INSO
64449-1-112
1st. Edition
2014

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standards Organization

استاندارد ملی ایران
۶۴۴۹-۱-۱۱۲
چاپ اول
۱۳۹۳

کابل های ارتباطی هم محور – قسمت ۱-۱۱۲ : روش های آزمون الکتریکی – آزمون افت برگشتی (یکنواختی امپدانس)

Coaxial Communication Cables – Part 1-112: Electrical test methods- Test for return loss (uniformity of impedance)

ICS: 33.120.10

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است .

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان ، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود وکوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود . پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب ، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود . بدین ترتیب ، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)[1] ،کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5]در کشور فعالیت می کند . در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور ، از آخرین پیشرفت های علمی ، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود .

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون ، برای حمایت از مصرف کنندگان ، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی ، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی ، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/ یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور ، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید . همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره ، آموزش ، بازرسی ، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی ، آزمایشگاه ها و مراکز واسنجی (واسنجی) وسایل سنجش ، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم ، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند . ترویج دستگاه بین المللی یکاها ، واسنجی (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2 - International Electro technical Commission
3- International Organization of Legal Metrology (Organization International de Metrologie Legale)
4 - Contact point
5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

" کابل‌های ارتباطی هم محور – قسمت ۱-۱۱۲ : روش‌های آزمون الکتریکی – آزمون افت برگشتی (یکنواختی امپدانس) "

رئیس :	**سمت و/ یا نمایندگی**
پور عبدالله ، محمد باقر (لیسانس مهندسی صنایع)	انجمن صنفی تولید کنندگان سیم و کابل
دبیر :	
حسن بگی، شیرزاد (فوق لیسانس مهندسی انرژی)	پژوهشگاه استاندارد
اعضاء : (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
ستخر ، رضا (لیسانس مهندسی متالورژی)	شرکت رسانا کابل (سهامی خاص)
سلام، حیدر (لیسانس مهندسی برق - الکترونیک)	شرکت ارتباطات زیرساخت (سهامی عام)
شکوری، مهدی (فوق لیسانس مهندسی انرژی)	پژوهشکده شیمی جهاد دانشگاهی
شیخ حسینی، شکوفه (فوق لیسانس مهندسی صنایع)	سازمان ملی استاندارد ایران
قربانی، حدیث (لیسانس فن آوری اطلاعات)	شرکت پایش سیستم (سهامی خاص)
معتمدرسا ، حسین (لیسانس مهندسی متالورژی)	شرکت سیم و کابل سیمیا (سهامی خاص)
میرزا خانی، ایرج (لیسانس مهندسی برق – قدرت)	پژوهشگاه استاندارد

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد ج
پیش گفتار و
مقدمه ز
۱ هدف و دامنه کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات و تعاریف ۱
۴ اساس روش ۱
۵ روش آزمون ۵
۶ گزارش آزمون ۵
۷ الزامات ۶
۷
پیوست الف(اطلاعاتی)الزامات فضای بسامد برای اندازه‌گیری افت برگشتی کابل‌های r.f

پیش گفتار

استاندارد" کابل‌های ارتباطی هم محور – قسمت ۱-۱۱۲ : روش‌های آزمون الکتریکی – آزمون افت برگشتی (یکنواختی امپدانس) " که پیش نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده و در یکصدو شصت و چهارمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مخابرات مورخ ۹۳/۳/۱۳ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینه صنایع ،علوم و خدمات، استاندارد های ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و مأخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است :

IEC 61196-1-112:2006 , Coaxial Communication Cables – Part 1-112: Electrical test methods- Test for return loss (uniformity of impedance)

کابل‌های ارتباطی هم محور – قسمت ۱-۱۱۲ : روش‌های آزمون الکتریکی – آزمون افت برگشتی (یکنواختی امپدانس)

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد تعیین روش‌های آزمون برای تعیین افت برگشتی (یکنواختی امپدانس) است.

این استاندارد برای کابل‌های ارتباطی هم محور کاربرد دارد.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد به آنها ارجاع داده شده‌است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند. در مورد مراجع دارای تاریخ چاپ و یا تجدید نظر اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی این مدارک مورد نظر نیست. با این وجود بهتر است کاربران ذینفع این استاندارد، امکان کاربرد آخرین اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای مدارک الزامی زیر را مورد بررسی قرار دهند. در مورد مراجع بدون تاریخ چاپ و یا تجدید نظر، آخرین چاپ و /یا تجدید نظر آن مدارک مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

۱-۲ استاندارد ملی ۶۴۴۹-۱: سال ۱۳۸۲، کابل‌های فرکانس رادیویی- قسمت اول- کلیات- اصطلاحات و تعاریف - مقررات و روش‌های آزمون- مشخصه عمومی

۳ تعاریف و اصطلاحات

در این استاندارد تعاریف و اصطلاحات داده شده در استاندارد ملی ۶۴۴۹-۱ به کار می‌روند.

۴ اساس روش

افت برگشتی برای کمی نمودن سطح (مقدار) سیگنال بازتابیده در یک کابل هم محور مناسب است. افت برگشتی اثرات بازتابش‌های ناشی از انحراف امپدانس نامی کابل تحت آزمون (مانند Ω ۵۰ و Ω۷۵) و اثرات ساختاری را ترکیب نموده و وقتی که عملکرد سیستم در بهره‌گیری اولیه است، تعیین می‌شود.

هنگامی که واسنجی تحلیل‌گر برداری شبکه و یکای پارامترS نسبت به امپدانس مرجع انجام گیرد، افت برگشتی برابر است با:

$$RL=-20\log[S_{11}] \qquad (۱)$$

$$S_{11}=\frac{\sqrt{P_r}}{P_i} \qquad (۲)$$

که در آن

P_r توان بازتابیده

P_i توان واقعی

بر حسب تعریف اصطلاحات امپدانس‌ها، افت برگشتی به صورت زیر داده می‌شود:

$$RL = -20\log\left|\frac{Z_T - Z_R}{Z_T + Z_R}\right| \qquad (۳)$$

که در آن

RL افت برگشتی بر حسب دسی بل dB

Z_T امپدانس ترکیبی اندازه‌گیری شده بر حسب Ω به دست آمده از اندازه‌گیری‌های کابل خاتمه یافته که فاصله انتهای آن در امپدانس Z_R تمام شده است.

Z_R امپدانس مرجع بر حسب Ω (۵۰Ω ، ۷۵ Ω یا یک مقدار مناسب دیگر)

۵ روش آزمون

۵-۱ تجهیزات آزمون

یک تحلیل‌گر شبکه برداری (VNA)[1] با قابلیت اندازه‌گیری S_{11}/S_{22} و یک کیت واسنجی با استانداردهای واسنجی (باز، کوتاه ، بار).

۵-۲ آماده سازی آزمونه

اتصال دهنده‌های آزمون دقیق و با انعکاس ذاتی ناچیز باید در دو سر قطعه آزمون برای امکان اتصال مستقیم به تحلیل‌گر شبکه برداری و/یا بارگذاری پایانی، تنظیم شوند.

۵-۳ اساس تصحیح خطا (واسنجی) تجهیزات آزمون

شرح تفصیلی روش تصحیح خطا (واسنجی) در کاتالوگ تحلیل‌گر شبکه برداری (VNA) داده شده است.

اندازه‌گیری‌های افت برگشتی بستگی زیادی به مستقیم بودن جهت پل یا اتصال دهنده (E_D)، مسیر پاسخ بسامد (E_R) و رویارویی منبع (E_S) دارد. این ۳ خطا توسط رابطه زیر به داده‌های واقعی (S_{11a}) و داده‌های اندازه‌گیری شده (S_{11m}) مرتبط می‌شوند.

$$S_{11m} = E_D + \frac{S_{11a}.ER}{1 - E_S.S_{11a}} \qquad (۴)$$

اگر ۳ خطای فوق شناخته شوند، افت برگشتی تصحیح شده دستگاه تحت آزمون را می‌توان به دست آورد. خطاها به وسیله اندازه‌گیری سیستم با استفاده از ۳ استاندارد مستقل با مشخصات شناخته شده تعیین می‌شوند. این استانداردها بار واسنجی شده، مدارهای اتصال کوتاه و جریان باز هستند.

اندازه‌گیری بار واسنجی شده ($S_{11a}=0$) نتیجه خواهد داد:

1-Vector Network Analyzer

$$S_{11load}=E_D \qquad (۵)$$

اندازه‌گیری جریان اتصال کوتاه (S_{11a}=-1) نتیجه خواهد داد :

$$S_{11short} = E_D + \frac{-E_R}{1+E_S} \qquad (۶)$$

مدار باز سومین شرط مستقل را می‌دهد. اتصال دهنده های باز ظرفیت پارازیت دارند، بنابراین یک مدار باز طراحی شده مخصوص با فاز مشخص ϕ_0 استفاده می‌شود، که در نتیجه :

$$S_{11open} = E_D + \frac{1\angle\phi.E_R}{1-E_S.1\angle\phi} \qquad (۷)$$

از ۳ رابطه بالا ۳ خطا (در سیستم‌های ایده‌ال E_D=0, E_S=0 و E_R=1) می‌تواند محاسبه شود. در نهایت می‌توان افت برگشتی را محاسبه نمود.

تصحیح خطا (واسنجی) باید در صفحه‌ی که کابل تحت آزمون وصل می‌شود، انجام گیرد. تمام مبدل‌ها و مدارهای تطبیقی امپدانس مورد استفاده باید دارای روش اجرایی تصحیح خطا (واسنجی) باشند.

۴-۵ تعداد نقاط اندازه‌گیری

تحلیل‌گرهای شبکه در نقاط گسستگی بسامد اندازه‌گیری انجام می‌دهند. در افت برگشتی برای انجام اندازه‌گیری درست در قله‌هایی با پهنای باریک، فضای بسامدی بین دو بسامد اندازه‌گیری کنار هم نباید خیلی بزرگ باشد.

پهنای باند قله‌های بازتاب، مستقل از تضعیف کابل است. تضعیف بزرگتر، پهنای باند بزرگتر و در نتیجه فضای بسامدی بین ۲ نقطه اندازه‌گیری بزرگتر می‌شود. تضعیف کابل برای کابل‌های رادیویی (RF) به بسامد وابسته بوده و با بسامد افزایش می‌یابد. بنابراین در نهایت، حداکثر فضای بسامدی مجاز بین دو نقطه اندازه‌گیری با اندازه‌گیری بسامد افزایش می‌یابد[۱ ۲].

فضای بسامدی Δf بین هر دو نقطه اندازه‌گیری باید به شکل زیر باشد :

$$\Delta f \le 1.4\times\frac{300.\nu_r}{868.6.\pi}.a(f).\sqrt{10^{\frac{\Delta a_{r,f}}{10}}-1} \qquad (۸)$$

که در آن

Δf حداکثر فضای بسامدی بین دو نقطه اندازه‌گیری بر حسب MHz؛

$a(f)$ تضعیف کابل در بسامد اندازه‌گیری بر حسب dB/100m؛

υ_r سرعت نسبی؛

$\Delta a_{r,f}$ حداکثر خطای مجاز که بوسیله فضای بسامدی ایجاد می‌شود، بر حسب dB؛

۱- 46XA/Sec105/INF : پیشنهاد برای فضای فرکانس اندازه گیری های افت برگشتی کابل‌های رادیویی

۲- 46XA/Sec104/INF : الزامات فضای فرکانس برای اندازه‌گیری افت برگشتی کابل‌های رادیویی

۱/۴ ضریبی که برای اختلاف بین بررسی تئوری و تجربی در نظر گرفته می‌شود[۱].
حداکثر خطای مجاز ایجاد شده به وسیله فضای بسامدی باید $\Delta a_{r,f} \le 1dB$ باشد، مگر این که غیر از این تعیین شده باشد.

۵-۵ طول کابل تحت آزمون

تغییر در افت برگشتی برای انحرافات بسامدی کوچک ناشی از بسامد تشدید بازتاب قله‌ها به طول کابل بستگی ندارد. همچنین حداکثر مقدار قله وابسته به طول است. با کاهش طول کابل آزمون افت برگشتی افزایش می‌یابد. تغییر به وسیله $\Delta a_{r,l}$ بیان می‌شود.

$$\Delta a_{r,L} = a_r(L_2) - a_r(L_1) = 20\log_{10}\left[\frac{1-e^{-2\alpha L_1}}{1-e^{-2\alpha L_2}}\right] \qquad (۹)$$

که در آن

L طول کابل تحت آزمون بر حسب متر؛

α تضعیف کابل در بسامد اندازه گیری شده بر حسب Np/m؛

$a_r(L)$ افت برگشتی برای طول مشخص شده L؛

بنابراین طول کابل تحت آزمون باید در گزارش آزمون شرح داده شود.

۶-۵ روش آزمون

۱-۶-۵ کلیات

افت برگشتی (S_{11} یا S_{22}) کابل تحت آزمون باید به وسیله تحلیل‌گر برداری شبکه (VNA) روی گستره بسامد مشخص شده اندازه‌گیری شود.
الزامات فضای بسامدی بر طبق بند ۵-۴ باید تکمیل شود. امکان استفاده از چند روش وجود دارد که بعضی از آن‌ها در زیر ذکر می‌شوند:
- روش باند تک بسامد، که فضای بسامد بین دو نقطه اندازه‌گیری در تمام پهنای باند ثابت است.
- روش فاصله فرعی، که باند بسامد مورد اندازه‌گیری به چندین فاصله جانبی تقسیم می‌شود. فضای بسامدی در هر فاصله فرعی ثابت است ولی در هرکدام متفاوت از دیگری است.
- روش فضای بسامدی متفاوت پیوسته، که فضای بسامد بین دو نقطه اندازه‌گیری به صورت پیوسته تغییر می‌کند، طوری که عملکرد تضعیف کابل در بسامد اندازه‌گیری می‌شود.

روش‌های دیگری که الزامات فضای بسامدی بر طبق بند ۵-۴ را برآورده کنند، مجاز می‌باشند. کاربران در انتخاب روش مناسب مجاز هستند.

۲-۶-۵ روش باند بسامد سیگنال

بعضی از تحلیل‌گرهای شبکه امکان اندازه‌گیری تعداد نامحدودی نقاط بسامد را دارند. در این حالت اندازه‌گیری می‌تواند در یک جاروب با تعداد نقاط اندازه‌گیری به شرح زیر انجام گیرد:

---

۱ -46XA/BE0122/INF : محاسبات و اندازه گیری های مربوط به تعداد نقاط پاسخ ، فضای فرکانسی

$$NOP \geq \frac{f_{\max} - f_{\min}}{\Delta f} + 1 \qquad (۱۰)$$

که در آن

NOP حداقل نقاط اندازه‌گیری لازم برای سیگنال جاروب در تمام فاصله بسامدی تعیین شده است.

Δf حداکثر فضای بسامدی مجاز بین دو نقطه اندازه‌گیری بر حسب MHz محاسبه شده برای $f_{\min}$؛

$f_{\min}$ پایین‌ترین بسامد اندازه‌گیری شده بر حسب MHz؛

$f_{\max}$ بزرگترین بسامد اندازه‌گیری شده بر حسب MHz؛

۵-۶-۳ روش فاصله فرعی

در حالت تحلیل‌گر شبکه با تعداد نقاط بسامد محدود، فاصله بسامد مورد اندازه‌گیری ممکن است به چندین فاصله فرعی تقسیم شود که دهانه این فواصل فرعی می‌تواند به وسیله رابطه زیر محاسبه شود:

$$f_{\max} - f_{\min} \leq (NOP - 1).\Delta f \qquad (۱۱)$$

که در آن

NOP کمینه نقاط اندازه‌گیری لازم برای سیگنال جاروب در تمام فاصله بسامدی تعیین شده است.

Δf بیشینه فضای بسامدی مجاز بین دو نقطه اندازه‌گیری بر حسب MHz محاسبه شده برای $f_{\min}$

$f_{\min}$ پایین‌ترین بسامد اندازه‌گیری شده بر حسب MHz

$f_{\max}$ بزرگترین بسامد اندازه‌گیری شده بر حسب MHz

۵-۶-۴ روش فضای بسامد متفاوت پیوسته

به جای اندازه‌گیری گستره بسامد جاروب شده، بسامدهای سیگنال را می‌توان اندازه‌گیری نمود. فاصله بین دو نقطه اندازه‌گیری می‌تواند به طور پیوسته از یک آزمون به آزمون دیگر بر حسب عملکرد تضعیف کابل متفاوت باشد. حداکثر فضای بسامد مجاز بین دو بسامد اندازه‌گیری موفق بر طبق بند ۵-۴ اندازه‌گیری می‌شود.

۶ گزارش آزمون

در گزارش آزمون باید شرایط آزمون زیر بیان شوند:

- دما برحسب درجه سلسیوس $^{\circ}C$؛
- طول کابل بر حسب متر؛
- حداکثر خطای ناشی از اثر فضای بسامد بر حسب dB؛

- تنظیمات تحلیل‌گر مانند زمان جاروب، پهنای باند IF ، ضریب متوسط؛

در گزارش آزمون باید بدترین مقدار افت برگشتی و بسامد مربوطه برای هر پهنای بسامد تعیین شده ثبت شود.

۷ الزامات

مقادیر نباید از الزامات مشخصات جزئی یا تفصیلی مربوطه بیشتر باشند.

پیوست الف

(اطلاعاتی)

الزامات فضای بسامد برای اندازه‌گیری افت برگشتی کابل‌های r.f

الف- ۱ کلیات

امروزه ویژگی‌های وابسته به بسامد کابل‌های هم محور به وسیله تحلیل‌گر شبکه اندازه‌گیری می‌شوند که این اندازه گیری در بسامدهای ناپیوسته انجام می گیرد. برای گرفتن اندازه‌گیری صحیح در قله‌های باند باریک در افت برگشتی، فضای بسامد بین ۲ بسامد اندازه‌گیری کنار هم نباید خیلی بزرگ باشد.

استاندارد ملی ۱-۶۴۴۹ تعداد نقاط اندازه‌گیری را به دهانه بسامد و طول نمونه مرتبط کرده است:

$$n \geq \frac{5.(f_2 - f_1)l}{(150.\nu_r)} \qquad \text{(الف ۱)}$$

که در آن

f بسامد بر حسب MHz

l طول نمونه بر حسب m

υ_r سرعت نسبی، می‌باشند.

این رابطه در تعداد نقاط زیاد نتیجه می‌دهد، برای مثال :

- گستره بسامد MHZ ۵ تا GHZ ۳ (که برای کابل‌های هم محور تلویزیونی معمول است)
- عایق پلی اتیلن سخت (بدترین حالت)
- طول کابل ۱۰۰ متر

نتیجه تعداد ۱۵۱۴۰ نقطه اندازه‌گیری.

معمولا افت برگشتی کابل‌های تلویزیونی روی ۱۰۰۰ متر کابل تولیدی اندازه‌گیری می‌شود و تعداد اندازه‌گیری ۱۰ برابر بیشتر است. با در نظر گرفتن کابل‌های هم محور که تا بسامد GHZ ۱۲ یا GHZ ۲۰ استفاده می‌شوند(برای مثال، کابل‌های نیمه سخت یا کابل‌های RG) حداقل در ۳۶۰۰۰ نقطه برای طول ۱۰۰ متر اندازه‌گیری انجام می‌گیرد. همچنین تحلیل‌گر شبکه استاندارد VNA در کل فقط ۱۶۰۱ نقطه در هر جاروب بسامد فراهم می‌نماید. اگر چه روش‌های نرم افزاری تعداد نقاط اندازه‌گیری نامحدودی را فراهم می‌نمایند، بهتر است مشخص شود که چند نقطه اندازه‌گیری برای گرفتن نتیجه صحیح لازم است.

این پیوست پهنای باند اندازه‌گیری افت برگشتی تشدیدی را بررسی می‌کند. پهنای باند با تضعیف کابل افزایش می‌یابد، یعنی با بسامد. با یک افزایش پهنای باند تشدیدی، فضای بسامد می‌تواند

افزایش یابد و بنابراین تعداد نقاط اندازه‌گیری می‌تواند کاهش یابد. همچنین تایید شده است که پهنای باند قله تشدید از طول کابل مستقل است.
یک بررسی بوسیله k.Erdel [1] انجام گرفته است. او بازتاب‌های ناشی از توان‌های موازی غیر پیوسته پخش شده که فقط برای حالت‌های قطعی بازتاب کاربرد دارند را مدلسازی کرد، ولی در حقیقت بازتاب‌های پخش شده پیوسته نیز وجود داشتند.

الف – ۲ مبانی فیزیکی

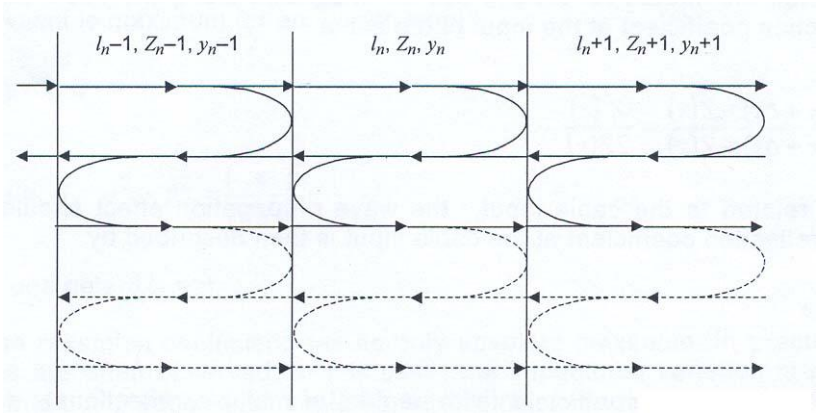
الف-۲-۱ کلیات

نقاط بحرانی در منحنی‌های افت برگشتی نقاط قله‌ها هستند. قله‌های طنین‌دار به دلیل اختلافات زمانی امپدانس مشخصه بوجود می‌آیند و می‌توانند دارای پهنای باند خیلی کوچک باشند.
اگر چه، برای کابل‌های یکسان با انحرافات متمرکز شده امپدانس مشخصه (برای مثال، در دو سر کابل) لازم است، دقت شود. در این حالت پاسخ بسامد افت برگشتی به صورت دوره‌ایی با نرخ تکرار بالا تغییر می‌کند، بخصوص برای مسافت‌های طولانی و کابل‌های با تضعیف پایین. ولی در کل بازتاب‌های ایجاد شده به دلیل متناسب نبودن کابل در مقایسه با بازتاب‌های ایجاد شده به دلیل اختلاف‌های ساختاری در طول کابل کمتر است.

الف – ۲-۲ مدل افت برگشتی

الف -۲-۲-۱ کلیات

مدل نشان داده شده در شکل الف-۱ ناهمسانی امپدانس مشخصه به وسیله بازتاب‌ها را نشان می دهد. ..... موج‌های منعکس شده از هر بازتاب تکی به شروع نتایج کابل در ضریب انعکاس در ورودی کابل گسترش می‌یابند.



شکل الف -۱ مدل انعکاس

[1]

الف – ۲-۲-۲ راه حل برای بازتاب‌های چندگانه

انتشار یک موج از خط انتقال n با امپدانس Z_n به خط انتقال n+1 با امپدانس Z_{n+1} با ضریب انعکاس $r_{n,n+1}$ منعکس می‌شود. در اثر انعکاس، موج پشت سر نقطه انعکاس با ضریب $(1+ r_{n,n+1})$ تغییر می‌کند. ..... برای موج در جهت به عقب (مجموع امواج منعکس شده) نتیجه زیر به دست می آید:

$$B_n = \frac{\sum u_r}{u_i} = \frac{(1-r_{n,n-1}{}^2)\, r_{n,n+1}\, e^{-2\gamma_n l_n}}{1-r_{n,n-1}\, r_{n.n+1}\, e^{-2\gamma_n l_n}} \qquad \text{(الف ۲)}$$

$$r_{n,n-1} = \frac{Z_{n-1} - Z_n}{Z_{n-1}+Z_n} \qquad \text{(الف ۳)}$$

$$r_{n,n+1} = \frac{Z_{n+1} - Z_n}{Z_{n+1}+Z_n} \qquad \text{(الف ۴)}$$

و برای موج نتیجه در جهت به طرف جلو رابطه زیر به دست می‌آید:

$$F_n = \frac{\sum u_f}{u_i} = \frac{(1-r_{n,n-1})\,(1+r_{n,n+1})\, e^{-2\gamma_{ni} l_{ni}}}{1-r_{n,n-1}\, r_{n.n+1}\, e^{-2\gamma_n l_n}} \qquad \text{(الف ۵)}$$

این روابط می‌توانند مستقیما برای محاسبه نتایج انتشار امواج روبه جلو و عقب کابل‌های همسان با انحراف‌های متمرکز شده امپدانس مشخصه (برای مثال در دو سر کابل) به کار روند.

الف – ۲-۲-۳ راه حل تقریبی

روابط فوق برای بازتاب‌های (به طور مداوم) توزیع شده در طول کابل مناسب نیستند. همچنین ، در شرایط بازتاب‌های کوچک محلی، می‌توان از بازتاب‌های چندگانه صرفنظر کرد. در این حالت، بازتاب‌های توزیع شده را می‌توان در طول کابل برای به دست آوردن نتیجه ضریب انعکاس در ورودی کابل ترکیب نمود.

$$\underline{r(x)} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{Z(x+\Delta x) - Z(x)}{Z(x+\Delta x) + Z(x)} = \frac{Z'(x)}{2Z(x)} \qquad \text{(الف ۶)}$$

برای موج مربوط به ورودی کابل، باید اثر انتشار موج در نظر گرفته شود. ضریب بازتاب در ورودی کابل به وسیله رابطه زیر بیان می‌گردد:

$$\underset{-0}{r}(x) = \underline{r}(x)\, e^{-2\gamma x} \qquad \text{(الف ۷)}$$

در نتیجه ضریب بازتاب (با صرفنظر کردن از بازتاب‌های چند گانه) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\underset{-res}{r} = \int_{x=0}^{L} \frac{Z'(x)}{2Z(x)} e^{-2\gamma x} dx \qquad \text{(الف ۸)}$$

نوسان سینوسی امپدانس مشخصه موضعی در طول کابل فرض شده است. هر گونه نوسان زمانی دیگری می‌تواند به وسیله جمع توابع سینوسی (فوریه) بیان شوند:

$$Z(x) = Z_m(1+\frac{\Delta Z}{Z_m}\sin(\frac{2\pi}{\lambda_Z}x)) = Z_m(1+\delta_Z \sin(\frac{2\pi}{\lambda_Z}x)) \qquad \text{(الف ۹)}$$

که

Z_m میانگین امپدانس مشخصه است.

λ_Z طول موج هندسی نوسان امپدانس

$$\underline{r}(x) = \frac{Z'(x)}{2Z(x)} = \frac{Z'(x)}{2Z_m} \qquad \text{(الف ۱۰)}$$

$$\underline{r}(x) = \frac{\delta_Z}{2}\frac{2\pi}{\lambda_Z}\cos(\frac{2\pi}{\lambda_Z}x) \qquad \text{(الف ۱۱)}$$

در نتیجه ضریب انعکاس در ورودی کابل رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\underline{r}(x) = \frac{\delta_Z}{2}\frac{2\pi}{\lambda_Z}\int_{x=0}^{L}\cos(\frac{2\pi}{\lambda_Z}x).e^{-2\gamma x}dx \qquad \text{(الف ۱۲)}$$

طول کابل همیشه بیشتر از طول موج هندسی نوسان امپدانس است $L>>\lambda_Z$. بنابر این $\frac{L}{\lambda_Z}$ می تواند به عنوان یک عدد صحیح در نظر گرفته شود. با در نظر گرفتن در محاسبه نتایج :

$$\underline{r} = \frac{\delta Z}{2}.\frac{1}{\frac{\gamma}{\pi/\lambda Z}+\frac{\pi/\lambda Z}{\gamma}}.(1-e^{-2\gamma L}) \qquad \text{(الف ۱۳)}$$

پارامتر داخل پرانتز وابستگی ضریب بازتاب به طول را نشان می‌دهد. ضریب بازتاب برای یک طول نامحدود حداکثر مقدار است .

تشدید داده می‌شود، اگر :

$$\left|\frac{\gamma}{\pi/\lambda_Z}\right| = 1 \quad i.e \quad \alpha^2+\beta^2 = (\frac{\pi}{\lambda_z})^2 \qquad \text{(الف ۱۴)}$$

با $\alpha\lambda_Z << \beta\lambda_Z$ نتیجه گرفته می‌شود $\beta\lambda_Z=\pi$

در این حالت ضریب انعکاس فقط حداکثر مطلق مقدار خود را دارد. در عمل قله‌های انعکاس همسان غالبا مشاهده می‌شود. در این حالت نوسان امپدانس سینوسی نیست ولی هر گونه تابع دوره‌ایی دیگری که بتواند (بر طبق فوریه) به چندین قطعه سینوسی تقسیم شود، جایی است که هر کدام از آنها یک قله تشدید را ایجاد می‌کنند.

$$r_{\max} = \frac{\delta_Z}{2} \cdot \frac{\pi}{2\alpha\lambda_Z}(1 - e^{-2\alpha L}) \qquad \text{(الف ۱۴)}$$

به جای استفاده از ثابت فاز β، استفاده از طول موج الکتریکی $\lambda_e = \frac{2\pi}{\beta}$ مناسب‌تر است. آنگاه در تشدید خواهیم داشت:

$$\lambda_{e,res} = \frac{2\lambda_Z}{\sqrt{1+(\frac{\alpha\lambda_Z}{\pi})^2}} \approx 2\lambda_Z \qquad \text{(الف ۱۵)}$$

$$f_{res} = \frac{c_0}{\lambda_{e,res}\sqrt{\varepsilon_r}} = \frac{c_0}{2\lambda_Z\sqrt{\varepsilon_r}}\sqrt{1+(\frac{\alpha\lambda_Z}{\pi})^2} \approx \frac{c_0}{2\lambda_Z\sqrt{\varepsilon_r}} \qquad \text{(الف ۱۶)}$$

رابطه بین ضریب انعکاس و افت برگشتی به وسیله رابطه زیر داده می‌شود:

$$\alpha_r = -20\lg\left|\underline{r}\right| = 20\lg\left|\frac{1}{\underline{r}}\right| \qquad \text{(الف ۱۷)}$$

$$\alpha_r = 20\lg\left\{\frac{\delta_Z}{2}.\left|\frac{\gamma}{\pi/\lambda_Z} + \frac{\pi/\lambda_Z}{\gamma}\right|\right\} - 20\lg\left|\left(1 - e^{-2\gamma L}\right)\right| \qquad \text{(الف ۱۸)}$$

و در تشدید حداقل افت برگشتی به شرح زیر به دست می آید:

$$\alpha_{r,\min} = 20\lg\left\{\frac{2}{\delta_Z}.\frac{2\alpha\lambda_Z}{\pi}\right\} - 20\lg\left|\left(1 - e^{-2\gamma L}\right)\right| \qquad \text{(الف ۱۹)}$$

اگر انحراف‌های بسامد از بسامد تشدید نسبت به افت برگشتی به اندازه $\Delta\alpha_{r,f}$ تغییر کند. فرض بر این است که α وβ به حد کافی برای انحراف‌های کوچک بسامد تغییر نخواهند کرد و $\alpha\lambda_Z << 1$ در نتیجه :

$$f = f_{res}(1 \pm \delta_f) \quad \text{و} \quad \delta_f << 1 \qquad \text{(الف ۲۰)}$$

$$\Delta a_{r,f} = a_r - a_{r,\min} = 20\lg\frac{\pi}{2\alpha\lambda_Z}\left|\frac{\alpha\lambda_Z}{\pi} + j(1+\delta_f) + \frac{1}{\frac{\alpha\lambda_Z}{\pi} + j(1+\delta_f)}\right| \qquad \text{(الف ۲۱)}$$

$$\Delta a_{r,f} \approx 20\lg\frac{\pi}{2\alpha\lambda_Z}\left|\frac{\alpha\lambda_Z}{\pi}\left(1 + \frac{1}{(1+\delta_f)^2}\right) + j(1+\delta_f) - \frac{1}{1+\delta_f}\right| \qquad \text{(الف ۲۲)}$$

$$\Delta a_{r,f} \approx 20\lg\left\{\frac{\pi}{2\alpha\lambda_Z}\left|2\frac{\alpha\lambda_Z}{\pi}(1-\delta_f)+j2\delta_f\right|\right\} \qquad \text{(الف ۲۳)}$$

$$\Delta a_{r,f} \approx 20\lg\left\{\frac{\pi}{2\alpha\lambda_Z}\sqrt{\left(2\frac{\alpha\lambda_Z}{\pi}\right)^2+4\delta_f{}^2}\right\}=10\lg\left\{1+\left(\frac{\pi}{\alpha\lambda_Z}\delta_f\right)^2\right\} \qquad \text{(الف ۲۴)}$$

و در نهایت :

$$\delta_f=\left|\frac{f-f_{res}}{f_{res}}\right|\approx\frac{\alpha\lambda_Z}{\pi}\sqrt{10^{\frac{\Delta a_{r,f}}{10}}-1} \qquad \text{(الف ۲۵)}$$

که در آن

α تضعیف کابل بر حسب Np/m در بسامد اندازه‌گیری شده است;

$\Delta a_{r,f}$ انحراف افت برگشتی از حداکثر مقدار در بسامد تشدید شده است.

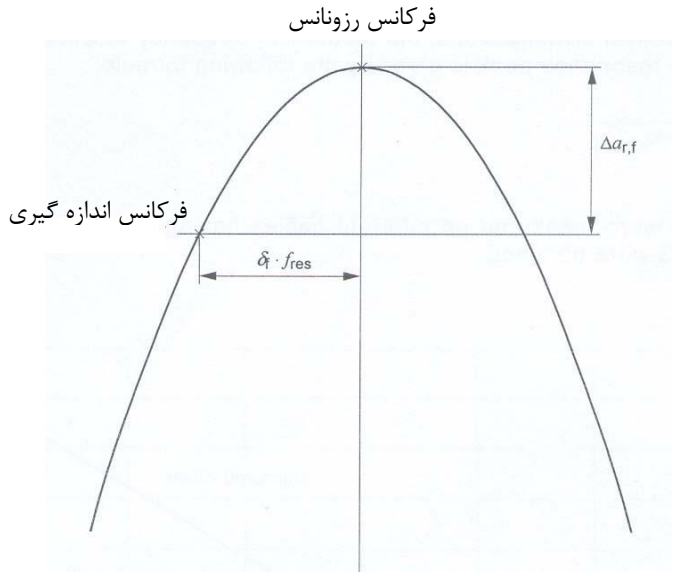
δ_f انحراف نسبی از بسامد تشدید شده است

λz طول موج هندسی نوسان امپدانس متناوب است (رابطه الف -۱۷)

f بسامد اندازه‌گیری بر حسب Hz

f_{res} بسامد تشدید شده به دلیل نوسان‌های امپدانس متناوب است (رابطه الف-۱۷)

نکته اینکه $2\,\delta_f$ ، $\Delta a_{r,f}$ پهنای باند قله تشدید است (شکل الف – ۲ ملاحظه شود).



شکل الف -۲- قله تشدید

قبلا ملاحظه شد که تغییر افت برگشتی برای نوسان‌های کوچک بسامد از بسامد تشدید به طول کابل بستگی ندارد. همچنین حداکثر مقدار قله وابسته به طول است. از رابطه الف -۲۰ می توان نتیجه گرفت که کاهش طول آزمون، افت برگشتی را افزایش می‌دهد. تغییر به وسیله $\Delta a_{r,\mathrm{L}}$ به شرح زیر بیان می‌شود:

$$\Delta a_{r,L} = a_r(L2) - a_r(L1) = 20\lg\left(\frac{1-e^{-2\alpha L1}}{1-e^{-2\alpha L2}}\right) \qquad \text{(الف ۲۶)}$$

با $\alpha(Np/m)$

مثال : یک کابل هم محور (کواکسیال) با مقادیر زیر :

Z_m = هر مقداری، $\delta_Z = ۱۰^{-۳}$ ، α =۱۰ dB/۱۰۰ m =۱۱/۵ mNp/m ، ε_r = ۲/۲۸ , λ_z=۱m

نتیجه :

$a_{r,min}$ = ۲۳/۳ dB و $\lambda_{e,res}$ = ۲ m یا f_{res} =۱۰۰ MHZ

یک افزایش افت برگشتی به میزان ۳ dB (۱ dB) برای نوسان بسامد مشاهده می شود از :

$\delta_f \approx$ ۰/۳۶۵ ٪ (۰/۱۸۶ ٪) یا ۳۶۵ kHZ (186 kHZ)

افت برگشتی اندازه گیری شده در ۱۰۰ متر طول کابل در مقایسه با یک طول نامحدود ۰/۹ دسی بل بیشتر است.

الف – ۳ مقایسه بین نتایج تئوری و تجربی

در اینجا مدل افت برگشتی تئوری نشان داده شده فوق الذکر با اندازه‌گیری‌های تجربی مقایسه شده است.

بر مبنای تحقیقات تئوری انحراف بسامد تئوری در مقابل خطای افت برگشتی پیک تشدید به وسیله رابطه زیر داده می‌شود:

$$\delta_f = \frac{150.\nu_r}{868.6.\pi} a(f)\sqrt{10^{\Delta_{ar,f}} - 1} \qquad \text{(الف۲۷)}$$

چندین انحراف بر روی کابل‌های مختلف دارای چندین قله اندازه‌گیری شده است و نتایج در شکل الف-۳ نشان داده شده است.

شکل الف-۳ – مقایسه تئوری و اندازه‌گیری شده dB ۳ پهنای باند قله‌های تشدید

از این نتایج می‌توان نتیجه گرفت :

الف) مقادیر تجربی متناسب با تضعیف کابل در بسامد تشدید به صورت تئوری مورد انتظار بوده ، هستند.

ب) انحراف‌های بسامد تجربی بزرگتر از مقادیر محاسبه شده هستند. نسبت بین مقادیر تجربی و تئوری حدود ۱/۴ است. اختلاف بین انحراف‌های تجربی و تئوری قابل توجیه هستند با این واقعیت که در عمل نوسان امپدانس در طول کابل کاملا سینوسی نیست.

بنابر این ضریب تصحیح ۱/۴ در فضای بسامد مجاز شده تعریف می‌شود:

$$\Delta f \le 1.4.\frac{300.\upsilon_r}{868.6.\pi}.a(f).\sqrt{10^{\frac{\Delta a_{r,f}}{10}}-1} \qquad \text{(الف۲۸)}$$