فرکانس های بالا می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- باید جنبه های پارازیتی مورد توجه قرار گیرد که رسیدن به مدل دقیق را مشکل می کند.
- رزونانس جعلی^۱ یا فرکانس های تشدید ناخواسته دارند.

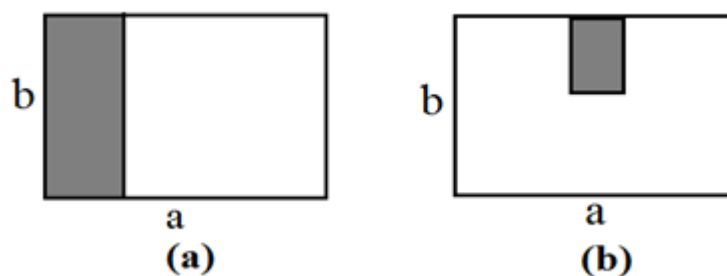
¹ Spurious resonance

- فقط برای مقادیر عددی مشخصی موجودند.
- معمولاً تلورانس آن‌ها از مقادیر نامی زیاد است.
- پهنای باندشان محدود است.
- مجتمع سازی اجزا در فناوری موجود مشکل است.
- عناصر فشرده می‌توانند حداکثر تا فرکانس ۶۰ گیگاهرتز استفاده شوند.

۲-۲- تطبیق امپدانس با استفاده از میله، دهانه، پُست^۱

در مرجع [۳] عناصری معرفی شده‌اند که درون موجبر و در مقابل تابش TE_{10} سوسپتانس سلفی یا خازنی از خود نشان می‌دهند. از جمله عناصر سلفی، می‌توان به پنجره متقارن یا نامتقارن در امتداد بعد کوچک موجبر، پُست خیلی نازک و روزنه دایروی کوچک و از جمله عناصر خازنی، می‌توان به پنجره متقارن یا نامتقارن در امتداد بعد بزرگ موجبر، میله نازک دایروی در عرض موجبر و پُست کوتاه و نازک، اشاره کرد.

نمونه‌هایی از عناصر رایج سلفی و خازنی که به‌منظور تطبیق امپدانس در موجبر استفاده شده‌اند در شکل (۲-۲) نشان داده شده است. پُست در مقابل تابش TE_{10} بیشتر شبیه یک مدار LC سری که در طول خط قرار گرفته باشد، عمل می‌کند. هنگامی که طولی از آن که در موجبر نفوذ کرده بین $0.7b$ تا $0.9b$ باشد، حالت تشدید پیش می‌آید و اتصال کوتاه می‌شود.



شکل ۲-۲ (a) دیافراگم نامتقارن سلفی. (b) پُست خازنی.