

# Effect of rotational stirrer location on field uniformity inside a reverberation chamber

鄒騰億、林漢年

E-mail: 9315093@mail.dyu.edu.tw

## ABSTRACT

In recent years, people are more and more relied on the electrical and electronic devices in daily life. Besides the functional performance is concerned, people also care about if its electromagnetic compatibility characteristic is certified by authority. Several international committee and national authorities have published a variety of the electromagnetic interference and electromagnetic susceptibility standards for the various categories of electrical and electronic equipment and devices used in military, industry, and consumer levels respectively, and require the electrical and electronic products pass the related test to be eligible on the market. As the trend keeps wide-spreading around the world, the request for the EMC test facility is therefore growing day by day. A reverberation chamber is an electrically large, highly conductive enclosed cavity with paddles built-in. It is used to conduct electromagnetic measurements for both emissions and immunity tests on electric and electronic equipment. It should be operated with required field uniformity. This article investigates what kind of the influence of changing the location of rotational stirrers in reverberation chambers on the field uniformity in working volume it is, and uses simulating software and practical measurement to investigate the situation of the field uniformity in working volume of chambers.

Keywords : reverberation chamber ; electromagnetic interference ; electromagnetic susceptibility ; field uniformity ; IEC 61000-4-21 ; working volume ; quality factor ; lowest useable frequency

## Table of Contents

|                           |     |                                      |      |
|---------------------------|-----|--------------------------------------|------|
| 封面內頁 簽名頁 授權書 . . . . .    | iii | 中文摘要 . . . . .                       | iv   |
| . . . . .                 | iv  | 英文摘要 . . . . .                       | v    |
| . . . . .                 | vi  | 目錄 . . . . .                         | vii  |
| . . . . .                 | x   | 表目錄 . . . . .                        | xiii |
| 第一章 緒論 1.1 研究動機 . . . . . | 1   | 1.2 研究方法 . . . . .                   | 2    |
| . . . . .                 | 2   | 1.3 論文大綱 . . . . .                   | 2    |
| . . . . .                 | 3   | 第二章 電波迴響室基本理論 2.1 典型的電波迴響室 . . . . . | 5    |
| . . . . .                 | 7   | 2.2 矩形波導共振腔 . . . . .                | 5    |
| . . . . .                 | 7   | 2.2.1 模態 . . . . .                   | 7    |
| . . . . .                 | 7   | 2.2.2 模態 . . . . .                   | 8    |
| . . . . .                 | 8   | 2.3 品質因素 . . . . .                   | 9    |
| . . . . .                 | 11  | 2.5 最低可用頻率 . . . . .                 | 12   |
| 馬克思威爾方程式 . . . . .        | 14  | 3.2 Yee的解析方法 . . . . .               | 16   |
| 域差分法 . . . . .            | 16  | 3.2.1 時間領域配置 . . . . .               | 20   |
| . . . . .                 | 23  | 3.2.2 電場和磁場的時間配置 . . . . .           | 20   |
| . . . . .                 | 28  | 3.3 吸收邊界條件 . . . . .                 | 27   |
| . . . . .                 | 28  | 3.4 解析空間的訂定切割方法 . . . . .            | 30   |
| . . . . .                 | 30  | 3.4.1 均勻、分均勻網格切割法 . . . . .          | 28   |
| . . . . .                 | 30  | 3.4.2 次網格切割法 . . . . .               | 29   |
| . . . . .                 | 31  | 3.4.3 次單胞切割法 . . . . .               | 31   |
| Courant 穩定性條件 . . . . .   | 33  | 3.5 空間網格的色散現象 . . . . .              | 32   |
| . . . . .                 | 34  | 第四章 電波迴響室模擬 4.1 模擬電波迴響室的尺寸 . . . . . | 34   |
| . . . . .                 | 37  | 4.2 模擬電波迴響室的參數設定 . . . . .           | 34   |
| . . . . .                 | 37  | 4.3 場強均勻度之取樣評估方法 . . . . .           | 41   |
| . . . . .                 | 63  | 4.4 模擬結果 . . . . .                   | 41   |
| . . . . .                 | 70  | 第五章 實際量測 5.1 電波迴響室架構 . . . . .       | 66   |
| . . . . .                 | 75  | 5.2 電波迴響室的隔離度測試 . . . . .            | 66   |
| . . . . .                 | 75  | 5.3 電波迴響室的場強均勻度測試結果 . . . . .        | 66   |
| . . . . .                 | 75  | 第六章 結論 . . . . .                     | 74   |
| . . . . .                 | 75  | 參考文獻 . . . . .                       | 74   |
| . . . . .                 | 10  | 圖目錄 圖2.1 典型的電波迴響室設備 . . . . .        | 4    |
| . . . . .                 | 10  | 圖2.2 3米 x 4米 x 5米的電波迴響室模態數 . . . . . | 12   |
| . . . . .                 | 17  | 圖3.1. (a) 前差分法 . . . . .             | 17   |
| . . . . .                 | 17  | 圖3.1. (b) 後差分法 . . . . .             | 17   |
| . . . . .                 | 18  | 圖3.1. (c) 中間差分法 . . . . .            | 18   |
| . . . . .                 | 21  | 圖3.2 電場和磁場的時間配置圖 . . . . .           | 21   |
| . . . . .                 | 21  | 圖3.3 單胞上電磁場的配置圖 . . . . .            | 23   |
| . . . . .                 | 29  | 圖3.4 均勻網格切割法 . . . . .               | 29   |
| . . . . .                 | 29  | 圖3.5 非均勻網格切割法 . . . . .              | 30   |
| . . . . .                 | 31  | 圖3.6 次網格切割法 . . . . .                | 30   |
| . . . . .                 | 31  | 圖3.7 次單胞切割法 . . . . .                | 32   |
| . . . . .                 | 35  | 圖4.1 電波迴響室模擬空間的示意圖 . . . . .         | 35   |
| . . . . .                 | 38  | 圖4.2 迴響室中迴旋扇葉的各個位置示意圖 . . . . .      | 36   |
| . . . . .                 | 38  | 圖4.3 評估測試區域場強均勻度的示意圖 . . . . .       | 38   |
| . . . . .                 | 41  | 圖4.4 每一個方塊所表示z和y的位置圖示 . . . . .      | 41   |
| . . . . .                 | 41  | 圖4.5 . . . . .                       | 41   |

|   |   |
|---|---|
| 頻率為325MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第一個位置．．．41                             | 圖4.6 頻率為325MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第二個位置                             |
| ．42   | 圖4.7 頻率為325MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第三個位置．42                          |
| 圖4.8 頻率為325MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第四個位置．43                          | 圖4.9 頻率為325MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第五個位置．43                          |
| 圖4.10 頻率為325MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第六個位置．44                         | 圖4.11 頻率為325MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第七個位置．44                         |
| 圖4.12 頻率為325MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第八個位置．45                         | 圖4.13 頻率為450MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第一個位置．45                         |
| 圖4.14 頻率為450MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第二個位置．46                         | 圖4.15 頻率為450MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第三個位置．46                         |
| 圖4.16 頻率為450MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第四個位置．47                         | 圖4.17 頻率為450MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第五個位置．47                         |
| 圖4.18 頻率為450MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第六個位置．48                         | 圖4.19 頻率為450MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第七個位置．48                         |
| 圖4.20 頻率為450MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第八個位置．49                         | 圖4.21 頻率為540MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第一個位置．49                         |
| 圖4.22 頻率為540MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第二個位置．50                         | 圖4.23 頻率為540MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第三個位置．50                         |
| 圖4.24 頻率為540MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第四個位置．51                         | 圖4.25 頻率為540MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第五個位置．51                         |
| 圖4.26 頻率為540MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第六個位置．52                         | 圖4.27 頻率為540MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第七個位置．52                         |
| 圖4.28 頻率為540MHz，往z軸的金屬迴旋扇葉在第八個位置．53                         | 圖4.29 沒有金屬迴旋扇葉的電波迴響室內部電場分佈圖．．．60                            |
| 圖4.30 頻率為325MHz之電波迴響室內部電場分佈圖．．．61                           | 圖4.31 頻率為450MHz之電波迴響室內部電場分佈圖．．．61                           |
| 圖4.32 頻率為540MHz之電波迴響室內部電場分佈圖．．．62                           | 圖5.1 電波迴響室的配置圖．．．63   |
| 圖5.2 電波迴響室外觀圖．．．64  | 圖5.3 電波迴響室之內部配置圖．．．64                                       |
| 圖5.4 電波迴響室內部之金屬迴旋扇葉．．．65                                    | 圖5.5 電波迴響室之測試儀器配置圖．．．65                                     |
| 圖5.6 金屬迴旋扇葉在第6個位置，測試區域高度在z=800mm，y=975mm到1975mm之標準差圖形．．．71  | 圖5.7 金屬迴旋扇葉在第6個位置，測試區域高度在z=1000mm，y=975mm到1975mm之標準差圖形．．．71 |
| 圖5.8 金屬迴旋扇葉在第8個位置，測試區域高度在z=800mm，y=975mm到1975mm之標準差圖形．．．72  | 圖5.9 金屬迴旋扇葉在第8個位置，測試區域高度在z=1000mm，y=975mm到1975mm之標準差圖形．．．72 |
| 圖5.10 金屬迴旋扇葉在第6個位置，測試區域高度在z=800mm，y=975mm到1975mm之標準差圖形．．．73 | 圖5.11 不同的N值其場強均勻度的比較．．．73                                   |
| 表目錄 表2.1 Mode tuned and Mode stirred的比較．．．5                 | 表2.2 不同電波迴響室的體積以及可以接受的最低可用頻率．．12                            |
| 表4.1 迴旋扇葉位置座標圖．．．35   | 表4.2 測試區域位置座標圖．．．37   |
| 表4.3 符合場強均勻度法規的限制值．．．40                                     | 表4.4 頻率為325MHz的符合限制值的表(1)．．．54                              |
| 表4.5 頻率為325MHz的符合限制值的表(2)．．．54                              | 表4.6 頻率為325MHz的符合限制值的表(3)．．．55                              |
| 表4.7 頻率為325MHz的符合限制值的表(4)．．．55                              | 表4.8 頻率為450MHz的符合限制值的表(1)．．．56                              |
| 表4.9 頻率為450MHz的符合限制值的表(2)．．．56                              | 表4.10 頻率為450MHz的符合限制值的表(3)．．．57                             |
| 表4.11 頻率為450MHz的符合限制值的表(4)．．．57                             | 表4.12 頻率為540MHz的符合限制值的表(1)．．．58                             |
| 表4.13 頻率為540MHz的符合限制值的表(2)．．．58                             | 表4.14 頻率為540MHz的符合限制值的表(3)．．．59                             |
| 表4.15 頻率為540MHz的符合限制值的表(4)．．．59                             | 表5.1 電波迴響室之隔離度資料(門把上)．．．66                                  |
| 表5.2 電波迴響室之隔離度資料(門把中)．．．67                                  | 表5.3 電波迴響室之隔離度資料(門把下)．．．67                                  |
| 表5.4 電波迴響室之隔離度資料(正面牆)．．．68                                  | 表5.5 電波迴響室之隔離度資料(左側牆)．．．69                                  |
| 表5.6 電波迴響室之隔離度資料(Filter)．．．70                               |   |

## REFERENCES

- [1]J F Dawson, University of York, UK; M O Hatfield, Naval Surface Warfare Center, USA; L Arnaut, National Physical Laboratory, UK; N Eulig, Institut fur EMV, Braunschweig, Germany " Reverberation ( Mode-Stirred ) Chambers for Electromagnetic Compatibility "
- [2]IEC61000-4-21, " Electromagnetic compatibility (EMC)-part4-21 testing and measurement techniques-Reverberation chambers test methods ",1995 [3]林漢年等, " 電波迴響室內電磁場分佈之數值模擬研究分析 ", 2002台灣電磁相容研討會 [4]Katsushige Harima and Yukio Yamanaka, " Evaluation of E-field uniformity for radiated Immunity testing in a reverberation chamber " [5]David K. Cheng, " Field and Wave Electromagnetics " 2/e [6]DAVID M. POZAR, " MICROWAVE ENGINEERING " [7]D. A. Hill, A reflection coefficient derivation for the Q of a reverberation chamber, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. Vol38. No.4 November 1996 [8]M. Petirsch, I. Sotriffer, A. Schwab, " ELECTROMAGNETIC SUSCEPTIBILITY MEASUREMENTS IN A MODE-STIRRED CHAMBER " [9]Karl S. Kunz Raymond J. Luebbers, " Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics " [10]Allen Taflove, " Computational Electrodynamics : The Finite- difference Difference Time Domain Method " [11]謝其君, " 迴旋扇葉結構對電波迴響室場強均勻度影響之研究 " [12]Yee, K . S. , " Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell ' s equations in isotropic media , " IEEE Transmission. Antennas and Propagation, Vol.14,00.302-307,1966 [13] 林振華, " 電磁場與天線分析使用時域有限差分法 ( FDTD ) " 全華科技圖書股份有限公司發行 [14]Gerrit Mur , " Total-field absorbing boundary conditions for the time-domain electromagnetic field equations " ,IEEE transactions on

electromagnetic compatibility.No2.May,1998 [15]Gerrit Mur , " Absorbing boundary conditions for the finite- difference approximation of the time-domain electromagnetic field equations " , IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility ,Vol. EMC -23,pp.377-382,Nov.1981.

[16]Yee. K. S. , " Conformal finite-different time-domain (FDTD) with overlapping grids " , IEEE transactions on Antennas Propagation Vol40. No9. September , 1992 [17]Navarro, E.A. ,N. T. Sangary ,and J. Litva, " Some considerations on the accuracy of the non-uniform FDTD method and its application to wave-guide analysis when combined with the perfectly matched layer technique , " IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol.44 ,pp.1115-1124 ,July 1996 [18]Okoniewski, Michal , E. Okoniewska , and M. A. Stuchly, " Three- dimensional sub-gridding algorithm for FDTD, " IEEE Transmission. Antennas and Propagation. , Vol.45, pp.422-429, Mar.1997.

[19]Jurgens , T. G, and A. Taflove , " Three-Dimension of Scattering from Single and Multiple Bodies, " EEE Trans. Antennas Propagation . ,Vol.41,pp.1703-1708,Dec.1993 [20]Allen Taflove, " Computational Electrodynamics : The Finite-Difference Time Domain Method " , p93-105.

[21]Karl S. Kunz Raymond J. Luebbers, " Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics " , p335-346 [22]Michael O. Hatfield Naval Surface Warfare Center Dahlgren VA, " A CALIBRATION PROCEDURE FOR REVERBERATIONS " [23]IEC61000-4-3, " Electromagnetic compatibility (EMC)-part4-3 testing and measurement techniques-Radiated, radio-frequency, electro- magnetic field immunity test " ,1995 [24]N. Eulig, A. Enders, H. G. Krauhauser, and J. Nitsch, " Achievable field strength in reverberation chambers " , Advances in Radio Science ( 2003 ) 1:53-56