

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق (مخابرات-میدان)

تحلیل و شبیه سازی سیگنال بزرگ لامپ موج رونده با حفره های کوپل شده

به وسیله ی
زینب زیبائی نژاد

استاد راهنما
دکتر حبیب اله عبیری

اسفند ماه ۱۳۸۸

به نام خدا

تحلیل و شبیه سازی سیگنال بزرگ لامپ موج رونده با حفره های کوپل شده

به وسیله ی :

زینب زیبائی نژاد

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی

از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی:

مهندسی برق-مخابرات-میدان

از دانشگاه

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر حبیب اله عبیری (استاد راهنما)

دکتر رحیم غیور

دکتر فرزاد مهاجری

اسفند ماه ۱۳۸۸

مادر فداکار و مهربانم

که موفقیت های خود را در تمامی مراحل زندگی مدیون از خودگذشتگی ها و زحمات ایشان بوده و خواهم بود.

9

همسر عزیزم

که با حمایت های بی دریغ خود مرا در انجام این پایان نامه همراهی نموده و همواره مشوق من در این امر بوده اند.

سپاسگزاری

”الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي لَا يَبْلُغُ مَدْحَتَهُ الْقَائِلُونَ وَلَا يُحْصِي نِعْمَاءَهُ الْعَادُّونَ وَلَا يُؤَدِّي حَقَّهُ الْمُجْتَهِدُونَ“
«سپاس خدایی را که سخنوران در ستودن او بمانند و شمارگران شمردن نعمت های او ندانند و
کوشندگان حق او را گزاردن نتوانند.»

پس از سپاس از عنایات خداوند متعال ، شایسته است که از استاد ارجمند جناب آقای
دکتر حبیب الله عبیری که صمیمانه مسئولیت راهنمایی این رساله را به عهده گرفتند و با صبر
و بردباری مرا مورد راهنمایی خویش قرار دادند، کمال قدردانی و تشکر را نمایم و همچنین از
جناب آقای دکتر فرزاد مهاجری و جناب آقای دکتر رحیم غیور که با سعه صدر و حسن نظر
مسئولیت مشاوره را تقبل نمودند ، کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.
از خداوند منان خواستارم ،همه کسانی را که در این امر مرا مورد لطف و راهنمایی های خویش
قرار دادند ، قرین رحمت خاص گرداند .

چکیده

تحلیل و شبیه سازی سیگنال بزرگ لامپ موج رونده با حفره های کوپل شده

به وسیله ی:

زینب زیبائی نژاد

طراحی و ساخت لامپ های موج رونده، بدون تحلیل دقیق، معمولاً در عمل منجر به پاسخی مطلوب نخواهد شد. روش های طراحی غالباً با فرض سیگنال کوچک انجام می گیرد که برای پیش بینی عملکرد سیگنال بزرگ مناسب نمی باشند؛ از طرفی، استفاده از روش سعی و خطا برای بهبود عملکرد نهایی و ساخت لامپ بسیار پر هزینه می باشد. لذا ابزار شبیه سازی بر مبنای تئوری های سیگنال بزرگ جهت پیش بینی عملکرد و کاهش هزینه، بسیار مفید خواهند بود. در این پایان نامه، به تحلیل سیگنال بزرگ لامپ موج رونده با حفره های تزویج شده (Coupled-Cavity) پرداخته می شود. این تحلیل به صورت حفره به حفره و اساساً با فرض یک بعدی بودن حرکت الکترون ها انجام می گیرد. در این تحلیل، پرتوی ورودی در هر تناوب rf به تعدادی دیسک های باردار یکسان و هر حفره در راستای طولی لامپ، به قسمت های مساوی تقسیم شده اند. در این روش، در هر حفره از پله های مکانی استفاده شده و از معادله حرکت در هر حفره در طول پله های مکانی انتگرال گیری می شود. از نرم افزار CST جهت به دست آوردن مشخصات تست سرد لامپ بهره گرفته شده است. در نهایت عملکرد این لامپ توسط نرم افزار ارائه شده در این پایان نامه که در محیط Matlab نوشته شده، شبیه سازی گردیده است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول (مقدمه)	۱
۱-۱- موضوع پایان نامه	۵
۲-۱- اهمیت موضوع	۶
۳-۱- پیشینه تحقیق	۷
۴-۱- روش تحقیق	۱۰
فصل دوم (مبانی کار لامپ موج رونده با حفره های کوپل شده)	۱۳
۱-۲- نگرشی بر مباحث این فصل	۱۴
۲-۲- مدل نیمه تحلیلی (محاسباتی)	۱۴
۳-۲- اصول کلی ساختارهای موج آهسته (Slow-Wave)	۱۵
۱-۳-۲- قضیه فلوکه	۱۶
۴-۲- اصول کار لامپ های موج رونده	۱۹
۵-۲- محاسبه میدان الکتريکی	۲۱
۶-۲- روابط میان ولتاژ حفره های مجاور	۲۷
۷-۲- محاسبه جریان و ولتاژ القایی ناشی از حرکت ذرات	۲۸
۱-۷-۲- میدان های تابش شده توسط منبع جریان در ساختار موج آهسته	۳۰
۲-۷-۲- نمایش میدان های تشعشع یافته توسط ولتاژهای القایی	۳۲
۳-۷-۲- استخراج مولفه فوریه چگالی جریان پرتو	۳۴
فصل سوم (دینامیک حرکت دیسک های باردار)	۳۷
۱-۳- نگرشی بر مباحث این فصل	۳۸
۲-۳- معادلات حرکت دیسک های بار	۳۸
۳-۳- محاسبه نیرو و میدان فضای بار (space-charge):	۳۹
۱-۳-۳- محاسبه تابع گرین بار نقطه ای	۳۹
۲-۳-۳- محاسبه پتانسیل و میدان حاصل از دیسک بار	۴۴

۴۵	-----	۳-۳-۳- محاسبه نیروی فضای بار (space-charge)
۴۸	-----	۴-۳- محاسبه نیروی rf
۵۱	-----	فصل چهارم (پارامترهای اندازه گیری سرد)
۵۲	-----	۱-۴- نگرشی بر مباحث این فصل
۵۲	-----	۲-۴- نمودار بریلوئن یا نمودار $\omega - \beta$ یا dispersion diagram
۵۵	-----	۳-۴- امپدانس برهم کنش
۵۷	-----	فصل پنجم (مدل خط انتقال لامپ موج رونده)
۵۸	-----	۱-۵- نگرشی بر مباحث این فصل
۵۸	-----	۲-۵- معرفی مدل مداری خط انتقال
۵۹	-----	۳-۵- معادله مداری
۶۰	-----	۴-۵- معادله نیروی لورنتس
۶۱	-----	۵-۵- روابط پیوستگی بار
۶۳	-----	۶-۵- معرفی متغیرهای نرمالیزه شده و توابع
۶۷	-----	۷-۵- فرموله کردن نهایی معادلات تقویت کنندگی
۶۹	-----	۸-۵- حل معادلات به دست آمده
۷۰	-----	۱-۸-۵- شرایط مرزی ورودی
۷۱	-----	۲-۸-۵- تعیین پارامترها
۷۱	-----	۹-۵- محاسبه بهره
۷۲	-----	۱۰-۵- محاسبه بازده
۷۳	-----	۱۱-۵- محاسبه هارمونیک اصلی و دیگر هارمونیک های جریان پرتو
۷۵	-----	فصل ششم (الگوریتم شبیه سازی)
۷۶	-----	۱-۶- مدل سازی پرتوی الکترونی به صورت دیسک
۷۷	-----	۲-۶- دینامیک حرکت دیسک ها
۸۲	-----	۳-۶- محاسبه نیروی فضای بار
۸۳	-----	۴-۶- محاسبه جریان پرتوی الکترونی
۸۵	-----	۵-۶- محاسبه ولتاژ های القایی و ولتاژ هر حفره
۸۸	-----	فصل هفتم (نتایج)
۸۹	-----	۱-۷- رسم نمودار بریلوئن توسط نرم افزار CST
۹۳	-----	۲-۷- نتایج شبیه سازی

۱۰۰	نتایج ۳-۷
۱۰۰	پیشنهادات ۴-۷
۱۰۱	منابع و مأخذ
۱۰۱	الف- پایان نامه و کتاب
۱۰۱	ب- مقالات

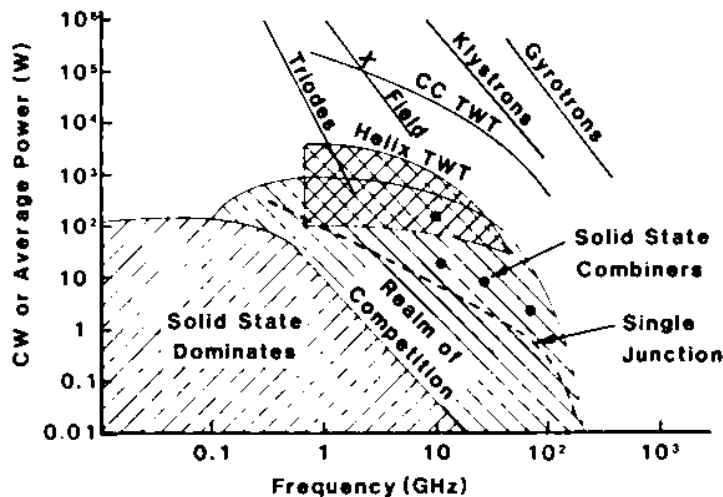
- شکل (۱-۱) - پهناى فرکانسى و توان متوسط برخى از انواع لامپ هاى ماکروویو ----- ۲
- شکل (۲-۱) - عملکرد کلی یک لامپ ----- 3
- شکل (۳-۱) - یک نمونه Coupled Cavity در باند Ku جهت استفاده در رادار سیستمهاى هوایی و با توان پالسى 10Kw ----- ۴
- شکل (۴-۱) - ساختارهاى مختلفی از لامپ هاى Coupled-cavity ----- ۵
- شکل (۵-۱) - مدل دیسكى Tien ----- ۶
- شکل (۶-۱) - لامپ Coupled-Cavity مدل Hughes ----- 10
- شکل (۱-۲) - ذره الکترون A در حال گرفتن انرژی و B در حال از دست دادن انرژی می باشد ----- ۱۵
- شکل (۲-۲) - مرزهاى متناوب بی نهایت ----- ۱۶
- شکل (۳-۲) - ساختارهاى متناوب ----- 16
- شکل (۴-۲) - موج سینوسی تک هارمونی و چند هارمونی ----- 18
- شکل (۵-۲) - نمایش سرعت فاز و سرعت گروه در ترکیب هارمونی هاى یک موج ----- ۱۸
- شکل (۶-۲) - برهم کنش میان موج و ذره ----- ۲۰
- شکل (۷-۲) - میدان هاى الکتریکی برای تونل هاى مختلف ----- ۲۲
- شکل (۸-۲) - ساختاری با حفره هاى استوانه ای کوپل شده ----- 23
- شکل (۹-۲) - اندازه میدان الکتریکی rf در طول یک حفره بر حسب فاصله از مرکز حفره ----- 26
- شکل (۱۰-۲) - نمایش میدان الکتریکی در حفره توسط نرم افزار CST ----- 26
- شکل (۱۱-۲) - نمایش میدان الکتریکی در شکاف بر حسب فاصله از مرکز شکاف ----- ۲۷
- شکل (۱۲-۲) - شمای کلی لامپ با حفره هاى کوپل شده ----- ۲۹
- شکل (۱۳-۲) - توان هاى رفت و برگشت حاصل از اثر سیگنال ورودی و پرتوی ورودی ----- ۳۳
- شکل (۱۴-۲) - جریان $J(z,t)$ به عنوان تابعی از t در یک z ----- ۳۴
- شکل (۱-۳) - بار نقطه ای درون ساختار استوانه ای ----- 39
- شکل (۲-۳) - سطح گوسی برای تونل استوانه ای ----- 43
- شکل (۳-۳) - دیسكى به ضخامت w و شعاع b ----- 44
- شکل (۴-۳) - موقعیت مکانی دو دیسک نسبت به یک دیسک مرجع ----- 46
- شکل (۵-۳) - نیروی فضای بار وارد بر دیسک به فاصله z_0 از مرکز دیسكى دیگر ----- ۴۸
- شکل (۶-۳) - نیروی rf بر حسب فاصله از مرکز حفره ----- 50

- شکل (۱-۴) - مدار معادل Slot ----- 53
- شکل (۲-۴) - مدار معادل یک حفره بدون Slot ----- ۵۳
- شکل (۳-۴) - مدار معادل کل یک حفره ----- 53
- شکل (۴-۴) - نمودار بریلوئن مربوط به یک نمونه ساختار موج آهسته برای سه هارمونیک فضایی به مد های مختلف ----- ۵۴
- شکل (۱-۵) - مدل خط انتقالی ساختار ----- 60
- شکل (۱-۶) - نمایش پرتوی الکترونی توسط مدل دیسکی در یک تناوب rf ----- ۷۵
- شکل (۲-۶) - تقسیم بندی طول هر حفره به N_z قسمت مساوی و به طول Δz ----- 78
- شکل (۳-۶) - تقسیم بندی هر Δz به گره ها یی به طول dz ----- 79
- شکل (۴-۶) - جابجایی دیسک ها در طول تیوب ----- 81
- شکل (۱-۷) - نمای داخلی از ساختار لامپ که توسط CST کشیده شده است ----- 88
- شکل (۲-۷) - نمای سه بعدی از ساختار لامپ که توسط CST کشیده شده است ----- 8۸
- شکل (۳-۷) - نمودار بریلوئن یا $\omega - \beta$ رسم شده توسط CST ----- 90
- شکل (۴-۷) - نمودار سرعت فاز دو هارمونیک اول ($n=0, n=1$) رسم شده توسط CST ----- 91
- شکل (۵-۷) - نمودار بریلوئن مربوط به دو مد اول با دو هارمونیک اول ($n=0, n=1$) رسم شده توسط CST ----- ۹۱
- شکل (۶-۷) - نمودار بریلوئن مربوط به سه مد اول با دو هارمونیک اول ($n=0, n=1$) رسم شده توسط CST ----- ۹۲
- شکل (۷-۷) - مولفه فوریه جریان پرتوی الکترونی بر حسب فاصله از مبدأ حفره اول ----- ۹۳
- شکل (۸-۷) - نسبت جریان اصلی پرتو به جریان اولیه آن $I1/I0$ بر حسب تعداد حفره ها ----- ۹۴
- شکل (۹-۷) - ولتاژ پیشرونده rf شکاف بر حسب تعداد حفره ها ----- 95
- شکل (۱۰-۷) - توان rf هر حفره نسبت به فاصله از مبدأ ----- 96
- شکل (۱۱-۷) - بازده بر حسب تعداد حفره ها ----- 97
- شکل (۱۲-۷) - اثر کاهش شعاع دیسک بر ولتاژ شکاف هر حفره ----- ۹۸
- شکل (۱۳-۷) - اثر کاهش دیسک بر مولفه فوریه جریان پرتو و افزایش آن ----- ۹۹

فصل اول

مقدمه

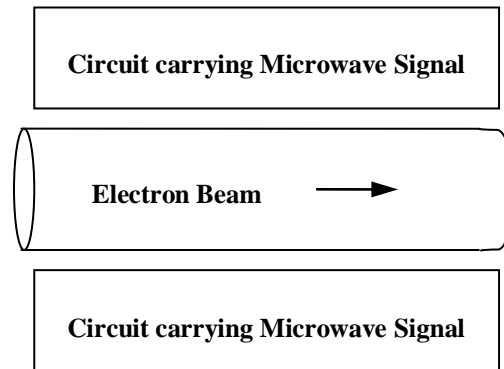
گسترش چشمگیر مخابرات ماهواره ای و نیز سیستم های ارسال اطلاعات در قرن بیستم منجر به توسعه انواع تقویت کننده های پرتوان گردید. در این میان انواع لامپ های میکروویو پرتوان نیز ابداع شد و رفته رفته بررسی های عمیق تری نسبت به چگونگی کارکرد آنها صورت گرفت. از انواع این لامپ ها می توان به کلاسترون ها، لامپ های موج رونده^۱، مگنترون ها و . . اشاره کرد. تفاوت ساختاری آنها و نیز تفاوت در عملکرد و چگونگی برهم کنش موج و ذره در آنها، عامل اصلی تعیین کننده توان خروجی، بازده، عرض باند و در نتیجه کاربرد آنها است. در واقع لامپ های میکروویو، ابزارهایی جهت تولید و تقویت امواج رادیویی هستند و هر یک کاربردهای منحصر به فرد و پهنای فرکانسی خاصی دارند که در شکل (۱-۱) نشان داده شده است (Gilmour.Jr ,A.S,(1986)).



شکل ۱-۱: پهنای فرکانسی و توان متوسط برخی از انواع لامپ های میکروویو

^۱ - travelling wave tube

مبنای عملکرد یک لامپ موج رونده مایکروویو به طور ابتدایی در شکل (۱-۲) نشان داده شده است. یک باریکه الکترونی از درون لامپ گذشته و ساختار لامپ به گونه ای طراحی شده است که یک موج الکترومغناطیسی با سرعتی نزدیک به سرعت باریکه الکترونی و در بُرد فرکانس مایکروویو از درون لامپ عبور می کند و در آنجا برهم کنشی بین الکترون ها و امواج الکترومغناطیسی رخ می دهد که باعث تقویت موج می گردد.



شکل ۱-۲: عملکرد کلی یک لامپ

در میان لامپ های مایکروویو مزیت عمده لامپ های موج رونده، گستره بیشتر پهنای باند است که در سیستم های ارتباطی مخابراتی چند کانالی، از آن به وفور استفاده می شود. از آنجا که این تحقیق سعی دارد به لامپ های موج رونده بپردازد به همین مقدار مقایسه اکتفا می نماید و به بررسی مختصری از انواع غالب لامپ های موج رونده می پردازد. این نمونه لامپ (موج رونده) اولین بار توسط ردولف کامپنر^۲ در سال ۱۹۴۲م ابداع شد. دو نوع لامپ موج رونده معمولی^۳ وجود دارد که در گروه ساختارهای موج آهسته^۴ قرار می گیرند که در ادامه معرفی می گردند:

Helix - ۱

Coupled Cavity-۲

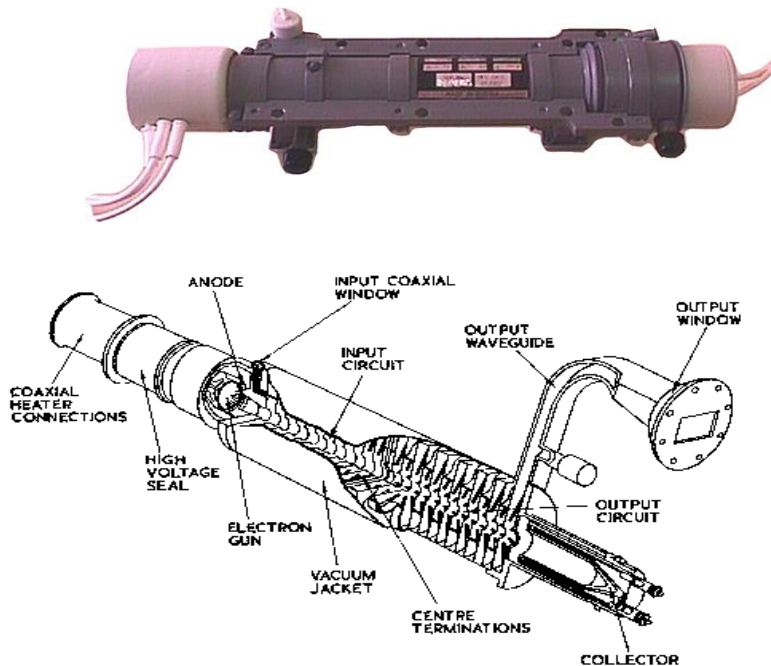
البته Magnetron هم در دسته مجزایی قرار می گیرد و عملکرد آن از جهتی متفاوت با دو نوع قبلی است. لامپ Helix جهت کاربردهایی با پهنای باند زیاد استفاده می شود و از Coupled Cavity در کاربردهایی که به توان زیاد نیاز دارند بهره می برند.

^۲ - Rudolf Kompfner

^۳ - Ordinary type

^۴ - slow wave structure

با توجه به موضوع تحقیق در ادامه به ساختار Coupled Cavity و شمایی از طرز کار آن می پردازیم. در شکل (۳-۱) یک نمونه Coupled Cavity که در باند Ku جهت استفاده در رادار سیستمهای هوایی و با توان پالسی 10Kw می باشد، نشان داده شده است.

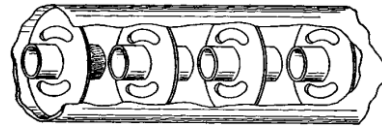


شکل ۳-۱: یک نمونه Coupled Cavity در باند Ku جهت استفاده در رادار سیستمهای هوایی و با توان پالسی 10Kw

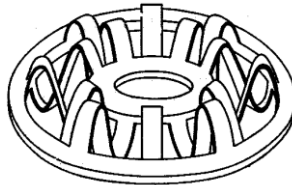
همانطور که در شکل (۳-۱) دیده می شود، در چنین لامپ هایی تعداد زیادی حفره شبیه به یکدیگر و پشت سرهم قرار داده شده است که به وسیله شیارهایی به یکدیگر کوپل شده اند و باعث جریان یافتن امواج الکترومغناطیسی در ساختار می شوند. این شیارها به گونه ای طراحی می شوند که در نهایت بتوانند یک موج الکترومغناطیسی با سرعتی نزدیک به سرعت پرتوی الکترونی را ایجاد نمایند. ساختار حفره ها معمولاً مسی است و از نظر هندسی به گونه ای است که حداقل مقاومت حرارتی داشته باشد که در نهایت باعث افزایش توان مؤثر می گردد. تکنیک های گوناگونی نیز برای انتشار موج بین هر دو حفره وجود دارد که بر اساس اختلاف فاز بین هر دو حفره مجاور می باشد. حفره اول در این لامپ همانند کلاسترون عمل می نماید و باعث دسته بندی ذرات می شود. این لامپ ها با توجه به شکل هندسی آنها و خواص متفاوتی که در عملکرد از خود نشان می دهند، نام های گوناگونی دارند که در شکل (۴-۱) به برخی از این ساختارها اشاره شده است:



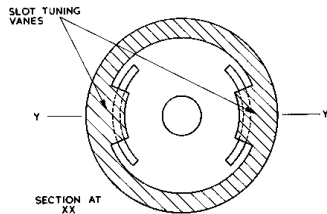
ساختار Hughes



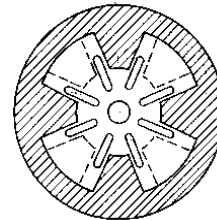
ساختار-Chadrow



ساختار Coupling



ساختار long slot



ساختار Clover-leaf

شکل ۱-۴: ساختارهای مختلفی از لامپ های Coupled-cavity

به طور کلی این نوع لامپ ها، به علت داشتن خواص منحصر به فردی چون بهره بالا، پهنای باند زیاد، توان بالا، خطی بودن پاسخ فاز آن به طور وسیع در مخابرات فضایی و سیستم های پیشرفته رادار مورد استفاده قرار می گیرد ((Srivastava .Vishnu(1988)).

۱-۱- موضوع پایان نامه

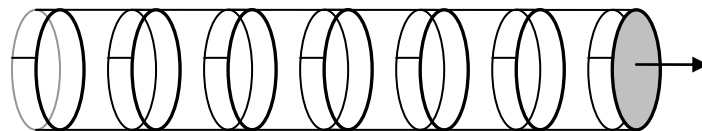
جهت تحلیل این نوع لامپ ها همانند لامپ های دیگر هم تحلیل سیگنال کوچک و هم تحلیل سیگنال بزرگ وجود دارد. اگر طول لامپ به اندازه کافی بزرگ بوده و دامنه سیگنال ورودی هم بزرگ باشد، تئوری خطی بودن یا سیگنال کوچک جهت تحلیل، مناسب نمی باشد. به طور کلی در تحلیل سیگنال کوچک این لامپ ها، فرض بر این بوده که جریان AC در برابر جریان DC باریکه الکترونی مقدار ناچیزی است و به عبارت دیگر سرعت نوسانی باریکه الکترونی در برابر سرعت مستقیم آن، کمتر بوده لذا از جملات نوسانی مراتب بالاتر صرف نظر می شده است. لذا در عملکرد سیگنال بزرگ دیگر نمی توان تقریب سیگنال کوچک را به کار

گرفت. اولین تأثیر جریان AC بزرگ، نبود تطبیق فاز بین سرعت باریکه و میدان های الکتربیکی است (Gittings, J.F. (1965)).

تحت یک سری شرایط خاص، معادلات دیفرانسیلی مربوط به حرکت پرتوی الکترونی، به صورت خطی قابل بیان هستند اما وقتی که موج ورودی بزرگ می شود، این امر باعث می گردد که لامپ در حالت سیگنال بزرگ عمل نماید و تأثیر آن بر میدان ها و نیز باریکه الکترونی منجر به ایجاد پدیده های غیرخطی شود. در این شرایط بایستی مؤلفه های دیگر را هم در حل مسأله وارد نمود.

از آنجایی که در نظر گرفتن تحلیل سیگنال بزرگ در این لامپ ها باعث پیچیده شدن معادلات می شود و نیز شبیه سازی لامپ Coupled-Cavity توسط کامپیوتر جهت تحلیل برهم کنش موج و ذره در حالت سیگنال بزرگ به دلیل پیچیدگی و گستردگی روابط حاکم بر برهم کنش موج و ذره بسیار پیچیده می باشد، لذا مدل های کامپیوتری با فرض ساده سازی هایی استفاده می شود تا سرعت افزایش یابد و در عین حال دقت و انعطاف پذیری مناسب نیز داشته باشد و بتوان طراحی های مناسبی را نیز بدین وسیله با امکان تغییر همزمان دو یا چند پارامتر به دست آورد.

هدف این پایان نامه نوشتن برنامه ای کامپیوتری جهت تحلیل سیگنال بزرگ لامپ موج رونده Coupled Cavity با استفاده از مدل دیسکی Tien (شکل (۱-۵)) برای پرتوی الکترونی و لحاظ نمودن نیروی فضای بار در طول تحلیل و شبیه سازی عملکرد این نوع لامپ می باشد.



شکل ۱-۵: مدل دیسکی Tien

۱-۲- اهمیت موضوع

مدل های عددی و تکنیک های شبیه سازی اصولاً برای طراحی جهت افزایش بازده، توان، بهره، پهنای باند و همچنین اطمینان از عملکرد صحیح لامپ در فرکانس های بسیار بالا صورت می پذیرد. برنامه هایی که برای تحلیل ساختار های این لامپ ها به کار می روند بر اساس نوع روش مورد استفاده در آنها، سرعت و دقت متفاوتی دارند.

مدل های سیگنال بزرگ لامپ های موج رونده برطبق تعداد ابعاد فضایی که برای نشان دادن یا نمایش دادن پرتو و میدان هایی که با پرتو در برهم کنش هستند، دسته بندی می شوند. مدل های ۱ بعدی همانطور که در شکل (۱-۵) نشان داده شده است، به طور مثال پرتو را به صورت رشته ای از دیسک ها یا حلقه هایی که اجباراً به طور محوری و در امتداد فضای برهم کنش حرکت می کنند، نشان می دهند.

چنین مدلی جهت نشان دادن برهم کنش پرتو و موج معمولاً مدلی مناسب خواهد بود، اگر پرتو در فضای برهم کنش هیچگونه انبساط و انقباضی نداشته باشد. در حقیقت با این فرض که قدرت متمرکز ساختن عرضی کل میدان های اعمالی بر پرتو به قدری زیاد باشد که بتوان از حرکت عرضی پرتو صرف نظر نمود، آنگاه پرتو، انبساط یا انقباضی در راستای شعاعی نخواهد داشت. در غیر این صورت مدل های ۲ بعدی و ۳ بعدی جهت پیش بینی های دقیق تر در مورد رفتار و عملکرد لامپ موج رونده به کار می روند زیرا برهم کنش قوی بین پرتو و موج حساس به فاصله مکانی پرتو درون ساختار است چون میدان های If در این فواصل قوی تر می باشند.

مدل های ۲ بعدی پرتو را به صورت یک سری حلقه هایی که در راستای شعاعی منبسط یا منقبض شده و در راستای محوری نیز حرکت می کنند، نشان می دهند. مدل های ۲ بعدی جهت شبیه سازی حرکت های خودسازگار^۵ در میدان های مغناطیسی متمرکزکننده کاربرد دارد زیرا این مدل ها حرکت های شعاعی را نیز در خود دارند (به عنوان مثال یک حلقه بار با شعاع متغیر و چگالی بار متناسب با آن) و در نهایت مدل های ۳ بعدی پرتوی بار را به مجموعه ای از زیر پرتوهایی تقسیم می کند که هرکدام با زاویه سمتی متفاوتی وارد ساختار می شوند(Chernin, (2001)). با توجه به اینکه مجموعه داده های روش های سه بعدی و دو بعدی بسیار زیاد است، به پردازش های پیچیده تری نیاز می باشد.

۱-۳-پیشینه تحقیق

تحلیل سیگنال بزرگ یا رفتار غیر خطی لامپ های موج رونده بدون در نظر گرفتن نیروهای فضای بار و همچنین در نظر گرفتن پرتوی الکترونی به صورت دیسک های الکترونی مجزا برای اولین بار توسط Nordsieck در سال ۱۹۵۳ صورت گرفت. Tien در سال ۱۹۵۵ با انتگرال گیری عددی از معادلات حرکت که Nordsieck هم انجام داده بود و با در نظر گرفتن نیروهای فضای بار میان الکترون ها و با فرض کم بودن ضریب تزویج فرمول هایی را برای محاسبه ولتاژ

خروجی لامپ استخراج نمود. در صورتی که پرتوی الکترونی به صورت دیسک های مجزا در نظر گرفته شود (مدل یک بعدی)، معادلات سیگنال بزرگ لامپ موج رونده شامل دو دسته معادلات دیفرانسیلی غیر خطی مرتبه دو و دو دسته معادلات مرتبه یک می باشد که مقالات متعددی در مورد این معادلات و حل و بررسی آنها توسط روش های عددی مختلف تألیف شده است ((Webber, S.E(1956)) (Rowe, J.E(1960)) (Yang, Z.H(1999)) (Liu, Shunkang(2001)) در فصل پنجم این پایان نامه به معرفی این روش پرداخته شده و دسته معادلات مربوطه به دست آمده اند.

Curnow، مدار معادلی جهت تحلیل رفتار لامپ موج رونده Coupled-Cavity ارائه داد که به علت مشکل بودن مربوط ساختن پارامترها به ابعاد حفره ها تنها به عنوان مدلی برای محاسبه پارامترهای cold-test و اندازه گیری سرعت فاز و امیدانس برهمکنش و محاسبه تلفات به وسیله روش های استاندارد perturbation به کار می رود. فصل چهارم این پایان نامه، به بررسی نمودار $\omega - \beta$ و امیدانس برهم کنش توسط مدار معادل کارنو می پردازد.

Vaughan در سال ۱۹۷۵ با روشی متفاوت و با قابلیت برنامه نویسی کامپیوتری به محاسبه پارامترهای لامپ در حالت سیگنال بزرگ پرداخت. در این روش با مدل سازی تیوب به صورت یک سری حفره های پشت سر هم و در نظر گرفتن پرتوی الکترونی به صورت یک سری دیسک های مجزای پشت سرهم و بسط میدان الکتریکی rf درون شکاف و تونل های مجاور ناشی از ولتاژ شکاف و محاسبه نیروی ناشی از این میدان و نیز محاسبه نیروی فضای بار میان دیسک ها و حل معادلات نیرو در پله های زمانی خاص، به بررسی حرکت دیسک ها درون تیوب پرداخته و با استفاده از قانون پایستگی انرژی به محاسبه جریان و ولتاژ القا شده در هر حفره پرداخته و در نهایت ولتاژ هر حفره را محاسبه می کند.

در این روش با استفاده از ابعاد لامپ و داده های تست سرد و مشخصات موج rf و پرتوی الکترونی ورودی، بدون استفاده از نرمالیزه سازی Pierce که در روش های قبلی که در مورد آنها توضیح دادیم مورد استفاده قرار می گرفت، یک سری معادلات استخراج و فرآیندی عددی جهت افزایش سرعت ارائه شد. مقالات متعددی جهت محاسبه رفتار لامپ در حالت سیگنال بزرگ بعد از Vaughan نوشته شده است که مبنای آنها مشابه آنچه Vaughan انجام داده است می باشد ((Connolly, Denis J(1977)) ((Srivastava, Vishnu(1988)). البته روش به کار رفته در این مقالات، تفاوت هایی نیز در بسط میدان الکتریکی rf و روش محاسبه جریان القایی و ... با روش Vaughan دارد ضمن آنکه تکنیک هایی نیز جهت افزایش سرعت و دقت برنامه ارائه شده است.

جهت تحلیل سیگنال بزرگ لامپ های TWT بالاخص لامپ Helix، مقالات متعددی نوشته شده و از نرم افزارهای متفاوتی جهت دستیابی به یک شبیه سازی معقول استفاده شده است

(Brunasso, Theresa), (Rowe, J.E., (1956)), (Liu, S., (2001)), (Hess, Robert. L., (1975)), (Srivastava, Vishnu, (2003)), (A., (1987)).

در مقاله ای دیگر به ارتقا و گسترش برخی از نرم افزارها، جهت تحلیل لامپ های موج رونده *helix* و *coupled cavity* می پردازد (Park, D.M., (2003)). یکی از این برنامه های نرم افزاری با نام *SUNRAY Code* برای تحلیل سیگنال بزرگ لامپ های موج رونده به کار می رود (Srivastava, Vishnu, (2001)).

Wilson, Jeffrey D در سال ۲۰۰۴ به معرفی یک برنامه دو بُعدی با تحلیل سیگنال بزرگ و با سرعت و دقت بالا برای مدل نمودن *coupled-cavity tubes* پرداخته است. در این مدل، پرتوی الکترونی به یک سری دیسک تقسیم می شود که هر دیسک به نوبه خود به یک سری حلقه های متقارن هم محور که می توانند منبسط و هم منقبض شوند، تقسیم می شود. مسیرهای حرکت حلقه های الکترون و میدان های *rf*، از روی نیروهای محوری و شعاعی فضای بار، میدان *rf* و نیروی مغناطیسی طولی به هنگام حرکت حلقه ها در میان حفره ها به دست می آیند که در نهایت جهت طراحی به کار می رود و نتایج به دست آمده با نتایج عملی مطابقت دارد (Wilson, Jeffrey D., (1987)).

البته برنامه هایی نیز نظیر روش *CHRISTINE* سه بعدی نیز وجود دارند؛ در مقاله ای نیز با توسعه روش *CHRISTINE* یک بعدی برای لامپ های *Coupled-Cavity*، برنامه ای به نام *CHRISTINE-CC* جهت تحلیل معرفی شده است (Cooke, Simon. J., (2005)).

برنامه دو بعدی *MAGIC* نیز که از روش *PIC* (Particle-in-cell) بهره می گیرد، به حل مستقیم معادلات ماکسول- لورنتس در بُعد زمان و از طریق شبیه سازی هایی با تعداد ذرات زیاد می پردازد. لذا انتظار می رود که این برنامه قادر به تحلیل اثرات *space-charge* با دقت بالا باشد. البته این روش به علت حجم بسیار بالای محاسباتی و زمان زیاد در اجرای برنامه، قادر نیست همزمان چند پارامتر را در نظر گیرد و لذا در طراحی، نمی توان به کمک آن به راحتی بهینه سازی کرد. برنامه پارامتری و دو بعدی *GATOR* که جریان را به صورت تعداد زیادی حلقه با شعاع های قابل تغییر در نظر می گیرد، سرعت بالاتری دارد البته این روش در مقایسه با برنامه تحت روش *PIC* (Particle-in-cell) دقت کمتری دارد. روش تک بعدی *CHRISTINE* از هر دو روش مزبور سریعتر است زیرا از دیسک هایی ثابت جهت مدلسازی باریکه الکترون استفاده می نماید و تنها تغییرات را در راستای طولی در نظر می گیرد (Smite, N. David, (1998)).

مدل های مختلفی برای تحلیل سیگنال بزرگ ارائه شده است که در این طرح به معرفی دو مدل متداول یعنی ۱- مدل تحلیلی (خط انتقال) ۲- مدل نیمه تحلیلی (محاسباتی) پرداخته می شود.