

# 脉冲雷达电磁辐射的宽带场强仪测量方法

Measurement EMF of Pulse Radar with Broadband Field Meter

<sup>1</sup>北京森馥科技股份有限公司 <sup>2</sup>广州广电计量检测股份有限公司 <sup>3</sup>广州供电局有限公司

陆德坚<sup>1</sup> 薛欢<sup>1</sup> 崔保玉<sup>2</sup> 王毅<sup>3</sup>

## 摘要

针对脉冲雷达的电磁辐射特点及标准测试要求,分析了宽带场强仪在测试脉冲雷达信号时的响应特性,提出使用宽带场强仪测量脉冲雷达电磁辐射应进行测量示值误差修正,对于旋转雷达还应进行照射时间修正。总结了脉冲雷达电磁辐射的宽带场强仪测量方法,给出了宽带场强仪脉冲测量示值误差修正方法以及雷达照射时间修正方法。

## 关键词

脉冲雷达;电磁辐射测量;宽带场强仪

## Abstract

Base on the EMF feature of pulse radar and the EMF measurement requirement of related standard, the response characteristic of broadband field meter to the pulse radar signal is analyzed. The display value error should be corrected when measure EMF of pulse radar with broadband field meter, illumination time of a rotating radar should be taken into account too. The method of measurement EMF of pulse radar with broadband field meter is proposed, including display value error corrected and illumination time corrected. Finally, an example shows the way of the broadband field meter measured EMF of pulse radar.

## Keywords

pulse radar; EMF measurement; broadband field meter

## 1 概述

雷达设备广泛应用于国防及国民经济领域。按照雷达发射信号的波形,可分为:脉冲雷达和连续波雷达。其中,雷达脉冲电磁波具有较低的平均功率和极高的峰值功率。

GB 8702-2014《电磁环境控制限值》<sup>[1]</sup>规定了电磁环境中控制公众曝露的电磁场限值。对于脉冲电磁波,除了任意连续6分钟内均方根值(RMS值)满足公众曝露控制限值要求,其功率密度瞬时峰值不应超过均方根值控制限值的1 000倍,或场强的瞬时峰值不应超过公众曝露控制限值的32倍。因此,脉冲雷达电磁辐射监测,需要测量其RMS值及脉冲峰值。依据HJ 10.2-1996《辐射环境管理导则电磁辐射监测仪器和方法》<sup>[2]</sup>,测量其电磁辐射可采用两种方法:1)频谱分析仪/接收机+天线;2)宽带场强仪。

使用频谱分析仪或接收机+天线,或使用频谱仪和三轴全向天线一体的选频分析仪测量脉冲雷达,可以测量频谱、脉冲峰值及RMS值。该方法的缺点是成本高,且在6 GHz以上没有三轴全向天线,量程上限小,因此在脉冲雷达电磁辐射监测领域没有广泛应用。

宽带场强仪具有测量频率范围宽(频率范围覆盖60

GHz以下)、量程高(连续波量程可达400 V/m、脉冲波量程可达1 000 V/m)、可直接测量全向场强值、操作简便、价格便宜等优点。但宽带场强仪无法进行频谱分析、不能直接测量峰值。

## 2 脉冲雷达电磁辐射测量方法

### 2.1 静止脉冲雷达的测量及评估方法

静止雷达天线发射方向固定,发射周期性脉冲电磁波。使用宽带场强仪测量时,设置其为最大值保持模式,读取稳定状态时的测量值。

第一步:使用宽带场强仪测量脉冲信号,采用最大值保持方式,得到 $E_{display}$ 值。

第二步:对测量示值进行修正得到 $E_{rms}$ 。

第三步:峰值评估,如果占空比小于1:1 000,根据占空比,推算出 $E_{peak}$ 。

第四步:安全评估。

静止脉冲雷达电场强度的脉冲峰值及方均根值的关系仅与雷达占空比有关。

### 2.2 旋转脉冲雷达的测量及评估方法

脉冲雷达以旋转扫描方式工作时,在一次旋转扫描中,测试点位受到雷达脉冲照射的时间很短,因此除

了需要进行测量示值偏差的修正外, 还需要进行照射时间修正, 以得到脉冲信号的幅度。

第一步: 使用宽带场强仪, 调整架设方向, 使其中的某个轴向测量值最大。一般宽带场强仪的 X、Y、Z 三轴是顺序测量的, 由于在旋转雷达的照射时间无法保证三个轴向同时完成测量, 即使使用最大值保持模式, 也是不同时间的测量值。操作方法为: 使用最大值保持模式, 如果宽带场强仪具有单轴测量功能, 则选择最大测量值的轴向进行连续测量。

第二步: 测量旋转雷达脉冲信号  $E_{display}$ 。

第三步: 经过测量示值误差修正得到  $E_{rms}$ 。

第四步: 经过雷达照射时间修正得到  $E_{cw}$ 。

第五步: 如果占空比小于 1:1 000, 根据占空比, 推算出  $E_{peak}$ 。

第六步: 安全评估。

### 3 宽带场强仪测量脉冲雷达

#### 3.1 测量示值误差的修正

宽带场强仪在测量脉冲信号时, 仪器测量示值与实际值之间存在差异, 需要进行修正。

这个修正系数通常和脉冲占空比以及脉冲重复频率相关。对于常见的 1:1000 占空比脉冲, 图 1 和图 2 分别给出了 EMR Type9.2 型探头和 PMM8053B 的 EP183 探头的测量示值与实际值之间的修正曲线,  $E$  是  $E_{rms}$  与  $E_{display}$  的偏差值。

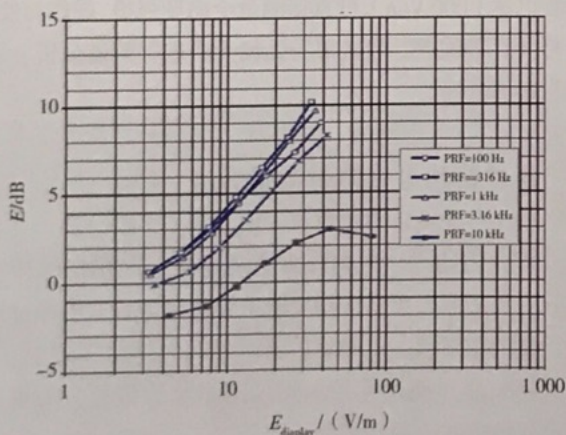


图 1 Type9.2 型探头典型的雷达信号测量示值偏差

对于市面上常见的 SEM-600 搭配 RF-06 探头、以及 NBM550 搭配 EF0691, 厂家没有给出相应的参数。笔者搭建了图 3 所示的测试装置, 通过实验室测定其典型雷达脉冲测量示值偏差见图 4。

#### 3.2 照射时间误差的修正

在测量旋转雷达时, 在测量点上雷达脉冲照射时间短。远场测量时, 照射时间通常小于宽带场强仪的积分时间常数, 宽带场强仪的探头通常在偶极子天线端接

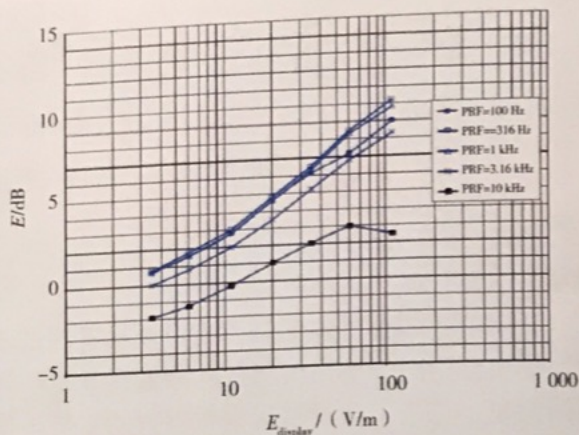


图 2 EP183 探头典型的雷达信号测量示值偏差

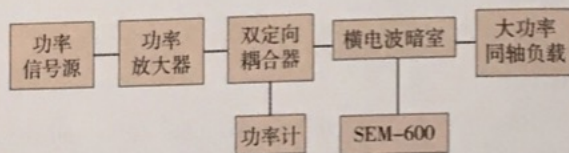


图 3 电磁场探头典型脉冲信号测量示值偏差测试装置

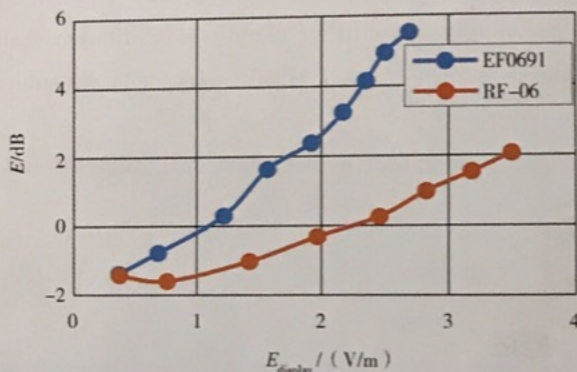


图 4 EF0691 探头及 RF-06 探头典型脉冲信号测量示值偏差 (PRF=125 Hz)

肖特基检波二极管, 在积分时间常数内对测量信号进行积分累积, 因此测量值与脉冲的照射时间相关, 照射时间短于积分时间常数时, 测量值小于信号的幅度。要评估信号的幅度, 需要对测量值进行修正。

测试时, 启动宽带场强仪的最大值或最大保持测量模式, 雷达波束的经过几次扫描, 测量扫描雷达均方根值的最大值作为测量结果。

IEEE 1309-2013<sup>[3]</sup> 附录 D 给出突发雷达脉冲信号的照射时间修正系数公式:

$$K = \frac{E_{hold}}{E_{cw}} = 1 - e^{-(t/T)} \quad (1)$$

式 (1) 中,

$t$  是照射时长 (s);

$T$  是探头及电路的积分时间常数 (s);

$K$  是最大保持比;

$E_{hold}$  是宽带场强仪使用最大保持测量的值;

$E_{cw}$  是连续波的测量值平均值。

