

# 人工电源网络标准及其测试方法

李 林, 封志明, 赵品彰, 赵 波, 邓凌翔

(江苏省计量科学研究院, 江苏 南京 210007)

[摘要] 参照 GB/T6113.102-2008 对于人工电源网络, 即线性阻抗稳定网络(LISN)的网络拓扑结构进行分析研究, 提出了对于人工电源网络的 3 个网络特性参数的定义、测试原理, 并且根据人工电源网络特性参数的定义及原理提出了人工电源网络特性参数的测试方法; 针对人工电源网络受试端子与同轴测量系统进行连接的时候不同射频优化模块对测试结果影响很大的情况提出了相应的射频优化传输模块的建模与设计方法。

[关键词] 人工电源网络, 标准, 测试方法

[中图分类号] TM 461 [文献标识码] B [文章编号] 1672-1292(2010)03-0016-04

## Standards and Test Methods of Artificial Mains Network

Li Lin, Feng Zhiming, Zhao Pinzhang, Zhao Bo, Deng Lingxiang

(Jiangsu Institute of Metrology, Nanjing 210007, China)

**Abstract** This paper analysis the structure of artificial mains network, which is linear impedance stabilization networks (LISN) according to GB/T6113.102-2008. The definition and test methods of three measurement parameters of artificial mains network are proposed. And the modeling and design of the RF optimization of transmission module which are used when artificial mains network terminal are connected with the coaxial measurement system are given.

**Key words** artificial mains network, standards, test methods

### 1 问题提出

人工电源网络, 又称线性阻抗稳定网络(LISN), 它能在射频范围内向被测设备端子提供一种规定的阻抗, 并将实验电路同电源上的无用射频信号隔离开来, 进而将干扰电压耦合到测量接收机上<sup>[1]</sup>。对于低频信号其电感表现为低阻抗, 电容表现为高阻抗, 所以信号经过基本不衰减, 电源可以经人工电源网络输送到开关型变换器。而对于高频信号, 其电感表现为高阻抗, 电容可以视为短路, 所以阻止了高频噪声在待测设备和电网之间的传送。当射频端接骚扰测量仪时, 仪器内部标准阻抗为 50  $\Omega$ , 共模和差模干扰电流将从该 50  $\Omega$  阻抗上流过, 此时, 人工电源网络起到了为共模和差模干扰电流在所需测量的频段提供一个固定阻抗(50  $\Omega$ )的作用, 而 50  $\Omega$  电阻上的电压就是传导干扰电压。目前计量机构参照 GB/T6113.102-2008 来开展工作, 但是该标准对于 LISN 的计量性能没有明确规定, 而且国内也没有针对人工电源网络的检定规程或者是校准规范, 因此对于人工电源网络的标准及其测试方法研究具有现实意义。

有鉴于此, 本文参照 GB/T6113.102-2008 对于人工电源网络的基本结构进行分析, 并对人工电源网络的 3 个特性参数: 阻抗、分压系数和隔离度提出了具体测试方法。此外, 人工电源网络的受试端子与同轴测量系统进行连接的时候需要使用射频优化传输模块。经实验验证, 不同的射频优化传输模块对于测试结果的影响很大。因此, 本文提出了相应的射频优化传输模块的建模与设计方法。

### 2 人工电源网络的结构

人工电源网络如图 1 所示。它是由 50  $\mu\text{H}$  的电感、1  $\mu\text{F}$  的电容、0.1  $\mu\text{F}$  的电容和 1 k $\Omega$  电阻组成<sup>[2]</sup>。

收稿日期: 2010-06-05

基金项目: 国家质检总局项目(T2009-TSQT5-0061)、江苏省地方标准项目(苏质监发[2010]137号-8)。

通讯联系人: 李 林, 工程师, 研究方向: 电磁计量、电磁兼容检测。E-mail: 13951644448@139.com

人工电源网络有两种基本类型: V型和 $\Delta$ 型。V型人工电源网络用来测量不对称电压,即导线或端子与规定的接地基准之间的电压;而 $\Delta$ 型人工电源网络用来测量对称电压(即差模电压)和非对称电压(共模电压)<sup>[3]</sup>。目前大多数民用电磁兼容测试标准给出了不对称骚扰电压限制,因此V型人工电源网络最为常见。

如图2所示为单相三线的Y型人工电源网络,其核心器件由电感和电容组成,左侧接商用电源,右侧接被测设备,噪声源即被测设备(EUT)是个典型单相开关电源(SMPS),人工电源网络中的 $50\ \Omega$ 表示测试仪器如频谱分析仪的标准阻抗,而所有噪声分量都由 $50\ \Omega$ 电阻上得到。

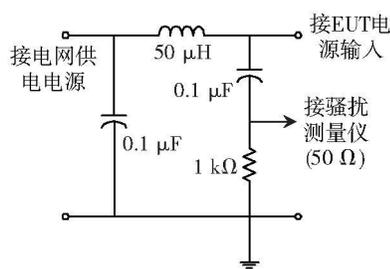


图1 人工电源网络示意图  
Fig.1 Diagram of artificial mains network

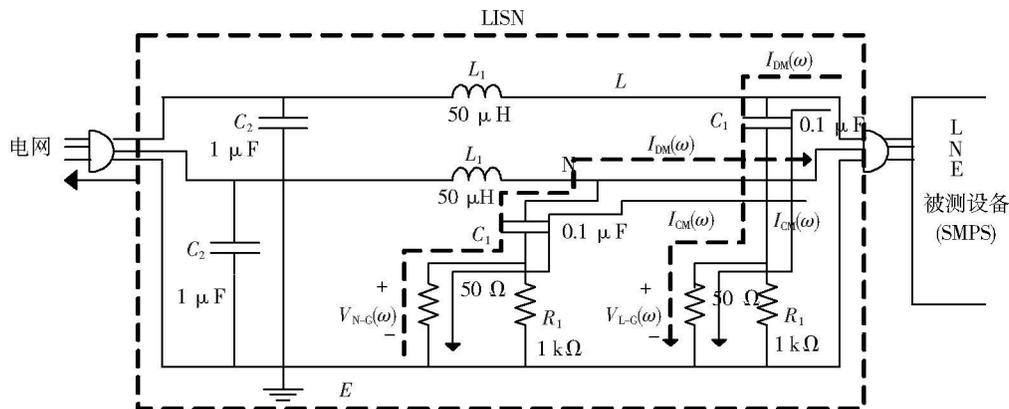


图2 单相三线的Y型人工电源网络  
Fig.2 Single-phase three-wire Y-type artificial mains network

### 3 测试方法

对于人工电源网络的测试<sup>[4]</sup>主要包括3个方面:阻抗、分压系数和隔离度。当接收机接 $50\ \Omega$ 负载阻抗时,在受试设备端测得的相对于参考地的阻抗(包括模和相角两个部分)称之为人工电源网络的阻抗<sup>[5]</sup>。分压系数(VDF)为受试端口至接收机端口这一路径的高频衰减,其中,受试火线端口至接收机火线端口的分压系数为火线分压系数:

$$VDF_L = 20 \log \left| \frac{V_{L-E}}{V_{L_0-E}} \right|, \quad (1)$$

受试中线端口至接收机中线端口的分压系数为中线分压系数:

$$VDF_N = 20 \log \left| \frac{V_{N-E}}{V_{N_0-E}} \right|, \quad (2)$$

其中,  $V_{L-E}$  为  $50\ \Omega$  负载阻抗上的电压作为供电电源端口火线端子非对称参考电压;  $V_{L_0-E}$  为受试设备端口火线端子非对称参考电压;  $V_{N-E}$  为测量接收机端口中线端子非对称参考电压。

隔离度为接收机端口信号受到每一个供电电源端子信号影响的程度。

对人工电源网络的特性参数进行测量时采用基于矢量网络分析仪的散射参数方法<sup>[6]</sup>。将人工电源网络看作是一个6端口的网络,对其进行散射参数建模,各端口定义如图3所示。其中,1号端口和2号端口分别为供电电源火线端子和供电电源中线端子;设3号端口和4号端口分别为接收机火线端口和接收机中线端口;设5号端口和6号端口分别为受试火线

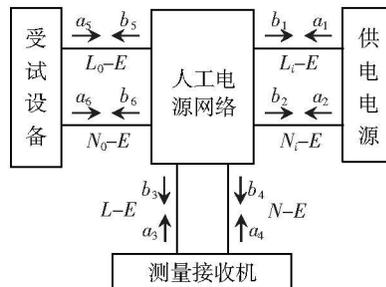


图3 人工电源网络的各端口定义示意图  
Fig.3 Schematic of the ports definition in artificial mains network

端口和受试中线端口;  $a_n$ 、 $b_n$  分别是  $n$  号端口的入射波和反射波;  $S_{ij}$  是  $j$  端口至  $i$  端口的散射参数传输系数;  $S_{ii}$  是  $i$  端口的散射参数反射系数<sup>[7]</sup>。

使用矢量网络分析仪测量选定频率范围内人工电源网络各端口的散射参数。对于人工电源网络的阻抗:

$$Z = \frac{S_{65}}{S_{55}} - 1, \quad (3)$$

对于分压系数:

$$\frac{V_{L-E}}{V_{L\sigma-E}} = \frac{S_{55} + S_{35}}{1 + S_{55}}, \quad \frac{V_{N-E}}{V_{N\sigma-E}} = \frac{S_{66} + S_{46}}{1 + S_{66}}. \quad (4)$$

对于隔离度:

$$\frac{V_{L-E}}{V_{L\tau-E}} = \frac{S_{11} + S_{31}}{1 + S_{11}}, \quad \frac{V_{L-E}}{V_{N\tau-E}} = \frac{S_{22} + S_{32}}{1 + S_{22}}, \quad (5)$$

$$\frac{V_{N-E}}{V_{L\tau-E}} = \frac{S_{11} + S_{41}}{1 + S_{11}}, \quad \frac{V_{N-E}}{V_{N\tau-E}} = \frac{S_{22} + S_{42}}{1 + S_{22}}. \quad (6)$$

其中,  $V_{L-E}$  为  $50\Omega$  负载阻抗上的电压作为供电电源端口火线端子非对称参考电压<sup>[8]</sup>;  $V_{N-E}$  为供电电源端口中线端子非对称参考电压;  $V_{L\sigma-E}$  为受试设备端口火线端子非对称参考电压;  $V_{N\sigma-E}$  为受试设备端口中线端子非对称参考电压;  $V_{L-E}$  为测量接收机端口火线端子非对称参考电压;  $V_{N-E}$  为测量接收机端口中线端子非对称参考电压。

将测量结果以复数形式代入上式, 就可计算出人工电源网络的各特性参数了。

## 4 传输模块

在对人工电源网络进行测量时, 阻抗测量系统<sup>[9]</sup> 为同轴接口(如 BNC 或 N type), 而人工电源网络的受试端为非同轴接口(如各种制式的插座)。因此标准推荐采用经射频优化传输模块来进行电路匹配连接。然而标准中并未明确规定射频优化传输模块的电路结构、电路参数以及各项性能指标。

根据人工电源网络的内部结构以及射频优化传输模块的结构, 受试设备测得的等效输入阻抗<sup>[10]</sup> 如图 3 所示。其中,  $R_1$  和  $L_1$  为射频优化传输模块的引入的寄生电阻和电感;  $C_1$ 、 $C_2$  是 LISN 内部耦合电容;  $L$  是线路电感;  $C_L$  是  $L$  的寄生电容;  $R$  是 LISN 内部电阻;  $C_R$  和  $L_R$  分别是  $R$  的寄生电容和寄生电感。

通过对的  $Z_N$  寄生参数的仿真, 确定 5 个寄生参数对  $Z_N$  的影响, 并根据仿真结果设计相应的射频优化传输模块, 从而尽量降低其对校准的影响。  $Z_N$  为:

$$Z_N = j\omega L_1 + \frac{j\omega L \left( \frac{1}{j\omega C_2} + \frac{R}{1 + Rj\omega C_R} + j\omega L_R \right)}{(1 - L\omega^2 C_L) \left( \frac{j\omega L}{1 - L\omega^2 C_L} + \frac{1}{j\omega C_2} + \frac{R}{1 + Rj\omega C_R} + j\omega L_R \right)} + R_1, \quad (7)$$

对于一个性能较高的射频优化传输模块而言, 其插入损耗应当很小、耦合抑制比应当很高, 寄生参数对  $Z_N$  的影响也应当很小。因此, 对于一个射频优化传输模块应当进行插入损耗、耦合抑制比以及内阻抗的测试, 如图 4 所示, 其中  $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $Z_4$  分别为射频优化传输模块的特性阻抗。

## 5 结论

本文根据 GB/T6113.102—2008 标准, 对于最为常用的 V 形人工电源网络的基本网络拓扑结构进行了分析研究, 提出了人工电源网络的 3 种网络特性参数的定义、测量原理与测量方法, 以及相应的射频优化传输模块的建模与设计方法。人工电源网络在传导电磁干扰测试中应用广泛, 目前计量机构参照 GB/T6113.102—2008 来开展工作, 但是该标准对于 LISN 的计量性能没有明确规定, 国内也没有针对人工电源网络的检定规程或者校准规范, 因此对于人工电源网络的标准及其测试方法研究具有一定的现实意义。

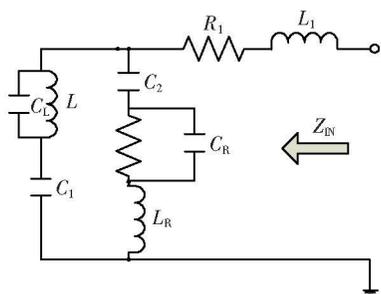


图 4 人工电源网络受试设备的等效输入阻抗示意图

Fig.4 Diagram of equivalent input impedance of tested equipment in artificial mains network

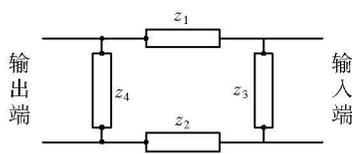


图 5 人工电源网络受试设备的等效输入阻抗

Fig.5 The equivalent input impedance of tested equipment in artificial mains network

[参考文献] (References)

[ 1 ] 全国无线电干扰标准化技术委员会. GB/T6113. 102—2008 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 [ S ]. 北京: 中国标准出版社, 2008  
National Radio Interference Standardization Technical Committee GB/T6113. 102—2008 Radio disturbance and immunity measurement apparatus and methods [ S ]. Beijing Standards Press of China 2008 ( in Chinese )

[ 2 ] 赵阳, 封志明, 黄学军. 电磁兼容测试方法与工程应用 [ M ]. 北京: 机械工业出版社, 2010 86-134  
Zhao Yang Feng Zhiming Huang Xuejun Electromagnetic Compatibility Measurement Engineering and Applications [ M ]. Beijing China Machine Press 2010 86-134 ( in Chinese )

[ 3 ] 阔飞, 赵敏. 人工电源网络的校准方法 [ J ]. 计量与测试技术, 2006 24(3): 10-11.  
Kan Fei Zhao Min Calibration of line artificial mains network [ J ]. Electronic Product Reliability and Environmental Testing 2006 24(3): 10-11. ( in Chinese )

[ 4 ] 陆顺平, 陶象麟. 传导骚扰辅助测量装置人工电源网络 [ J ]. 电动工具, 2006 10(4): 17-21.  
Lu Shunping Tao Xianglin Artificial power network for conducted EM I measurement [ J ]. Electric Tools 2006 (4): 17-21 ( in Chinese )

[ 5 ] Chen Haq Qiu X, Zhao Y. Conductive EM I noise measurement for switched reluctance drive [ J ]. Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences 2009 17(3): 183-184

[ 6 ] Chen Haq Trifa V. Design of 2 000 kW switched reluctance machine system [ J ]. Procedia Earth and Planetary Science 2009 1(1): 1380-1384

[ 7 ] 赵阳, 董颖华, 陆焮泉, 等. EM I 噪声分离网络在电力线噪声分析中的应用 [ J ]. 中国电机工程学报, 2010 30(21): 114-120  
Zhao Yang Dong Yinghua Lu Xianquan, et al EM I noise discrimination network applied in power-line EM I noise analysis [ J ]. Process of CSEE, 2010 30(21): 114-120 ( in Chinese )

[ 8 ] 赵阳, 姜宁秋, 孙焱, 等. 传导电磁干扰噪声分离方法研究与新进展 [ J ]. 南京师范大学学报: 工程技术版, 2009 9(1): 1-6  
Zhao Yang Jiang Ningqiu Sun Yan, et al Research and development of conductive EM I separating techniques [ J ]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition 2009 9(1): 1-6 ( in Chinese )

[ 9 ] Zhao Yang Kye Yak See A practical approach to EMC education at the undergraduate level [ J ]. IEEE Trans on Education 2004 47(4): 425-429

[ 10 ] Chen Haq Pavlov C. Large power analysis of switched reluctance machine system for coal main [ C ] // Proceedings of the 6th International Symposium on Mining Science and Technology Xuzhou 2009

[责任编辑: 刘 健]