



470~510 MHz 频段无线抄表系统干扰共存

许瑞琛, 房骥, 杜昊, 王小波

(国家无线电监测中心检测中心, 北京 100041)

摘要: 现行射频规范限制 470~510 MHz 频段无线抄表系统不能适应电力网络新的通信速率和覆盖范围需求。如何调整相关射频规范, 在保障邻频先用通信业务不受干扰的前提下, 有效提升无线抄表系统的通信能力成为目前亟待解决的问题之一。针对该问题, 首先分析国内 450~566 MHz 频段频谱划分情况。随后根据国家电网 3 种无线抄表系统的射频参数, 通过确定性计算和射线追踪仿真的方法, 研究所述无线抄表系统和邻频广播电视系统、CDMA450 系统、铁路列调系统、FDD LTE 系统之间的干扰共存情况。最后给出相关射频规范的修改建议。

关键词: 470~510 MHz; 无线抄表系统; 射频需求; 干扰共存; 修改建议

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2017009

Interference coexistence between wireless meter reading system in 470~510 MHz band and adjacent systems

XU Ruichen, FANG Ji, DU Hao, WANG Xiaobo

The State Radio Monitoring Center Testing Center, Beijing 100041, China

Abstract: Current RF specification restrains the wireless meter reading system (WMRS) working in 470~510 MHz band. It is incapable of meeting new communication speed and coverage requirements of power network. Under the premise of ensuring that prior used communication systems in adjacent band work without interference, how to modify the related RF specification to improve communication ability of WMRS is one of the problems to be solved at present. Firstly, the domestic frequency spectrum allocation in 450~566 MHz band was analyzed. Then, based on RF parameters of 3 kinds of WMRS from State Grid and deterministic computation and ray tracing simulation method, the interference coexistence between the WMRS and adjacent communication systems, which including broadcast television system, CDMA450 system, railway train dispatching system and FDD-LTE system was studied. At last, some suggestions for revision of relevant RF specifications were obtained.

Key words: 470~510 MHz, wireless meter reading system, RF requirement, interference coexistence, modification suggestion

1 引言

无线抄表技术可以使电力网络监控自动化, 具有广泛

的应用前景。自国家无线电管理机构颁布法规^[1]确立 470~510 MHz 可供无线计量业务应用^[2,3]以来, 工作在此频段的无线抄表节点已部署近 3 000 万个, 取得巨大的经济和社

收稿日期: 2016-10-25; 修回日期: 2016-12-14

基金项目: 国家科技重大专项基金资助项目 (No.2013ZX03001015-003)

Foundation Item: The National Science and Technology Major Project of China (No.2013ZX03001015-003)



会效益。然而,单纯测量电流的无线抄表系统已经不能满足电力部门的需求。为了更好地提升能效、报告故障、规范用电习惯,电力部门还需计量其他诸如功率因数、无功功率及分时段计费等参数^[2]。新的计量数据需求对承载计量数据传输的无线抄表系统的通信速率和覆盖范围提出了更高的要求。现行射频规范^[1]对 470~510 MHz 频段无线抄表系统的功率及带宽限制使其无法满足所述通信速率和覆盖范围需求。在保障同频邻频通信系统不受干扰的前提下,如何修改现行射频规范,适当放宽 470~510 MHz 无线抄表系统功率和带宽限制,成为目前亟待解决的问题之一。

2 470~510 MHz 无线抄表系统的射频规定及设备射频参数介绍

根据信部无[2005]423 号文^[1],470~510 MHz 无线抄表系统属于短距离微功率设备中的无线传声器和民用无线电计量仪表设备类型,在用于民用无线电计量仪表时,发射机工作时间不得超过 5 s,发射功率限值为 50 mW,占用带宽小于 200 kHz;若使用频率和当地电视广播电台频率相同时,不得在当地使用;若对当地声音、电视广播接收产生干扰时,应立即停止使用。

现有无线抄表设备一般安装在楼宇中的电箱内,穿墙损耗大。由于其最大发射功率为 50 mW,需要在每个楼宇内安装多个无线抄表汇聚节点,造成无线抄表系统部署成本增加。因此,国家电网预部署两种具有更大功率和更大带宽的无线抄表设备。所述 3 种无线抄表设备相关参数见表 1。

由表 1 可知,两种新型的无线抄表设备的射频参数和已部署的无线抄表设备差别较大,研究新型无线抄表设备

对 470~510 MHz 同频和邻频设备的干扰共存情况十分必要。所述研究能够为射频规范^[1]的调整提供定量和定性的技术建议。

3 450~566 MHz 频段频谱划分情况和在用业务情况

主要分析和无线抄表系统同频 470~510 MHz 及邻频 450~470 MHz 及 510~566 MHz 内频谱划分情况和在用业务情况,得到需要研究的无线抄表系统干扰共存分析场景。

根据参考文献[4],国内 450~566 MHz 频段频谱划分情况见表 2。由表 2 可知,目前 470~510 MHz 频段的主要业务为广播业务,450~470 MHz 频段主要划分给陆地固定业务和陆地移动业务。

表 2 中华人民共和国无线电频率划分规定中 450~566 MHz 频段频谱划分情况

频段/MHz	频谱划分
450~460	固定,移动 5.286AA,[航空无线电导航] 5.271,[无线电定位]
460~470	固定,移动 5.286AA,卫星气象(空对地)5.290,[无线电定位]
470~485	广播,空间操作(空对地),空间研究(空对地),[固定],[移动],[无线电定位]
485~566	广播,[固定],[移动],[无线电定位]

根据参考文献[2]和参考文献[6],450~566 MHz 频段民用业务见表 3。由表 3 可知,无线抄表系统的邻频系统包括 CDMA450 系统、铁路列调系统、FDD LTE 系统、DTMB(数字电视地面广播传输系统帧结构、信道编码和调制)系统和民用无线计量业务。其中,无线抄表系统和 DTMB 系

表 1 现有无线抄表设备和两种新型无线抄表设备的相关参数

射频参数	现有无线抄表设备	I 型无线抄表设备	II 型无线抄表设备
工作频段/ MHz	470~510	470~510	470~510
保护带宽	和广播电视使用频段保障 500 kHz 的频率间隔	待定	待定
最大发射功率	50 mW	100 mW	2 W
通信带宽	200 kHz	1 MHz	100 kHz
天线增益/dBi	0	0	0
馈线损耗/dB	0.2	0.2	0.2
天线高度/m	1.8	1.8	1.8
邻道泄露比(ACLR)/dB	第 1 邻道:55 第 2 邻道:65 第 3 邻道:70 其他信道:80	第 1 邻道:40 第 2 邻道:50 第 3 邻道:60 其他信道:70	第 1 邻道:50 第 2 邻道:60 第 3 邻道:70 其他信道:80

统虽然均工作于 470~510 MHz 频段, 但是其工作频段并不重叠。因此, DTMB 系统是无线抄表系统的邻频系统。

表 3 450~566 MHz 民用业务情况

业务名称	部署频段
CDMA450 农村无线接入系统	453.5~456.5 MHz 上行业务, 带宽 1.23 MHz 463.5~466.5 MHz 下行业务, 带宽 1.23 MHz
铁路列调系统	457.2~458.675 MHz, 带宽 25 kHz 467.2~468.675 MHz, 带宽 25 kHz
FDD LTE 系统	452.5~457.5 MHz 上行业务, 带宽 5 MHz 462.5~467.5 MHz 下行业务, 带宽 5 MHz
DTMB 系统	470~566 MHz, 带宽 8 MHz, 两个频带不连续使用, 工作频点: 474 MHz、490 MHz、506 MHz...
民用无线计量业务	470~510 MHz, 带宽 200 kHz, 和同频 DTMB 系统保障 500 kHz 的频率间隔

根据参考文献[1], 无线抄表系统需要能够承受其他通信系统的干扰。因此, 这里仅研究无线抄表系统对其他通信系统的干扰情况。可通过式(1)^[1]判断受扰系统受到干扰的类型。

邻道干扰: $|f_i - f_v| \leq 2.5 \times B_i + 0.5 \times B_v$

外道干扰: $|f_i - f_v| > 2.5 \times B_i + 0.5 \times B_v$

(1)

其中, f_i 和 f_v 分别表示干扰系统和受扰系统的工作频点, B_i 和 B_v 分别表示干扰系统和受扰系统的工作带宽。根据表 3 中无线抄表系统邻频业务的频率和带宽参数, 结合

式(1), 得到所需分析的干扰共存场景见表 4。其中, I 型和 II 型无线抄表设备和 DTMB 系统的保护带宽目前还未确定, 因此需要分析所述两种无线抄表系统和 DTMB 系统之间的邻道干扰和带外干扰情况。

4 无线抄表系统和邻频在用业务的干扰共存分析

首先介绍无线抄表系统的邻频在用业务的系统参数、带外干扰分析方法、邻道干扰分析的方法和传播模型, 接着对 I 型和 II 型无线抄表系统干扰 DTMB 系统的 ACIR 建模, 最后通过仿真和确定性计算的方法得到无线抄表系统和邻频在用业务之间的共存条件。

4.1 无线抄表系统同频邻频在用业务的系统参数

CDMA450 系统^[5]、FDD LTE 系统^[6]、铁路列调系统^[7]和 DTMB 广播电视系统^[8]干扰共存分析所需参数见表 5。

4.2 带外干扰分析方法、邻道干扰分析方法和传播模型

(1) 带外干扰分析方法

根据参考文献[6], 带外干扰分析方法分以下两步。

步骤 1 计算泄露在受扰系统工作带宽内的干扰信号功率 P_i 是否小于通用杂散门限 T_{SEI} ^[1], 如果 $P_i < T_{\text{SEI}}$, 则判断干扰系统不会对受扰系统造成有害干扰。

表 4 干扰共存场景分析

序号	场景	分析类型
1	3 种无线抄表系统干扰 CDMA450 上行业务	带外干扰分析
2	3 种无线抄表系统干扰 CDMA450 下行业务	带外干扰分析
3	3 种无线抄表系统干扰 FDD LTE 上行业务	带外干扰分析
4	3 种无线抄表系统干扰 FDD LTE 下行业务	带外干扰分析
5	3 种无线抄表系统干扰铁路列调系统上行业务	带外干扰分析
6	3 种无线抄表系统干扰铁路列调系统下行业务	带外干扰分析
7	现有无线抄表系统干扰 DTMB 广播电视系统下行业务	带外干扰分析
8	I 型无线抄表设备干扰 DTMB 广播电视系统下行业务	邻道干扰分析和带外干扰分析
9	II 型无线抄表设备干扰 DTMB 广播电视系统下行业务	邻道干扰分析和带外干扰分析

表 5 各受扰系统干扰共存分析所需参数

系统名称	CDMA450 基站	CDMA450 终端	列调系统基站	列调系统终端	广播电视接收端	FDD LTE 基站	FDD LTE 终端
频率/MHz	455	465	467	467	474	455	465
带宽	1.23 MHz	1.23 MHz	25 kHz	25 kHz	8 MHz	5 MHz	5 MHz
天线增益/dBi	12	2	10	0	12	12	2
馈线损耗/dB	3	2	2	2	5	3	2
天线高度/m	30	1.5	30	4	2	30	1.5
噪声系数/dB	5	9	5	9	5	5	9
保护准则	-7 dB(I/N)	0 dB(I/N)	18 dB(C/I)	18 dB(C/I)	20 dB(C/I)	-7 dB(I/N)	0 dB(I/N)



步骤 2 如果 $P_i > T_{\text{SEI}}$, 使用受扰系统的保护准则判断干扰系统是否会对受扰系统造成有害干扰。

其中, P_i 可由式(2)得到, T_{SEI} 可由式(3)得到。

$$P_i = 10 \times \lg \left(\int_{f_i}^{f_o} \text{PSD}_i df \right) \quad (2)$$

$$T_{\text{SEI}} = 10 \times \lg(T \times B_v / 0.1) \quad (3)$$

式(2)中, f_i 和 f_o 分别表示受扰系统工作频带的上下限, PSD_i 表示干扰信号的功率谱密度。式(3)中, T 表示单位带宽上的通用杂散门限, $T = -36 \text{ dBm}/100 \text{ kHz} = 2.511 \times 10^{-4} \text{ mW}/100 \text{ kHz}$, B_v 表示受扰系统工作带宽, 单位为 MHz。 P_i 和 T_{SEI} 单位为 dBm。

(2) 邻道干扰分析方法

如图 1 所示, 无线抄表系统一般安装在电井中的电表箱内, 无线电波需要经过两层金属隔离物才能向外传播。因为 DTMB 系统接收端可能安装于室内, 也可能安装于室外, 所以干扰端至受扰端的传播模型应为室内传播或室内传播和室外传播的组合。目前, 并没有普适性的室内传播模型供干扰共存分析使用。因此, 这里设计了一种仿真和数值计算相结合的邻道干扰分析方法。



图 1 无线抄表系统安装实地

所述邻道干扰分析方法分为 4 步。

步骤 1 通过式(4)计算得到受扰系统和干扰系统之间的安全隔离度 L_{p1} , 单位为 dB。

步骤 2 通过建立普通住宅模型并使用射线追踪仿真方法得到室内路损 L_{pS} , 即无线抄表系统至房屋外墙外多个样本接收点的统计平均损耗, 单位为 dB。

步骤 3 如果 $L_{p1} < L_{pS}$, 则说明室外受扰系统和干扰系统可以实现共存, 然后通过设置仿真步长, 使用射线追踪仿真方法得到室内受扰系统和干扰系统之间的安全隔离距离。

步骤 4 如果 $L_{p1} \geq L_{pS}$, 则说明室内受扰系统和干扰系统无法实现共存。通过式(5)得到除去穿墙损耗的安全隔离 L_{p2} 。根据 L_{p2} 和通用干扰共存传播模型^[8]反推得到安全隔离距离 d , 单位为 m。

$$L_{p1} = P_T + G_T + G_R - L_T - L_R - ACIR - I \quad (4)$$

$$L_{p2} = L_{p1} - L_Q \quad (5)$$

式(4)和式(5)中, P_T 表示干扰系统最大发射功率, 单位为 dBm; G_T 表示干扰系统的天线增益, 单位为 dBi; G_R 表示受扰系统的天线增益, 单位为 dBi; L_T 表示干扰系统的插入损耗, 单位为 dB; L_R 表示受扰系统的插入损耗, 单位为 dB; $ACIR$ 表示邻道干扰功率比, 单位为 dB; I 表示受扰系统能承受的最大干扰信号功率, 单位为 dBm, 由受扰系统的保护准则得到; L_Q 为穿墙损耗, 单位为 dB, 由仿真得到。

根据参考文献[8], 国际电信联盟规定: 0.1 km 距离以下时, 干扰共存计算采用 Hata 模型。因此, 步骤 4 中的传播模型使用 Hata 模型。

4.3 带外干扰分析

在带外干扰分析中, 假设 I 型和 II 型无线抄表类设备与 DTMB 系统之间的保护带宽分别为 2.5 MHz 和 250 kHz。根据第 4.2 节中带外干扰分析方法可知, 这种情况下, I 型和 II 型无线抄表类设备对 DTMB 系统的干扰属于带外干扰。根据表 1、表 5 及第 4.2 节中带外干扰分析方法, 得到的带外干扰分析计算结果见表 6。

表 6 无线抄表系统和受扰系统之间带外干扰分析计算结果

系统名称	现有无线抄表设备 P_i/dBm	I 型无线抄表设备 P_i/dBm	II 型无线抄表设备 P_i/dBm	杂散门限 $T_{\text{SEI}}/\text{dBm}$	可否共存
CDMA450 基站	-55.12	-49.10	-36.09	-25.1	可共存
CDMA450 终端	-55.12	-49.10	-36.09	-25.1	可共存
FDD LTE 基站	-49.03	-43.01	-30	-19.01	可共存
FDD LTE 终端	-49.03	-43.01	-30	-19.01	可共存
铁路列调基站	-72.04	-66.02	-53.01	-42.02	可共存
铁路列调终端	-72.04	-66.02	-53.01	-42.02	可共存
DTMB 系统	-46.98	-40.96	-27.95	-16.96	可共存

由表 6 可知,3 种无线抄表系统对 7 种受扰系统不造成有害的带外干扰,可以实现共存。因此,当现有无线抄表设备、I 型无线抄表设备和 II 型无线抄表设备与 DTMB 系统分别保证 500 kHz、2.5 MHz 和 250 kHz 带宽时,所述 3 种无线抄表系统可以和 DTMB 系统实现共存。

4.4 邻道干扰分析

本节分析在 I 型无线抄表设备和 II 型无线抄表设备与 DTMB 系统之间的保护带宽分别小于 2.5 MHz 和 250 kHz 时,所述两种无线抄表设备对 DTMB 系统的邻道干扰情况,并给出共存条件。

根据第 4.2 节邻道干扰分析方法、表 1、表 5、式(4)和式(5)可知,I 型和 II 型无线抄表系统与 DTMB 系统的邻道干扰共存分析还需要通过确定性计算方法得到 ACIR 值,并通过仿真方法得到 LP_S 和 L_Q 值。下面分别阐述得到 ACIR、 LP_S 和 L_Q 的方法和过程。最后根据 ACIR、 LP_S 和 L_Q 确定 I 型和 II 型无线抄表设备与 DTMB 广播电视系统的共存条件。

4.4.1 ACIR 建模

首先在不同保护带宽下,对 I 型和 II 型无线抄表系统干扰 DTMB 系统的 ACIR 建模。ACIR 由式(6)^[9]得到。

$$ACIR = 10 \lg \left(\frac{1}{\frac{1}{10^{ACLR/10}} + \frac{1}{10^{ACS/10}}} \right) \quad (6)$$

式(6)中 ACLR 单位为 dB;ACS 为邻道选择性,单位为 dB。下面分别通过数值计算方法得到不同保护带宽情况下,I 型和 II 型无线抄表系统对 DTMB 系统的 ACLR 和 ACS。

(1) ACLR 计算

假设 I 型无线抄表设备和 DTMB 系统之间的保护带宽为 0.5~2 MHz,II 型无线抄表设备和 DTMB 系统之间的保护带宽为 100~200 kHz。当保护带宽分别为 0.5 MHz、1 MHz、1.5 MHz 和 2 MHz 时,I 型无线抄表系统对 DTMB 系统的 ACLR 如图 2 所示。当保护带宽为 50 kHz、100 kHz、150 kHz、200 kHz 时,II 型无线抄表系统对 DTMB 系统的 ACLR 如图 3 所示。无线抄表系统对 DTMB 系统的 ACLR 可由式(7)得到。

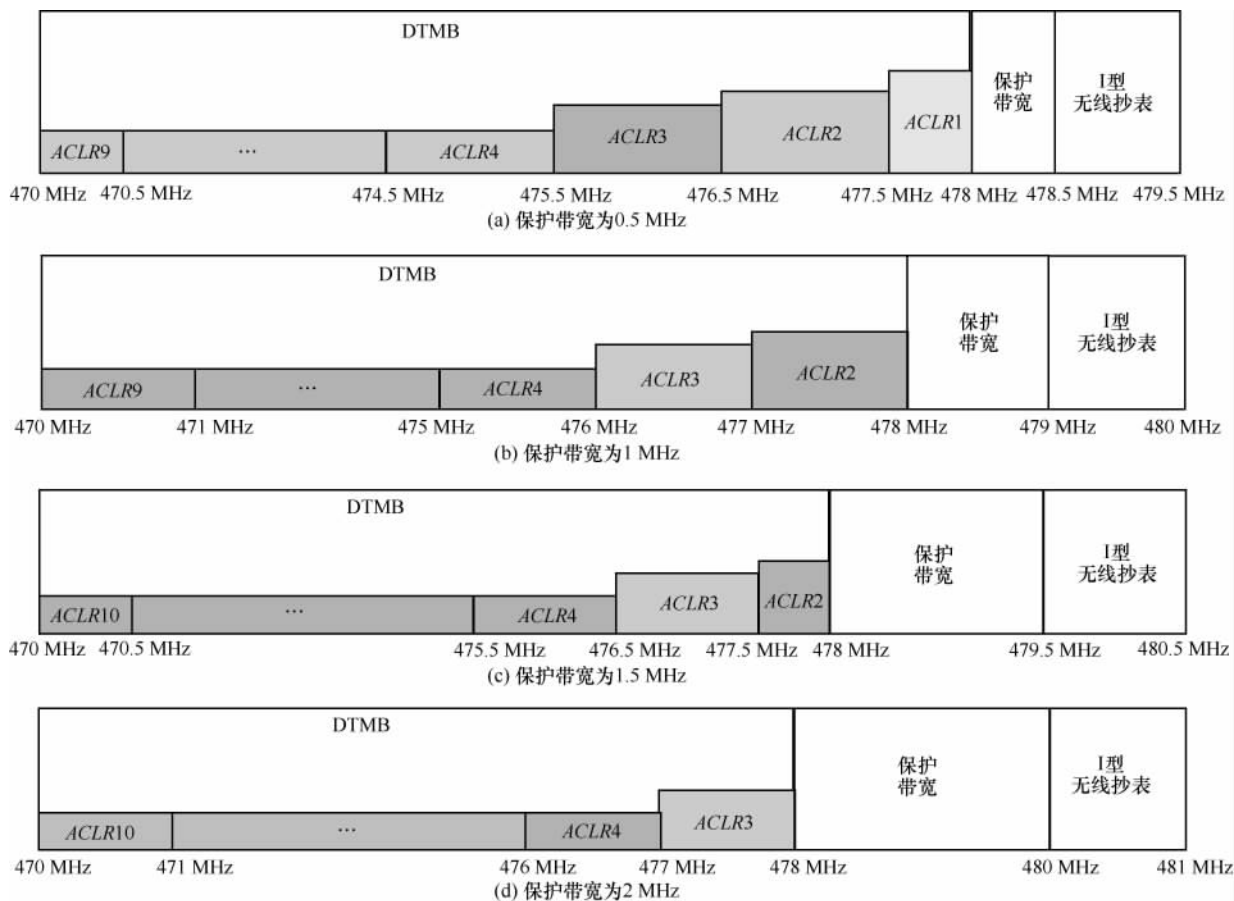


图 2 I 型无线抄表系统的 ACLR 示意

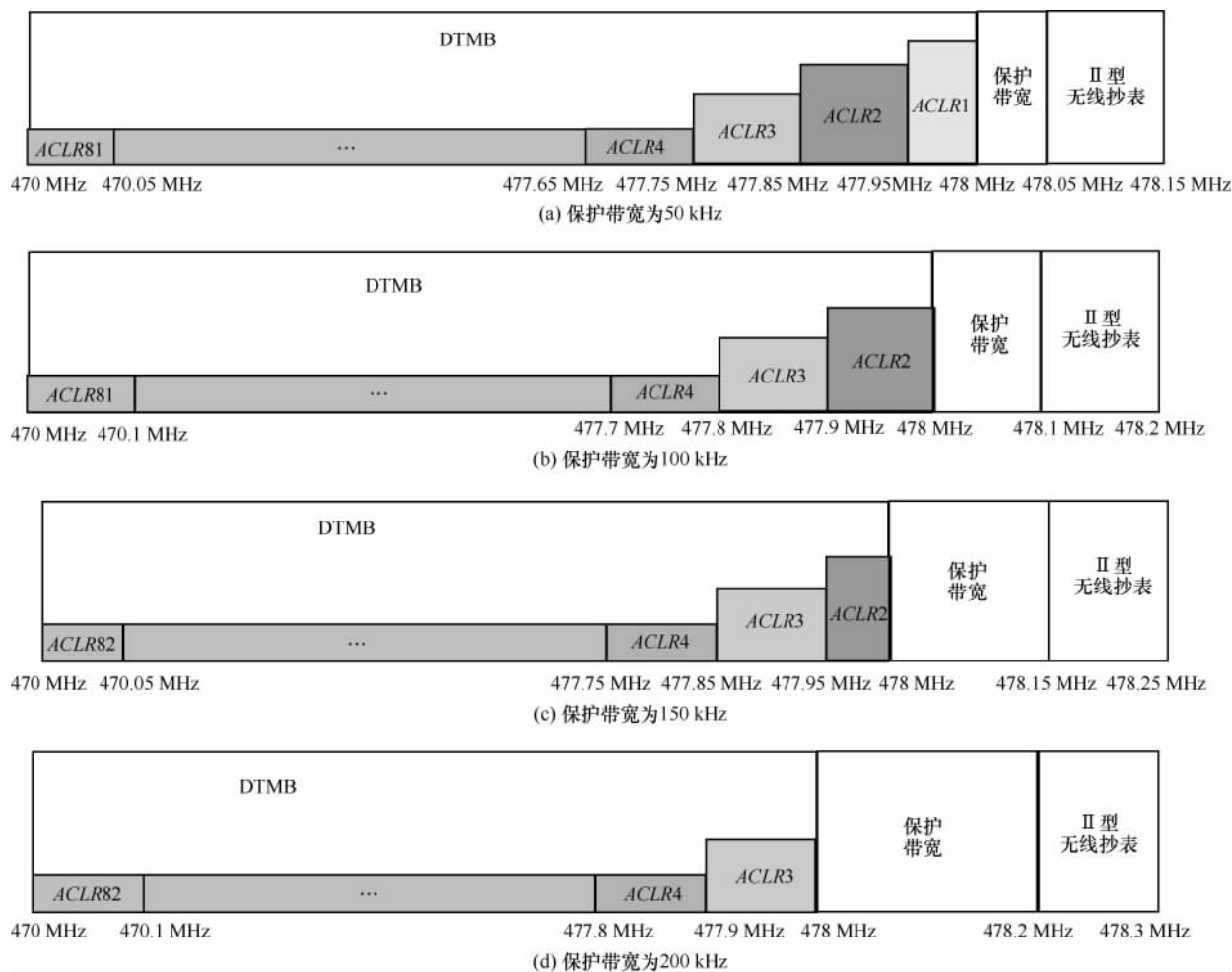


图3 II型无线抄表的 ACLR 示意

$$ACLR = \frac{P_T}{\sum_{i=K1}^{K2} \int_{f_{bi}}^{f_{bi}} 10^{(PSD_i - ACLR_i)/10} df} \quad (7)$$

式(7)中, f_{bi} 和 f_{bi} 表示无线抄表系统第 i 相邻信道的起始频率和截止频率, 单位为 MHz; PSD_T 为无线抄表系统的带内功率谱密度, 单位为 dBm/MHz; $ACLR_i$ 表示无线抄表系统第 i 相邻信道的邻道泄露比, 单位 dB; $K1$ 和 $K2$ 分别表示无线抄表系统的第一个及最后一个和 DTMB 系统重叠的相邻信道序号。例如图 2 中, $K1=1$ 、 $K2=9$, 图 3 中, $K1=3$ 、 $K2=82$ 。

根据式(7)可计算得到, 不同保护带宽下, I 型和 II 型无线抄表系统对 DTMB 系统的 ACLR 见表 7。

(2) ACS 计算

DTMB 系统的带宽为 8 MHz, 分析 I 型和 II 型无线抄表设备对 DTMB 系统的邻道干扰时, I 型和 II 型无线抄表系统干扰 DTMB 系统的 ACS 分别如图 4 和图 5 所示。

表 7 不同保护带宽下, I 型和 II 型无线抄表干扰 DTMB 系统的 ACLR 计算结果

保护带宽	I 型无线抄表设备 干扰 DTMB 的 ACLR/dB	II 型无线抄表设备 干扰 DTMB 的 ACLR/dB
50 kHz		51.63
100 kHz		57.27
150 kHz		58.60
200 kHz		60.53
0.5 MHz	42.10	
1 MHz	49.35	
1.5 MHz	51.77	
2 MHz	57.69	

根据参考文献[9], ACS 可由式(8)得到。

$$ACS = P_i - N - 10 \lg(10^{M/10} - 1) \quad (8)$$

式(8)中 P_i 表示干扰度, 可根据表 8 中不同偏离频率区间的保护准则和式(9)得到, 单位为 dBm, $P_i = 46.87$ dBm;

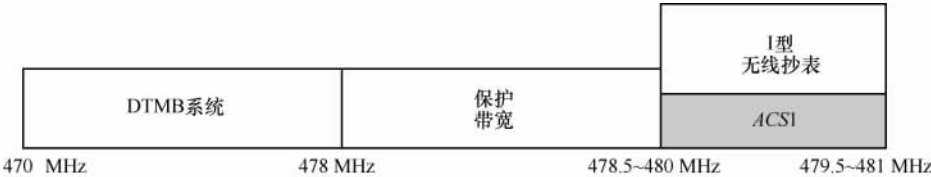


图 4 不同保护带宽下,DTMB 系统对 I 型无线抄表设备的 ACS 示意

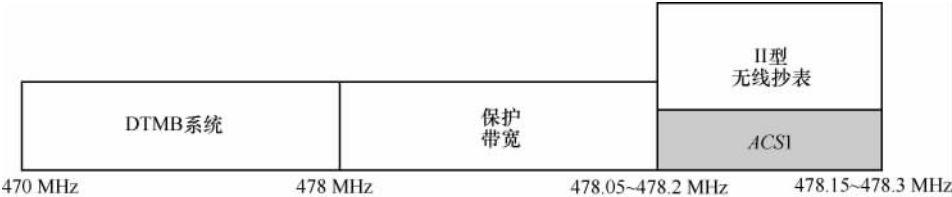


图 5 不同保护带宽下,DTMB 系统对 II 型无线抄表设备的 ACS 示意

N 为系统噪声,由热噪声功率谱密度和噪声系数得到, $N=-99.16\text{ dBm}$; M 为带内允许的灵敏度损失值, $M=3\text{ dB}^{[10]}$ 。

表 8 DTMB 广播电视系统不同邻频的保护准则

邻道序号	DTMB 保护准则/dB
$N\pm 1$	-30
$N\pm 2$	-43
$N\pm 3$	-54

$$P_d=T_c-T_p \quad (9)$$

式(9)中, T_c 表示DTMB系统的接收灵敏度, $T_c=-76.87\text{ dBm}^{[10]}$; T_p 为保护准则,根据表8, $T_p=-30\text{ dB}^{[10]}$ 。

根据式(8),计算得到不同保护带宽下,I型和II型无线抄表系统干扰DTMB系统的ACS,见表9。

表 9 I 型无线抄表系统和 II 型干扰 DTMB 系统的 ACS 计算结果

保护带宽	DTMB 系统的 ACS/dB
50 kHz	52.31
100 kHz	52.31
150 kHz	52.31
200 kHz	52.31
0.5 MHz	52.31
1 MHz	52.31
1.5 MHz	52.31
2 MHz	52.31

根据式(6)、表7和表9,得到不同保护带宽下,I型和II型无线抄表系统干扰DTMB系统的ACIR见表10。

4.4.2 通过射线追踪仿真法得到 L_{rs} 和 L_Q 值

基于路损仿真工具 Visualyse Professional,通过对典型室内场景建模,使用射线追踪方法,得到室内损耗 L_{rs} 和穿墙损耗 L_Q 。由于不同保护带宽下,I型和II型无线抄表系统

表 10 不同保护带宽下,I型和II型无线抄表系统干扰 DTMB 系统的 ACIR 计算结果

保护带宽	I 型无线抄表设备 干扰 DTMB 的 ACIR	II 型无线抄表设备 干扰 DTMB 的 ACIR/dB
50 kHz		48.94
100 kHz		51.10
150 kHz		51.39
200 kHz		51.70
0.5 MHz	41.7	
1 MHz	47.5	
1.5 MHz	49.1	
2 MHz	51.2	

的工作频点相差不大,对路径损耗仿真结果影响很小。因此,在仿真过程中,设无线抄表系统的工作频点为479 MHz。

(1)场景建模

根据图1应用场景,对无线抄表系统配电室和室内场景建模,如图6所示。其中,配电室位于楼宇楼层中央位置,配电室三面为钢筋混凝土材质,一面为金属材质。配电室长2 m、宽1 m,墙体材料为混凝土。屏蔽箱长0.8 m、宽0.4 m,箱体材料为金属和玻璃。建筑材料仿真设置见表11。

I型无线抄表设备、II型无线抄表设备和DTMB广播电视系统的相关参数见表1和表5。室内无线抄表系统干扰DTMB系统场景建模如图7所示。图7中,无线抄表系统天线位于电表内,电表位于屏蔽箱内,屏蔽箱位于配电室中。在距离发射天线2 m处设置36个接收天线,用射线追踪法获得接收功率,通过对接收功率取统计平均值,并根据路损定义^[6],获得 L_Q 。在距离发射天线13 m处,设置81个室外接收天线,通过和获得 L_Q 相同的方法得到 L_{rs} 。

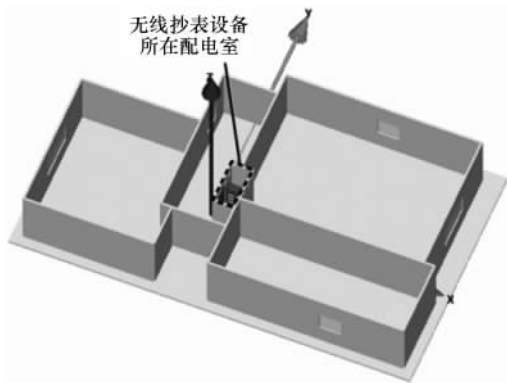


图6 无线抄表设备室内场景建模

表 11 建筑材料仿真设置

材料	厚度/cm	电导率	介电常数
混凝土	20	0.015	7
砖	10	0.003	4.44
玻璃	0.5	0	2.4

(2) 仿真结果分析

如图 7 所示,采用射线追踪法仿真获得的发射天线至室内 2 m 处平均损耗为 30.71 dB,发射天线至楼宇外墙外围的平均损耗为 62.01 dB。因此,第 4.2 节中, $L_{rs}=62.01$ dB, $L_0=30.71$ dB。

4.4.3 邻道干扰共存条件

将表 1 和表 5 中相关射频参数、本节得到的 I 型和 II 型无线抄表设备的 ACIR、 L_{rs} 和 L_0 数值带入式 (4) 和式 (5),得到不同保护带宽下, I 型无线抄表系统和 DTMB 系统之间的安全隔离见表 12, II 型无线抄表系统和 DTMB 系统之间的安全隔离见表 13。

由表 12 可知,在保护带宽 ≤ 2 MHz 时, I 型无线抄表

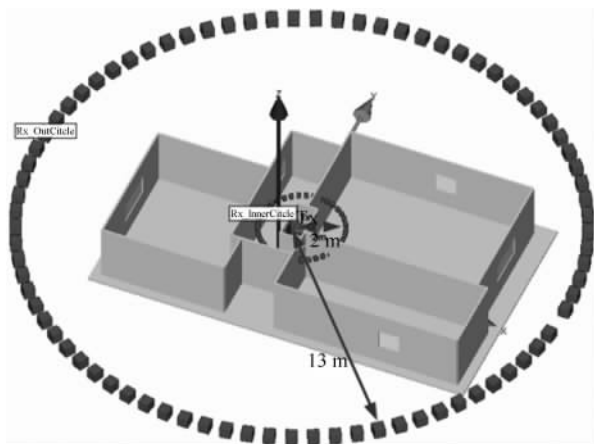


图7 无线抄表设备干扰 DTMB 系统场景建模

系统不能和 DTMB 系统接收端实现室内共存。由表 13 可知,当保护带宽 < 200 kHz 时, II 型无线抄表系统不能和 DTMB 系统接收端实现室内共存。

由第 4.2 节可知,当保护带宽 ≥ 2.5 MHz 时, I 型无线抄表系统对 DTMB 系统的干扰属于带外干扰,当保护带宽 ≥ 250 kHz 时, II 型无线抄表系统对 DTMB 系统的干扰属于带外干扰。根据表 6 带外干扰计算结果可知, I 型和 II 型无线抄表系统不会对 DTMB 系统造成有害的带外干扰。

4.5 小结

根据第 4.1 节~4.4 节可知:所述 3 种无线抄表系统均可和邻频 FDD LTE、CDMA450、列调系统实现无条件共存;通过为现有无线抄表系统、I 型无线抄表系统和 II 型无线抄表系统分别设置 500 kHz、2.5 MHz 和 250 kHz 的保护带宽,所述 3 种无线抄表系统可以和 DTMB 系统接收端实现共存。

表 12 不同保护带宽下,DTMB 系统和 I 型无线抄表系统之间的邻道干扰分析结果

保护带宽/MHz	安全隔离度 L_{PI} /dB	室内损耗 L_{rs} /dB	可否室内共存	安全隔离距离 d /m
0.5	82.17	62.01	否	23.86
1	76.37	62.01	否	18.05
1.5	74.77	62.01	否	16.73
2	72.67	62.01	否	15.17

表 13 不同保护带宽下,DTMB 系统和 II 型无线抄表系统之间的邻道干扰分析结果

保护带宽/kHz	安全隔离度 L_{PI} /dB	室内损耗 L_{rs} /dB	可否室内共存	安全隔离距离 d /m
50	87.94	62.01	否	29.72
100	85.78	62.01	否	26.49
150	85.49	62.01	否	26.08
200	85.18	62.01	否	25.66

5 射频规范修改建议

根据第 2 节~4 节的研究结论,这里给出参考文献[1]射频规范的修改建议如下:

- 适当放宽民用无线电计量仪表的工作带宽限制,建议无线电计量仪表的工作带宽增加至 1 MHz,以满足日益增长的工业互联网应用对数据速率的需求;
- 建议在无线计量仪表应用中引入新的窄带设备类型,建议将 100 kHz 带宽的无线电计量仪表的发射功率限制增至 2 W,以满足电力行业在部署无线抄表系统时的覆盖范围需求;
- 建议在无线计量仪表工作频率规范中引入保护带宽限制,工作带宽为 100 kHz 的无线电计量仪表应和 DTMB 系统保证至少 250 kHz 的保护带宽,工作带宽为 200 kHz 的无线电计量仪表应和 DTMB 系统保证至少 500 kHz 的保护带宽,工作带宽为 1 MHz 的无线电计量仪表应和 DTMB 系统保证至少 2.5 MHz 的保护带宽。

6 结束语

现行射频规范限制下,民用无线计量仪表的工作带宽和发射功率限值无法满足新形势下的数据速率和覆盖范围需求。针对该问题,根据国家电网提供的 1 种现行部署和 2 种预部署无线抄表设备的射频参数,通过确定性计算和射线追踪仿真的方法研究所述 3 种无线抄表系统和邻频 7 种无线通信设备之间的干扰共存问题,得到相应的共存条件,并给出现有射频规范的修改意见。

参考文献:

- [1] 工业和信息化部. 信息产业部关于发布《微功率(短距离)无线电设备的技术要求》的通知[EB/OL]. (2005-09-05)[2016-10-25]. http://wenku.baidu.com/link?url=LenUsqXYfET80AY48ufyh_pH2jUtuN6zTczoTLfEFuhKqybArUwLE-P3a0FqDY_wA2qPRPLqETaFUKvAJhBm0X5XagKb8Ew3PADRs_ATR3hO. Ministry of Industry and Information Technology. Technical requirements for micropower (short range) radio equipment[EB/OL]. (2005-09-05)[2016-10-25]. http://wenku.baidu.com/link?url=LenUsqXYfET80AY48ufyh_pH2jUtuN6zTczoTLfEFuhKqybArUwLE-P3a0FqDY_wA2qPRPLqETaFUKvAJhBm0X5XagKb8Ew3PADRs_ATR3hO.
- [2] 杨涛. WIA-PA 工业无线传感网射频收发机调制/解调电路研究与设计[D]. 北京: 中国科学院大学, 2015. YANG T. Research and design of modulation / demodulation circuit for RF transceiver in WIA-PA industrial wireless sensor network[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2015.
- [3] 卢山. 无线传感器网络和热湿耦合场模拟在粮情监测中应用的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2015. LU S. Application of wireless sensor network and simulation of heat and moisture field in grain monitoring [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015.
- [4] 工业和信息化部. 中华人民共和国无线电频率划分规定[EB/OL]. (2014-04-10)[2016-10-25]. http://wenku.baidu.com/link?url=ltQ7hpsU-Sq3W3jt0pLq_kuwwh-fB5648BZtgCpiz-AMlyBKEHTAG-UUOaNN8gAEokNUjUfaWjd4RUL9BMTW8iXhQISoAv3I-LOPXZzDwpW. Ministry of Industry and Information Technology. Provisions of the People's Republic of China on radio frequency division[EB/OL]. (2014-04-10)[2016-10-25]. http://wenku.baidu.com/link?url=ltQ7hpsU-Sq3W3jt0pLq_kuwwh-fB5648BZtgCpiz-AMlyBKEHTAG-UUOaNN8gAEokNUjUfaWjd4RUL9BMTW8iXhQISoAv3I-LOPXZzDwpW.
- [5] 中国通信标准化协会. 450MHz-470MHz IMT FDD 系统和 TDD 系统共存分析[EB/OL]. (2010-10-21)[2016-10-25]. [http://xueshu.baidu.com/s?wd=paperuri:\(bb893398df54fc2784f6b12eaeda151a\)&filter=sc_long_sign&sc_ks_para=q%3D](http://xueshu.baidu.com/s?wd=paperuri:(bb893398df54fc2784f6b12eaeda151a)&filter=sc_long_sign&sc_ks_para=q%3D). China Communications Standards Association. Coexistence analysis of 450MHz-470MHz IMT FDD system and TDD system[EB/OL]. (2010-10-21)[2016-10-25]. [http://xueshu.baidu.com/s?wd=paperuri:\(bb893398df54fc2784f6b12eaeda151a\)&filter=sc_long_sign&sc_ks_para=q%3D](http://xueshu.baidu.com/s?wd=paperuri:(bb893398df54fc2784f6b12eaeda151a)&filter=sc_long_sign&sc_ks_para=q%3D).
- [6] 中国通信标准化协会. 450MHz-470MHz 频段规划研究[EB/OL]. (2015-06-16)[2016-10-25]. <http://www.cctime.com/html/2015-6-16/201561692562777.htm>. China Communications Standards Association. Research on frequency band planning of 450MHz-470MHz[EB/OL]. (2015-06-16)[2016-10-25]. <http://www.cctime.com/html/2015-6-16/201561692562777.htm>.
- [7] 中国通信标准化协会. 450MHz-470MHz IMT 系统与铁路调度系统共存研究[EB/OL]. (2010-10-21)[2016-10-25]. [http://xueshu.baidu.com/s?wd=paperuri:\(bb893398df54fc2784f6b12eaeda151a\)&filter=sc_long_sign&sc_ks_para=q%3D](http://xueshu.baidu.com/s?wd=paperuri:(bb893398df54fc2784f6b12eaeda151a)&filter=sc_long_sign&sc_ks_para=q%3D). China Communications Standards Association. Research on coexistence of 450 MHz-470 MHz IMT system and railway dispatching system[EB/OL]. (2010-10-21)[2016-10-25]. [http://xueshu.baidu.com/s?wd=paperuri:\(bb893398df54fc2784f6b12eaeda151a\)&filter=sc_long_sign&sc_ks_para=q%3D](http://xueshu.baidu.com/s?wd=paperuri:(bb893398df54fc2784f6b12eaeda151a)&filter=sc_long_sign&sc_ks_para=q%3D).



eaeda151a)&filter=sc_long_sign&sc_ks_para=q%3D.

- [8] 中国通信标准化协会. IMT 与地面广播电视系统动态频谱共享研究报告[EB/OL]. (2014-04-21)[2016-10-25]. http://www.ccsa.org.cn/tc/meeting.php?meeting_id=4804.
China Communications Standards Association. Research report on dynamic spectrum sharing between IMT and terrestrial broadcast television system [EB/OL]. (2014-04-21)[2016-10-25]. http://www.ccsa.org.cn/tc/meeting.php?meeting_id=4804.
- [9] 中国通信标准化协会. 同一区域 698 MHz 频点附近 IMT 与广播共存研究 [EB/OL]. (2011-05-03)[2016-10-25]. http://www.ccsa.org.cn/tc/meeting.php?meeting_id=3941.
China Communications Standards Association. Study on coexistence of IMT and broadcasting near the frequency of 698 MHz in the same area [EB/OL]. (2011-05-03)[2016-10-25]. http://www.ccsa.org.cn/tc/meeting.php?meeting_id=3941.
- [10] ITU. Planning criteria for digital terrestrial television services in the VHF/UHF bands: ITU-R BT.1368-2009[S/OL]. (2009-05-10)[2016-10-25]. http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.1368-8-200905-S!!PDF-E.pdf.
- [11] 葛阳, 李大刚. 智能家居 433MHz 射频通信协议栈设计与网关实现[J]. 电信科学, 2015, 31(9): 130-136.
GE Y, LI D G. Design of 433 MHz communication protocol and implementation of gateway in intelligence home [J]. Telecommunications Science, 2015, 31(9): 130-136.
- [12] 韩锐, 张晓燕, 刘畅, 等. IMT 系统对 1 518 MHz~1 525 MHz 频段卫星移动系统的干扰[J]. 电信科学, 2016, 32(3): 99-104.
HAN R, ZHANG X Y, LIU C, et al. Interference from IMT system to mobile satellite system in 1 518~1 525 MHz band[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(3): 99-104.

[作者简介]



许瑞琛(1984-),男,博士,国家无线电监测中心检测中心工程师,主要研究方向为频谱检测理论、干扰共存理论、公网及专网系统级仿真方法。



房骥(1984-),男,博士,国家无线电监测中心检测中心工程师,主要研究方向为频谱检测理论、软件无线电。



杜昊(1985-),男,国家无线电监测中心检测中心工程师,主要研究方向为频谱规划和射频测试理论。



王小波(1982-),男,博士,国家无线电监测中心检测中心高级工程师,主要研究方向为无线电射频理论和 V2X 理论。