

頻譜分析器及應用實例概述

城戶健一 編著



中美科學股份有限公司 編譯



全華科技圖書股份有限公司 印行

振動，噪音

頻譜分析器及應用實例概述

**FAST
FOURI
TRANSFORMATION
(F.F.T)**

編著者：城戶健一

校閱者：王廷飛

翻譯者：呂丁南・黃玉坤



全華圖書

法律顧問：陳培豪律師

頻譜分析器及應用 實例概述

中美科學股份有限公司
城戶健一 編著 王廷飛 校閱
呂丁南 黃玉坤 譯

出版者 全華科技圖書股份有限公司
地址／台北市龍江路76巷20-2號2樓
電話／5 8 1 1 3 0 0 (總機)
郵撥帳號／0 1 0 0 8 3 6 - 1 號

發行人 陳 本 源
印刷者 華 一 彩 色 印 刷 廠

門市部 全友書局(黎明文化大樓七樓)
地址／台北市重慶南路一段49號7樓
電話／3 6 1 2 5 3 2 ● 3 6 1 2 5 3 4

定 價 新臺幣 210 元
初版／75年4月

行政院新聞局核准登記證局版台業字第〇二二三號

版權所有 翻印必究

圖書編號 0111074

我們的宗旨：

**推展科技新知
帶動工業升級**

**為學校教科書
推陳出新**

感謝您選購全華圖書
希望本書能滿足您求知的慾望

「圖書之可貴，在其量也在其質」，量指圖書內容充實，質指資料新穎夠水準，我們本着這個原則，竭心盡力地為國家科學中文化努力，貢獻給您這一本全是精華的“全華圖書”

為保護您的眼睛，本公司特別
採用不反光的米色印書紙！！

王 序

廿五年來本公司在科技及工業上不斷地耕耘，深感由於國內科技書籍普遍的缺乏，以致於在科技的開發、生根及滋長造成阻礙，使得績效無法突破，因此本公司尋找最新國內急需而欠缺的優良著作，請專人譯成中文，以回饋大眾，迄今已有“表面組織解說”“漫談真圓度”“疲乏試驗機”及各類技術通訊……及本書。祈望能對國內科學及工業界盡棉薄之力，藉此拋磚引玉，以償夙願。

快速傅里葉轉換（FFT）分析技術，近來在機械、電機、電子、航空、造船、環境等工程上針對工具機、馬達、泵、音響……各類轉動機件之噪音及振動作研究、發展、設計及檢修維護，現今被認為最具效益的一種利器。本書作者城戶健一教授多年從事這方面工作，將其實作收集配以原理、分析、判斷，深入淺出，不但實用且深具可讀性，有別於其他此方面書籍，多專注於學理及數學上的敘述，使初學者生澀難懂畏而怯步。

本書徵得原著者同意後翻譯，並附其感謝函件，在此特予敬謝。

中美科學股份有限公司

總經理 王增成



序 言



近來有人提議要搜集 FFT 分析器活用例的解說書。FFT 的電腦運算法發明迄今，已有十八年了雖覺得出書似乎有點慢，但奇怪的是國內外却不曾看過此類書籍的出版。既然如此編者（曾經為學會雜誌撰寫過好幾次 FFT 的解說）應該來推進這個計劃，才能對社會盡一點棉薄之力。

本書內容首先限定於單頻道分析器，說明有關機械方面很多實用的例子，雙頻道分析器對於研究者比較有興趣，且發展的可能性也很大。本書不但採取淺近而廣涉的方向，而且從基礎上依序作踏實的說明為方針。

雖是單頻道 FFT，但看過那堆積如山的原稿令我再三感嘆竟有如此奇妙無比的用法，能有機會整理這些原稿，對我確是一種極為寶貴的經驗。

二十年前我第一次實際使用傅里葉解析，為要計算至第 6 階調合波成分。一面對照三角函數，一面轉動泰格計算機作了好幾小時，理論雖簡單，但使我深深覺得這種計算機實在耗時甚多。

二年後（公元 1945 年）親身閱歷了驚奇的經驗。觀察示波器的波形似乎以 28 Hz 為主，可是從聲音或振動的韻律感，排煙的高速攝影測驗發現似乎應以 4 Hz 為主，而且這就是七缸 240 rpm 二行程柴油機的噪音所致。

從示波器的波形取 0.5 秒為單位再等分 48 單位，如用測定瞬時值加以傅里葉轉換解析後，則測定結果將甚為明顯。這是上司的指示雖覺得不大合理，却也只好照樣進行工作，為能便於計算作成程序表，僅是單一波形計算，就需要兼差的女生費去一整天的工夫。由於無知為了證明忽視取樣原理的計算法是錯誤的，就花費了一個多月之久。於是親手製作外差式分析器，再赴現場測定，經過半年才完成其解決方法。

當時傳聞國外已有電腦，可是編者所屬的東北大學却遲於三年後才購置電腦。起初的電腦性能無法與現今的袖珍電算機相比。因傅里葉解析需用極大量之記憶裝置，而當時粗陋的電腦便不荷使用。

經過十年的歲月，好不容易我的研究室也導入了裝置 24 kW AD/DA 變換器的中型電腦（當時如此稱呼）不用說我們已可以享受到已發表出來的 FFT 之恩惠了。

“逐一寫出程式的方法已經不行了，應該製作祇需按鍵則可知道結果的東西……。”當時所提倡的主張，現今已實現了。不過一旦實現之後因過於簡便，近來卻遭人非議 FFT 無能的論調。

為了讓 FFT 分析器充分發揮其功能，本書如能有一點貢獻，則為編者三十年來接觸傅里葉解析由衷的心願。

1984 年 1 月 20 日

城戶健一

敬獻台灣讀者

拙著承蒙中美科學股份有限公司翻譯，由全華科技圖書公司出版，能與廣大台灣讀者見面，感到不勝榮幸。

由於數字電子技術，特別是大型積體電路（LSI）之驚人發展，使得體積小、重量輕、可靠性高的 FFT 分析儀得以問世，在噪音、振動等的波形解析分面，發揮著巨大威力。

當今，技術進步顯著，可謂日新月異。拙作寫完以來，還不到兩年，在測試領域內，最新型的 FFT 分析儀在日本不斷湧現。煩雜紛亂的波形解析，在一台具備各種功能的 FFT 分析儀上，祇要一按按鍵，其結果就解析出來的，多年的夢想，迄今已變成現實。

通過本書所載實例，對諸君的研究事業能有所助益，實感萬幸了。

東北大學應用情報學研究中心長

城戸健一

頻譜分析器及應用實例概述 城戶健一編著

編著者一覽（依五十音順序）

編著者

城戶健一

東北大學應用資訊學研究中心所長

著者

押谷 佩

（株）富士電機綜合研究所製造技術所副主任
研究員

笠井 實

日立產機工學技術（株）士浦事業所開發室技
師

神田 雄一

機械振興協會技術研究所

熊谷正純

仙台電波工業高等專門學校、電子工學科助教
授

高田 祥三

東洋大學工學部機械工學科助教授

漳瀨 忠

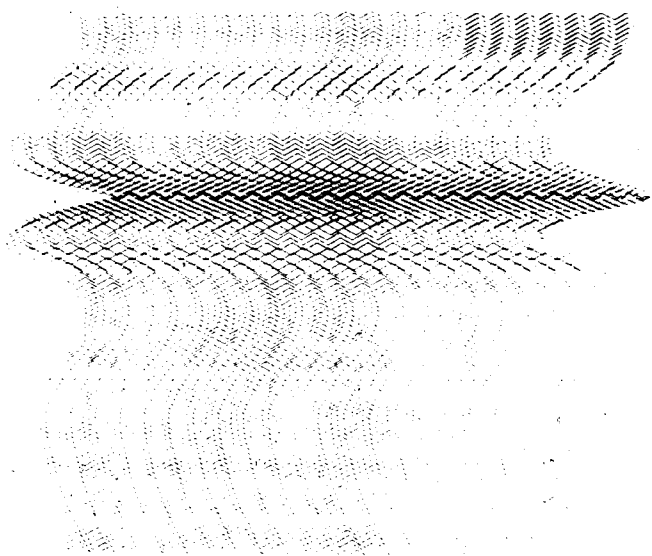
Sony（株）技術研究所係長（股長）

譯者：呂丁南 黃玉坤

校閱者：王廷飛

FFTアナライザ 活用マニュアル

城戸健一 編著



発行 日本プラントメンテナンス協会 発売 日本能率協会

目 錄



FFT分析器的基礎	1
1.1 前 言	2
1.2 傅里葉 (Fourier) 轉換	3
1.3 取樣 (sampling)	9
1.4 量 化	13
1.5 離散的傅里葉變換 (DFT)	15
1.6 時間窗口 (time window)	16
1.7 功率頻譜 (power spectre)	20
1.8 相位頻譜 (phase spectre)	25
1.9 變換縮收 (zooming)	27
1.10 自相關函數與功率頻譜	30
參考文獻	32



回轉機械的異常測試(1)	35
2.1 振動解析的目的	36
2.2 產業用回轉機械的故障模式	38
2.3 回轉機械的振動原因分析與對策實例	39
檢出信號	39
信號處理與資料判斷	41
振動評價基準	42

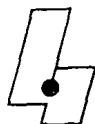
2.4	評價基準實例	42
2.5	測試所使用的主要儀器	44
	數據記錄器	45
	軸振動計	48
2.6	螺旋型二段壓縮機的測試例	53
2.7	直立形斜流唧筒的測試例	56
2.8	併用監視儀器的齒輪聯軸器與測試例	61
2.9	齒輪聯軸器測試例	66
2.10	平行齒輪轉動件之軸承合金測試	69
	參考文獻	73



回轉機械的異常測試(2) 75

3.1	變速電動機的脈動轉矩與振動	76
	使用FFT分析器能知道什麼	76
	解析系統	77
	FFT分析器的解析程序	79
	數據的討論	85
3-2	籠形誘導電動機回轉子條的異常測試	86
	使用FFT分析器能知道什麼	86
	解析系統	88
	FFT分析器的解析程序	89
	數據的討論	90
3-3	滾珠軸承的異常測試	94
	使用FFT分析器能知道什麼	95
	解析系統	96
	FFT分析器的解析程序	100

數據的討論	102
3.4 回轉體的現場平衡 (field balancing)	104
使用 FFT 分析器能知道什麼	104
解析系統	106
FFT 分析器的解析程序	108
數據的檢討	111
參考文獻	118



切削狀態的測試 121

4.1 切削抵抗的頻譜解析	122
切削狀態的認識	122
切削狀態與切削抵抗的功率頻譜	123
解析系統	123
FFT 分析器的條件設定	124
解析結果	125
4.2 AE 信號的頻譜解析	128
依據 AE 的切削狀態認識	129
解析系統	129
FFT 分析器的條件設定	131
解析結果	132
參考文獻	135



雜音的頻率分析 137

5.1 頻率分析的目的	138
5.2 倍頻波段, $\frac{1}{3}$ 倍頻波段	139
5.3 解析系統	141

5.4	測定點的位置	142
5.5	對於特定噪音的暗噪音影響	144
5.6	噪音計的校正及FFT的能級補正	147
5.7	雜音的頻率分析手法	150
5.8	雜音的頻率分析例子	155
5.9	等價噪音能級LA _{eq} 的求法	162
5.10	選擇CF-036, A-加權(A-weighting)軟體之利用法	164
	參考文獻	166



音響機器的解析 167

6.1	測定所使用的信號檢驗法	168
	目的	168
	正弦波信號的檢驗法	168
	白雜音的檢驗法	175
	顫雜音的檢驗法	181
6.2	測定信號對雜音比的改善法	186
	實驗的目的	186
	實驗系統	186
	彩色同步、信號的消除方法	188
	泛變信號的消除方法	192
6.3	失真率測定不引起失真的應用	196
	解析的目的	196
	實驗	197
	測定程序	198
	解析結果與研究	203

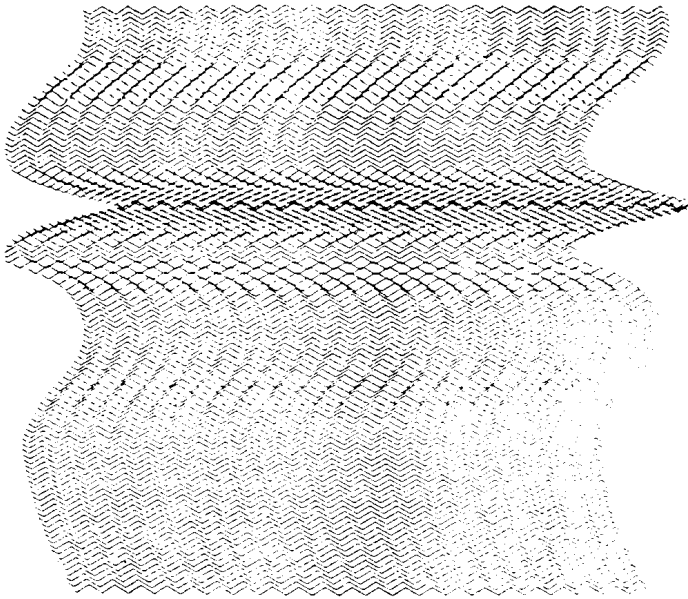
6.4	音響機器的抖動率解析法	206
	解析目的	206
	何謂抖動率	206
	抖動率測定	207
	抖動率的頻譜分析	208
	測定程序	208
	電唱機的抖動率解析	211
	卡帶蓋前置放大器的抖動率解析	216
	機械構造測試的應用	221
6.5	傳移函數（增益及相位特性）的測定	221
	解析的目的	221
	解析對象與測定配置	222
	傳移函數與功率頻譜、相位頻譜的關係	223
	脈衝式輸入	224
	FFT 分析器的設定	227
	解析結果	228
	結 語	231

附 錄 **233**

GP-IB 的應用實例一把分析結果輸入個人電腦的	
方法	233
系統結構	233
分析結果的判定	234
參考文獻	243



FFT分析器的基礎



1.1 前言

所謂FFT快速傅里葉轉換(Fast Fourier Transform)算法於1965年公佈於世。是由COOLEY和TUKEY兩人所發現的一項偉大的事蹟，使得電腦所使用的FFT演算時間縮減成為百分之一。因此採用FFT的波形解析也有了實用性。把這種新裝備裝進小盒子，並包括AD變換器和顯示器。為便利將計算結果製成圖表可與繪圖機連接。只要按下儀表板的按鍵就可立即使用，這就是今天普及的FFT分析器。

發展到今天的FFT，除了FFT算法以外，尚需數位電子回路技術。特別是電子回路LSI化之超小型化、輕量化、還有精確性的提高等等都有很大的貢獻。另外為使FFT分析器容易使其軟體開發進展，適合主要利用目的之功能規劃的設計技術及使價格降低的生產技術等也都是不容忽視的要素。

現今各種FFT分析器問世，給予使用者極大的便利，那是因為FFT分析器有了劃時代的進步，一向被視為不可能的事，如波形解析與其應用的高速化、提高其精密度等，現已一舉而成為可能的事了。

當然在FFT分析器問世以前也曾經把收集的類比資料作AD變換而以一般的計算機來解析，但就勞力與時間而言，這個方法可說落後了十年。FFT分析器出現以前，曾經製作了所謂「相關測計」而被廣範地使用。雖是同樣目的的波形解析裝置，但與FFT分析器在本質上完全迥異。因此現今數位式相關測計的生產完全停止，幾乎沒有人要使用。

如前所說FFT分析器對音響振動的波形解析是很有用的武器，今後其用途擴大的可能性更大。

然而太過於簡便也有其缺點，就是把設計精巧黑盒子化的FFT