بسم الله الرحمن الرحیم

کلیه حقوق مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده فنی و مهندسی
گروه برق-الکترونیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
رشته مهندسی برق

گرایش الکترونیک

عنوان پایان نامه

طراحی و ساخت یک فیلتر پایین گذر با استفاده از رزوناتور پاره خطی فشرده مایکرواستریپ

استاد راهنما:
دکتر محمد مهدی کارخانه چی

استاد مشاور:
دکترسید وهاب الدین مکی

نگارش:
داود خرم آبادی

شهریور 1392

سپاسگزاری

سپاس خود را نثار تمام کسانی می نمایم که مرا در مرحل مختلف این تحقیق یاری رساندند. از زحمات استاد بزرگوار جناب آقای دکتر محمد مهدی کارخانه چی که در کلیه مراحل تحصیل، با فضل و دانش خود راهنمای اینجانب بوده اند و همچنین از استاد ارجمند جناب آقای دکتر سید وهاب الدین مکی به عنوان استاد مشاور قدردانی می نمایم . و نیز از اعضای خانواده ام که با بردباری و حمایت خود درشتی های این راه را بر من هموار نمودند ، تشکر می نمایم.

همچنین از کلیه اساتید گروه مهندسی برق دانشگاه رازی که در طول تحصیل تشویق و راهنمایی های خویش را از اینجانب دریغ ننمودند ، تشکر و قدردانی می نمایم.

تقدیم

به

دو گوهر گرانبهای
زندگی ام

پدر

بزرگوارم و مادر
مهربانم

چکیده

فیلترها یک عنصر مهم در کاربردهای مایکروویو [1] و RF محسوب می شوند که از آنها برای جداسازی نویز و هارمونیک[2] های ناخواسته از محیط اطراف در سیستم های مخابراتی استفاده می کنند. و تکنیک های مختلفی برای پیاده سازی این عنصر مهم استفاده شده است. در این پروژه یک فیلتر پایین گذر با استفاده از خطوط مایکرواستریپ ارائه شده است. ساختار مایکرواستریپ بدلیل اینکه با استفاده از ساختار لیتوگرافی ساخته می شود به آسانی با مدارات مایکروویو پسیو و اکتیو قابل مجتمع سازی است از محبوبیت ویژه ای برخوردار است. در این پایان نامه فیلتر پایین گذر مایکرواستریپ جدید با استفاده از رزناتور پاره خطی فشرده جهت دستیابی به قابلیت انتخاب بالا و باند قطع عریض پیاده سازی شده است. این رزوناتور [3]، مشکلات معمول رزوناتورهای خطی CMRC[4]، از قبیل کم بودن باند قطع و وجود هارمونیک را ندارد.

این فیلتر پس از طراحی و بهینه سازی ساخته شده است و نتایج حاصل از اندازه گیری صحت طراحی را تایید می کنند. مقایسه نتایج نشان می دهد که عملکرد کلی ساختار پیشنهادی از نظر ابعاد فیزیکی، انتخاب پذیری پاسخ و عرض باند قطع نسبت به ساختارهای پیشین بهبود یافته است.

کلمات کلیدی:

1- تکنولوژی مایکرواستریپ (Microstrip Technology)

2- فیلتر پائین گذر (Low Pass Filter)

3- باند قطع عریض (Wide Stop Band)

4- رزوناتورهای پاره خطی یا خطی (Inline Resonator)

5- سلول رزوناتورمایکرواستریپ فشرده (CMRC)

6- پارامترهای پراکندگی (Scattering Parameter)

7- انتخاب پذیری (Selectivity)

[1] Microwave
[2] harmonic
[3] Resonator
[4] Compact Microstrip Resonant Cell

فهرست مطالب

عنوان
صفحه
فصل اول: مقدمه

1-1 مقدمه 2

فصل دوم: تئوری و مفاهیم اساسی فیلتر های مایکرواستریپ

2-1 انواع پاسخ های یک فیلتر پایین گذر 8
2-1-1 پاسخ باترورث 10
2-1-2 پاسخ چپی شف 11
2-1-3 پاسخ الیپتیک 14
2-1-4 پاسخ گاوسی (بسل) 16
2-1-5 مقایسه ی انواع مختلف پاسخ های فیلترهای پایین گذر 17
2-2 خطوط مایکرواستریپ 18
2-2-1 ساختار مایکرواستریپ 18
2-2-2 امواج در مایکرواستریپ 18
2-2-3 تقریب شبه – TEM 20
2-2-4 ثابت دی الکتریک موثر و امپدانس مشخصه 20
2-2-5 طول موج هدایت شده، ثابت انتشار، سرعت فاز و طول الکتریکی 22
2-2-6 سنتز W/h 23
2-2-7 اثرات ضخامت نوار فلزی 24
2-2-8 پراکندگی در مایکرواستریپ 24
2-2-9 تلفات در مایکرواستریپ 26
2-3 خطوط کوپل شده 27
2-3-1 ظرفیت مدهای زوج و فرد 28
2-3-2 امپدانس مشخصه و ثابت دی الکتریک موثر در مدهای زوج و فرد 30
2- 4 ناپیوستگی ها و اجزاء ساختارهای مختلف مایکرواستریپ 30

2-4-1 ناپی‌وستگی های مای‌کرواستریپ .....30.....
2-4-1-1 ناپی‌وستگی پله ای .....31.....
2-4-1-2 ناپی‌وستگی با انتهای باز .....32.....
2-4-1-3 شکاف ها .....33.....
2-4-1-4 خم ها .....34.....
2-4-2 اجزاء مای‌کرواستریپ .....35.....
2-4-2-1 خازن ها و سلف های فشرده .....35.....
2-4-2-2 ساختارهای مای‌کرواستریپ معادل سلف .....36.
2-4-2-2-1 خط مستقی‌م امپدانس بالا .....36.....
2-4-2-2-2 خط مارپی‌چ دای‌روی .....37.....
فصل سوم: آنالیز فیلترهای ماکرواستریپ
3-1 پارامتر های توصی‌ف کننده شبکه مای‌کرووی‌و .....36.....
3-2 روشهای طراحی فی‌لتر با استفاده از تکنولوژی مای‌کرو استریپ 38.....
3-3 پارامتر های مهم در طراحی فی‌لتر های پایی‌ن گذر .....41.....
3-4 تکنولوژی ها و مواد پی‌شرفته .....42.....
3-4-1 فی‌لتر های مای‌کرواستریپ ابررسانا .....42.....
3-4-2 فی‌لترهای ری‌زماشی‌ن کاری .....42.....
3-4-3 فی‌لترهای مای‌کرووی‌و در مدارات مجتمع ی‌کپارچه مای‌کرووی‌و .....43.....
3-4-4 فی‌لترهای مای‌کرواستریپ با ساختار شکاف باند فوتون‌ی‌ک 43

فصل چهارم: مروری بر ساختارهای پیشین فیلترهای پایین گذر

4-1 طراحی فی‌لتر پایی‌ن گذر با استفاده از رزوناتورهای مختلف 45.....
4-2 ساختار پی‌شنهادی[5] .....45.....
4-3 ساختار پی‌شنهادی [6] .....47.....
4-4 ساختار پی‌شنهادی [7] .....48.....
4-5 ساختار پی‌شنهادی [8] .....49.....
4-6 ساختار پی‌شنهادی [9] .....50.....
4-7 ساختار پی‌شنهادی[10] .....51.....
4-8 ساختار پی‌شنهادی[11] .....52.....
4-9 ساختار پی‌شنهادی [12] .....53.....
4-10 ساختار پی‌شنهادی [13] .....54.....

4-11 ساختار پی‌شنهادی [14] 55

فصل پنجم:طراحی، بهینه سازی و طراحی ساختار پیشنهادی 57
5-1 مراحل طراحی رزوناتور پی‌شنهادی 58
5-3 طراحی , به‌ی‌نه سازی و ساخت فی‌لتر 64
5-4 مقای‌سه نتای‌ج 68
فصل ششم:جمع بندی و کارهای آینده 73
منابع 77

فهرست شکل ها

عنوان
صفحه

شکل 2-1 : پاسخ ی‌ک فی‌لتر باتروورث پایی‌ن گذر 10
شکل 2-2 : صفحه ی قطب ها برای ی‌ک فی‌لتر پایی‌ن گذر مرتبه ی پنج 11
شکل 2-3: پاسخ چبی چف ی‌ک فی‌لتر پایی‌ن گذر 13
شکل 2-4: توزی‌ع قطب ها برای پاسخ چبی چف ی‌ک فی‌لتر پایی‌ن گذر 14
شکل 2-5: پاسخ الی‌پتی‌ک ی‌ک فی‌لتر پایی‌ن گذر 15

شکل 2-6 : توزیع قطب ها برای پاسخ الی‌پتی‌ک ی‌ک فی‌لتر پایی‌ن گذر 15
شکل 2-7 : پاسخ گاوسی ی‌ک فی‌لتر پای‌ن گذر (الف) دامنه (ب) تأخی‌ر گروه 17
شکل 2-8 : انواع دامنه ی پاسخ های فی‌لترهای پایی‌ن گذر 18
شکل 2-8 : ساختار کلی مای‌کرواستری‌پ 18
شکل 2-9: برش عرضی خطوط کوپل شده مای‌کرواستری‌پ 26
شکل 2-10 : مد شبه TEM مربوط به دو خط کوپل شده مای‌کرواستری‌پ : الف) مد زوج ب) مد فرد. 26
شکل 2-11 : الف) ناپی‌وستگی پله ای در خط مای‌کرواستری‌پ ب) مدار معادل 30
شکل 2-12 : الف) ناپی‌وستگی با انتهای باز در خط مای‌کرواستری‌پ ب) مدار معادل 30
شکل 2-13 : الف) ناپی‌وستگی شکاف در خط مای‌کرواستری‌پ ب) مدار معادل 31.
شکل 2-14 الف) خم در خط مای‌کرواستری‌پ ب) مدار معادل 33
شکل 2-15 خط مستقی‌م امپدانس بالا و مدار معادل آن از مرجع [11] 34
شکل 2-16 خط مارپی‌چ دای‌روی و مدار معادل آن 35
شکل 3-1: نمایی از ی‌ک شبکه‌ی دو پورتی و سی‌گنال‌های تابی‌ده و بازتابی‌ده شده 38
شکل 3-2: نمایی از ی‌ک شبکه ی فی‌لتر LC پایی‌ن گذر و معادل مای‌کرواستری‌پی آن. 39
شکل 4-1: شماتی‌ک مداری مرجع[4] 47
شکل 4-2 :نمای کلی از ساختار پی‌شنهادی [5] 47
شکل 4-3: نتایج شبی‌ه سازی و اندازه گی‌ری ساختار پی‌شنهادی[5] 48
شکل 4-4 : نمای کلی از ساختار پی‌شنهادی[6] 48
شکل4-5 : نمای کلی از ساختار پی‌شنهادی [6] 49
شکل 4-7 : ساختار پی‌شنهادی [7] 49
شکل 4-8 : نتایج شبی‌ه سازی ساختار [7] 50
شکل 4-9 : نمایی از فی‌لتر ساخته شده [8] 50
شکل 4-10 : نتایج شبی‌ه سازی ساختار پی‌شنهادی [8] 51
شکل 4-11 : نتایج شبی‌ه سازی ساختار [9] 51
شکل 4-12 : نمای کلی فی‌لتر ساخته شده [9] 52
شکل 4-13 : نمای فی‌لتر پی‌شنهادی [10] 52
شکل 4-14 : نتایج شبی‌ه سازی ساختار پی‌شنهادی [10] 53
شکل 4-15 : نمای فی‌لتر طراحی شده [11] 53
شکل 4-16 : نتایج شبی‌ه سازی EM و مداری ساختار[11] 54

شکل 4-17 : ساختار فیلتر ساخته شده [12] 54
شکل 4-18: نتایج شبیه سازی ساختار [12] 55
شکل 4-19 : نمای فیلتر طراحی شده [13] 56
شکل 4-20 : نتایج شبیه سازی ساختار پیشنهادی [13] 56
شکل 4-21 : شماتیک فیلتر پیشنهادی [14] 56
شکل 4-22 : نتایج شبیه سازی فیلتر پیشنهادی [14] 57
شکل 5-1 شماتیک فیلتر [4] 59
شکل 5-2 نتایج شبیه سازی ساختار پیشنهادی [4] 59
شکل 5-3 ساختار ایده جدید رزوناتور خطی 60
شکل 5-4 نتایج شبیه سازی ساختار پیشنهادی جدید 60
شکل 5-5 ساختار رزوناتور پیشنهادی 61
شکل 5-6 نتیجه شبیه سازی ساختار پیشنهادی 62
شکل 5-7 نمایی از استاب های شعاعی 62
شکل 5-8 پاسخ استاب های شعاعی 63
شکل 5-9 شماتیک ساختار پیشنهادی به همراه استاب های شعاعی 63
شکل 5-10 نتیجه شبیه سازی ساختار پیشنهادی به همراه استاب های شعاعی 64
شکل 5-11 ساختار شاخه های باز 65
شکل 5-12 نتیجه شبیه سازی شاخه باز 65
شکل 5-13 مدار معادل رزوناتور پیشنهادی 65
شکل 5-15 شماتیک طراحی رزوناتور فیلتر به‌ینه سازی شده 66
شکل 5-16 نتایج شبیه سازی رزوناتور فیلتر به‌ینه سازی شده 67
شکل 5-17 نتایج شبیه سازی و اندازه گیری شده فیلتر پیشنهادی 68
شکل 5-18 تصویر فیلتر ساخته شده 68
شکل 5-19 شماتیک فیلتر طراحی شده بصورت سری 73
شکل 5-20 شبیه سازی پارامتر های s فیلتر طراحی شده 73

فهرست جدول ها

جدول 2-1: تقسیم بندی کلی طیف فرکانسی 3

جدول 2-2: تقسیم بندی طیف فرکانسی مایکروویو 4

جدول 5-1 مقایسه نتایج و مشخصات فیلترهای مختلف 71

جدول 5-2 مقایسه نتایج نرمال شده فیلترهای مختلف 71

جدول 5-3 مقایسه پارامترهای فیلتر های پیشین 73

فـصل ا ول

مـقـدمـه

1-1 مقدمه

امروزه با توجه به نیازهای روزافزون به ساختارهای فشرده به خصوص در حوزه فرکانس های رادیویی و مایکروویو تقاضا جهت ساخت عناصر غیرفعال با کارایی بالا و در عین حال بصورت مجتمع در یک برد مدار چاپی و همراه با مدارات فعال به یک نیاز جدی تبدیل شده است.

اما اولین سؤالی که در اینجا مطرح می شود این است که فرکانس مایکروویو به جز فرکانس اطلاق می شود؟ اگر یک موج الکترومغناطیس دارای رنج فرکانسی از 300 مگاهرتز تا 300 گیگا هرتز باشد تحت عنوان کلی امواج مایکروویو قرار می گیرد. عبارت مایکروویو، برای توصیف امواج الکترومغناطیسی با طول موج‌هایی در رنج 1mm تا 1m، مورد استفاده قرار می‌گیرد که متناظر با رنج فرکانسی 300GHZ-300MHZ است. امواج الکترومغناطیسی‌ای با طول موج از 1 تا 10mm، امواج میلیمتری نامیده می‌شوند. طیف تشعشع مادون قرمز دارای طول موج‌هایی در رنج 1um تا 1mm است و بالاتر از این رنج، به ترتیب طیف‌های نوری قابل رویت، فرابنفش و در نهایت اشعه‌ی X قرار گرفته‌اند.

سؤال دیگر این است که چرا از فرکانس مایکروویو استفاده می کنیم؟ در پاسخ باید گفت که در ابتدای پیدایش ابزار رادیویی بدلیل محدودیت های تکنولوژیک فرکانس های کاری به رنج های مگاهرتز محدود می شد اما با گذشت زمان و ایجاد تحول در تکنولوژی ساخت ادوات رادیویی و همچنین برای اجتناب از تداخل طیفی، نیاز روزافزون به فرکانس های بالاتر و طیف های گسترده تر احساس شد تا جایی که در صنعت رادیو جدول تخصیص فرکانس برای کاربردهای مختص هر رنج فرکانسی به رشته تحریر درآوردند. تا کنون تقسیم بندی های مختلفی برای طیف فرکانسی مورد استفاده قرار گرفته اند که هر نوع از تقسیم بندی ها در جداول 1-1 و 1-2 خلاصه شده اند [3]. اکثر دستگاه های مخابراتی که با استفاده از المان‌های فشرده ساخته می‌شوند، حداکثر در باند فرکانسی UHF که تا حدود 1 GHz امتداد دارد، کار می‌کنند ولی در فرکانس‌های بالاتر از آن، قطعات مایکرواستریپ جایگزین آن‌ها می‌شوند.

جدول 2-1: تقسیم بندی کلی طیف فرکانسی

کاربردها	نام باند	باند فرکانسی
جهت یابی سونار	VLF	3-30 KHZ
دستگاههای فراخوان رادیویی- سیستم های کمک ناوبری	LF	
- رادیوهای AM سیستم های دریایی- ارتباطات گارد ساحلی جهت یابی	MF	30-300 KHZ
تلفن-تلگراف- پخش موج کوتاه بین المللی - رادیو آماتوری- باند شهروندی- **ارتبا**طات کشتی- با ساحل یا هواپیما	HF	3-30 MHZ
- کنترل FM تلویزیون- پخش موج ترافیک هوایی- پلیس- رادیو بی سیم تاکسی- سیستم های کمک ناوبری	VHF	30-30 MHZ
تلویزیون- ارتباطات ماهواره ای- رادارهای نقشه برداری- سیستم های کمک ناوبری	UHF	300-3000 MHZ
رادار پرواز- لینک های مایکروویو- ارتباطات موبایل زمینی با حامل مشترک-	SHF	3-30 GHZ

ارتباطات ماهواره ای رادار- کاربردهای آزمایشی	EHF	30-300 GHZ

جدول 2-2: تقسیم بندی طیف فرکانسی مایکروویو

نام باند		
جدید	قدیمی	باند فرکانسی
C	VHF	500-1000MHz
D	L	1-2 GHz
E	S	2-3 GHz
F	S	3-4 GHz
G	C	4-6 GHz
H	C	6-8 GHz
I	X	8-10 GHz
J	X	10-12.4 GHz
J	Ku	12.4-18 GHz
J	K	18-20 GHz
K	K	20-26.5 GHz
K	Ka	26.5-40 GHz

مسئله بعدی محدودیت های موجود در فرکانس های مایکروویو است که از جمله می توان محدودیت المان فشرده

مداری همانند سلف و خازن را نام برد. یکی از مشکلات افزایش فرکانس این است که در فرکانس های بالا، قطعات فشرده مثل سلف و خازن بدلیل تلفات بالا کارایی خود را از دست می دهند در ضمن این قطعات، ابعاد نسبتاً بزرگی دارند که آنها را برای استفاده در مدارات مجتمع یکپارچه مایکروویو[1] نامناسب می کند. از طرف دیگر با کاهش طول امواج، زمان انتشار موج در یک مدار، مقداری قابل قیاس با دوره تناوب نوسانات مربوط به جریان ها و بارها در آن مدار می شود. این مسئله سبب می شود که روش های مدارات در فرکانس های پائین که بر اساس قوانین کیرشهف[2] و روابط مربوط به جریان ولتاژ قطعات مدار استوارند، فاقد اعتبار باشند. در عوض از روش های تحلیل بر اساس توصیف میدان های الکتریکی و مغناطیسی مرتبط با قطعات، برای مدارات فرکانس بالا استفاده می شود.[2]

با انجام این تحلیل ها مشخص می شود که نوارهای فلزی که معمولاً در فرکانس های پائین، اتصال کوتاه در نظر گرفته می شوند در فرکانس های بالا رفتارهای خازن و سلفی از خود نشان می دهند که با طراحی درست، می توان از این نوارها به عنوان جایگزین سلف ها و خازن های فشرده استفاده کرد. برای استفاده از این امکان یک گزینه می تواند بکارگیری تکنولوژی PCB[3] در انواع یک یا چند لایه باشد اما بخاطر تلفات تشعشعی[4] زیاد و مشکل هم شنوایی[5] با این تکنولوژی نمی تواند نیازها را برآورده کند. اما تکنولوژی مایکرواستریپ محیط الکترومغناطیسی بهتری را فراهم می کند و می تواند در سیستم های مخابراتی، مورد استفاده قرار بگیرد.

تکنولوژی مایکرواستریپ برای مدت حداقل سه دهه دارای اهمیت فراوان بوده است و این تکنولوژی همچنان در خط مقدم گزینه‌های پیاده سازی سیستمهای RF,Microwave قرار دارد. اهمیت تکنولوژی میکرواستریپ با توجه به کاربردهای روز افزون سیستم‌های RF,Microwave و همچنین الکترونیک دیجیتال فرکانس بالا در حال افزایش است. مثال‌هایی از سیستم‌هایی که از میکرواستریپ استفاده می‌کنند عبارتند از :

1- ماهواره ها

[1] MMIC
[2] kirchloff
[3] printed circuit board
[4] Radiation loss
[5] Cross talk

2- کاربردهای بی سیم

3- رادارها و مخابرات نظامی

4- پرازنده‌های دیجیتال سریع

و بسیاری کاربردهای دیگر.

در ادامه این تحقیق،در فصل دوم در ابتدا به معرفی انواع پاسخ ها وتابع تبدیل آنها پرداخته ایم و سپس تئوری خط انتقال مورد بحث قرار گرفته شده است. روش های ارائه شده جهت استفاده از تئوری خط انتقال در فرکانس های بالا و در حوزه مایکروویو مطالعه می شود. در فصل سوم آنالیز فیلترهای مایکرواستریپ مورد بحث قرار گرفته است. و پارامترهای مهم در طراحی فیلترهای مایکرواستریپ آورده شده است. همچنین روش های طراحی فیلتر با استفاده از تکنولوژی مایکرواستریپ گفته شده است. در فصل چهارم ساختارهایی که تا کنون در زمینه فیلترهای مایکرواستریپ پیشنهاد شده است، معرفی می گردند و در نهایت مخاطب پس از مطالعه این فصل قادر خواهد بود بهترین گزینه را برای انتخاب رزوناتور مطلوب انتخاب کند.

در فصل پنجم ساختار پیشنهادی مطرح شده است و همچنین نتایج شبیه سازی بدست آمده، نیز آورده شده است و در آخر مقایسه نتایج اندازه گیری شده با فیلترهای پیشین در این زمینه ارائه شده است. این نتایج برتری های ساختار پیشنهادی را از ابعاد مختلف نشان می دهند.

در فصل ششم ما به ذکر جمع بندی مطالب و ادامه پیشنهاداتی برای کارهای آینده پرداخته ایم.

فصل دوم

تئوری و مفاهیم اساسی فیلتر های مایکرواستریپ

یکی از پر کاربردترین المان‌ها در تمامی مدارات مایکروویو فیلترها هستند. فیلترها در واقع وظیفه، جداسازی فرکانس‌های مختلف را بر عهده دارندکه با توجه به محدودیت طیف فرک انسی و بنابراین تقسیم آن برای کاربردهای مختلف، این مسئله اهمیت حیاتی می‌یابد. فیلتر پایین گذر، هم به صورت مستقیم برای حذف هارمونیک‌ها و سایر سیگنال‌های ناخواسته، فرکانس بالا و هم به عنوان ساختار پایه برای سایر انواع فیلترها نقش مهمی را در این زمینه ایفا می‌کند. با توجه به این اهمیت، حجم گسترده‌ای از تحقیقات برای طراحی فیلترهای پایین گذر انجام شده است که تحقق فیلترهای مختلف را با مشخصات مورد نیاز، در قالب توابعی تحت عنوان چبیشف [1]، الپتیک[2]، باتروث[3] و ... میسر ساخته است. این فیلترها توسط مجموعه‌ای از خازن‌ها و القاگرها قابل پیاده سازی هستند. در ادامه این فصل مفاهیم اساسی و معادلات مورد نیاز جهت طراحی خطوط انتقال [4] مایکرواستریپ، خطوط کویل شده [5]، ناپیوستگی ها [6] و ساختارهای وابسته به منظور طراحی فیلترهای مایکروویو مورد بررسی قرار می گیرند.

2-1 انواع پاسخ های یک فیلتر پایین گذر

تابع تبدیل یک فیلتر پایین گذر نمایانگر شکل پاسخ یک فیلتر پایین گذر است. تابع تبدیل یک فیلتر نسبت خروجی به ورودی این سیستم دوقطبی است که تابعی از فرکانس کاری سیستم می باشد. درنتیجه تابع تبدیل یک فیلتر دارای یک بخش حقیقی و یک بخش موهومی یا یک دامنه و یک فاز است. نمودار دامنه ی تابع تبدیل یک فیلتر را می توان با تقریب های گوناگون برازش نمود و بیان کرد، این عمل را تقریب مشخصه ی دامنه ی یک فیلتر نیز می نامند، به عبارت دیگر، تقریب مشخصه ی دامنه، عبارت است از مشخص کردن تابع تبدیلی که مشخصه آن با مشخصه ی موردنظر تا حدود زیادی تطبیق داشته باشد.

---

[1] Chebyshev
2 Elliptic
3 Butterworth
4 Transmission-line
5Coupled line
6 Discontinuities