

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R M.2069-0建议书
(12/2014)

**雷达干扰分析中天线旋转的
可变性及对天线耦合的影响**

M系列

**移动、无线电测定、业余
和相关卫星业务**



国际电信联盟

前言

无线电通信部门的职责是确保卫星业务等所有无线电通信业务合理、平等、有效、经济地使用无线电频谱，不受频率范围限制地开展研究并在此基础上通过建议书。

无线电通信部门的规则和政策职能由世界或区域无线电通信大会以及无线电通信全会在研究组的支持下履行。

知识产权政策（IPR）

ITU-R的IPR政策述于ITU-R第1号决议的附件1中所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>获得，在此处也可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策实施指南》和ITU-R专利信息数据库。

ITU-R系列建议书

（亦可在线查询<http://www.itu.int/publ/R-REC/en>）

系列	标题
BO	卫星传送
BR	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
BS	广播业务（声音）
BT	广播业务（电视）
F	固定业务
M	移动、无线电定位、业余和相关卫星业务
P	无线电波传播
RA	射电天文
RS	遥感系统
S	卫星固定业务
SA	空间应用和气象
SF	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
SM	频谱管理
SNG	卫星新闻采集
TF	时间信号和频率标准发射
V	词汇和相关问题

说明： 该ITU-R建议书的英文版本根据ITU-R第1号决议详述的程序予以批准。

电子出版
2016年，日内瓦

©国际电联2016

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

ITU-R M.2069-0建议书

雷达干扰分析中天线旋转的可变性及对天线耦合的影响

(2014)

范围

本建议书介绍了干扰和兼容性分析中天线旋转对天线耦合的影响。

关键词

天线耦合、天线旋转失配、雷达

缩略语/词汇

CDF 累积分布函数

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 需要估算出旋转天线的天线耦合供干扰评估使用；
- b) ITU-R M.1851建议书 – “用于干扰分析的无线电定位雷达系统天线方向图的数学模型”可用于得出天线耦合估算所使用的理论天线方向图，

做出建议

在估算天线耦合效应时应考虑采用附件1所述信息。

附件 1

天线耦合效应

本附件探讨了天线旋转可变性对天线耦合的影响。

天线耦合

当两部雷达在彼此视距范围内操作时，或在非正常传播条件允许的情况下，来自某一雷达天线的辐射便可能被另一雷达的天线及其相关接收器接收。这种相互作用可形成相互干扰，从而导致性能退化。一旦发生此类情况，便可以说两个系统发生了耦合。为了对造成干扰的系统引发的各类问题做出预期，并实施相关的预防性措施，必须计算出两部雷达间天线耦合的能级。两部雷达间的天线耦合取决于以下因素：

- 大气传播条件；
- 发射器的功率；
- 两个系统的电缆和其它单元引发的损耗；
- 辐射方向图引起的天线间耦合；
- 受干扰接收器的灵敏度；
- 雷达间的空间间隔和地形标高；
- 天线离地高度和天线仰倾角；
- 天线在直接射线离开发射天线和入射接收天线角度的绝对增益，以及
- 天线旋转速度失配。

一次雷达采用高敏感接收器探测带有双向传播损耗（正向路径和返回路径）的航空器反射信号，从而会使雷达方程受到 $1/R^4$ 的影响，其中 R 代表航空器的距离。

雷达对雷达的干扰是单向路径（ $1/R^2$ 传播路径），因此引发干扰和受到干扰的雷达之间需要留出更大的间隔距离。

鉴于上述考虑，我们可以得出以下结论：在一个全雷达覆盖网络中，各雷达将始终受到周围其它雷达的干扰。

雷达间耦合多发生在两部雷达进行同频操作或在频率相关抑制（FDR）或峰值FDR数值较小的相邻频率运行的情况。因此，为了抑制此类雷达间干扰，当前采用的缓解技术是为覆盖区域内的雷达分配不同的频率。为了降低干扰，并通过地理性频率规划实现整个区域的完整覆盖，需要一组拥有足够间隔的频率。

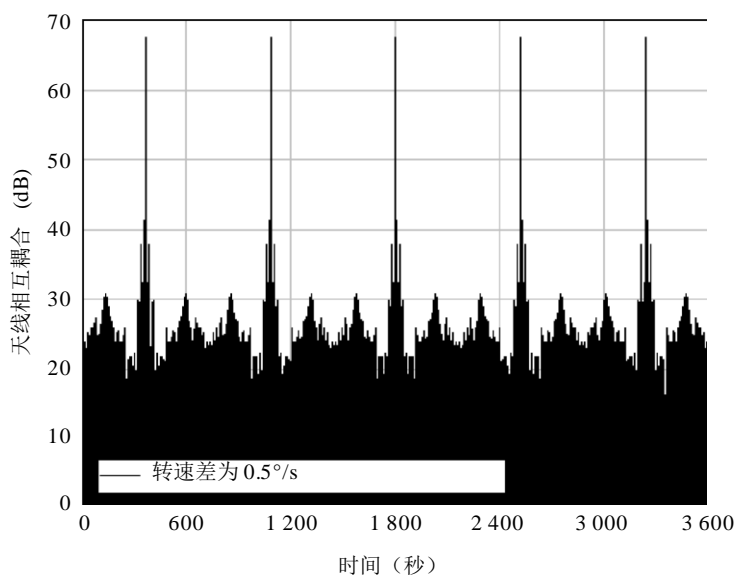
两组天线之间的旋转速度失配可能导致较高干扰重复且长时间的存在。图1至图6展示了天线旋转失配的范例（ITU-R M.1464-1建议书，雷达-C对雷达-C）。但这种旋转速度失配并非不合理。例如，以下内容是机场监视雷达基座方位驱动样品要求规范和天线扫描速度要求：

“天线基座方位驱动。基座方位驱动须具备每秒0至30度的可控速度，速度步进不得超过每秒1度，同时准确度为 $\pm 0.5^\circ/\text{s}$ 。方位驱动按照指令将天线定位支撑在与特定方位角偏差 ± 0.05 度的范围之内。在正常操作中，天线按顺时针方向旋转。”

另外一项有关天线扫探速度的规范规定，“天线扫探速度为每4.8秒旋转一周，偏差+0.53或-0.44秒”，这相当于天线旋转速度值在 $67.54^\circ/\text{s}$ 至 $82.57^\circ/\text{s}$ 之间。

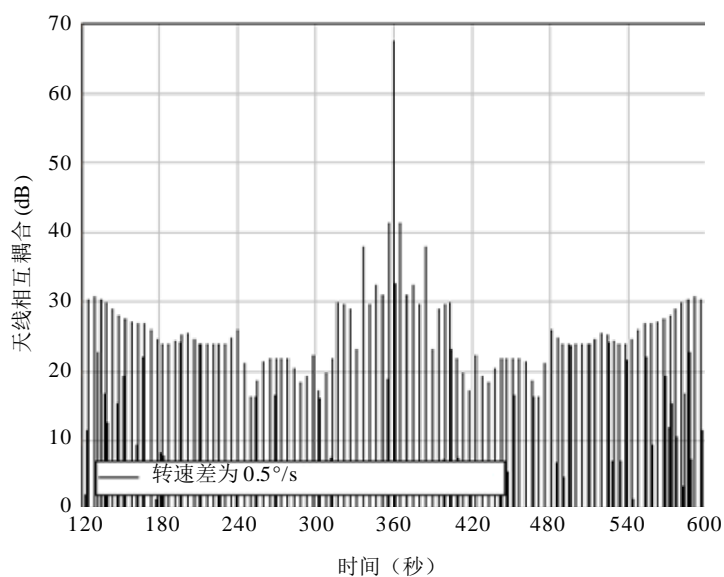
上述规范意味着，即使天线均保持同步旋转，较高能级的天线耦合依然会发生。下列各图展现了两部雷达的天线转速失配最大值分别为 $0.5^\circ/\text{s}$ 、 $0.25^\circ/\text{s}$ 和 $7.46^\circ/\text{s}$ 时所对应的天线耦合结果。图中显示，随着天线旋转速度失配的降低，高能级天线耦合的重复率也会下降。

图 1

转速差为 $0.5^\circ/\text{s}$ 时的天线耦合

M.2069-01

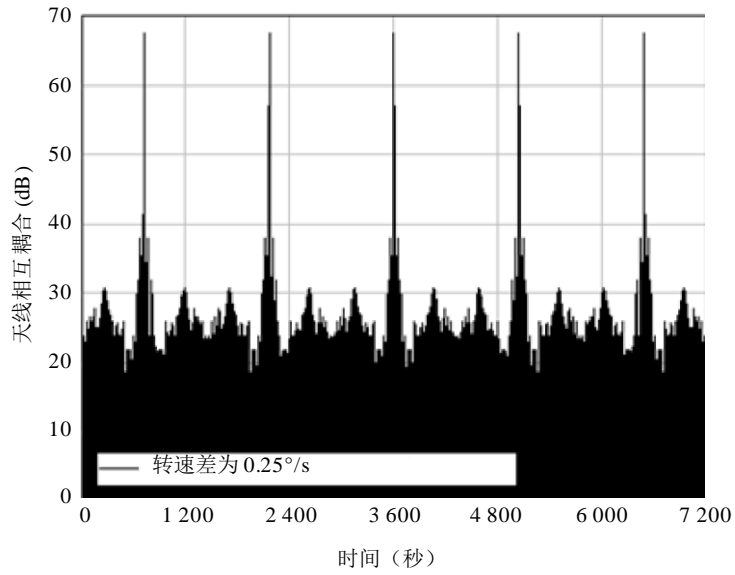
图 2

转速差为 $0.5^\circ/\text{s}$ 时的天线耦合 (更多细节)

M.2069-02

图 3

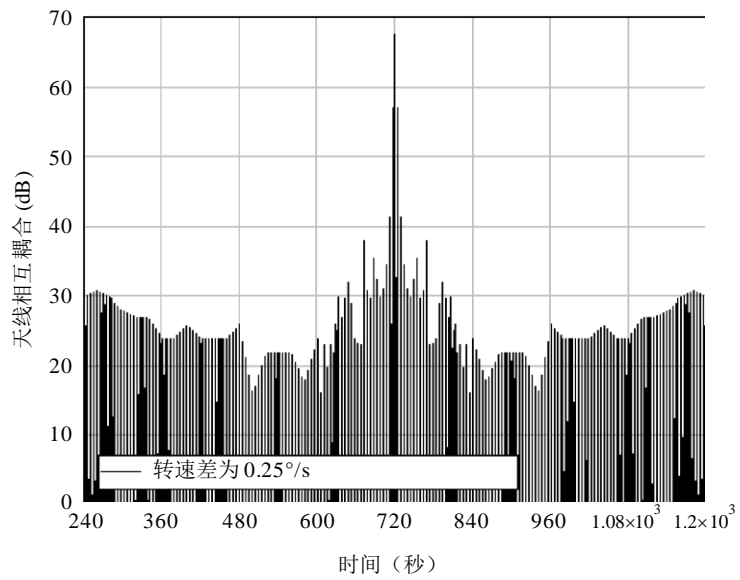
转速差为0.25°/s时的天线耦合



M.2069-03

图 4

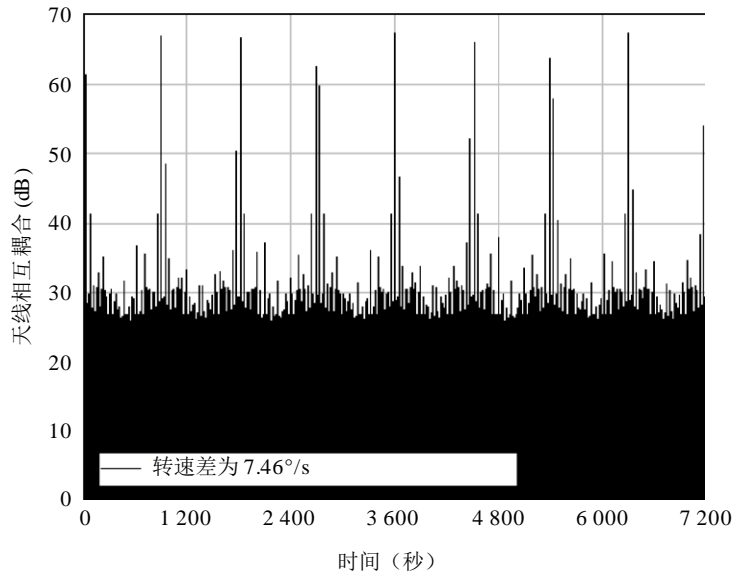
转速差为0.25°/s时的天线耦合 (更多细节)



M.2069-04

图 5

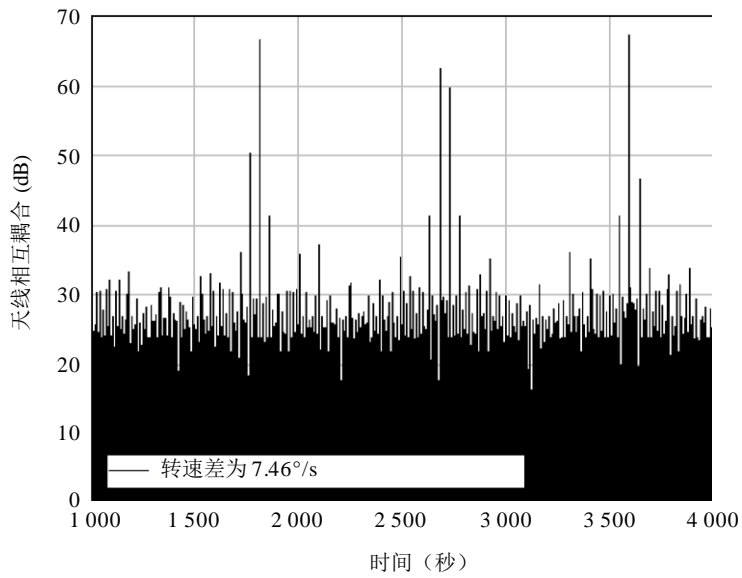
转速差为7.46°/s时的天线耦合



M.2069-05

图 6

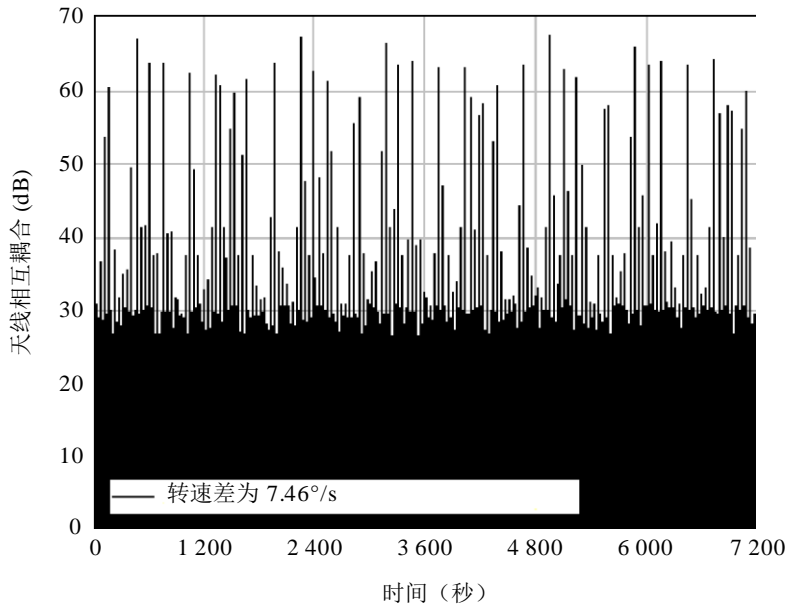
转速差为7.46°/s时的天线耦合 (更多细节)



M.2069-06

图 7

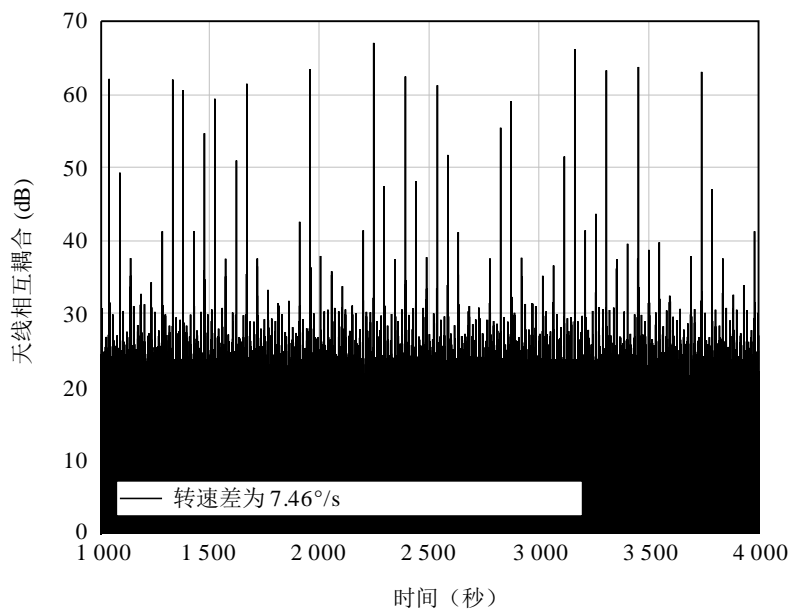
多雷达情况下转速差为7.46°/s时的天线耦合



M.2069-07

图 8

多雷达情况下转速差为7.46°/s时的天线耦合 (更多细节)

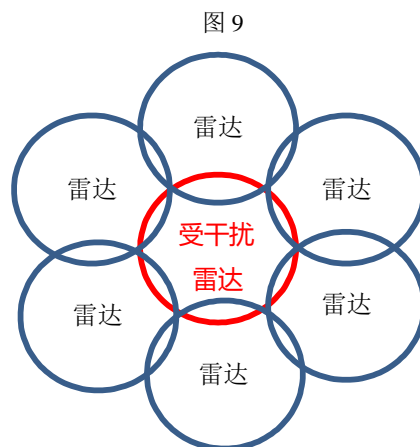


M.2069-08

通过图1至图8可以看出，较高能级的天线耦合增益会根据天线旋转速度失配的情况而存在很长时间。图10展示了雷达-C对雷达-C（图11描绘了此类雷达的天线方向图）相互作用下的天线耦合累积分布函数（CDF），该函数通过选取500万个有关两部雷达（以及对一部雷达-C产生干扰的多部雷达-C，如图9所示）天线的方位角指向位置的随机样本并评估受干扰天线的总增益计算得出。旋转速度假设不完全相同。同时雷达被安放在其天线可形成远场方向图的位置。例如，在0.05%的时间内，两部雷达之间的耦合能级会超过+30 dB。然而，从上图中可以看出，耦合能级几乎始终超过了30 dB。因此，有必要选取一个远远小于0.05%的数值代表真实的天线耦合值。在开展共用和兼容性研究时，建议选取的天线耦合增益值仅在极短的时间内被超出。“极短”的量级需要根据具体情况决定，它取决于雷达功能的紧急程度和重要程度。此外，还需要增加以下备注：

多雷达效应

亦应注意的，实现大面积覆盖往往需要一个雷达网络。例如，为了实现无盲区的全面覆盖，我们可以假设一个受干扰雷达周围存在其它6部雷达（见图9）。

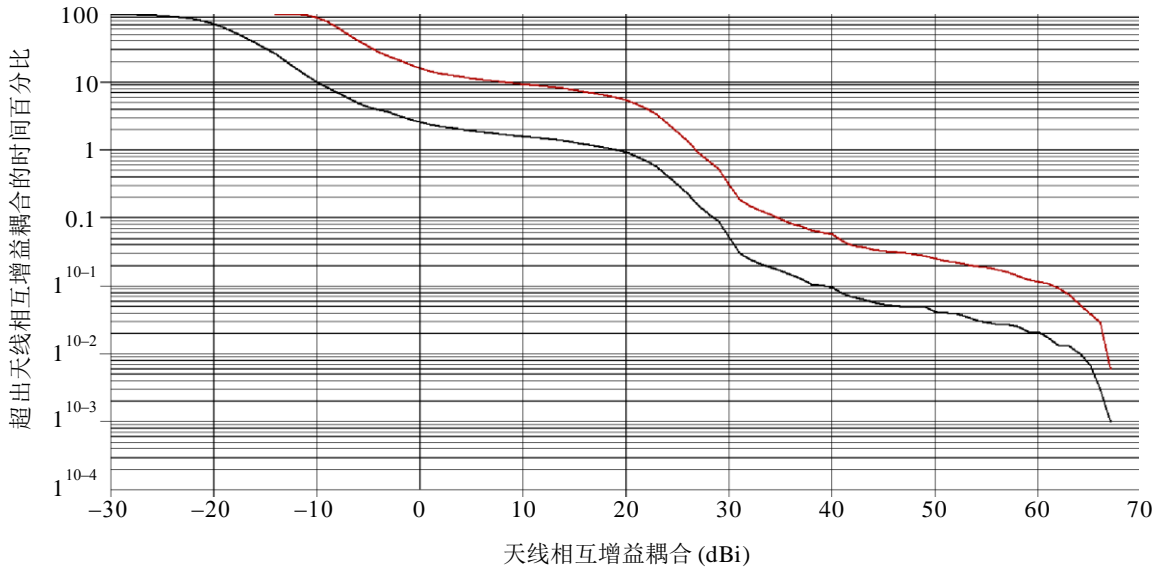


在这种情况下，受到的干扰大约是“通常情况的六倍”。由于七部雷达的角位置和旋转位置各不相同，干扰便会在时间上呈现出交错分布的特点。

例如，如果天线的转速差为 $0.1^\circ/\text{s}$ ，在均匀复现的假设条件下，最大耦合结果的周期可以估测为 $(360^\circ \div 0.1^\circ/\text{s}) \div 6 = 600$ 秒。但是在另外一个极端情况下，受干扰雷达与其它六部周围雷达之间的最大耦合结果可能出现在受干扰雷达天线的相同旋转周期内。假如雷达天线的共同旋转周期为12秒，这便意味着受干扰雷达每隔2秒便会受到干扰。图10展示了两种情况下的天线耦合CDF。第一种代表一对一雷达耦合（黑色曲线），第二种（红色曲线）代表图9所示的六部雷达同时干扰位于中间位置的一部雷达的情况。

图 10

雷达C的天线耦合CDF
(使用天线方向图测量结果)

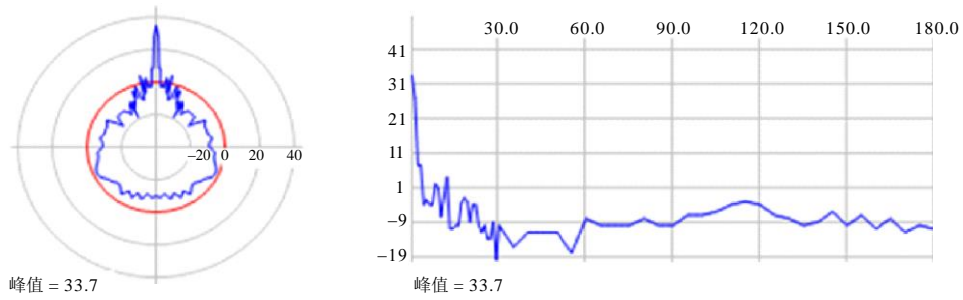


M.2069-10

分析中使用的天线方向图如图11所示。

图 11

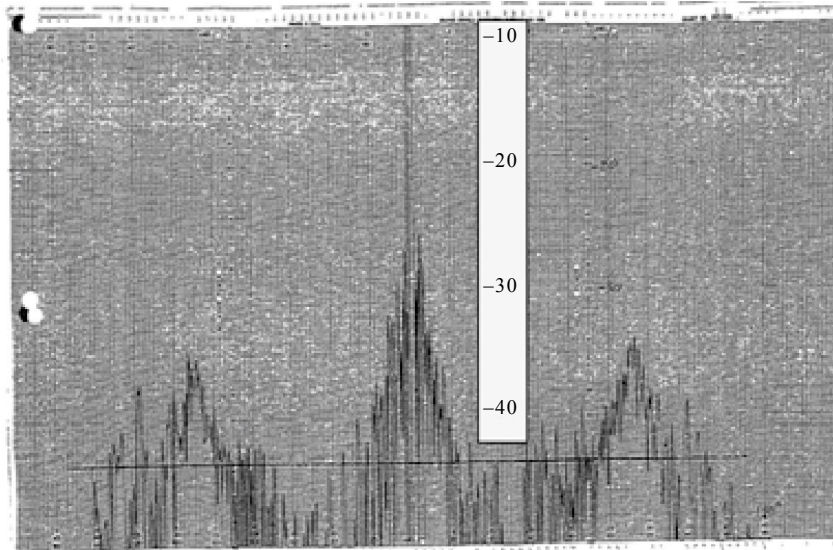
测量得出的雷达-C (ITU-R M.1464建议书) 方向图 (图11)



M.2069-11

图12展现了与雷达C相同的雷达测量方向图。

图 12
雷达-C天线方向图测量结果



M.2069-12

结论

研究显示，较高的雷达对雷达天线耦合值可以在长时间内持续重复。在使用天线耦合CDF计算得出的适当数值时，应将这种耦合效应考虑在内，同时亦要顾及雷达功能的紧急程度。

参考资料

- [1] ATDI Contract No. N68836-10-P-1705 “Rivira Wind Farm Effect on Kingsville Naval Air Station Radar” Written by S. Yun, M. Rais.
- [2] faaco.faa.gov/attachments/TDWR_Antenna_Requirements.doc.
- [3] Thereza M. Macnamara BSc, MSc (London) “Introduction to Antenna Placement and Installation” A John Wiley and Sons, Ltd., Publication, 2010.