

# The Analysis and Design of Open-Ended Coaxial Probe for Measurement of Dielectric Parameters of Liquids

李岳璁、林漢年

E-mail: 9315054@mail.dyu.edu.tw

## ABSTRACT

Open-ended coaxial line has been designed for the measurement of dielectric properties of liquids. These applications are based on the principle that characteristics of the reflection signals produced by the coaxial opening depend upon the sample material terminating the probe. Then the dielectric parameters of the material sample can be found by using the specific formulation for aperture admittance of coaxial probe and dielectric constant of material. This thesis used common 3.6 mm OD semirigid coaxial line and measured different materials with a vector network analyzer (VNA). Finally, a quasi-static approximation analysis of open-ended coaxial line has been formulated to determine the dielectric parameters of liquids under test.

Keywords : dielectric properties ; coaxial probe ; aperture admittance ; quasi-static approximation analysis

## Table of Contents

封面內頁 簽名頁 授權書	iii 中文摘要
iv 英文摘要	v 謹謝
vii 圖目錄	vi 目錄
xii 第一章 緒論	ix 表目錄
1.1前言	1
1.3介電特性量測系統的比較	2
2.1傳輸線簡介	6
2.2傳輸線的場論分析	7
2.2.1同軸傳輸線的場論分析	7
2.2.2有載的無損傳輸線	10
2.3.1同軸探棒孔徑之導納推導	12
2.3.2準靜態近似分析	12
2.4第二章 傳輸線理論	13
2.4.1同軸探棒的校正	22
2.4.2實驗設置與量測	26
2.4.3參考液體的介電特性	26
2.4.3.1水的介電特性量測	28
2.4.3.2乙醇(酒精)的介電特性量測	28
2.4.3.3模擬生理組織液的介電特性量測	33
2.4.3.4圖1.1同軸開槽傳輸線	33
2.4.3.5圖1.2終端開路同軸傳輸線	40
2.4.4圖1.3橫向電磁波傳輸線	40
2.4.5圖1.4終接負載為的無損傳輸線	40
2.4.6圖1.5磁流源的幾何結構	40
2.4.7圖1.6量測面與參考面之示意圖	40
2.4.8圖1.7相對介電常數之幾何結構	40
2.4.9圖1.8相對介電常數之幾何結構	40
2.4.10圖1.9相對介電常數之幾何結構	40
2.4.11圖1.10相對介電常數之幾何結構	40
2.4.12圖1.11相對介電常數之幾何結構	40
2.4.13圖1.12相對介電常數之幾何結構	40
2.4.14圖1.13相對介電常數之幾何結構	40
2.4.15圖1.14相對介電常數之幾何結構	40
2.4.16圖1.15相對介電常數之幾何結構	40
2.4.17圖1.16相對介電常數之幾何結構	40
2.4.18圖1.17相對介電常數之幾何結構	40
2.4.19圖1.18相對介電常數之幾何結構	40
2.4.20圖1.19相對介電常數之幾何結構	40
2.4.21圖1.20相對介電常數之幾何結構	40
2.4.22圖1.21相對介電常數之幾何結構	40
2.4.23圖1.22相對介電常數之幾何結構	40
2.4.24圖1.23相對介電常數之幾何結構	40
2.4.25圖1.24相對介電常數之幾何結構	40
2.4.26圖1.25相對介電常數之幾何結構	40
2.4.27圖1.26相對介電常數之幾何結構	40
2.4.28圖1.27相對介電常數之幾何結構	40
2.4.29圖1.28相對介電常數之幾何結構	40
2.4.30圖1.29相對介電常數之幾何結構	40
2.4.31圖1.30相對介電常數之幾何結構	40
2.4.32圖1.31相對介電常數之幾何結構	40
2.4.33圖1.32相對介電常數之幾何結構	40
2.4.34圖1.33相對介電常數之幾何結構	40
2.4.35圖1.34相對介電常數之幾何結構	40
2.4.36圖1.35相對介電常數之幾何結構	40
2.4.37圖1.36相對介電常數之幾何結構	40
2.4.38圖1.37相對介電常數之幾何結構	40
2.4.39圖1.38相對介電常數之幾何結構	40
2.4.40圖1.39相對介電常數之幾何結構	40
2.4.41圖1.40相對介電常數之幾何結構	40
2.4.42圖1.41相對介電常數之幾何結構	40
2.4.43圖1.42相對介電常數之幾何結構	40
2.4.44圖1.43相對介電常數之幾何結構	40
2.4.45圖1.44相對介電常數之幾何結構	40
2.4.46圖1.45相對介電常數之幾何結構	40
2.4.47圖1.46相對介電常數之幾何結構	40
2.4.48圖1.47相對介電常數之幾何結構	40
2.4.49圖1.48相對介電常數之幾何結構	40
2.4.50圖1.49相對介電常數之幾何結構	40
2.4.51圖1.50相對介電常數之幾何結構	40
2.4.52圖1.51相對介電常數之幾何結構	40
2.4.53圖1.52相對介電常數之幾何結構	40
2.4.54圖1.53相對介電常數之幾何結構	40
2.4.55圖1.54相對介電常數之幾何結構	40
2.4.56圖1.55相對介電常數之幾何結構	40
2.4.57圖1.56相對介電常數之幾何結構	40
2.4.58圖1.57相對介電常數之幾何結構	40
2.4.59圖1.58相對介電常數之幾何結構	40
2.4.60圖1.59相對介電常數之幾何結構	40
2.4.61圖1.60相對介電常數之幾何結構	40
2.4.62圖1.61相對介電常數之幾何結構	40
2.4.63圖1.62相對介電常數之幾何結構	40
2.4.64圖1.63相對介電常數之幾何結構	40
2.4.65圖1.64相對介電常數之幾何結構	40
2.4.66圖1.65相對介電常數之幾何結構	40
2.4.67圖1.66相對介電常數之幾何結構	40
2.4.68圖1.67相對介電常數之幾何結構	40
2.4.69圖1.68相對介電常數之幾何結構	40
2.4.70圖1.69相對介電常數之幾何結構	40
2.4.71圖1.70相對介電常數之幾何結構	40
2.4.72圖1.71相對介電常數之幾何結構	40
2.4.73圖1.72相對介電常數之幾何結構	40
2.4.74圖1.73相對介電常數之幾何結構	40
2.4.75圖1.74相對介電常數之幾何結構	40
2.4.76圖1.75相對介電常數之幾何結構	40
2.4.77圖1.76相對介電常數之幾何結構	40
2.4.78圖1.77相對介電常數之幾何結構	40
2.4.79圖1.78相對介電常數之幾何結構	40
2.4.80圖1.79相對介電常數之幾何結構	40
2.4.81圖1.80相對介電常數之幾何結構	40
2.4.82圖1.81相對介電常數之幾何結構	40
2.4.83圖1.82相對介電常數之幾何結構	40
2.4.84圖1.83相對介電常數之幾何結構	40
2.4.85圖1.84相對介電常數之幾何結構	40
2.4.86圖1.85相對介電常數之幾何結構	40
2.4.87圖1.86相對介電常數之幾何結構	40
2.4.88圖1.87相對介電常數之幾何結構	40
2.4.89圖1.88相對介電常數之幾何結構	40
2.4.90圖1.89相對介電常數之幾何結構	40
2.4.91圖1.90相對介電常數之幾何結構	40
2.4.92圖1.91相對介電常數之幾何結構	40
2.4.93圖1.92相對介電常數之幾何結構	40
2.4.94圖1.93相對介電常數之幾何結構	40
2.4.95圖1.94相對介電常數之幾何結構	40
2.4.96圖1.95相對介電常數之幾何結構	40
2.4.97圖1.96相對介電常數之幾何結構	40
2.4.98圖1.97相對介電常數之幾何結構	40
2.4.99圖1.98相對介電常數之幾何結構	40
2.4.100圖1.99相對介電常數之幾何結構	40
2.4.101圖1.100相對介電常數之幾何結構	40
2.4.102圖1.101相對介電常數之幾何結構	40
2.4.103圖1.102相對介電常數之幾何結構	40
2.4.104圖1.103相對介電常數之幾何結構	40
2.4.105圖1.104相對介電常數之幾何結構	40
2.4.106圖1.105相對介電常數之幾何結構	40
2.4.107圖1.106相對介電常數之幾何結構	40
2.4.108圖1.107相對介電常數之幾何結構	40
2.4.109圖1.108相對介電常數之幾何結構	40
2.4.110圖1.109相對介電常數之幾何結構	40
2.4.111圖1.110相對介電常數之幾何結構	40
2.4.112圖1.111相對介電常數之幾何結構	40
2.4.113圖1.112相對介電常數之幾何結構	40
2.4.114圖1.113相對介電常數之幾何結構	40
2.4.115圖1.114相對介電常數之幾何結構	40
2.4.116圖1.115相對介電常數之幾何結構	40
2.4.117圖1.116相對介電常數之幾何結構	40
2.4.118圖1.117相對介電常數之幾何結構	40
2.4.119圖1.118相對介電常數之幾何結構	40
2.4.120圖1.119相對介電常數之幾何結構	40
2.4.121圖1.120相對介電常數之幾何結構	40
2.4.122圖1.121相對介電常數之幾何結構	40
2.4.123圖1.122相對介電常數之幾何結構	40
2.4.124圖1.123相對介電常數之幾何結構	40
2.4.125圖1.124相對介電常數之幾何結構	40
2.4.126圖1.125相對介電常數之幾何結構	40
2.4.127圖1.126相對介電常數之幾何結構	40
2.4.128圖1.127相對介電常數之幾何結構	40
2.4.129圖1.128相對介電常數之幾何結構	40
2.4.130圖1.129相對介電常數之幾何結構	40
2.4.131圖1.130相對介電常數之幾何結構	40
2.4.132圖1.131相對介電常數之幾何結構	40
2.4.133圖1.132相對介電常數之幾何結構	40
2.4.134圖1.133相對介電常數之幾何結構	40
2.4.135圖1.134相對介電常數之幾何結構	40
2.4.136圖1.135相對介電常數之幾何結構	40
2.4.137圖1.136相對介電常數之幾何結構	40
2.4.138圖1.137相對介電常數之幾何結構	40
2.4.139圖1.138相對介電常數之幾何結構	40
2.4.140圖1.139相對介電常數之幾何結構	40
2.4.141圖1.140相對介電常數之幾何結構	40
2.4.142圖1.141相對介電常數之幾何結構	40
2.4.143圖1.142相對介電常數之幾何結構	40
2.4.144圖1.143相對介電常數之幾何結構	40
2.4.145圖1.144相對介電常數之幾何結構	40
2.4.146圖1.145相對介電常數之幾何結構	40
2.4.147圖1.146相對介電常數之幾何結構	40
2.4.148圖1.147相對介電常數之幾何結構	40
2.4.149圖1.148相對介電常數之幾何結構	40
2.4.150圖1.149相對介電常數之幾何結構	40
2.4.151圖1.150相對介電常數之幾何結構	40
2.4.152圖1.151相對介電常數之幾何結構	40
2.4.153圖1.152相對介電常數之幾何結構	40
2.4.154圖1.153相對介電常數之幾何結構	40
2.4.155圖1.154相對介電常數之幾何結構	40
2.4.156圖1.155相對介電常數之幾何結構	40
2.4.157圖1.156相對介電常數之幾何結構	40
2.4.158圖1.157相對介電常數之幾何結構	40
2.4.159圖1.158相對介電常數之幾何結構	40
2.4.160圖1.159相對介電常數之幾何結構	40
2.4.161圖1.160相對介電常數之幾何結構	40
2.4.162圖1.161相對介電常數之幾何結構	40
2.4.163圖1.162相對介電常數之幾何結構	40
2.4.164圖1.163相對介電常數之幾何結構	40
2.4.165圖1.164相對介電常數之幾何結構	40
2.4.166圖1.165相對介電常數之幾何結構	40
2.4.167圖1.166相對介電常數之幾何結構	40
2.4.168圖1.167相對介電常數之幾何結構	40
2.4.169圖1.168相對介電常數之幾何結構	40
2.4.170圖1.169相對介電常數之幾何結構	40
2.4.171圖1.170相對介電常數之幾何結構	40
2.4.172圖1.171相對介電常數之幾何結構	40
2.4.173圖1.172相對介電常數之幾何結構	40
2.4.174圖1.173相對介電常數之幾何結構	40
2.4.175圖1.174相對介電常數之幾何結構	40
2.4.176圖1.175相對介電常數之幾何結構	40
2.4.177圖1.176相對介電常數之幾何結構	40
2.4.178圖1.177相對介電常數之幾何結構	40
2.4.179圖1.178相對介電常數之幾何結構	40
2.4.180圖1.179相對介電常數之幾何結構	40
2.4.181圖1.180相對介電常數之幾何結構	40
2.4.182圖1.181相對介電常數之幾何結構	40
2.4.183圖1.182相對介電常數之幾何結構	40
2.4.184圖1.183相對介電常數之幾何結構	40
2.4.185圖1.184相對介電常數之幾何結構	40
2.4.186圖1.185相對介電常數之幾何結構	40
2.4.187圖1.186相對介電常數之幾何結構	40
2.4.188圖1.187相對介電常數之幾何結構	40
2.4.189圖1.188相對介電常數之幾何結構	40
2.4.190圖1.189相對介電常數之幾何結構	40
2.4.191圖1.190相對介電常數之幾何結構	40
2.4.192圖1.191相對介電常數之幾何結構	40
2.4.193圖1.192相對介電常數之幾何結構	40
2.4.194圖1.193相對介電常數之幾何結構	40
2.4.195圖1.194相對介電常數之幾何結構	40
2.4.196圖1.195相對介電常數之幾何結構	40
2.4.197圖1.196相對介電常數之幾何結構	40
2.4.198圖1.197相對介電常數之幾何結構	40
2.4.199圖1.198相對介電常數之幾何結構	40
2.4.200圖1.199相對介電常數之幾何結構	40
2.4.201圖1.200相對介電常數之幾何結構	40
2.4.202圖1.201相對介電常數之幾何結構	40
2.4.203圖1.202相對介電常數之幾何結構	40
2.4.204圖1.203相對介電常數之幾何結構	40
2.4.205圖1.204相對介電常數之幾何結構	40
2.4.206圖1.205相對介電常數之幾何結構	40
2.4.207圖1.206相對介電常數之幾何結構	40
2.4.208圖1.207相對介電常數之幾何結構	40
2.4.209圖1.208相對介電常數之幾何結構	40
2.4.210圖1.209相對介電常數之幾何結構	40
2.4.211圖1.210相對介電常數之幾何結構	40
2.4.212圖1.211相對介電常數之幾何結構	40
2.4.213圖1.212相對介電常數之幾何結構	40
2.4.214圖1.213相對介電常數之幾何結構	40
2.4.215圖1.214相對介電常數之幾何結構	40
2.4.216圖1.215相對介電常數之幾何結構	40
2.4.217圖1.216相對介電常數之幾何結構	40
2.4.218圖1.217相對介電常數之幾何結構	40
2.4.219圖1.218相對介電常數之幾何結構	40
2.4.220圖1.219相對介電常數之幾何結構	40
2.4.221圖1.220相對介電常數之幾何結構	40
2.4.222圖1.221相對介電常數之幾何結構	40
2.4.223圖1.222相對介電常數之幾何結構	40
2.4.224圖1.223相對介電常數之幾何結構	40
2.4.225圖1.224相對介電常數之幾何結構	40
2.4.226圖1.225相對介電常數之幾何結構	40
2.4.227圖1.226相對介電常數之幾何結構	40
2.4.228圖1.227相對介電常數之幾何結構	40
2.4.229圖1.228相對介電常數之幾何結構	40
2.4.230圖1.229相對介電常數之幾何結構	40
2.4.231圖1.230相對介電常數之幾何結構	40
2.4.232圖1.231相對介電常數之幾何結構	40
2.4.233圖1.232相對介電常數之幾何結構	40
2.4.234圖1.233相對介電常數之幾何結構	40
2.4.235圖1.234相對介電常數之幾何結構	40
2.4.236圖1.235相對介電常數之幾何結構	40
2.4.237圖1.236相對介電常數之幾何結構	40
2.4.238圖1.237相對介電常數之幾何結構	40
2.4.239圖1.238相對介電常數之幾何結構	40
2.4.240圖1.239相對介電常數之幾何結構	40
2.4.241圖1.240相對介電常數之幾何結構	40
2.4.242圖1.241相對介電常數之幾何結構	40
2.4.243圖1.242相對介電常數之幾何結構	40
2.4.244圖1.243相對介電常數之幾何結構	40
2.4.245圖1.244相對介電常數之幾何結構	40
2.4.246圖1.245相對介電常數之幾何結構	40
2.4.247圖1.246相對介電常數之幾何結構	40
2.4.248圖1.247相對介電常數之幾何結構	40
2.4.249圖1.248相對介電常數之幾何結構	40
2.4.250圖1.249相對介電常數之幾何結構	40
2.4.251圖1.250相對介電常數之幾何結構	40
2.4.252圖1.251相對介電常數之幾何結構	40
2.4.253圖1.252相對介電常數之幾何結構	40
2.4.254圖1.253相對介電常數之幾何結構	40
2.4.255圖1.254相對介電常數之幾何結構	40
2.4.256圖1.255相對介電常數之幾何結構	40
2.4.257圖1.256相對介電常數之幾何結構	40
2.4.258圖1.257相對介電常數之幾何結構	40
2.4.259圖1.258相對介電常數之幾何結構	40
2.4.260圖1.259相對介電常數之幾何結構	40
2.4.261圖1.260相對介電常數之幾何結構	40
2.4.262圖1.261相對介電常數之幾何結構	40
2.4.263圖1.262相對介電常數之幾何結構	40
2.4.264圖1.263相對介電常數之幾何結構	40
2.4.265圖1.264相對介電常數之幾何結構	40
2.4.266圖1.265相對介電常數之幾何結構	40
2.4.267圖1.266相對介電常數之幾何結構	40
2.4.268圖1.267相對介電常數之幾何結構	4

表4.1. 不同樣本的礦物質成份 . . . . .	29	表4.2. 模擬組織液的調配配方 . . . . .
34 表4.3. IEEE Std 1528附錄C所述的目標值與測試值 . . . . .	36	表4.4. 3.6mm探棒量測結果與IEEE Std 1528的比較 . . . . .
Std 1528的比較 . . . . .	37	表4.5. HP85070C量測結果與IEEE Std 1528的比較 . . . . .
37 棒量測結果與IEEE Std 1528的比較 . . . . .	39	表4.6. 3.6mm探

## REFERENCES

- [1] S. Jenkins, " Dielectric measurements on reference liquids using automatic network analysers and calculable geometries " , Meas. Sci. Technol. 1(1990) 691-702.
- [2] Annex J(informative), " Measurement of the dielectric properties of liquids and uncertainty estimation " , IEC62209/CD.
- [3] D. K. Mirsa, " Noninvasive Electrical Characterization of Materials at Microwave Frequencies Using an Open-Ended Line:Test of an Improved Calibration Technique " , IEEE Trans. Trans . vol. MTT-38, no. 1, January. 1990.
- [4] Y. Z. Wei, " Radiation-corrected open-ended coax line technique for dielectric measurements of liquids up to 20 GHz " , IEEE Trans . vol. MTT-39, no. 3, March. 1991.
- [5] A. Nyshadham, " Permittivity measurements using open-ended sensor and reference liquid calibration-an uncertainty analysis " , IEEE Trans. Microwave Theory Tech. Vol MTT-40, no.2, February 1992 [6] D. K. Mirsa, " Measurement of the Complex Permittivity of Materials by an Open-Ended Coaxial Probe " , IEEE Microwave and Guided wave letters, vol. 5, no. 5, May 1995.
- [7] H. Zheng, " Permittivity Measurements Using a Short Open-EndedCoaxial Line Probe " , IEEE Microwave and Guided wave letters, vol. 1, no. 11, November 1991.
- [8] R. D. Nevels, " The annular slot antenna in a lossy biological medium " , IEEE Trans . vol. MTT-33, no. 4, April. 1985.
- [9] A. Boughriet, " The Measurement of Dielectric Properties of liquids at Microwave Frequencies Using Open-Ended Coaxial Probe " ,1st World Congress on Industrial Process Tomography, Buxton, Greater Manchester, April14-17, 1999.
- [10]IEEE Std 1528-200X:DRAFT Recommended Practice for Determining the Spatial-Peak Specific Absorption Rate (SAR) in Human Body Due to Wireless Communication Devices: Experimental Techniques.
- [11]FCC OET Bulletin 65,Version 97-01:Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields.
- [12]Agilent Technologies:85070C Dielectric Probe Kit.
- [13]U. S. Inan, Engineering Electromagnetics, Addision-Wesley, 1999.
- [14]郭仁財, 微波工程. 高立出版社, 2001.
- [15]D. K. Mirsa, " A quasi-static analysis of open-ended coaxial lines " , IEEE Trans. Trans . vol. MTT-35, no. 10, October. 1987.
- [16]R. F. Harrington, Time Harmonic Electromagnetic Field. New York: McGraw-Hill, 1961, pp.93, 110-113.
- [17]L. L. Tasi, " A numerical solution for the near and far fields of an annular ring of magnetic current " , IEEE Trans. Antennas Propagat.,vol.AP-20, no. 5, pp. 569-576, Sept 1972.
- [18]C. L. Pournaropoulos, " The co-axial aperture electromagnetic sensor and its application in material characterization " , Meas. Sci. Technol. 8 (1997)1191-1202. Printed in the UK.
- [19]M. Abramowitz and I. T. Stegun, Eds, Handbook of Mathematical Functions. New York. Dover, 1965.p 591.
- [20]D. V. Blackham, " An improved technique for permittivity measurements using a coaxial probe " , IEEE Trans. Instrum. Meas, vol.46, no.5 ,October 1997 [21]Dr Nguyen Tran, <http://microwaveprocessing.com/> [22]IEEE Std 1528-200X:Annex B(Dielectric Property Measurements)、Annex C(Recommended Recipes for Phantom Head-Tissue Simulant).
- [23]J. M. Anderson, " Dielectric measurements using a rational function model " , IEEE Trans . vol. MTT-42, no. 2, February. 1994.