

طراحی و ساخت شبکه تطبیق امپدانس ۱۳/۵۶ مگاهرتز ۶۰۰ واتی برای تشکیل پلاسمای فرکانس رادیویی

سید محمد علوی^۱، محمد قسمتی^۲

چکیده

از آنجایی که محفظه‌ی پلازما از نظر الکتریکی، باری متغیر با زمان محسوب می‌شود و امپدانس آن از ابتدای فرآیند تا انتهای آن ثابت نیست، لازم است که بین مولد فرکانس رادیویی و محفظه‌ی پلازما از یک شبکه‌ی تطبیق امپدانس استفاده شود تا با اندازه‌گیری یک پارامتر مناسب مانند پارامتر $VSWR$ و اعمال تغییر مناسب بر روی المان‌های شبکه‌ی تطبیق امپدانس، مولد فرکانس رادیویی در تمام طول فرآیند (با وجود تغییر بار الکتریکی محفظه) در خروجی خود، بار ۵۰ اهم خالص را ببیند. در این فعالیت کار طراحی و ساخت یک شبکه‌ی تطبیق امپدانس با قابلیت انتقال توان ۶۰۰ وات در فرکانس ۱۳،۵۶ مگاهرتز برای تطبیق بار الکتریکی محفظه‌ی پلازما به امپدانس خروجی مولد فرکانس رادیویی انجام شده است. در جعبه‌ی تطبیق امپدانس طراحی شده، از یک شبکه نوع L که شامل دو خازن متغیر و یک سلف ثابت است، به عنوان شبکه‌ی تطبیق امپدانس، از یک اندازه‌گیر $VSWR$ به عنوان حسگر تطبیق، از دو عدد موتور $Servo$ به عنوان عملگر برای چرخاندن خازن‌های متغیر و از الگوریتم کمینه $VSWR$ به عنوان الگوریتم تطبیق استفاده شده است.

کلیدواژه

جعبه تطبیق امپدانس، محفظه‌ی پلازما، شبکه نوع L ، اندازه‌گیر $VSWR$ ، الگوریتم کمینه $VSWR$

مقدمه

برای پیاده‌سازی شبکه‌های نوع L (به روش دستی و یا خودکار) کارهای متنوعی در خارج از کشور انجام شده است ([۲]، [۳] و [۵])، اما در داخل کشور به دلیل عدم پیشرفت مناسب در ساخت سیستم‌های لایه‌نشانی، این کار به ندرت انجام شده است. بدین جهت در این مقاله، کار پیاده‌سازی شبکه‌ی نوع L برای تطبیق امپدانس محفظه‌های پلازما به روش خودکار مورد بررسی قرار گرفته است. آنچه که این فعالیت را از کارهای مشابه متمایز می‌کند ارائه‌ی روشی برای یافتن محدوده‌ی تغییرات المان‌های شبکه نوع L با توجه به محدوده‌ی امپدانس محفظه‌ی پلازماست. همچنین پیاده‌سازی سلف و خازن‌های شبکه‌ی نوع L (مناسب برای انتقال سیگنالی با فرکانس ۱۳،۵۶ مگاهرتز و توان ۶۰۰ وات)، پیاده‌سازی اندازه‌گیر $VSWR$ ، خودکار کردن عملیات تطبیق امپدانس با استفاده از موتورهای $Servo$ و پیاده‌سازی الگوریتم کمینه $VSWR$ از مهمترین تلاش‌های این فعالیت به شمار می‌روند.

طرح مسئله

برای تشکیل پلاسمای فرکانس رادیویی مورد نظر، لازم است که جعبه‌ی تطبیق امپدانس طراحی شده دارای مشخصه‌های زیر باشد:

۱. شبکه نوع L آن قابلیت کار کردن در تک فرکانس ۱۳،۵۶ مگاهرتز را داشته و در این فرکانس قابلیت انتقال توان ۶۰۰ وات را داشته باشد که این قابلیت شامل

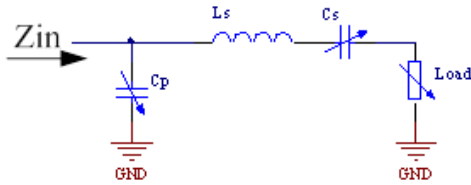
طراحی یک شبکه‌ی تطبیق امپدانس به میزان توان الکتریکی مولد فرکانس رادیویی و محدوده‌ی تغییرات بار الکتریکی محفظه‌ی پلازما وابسته است و بر اساس آن روش‌های مختلفی برای تطبیق به وجود آمده‌اند که از این دست می‌توان به مواردی چون شبکه‌های نوع L ، نوع π و نوع T اشاره کرد. شبکه‌های نوع L ، یک انتخاب ایده‌آل برای سیستم‌های اسپاترینگ هستند و حتی می‌توانند بعضی از سیستم‌های زدایش^۳ را راه‌اندازی کنند. این شبکه‌ها می‌توانند برای سیستم‌های جوشکاری PVC و یا پلاستیک‌های مشابه آن، به کار روند. این شبکه‌ها در مواقعی که تغییرات خازنی بار الکتریکی محفظه‌ی پلازما زیاد است، قادرند تطبیق را انجام دهند. همچنین شبکه‌های نوع L برای محفظه‌های پلاسمایی که بخش حقیقی بار الکتریکی آن‌ها بین چهار تا ۳۰ اهم است، بسیار خوب عمل می‌کنند. بنابراین این نوع شبکه‌ها بهترین انتخاب برای انجام عملیات سطحی هستند [۵].

^۱ استادیار دانشکده برق، دانشگاه جامع امام حسین (ع)

^۲ کارشناسی ارشد برق کنترل، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی،

^۳ mohammadghesmati@yahoo.com

Etching



شکل ۲. امپدانس دیده شده از مولد فرکانس رادیویی با وجود MB و محفظه پلاسما

گفتنی است که محدوده‌ی تغییرات خازن‌های شبکه‌ی نوع L (با فرض یک مقدار ثابت برای سلف) با توجه به محدوده‌ی تغییرات بخش حقیقی امپدانس محفظه‌ی پلاسما (که مطابق شکل ۱ در حدود دو تا ۳۰ اهم است)، بدست می‌آید [۱].

امپدانس دیده شده از مولد فرکانس رادیویی برابر است با:

$$Z_{in} = \frac{(r + jL_{eq}\omega) \left(\frac{1}{j\omega C_p} \right)}{r + j \left(L_{eq}\omega - \frac{1}{\omega C_p} \right)} \quad (1)$$

$$L_{eq}\omega = L_s\omega - \frac{1}{C_s\omega} - \frac{1}{C_{chamber}\omega} \quad (2)$$

که در آن r بخش حقیقی امپدانس محفظه‌ی پلاسما و L_{eq} سلف معادل پس از کم کردن مقدار راکتانس مربوط به خازن سری و بخش خازنی امپدانس محفظه‌ی پلاسما است. با ضرب کردن صورت و مخرج تابع تبدیل امپدانس در مزدوج مخرج آن، معادلات قسمت موهومی و حقیقی امپدانس شبکه مطابق زیر بدست می‌آید:

$$Re(Z_{in}) = \frac{\frac{r}{\omega^2 C_p^2}}{r^2 + \left(L_{eq}\omega - \frac{1}{\omega C_p} \right)^2} \quad (3)$$

$$Im(Z_{in}) = \frac{\frac{L_{eq}}{\omega C_p^2} - \frac{\omega L_{eq}^2}{C_p} - \frac{r^2}{\omega C_p}}{r^2 + \left(L_{eq}\omega - \frac{1}{\omega C_p} \right)^2} \quad (4)$$

با مساوی قرار دادن قسمت حقیقی امپدانس با ۵۰ اهم و قسمت موهومی آن با صفر اهم و حل دو معادله، معادلات سلف معادل و خازن موازی بر حسب بخش حقیقی امپدانس محفظه-ی پلاسما بدست می‌آید. گفتنی است به این دلیل که معمولاً در عمل ساختن سلف متغیر و تغییر آن کار راحتی نیست، برای تغییر مقدار سلف معادل، خازنی که به صورت سری با سلف در شبکه نوع L به کار می‌رود، تغییر داده می‌شود. به عنوان مثال سلف ثابتی برابر با ۲ میکرو هانری در نظر گرفته می‌شود و با تغییر خازن سری، مقدار سلف معادل به مقدار دلخواه نزدیک می‌شود.

رعایت کردن محدوده‌های ولتاژ و جریان المان‌های شبکه نوع L است.

۲. اندازه‌گیر $VSWR$ آن صحت و دقت کافی را داشته باشد تا تطبیق امپدانس به درستی و با دقت انجام شود.

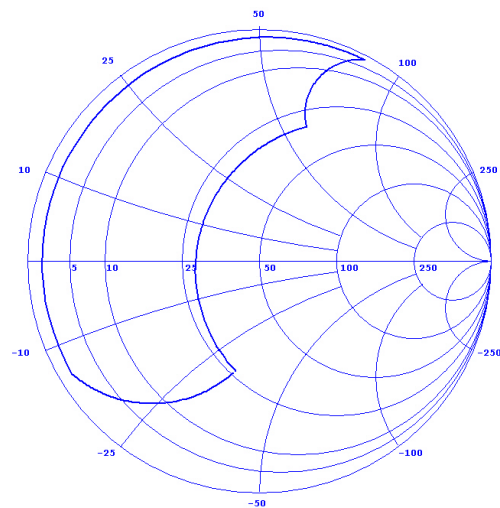
۳. موتورهای $Servo$ آن سرعت و تفکیک‌پذیری مناسب را برای چرخاندن خازن‌های متغیر و انجام عملیات تطبیق داشته باشند.

۴. الگوریتم تطبیق آن به گونه‌ای باشد که عملیات تطبیق را در کمترین زمان ممکن انجام دهد.

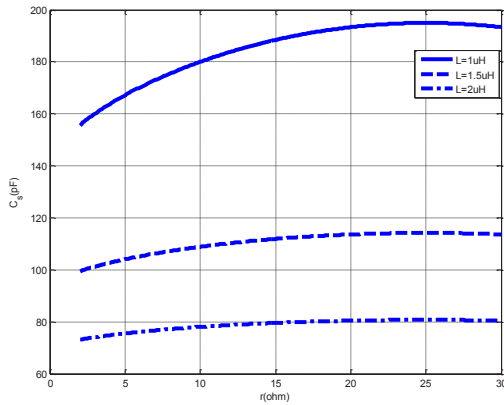
۵. نحوه خنک‌سازی المان‌های شبکه نوع L آن هوا خنک بوده و فن مناسب با عملکرد پیوسته‌ی آن برای دمای محیط کمتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد تهیه شود.

طراحی شبکه نوع L

نمودار محدوده‌ی امپدانس الکتریکی محفظه‌های پلاسما برای انجام عملیات سطحی در اسمیت چارت شکل ۱ آورده شده است [۳]. همچنین شماتیک شبکه‌ی L مورد استفاده برای انجام عملیات تطبیق به همراه امپدانس محفظه‌ی پلاسما در شکل ۲ آورده شده است. در واقع هدف این است که امپدانس دیده شده از ورودی شبکه‌ی تطبیق با وجود امپدانس متغیر محفظه‌ی پلاسما با تغییر خازن‌های موازی (C_p) و سری (C_s) به مقدار ۵۰ اهم نزدیک شود.



شکل ۱. نمودار تغییرات اندازه بار محفظه پلاسما



شکل ۵. محدوده تغییرات خازن سری

پیاده سازی المان های شبکه نوع L

ساخت سلف سری

برای ساخت سلف سری مقدار آن را برابر با ۲.۲ میکرو هانری در نظر گرفته و برای آن تپ‌های مختلفی تعبیه کرده تا در صورت نیاز بتوانیم مقدار سلف را کاهش دهیم. در صورتی که از لوله‌ی مسی برای ساخت سلف استفاده کنیم و شعاع سطح مقطع سلف را برابر با ۳ سانتی‌متر و طول آن را برابر با ۱۵ سانتی‌متر در نظر بگیریم، تعداد دور مورد نیاز برای ساخت سلف برابر است با:

$$L = \frac{\mu_0 N^2 A}{l} \quad (8)$$

$$N = \sqrt{\frac{Ll}{\mu_0 A}} = \sqrt{\frac{2.2 * 10^{-6} * 15 * 10^{-2}}{4\pi * 10^{-7} * \pi * (3 * 10^{-2})^2}} = 9.57 \sim 10 \quad (9)$$

بیشترین جریان عبوری از سلف در مقدار مینیمم بار و بیشینه توان به دست می‌آید:

$$P_{max} = 600 \text{ watt} , \quad R_{lmin} = 2 \Omega \quad (10)$$

$$I_{max} = \sqrt{\frac{2P_{max}}{R_{lmin}}} = \sqrt{600} \cong 24.5 \text{ A} \quad (11)$$

مقدار عمق پوستی (ضخامتی که جریان از آن عبور می‌کند) در فرکانس 13.56 MHz برابر است با [۸]:

$$S = \frac{2837}{\sqrt{f_{(kHz)}}} = \frac{2837}{\sqrt{13560}} = 24.36 \text{ mil} = 0.62 \text{ mm} \quad (12)$$

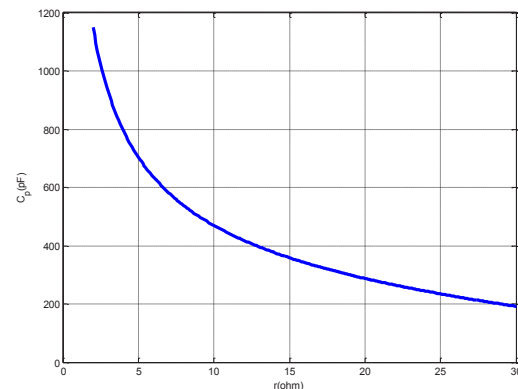
لذا با در نظر گرفتن ضخامت ۱ میلی‌متر برای لوله‌ی مسی و در نظر گرفتن بیشترین چگالی جریان برای مس (در هوای آرام)

$$L_{eq} = \frac{\sqrt{(-r^2 + 50r)}}{\omega} \quad (5)$$

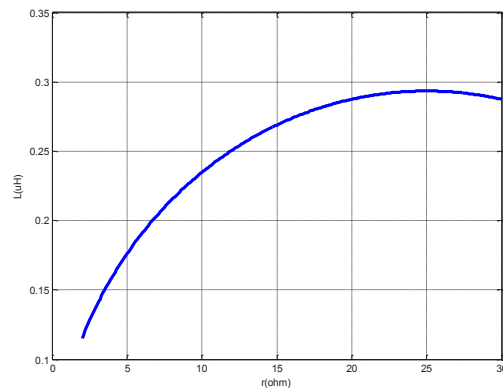
$$C_p = \frac{\sqrt{(-r^2 + 50r)}}{50\omega r} \quad (6)$$

$$C_s + C_{chamber} = \frac{1}{\omega^2(L_s - L_{eq})} \quad (7)$$

نمودارهای بدست آمده برای خازن موازی و سلف معادل، بر حسب تغییر مقدار بخش حقیقی امپدانس محفظه از ۲ تا ۳۰ اهم به ترتیب در شکل ۳ و شکل ۴ آورده شده‌اند. به ازای در نظر گرفتن مقدار سلف سری برابر با ۱ میکروهانری، ۱.۵ میکروهانری و ۲ میکروهانری در شبکه نوع L نمودار مربوط به مجموع خازن سری و خازن محفظه‌ی پلاسمای در شکل ۵ آورده شده است، همان‌طور که در نمودارها مشاهده می‌شود بیشینه مقدار خازن موازی، به ازای تغییر بخش حقیقی امپدانس محفظه‌ی پلاسمای بین ۲ تا ۳۰ اهم، برابر با ۱۱۵۰ پیکوفاراد است و بیشینه مقدار مجموع خازن سری و خازن محفظه‌ی پلاسمای به ازای مقدار سلف سری برابر با ۱ میکروهانری، ۱.۵ میکروهانری و ۲ میکروهانری به ترتیب برابر با ۱۹۵، ۱۱۵ و ۸۰ پیکوفاراد است.



شکل ۳. محدوده تغییرات خازن موازی

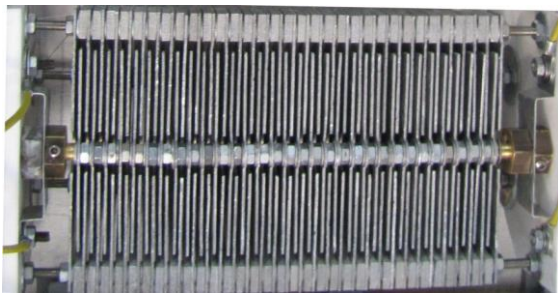


شکل ۴. محدوده تغییرات سلف معادل

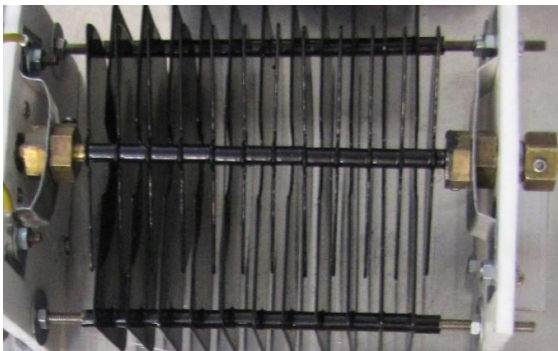
هوا برابر با ۲ مگاولت بر متر، کمینه فاصله‌ی مجاز برای جوشن‌های این خازن به دست می‌آید:

$$d_{min cs} = \frac{1500}{2 \times 10^6} = 750 \mu m \quad (17)$$

نمای خازن‌های موازی و سری ساخته شده به ترتیب در شکل ۷ و شکل ۸ آورده شده‌اند. برای اطمینان از صحت بیشینه مقادیر خازن‌های موازی و سری، مقدار آن‌ها را با استفاده از *Network Analyzer* اندازه‌گیری کردیم که تقریباً با مقدار شبیه‌سازی شده برابر بودند.



شکل ۷. نمای خازن موازی ساخته شده



شکل ۸. نمای خازن سری ساخته شده

تست شبکه‌ی نوع L پیاده‌سازی شده

برای تست شبکه‌ی نوع L پیاده‌سازی شده و همچنین مشاهده‌ی تطابق نتایج پیاده‌سازی با نتایج شبیه‌سازی، آزمونی را ترتیب دادیم که در آن از یک مقاومت ۲۵ اهم خالص (ساخت شرکت *RF Florida*) و یک *RF Analyzer* (ساخت شرکت *Agilent* با نام تجاری *N9912A*) استفاده کردیم. قابل توجه است که مقاومت‌های فرکانس بالا مقادیر استاندارد دارند و مقاومت ۲۵ اهم یکی از آنها بوده و در محدوده چهار تا ۳۰ اهم که محدوده‌ی کاری شبکه‌ی نوع L است، قرار می‌گیرد. بدین ترتیب که مقاومت مذکور را در خروجی شبکه‌ی نوع L قرار داده و با استفاده از *RF Analyzer* پارامتر S_{11} را در ورودی شبکه‌ی نوع L مشاهده کردیم. در ادامه با تغییر مقادیر دو خازن C_p و C_s سعی کردیم تا پارامتر S_{11} را در فرکانس ۱۳٫۵۶ مگاهرتز کمینه کنیم (نمای شکل ۹). در انتها با استفاده از

برابر با ۲ آمپر بر میلی‌متر مربع می‌توانیم از لوله‌ی مسی با شعاع ۳ میلی‌متر برای ساخت سلف استفاده کنیم:

$$2 \frac{A}{mm^2} = \frac{24.5}{\pi r^2 - \pi(r-1)^2} \rightarrow r = 2.5 mm \quad (13)$$

نمای سلف ساخته شده در شکل ۶ آورده شده است. برای اطمینان از صحت مقدار سلف، مقدار آن را با استفاده از یک *RLC Meter* اندازه‌گیری کردیم که تقریباً با مقدار شبیه‌سازی شده برابر بود.



شکل ۶. نمای سلف ساخته شده

ساخت خازن‌های موازی و سری

در قسمت قبل بیشینه مقدار خازن موازی برابر با ۱۱۵۰ پیکو فاراد بدست آمد. برای ساخت خازن سری نیز بیشینه مقدار آن برابر با ۱۶۰ پیکو فاراد در نظر گرفته شده است. کمینه فاصله‌ی مجاز برای جوشن‌های این دو خازن مطابق رابطه‌ی زیر از روی بیشینه ولتاژ دو سر خازن‌ها و میدان الکتریکی مجاز برای هوا به دست می‌آید.

$$d_{min c} = \frac{V_{c,max}}{E_{air,max}} \quad (14)$$

بیشینه ولتاژ دو سر خازن موازی برابر است با بیشینه ولتاژ خروجی مولد فرکانس رادیویی، بنابراین با در نظر گرفتن بیشینه میدان الکتریکی مجاز برای هوا برابر با ۲ مگاولت بر متر، کمینه فاصله‌ی مجاز برای جوشن‌های این خازن به دست می‌آید:

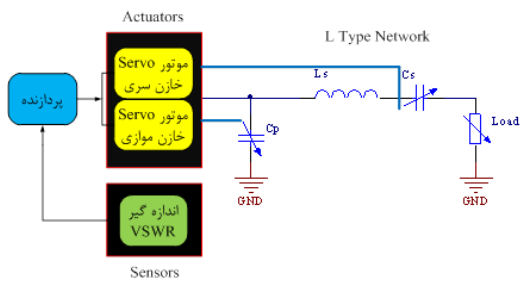
$$V_{cp,max} = \sqrt{100P_{max}} = \sqrt{100 * 600} = 245 v \Rightarrow V_{cp,max} = 245 v \quad (15)$$

$$d_{min cp} = \frac{245}{2 \times 10^6} = 122.5 \mu m \quad (16)$$

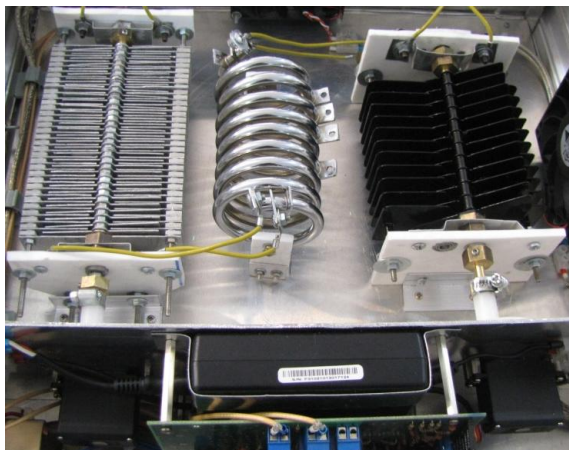
بیشینه ولتاژ دو سر خازن سری برابر است با بیشینه ولتاژ دو سر محفظه‌ی پلاسما، این ولتاژ مجموعی از ولتاژ *DC Self Bias* و ولتاژ سینوسی دو سر محفظه‌ی پلاسما است. مقدار این ولتاژ به پارامترهای پلاسما، فرکانس و توان اعمالی وابسته است و در توان ۶۰۰ وات بیشینه مقدار آن حدود ۱۵۰۰ ولت است [۴]. بنابراین با در نظر گرفتن بیشینه میدان الکتریکی مجاز برای

در آزمون‌های یاد شده، برای اطمینان از صحت عملکرد جعبه تطبیق امپدانس، از یک وات‌متر Bird مدل 43 با المنت 1000W 2-30MHz، استفاده شد [۵]. همان‌طور که در شکل ۱۲ مشخص است این وات‌متر بین مولد فرکانس رادیویی و جعبه تطبیق امپدانس قرار گرفته و توان رفت و توان بازگشت به مولد فرکانس رادیویی را نمایش می‌دهد. معمولاً باید توان بازگشتی کمتر از ۲ درصد توان رفت باشد [۳]. نتایج تمامی این آزمون‌ها بدین ترتیب بود که پس از انجام عملیات تطبیق به صورت اتوماتیک و تشکیل پلاسمای فرکانس رادیویی در محفظه‌های پلازما، در توان نامی ۶۰۰ وات، توان بازگشتی به مولد فرکانس رادیویی کمتر از ۱۰ وات بود.

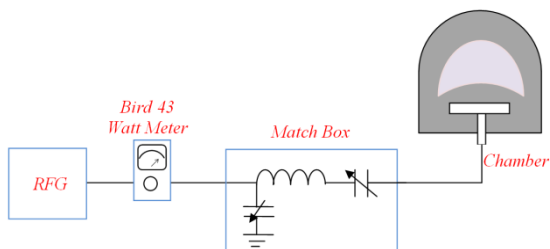
در نتیجه با توجه به نتایج آزمون‌های مطرح شده، مشخص است که این جعبه تطبیق امپدانس قابلیت انتقال توان ۶۰۰ وات را در فرکانس ۱۳/۵۶ مگاهرتز به محفظه‌های پلازما و برای انجام عملیات سطحی داراست.



شکل ۱۰. شماتیک پیاده‌سازی جعبه تطبیق امپدانس

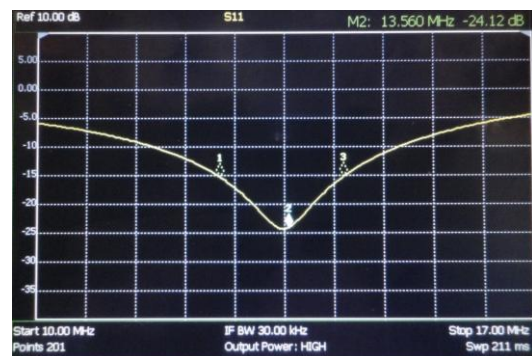


شکل ۱۱. پیاده‌سازی جعبه تطبیق امپدانس



شکل ۱۲. ترکیب‌بندی تست جعبه تطبیق امپدانس

Network Analyzer مقادیر دو خازن C_p و C_s را اندازه‌گیری کرده که به ترتیب برابر با ۸۰ پیکوفاراد و ۲۲۰ پیکوفاراد بودند. اگر یک بار دیگر به نمودار شکل ۳ توجه کنیم مشخص است که به ازای بخش حقیقی بار الکتریکی برابر با ۲۵ اهم، مقدار خازن موازی در حالت تطبیق حدود ۲۳۰ پیکوفاراد است و همچنین با توجه به شکل ۵، با داشتن سلف سری برابر با ۲ میکروهانری، مقدار خازن سری در حالت تطبیق (به ازای بخش حقیقی بار الکتریکی برابر با ۲۵ اهم) حدود ۸۰ پیکوفاراد است. در نتیجه مشخص است که نتایج تست مذکور کاملاً مطابق با نتایج شبیه‌سازی است.



شکل ۹. پارامتر S_{11} شبکه‌ی نوع L پیاده‌سازی شده با وجود بار الکتریکی ۲۵ اهم در خروجی آن

پیاده‌سازی جعبه تطبیق امپدانس

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد برای تطبیق خودکار بار الکتریکی محفظه‌ی پلازما، علاوه بر پیاده‌سازی شبکه نوع L، لازم است که در ورودی جعبه تطبیق امپدانس یک اندازه‌گیر V_{SWR} مطابق مرجع [۱] قرار داده شود، خروجی آن به یک برد کنترلی وارد شده و بر اساس الگوریتم کمینه V_{SWR} خازن‌های موازی و سری با استفاده از موتورهای Servo، تغییر داده شوند. شماتیک این پیاده‌سازی در شکل ۱۰ آورده شده است. همچنین نمای پیاده‌سازی جعبه تطبیق امپدانس طراحی شده در شکل ۱۱ آورده شده است.

پس از پیاده‌سازی جعبه تطبیق امپدانس، برای اطمینان از صحت عملکرد آن (شامل انجام عملیات تطبیق امپدانس و انتقال توان ۶۰۰ وات به بار الکتریکی محفظه‌ی پلازما)، آزمون‌هایی ترتیب داده شد. بدین ترتیب که در این آزمون‌ها مطابق ترکیب بندی شکل ۱۲ برای فرآیندهایی چون RIE^3 ، $PECVD^6$ ، $PACVD^7$ و $RF Oxidation$ و $RF Sputtering$ ، از این جعبه تطبیق امپدانس استفاده شد. قابل توجه است که برای هر یک از این فرآیندها لازم بود که از الکترودهایی که قابلیت انتقال توان ۶۰۰ وات را تحت آن فرآیند دارند، استفاده شود.

³ Reactive Ion Etching
⁶ Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition
⁷ Plasma Assisted Chemical Vapor Deposition

- [1] محمد قسمتی، طراحی و ساخت مولد فرکانس رادیویی و جعبه تطبیق امپدانس ۱۳/۵۶ مگاهرتز ۶۰۰ وات برای تشکیل پلاسمای فرکانس رادیویی، پایان نامه‌ی دوره‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، سال ۱۳۹۱
- [2] Larry Phipps and N8LP, LP-100A Digital Vector RF Wattmeter Assembly & Operations Manual, ARRL, 2006
- [3] SEREN MM-Series MANUAL IMPEDANCE MATCHING NETWORK OPERATOR'S MANUAL, SEREN Industrial Power Systems, Inc., 2004
- [4] Antonio J. Miranda and Costas J. Spanos, Impedance modeling of a Cl2/He plasma discharge for very large scale integrated circuit production monitoring, Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California at Berkeley, 1996
- [5] N. Vaghela, RF (13.56MHz) Impedance Matching, Huettinger Electronic, Inc
- [6] Demetre J, Economou and David R. Evans and Richard C. Alkire, J. Electrochem. A, Time-Average Model of the RF Plasma Sheath, Soc.: SOLID-STATE SCIENCE AND TECHNOLOGY, VoL 135, No. 3, p:756-763
- [7] V. Brouk and R. Heckman, Stabilizing RF Generator and Plasma Interactions, Advanced Energy Industries, Inc., Fort Collins, CO, 2004
- [8] www.wikipedia.org

در این مقاله سعی شد که شیوه طراحی شبکه‌ی تطبیق امپدانس ۶۰۰ واتی شرح داده شود، همچنین در مورد پیاده سازی جعبه تطبیق امپدانس مطالبی ارائه شد. آنچه که می توان از این مقاله دریافت، این است که:

- ۱- شبکه‌های نوع L بهترین انتخاب برای تطبیق امپدانس محفظه‌های پلاسما در انجام عملیات سطحی هستند.
- ۲- محدوده‌ی تغییرات المان‌های شبکه نوع L با توجه به محدوده‌ی امپدانس محفظه‌ی پلاسما تعیین می‌شود.
- ۳- پیاده‌سازی المان‌های شبکه نوع L باید با توجه به پارامترهای پلاسما، فرکانس و بیشینه توان مولد فرکانس رادیویی (محدوده‌های ولتاژ و جریان) انجام شود.
- ۴- برای تطبیق خودکار امپدانس محفظه‌ی پلاسما باید از یک اندازه‌گیر مناسب مانند اندازه‌گیر $VSWR$ و از عملگرهای مناسب برای تغییر دادن خازن‌های سری و موازی مانند موتورهای $Servo$ استفاده کرد.
- ۵- برای تطبیق هر چه سریعتر امپدانس الکتریکی محفظه‌ی پلاسما لازم است که از یک الگوریتم مناسب مانند الگوریتم کمینه $VSWR$ استفاده شود.