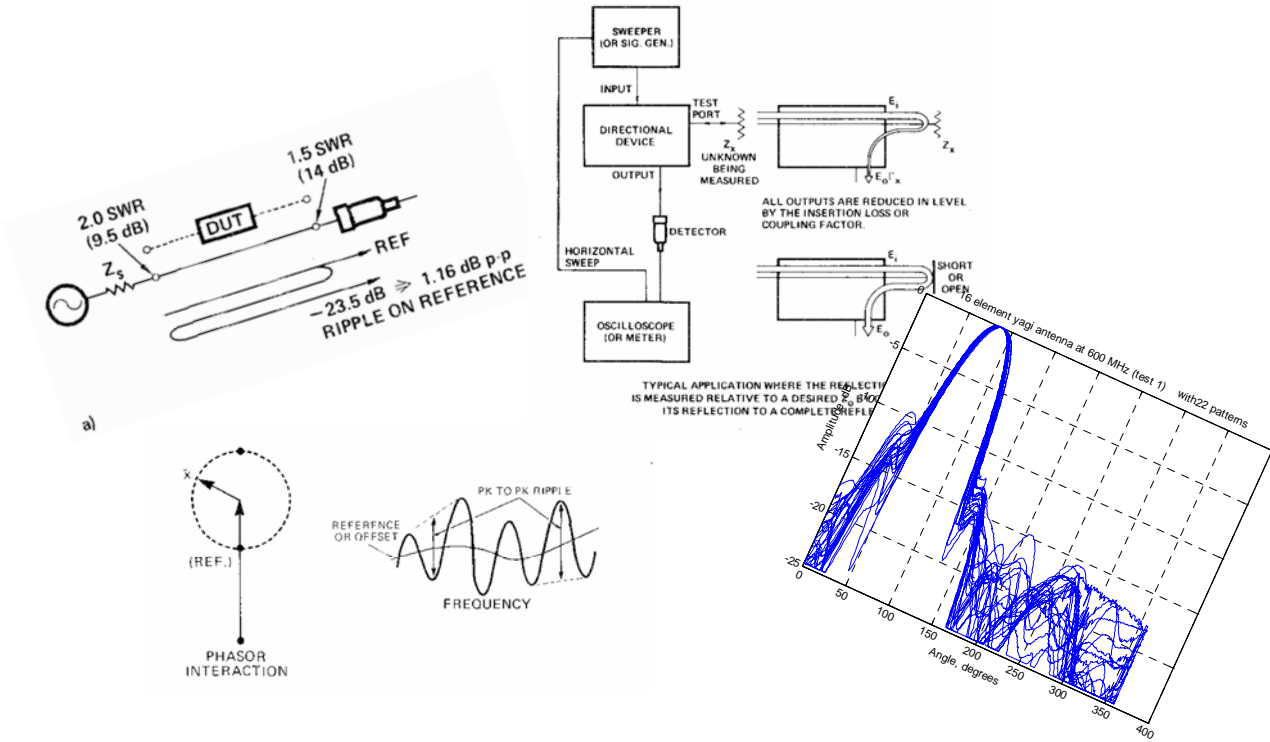


تاسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

خطاها و روش کاهش آنها در اندازه گیریهای میکروویو و آنتن



سید محسن البوتراب
همیه کننده

مهرماه ۱۳۸۹

فصل اول - اثر متقابل سیگنال اندازه گیری و خطا روی هم

۱-۱- جدول *RF measurement chart*

۱-۲- آشکار سازی اثر دو سیگنال روی هم

۱-۳- روش جدا سازی دو سیگنال از هم

الف)- حالت سیگنال اندازه گیری بزرگتر از خطا

ب)- حالت سیگنال خطا بزرگتر از اندازه گیری

فصل دوم- خطا در اندازه گیری های میکروویو و روش کاهش آن ها

۱-۲- خطا در اندازه گیری انعکاس

۱-۱-۲- سیستم های اندازه گیری انعکاس

الف) دایرکشنال کوپلر ها

ب) پلهای اندازه گیری (*REFLECTION Or SWR BRIDGE*)

پ) محدودیتهای سیستم اندازه گیری با دو دایرکشنال کوپلر و پل اندازه گیری

ت) تحلیل گره های شبکه

۱-۲-۲- منابع ایجاد خطا در اندازه گیری انعکاس

الف: خطای دایرکتیویته

ب: خطای عدم تطبیق دهانه آزمایش

پ: خطای عدم تطبیق منبع

ت: خطای عدم تطبیق تبدیل کننده ها (*ADAPTERS*) یا اتصال دهنده ها (*CONNECTORS*)

ث- خطای ناشی از هارمونیکها و سیگنالهای ناخواسته منابع تولید سیگنال

۱-۲-۳- روش جدا سازی خطا در اندازه گیری انعکاس

الف) متوسط گیری (*AVERAGING*) خطا

ب) بزرگ کردن سیگنال ناخواسته مبنا برای اندازه گیری افت انعکاسی خیلی کم

پ) اندازه گیری دایرکتیویته دایرکشنال کوپلر و پل اندازه گیری

ت) روش کاهش خطای هارمونیکهای موجود در سیگنال

۱-۲-۲- خطا در اندازه گیری افت عبوری

۱-۲-۱- سیستم اندازه گیری افت عبوری

۱-۲-۲- منابع خطا در اندازه گیری افت عبوری

۱-۲-۳- روش کاهش و جدا سازی خطا در اندازه گیری افت عبوری

فصل سوم- خطا در اندازه گیری های آنتن

۳-۱- خطا های مشترک در میدان های آزمایش آنتن

الف) -خطای فاصله

ب)- خطای جابجائی آنتن در حال نصب روی پایه

۳-۲-خطا در میدان های باز آزمایش آنتن

۳-۳- خطا در اتاق های بدون انعکاس

۳-۴- خطا در اندازه گیری روش میدان دور از نزدیک

۱): روش صفحه ای

۲): روش استوانه ای

۳): روش کروی

در اندازه گیری ها، بخصوص فرکانس بالا، شناخت منابع خطا و چگونگی کاهش و یا رفع آن ها بسیار مهم است. عدم اطلاع از اثر خطا ها میتواند اثرات غیر قابل گذشتی در اندازه گیری آن کمیت داشته باشد.

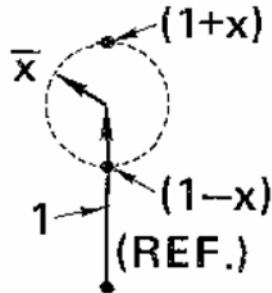
قسمت عمده جزوه حاضر، متن ترجمه شده ی مستخرج از روشهای کاربردی منتشر شده از طرف شرکت ویلترون (WILTRON) سازنده وسایل دقیق اندازه گیری در مایکروویو است که در سال ۱۳۶۴ تهیه شده و به عنوان قسمت مکمل در درس مایکروویو تدریس میشود. در نسخه جدید علاوه بر آن، برخی از خطا ها در اندازه گیری های آنتن نیز افزوده شده است. در این جزوه خطاهای ممکن مورد بررسی و دقت قرار گرفته و اثر آنها در اندازه گیری مشخص شده است. هم چنین روشهای کاستن برخی از آنها نیز ارائه شده است.

روشهای ذکر شده برای سایز اندازه گیریها نیز قابل استفاده است و بطور کلی اکثر اندازه گیریها دارای خطاهائی مشابه خطاهای ذکر شده بوده و لذا روشهای تحلیل و کاستن آنها نیز مشابه خواهد بود.

فصل اول

اثر متقابل سیگنال اندازه گیری و خطا روی هم

معمولاً در هر اندازه گیری، یک سیگنال خطا نیز وجود داشته که با سیگنال اصلی، جمع شده و در حقیقت مجموعه این دو سیگنال، اندازه گیری میشود. اگر این دو سیگنال برداری باشند، فاز نسبی آن ها نیز در اندازه گیری موثر است. در شکل (۱-۱) این مطلب نشان داده شده است.



PHASOR INTERACTION

شکل (۱-۱)

اگر دامنه سیگنال اصلی برابر با ۱ و دامنه سیگنال خطا یا مزاحم برابر با x و فاز نسبی آن ها ϕ باشد، سیگنال کل بصورت $1 + xe^{j\phi}$ است. در این صورت بسته به اختلاف فاز آن ها، سیگنال مقدار دامنه اندازه گیری شده حد اکثر برابر با $1 + x$ و حد اقل برابر $1 - x$ خواهد بود. بنابراین اگر ما دامنه حد اکثر را داشته باشیم، میتوانیم با کم کردن x از آن، و یا اگر دامنه حداقل را داشته باشیم، با افزودن x به آن، مقدار سیگنال اصلی مورد اندازه گیری را به دست بیاوریم. البته معمولاً مقدار x معلوم نیست ولی از روی حد اکثر تغییرات، میتوان دامنه مقدار سیگنال اصلی را تعیین کرد.

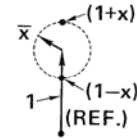
در مورد فاز نیز خطا وجود دارد. ولی فاز سیگنال اصلی و سیگنال کل، در حالت ماکزیمم و یا مینیمم یکی است اثر دامنه دو سیگنال که به اندازه x dB با هم اختلاف داشته باشند، در جدول RF که در زیر توضیح داده میشود آمده است و از روی این جدول میتوان نتایج بسیار جالب و مهمی گرفت.

۱-۱- جدول RF measurement chart

در جدول زیر (RF MEASUREMENT CHART) اثر یک سیگنال روی سیگنال دیگر بر حسب dB مشخص شده است. سه ستون اول مقادیر ضریب سکون (SWR)، ضریب انعکاسی، و افت انعکاسی را نشان می دهد. چهارستون بعدی حدود تأثیر سیگنال کوچکتر را روی سیگنال بزرگتر معین می کند. خطای سیگنال مزاحم روی سیگنال اصلی را می توان با استفاده از جدول مزبور تعیین کرد. مثلاً ملاحظه میشود که سیگنالی که ۱۵ dB پائینتر از سطح سیگنال اصلی است، میتواند حد اکثر سیگنال اصلی را $1+x=1/42$ dB بزرگتر یا $1-x=-1/7$ dB کوچکتر نشان دهد که این به معنی ۳/۱۲ dB تغییرات نوک تا نوک $(p-p)$ است. از جدول مذکور می توان بطریق دیگری نیز استفاده کرد. مثلاً اگر تغییرات ۳/۱۲ dB در اندازه گیری مشاهده شود (با تغییر فاز یکی از سیگنالها)، معلوم میشود که سیگنال کوچکتر ۱۵ dB از سیگنال اصلی کوچکتر است و اگر ماکزیمم سیگنال کل را داشته باشیم، با کم کردن ۱/۴۲ dB از آن، به سیگنال اصلی می رسیم. هم چنین اگر مینیمم سیگنال کل را داشته باشیم، با اضافه کردن ۱/۷ dB به آن به سیگنال اصلی میرسیم.

TABLE 1
RF MEASUREMENT CHART

Conversion tables for Return Loss, Reflection Coefficient, and SWR
with tabular values for interactions of a small phasor x with a
large phasor (unity reference) expressed in dB related to reference.



**PHASOR
INTERACTION**

| RELATIVE TO UNITY REFERENCE | | | | | | | RELATIVE TO UNITY REFERENCE | | | | | | |
|-----------------------------|-------------|----------------------|----------------------------|-----------|-----------|------------------------------------|-----------------------------|-------------|----------------------|----------------------------|-----------|-----------|------------------------------------|
| REFLECTION SWR | COEFFICIENT | RETURN LOSS dB | x dB BELOW REFERENCE | 1+x dB | 1-x dB | 1±x PEAK TO PEAK RIPLE dB | REFLECTION SWR | COEFFICIENT | RETURN LOSS dB | x dB BELOW REFERENCE | 1+x dB | 1-x dB | 1±x PEAK TO PEAK RIPLE dB |
| 17.3910 | .8913 | 1 | 1 | 5.5350 | -19.2715 | 24.8065 | 1.0580 | .0282 | 31 | 31 | .2414 | - .2483 | .4897 |
| 8.7242 | .7943 | 2 | 2 | 5.0780 | -13.7365 | 18.8145 | 1.0515 | .0251 | 32 | 32 | .2155 | - .2210 | .4365 |
| 5.8480 | .7079 | 3 | 3 | 4.6495 | -10.6907 | 15.3402 | 1.0458 | .0224 | 33 | 33 | .1923 | - .1967 | .3890 |
| 4.4194 | .6310 | 4 | 4 | 4.2489 | - 8.6585 | 12.9073 | 1.0407 | .0200 | 34 | 34 | .1716 | - .1751 | .3467 |
| 3.5698 | .5623 | 5 | 5 | 3.8755 | - 7.1773 | 11.0528 | 1.0362 | .0178 | 35 | 35 | .1531 | - .1558 | .3090 |
| 3.0095 | .5012 | 6 | 6 | 3.5287 | - 6.0412 | 9.5699 | 1.0322 | .0158 | 36 | 36 | .1366 | - .1388 | .2753 |
| 2.6146 | .4467 | 7 | 7 | 3.2075 | - 5.1405 | 8.3480 | 1.0287 | .0141 | 37 | 37 | .1218 | - .1236 | .2454 |
| 2.3229 | .3981 | 8 | 8 | 2.9108 | - 4.4096 | 7.3204 | 1.0255 | .0126 | 38 | 38 | .1087 | - .1100 | .2187 |
| 2.0999 | .3548 | 9 | 9 | 2.6376 | - 3.8063 | 6.4439 | 1.0227 | .0112 | 39 | 39 | .0969 | - .0980 | .1949 |
| 1.9250 | .3162 | 10 | 10 | 2.3866 | - 3.3018 | 5.6884 | 1.0202 | .0100 | 40 | 40 | .0864 | - .0873 | .1737 |
| 1.7849 | .2818 | 11 | 11 | 2.1567 | - 2.8756 | 5.0322 | 1.0180 | .0089 | 41 | 41 | .0771 | - .0778 | .1548 |
| 1.6709 | .2512 | 12 | 12 | 1.9465 | - 2.5126 | 4.4590 | 1.0160 | .0079 | 42 | 42 | .0687 | - .0693 | .1380 |
| 1.5769 | .2239 | 13 | 13 | 1.7547 | - 2.2013 | 3.9561 | 1.0143 | .0071 | 43 | 43 | .0613 | - .0617 | .1230 |
| 1.4985 | .1995 | 14 | 14 | 1.5802 | - 1.9331 | 3.5133 | 1.0127 | .0063 | 44 | 44 | .0546 | - .0550 | .1096 |
| 1.4326 | .1778 | 15 | 15 | 1.4216 | - 1.7007 | 3.1224 | 1.0113 | .0056 | 45 | 45 | .0487 | - .0490 | .0977 |
| 1.3767 | .1585 | 16 | 16 | 1.2778 | - 1.4988 | 2.7766 | 1.0101 | .0050 | 46 | 46 | .0434 | - .0436 | .0871 |
| 1.3290 | .1413 | 17 | 17 | 1.1476 | - 1.3227 | 2.4703 | 1.0090 | .0045 | 47 | 47 | .0387 | - .0389 | .0776 |
| 1.2880 | .1259 | 18 | 18 | 1.0299 | - 1.1687 | 2.1986 | 1.0080 | .0040 | 48 | 48 | .0345 | - .0346 | .0692 |
| 1.2528 | .1122 | 19 | 19 | .9237 | - 1.0337 | 1.9574 | 1.0071 | .0035 | 49 | 49 | .0308 | - .0309 | .0616 |
| 1.2222 | .1000 | 20 | 20 | .8278 | - .9151 | 1.7430 | 1.0063 | .0032 | 50 | 50 | .0274 | - .0275 | .0549 |
| 1.1957 | .0891 | 21 | 21 | .7416 | - .8108 | 1.5524 | 1.0057 | .0028 | 51 | 51 | .0244 | - .0245 | .0490 |
| 1.1726 | .0794 | 22 | 22 | .6639 | - .7189 | 1.3828 | 1.0050 | .0025 | 52 | 52 | .0218 | - .0218 | .0436 |
| 1.1524 | .0708 | 23 | 23 | .5941 | - .6378 | 1.2319 | 1.0045 | .0022 | 53 | 53 | .0194 | - .0195 | .0389 |
| 1.1347 | .0631 | 24 | 24 | .5314 | - .5661 | 1.0975 | 1.0040 | .0020 | 54 | 54 | .0173 | - .0173 | .0347 |
| 1.1192 | .0562 | 25 | 25 | .4752 | - .5027 | .9779 | 1.0036 | .0018 | 55 | 55 | .0154 | - .0155 | .0309 |
| 1.1055 | .0501 | 26 | 26 | .4248 | - .4466 | .8714 | 1.0032 | .0016 | 56 | 56 | .0138 | - .0138 | .0275 |
| 1.0935 | .0447 | 27 | 27 | .3796 | - .3969 | .7765 | 1.0028 | .0014 | 57 | 57 | .0123 | - .0123 | .0245 |
| 1.0829 | .0398 | 28 | 28 | .3391 | - .3529 | .6919 | 1.0025 | .0013 | 58 | 58 | .0109 | - .0109 | .0219 |
| 1.0736 | .0355 | 29 | 29 | .3028 | - .3138 | .6166 | 1.0022 | .0011 | 59 | 59 | .0097 | - .0098 | .0195 |
| 1.0653 | .0316 | 30 | 30 | .2704 | - .2791 | .5495 | 1.0020 | .0010 | 60 | 60 | .0087 | - .0087 | .0174 |

۲-۱- آشکار سازی اثر دو سیگنال روی هم

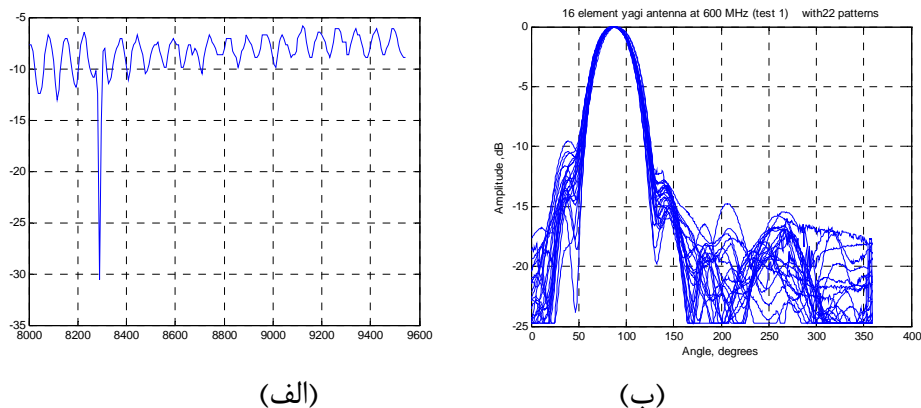
بنا بر آنچه در بالا گفته شد، در صورتی که ما به حداکثر و حداقل دو سیگنال برسیم، میتوانیم از روی $P-P$ تغییرات این دو سیگنال، دامنه سیگنال مزاحم نسبت به اصلی را تعیین کنیم. همین طور میتوانیم با کاستن مقدار $(1+x)dB$ از ماکزیمم و یا افزودن $(1-x)dB$ به مینیمم محل دقیق سیگنال اصلی را تعیین کنیم. اما برای داشتن مقدار های ماکزیمم و مینیمم، باید بتوانیم فاز دو سیگنال را نسبت به هم تغییر دهیم بطوری که مطمئن باشیم که 360 درجه تغییرات فاز را داشته ایم.

معمولا بسته به روش کار، به دو طریق میتوان این اختلاف فاز را ایجاد کرد:

روش اول با تغییر فرکانس: چون مسیر دو سیگنال اصلی و مزاحم باهم یکی نیست، بنابراین اگر سیگنال اصلی راهی به اندازه D ، و سیگنال مزاحم راهی به اندازه d را طی کنند، اختلاف فاز دو سیگنال برابر $e^{j\beta(D-d)}$ بوده و چون $D-d$ ثابت است، بنابراین با تغییر فرکانس، $\beta = 2\pi/\lambda = 2\pi f/c$ ، و در نتیجه اختلاف فاز، تغییر خواهد کرد. اگر اختلاف راه دو سیگنال به اندازه کافی باشد، با تغییرات فرکانس کمی میتوان تغییرات فاز 360 درجه مورد نیاز را به دست آورد. شکل (۲-۱-الف) خطای به وجود آمده روی یک سیگنال را وقتی که فرکانس جارو شده نشان میدهد.

روش دوم با تغییر مکان: اگر کار در فرکانس ثابت انجام میشود، مثلا در پرتو برداری آنتن، اختلاف فاز مورد نیاز را میتوان با تغییرات $D-d$ یعنی جابجائی آنتن اعمال کرد. در این جا نیز باید جابجائی به اندازه کافی باشد تا به اختلاف فاز

۳۶۰ درجه مورد نیاز دست یابیم. شکل (۱-۲-ب) خطا روی پرتو یک آنتن را وقتی در آزمایشگاه جا بجا شده نشان میدهد



شکل (۱-۲)

۱-۳- روش جدا سازی دو سیگنال از هم

الف- حالت سیگنال اندازه گیری بزرگتر از خطا

اگر مطمئن باشیم که سیگنال اصلی از سیگنال خطا بزرگتر است، همانطور که گفته شد از روی $(p-p)$ تغییرات سیگنال کل میتوانیم بفهمیم که سیگنال خطا چقدر از سیگنال اصلی کوچک تر است و بعد هم با کم کردن $(1+x)dB$ از ماکزیمم سیگنال مجموعه و یا اضافه کردن $(1-x)dB$ به می نیمم سیگنال مجموعه، مقدار سیگنال اصلی را مشخص کنیم. در مورد فاز نیز، فاز سیگنال اصلی، در ماکزیمم و می نیمم، با فاز سیگنال مجموعه مساوی است (شکل ۱-۱).

ب- حالت سیگنال خطا بزرگتر از اندازه گیری

در صورتیکه سیگنال خطا از سیگنال اصلی بزرگتر باشد، که این را بعدا خواهیم دید، با همان روش بالا، میتوان فهمید که دامنه سیگنال اصلی از خطا چقدر کوچک تر است و با دانستن مناسب دامنه سیگنال خطا (در مقایسه با یک مبنا که بعدا توضیح داده خواهد شد) میتوانیم دامنه سیگنال اصلی را نسبت به مبنا تعیین کنیم. در این حال برای فاز، وقتی سیگنال ماکزیمم است، فاز سیگنال اندازه گیری با سیگنال کل یکی بوده ولی در حالت می نیمم، فاز سیگنال اصلی ۱۸۰ درجه با سیگنال کل اختلاف خواهد داشت (شکل ۱-۱).

فصل دوم

خطا در اندازه گیری های میکروویو و روش کاهش آن ها

از اندازه گیری های اساسی در میکروویو، میزان انعکاس از یک دهانه یک قطبی است که آن را با Γ نشان میدهند. تعریف دیگر بصورت $SWR = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma}$ ویا بصورت لگاریتمی یا $RL(Return Loss) = -20 \log(\Gamma)$ است. در صورتیکه مدار چند قطبی باشد، این تعریف بصورت عناصر ماتریس اسکترینگ هر دهانه یا S_{ii} است. در حقیقت S_{ii} برابر با ضریب انعکاس دهانه i ام است، وقتی سایر دهانه ها به بار تطبیق شده وصل باشد. یک اندازه گیری مهم دیگر، اندازه گیری میزان عبور T (و افت عبوری) است. این مقدار همان S_{ij} یعنی ضریب عبور شاخه j از شاخه i ام است. اندازه گیری هر دو مقدار، بعلت وجود منابع خطا، دارای خطا بوده و شناسائی چگونگی اثر این خطا ها میتواند باعث کاهش و یا حتی رفع آن شود.

۱-۲- خطا در اندازه گیری انعکاس

با شناسائی سیستم های اندازه گیری انعکاس میتوان منابع خطا را مشخص کرد.

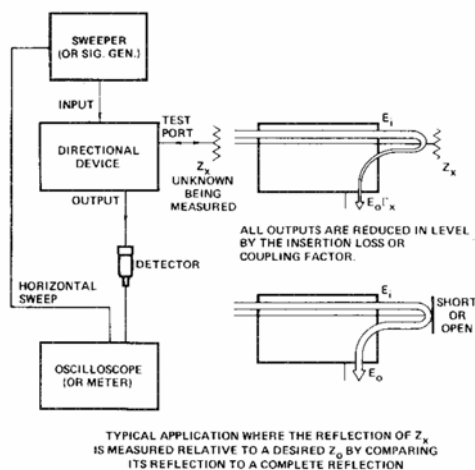
۱-۱-۲- سیستم های اندازه گیری انعکاس

در اندازه گیری انعکاس و عبور (یا افت) معمولاً از دایرکشنال کوپلر و یا پلهای اندازه گیری استفاده می شود. انجام کار از دو مرحله کالیبراسیون (یا شناخت سیگنال تابش اصلی) که در آن با استفاده از یک اتصال کوتاه (و یا باز) دامنه سیگنال تابیده شده به دستگاه مورد اندازه گیری مشخص میشود، و مرحله اندازه گیری، که در آن حالت سیگنال انعکاسی از دستگاه تعیین میشود، تشکیل شده است. مقایسه این دو مقدار میزان انعکاس را مشخص میکند. در ابتدا به شناسائی روش ها می پردازیم.

الف) دایرکشنال کوپلر ها

اصول مدار اندازه گیری انعکاس با دایرکشنال کوپلر؛ مطابق شکل (۱-۲) است. عنصر مورد اندازه گیری (DEVICE UNDER TEST) به دایرکشنال کوپلر (ویا پل اندازه گیری) متصل شده و خروجی آن پس از آشکارشدن، توسط سکوپ و

یا نشان دهنده دیگر؛ سنجیده می‌شود در صورتیکه منظور بررسی فاز سیگنال منعکسه نیز باشد می‌توان از نت ورک آنالایزر برداری^۱، استفاده کرد.



شکل (۲-۱)

در مدار شکل مذکور سیگنال منعکسه با سیگنال تابش مقایسه شده و ضریب انعکاس و یا افت انعکاسی (RETURN LOSS) تعیین می‌شود. سیگنال تابش با اتصال کوتاه کردن مدار بدست می‌آید. دایرکشنال کوپلرها ی موجبری، دارای دایرکتیویته بالا بوده ولی دارای باند فرکانس محدود هستند، به طوری که برای هر باند فرکانس باید آن را تعویض کرد.

(ب) پلهای اندازه گیری (REFLECTION Or SWR BRIDGE)

پل اندازه گیری یکی از وسایل مهم در اندازه گیریهای انعکاس و عبور از لحاظ دقت، عرض باند، سادگی و اقتصادی بودن است. پلهای ساخته شده جدید دارای عرض باند تا حدود ۱۸GHz و دایرکتیویته بالای ۳۵dB هستند. اکثر پلهای براساس اصول پل و تستون و با نول کردن جریان ساخته شده‌اند. سیستم پل، یک مدار چهار عنصری است و با قراردادن بار مبنای شناخته شده‌ای مساوی با بار ناشناخته، و صفر شدن جریان، بار ناشناخته مشخص می‌شود. مدار ساده‌ی پل مطابق شکل (۲-۲-الف) بوده و با مدار پل معمولی متفاوت است.

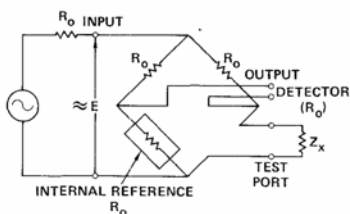


Figure 9. WILTRON Bridge Circuit

(الف)

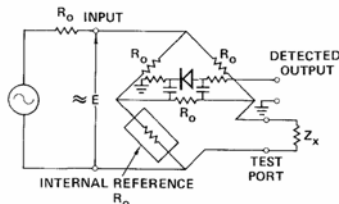
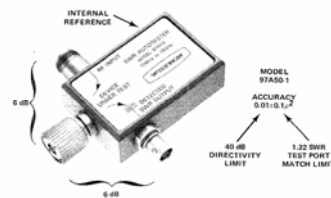


Figure 10. WILTRON Autotester Circuit

(ب)



(پ)

شکل (۲-۲)

این پل از یک مدار ۴ عنصری تشکیل شده و امپدانس نامشخص Zx با یک امپدانس دقیق داخلی R_0 بعنوان مبنا مقایسه می‌شود و یک سیگنال انعکاسی در خروجی پل ظاهر می‌شود. این سیگنال به کمک یک مدار تبدیل بالانس به غیر

¹ - VECTOR ETWORK ANAL

بالانس (کواکسیال) به خروجی متصل می‌شود. عامل اصلی محدودیت فرکانس پل، همین مدار است. خصوصیت مشخص پل آنست که در شاخه خروجی می‌توان ولتاژ

$$E_{\text{det}} = \frac{E}{4} \left(\frac{Z_X - R_0}{Z_X + R_0} \right)$$

را داشت که دقیقاً متناسب با ضریب انعکاس بار مورد اندازه‌گیری است. برای مقادیر Z_X بین صفر و بینهایت ولتاژ خروجی بین $+\frac{E}{4}$ و $-\frac{E}{4}$ تغییر کرده یعنی تغییر فاز لازم و مورد انتظار برای اتصال کوتاه و اتصال باز را نشان می‌دهد. دامنه‌های مساوی، بیانگر تطبیق بودن مدار برای امپدانس R_0 (امپدانس خط ارتباط) است، بطوریکه یک اتصال باز یا کوتاه همان خروجی را بوجود می‌آورد. این ولتاژ $\frac{1}{4}$ ولتاژی است که منبع سیگنال در صورت متصل شدن به یک بار با امپدانس R_0 بوجود می‌آورد. بنابراین افت عبوری برابر با 12 dB ، یعنی 6 dB از منبع به محل دهانه‌ی آزمایش و 6 dB از محل دهانه آزمایش به دهانه متصل شونده به دکتور است. در فرکانسهای بالا این مقدار عملاً کمی بیشتر از 6 dB است. مدار شکل (۱-۳) نشان می‌دهد که وقتی شاخه‌ی Z_X به R_0 متصل شود. سیگنال ورودی به دو شاخه مساوی با امپدانس $2R_0$ تقسیم می‌شود و لذا امپدانس متصل شده به ژنراتور همان R_0 است در اینصورت افت روی شاخه‌ی آزمایش و شاخه‌ی مبنا برابر بوده و خروجی کریستال صفر است.

ورودی و خروجی ایزوله هستند بطوریکه خصوصیت دایرکتیو بودن آن را بوجود می‌آورد. همین طور میتوان ملاحظه کرد که امپدانس ورودی از هر شاخه، با تطبیق شاخه‌های دیگر، همان R_0 است.

افت عبوری پل، معادل ضریب کوپلینگ دایرکشنال کوپلرها است. در این مثال افت 12 dB مانند کوپلینگ 10 dB و یا 20 dB برای کوپلرها است. بنظر میرسد که یک کوپلر 10 dB دارای 2 dB حساسیت بیشتر نسبت به پل است، ولی می‌توان نشان داد که افت پل سودمند است. در پلهای بار مبنا با امپدانس R_0 بسیار دقیق است، بنابراین خطای کمتری ایجاد می‌شود. اتوتسترها (AUTO TESTER) پلهایی با ساختمان کریستال دکتور داخلی هستند و بهمین دلیل احتیاج به مدار بالون (BALUN) نداشته و می‌توانند بین 1 Hz تا 18 GHz را با یک دستگاه بپوشانند. شکل (۲-۲-ب) این مدار را نشان می‌دهد.

دایرکتیویته حدود 40 dB تا 46 dB و ضریب سکون شاخه آزمایش حدود $1/22$ است. شکل (۲-۳) مزیت این مدار نسبت به مدارات مشابه نشان می‌دهد.

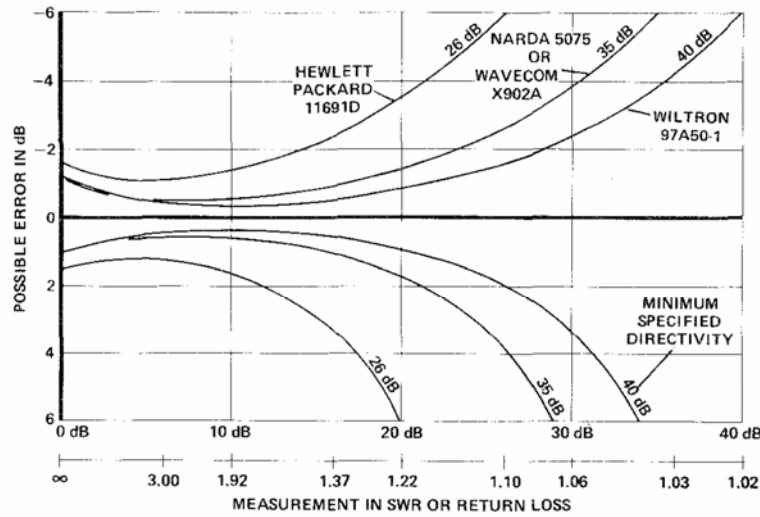
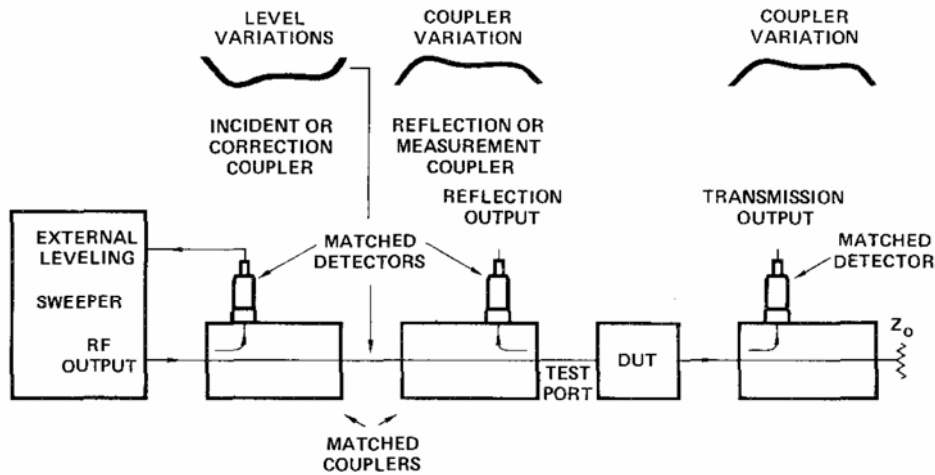


Figure 12. Comparative Error Limits of Devices for X-Band Reflection Measurements.

شکل (۲-۳)

پ) محدودیتهای سیستم اندازه‌گیری با دو دایرکشنال کوپلر و پل اندازه‌گیری برای تصحیح اثرات کوپلرها باید از یک کوپلر دیگر بعنوان تصحیح کننده مطابق شکل (۲-۴) استفاده کرد.



شکل (۲-۴)

این کوپلر نمونه ای از سیگنال خروجی را گرفته، جهت تصحیح سطح خروجی، به قسمت (ALC) سویچ ژنراتور وصل می‌کند. این روش باعث تنظیم شدن سطح سیگنال با توجه به مشخصات کوپلر نسبت به فرکانس می‌شود. حساسیت فرکانسی کوپلر و دکتور مجموعاً روی ورودی کوپلر اندازه‌گیری اثر می‌گذارد. اگر کوپلرهای مشابه بکار رود اثر مطلوبی روی کاهش حساسیت خواهد داشت. برای حذف اثر دکتورها نیز باید از زوجهای تطبیق شده با یکدیگر استفاده شود. باید توجه داشت که در اینصورت چنانچه یکی از دکتورها معیوب شود باید دکتور دیگر نیز مجدداً با دکتور جدید تطبیق شود. پیچیده‌تر شدن و در نتیجه گران‌تر شدن سیستم می‌تواند عدم تطبیق موثر منبع را کاهش دهد. افت انعکاسی خروجی کوپلر تصحیح کننده، وقتی ALC سویچ ژنراتور از طریق خارجی انجام می‌شود، با دایرکتیویته آن کوپلر با تبدیل کننده

خارجی معین می‌شود. برای نتیجه بهتر از این نوع تصحیح باید از سیستم دو دایرکشنال کوپلری جهت حذف اتصال دهنده‌ها استفاده کرد. در این حالت افت انعکاسی موثر منبع فقط با دایرکتیویته کوپلر تصحیح کننده، محدود می‌شود. یک تغییرات $\pm 1/2\text{dB}$ تا $2/4\text{dB}$ برای سیستم دو کوپلری معمولی است. حذف تغییرات خروجی نسبت به فرکانس بکمک تنظیم سطح، در اندازه‌گیری انعکاس اثر بسیار مطلوبی دارد لیکن برای اندازه‌گیری افت عبوری تغییرات زیادی را ایجاد میکند. برای رفع این اشکال احتیاج به یک کوپلر دیگر جهت ترمیم شکل خروجی است. البته اضافه کردن این کوپلر بخاطر اینکه سیگنال عبوری اندازه‌گیری شده به اندازه‌ی کوپلینگ کوپلر تضعیف می‌شود، حدود دینامیک اندازه‌گیری را کاهش می‌دهد. استفاده از پلهای اندازه‌گیری مطابق شکل (۲-۵) مدارها را بسیار ساده‌تر می‌کند.

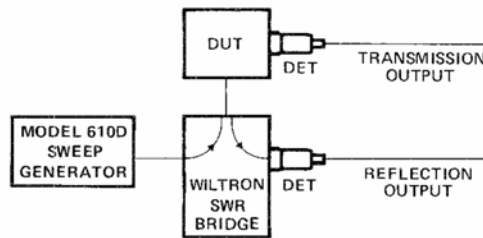


Figure 15. Simultaneous Measurement of Transmission and Reflection

شکل (۲-۵)

ت) تحلیل گرهای شبکه

با استفاده از تحلیل گرهای شبکه (*Network analyzer*) میتوان مستقیماً دامنه و فاز سیگنال انعکاس و یا سیگنال عبور را تعیین کرد. این دستگاهها در حقیقت سیگنال مورد آزمایش (انعکاس و یا عبور) و هم چنین سیگنال های کالیبراسیون (اتصال کوتاه در انعکاس و سیگنال عبور بدون دستگاه مورد آزمایش در حالت عبور) را با سیگنالی که از سیگنال ژنراتور دریافت میکنند، مقایسه کرده و نسبت دو سیگنال اندازه گیری و کالیبراسیون را، از نظر دامنه و فاز تعیین میکنند. در این دستگاه ها سیستم رفلکتومتری، عبور، و نشان دهنده، همگی در یک مجموعه قرار گرفته اند.

۲-۱-۲- منابع ایجاد خطا در اندازه گیری انعکاس

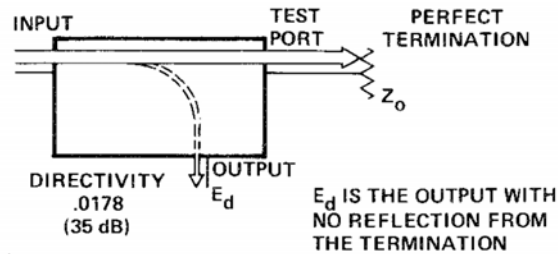
اندازه‌گیریها قلب طراحی تحلیلی و تولید کنترل شده هستند. استفاده از پلهای انعکاسی (REFLECTION BRIDGE) باعث کم شدن میزان خطا نسبت به روش استفاده از دایرکشنال کوپلر دوبل است. این بخاطر دایرکتیویته بالاتر پلها و در نتیجه کم کردن خطای سیستم است. پیشرفت‌های اخیر به تولید پلهای کواکسیال با قابلیت استفاده در باند وسیع تا 18GHz منتهی شده است.

برای اندازه‌گیری سیگنال انعکاسی باید از یک وسیله‌ی جهت‌دار، برای جدا کردن سیگنال انعکاسی (REFLECTED) از سیگنال تابش (INCIDENT) یا سیگنال مورد آزمایش (TEST)، استفاده کرد. دقت اندازه‌گیری انعکاس به وسیله‌ی جهت‌داری^۱ که مورد استفاده واقع می‌شود و هم‌چنین سیستم اندازه‌گیری بستگی دارد. ابتدا خطای ایجاد شده توسط وسیله‌ی جهت‌دار و سیستم مورد استفاده بررسی و سپس روشهای تقلیل خطا ذکر می‌شود.

¹ - DIRECTIONAL DEVICE

الف: خطای دایرکتیویته

دو خصوصیت وسیله‌ی جهت‌دار، از هر نوع که باشد در میزان دقت اندازه‌گیری دخالت دارد. اولین خصوصیت دایرکتیویته است. در شکل (۶-۲) دایرکشنال کوپلر به باری با امپدانس ایده‌آل Z_0 متصل شده است. بنابراین همه‌ی انرژی از شاخه‌ی مورد آزمایش جذب شده و لذا سیگنال بطرف خروجی سنجش باز نمی‌شود.



شکل (۶-۲)

در این حالت بهر حال یک خروجی وجود دارد که این مقدار دایرکتیویته است و با E_d نمایش داده می‌شود. این سیگنال بعلت ایده‌آل نبودن وسیله‌ی جهت‌دار، از نظر توجیهی، که می‌تواند بعلت اشکال هندسی، عدم تطبیق اتصالات دهانه‌ها و یا عدم جذب کلیه انعکاسات داخلی باشد، بوجود می‌آید. در شکل (۷-۲) میزان و وضعیت سیگنال برای یک دایرکشنال کوپلر با دایرکتیویته ۳۵dB، نشان داده شده است.

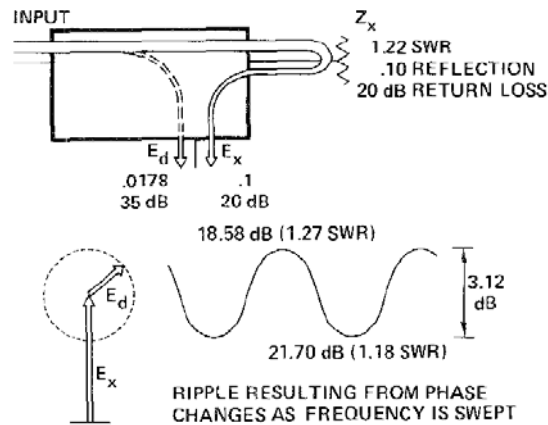
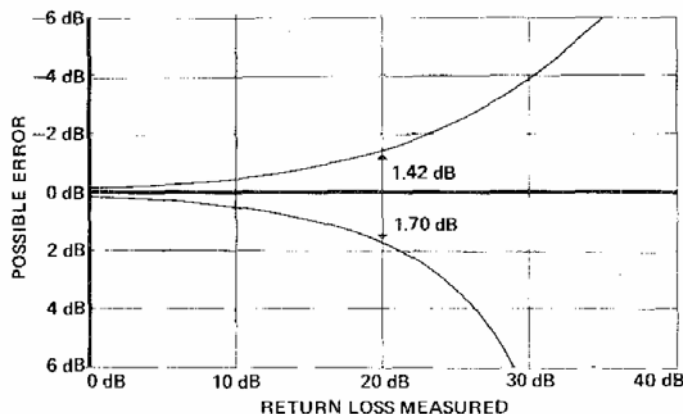


Figure 3. Possible Error of a 1.22 SWR Caused by Directivity

شکل (۷-۲)

در این شکل اثر دایرکتیویته روی اندازه‌گیری مشخص شده است. در این جا فرض بر آنست که وسیله مورد اندازه‌گیری دارای افت انعکاس معادل ۲۰dB است. این انعکاس که ۲۰dB سطح کمتر از انعکاس کامل، فقط ۱۵dB بیشتر از سیگنال ناشی از دایرکتیویته E_d است. یعنی یک انعکاس ۲۰dB می‌تواند بین ۱۸/۵۸dB تا ۲۱/۷dB اندازه‌گیری شود. در شکل (۸-۲) میزان خطا در اندازه‌گیری با یک وسیله دارای ۳۵dB دایرکتیویته، نشان داده شده است و مشخص است که این خطا در اندازه‌گیری‌های با افت انعکاسی بالا (انعکاس خیلی کم)، بشدت زیاد است.



شکل (۲-۸)

قابل توجه است که خطا در مورد وسیله‌ای که افت انعکاسی آن برابر با دایرکتیویته وسیله جهت‌دار باشد، بین 6dB تا $-\infty\text{dB}$ است.

ب: خطای عدم تطبیق دهانه آزمایش

دومین خطای اندازه‌گیری در وسیله جهت‌دار مربوط به میزان تطبیق در دهانه‌ی متصل شونده به مدار مورد آزمایش که از این به بعد دهانه‌ی آزمایش نامیده می‌شود، است. در مورد کولرها این خصوصیت بعنوان ضریب سکون شاخه‌ی اصلی^۱ نامیده می‌شود. در شکل (۲-۹) اثر عدم تطبیق دهانه آزمایش نشان داده شده است.

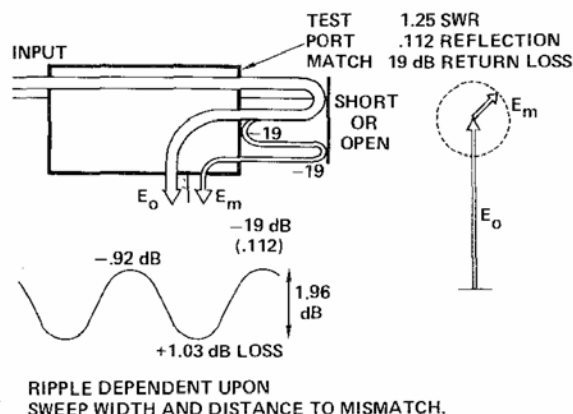


Figure 5. Possible Error Due to Full Reflection

شکل (۲-۹)

انعکاس کامل، تمامی سیگنال تابش را برگردانده و یک خروجی مینا ایجاد می‌کند. مقداری از این موج بعلت عدم تطابق شاخه‌ی آزمایش، مجدداً بطرف بار مورد آزمایش منعکس شده و دوباره به دهانه‌ی آزمایش باز می‌شود. این سیگنال دوباره منعکس شده، می‌تواند با سیگنال منعکس شده‌ی اصلی جمع برداری شده و ایجاد خطا کند. مثلاً برای عدم تطبیقی برابر ضریب سکون 19dB در شاخه‌ی آزمایش، $1/2$ از سیگنال منعکس شده اصلی مجدداً بطرف بار بر می‌شود که این سیگنال 19dB پائین تر از سیگنال منعکس شده‌ی اصلی است. این سیگنال پس از برخورد مجدد به اتصال کوتاه دوباره منعکس شده و بطرف دهانه‌ی آزمایش می‌رود. با توجه به جدول RF ، دیده می‌شود که این سیگنال می‌تواند بین -0.93dB تا

¹ - MAIN OR PRINCIPAL ARM SWR

روی دامنه سیگنال منعکس اصلی تأثیر بگذارد. باید توجه داشت که از انعکاسات درجه دوم و بالاتر بعثت اینکه در هر بار ۱۹dB تضعیف می‌شود، صرف‌نظر شده است.

اگر اندازه‌گیری با جاروی فرکانسی انجام شود، این تغییرات روی منحنی رسم شده کاملاً مشخص است. تواتر این نوسانات بستگی به پهنای فرکانس جارو شده و فاصله اتصال کوتاه از دهانه آزمایش دارد. خطای مذکور هر چه وسیله اندازه‌گیری شده دارای تطبیق بهتری باشد، یعنی افت انعکاسی (R.L) بیشتری داشته باشد، کمتر می‌شود. این موضوع را می‌توان از روی شکل (۱۰-۲) دریافت.

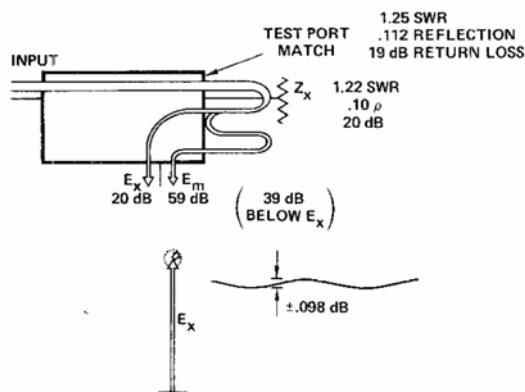


Figure 6. Possible Error of a 1.22 SWR Caused by Test Port Match

شکل (۱۰-۲)

در این جا فرض شده که (افت انعکاسی برابر با ۲۰dB است. در اینصورت سیگنال دوباره منعکس شده از دهانه‌ی آزمایش (که فرض شده دارای افت انعکاسی ۱۹dB است) پائینتر از سیگنال منعکس شده‌ی اصلی توسط وسیله‌ی مورد آزمایش است. این سیگنال پس از رسیدن به بار مورد آزمایش، با ۲۰dB تضعیف مجدداً به دهانه‌ی آزمایش باز می‌شود که در اینحالت مجموعاً ۱۹+۲۰=۳۹dB نسبت به سیگنال منعکس شده اصلی از وسیله‌ی مورد آزمایش ضعیف‌تر است. جمع برداری این دو سیگنال با ۳۹dB اختلاف با توجه به جدول اندازه‌گیری RF، می‌تواند تغییراتی برابر با $\pm 0.98\text{dB}$ ایجاد کند. شکل (۱۱-۲) خطای حاصله را برای مقادیر مختلف عدم تطبیق دهانه‌ی آزمایش نشان می‌دهد.

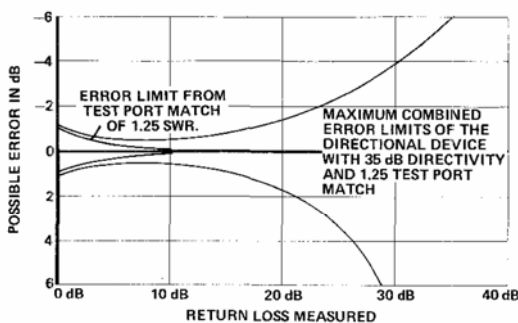


Figure 7. Error Limits of a Directional Device When Measuring a Reflection

شکل (۱۱-۲)

ملاحظه می‌شود که این خطا بر خلاف انتظار اثری برعکس خطای قبلی دارد. قابل توجه است که در مثال بالا یک ضریب سکون ۱/۲۲ با کوپلری با ضریب سکون ۱/۲۵ اندازه‌گیری شده است. خطای عدم تطبیق شاخه‌ی آزمایش در انعکاس کامل بیشتر شده و با کم شدن انعکاس، خطای اندازه‌گیری هم کم می‌شود. باین ترتیب دیده می‌شود که این خطا بیشتر روی

حالت کالیبراسیون، که با انعکاس کامل حاصل می‌شود، تأثیر می‌گذارد. در قسمتهای بعدی راه ترمیم این خطا مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در شکل (۲-۱۱) مجموعه‌ی خطا باریک دایرکشنال کوپلر با کوپلینگ 35dB و عدم تطبیق شاخه‌ی آزمایش با افت انعکاسی برابر با 19dB نشان داده شده است. شکل (۲-۱۲) این منحنی را برای مقادیر مختلف دایرکتیویته از 20dB تا 50dB و عدم تطبیق دهانه آزمایش با افت انعکاسی 9dB نشان می‌دهد. برای جمع دو خطا باید پس از تبدیل خطاها به دامنه، با هم جمع شده و نتیجه به dB تبدیل شود.

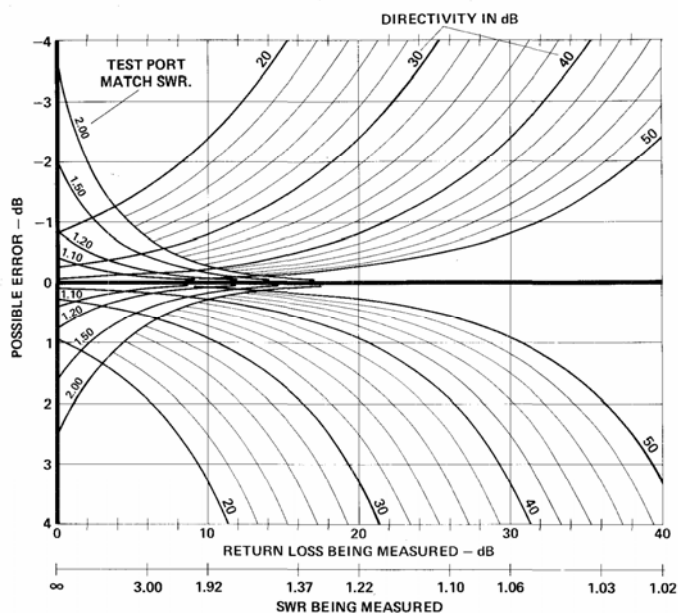


Figure 8. General Error Limit Curves for a Directional Device

شکل (۲-۱۲)

وقتی وسیله‌ی جهت‌دار به سیستمهای دیگری جهت تکمیل مدار اندازه‌گیری متصل می‌شود، منابع خطای جدیدی باید مورد توجه قرار گیرند. در خطای مهم قابل ذکر هستند. اولین خطا کاربرد دکتور است که در سیگنالهای ضعیف دارای منحنی درجه دوم بوده و برای قدرتهای بالاتر منحنی آن خطی است. خطای دیگر موضوع تطبیق منبع است. مسأله دکتور را می‌توان با استفاده از لول مترهای لگاریتمی که دارای مدار تصحیح جواب دکتور است، حل کرد.

پ: خطای عدم تطبیق منبع

خطای دیگر از عدم تطبیق منبع با مدار حاصل می‌شود. در شکل (۲-۱۳) این موضوع برای یک دایرکشنال کوپلر نشان داده شده است. افت کوپلر خیلی کم در نظر گرفته می‌شود. (برای 20dB کوپلینگ این مقدار برابر با 45% است). وقتی برای بدست آوردن سیگنال مبنا انتهای کوپلر را اتصال کوتاه کنیم، این سیگنال منعکس به طرف منبع رفته و پس از انعکاس از آن (بعلت عدم تطبیق آن با کوپلر)، دوباره بدون تضعیف برگشته و پس از انعکاس مجدد از اتصال کوتاه، با سیگنال مبنا جمع برداری خواهد شد. در اینجا نیز از انعکاسات مرتبه دوم و بالاتر صرف‌نظر شده است. در شکل مزبور مقادیر برای منبعی با افت انعکاسی 9dB تعیین شده‌اند. در مورد دایرکشنال کوپلر سیگنال منعکس شده از منبع فقط $9/5\text{dB}$ ($\text{SWR}=2$) پائینتر از سیگنال اصلی است. به این ترتیب دیده می‌شود که این سیگنال می‌تواند تغییرات حدود 6dB علاوه بر خطاهای قبلی در اندازه‌گیری ایجاد کند.

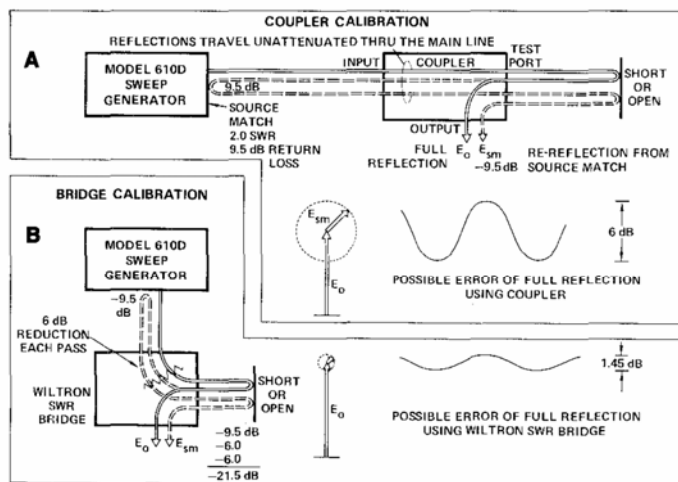


Figure 13. Effect of Source Match on Calibration for Reflection Measurements

شکل (۱۳-۲)

اگر بجای کوپلر از پلهای اندازه‌گیری انعکاسی استفاده شود، بعثت اینکه سیگنال رسیده از شاخه‌ی تابش به شاخه‌ی آزمایش و بالعکس، ۶dB تضعیف می‌شود، تفاوت سیگنال منعکسه اصلی و سیگنال دوباره منعکس شده از منع ۱۲dB بیشتر خواهد شد یعنی این اختلاف به $12 + 9/5 = 21/5$ dB میرسد. یعنی در این حالت حدود تغییرات به ۱/۴۵dB تبدیل می‌شود که $\frac{1}{4}$ تغییرات با حالت دایرکشنال کوپلر است.

با اضافه کردن تضعیف کننده ۶dB می‌توان این خطا را بهبود بخشید ولی بخاطر عدم تطبیق تبدیل کننده یا اتصال دهنده و در نتیجه ایجاد خطای جدید، بهر حال استفاده از پلهای بهتر است.

در عمل باید توجه داشت که کوپلینگ ۶dB افزوده می‌شود یعنی برای یک کوپلر ۱۰dB این مقدار به ۱۶dB میرسد که در مقایسه با پل که دارای کوپلینگ ۱۲dB است، سیستمی دارای ۴dB حساسیت کمتر است. بکار بردن ایزولاتور بجای تضعیف کننده نیز ممکن است، لیکن سیستم دارای قیمت بیشتری شده و ضمناً محدودیت فرکانسی پیش خواهد آمد.

ت: خطای عدم تطبیق تبدیل کننده‌ها (ADAPTERS) یا اتصال دهنده‌ها (CONNECTORS)

کاربرد تبدیل کننده‌ها برای تطبیق دهانه آزمایش به دهانه‌ی وسیله مورد اندازه‌گیری باعث ایجاد خطا از دو طریق، یکی کاهش دایرکتیویته سیستم بعثت انعکاس از تبدیل کننده و دیگری عدم تطبیق شاخه آزمایش، می‌شود. در شکل (۲-۱۴) یک تبدیل کننده با $RL = 32$ dB به یک دایرکشنال کوپلر (یا پل اندازه‌گیری) با دایرکتیویته ۳۶dB و تطبیق شاخه آزمایش با $SWR = 1/25$ متصل شده است. مطابق جدول RF دایرکتیویته کوپلر برابر با ضریب انعکاسی معادل ۰/۰۱۶ و انعکاسی از تبدیل کننده برابر با ۰/۰۲۵ است. این دو انعکاس در حالت همفاز بودن برابر با ۰/۰۴۱ است که معادل دایرکتیویته-ای برابر ۲۷/۷۴dB است. ضریب سکون ۱/۲۵ برای شاخه آزمایش معادل انعکاسی برابر با ۰/۱۱۲ است. که در حالیکه با انعکاس تبدیل کننده بطور همفاز جمع شود برابر با $0/112 + 0/25 = 0/137$ می‌شود. در اینصورت عدم تطبیق موثر دهانه آزمایش دارای ضریب سکونی برابر با ۱/۳۲ خواهد بود که معادل افت انعکاسی ۱۷dB است.

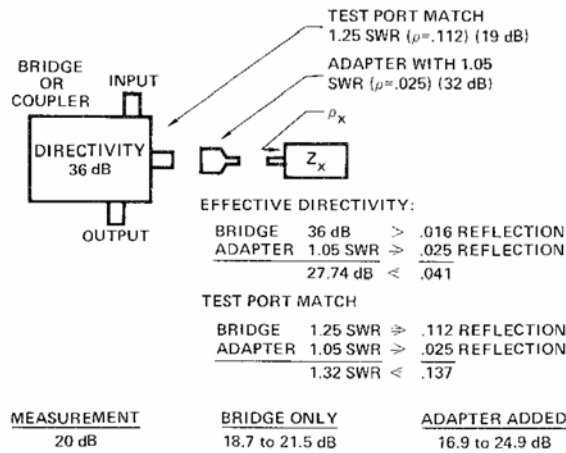


Figure 16. Adaptor Error Effects on Reflection Measurement

شکل (۲-۱۴)

در زیر جدول خطا برای یک افت انعکاسی ۲۰dB در حالتی که با یک تبدیل کننده با $R_L = 32dB$ به یک دایرکشنال کوپلر با دایرکتیویته ۳۶dB متصل شود، مشخص شده است.

| Measurement | Error Limits | |
|-------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | Bridge Only | Adapter Added |
| 20 dB | +1.3 to -1.5 dB $\Delta = 2.8$ dB | +3.1 to -4.9 dB $\Delta = 8.0$ dB |

دیده می شود که خطای ۲/۸dB با اضافه کردن یک تبدیل کننده با ضریب سکون ۱/۰۵، تبدیل به خطای ۸dB می شود. در شکل (۲-۱۵) خطای ناشی از اضافه کردن تبدیل کننده، دستگاه مورد آزمایش نشان داده شده است. این خطا باید به خطای سیستم اندازه گیری اضافه شود. اضافه کردن تبدیل کننده در هر جای دیگر سیستم اندازه گیری نیز خطاهایی، البته کمتر از این مقدار ایجاد میکند که محاسبات را پیچیده تر خواهد کرد.

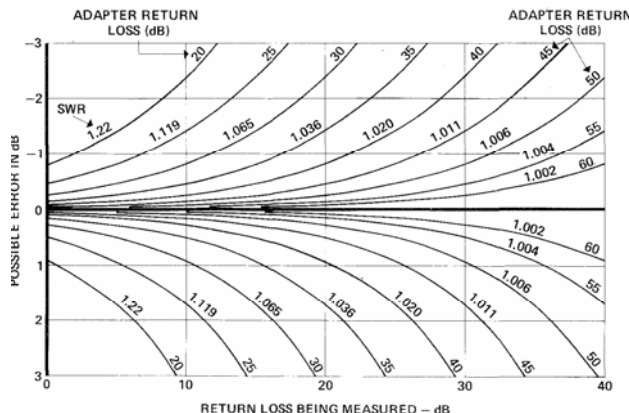


Figure 17. Uncertainty Due to Adapter Error

شکل (۲-۱۵)

ث- خطای ناشی از هارمونیکها و سیگنالهای ناخواسته منابع تولید سیگنال

بخاطر عرض باند زیاد دتکتورها، وجود سیگنالهای ناخواسته و هارمونیکها می‌توانند خطای جدی در اندازه‌گیری ایجاد کنند. چون سیگنالهای ناخواسته در منابع، تقریباً بعلت پائین بودن سطح آنها قابل صرف‌نظر هستند، لذا بحث روی اثر هارمونیکها متمرکز می‌شود. اثر سیگنالهای ناخواسته نیز می‌تواند با روشی مشابه مورد بررسی قرار گیرند. محدود کردن خطاهای ممکن در اثر هارمونیکها مشکل است زیرا آنها بسته به موقعیت، در مورد وسایل اندازه‌گیری که دارای باند وسیعی هستند، دارای مشخصات غیر معینی در خارج باند هستند. دو مثال زیر چگونگی اثر این خطا را روشن میکنند.

وسایل اندازه‌گیری با مشخصات فرکانسی تیز، دارای حساسیت بسیار زیاد نسبت به خطای هارمونیکها هستند. فرض کنیم در شکل (۲-۱۶) یک فیلتر (NOTHC) بعنوان وسیله مورد اندازه‌گیری مورد بررسی قرار گیرد.

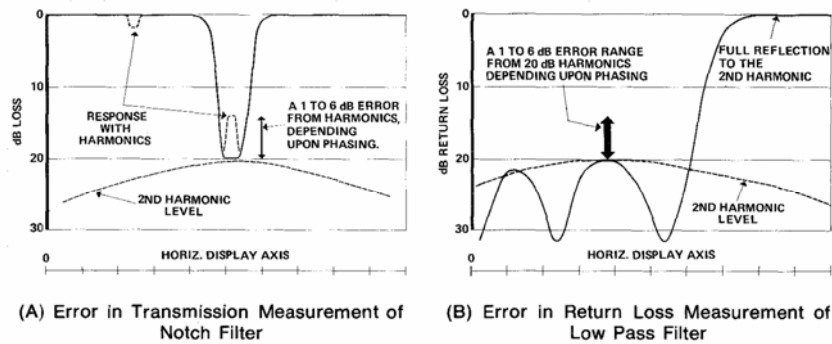


Figure 19. Errors Caused by 20 dB Harmonics

شکل (۲-۱۶)

جواب عبوری فیلتر نسبت به فرکانس با خط پرکشیده شده است. ضمناً سطح هارمونیکها نیز برای یک سویچ ژنراتور حدود ۲۰dB زیر سیگنال اصلی مشخص شده است. در فرکانس F_1 ، NOTCH، فرکانس اصلی ۲۰dB تضعیف می‌شود ولی هارمونیک دوم تضعیف نشده و هر دو سیگنال با دامنه مساوی در خروجی دتکتور ظاهر می‌شوند. سیگنال هارمونیک می‌تواند خروجی دتکتور را بین ۱dB تا ۶dB، بسته به فاز آندو، تغییر دهد. با توجه باینکه فیلتر روی فاز اثر می‌گذارد، منحنی رسم شده جزئیات واقعی عمق NOTCH را مشخص میکند. بهمین ترتیب اثر فرکانس نصف F_1 نیز اختلالاتی را ایجاد میکند.

فیلترهای باند گذر و یا پائین گذر بخصوص نسبت به خطای هارمونیکها در اندازه‌گیری افت انعکاسی حساس هستند. وقتی اندازه‌گیری انعکاس هارمونیک اصلی در باند عبور انجام می‌شود، هارمونیکها کاملاً منعکس می‌شوند و لذا جداً ایجاد خطا میکنند.

شکل (۱۲b-۱) نشان می‌دهد که برای حالتی که هارمونیکها ۲۰dB پائین تر از سیگنال اصلی هستند، خطای حاصل برای افت انعکاسی فیلتر پائین گذر می‌تواند تا ۶dB باشد. شکل (۲-۱۷) حدود خطای حاصل از هارمونیک دوم را نشان می‌دهد.

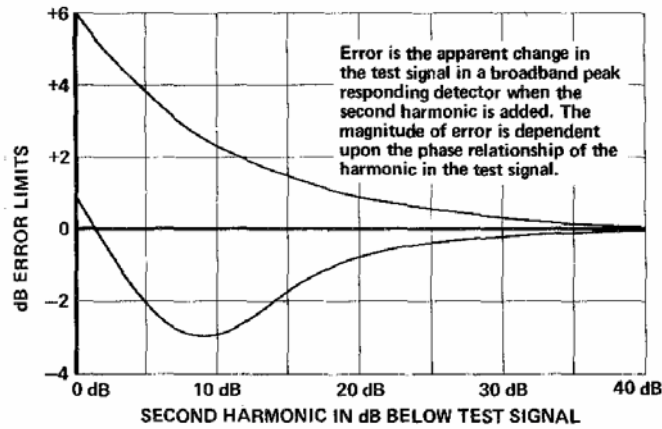


Figure 20. Second Harmonic Error Contribution Limits

شکل (۲-۱۷)

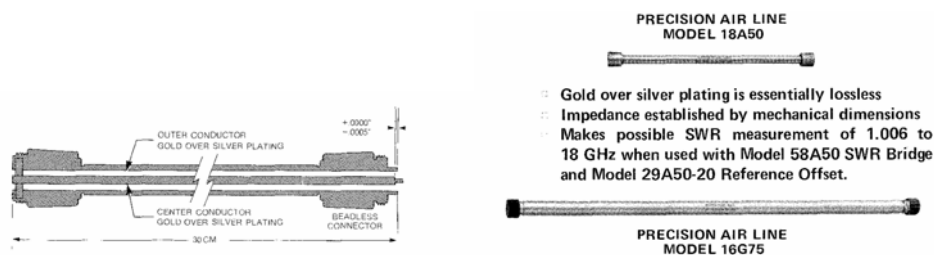
۲-۱-۳- روش جدا سازی خطا در اندازه گیری انعکاس

الف) متوسط گیری (AVERAGING) خطا

در اندازه گیری انعکاس تعیین تolerانسها و خطاها بسیار تعیین کننده است. در نتیجه مرغوبیت عملی یک سیستم اندازه گیری می تواند بشدت با این خطاها مورد آسیب قرار گرفته و اختلاف زیادی بین مقادیر واقعی و مقادیر اندازه گیری شده بوجود آید.

برای مثال با وسایل و سیستم اندازه گیری قابل قبول، برای ادوات هم محور^۱ با ضریب انعکاسی بین ۰/۰۵ تا ۰/۲ میزان خطا حدود ۲ تا ۴dB است. با تبدیل این مقادیر به ضریب انعکاس، ملاحظه می شود که خطای اندازه گیری بسیار زیاد یعنی بین ۲۰٪ تا ۶۰٪± است. یعنی یک ضریب انعکاس ۰/۱۳ (یا ضریب سکون ۱/۳) می تواند ۰/۰۹ یا ۰/۱۸ اندازه گیری شود. یعنی کمیت اندازه گیری شده در یک حالت می تواند ۲ برابر همان مقدار کمیت دارای خطا باشد و برای یک ضریب انعکاس ۰/۰۵ (SWR=۱/۱) وضعیت خیلی بدتر است یعنی مقدار اندازه گیری شده می تواند بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۸ یعنی خطایی حدود ۲/۶ برابر باشد. واضح است که این میزان خطا چقدر در اندازه گیریها موثر است.

یکی از روشهای کاهش خطا بکار بردن خط اضافه دقیق (PRECISION AIR LINE) (شکل ۲-۱۸) جهت جدا کردن سیگنال خطا از سیگنال اصلی است. بکمک این روش ضریب انعکاسهایی حدود ۰/۰۵ را می توان با تقریب $\pm 2\%$ اندازه گیری کرد.



شکل (۲-۱۸)

^۱ - COAXIAL

در مدارهای رفلکتومتری سیگنال مورد نظر و سیگنال ایجاد شده توسط دایرکتیویته در شاخه اندازه‌گیری با فازهای مربوطه، که بستگی به عوامل مختلف و منجمله اختلاف مسیر دارند، خواهند رسید. (شکل ۲-۱۹)

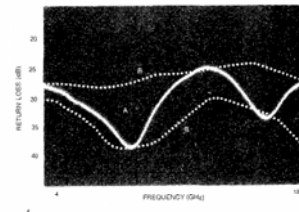
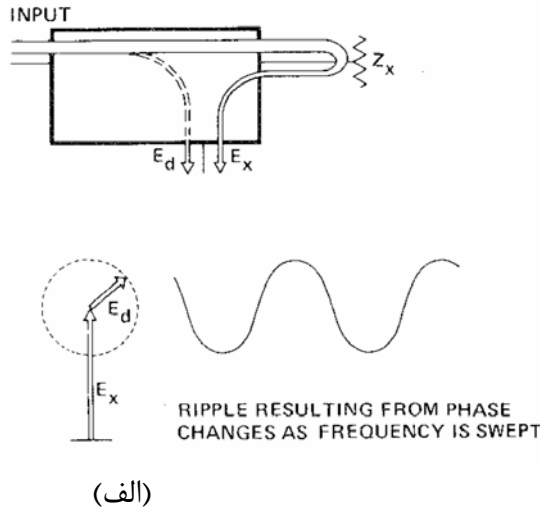
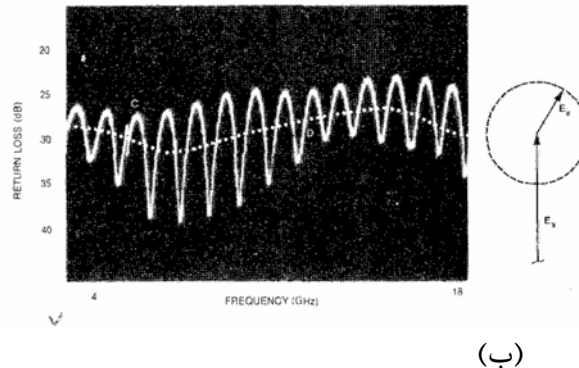
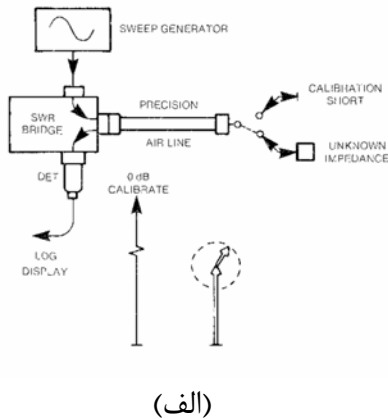


Figure 26(a). Comparison of typical measurements with and without averaging method. The return loss of a coaxial pad is being measured in the conventional way using an SWR bridge having 40 dB directivity. The dotted lines (B) show the range of possible uncertainty and how it relates to the actual measurement trace (A).

شکل (۲-۱۹)

همان طور که در شکل نشان داده شده، با تغییر فرکانس فاز سیگنالها هم تغییر خواهد کرد. این تغییرات در عمل نسبتاً کم است و تعیین نسبت دامنه دو سیگنال (اصلی و دایرکتیویته) از ترکیب آنها قابل تشخیص نیست. اما چنانچه مطابق شکل (۲-۲۰-الف) مسیر اتصال دهانه آزمایش به وسیله‌ی مورد آزمایش (یا کالیبراسیون) افزایش یابد، اثر خط با طول زیادتر ظاهر شده و تغییرات دامنه دارای تواتری بیشتر خواهد شد (شکل ۲-۲۰-ب). بعبارت دیگر تغییرات فاز سیگنال شدیداً روی دامنه اثر خواهد گذاشت.



شکل (۲-۲۰)

از این شکل نتیجه می‌شود که سیگنال خطا (در اثر دایرکتیویته) بصورت تغییرات دامنه (RIPPLE) روی سیگنال اصلی ظاهر شده است. یعنی تغییرات شدید دامنه مربوط به سیگنال خطا است. با توجه به این شکلها دیده می‌شود که براحتی می‌توان سیگنال خطا را که قبلاً نایقینی نامشخصی را ایجاد می‌کرد، از سیگنال اصلی جدا کرده و میزان خطا را تعیین کرد. یعنی مقدار انعکاس مورد نظر که انعکاس وسیله‌ی مورد آزمایش است، متوسط (AVERAGE) منحنی فوق است. یعنی باید متوسط بین یک حداکثر و حداقل بعدی سیگنال پیک (PEAK) را تعیین کرد. این روش متوسط‌گیری خطا (ERROR AVERAGING) نامیده می‌شود. با بکاربردن این روش می‌توان سیگنال خطا را از سیگنال اصلی کاملاً جدا

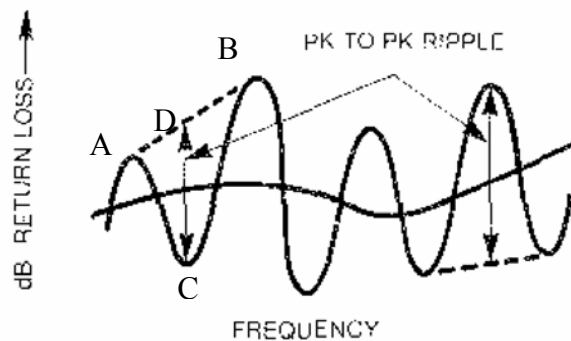
کرد. شکل (۲-۱۹-ب) مقایسه اندازه‌گیری با روش متوسط‌گیری و بدون آن را نشان می‌دهد. اندازه‌گیری برای یک (PAD) کواکسیال با پل اندازه‌گیری با دایرکتیویته 40dB انجام شده است. منحنی‌های نقطه چین شده حدود نایقینی ممکن در اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. منحنی A شکل اصلی انعکاس است. در شکل (۲-۲۰-ب) همان اندازه‌گیری ولی با اضافه کردن خط با طول زیاد انجام شده است. در اینحالت سیگنال دایرکتیویته با جارو کردن فرکانس با تغییر فاز شدیدتری روی دامنه سیگنال اصلی اثر می‌گذارد.

منحنی متوسط D از روی منحنی اصلی C بسادگی بدست آمده و لذا افت انعکاسی حقیقی را تعیین می‌کند. شکل فوق نشان می‌دهد که در بدترین حالت افت انعکاسی وسیله‌ی مورد اندازه‌گیری 3dB بهتر از اندازه‌گیری بدون استفاده از خط با طول زیاد است.

ترمیم دقت کالیبراسیون: با بکاربردن خط با طول زیاد جهت کالیبراسیون، سیگنال انعکاسی از اتصال کوتاه با سیگنال انعکاسی در اثر عدم تطبیق دانه آزمایش ترکیب شده و ایجاد تغییرات (RIPPLE) می‌کند. با روش «متوسط‌گیری خطا» دقت کالیبراسیون از 1dB مجدد 0.1dB افزایش می‌کند. این متوسط‌گیری معادل روشی است که گاهی اوقات با بکاربردن اتصال کوتاه و اتصال باز، هر دو، انجام می‌شود.

ترمیم اندازه‌گیری سیگنال‌های ضعیف: در کاربرد «خط با طول زیاد» در اندازه‌گیری از اثر متقابل سیگنال ایجاد شده در اثر دایرکتیویته و سیگنال اصلی انعکاس استفاده شده است. با توجه به شکل دیده می‌شود که با روش کالیبراسیون مورد بحث می‌تواند سیگنال دایرکتیویته را تعیین کرد. بنابراین مقدار انعکاس مورد نظر نیز می‌توان با روش متوسط‌گیری تغییرات (RIPPLES) تعیین شود. اثر کلی روش «متوسط‌گیری خطا»، تعیین انعکاس مستقل از میزان دایرکتیویته است. نتیجه آنست که اندازه‌گیری می‌تواند با دایرکتیویته سیستم حدود 3dB و استفاده از جدول اندازه‌گیری RF، انجام گیرد. در اینحالت تغییرات خطا حدود 0.2dB و یا ± 0.2 است که نسبت به خطای ± 0.20 تا ± 0.60 بسیار قابل توجه است.

برای متوسط‌گیری منحنی‌ها؛ دو نقطه ماکزیمم یا می‌نیمم مجاور (A,B) به یکدیگر متصل شده و سپس فاصله محدودی بین خط وصل شده و می‌نیمم (یا ماکزیمم) موجود بین آن (DC) برحسب dB اندازه‌گیری می‌شود. (شکل ۲-۲۱). اگر فاصله‌ی ماکزیمم یا می‌نیمم (peak to peak) کمتر از 2dB باشد، نصب کردن این مقدار، مقدار متوسط را با تقریب خوبی مشخص می‌کند.



شکل (۲-۲۱)

چنانچه این مقدار زیاد باشد باید از جدول RF استفاده کرد. به این معنی که اگر مثلاً مقدار مذکور $7/4\text{dB}$ باشد مقدار متوسط $4/4\text{dB}$ بیشتر از می‌نیمم (نقطه C) و $2/9\text{dB}$ کمتر از ماکزیمم (نقطه D) است. به این ترتیب می‌توان مقدار متوسط دقیق را تعیین کرد.

جدول زیردقتهای عملی اندازه‌گیری شده با خط با طول زیاد و بدون آن را مشخص می‌کند. ملاحظه می‌شود که دقت بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است.

COMPARISON OF ACCURACIES WITH AND WITHOUT AVERAGING*

| MEASURED REFLECTION COEFFICIENT | TYPICAL TOLERANCES WITHOUT AVERAGING TECHNIQUE | TYPICAL TOLERANCES WITH AVERAGING TECHNIQUE |
|---------------------------------|---|---|
| 0.2 | ± 1 dB calibration | ± 0.1 dB calibration ± 0.04 dB test port & directivity |
| | ± 0.8 dB directivity error (from 35 dB directivity) ± 0.2 dB test port mismatch effect (from 19 dB test port mismatch) | |
| | ± 2 dB (± 20%) | ± 0.14 dB (± 2½%) |
| 0.05 | ± 1 dB calibration uncertainty | ± 0.1 dB calibration ± 0.17 dB directivity & test port ± 0.27 dB (± 3%) |
| | ± 3.0 dB directivity error | |
| | ± 0.15 dB test port mismatch | |
| | ± 4.15 dB (± 60%) | |

روش فوق می‌تواند با دایرکشنال کوپلر دوپل و یا با پل انجام شود. کوپلرهای کواکسیال دارای انعکاس داخلی بیشتری هستند. ولی کاربرد پل اندازه‌گیری خطای کمتری بوجود می‌آورد. خطوط با طول زیاد (AIRLINE) دقیق^۱ ضریب سکونی کمتر از ۱/۰۰۲ (۶۰dB افت انعکاسی) دارند. ابعاد خطوط مورد استفاده در این روش باید بسیار دقیق بوده بطوریکه تغییرات امپدانسی آن حدود ۰/۰۲٪ باشد.

یکی از مسائلی که اثر مهمی در بهبود دقت اندازه‌گیری دارد، روش کالیبراسیون است. با استفاده از روش زیر می‌توان خطای مبنای کالیبراسیون را کاهش داد. در این روش برای کالیبراسیون از اتصال کوتاه و باز هردو استفاده می‌شود. شکل (۲-۲) مزیت حاصله را نشان می‌دهد. اتصال باز ولتاژ A را در فرکانس f_1 ایجاد می‌کند.

با جارو کردن فرکانس منحنی پرتو رسم شده بوجود خواهد آمد. با بکاربردن اتصال کوتاه بجای اتصال باز یک تغییر فاز 180° نسبت به حالت قبلی ایجاد می‌کند که ولتاژ B در نقطه f_1 و منحنی نقطه چین با جاروی فرکانس را بوجود می‌آورد. با متوسط گیری این دو منحنی دقت کالیبراسیون بطور بسیار محسوسی بهبود می‌یابد. این مقدار در فرکانس f_1 در نقطه C و در فرکانس های مختلف با خط پرننگ نشان داده شده است. بهمین ترتیب در فرکانس f_2 نیز ولتاژهای مربوطه نشان

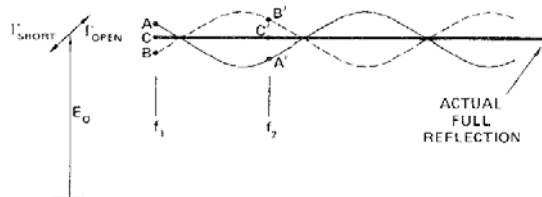


Figure 18. Preferred Reflection Calibration with Open/Short Reference

شکل (۲-۲) (۲۲-۲)

داده شده‌اند. این روش نتایج خیلی خوبی برای وقتی که عدم تطبیق در دهانه آزمایش و یا دهانه متصل شونده به منبع مهم هستند و یا نسبتاً در فاصله زیادی نسبت بهم قرار گرفته‌اند، بدست می‌دهد. عوامل نامساعدی مانند پوش در جواب به فرکانس و اثر هارمونیکها، موثر بودن این روش را محدود می‌کند.

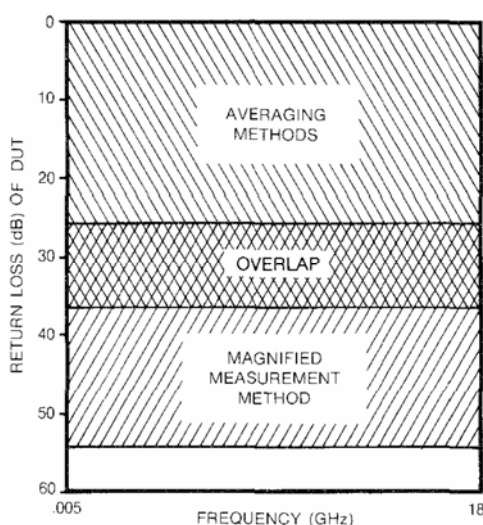
^۱ - ساخت شرکت ویترون (PRECISION AIR LINE)

اتصال کوتاه و یا باز مورد استفاده ، معمولاً متشکل از خطی با اختلاف طول $\lambda/4$ هستند که البته بعلت تغییر فرکانس این طول تغییر می‌کند و بنابراین از این نظر نیز محدودیتهایی ایجاد می‌شود.

ب) بزرگ کردن سیگنال ناخواسته مبنا برای اندازه‌گیری افت انعکاسی خیلی کم

در قسمت قبل نشان داده شد که چگونه می‌توان بکمک خط با طول زیاد، ضریب انعکاسهایی حدود ۵٪ (R.L.=۲۶dB) را بدقت اندازه‌گیری کرد. این اندازه‌گیری دارای دقتی ۲۰ مرتبه بهتر از حالتی بود که خط مذکور بکار نمی‌رفت.

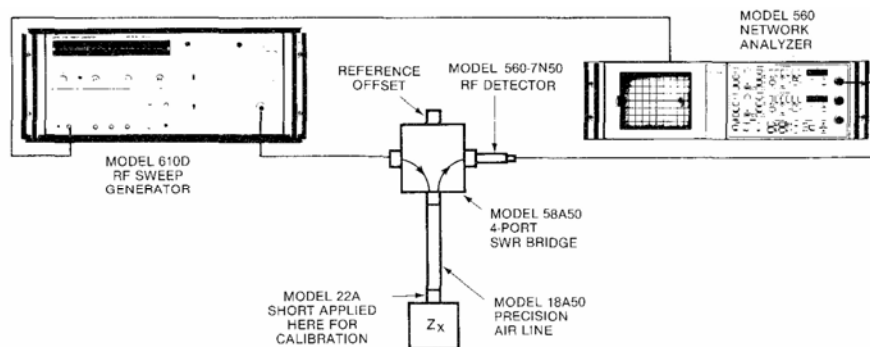
در این قسمت، منظور چگونگی اندازه‌گیری انعکاس‌هایی خیلی کمتر است. با روش زیر می‌توان با بکاربردن دایرکشنال کوپلر و یا پل انعکاسی به دایرکتیویته موثر حدود ۶۰dB رسید، و انعکاسهایی حدود و یا بیشتر از ۵۰dB را اندازه‌گیری کرد. شکل (۲-۲۳) حدود کاربرد هر روش را مشخص می‌کند.



شکل (۲-۲۳)

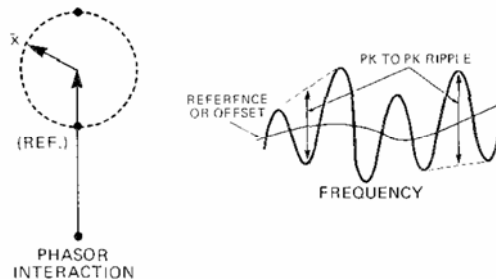
در شکل (۲-۲۴) سیستم اندازه‌گیری مشخص شده است. این سیستم با دو اختلاف، مشابه روش «متوسط‌گیری خطا» است. یکی اینکه از پل چهار قطبی استفاده شده و دیگر آنکه شاخه‌ی مبنای پل به یک بار انتهایی که دارای انعکاسی مشخص و ثابت در طول باند فرکانس است، بسته شده است.

بار با انعکاس معین برای ایجاد انعکاسی ثابت، معمولاً ۲۰dB، طرح شده است. چون ساختمان پل طوری است که تقریباً انعکاس قابل اهمیت دیگری وجود ندارد، باین ترتیب دایرکتیویته پل برابر با ۲۰dB خواهد بود. البته دانستن مقدار این انعکاس یا دایرکتیویته، همانطور که بعداً خواهد آمد مهم نیست.



شکل (۲-۲۴)

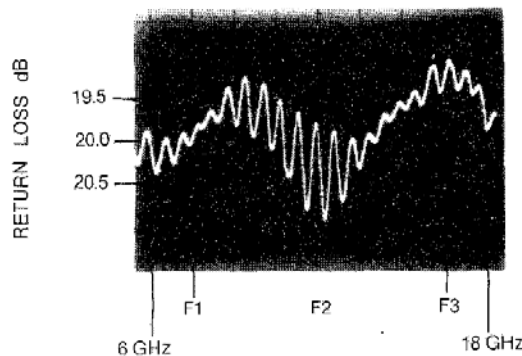
در شکل (۲-۲۵) چگونگی استفاده از این انعکاس ثابت و نسبتاً زیاد مشخص شده است. در اینجا برخلاف روش متوسط‌گیری، سیگنالی که باید اندازه‌گیری شود کوچکتر از سیگنال ۲۰dB انعکاس از پل است. وقتی فرکانس ورودی تغییر می‌کند، همان تغییرات (RIPPLE) ایجاد می‌شود لیکن در اینحالت سیگنالهای انعکاسی اصلی وسیله‌ی اندازه‌گیری است که روی سیگنال دایرکتیویته، که در اینجا همان ۲۰dB است سوار شده و تغییرات ایجاد می‌کند. با تعیین مقادیر ماکزیمم تا می-نیمم (p.to p.) شکل اندازه‌گیری شده به dB می‌توان مانند آنچه قبلاً گفته شد مقادیر کم (مربوط به وسیله‌ی اندازه‌گیری) و زیاد (مربوط به ۲۰dB دایرکتیویته) انعکاس را مجزا و معین کرد. محدودیت اندازه‌گیری عملاً با ضریب انعکاس خط با طول زیاد (حدود ۶۰dB) معین می‌شود. روش تعیین تغییرات حدود ۶dB کمتر از ۶۰dB، یعنی ۵۴dB اندازه‌گیری را اجازه می‌دهد. و این بمعنی ۱۰dB بهبود نسبت به سایر روشهای اندازه‌گیری است.



شکل (۲-۲۵)

حال به تحلیل پرتو روش بزرگ کردن انعکاس مبنا می‌پردازیم. شکل (۲-۲۶) پرتو یک اندازه‌گیری با روش زیاد کردن انعکاس را نشان می‌دهد.

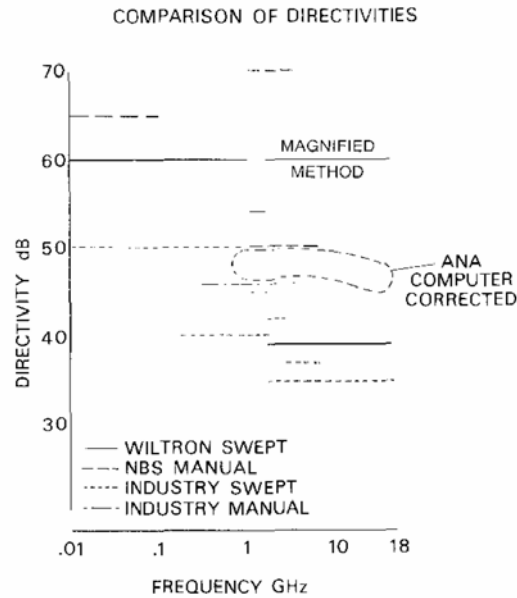
ابتدا برای کالیبراسیون یک اتصال کوتاه در دهانه آزمایش قرار می‌گیرد و سیستم برای میزان انعکاس مختلف کالیبره می‌شود. پرتو حاصل، در واقع ترکیب دو سیگنال است. یکی سیگنال انعکاسی از خود پل، که در اثر بار با انعکاس در شاخه مبنا پل حاصل شده و معمولاً بیان کننده‌ی ۲۰dB انعکاس است. و دیگری سیگنالی که از وسیله‌ی مورد اندازه‌گیری منعکس شده است. با تغییر فرکانس سیگنال انعکاسی از وسیله‌ی مورد آزمایش تغییراتی روی سیگنال انعکاسی ثابت پل ایجاد می‌کند. تحلیل پرتو شکل (۲-۲۶) برای نقاط نشان داده شده باین ترتیب است:



شکل (۲-۲۶)

در نقطه‌ی F_1 تغییرات نوک به نوک حدود ۰/۴dB است. با مراجعه به جدول (RF MEAS. CHART) مشخص می‌شود که سیگنالی که ۰/۴dB تغییرات ایجاد می‌کند، از سیگنال مبنا ۳۳dB پایین‌تر است. یعنی سیگنال انعکاسی از

وسیله‌ی مورد آزمایش 33dB از سیگنال منعکسه از بار با انعکاس ثابت (OFFSET) کمتر است. اما سیگنال انعکاسی از بار ثابت از تعیین متوسط تغییرات شکل فوق حاصل می‌شود و مطابق شکل در فرکانس F_1 این مقدار برابر با $20/1\text{dB}$ است بنابراین افت انعکاسی وسیله‌ی مورد آزمایش برابر با $20/1+33=53/1\text{dB}$ خواهد بود. به همین ترتیب برای نقاط F_1 و F_2 نیز این مقادیر به ترتیب $44/2\text{dB}$ و $52/2\text{dB}$ است. در شکل (۲۷-۲) دقت روشهای مختلف مقایسه شده است.



شکل (۲۷-۲)

پ) اندازه‌گیری دایرکتیویته دایرکشنال کوپلر و پل اندازه‌گیری

با استفاده از سیستم‌های اندازه‌گیری فوق، ویا بزرگ کردن دامنه تغییرات، می‌توان بدون استفاده از بار و اتصال کوتاه متغیر، دایرکتیویته را اندازه‌گیری کرد. (شکل (۲۸-۲))

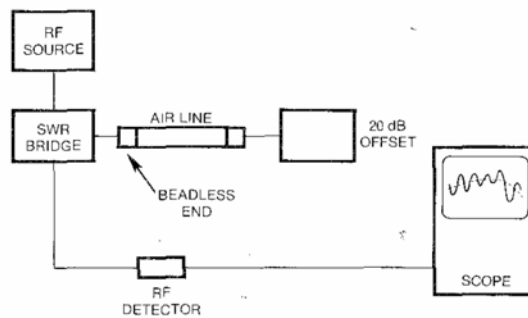


Figure 36. Test setup for measuring directivity of bridge or coupler.

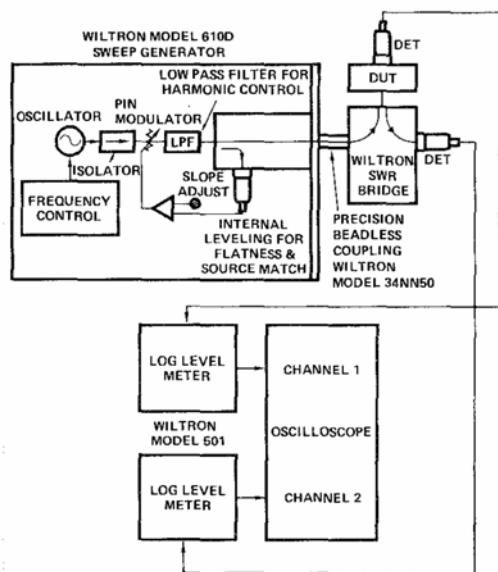
شکل (۲۸-۲)

خط با طول زیاد، همراه یک بار با انعکاس 20dB به شاخه آزمایش وصل می‌شود. در اینحالت سیگنال دایرکتیویته پل بصورت تغییرات روی سیگنال مبنا (OFFSET) ظاهر می‌شود. باین ترتیب دایرکتیویته دایرکشنال کوپلر را می‌توان با استفاده از تغییرات روی سیگنال (OFFSET) بدست آورد. سیگنال مذکور مطابق معمول از متوسط منحنی بدست آمده، تعیین می‌-

شود مثلاً اگر حدود تغییرات نوک تا نوک ۲dB بوده و متوسط منحنی ۲۱dB باشد با توجه به جدول (RF) ملاحظه می‌شود که مقدار دایرکتیویته برابر با $40\text{dB} = 21 + 19$ است.

ت) روش کاهش خطای هارمونیک‌های موجود در سیگنال

راه کاهش اثر هارمونیک‌ها افزودن یک فیلتر پائین‌گذر جهت حذف هارمونیک‌ها به سویپ ژنراتور است. البته می‌توان این فیلتر را درست در خروجی سویپ ژنراتور قرار داد. لیکن نصب آن در داخل سویپ ژنراتور (شکل ۲-۲۹) می‌تواند نتایج بهتری داشته باشد.



شکل (۲-۲۹)

نصب فیلتر پائین‌گذر در خارج سویپ ژنراتور دارای معایب زیر است:

خروجی را با حدود ۰/۵ تا ۲dB افت مواجه می‌کند.

با ایجاد تغییرات (RIPPLE) صافی خروجی را مختل می‌کند.

تطبیق خروجی را بهم می‌زند.

فاز سیگنال‌های انعکاسی از منبع را تغییر می‌دهد.

مخارجی اضافی برای سیستم اندازه‌گیری تحمیل می‌کند. و بالاخره استفاده از آن فراموش می‌شود.

ولی نصب داخلی فیلتر دارای محاسن زیر است:

قدرت کامل ژنراتور (تعیین شده از طرف سازنده) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

سیگنال همیشه فیلتر شده است.

صافی خروجی و هم‌چنین تطبیق خروجی بهتر می‌شود.

دو مورد آخر یعنی صافی و تطبیق خروجی بعلت اینکه تنظیم سطح (LEVELLING) توسط دایرکشنال کوپلر و

پس از خروج سیگنال از فیلتر انجام شده کاملاً مورد توجه است.

وجود حلقه تنظیم سطح (LEVELLING LOOP)، خروجی از سیگنال ژنراتور را یکنواخت کرده و از اثر

فرکانسی عناصری مثل کابل، دکتور، پلها و کوپلرهای سیستم اندازه‌گیری جلوگیری می‌کند.

وجود ایزولاتور در ژنراتورها نیز باعث تثبیت فرکانس شده و از اثرات سوء انعکاس فیلتر برای فرکانسهای منعکس شده که می‌تواند باعث تغییر فرکانس شود، جلوگیری می‌کند. برای اندازه‌گیری انعکاس کاربرد پلهای انعکاسی کواکسیال که مستقیماً به خروجی ژنراتور قابل اتصال هستند بهتر است زیرا از تأثیر غیر مطلوب کابلها و اتصالات می‌کاهد.

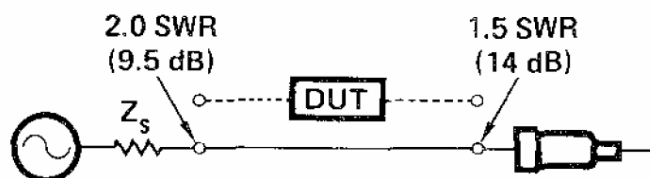
۲-۲- خطا در اندازه‌گیری افت عبوری

با شناسایی سیستم‌های اندازه‌گیری میزان عبور، میتوان منابع خطا را مشخص کرد.

۲-۲-۱- سیستم اندازه‌گیری افت عبوری

در اندازه‌گیری عبور (یا افت) انجام کار از دو مرحله کالیبراسیون (یا شناخت سیگنال تابش اصلی) که در آن مستقیماً دامنه سیگنال تابیده شده به دستگاه مورد اندازه‌گیری مشخص میشود، و مرحله اندازه‌گیری، که در آن حالت سیگنال عبوری از دستگاه تعیین میشود، تشکیل شده است. مقایسه این دو مقدار میزان عبور را مشخص میکند. اصول مدار عبور، مطابق شکل (۲-۳۰) است. ابتدا سیگنال ژنراتور مستقیماً به دتکتور متصل شده تا عمل کالیبراسیون انجام شود. سپس عنصر مورد اندازه‌گیری (DEVICE UNDER TEST) بین سیگنال ژنراتور و دتکتور قرار گرفته و خروجی آن پس از آشکارسدن، توسط اسکوپ و یا نشان دهنده دیگر؛ سنجیده می‌شود در صورتیکه منظور بررسی فاز سیگنال منعکسه نیز باشد می‌توان از نت ورک آنالایزر برداری^۱، استفاده کرد. اختلاف حالت اندازه‌گیری و کالیبراسیون، میزان افت عبوری را تعیین میکند.

در هر دو حالت، انعکاس‌های منبع و دتکتور باعث ایجاد خطا در اندازه‌گیری میشود.



شکل (۲-۳۰)

۲-۲-۲- منابع خطا در اندازه‌گیری افت عبوری

معمولاً بزرگترین خطا برای مواقعی که منظور اندازه‌گیری افت بسیار کم و یا بسیار زیاد است، پیش می‌آید. خطا در اندازه‌گیری مقادیر وسطی، بین زیاد و کم معمولاً مورد نظر نیست ولی به‌رحال بستگی به کالیبراسیون و خطای مربوطه به کالیبراسیون سیستم دارد.

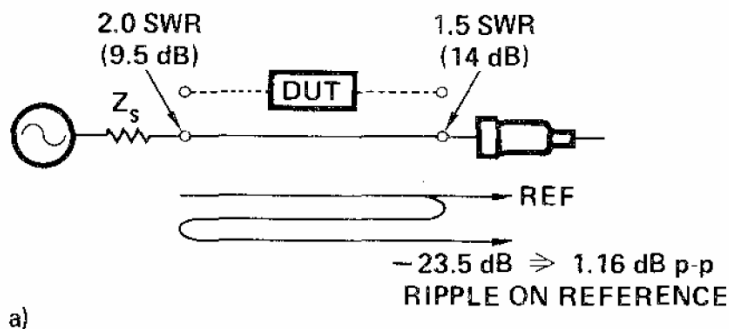
اندازه‌گیری افت‌های زیاد با حدود دینامیک سیستم اندازه‌گیری که برای دتکتورهای با باند زیاد معمولاً ۵۰dB تا ۶۰dB است محدود می‌شود. به این دلیل برای افت‌های بالای ۴۰dB از گیرنده‌های حساس قابل تنظیم (SELECTIVE) و یا از ژنراتورهای با قدرت زیاد استفاده می‌شود. حتی در این موارد نیز باید یک مینا برای افت‌های کم تعیین شود تا خطاها بعلاوه انعکاسات بین عدم تطابقها معین شوند.

^۱ - VECTOR ETWORK ANAL

وضعیت شکل (۳۱-۲) را در نظر بگیرید. قبل از قراردادن وسیله‌ی مورد آزمایش دتکتور به انتهای شاخه آزمایش بسته می‌شود. خطاها در اثر عدم تطابق بصورت افت انعکاسی مشخص شده، با یکدیگر جمع شده و بکمک جدول اندازه‌گیری RF تبدیل به تغییرات (RIPPLE) اندازه‌گیری می‌شود.

مقادیر برای حالت کالیبراسیون که سیگنال خطا $23/5$ dB از سیگنال اصلی کوچکتر است، تغییراتی حدود $1/16$ dB و یا خطایی بین $+0/56$ dB تا $-0/6$ dB نشان می‌دهد.

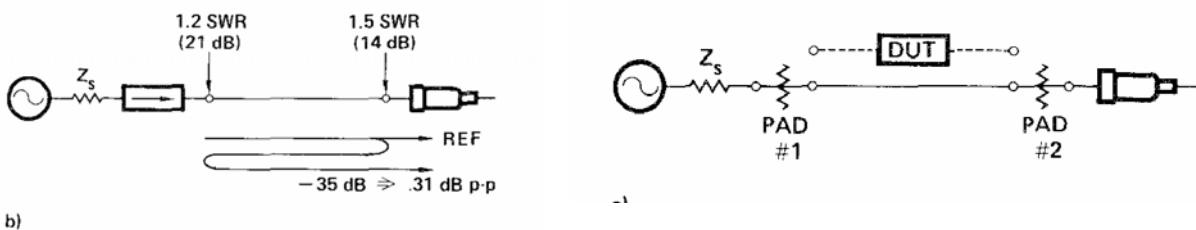
وقتی وسیله‌ی مورد اندازه‌گیری اضافه می‌شود، افت عبوری آن، دو بار روی عدم تطابق دتکتور تاثیر کرده و لذا تغییرات دامنه را کاهش می‌دهد.



شکل (۳۱-۲)

۳-۲-۲- روش کاهش و جدا سازی خطا در اندازه‌گیری افت عبوری

در اندازه‌گیری افت عبوری، بعلاوه اینک فاصله (طول الکتریکی) بین منبع و دتکتور در دو حالت کالیبراسیون و اندازه‌گیری (بخاطر اضافه شدن طول دستگاه در حالت اندازه‌گیری) تغییر میکند، فاز و پریود تغییرات دامنه در دو حالت متفاوت بوده و لذا نا یقینی (UNCERTAINTY) را افزایش می‌دهد. چنانچه وسیله مورد آزمایش دارای تطبیق خوب در ورودی و خروجی خود نباشد، میزان تغییرات به این علل نیز افزایش می‌یابد. نایقینی در این اندازه‌گیریها را می‌توان با تطبیق بهتر کاهش داد. در شکل (۳۲-۲ الف) اضافه کردن یک ایزولاتور می‌تواند انعکاس منبع با ضریب سکون ۲ را به $1/2$ کاهش داده و تغییرات اندازه‌گیری از $1/16$ dB به $0/31$ dB کاهش یابد. البته وجود ایزولاتور مختصری از حدود دینامیک اندازه‌گیری می‌کاهد. اگر منظور اندازه‌گیری افت عبوری خیلی کم باشد مدار شکل (۳۲-۲ ب) مناسب است. اضافه کردن PAD های 6 dB یا 10 dB، به مقدار کافی از دامنه تغییرات مبنای اندازه‌گیری خواهد کاست. در اینحالت دقت، محدود به میزان تطبیق دهانه ورودی و خروجی وسیله اندازه‌گیری با PAD ها است.



(الف)

(ب)

شکل (۳۲-۲)

فصل سوم

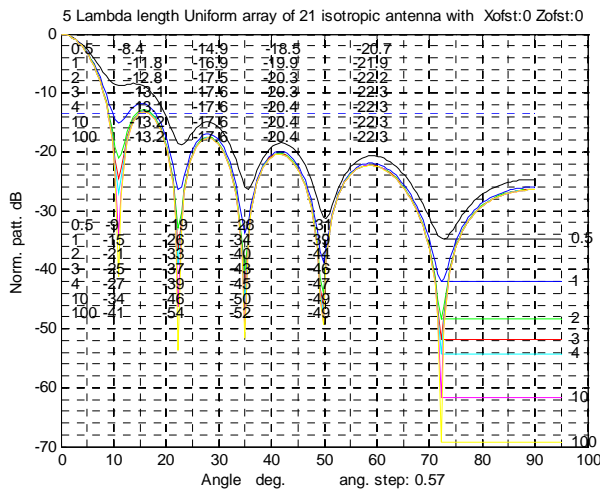
خطا در اندازه گیری های آنتن

یکی از خطاها، خطای رعایت نکردن فاصله آنتن ها و هم چنین وضعیت قرار گرفتن آنتن روی گرداننده بوده و دیگری خطای سیگنال های مزاحم در آزمایشگاه آنتن است که از انعکاسات و سیگنالهای ناخواسته تشعشع کننده های دیگر، غیر از آنتن فرستنده، تشکیل میشود.

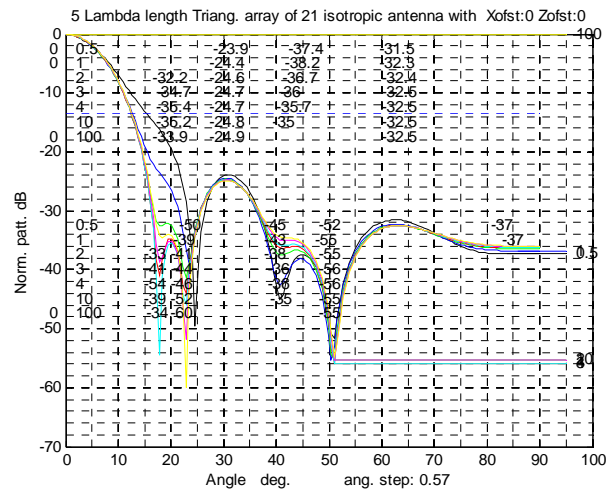
۱-۳- خطا های مشترک در میدان های آزمایش آنتن

عدم رعایت حد میدان دور برای فاصله آنتن فرستنده و گیرنده و هم چنین قرار گرفتن آنتن روی گرداننده ها، باعث خطا در اندازه گیری خواهد شد.

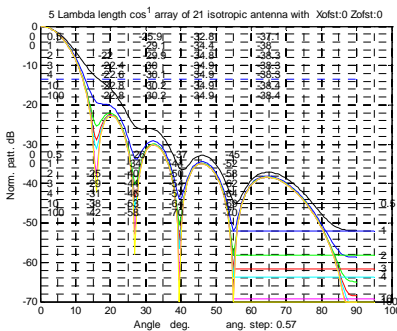
الف) - خطای فاصله: معمولا حد فاصله با رابطه $R \geq 2D^2 / \lambda$ بیان میشود. ولی این مقدار به توزیع جریان (یا میدان برای آنتن پنجره ای) نیز بستگی دارد. رعایت نکردن این مورد میتواند از عمق نولها کاسته و باعث تداخل لوبهای کناری و لوب اصلی شود. در شکل (۲-۳۳) شکل پرتو یک رشته آنتن با توزیع جریان های مختلف، برای اندازه گیری در فاصله های مضاربی از d^2 / λ دیده میشود. شکل ها نشان میدهد که چگونه دامنه لوب های فرعی، عرض لوب اصلی و عمق نولها به این فاصله حساس است.



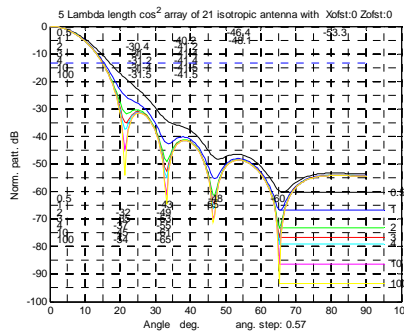
توزیع یکنواخت



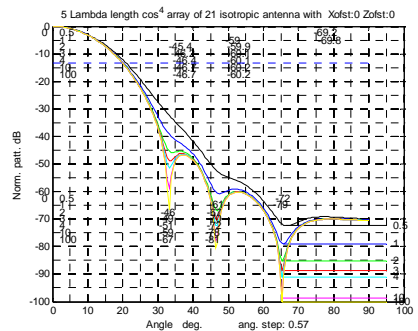
توزیع مثلثی



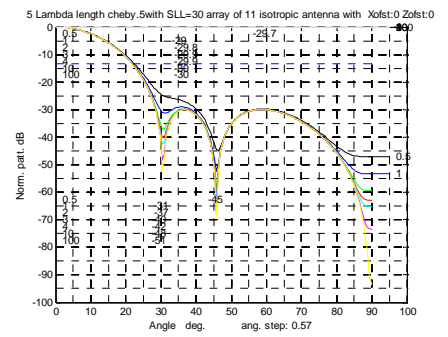
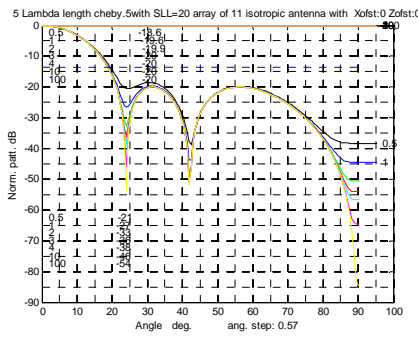
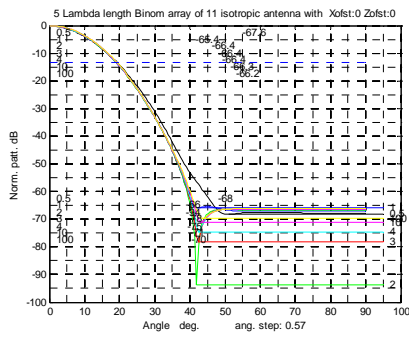
توزیع \cos^1



توزیع \cos^2



توزیع \cos^4



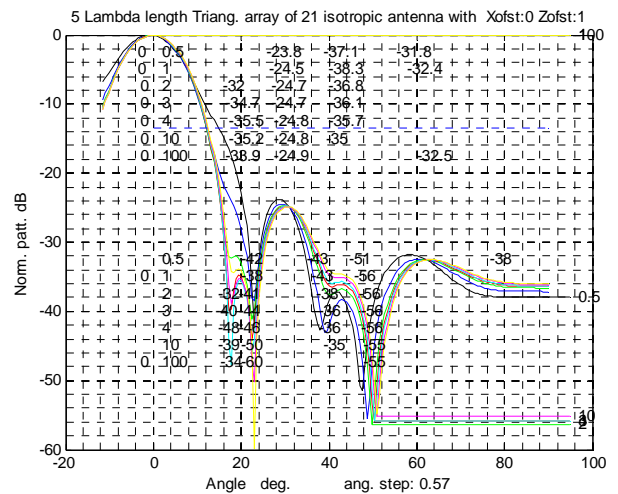
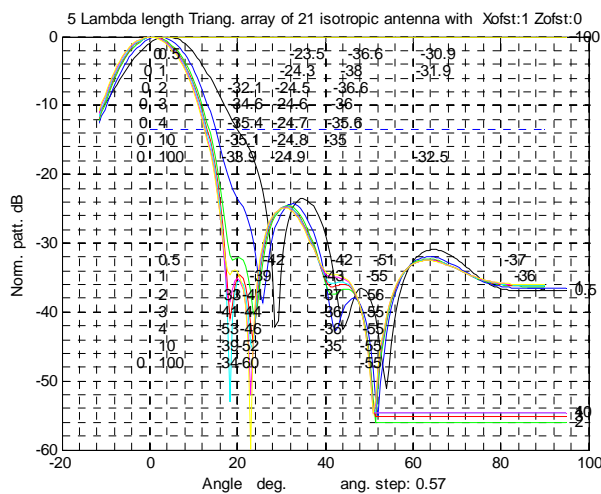
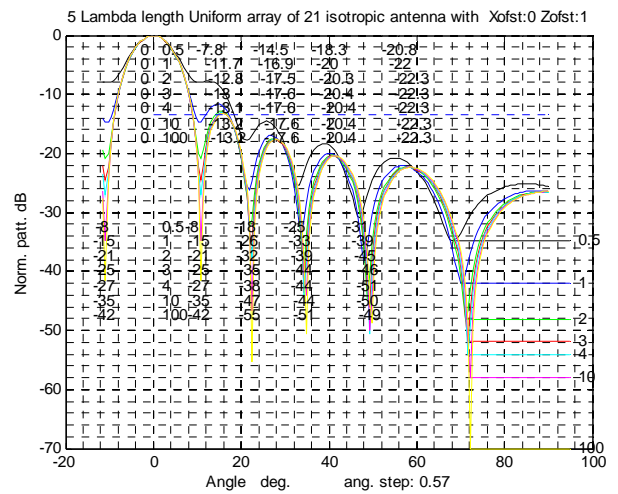
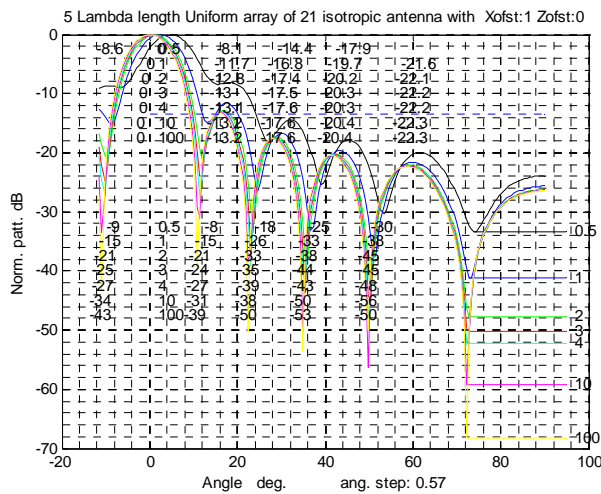
توزیع باینومیال (۱۱ تائی)

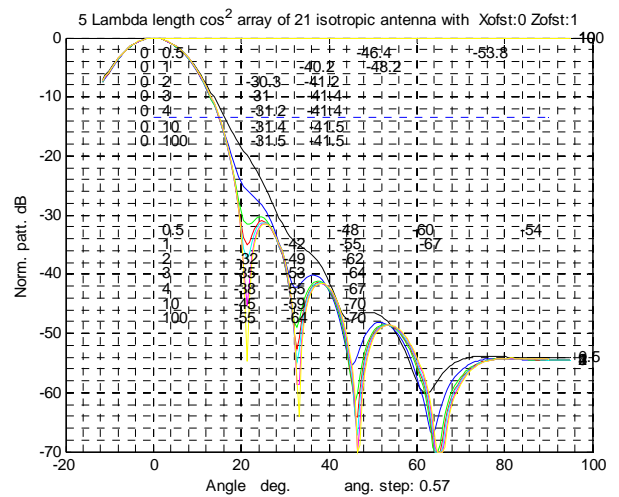
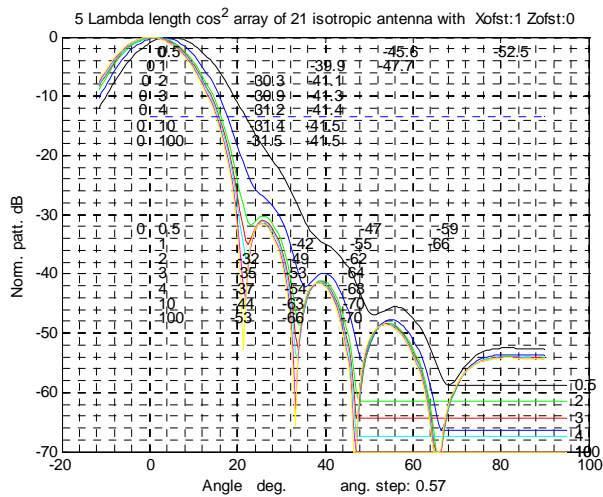
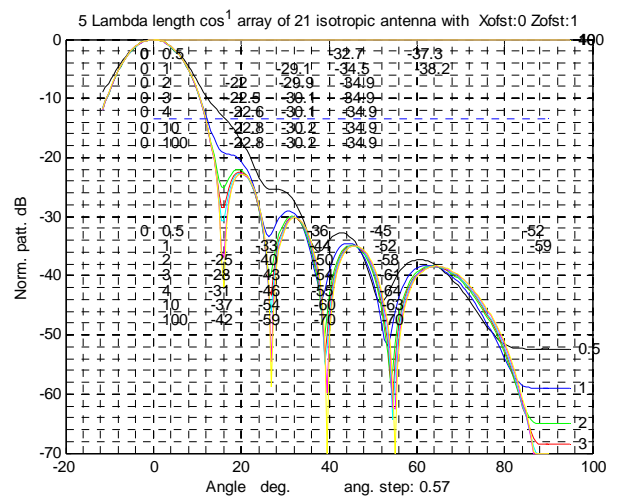
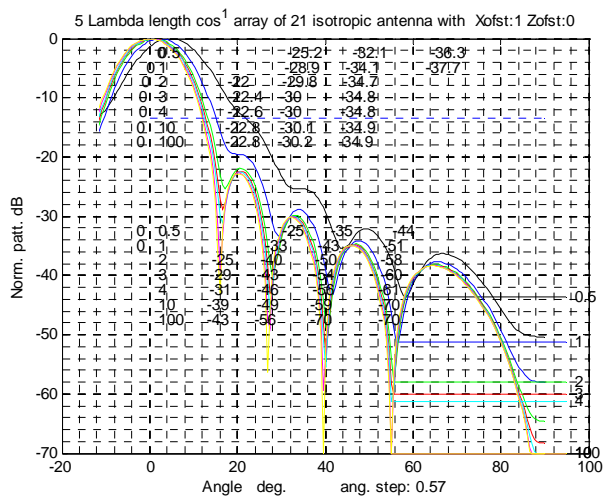
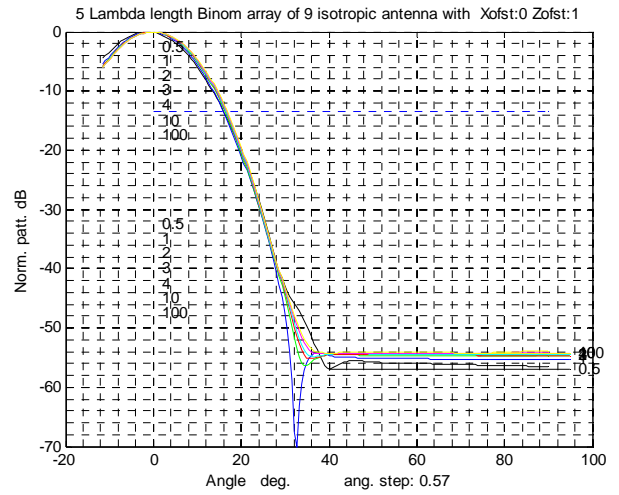
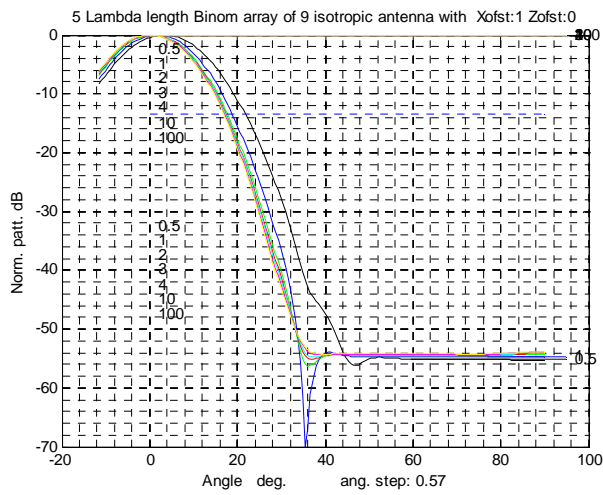
توزیع چپی چف 30dB

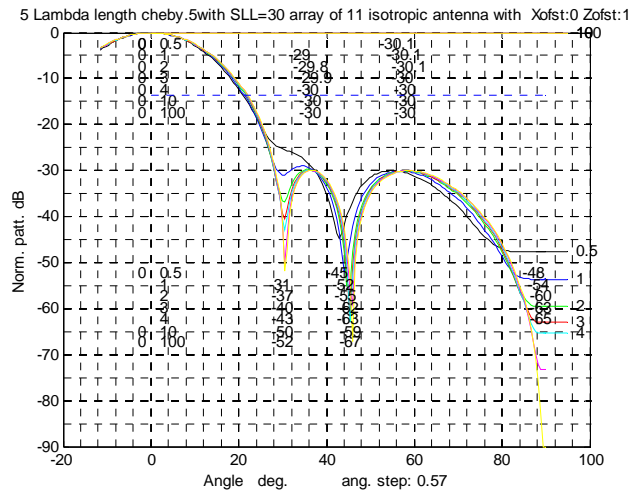
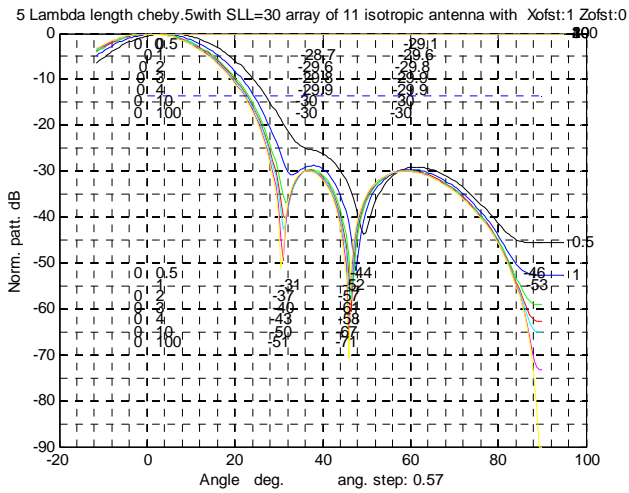
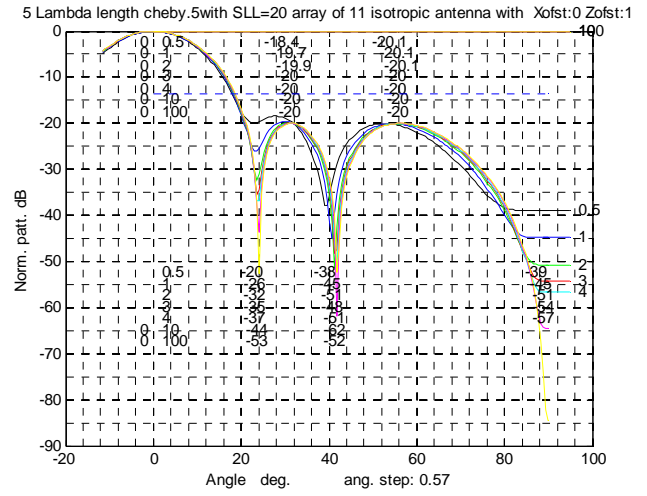
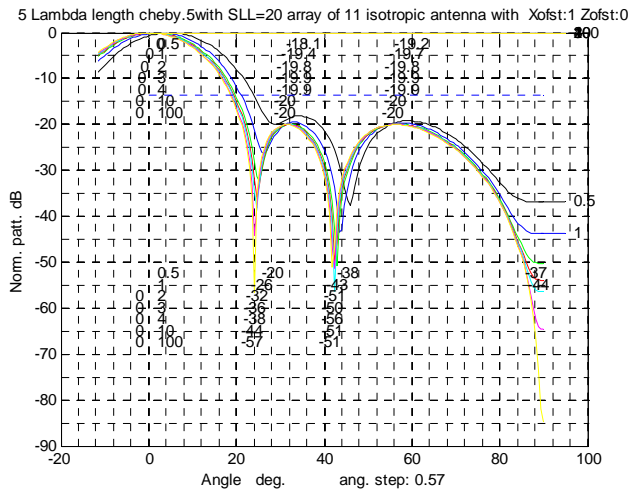
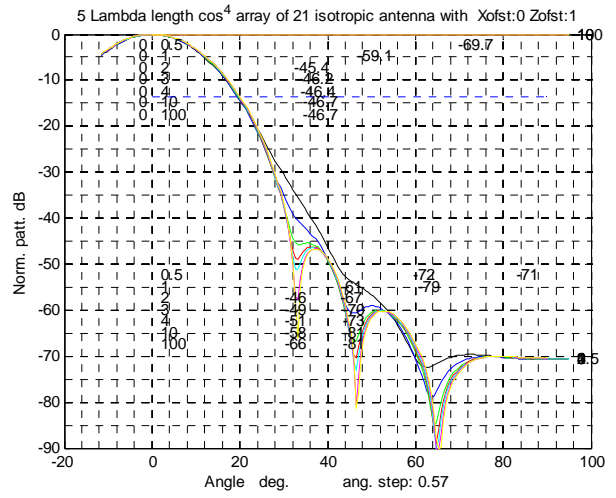
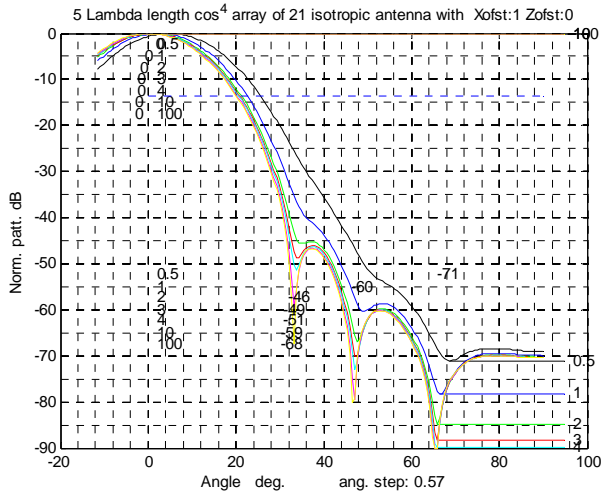
توزیع چپی چف 30dB

شکل (۲-۳۳)

ب- خطای جابجائی آنتن در حال نصب روی پایه : پرتو به وضعیت قراردادن آنتن روی گرداننده ها نیز حساس بوده و باید سعی شود که مرکز فاز تقریبی آنتن روی مرکز گردش دستگاه قرار داده شود. این موضوع بخصوص برای رشته هانتن ها اهمیت ویژه دارد. در شکل (۲-۳۴) این موضوع برای همان رشته آنتن ها در حالی که جابجائی به اندازه یک طول موج در جهت محور x (چپ و راست قرار گرفتن) اتفاق بیافتد نشان داده شده است







شکل (۲-۳۴)

در حالات بالا آنتن ها نقطه ای هستند. در جزوه ای که در دست تهیه است، اطلاعات دقیقتری برای همه حالات

درج شده است.

۳-۲- خطا در میدان های باز آزمایش آنتن

در میدان های باز ، انعکاس اصلی از زمین است که با شیب دار کردن زمین و یا قراردادن گاو های متفرق کننده، کاهش می یابد.

سیگنال مزاحم دیگر ، تشعشع کننده های شهری مانند آنتن های فرستنده تلویزیونی ، بیسیم ها و فرستنده های تلفن همراه و یا مشابه آنها است.

چون عرض باند کریستال دکتور ها زیاد است، استفاده از آن ها میتواند خطای جدی ایجاد کند. برای کاهش این آثار ، میتوان از گیرنده های باند خیلی باریک مانند اسپکترم آنالایزر ها استفاده کرد. عرض باند این دستگاه ها در حدود چندین هرتز بوده و بنابراین دارای حساسیت خیلی بالا به فرکانس ورودی هستند. بنابراین اگر فرکانس فرستنده مزاحم با فرکانس آنتن مورد آزمایش تقریباً یکی باشد، با توجه به اینکه معمولاً آنتن ها نسبت به تغییر جزئی (در حد چند کیلوهرتز) حساسیت زیاد ندارند، میتوان آزمایش را در فرکانسی نزدیک فرکانس کار مورد نظر انجام داد بدون اینکه تداخل انجام شود.

۳-۳- خطا در اتاق های بدون انعکاس

در این مورد انعکاس از جاذب ها و ادوات اندازه گیری است. یک جاذب هرمی مناسب باید دارای ارتفاعی حدود ۳ برابر طول موج باشد. بنابراین حد فرکانس پائین یک آزمایشگاه را ارتفاع جاذبهای آن تعیین میکند. حساست در فرکانس بالا، سالم بودن جاذبها (نداشتن شکستی در سر هرم ها) و هم چنین دقت در موقع ساخت است که سطح جاذب هرمی ناصاف و یا پله دار نشده باشد. هم چنین نصب قطعات در کنار هم نیز باید با دقت انجام شود.

مثلاً آزمایشگاهی که مرغوبیت (میزان انعکاس موج در اتاق) آن حدود 40 dB باشد، با استفاده از جدول RF ، میتواند روی گلبیگ اصلی خطائی حدود $\pm 0.87\text{ dB}$ ایجاد کند. در صورتیکه گلبیگ فرعی این آنتن که مثلاً 20 dB از گلبیگ اصلی آن کوچکتر است خطائی حدود $0.82, -91\text{ dB}$ خواهد داشت.

همین آزمایشگاه در فرکانس های پائین تر دارای انعکاسی بیشتر و مثلاً حدود 20 dB است. در اینصورت خطا روی گلبیگ اصلی $0.82, -91\text{ dB}$ بوده ، ولی گلبیگ فرعی (بستگی به فاز) میتواند 6 dB بیشتر نشان داده شده و یا اصلاً حذف شود.

در مورد انعکاس از ادوات ، میتوان آن ها را با جاذبهای قابل جابجائی پوشاند. سیگنال مزاحم از خارج از اتاق هم میتواند خطا ایجاد کند. بهترین روش جلوگیری، شیلد کردن اتاق است. هم چنین باید در هنگام آزمایش، دستگاه هائی مانند بیسیم و یا تلفن همراه حتماً غیر فعال باشد.

۳-۴- خطا در اندازه گیری روش میدان دور از نزدیک

در اندازه گیری میدان دور از نزدیک، باید خطا در اثر ابعاد پنجره ای که میدان روی آن اندازه گیری میشود، فاصله آنتن تا پنجره، فاصله نقاط نمونه برداری روی پنجره، خطا در اندازه گیری فاز بعثت تغییرات مکانیکی که در طول و وضعیت کابل و کانکتورها پیش میاید، خطا در اثر نقطه ای نبودن آنتن نمونه بردار، اثر جایگزینی میدان مغناطیسی با مقدار E/η (بجای اندازه گیری میدان مغناطیسی)، و جابجایی آنتن در هر مورد در نظر گرفته شود. در [۲ و ۱] این آثار برای آنتن های با گلبیگ

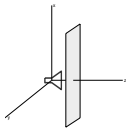
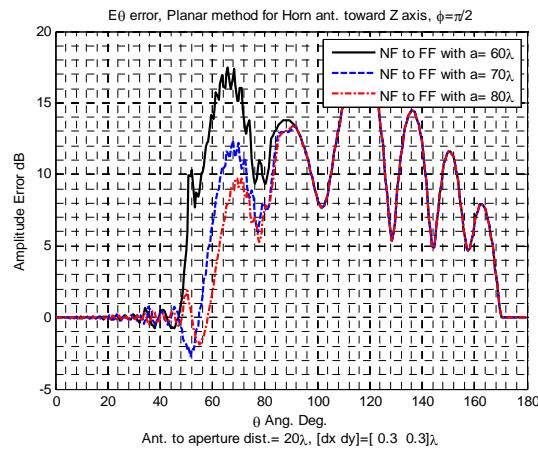
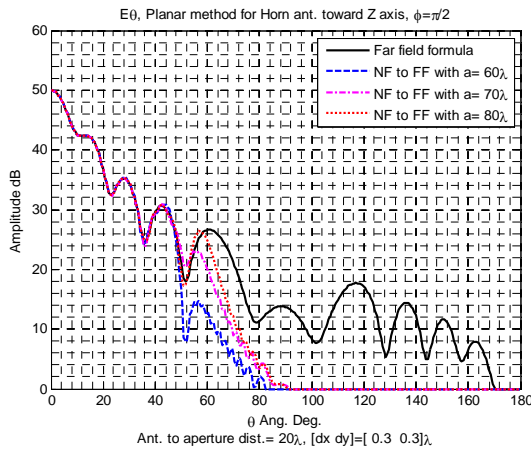
پهن(آنتن عنصر جریان) و هم چنین آنتن های بوقی با بهره های متفاوت ، برای روش های مختلف صفحه ای ، استوانه ای و کروی، بطور مفصل بررسی و نتایج ارائه شده است.

۳-۴-۱- خطا برای آنتن بوقی

در این قسمت ما بطور اجمالی به بررسی خطا برای آنتن بوقی با دایرکتیویته تقریبی $22/3\text{ dB}$ ، با روش های مختلف میپردازیم. شکل های سمت راست بیان کننده میزان خطا بوده و در زیر هر شکل خصوصیات نوشته شده است.

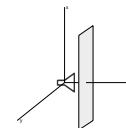
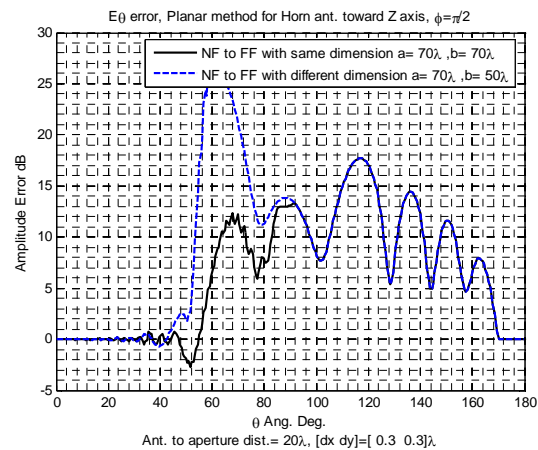
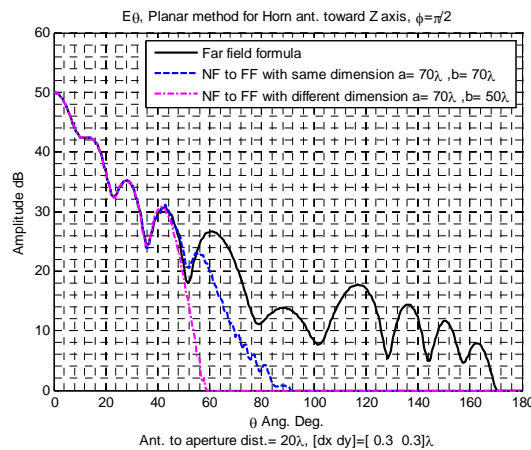
۱: روش صفحه ای

الف: اثر تغییر ابعاد سطح نمونه برداری



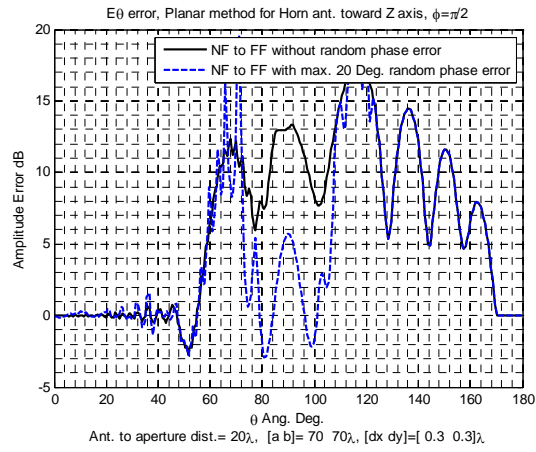
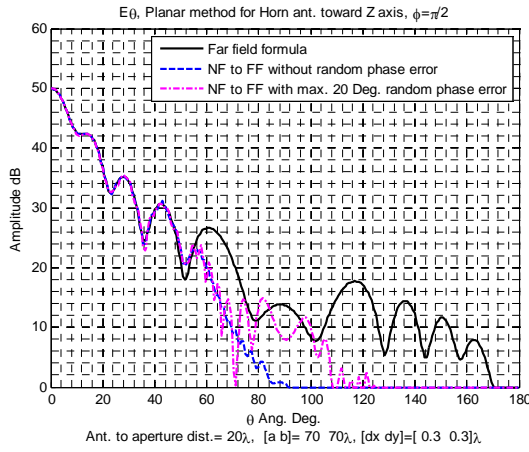
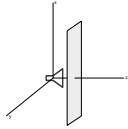
مقایسه‌ی میدان دور آنتن بوقی، با میدان دور بدست آمده از تحلیل میدان نزدیک روی سطح نمونه برداری، به ابعاد 60λ ، 70λ و 80λ و با فاصله‌ی 20λ از آنتن.

ب: اثر متفاوت بودن طول و عرض سطح نمونه برداری



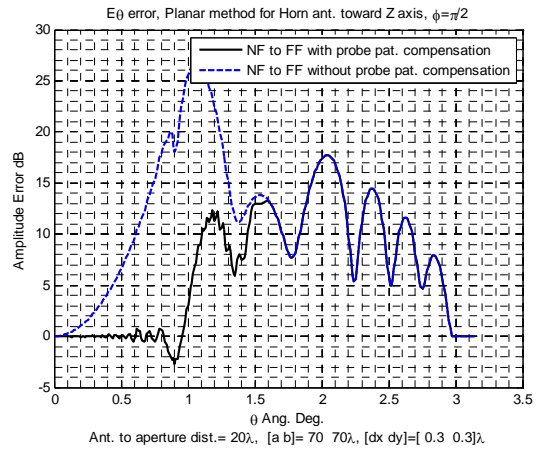
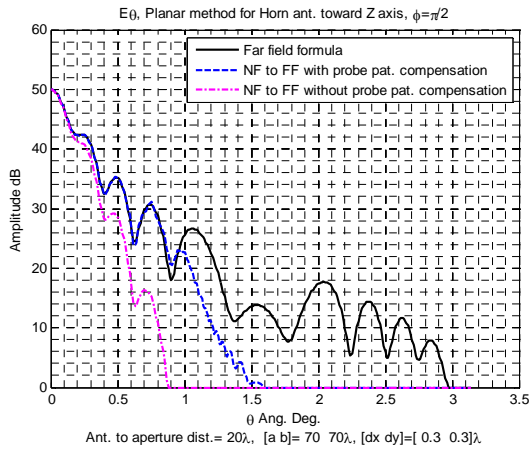
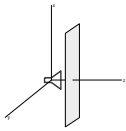
مقایسه‌ی میدان دور آنتن بوقی، با میدان دور بدست آمده از تحلیل میدان نزدیک روی سطح نمونه برداری، با پهنا و ارتفاع متفاوت و با فاصله‌ی 20λ از آنتن.

ج: اثر تغییرات جزئی تصادفی فاز



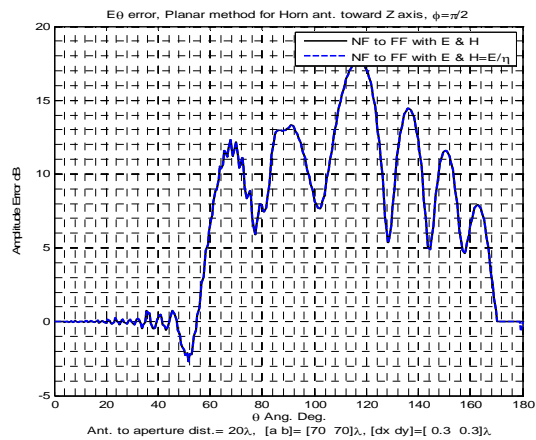
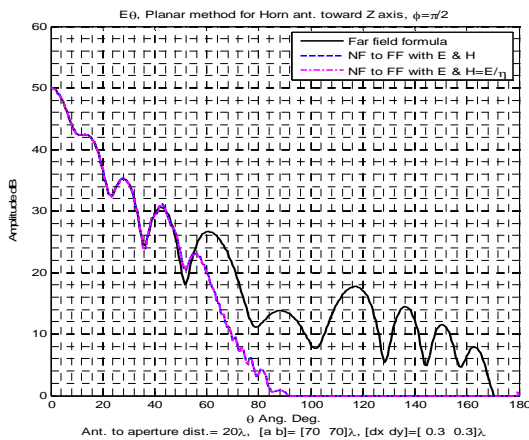
مقایسه‌ی میدان دور آنتن بوقی، با میدان دور بدست آمده از تحلیل میدان نزدیک روی سطح نمونه‌برداری صفحه‌ای، با ابعاد $70\lambda \times 70\lambda$ و فاصله‌ی 20λ از آنتن و بررسی اثر تغییرات جزئی تصادفی فاز با حداکثر مقدار ۲۰ درجه.

د: اثر پرتو آنتن نمونه‌بردار



مقایسه‌ی میدان دور آنتن بوقی، با میدان دور بدست آمده از تحلیل میدان نزدیک روی سطح نمونه‌برداری صفحه‌ای، با ابعاد $70\lambda \times 70\lambda$ و فاصله‌ی 20λ از آنتن و بررسی اثر پرتو نمونه‌بردار.

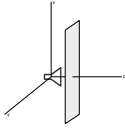
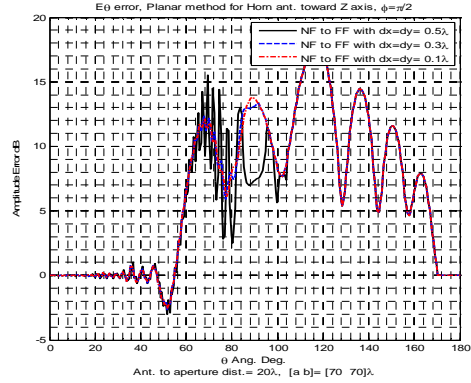
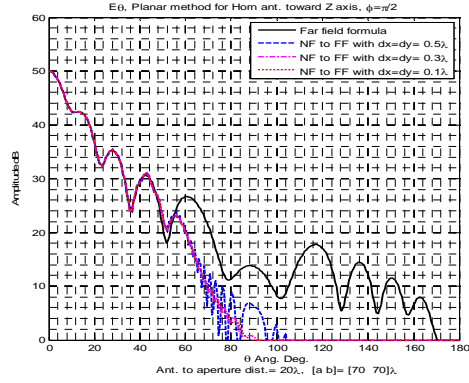
و: اثر در نظر گرفتن E/η به جای H



مقایسه‌ی میدان دور آنتن بوقی، با میدان دور بدست آمده از تحلیل میدان نزدیک روی سطح نمونه‌برداری

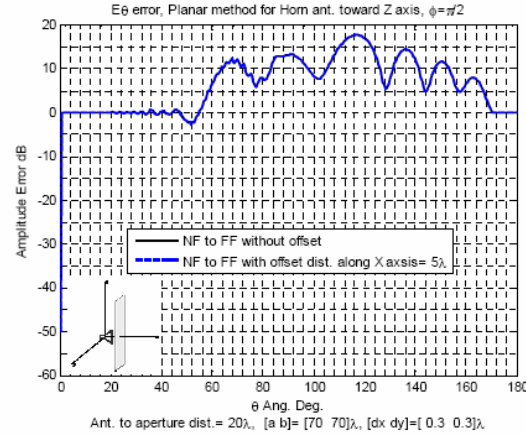
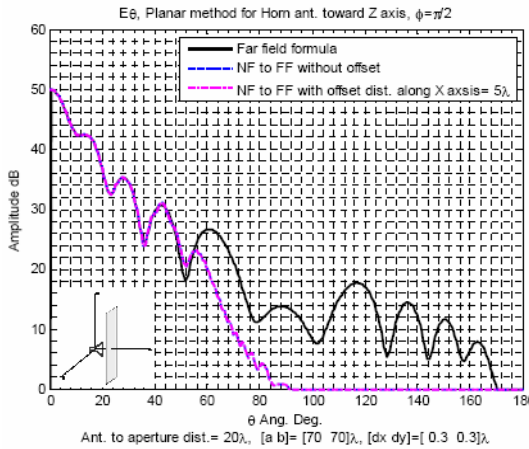
صفحه‌ای، با ابعاد $70\lambda \times 70\lambda$ و فاصله‌ی 20λ از آنتن و بررسی اثر استفاده از E/η به جای H

ز: اثر فاصله نقاط نمونه برداری

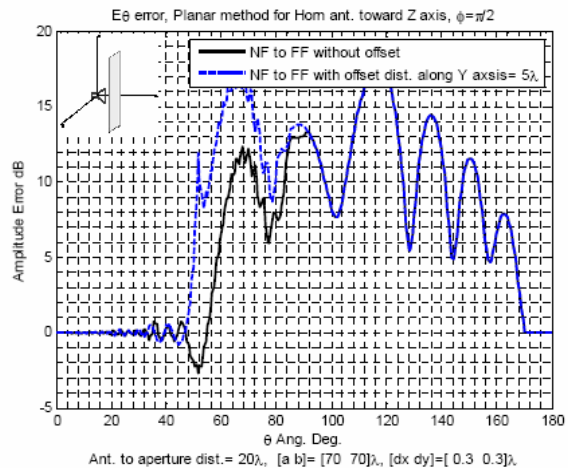
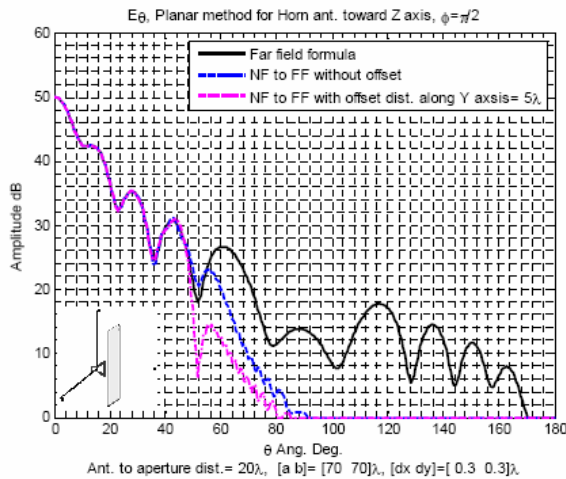


مقایسه‌ی میدان دور آنتن بوقی، با میدان دور بدست آمده از تحلیل میدان نزدیک روی سطح نمونه برداری صفحه‌ای با $70\lambda \times 70\lambda$ و فاصله‌ی 20λ از آنتن. برای فواصل نمونه برداری طولی 0.1λ ، 0.3λ و 0.5λ

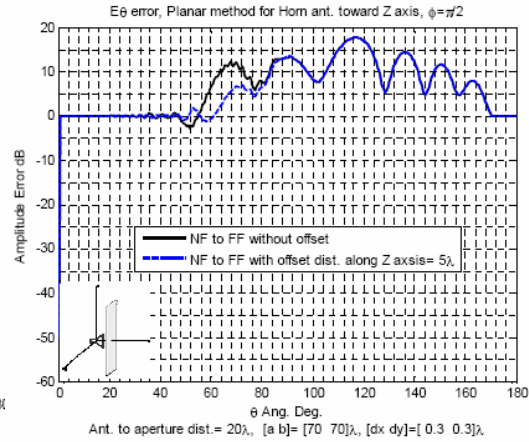
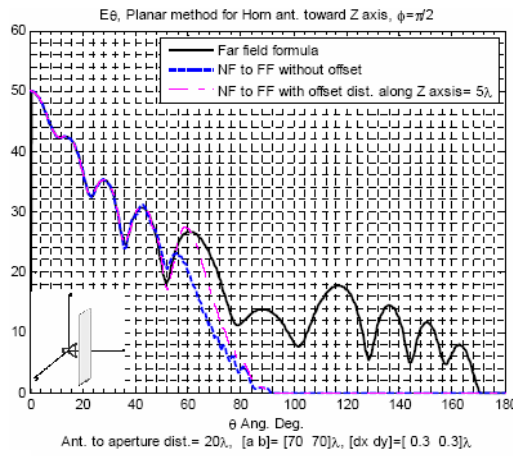
ط: اثر جابه‌جایی آنتن مورد اندازه‌گیری



مقایسه‌ی میدان دور آنتن بوقی، با میدان دور بدست آمده از تحلیل میدان نزدیک روی سطح نمونه برداری صفحه‌ای با ابعاد $70\lambda \times 70\lambda$ و فاصله‌ی 20λ از آنتن و بررسی اثر جابه‌جایی آنتن در جهت محور X



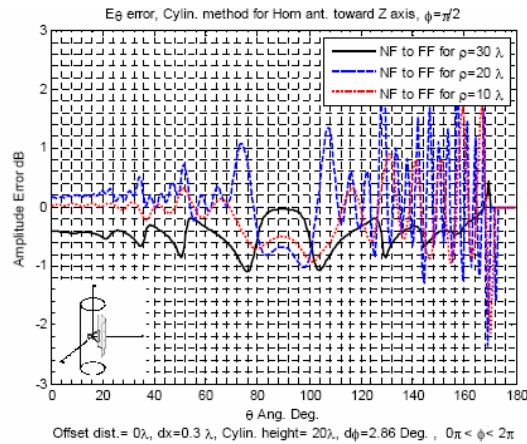
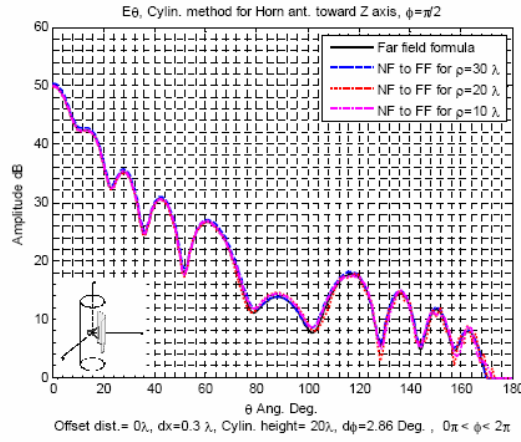
مقایسه‌ی میدان دور آنتن بوقی، با میدان دور بدست آمده از تحلیل میدان نزدیک روی سطح نمونه برداری صفحه‌ای با ابعاد $70\lambda \times 70\lambda$ و فاصله‌ی 20λ از آنتن و بررسی اثر جابه‌جایی آنتن در جهت محور Y



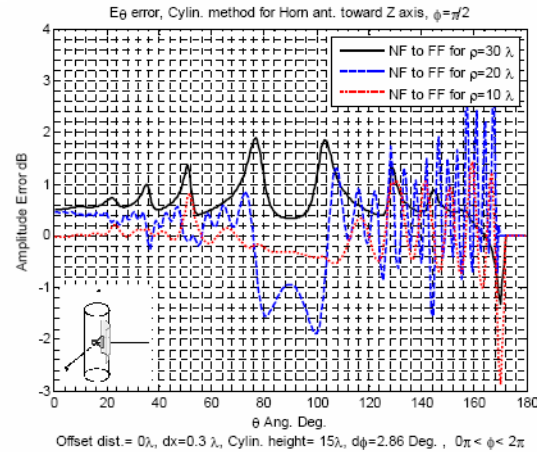
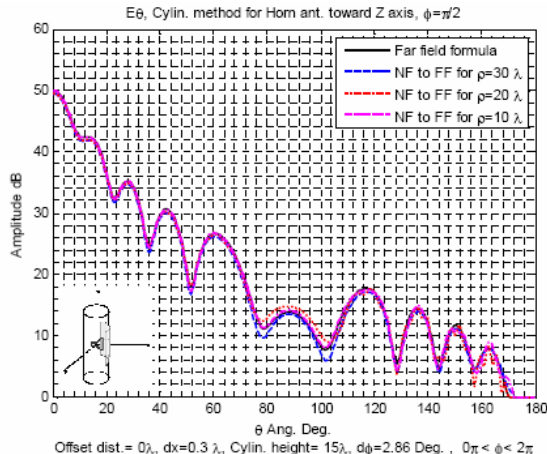
مقایسه‌ی میدان دور آنتن بوقی، با میدان دور بدست آمده از تحلیل میدان نزدیک روی سطح نمونه‌برداری صفحه‌ای با ابعاد $70\lambda \times 70\lambda$ و فاصله‌ی 20λ از آنتن و بررسی اثر جابه‌جایی آنتن در جهت محور Z

۲: روش استوانه‌ای

الف: اثر تغییر شعاع استوانه نمونه برداری

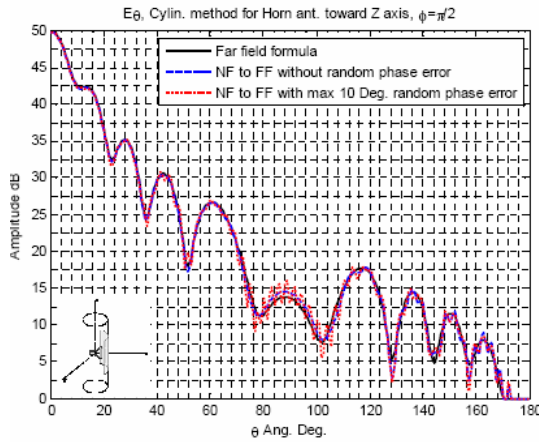


مقایسه‌ی میدان دور آنتن بوقی، با میدان دور بدست آمده از تحلیل میدان نزدیک روی سطح نمونه‌برداری استوانه‌ای، با شعاع‌های 10λ ، 20λ و 30λ با ارتفاع 20λ .

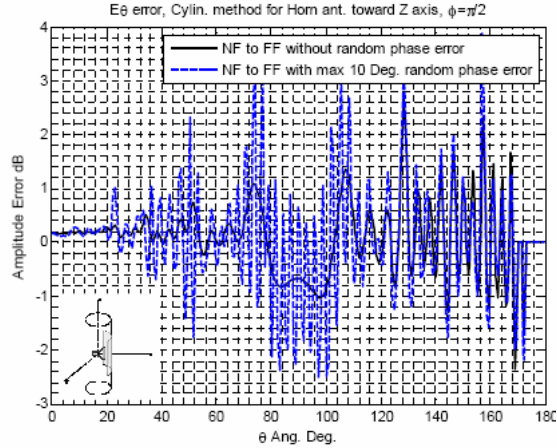


مقایسه‌ی میدان دور آنتن بوقی، با میدان دور بدست آمده از تحلیل میدان نزدیک روی سطح نمونه‌برداری استوانه‌ای، با شعاع‌های 10λ ، 20λ و 30λ با ارتفاع 15λ .

ب) اثر تغییرات جزئی تصادفی فاز

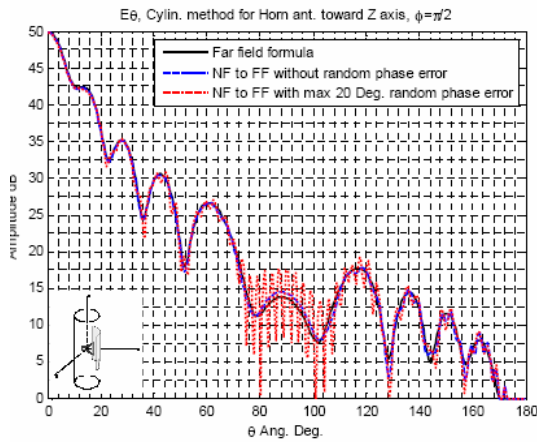


Offset dist = 0λ, Cylin. height = 20λ, ρ = .20λ, dx = 0.3λ, dφ = 1.43 Deg., 0π < φ < π

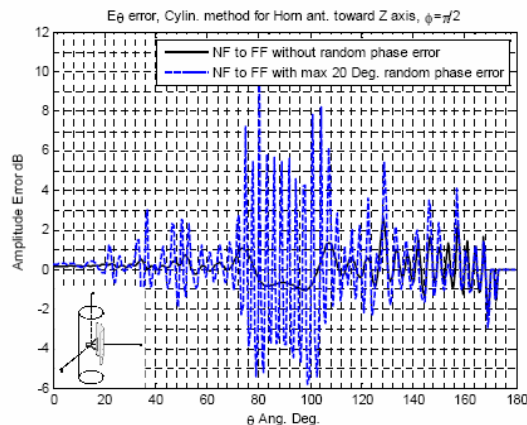


Offset dist = 0λ, Cylin. height = 20λ, ρ = .20λ, dx = 0.3λ, dφ = 1.43 Deg., 0π < φ < π

مقایسه‌ی میدان دور آنتن بوقی، با میدان دور بدست آمده از تحلیل میدان نزدیک روی سطح نمونه‌برداری استوانه‌ای، با شعاع 20λ و ارتفاع 20λ از آنتن و تغییرات جزئی تصادفی فاز با حداکثر مقدار 10° درجه.



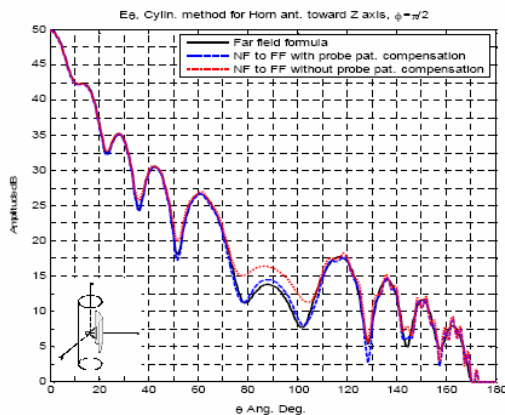
Offset dist = 0λ, Cylin. height = 20λ, ρ = .20λ, dx = 0.3λ, dφ = 1.43 Deg., 0π < φ < π



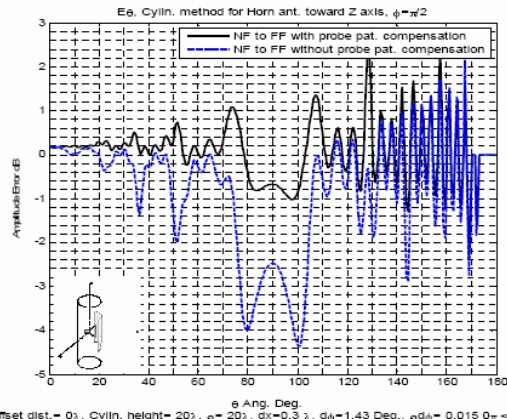
Offset dist = 0λ, Cylin. height = 20λ, ρ = .20λ, dx = 0.3λ, dφ = 1.43 Deg., 0π < φ < π

مقایسه‌ی میدان دور آنتن بوقی، با میدان دور بدست آمده از تحلیل میدان نزدیک روی سطح نمونه‌برداری استوانه‌ای، با شعاع 20λ و ارتفاع 20λ از آنتن و تغییرات جزئی تصادفی فاز با حداکثر مقدار 20° درجه.

ج: اثر پرتو آنتن نمونه بردار



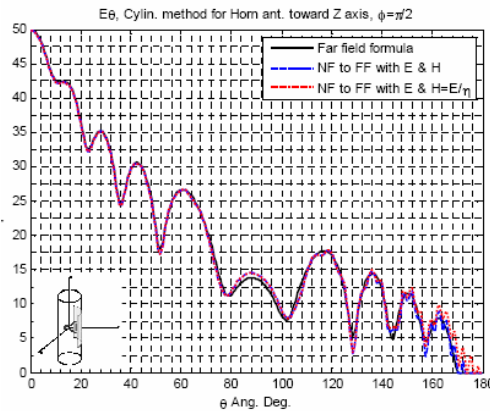
Offset dist = 0λ, Cylin. height = 20λ, ρ = .20λ, dx = 0.3λ, dφ = 1.43 Deg., dφc = 0.015 Deg., 0π < φ < π



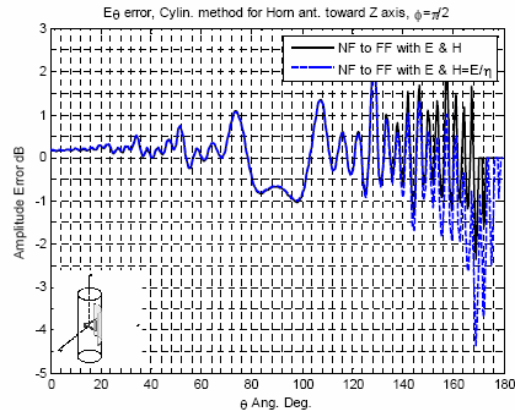
Offset dist = 0λ, Cylin. height = 20λ, ρ = .20λ, dx = 0.3λ, dφ = 1.43 Deg., dφc = 0.015 Deg., 0π < φ < π

مقایسه‌ی میدان دور آنتن بوقی، با میدان دور بدست آمده از تحلیل میدان نزدیک روی سطح نمونه‌برداری استوانه‌ای، با شعاع 20λ و ارتفاع 20λ از آنتن و بررسی اثر پرتو آنتن نمونه بردار.

و: اثر در نظر گرفتن E/η به جای H



Offset dist. = 0λ , Cylin. height = 20λ , $\rho = 20\lambda$, $dx = 0.3\lambda$, $d\theta = 1.43$ Deg., $0\pi < \phi < 2\pi$

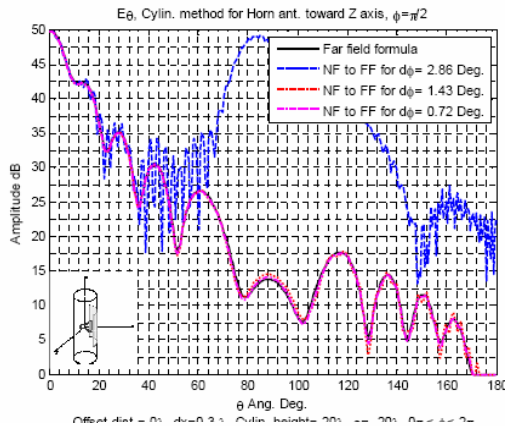


Offset dist. = 0λ , Cylin. height = 20λ , $\rho = 20\lambda$, $dx = 0.3\lambda$, $d\theta = 1.43$ Deg., $0\pi < \phi < 2\pi$

مقایسه‌ی میدان دور آنتن بوقی، با میدان دور بدست آمده از تحلیل میدان نزدیک روی سطح نمونه‌برداری استوانه‌ای، با شعاع

2.0λ و ارتفاع 2.0λ از آنتن و بررسی اثر استفاده از E/η به جای H

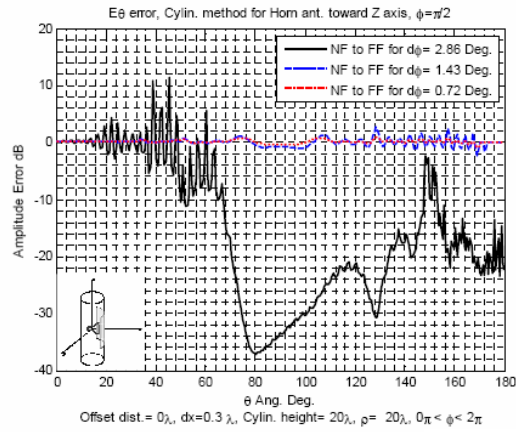
ه: اثر فواصل نمونه برداری زاویه ای و طولی



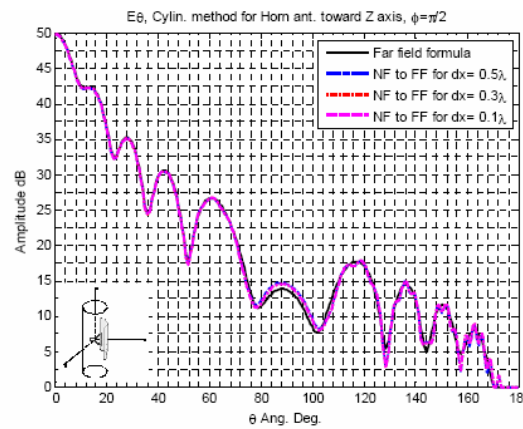
Offset dist. = 0λ , $dx = 0.3\lambda$, Cylin. height = 20λ , $\rho = 20\lambda$, $0\pi < \phi < 2\pi$

۱ مقایسه‌ی میدان دور آنتن بوقی، با میدان دور بدست آمده از تحلیل میدان نزدیک روی سطح نمونه‌برداری استوانه‌ای، با شعاع

2.0λ و ارتفاع 2.0λ از آنتن و بررسی فواصل نمونه‌برداری زاویه‌ای 0.72° ، 1.43° و 2.86°



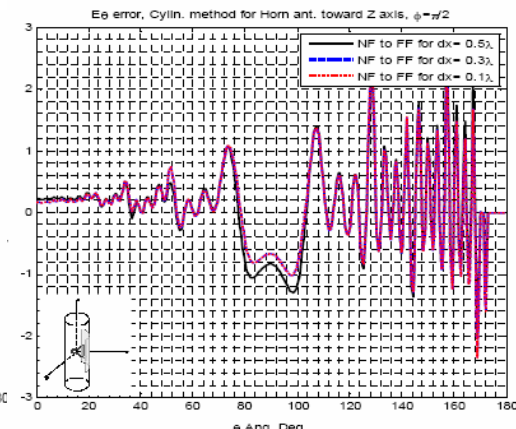
Offset dist. = 0λ , $dx = 0.3\lambda$, Cylin. height = 20λ , $\rho = 20\lambda$, $0\pi < \phi < 2\pi$



Offset dist. = 0λ , $d\theta = 1.43$ Deg., Cylin. height = 20λ , $\rho = 20\lambda$, $0\pi < \phi < 2\pi$

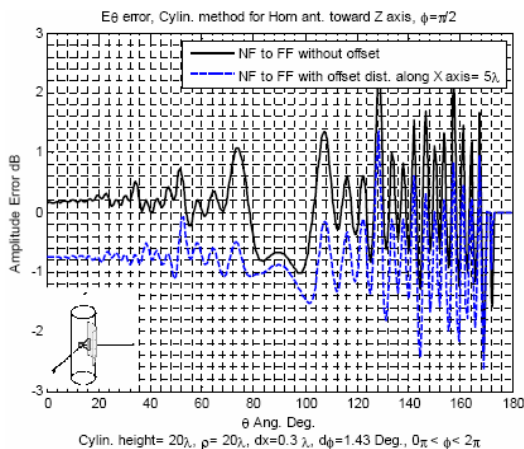
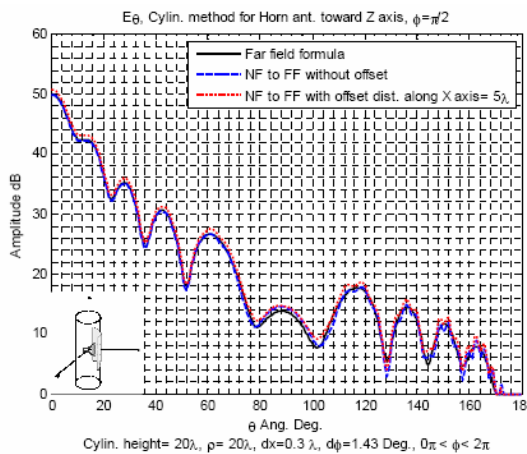
مقایسه‌ی میدان دور آنتن بوقی، با میدان دور بدست آمده از تحلیل میدان نزدیک روی سطح نمونه‌برداری استوانه‌ای، با شعاع

2.0λ و ارتفاع 2.0λ از آنتن و بررسی فواصل نمونه‌برداری طولی 0.1λ ، 0.3λ و 0.5λ

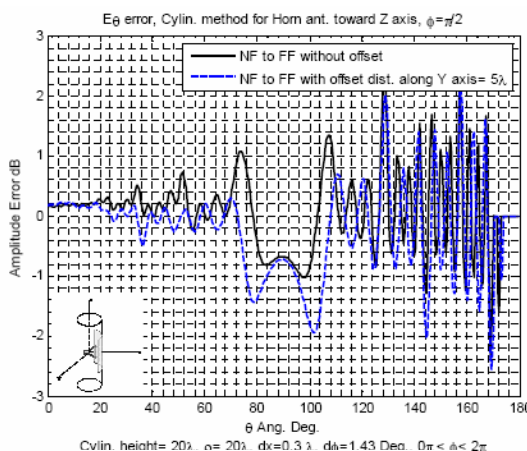
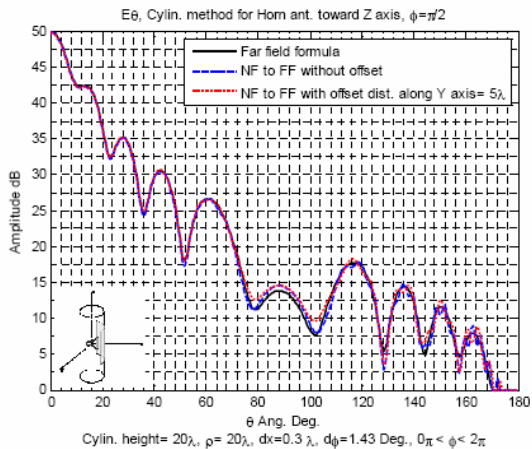


Offset dist. = 0λ , $d\theta = 1.43$ Deg., Cylin. height = 20λ , $\rho = 20\lambda$, $0\pi < \phi < 2\pi$

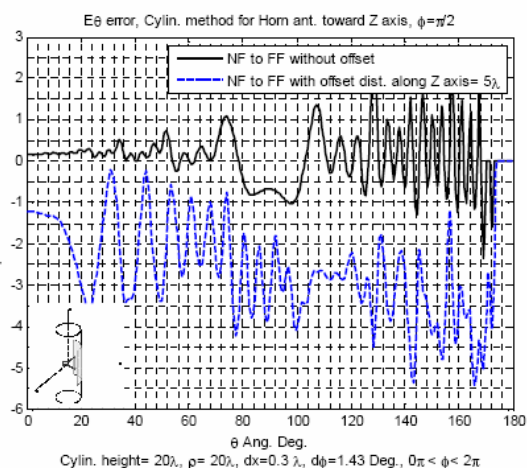
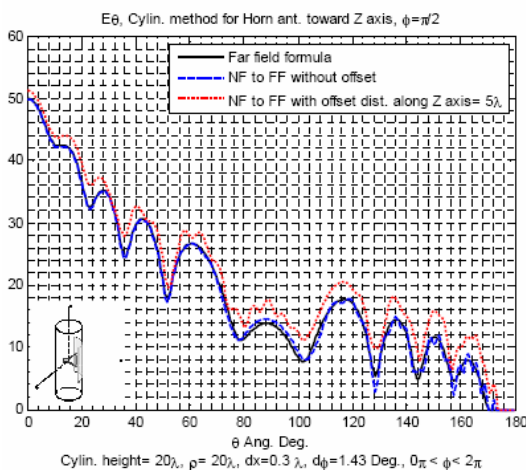
و: اثر جابجایی آنتن مورد اندازه گیری (روی محور های مختلف)



مقایسه‌ی میدان دور آنتن بوقی، با میدان دور بدست آمده از تحلیل میدان نزدیک روی سطح نمونه‌برداری استوانه‌ای، با شعاع 20λ و ارتفاع 20λ از آنتن و بررسی اثر جابه‌جایی آنتن روی محور X.



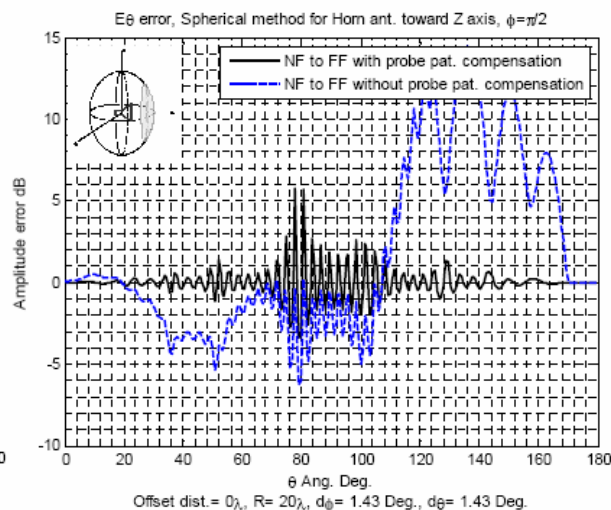
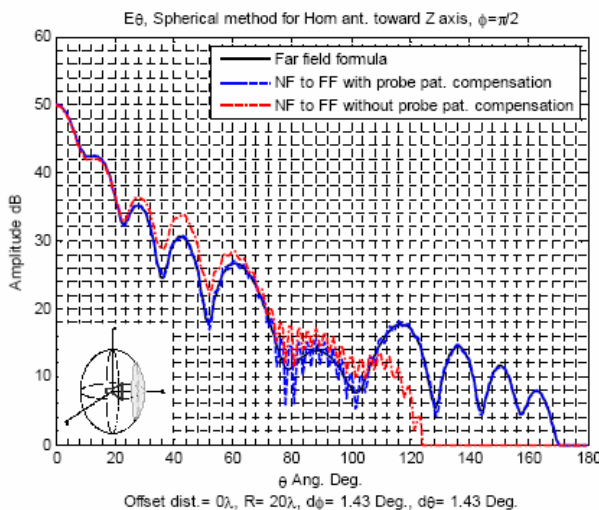
مقایسه‌ی میدان دور آنتن بوقی، با میدان دور بدست آمده از تحلیل میدان نزدیک روی سطح نمونه‌برداری استوانه‌ای، با شعاع 20λ و ارتفاع 20λ از آنتن و بررسی اثر جابه‌جایی آنتن روی محور Y.



مقایسه‌ی میدان دور آنتن بوقی، با میدان دور بدست آمده از تحلیل میدان نزدیک روی سطح نمونه‌برداری استوانه‌ای، با شعاع 20λ و ارتفاع 20λ از آنتن و بررسی اثر جابه‌جایی آنتن روی محور Z.

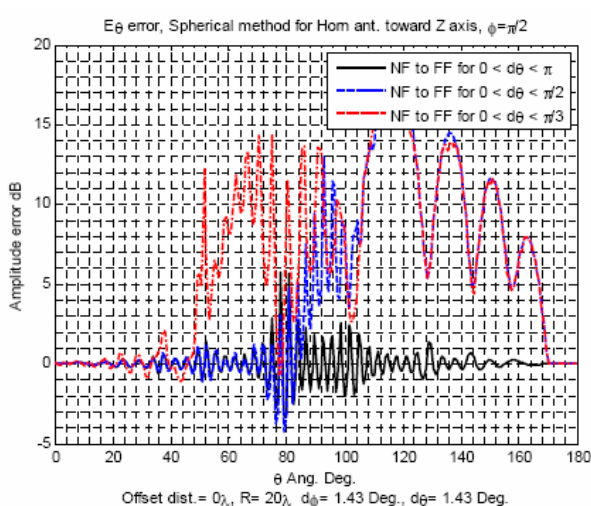
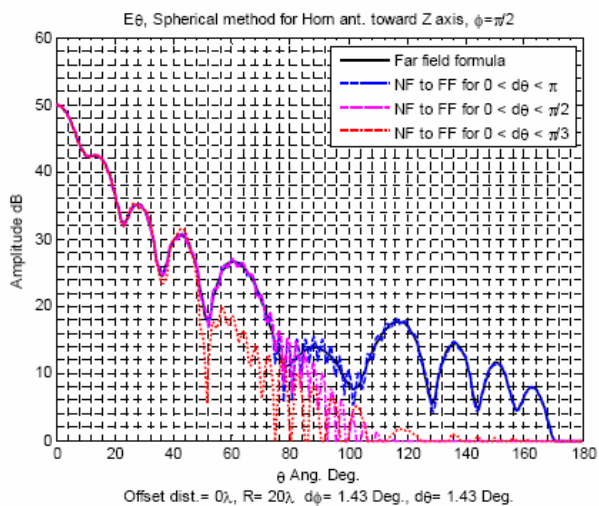
۳: روش کروی

الف: اثر پرتو آنتن نمونه برداری



مقایسه‌ی میدان دور آنتن بوقی، با میدان دور بدست آمده از تحلیل میدان نزدیک روی سطح نمونه‌برداری کروی، با شعاع 20λ و بررسی اثر پرتو آنتن نمونه‌بردار

ب: اثر محدود بودن سطح نمونه برداری کروی



مقایسه‌ی میدان دور آنتن بوقی، با میدان دور بدست آمده از تحلیل میدان نزدیک روی سطح نمونه‌برداری کروی، با شعاع 20λ و بررسی اثر محدود بودن سطح کره

۳-۴-۲- خطا برای آنتن بشقابی

در این قسمت بطور مختصر، خطا برای پرتو آنتن بشقابی با روش صفحه ای مورد بررسی قرار میگیرد. برای سایر روشها به مرجع اصلی مراجعه شود.

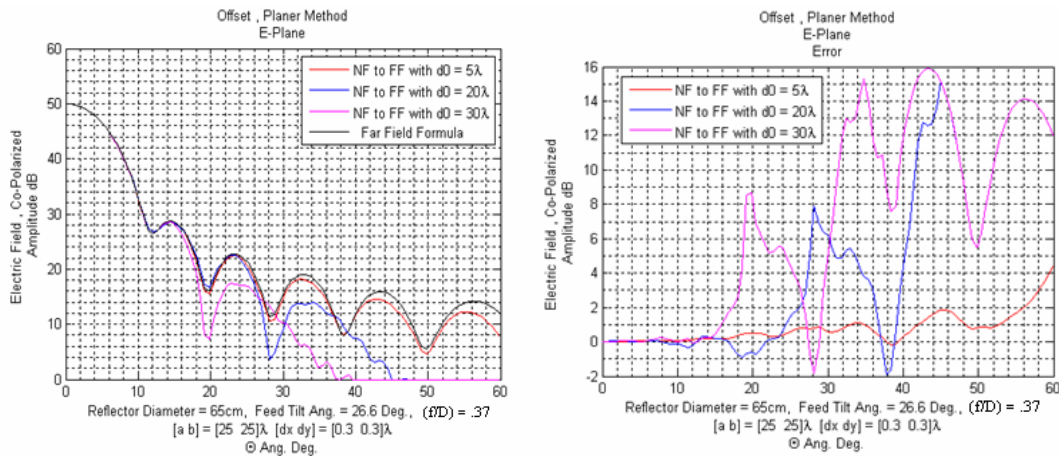
۳-۴-۲-۱ تغذیه‌ی آفست

در این قسمت نتایج شبیه‌سازی برای حالتی که آنتن به صورت آفست تغذیه شده است، ارائه می‌شود. نتایج شبیه‌سازی با در نظر گرفتن رنج دینامیکی^۱ ۵۰ dB است.

موقعیت سطح نمونه‌برداری صفحه‌ای نسبت به آنتن با رفلکتور پارابولویید در حالتی که به صورت آفست تغذیه می‌شود،

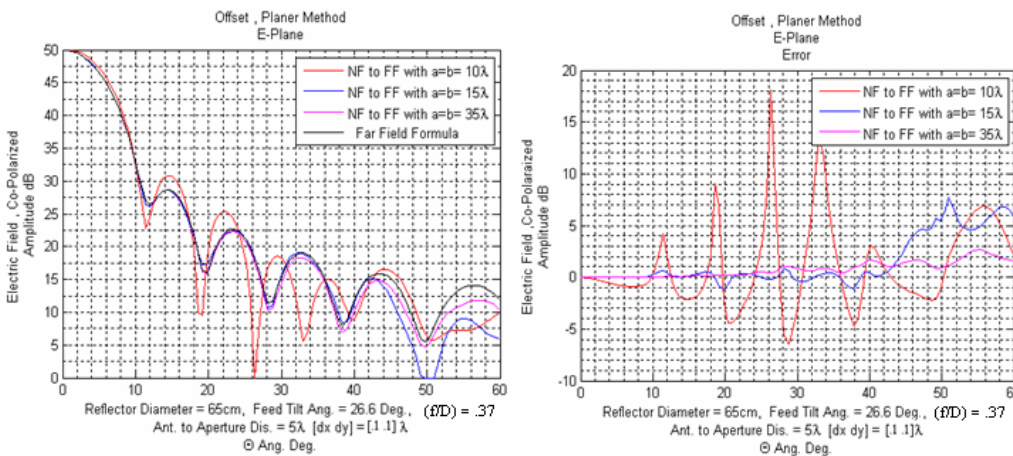
• اثر فاصله‌ی سطح صفحه‌ای از کانون

انتظار داریم با افزایش فاصله‌ی سطح صفحه‌ای از پنجره‌ی آنتن در محل کانون، خطای ناشی از بدست آوردن میدان دور از میدان نزدیک افزایش یابد. تأثیر فاصله‌ی سطح صفحه‌ای از کانون و خطای ایجاد شده در اندازه‌گیری میدان دور از میدان نزدیک در شکل‌های زیر نشان داده شده است



• اثر ابعاد سطح صفحه‌ای

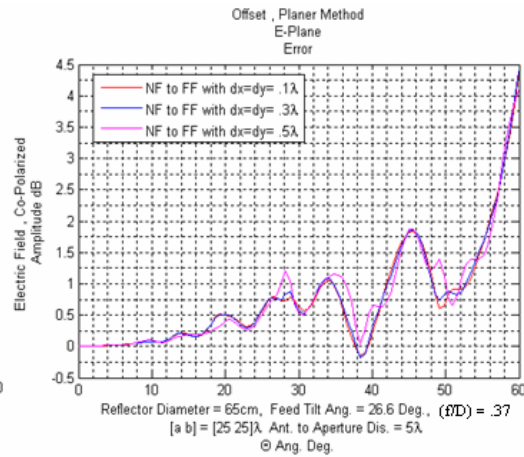
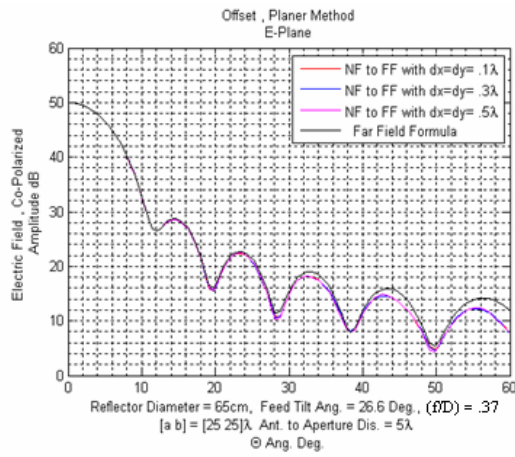
تأثیر ابعاد سطح صفحه‌ای در بدست آوردن میدان دور با تحلیل میدان نزدیک بر روی سطح صفحه‌ای در شکل‌های زیر نشان داده شده است.



• اثر فاصله‌ی نقاط نمونه‌برداری

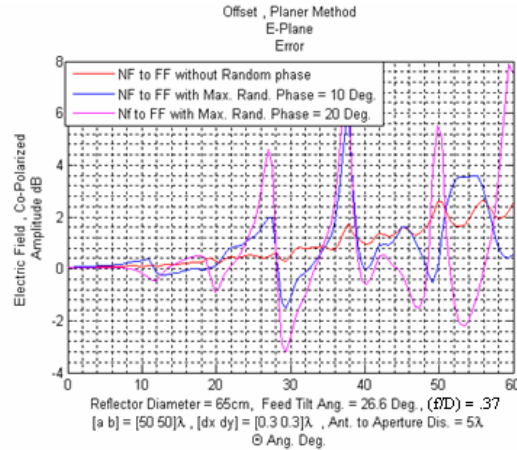
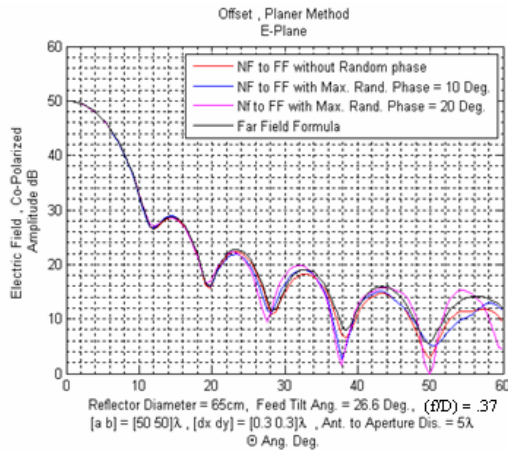
تأثیر فاصله‌ی نقاط نمونه‌برداری بر روی سطح صفحه‌ای در بدست آوردن میدان دور با تحلیل میدان نزدیک در شکل‌های زیر نشان داده شده است.

¹ Dynamic range



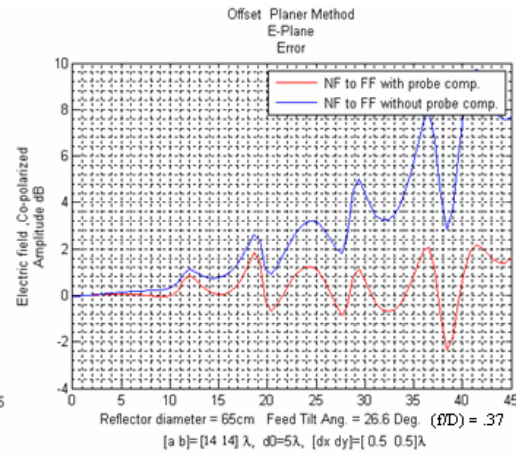
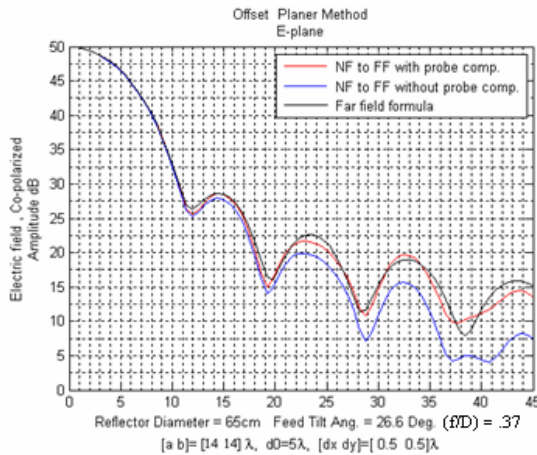
● اثر تغییرات جزئی تصادفی فاز (اثر کابل)

تأثیر کابل، با در نظر گرفتن تغییرات جزئی تصادفی فاز، در بدست آوردن میدان دور از میدان نزدیک، در شکل‌های زیر نشان داده شده است.



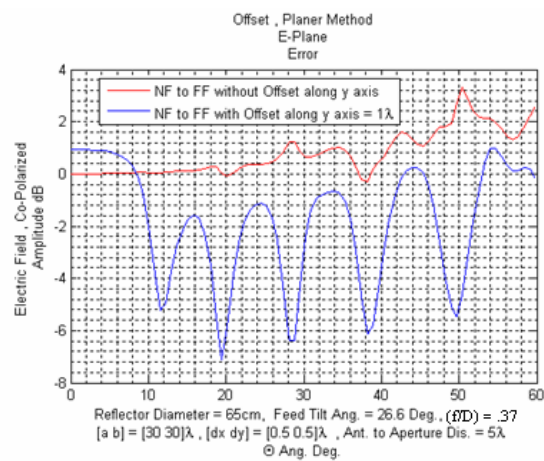
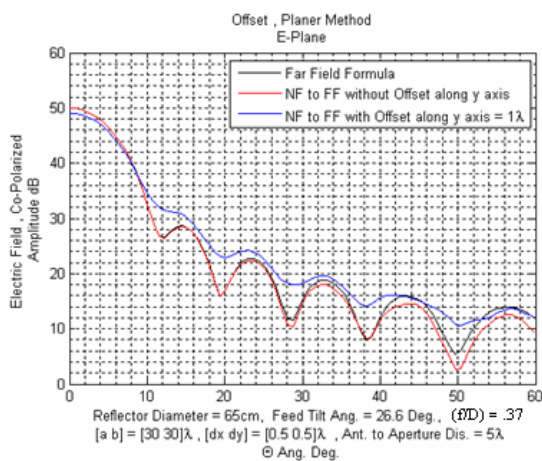
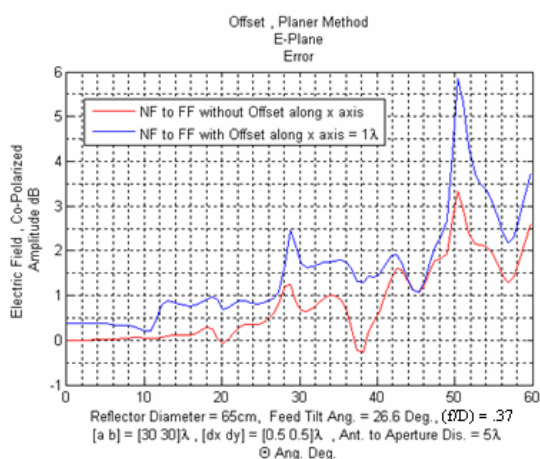
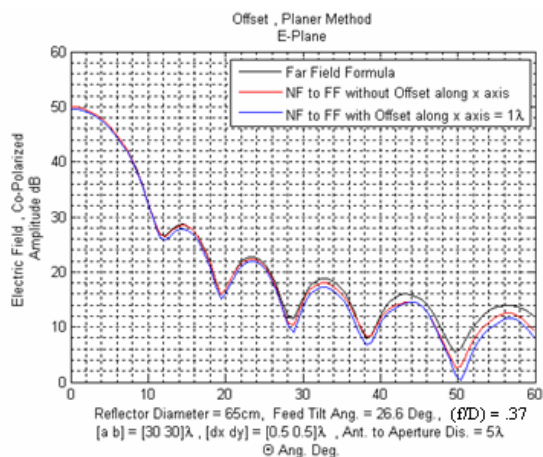
● اثر آنتن نمونه‌بردار

در این قسمت تأثیر تغییر بهره‌ی آنتن نمونه‌بردار با تغییر موقعیت آنتن نمونه‌بردار و آنتن با رفلکتور پارابولویید، در بدست آوردن میدان دور با تحلیل میدان نزدیک بر روی سطح صفحه‌ای، در شکل‌های زیر مورد بررسی قرار گرفته است.



اثر جابه‌جایی آنتن روی محورهای مختصات

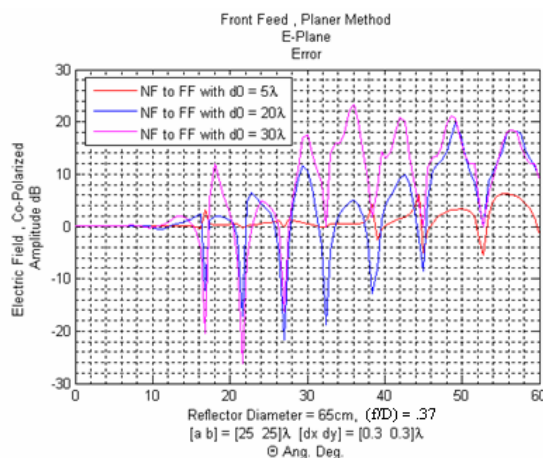
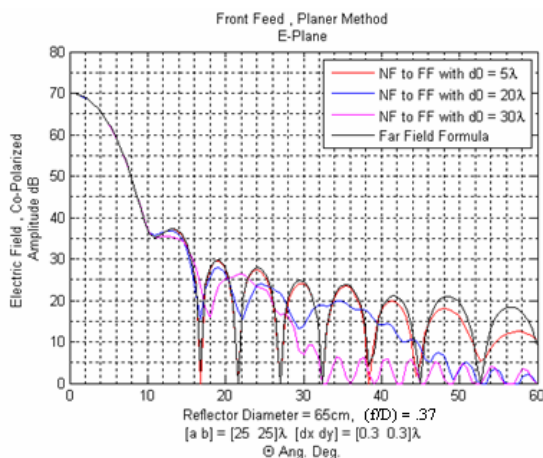
تأثیر جابه‌جایی آنتن روی محورهای مختصات، در بدست آوردن میدان دور از میدان نزدیک، در شکل‌های زیر نشان داده شده است.



۲-۲-۴-۳ تغذیه‌ی از روبرو

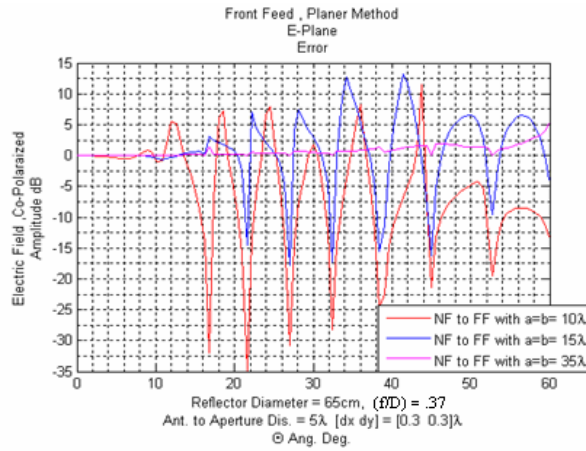
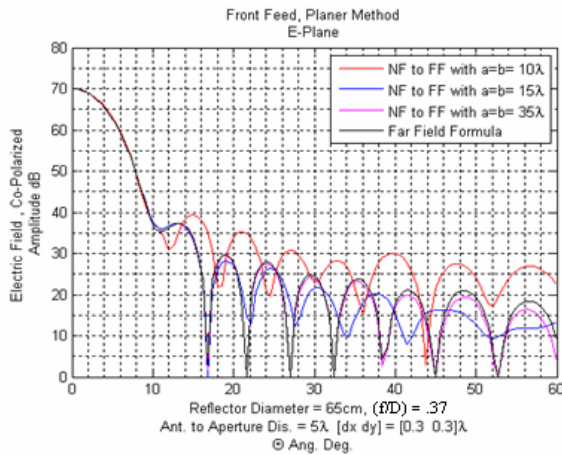
• اثر فاصله‌ی سطح صفحه‌ای از کانون

تأثیر فاصله‌ی سطح صفحه‌ای از کانون آنتن با رفلکتور پارابولوئید، در خطای تعیین میدان دور با تحلیل میدان نزدیک بر روی سطح صفحه‌ای، در شکل‌های زیر نشان داده شده است.



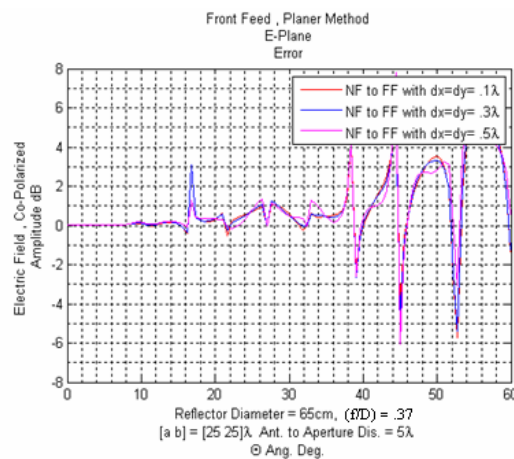
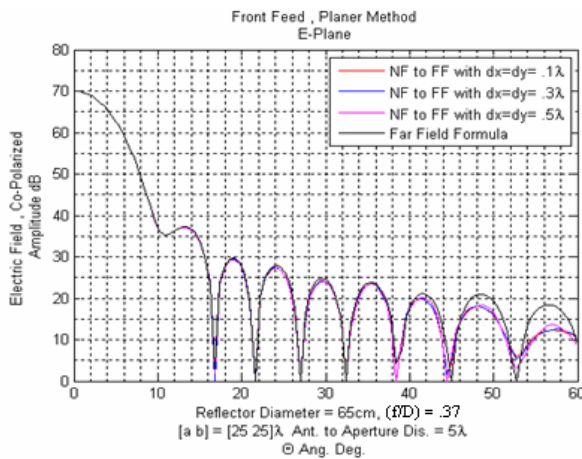
● اثر ابعاد سطح صفحه‌ای

در این قسمت تأثیر ابعاد سطح صفحه‌ای در خطای تعیین میدان دور از تحلیل میدان نزدیک در شکل‌های زیر مورد بررسی قرار گرفته است. انتظار داریم افزایش سطح نمونه‌برداری با افزایش ابعاد سطح صفحه، سبب کاهش این خطا شود.

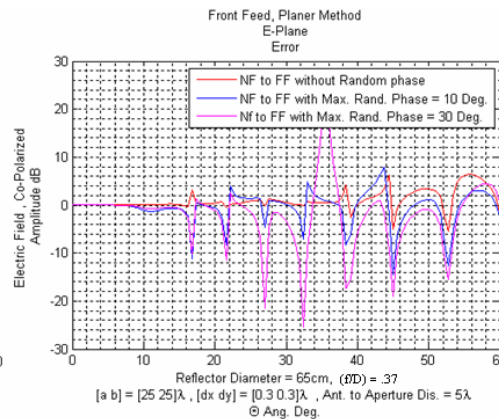
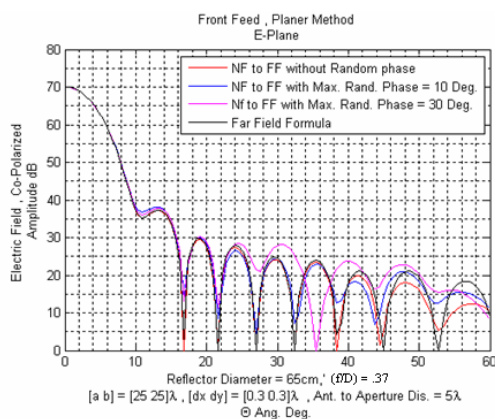


● اثر فاصله‌ی نقاط نمونه‌برداری

تأثیر فاصله‌ی نقاط نمونه‌برداری بر روی سطح صفحه‌ای در بدست آوردن میدان دور با تحلیل میدان نزدیک در شکل‌های زیر نشان داده شده است.

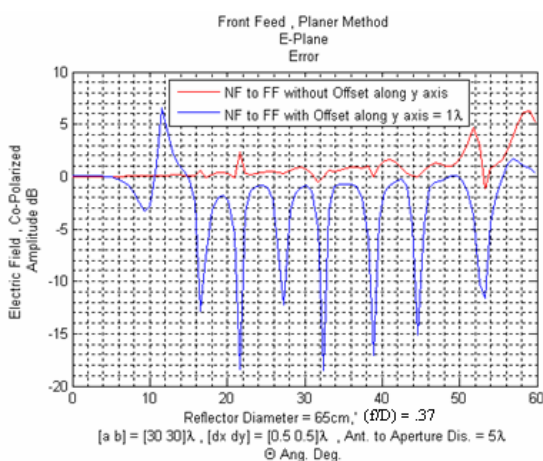
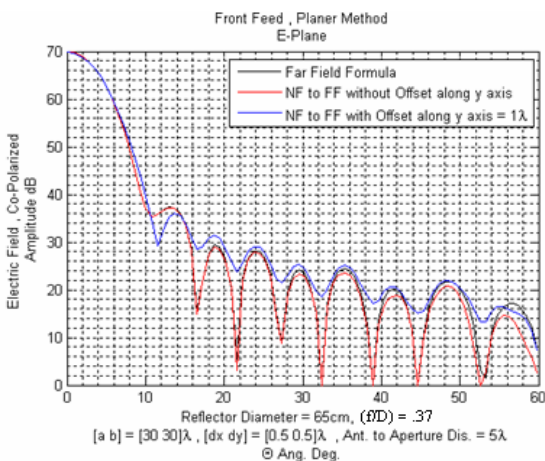
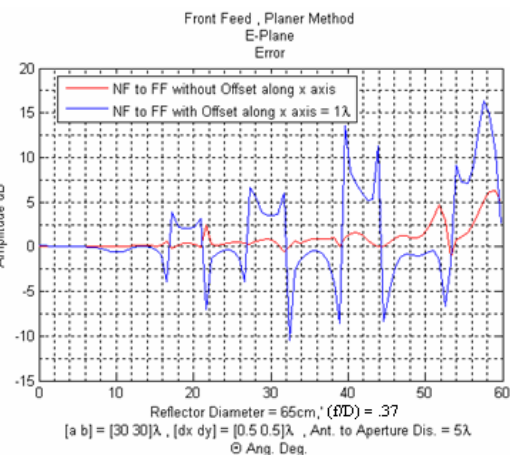
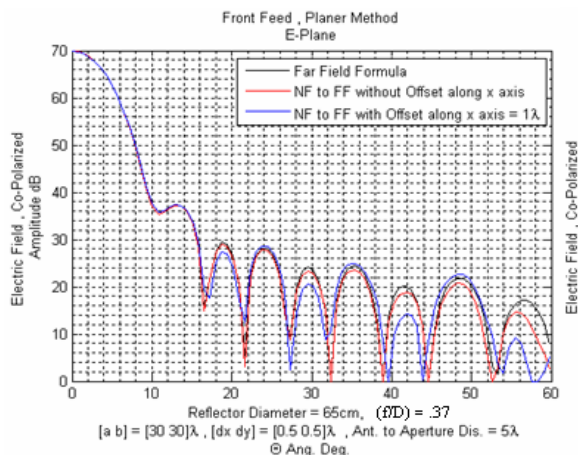


● اثر تغییرات جزئی تصادفی فاز (اثر کابل)

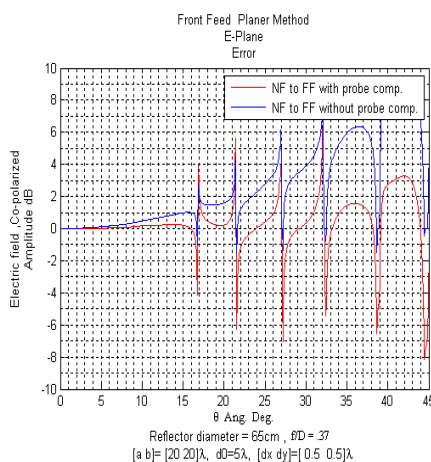
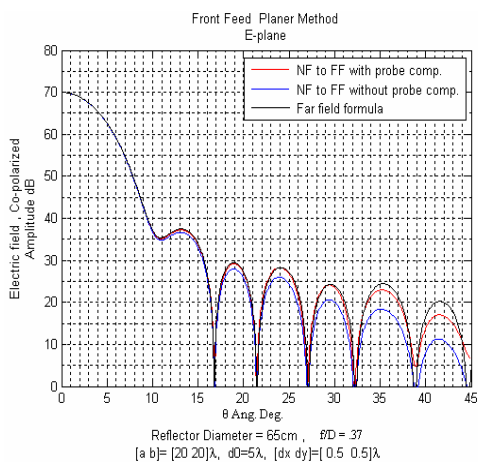


● اثر جابه‌جایی آنتن روی محورهای مختصات

تأثیر جابه‌جایی آنتن روی محورهای مختصات، در بدست آوردن میدان دور از میدان نزدیک، در شکل‌های زیر نشان داده شده است.



● اثر آنتن نمونه‌بردار



مراجع :

مجموعه ای از Wiltron Co. Application Notes

- [۱] - مریم فراهانی، شبیه سازی میدان دور از نزدیک، پایان نامه کارشناسی، مردادماه ۱۳۸۸
- [۲] - حدیثه ناساری، شبیه سازی میدان دور از نزدیک برای آنتن های با گین بالا، پایان نامه کارشناسی، مردادماه ۱۳۸۹