

第四章 測試結果

為比較第三章的四個方法(亦即不包括頻域直接解調法)，本論文以人造模擬的閃爍波與實際錄存的閃爍波分別進行測試。本章說明測試波形與測試過程，並對測試結果包括準確度、穩定性以及檢測所需時間作一比較。

4.1 人造閃爍波

為比較第三章的四個方法(頻域直接解調法除外)，本研究假設系統的頻率變動、閃爍波併含雜訊信號，據以評估四個方法測試的準確度與穩定性。相關的人造閃爍波之特性如表 4.1-1。在系統頻率變動方面，模擬三個不同情況之電壓閃爍波形，亦即假設系統頻率為 59.5Hz、60 Hz、60.5 Hz 等三個情況。測試結果示於表 4.1-2 至表 4.1-7。第二部分的人造閃爍波之模擬係加入雜訊信號，假設雜訊呈常態分布，標準差分別為 0.5%、1%、5%。換算 $\Delta V\%$ 值為 2.4495、 $\Delta V_{10}\%$ 值為 1.7687，綜合比較結果示於表 4.1-8~4.1-9。

對於測試方法作以下說明：

- (1) 本章採用的間接解調法為經過修正因數修正後之方法。
- (2) 測試離散小波同步檢測法前，假設系統頻率為已知，據此進行測試。
- (3) ADALINE 檢測法的學習參數 α 設為 0.3， $X(t)$ 之系統頻率設為 60Hz。

本論文所採用的取樣頻率為 3840Hz，共取樣 4 秒，總取樣點數為 15360。實驗主機為 Pentium 4 2.40GHz、1.00GB 的 RAM，實驗平台為 Matlab R13。

表 4.1-1 人造閃爍波特性

	模擬載波之頻率漂移	模擬併含雜訊成分
基波均方根值	單相 110V	單相 110V
基波頻率(f_{sys})	59.5、60、60.5 Hz	60Hz
閃爍成分之頻率(f_n)	5、10、15、20、25、 30Hz	同左
閃爍成分的 ΔV_n	1%	1%
閃爍換算為 ΔV 、 ΔV_{10}	$\Delta V\%$ 為 2.4495 $\Delta V_{10}\%$ 為 1.7687	同左
雜訊特性		呈常態分佈，均值為 0，標準差為 0.5%、 1%、5%
測試結果	表 4.1-2 至表 4.1-7	表 4.1-8 至表 4.1-9

註：表 4.1-2 至表 4.1-9 係以 $\Delta V_n=1\%$ 、 $\Delta V\%=2.4495$ 、 $\Delta V_{10}\%=1.7687$ ，
為參考標準評估計算誤差。

表 4.1-2 系統頻率為 60Hz 之計算結果

	電壓閃爍調變成分(%)						$\Delta V\%$	$\Delta V_{10\%}$
	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz	30 Hz		
間接解調法	1	1	1	1.0001	1.0001	1.0001	2.4496	1.7687
離散小波同步檢測法	0.99972	0.99935	0.99894	0.99846	0.99851	1.0024	2.4636	1.7696
Hilbert 轉換檢測法	1	1	1	1	1	1	2.4495	1.7687
ADALINE 檢測法	1.0019	1.0096	1.0228	1.0405	1.0636	1.0941	2.5457	1.81

表 4.1-3 系統頻率為 60Hz 之計算誤差(參考解記於表 4.1-1)

	電壓閃爍調變成分(%)						$\Delta V\%$	$\Delta V_{10\%}$
	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz	30 Hz		
間接解調法	-0.0002	-0.0008	-0.0030	-0.0060	-0.0100	-0.0100	-0.0050	-0.0006
離散小波同步檢測法	0.0275	0.0654	0.1060	0.1540	0.1490	-0.2410	-0.57447	-0.05172
Hilbert 轉換檢測法	0	0	0	0	0	0	0	0
ADALINE 檢測法	-0.19064	-0.96048	-2.2765	-4.0533	-6.3646	-9.4138	-3.9258	-2.3337

表 4.1-4 系統頻率為 59.5Hz 之計算結果

	電壓閃爍調變成分(%)						$\Delta V\%$	$\Delta V_{10\%}$
	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz	30 Hz		
間接解調法	1	0.99999	0.99999	1	1	0.99999	2.4495	1.7686
離散小波同步檢測法	0.99976	0.99942	0.99906	0.99865	0.99818	0.99749	2.4627	1.7695
Hilbert 轉換檢測法	1	1	1	1	1	1	2.4495	1.7687
ADALINE 檢測法	1.0019	1.0096	1.0228	1.0405	1.0636	1.0941	2.5457	1.81

表 4.1-5 系統頻率為 59.5Hz 之計算誤差(參考解記於表 4.1-1)

	電壓閃爍調變成分(%)						$\Delta V\%$	$\Delta V_{10}\%$
	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz	30 Hz		
間接解調法	0.0002	0.0006	0.0005	0.0001	-0.0004	0.0007	0.0007	0.0030
離散小波同步檢測法	0.0236	0.0579	0.0944	0.1350	0.1820	0.2510	-0.53901	-0.04278
Hilbert 轉換檢測法	0	0	0	0	0	0	0	0
ADALINE 檢測法	-0.60181	-1.4015	-2.7584	-4.5611	-6.9111	-10.037	-4.4299	-2.8044

表 4.1-6 系統頻率為 60.5Hz 之計算結果

	電壓閃爍調變成分(%)						$\Delta V\%$	$\Delta V_{10}\%$
	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz	30 Hz		
間接解調法	1	1	1.0001	1.0001	1.0002	1.0003	2.4498	1.7688
離散小波同步檢測法	0.99969	0.99927	0.99884	0.99837	0.99784	0.99711	2.46	1.7689
Hilbert 轉換檢測法在	1	1	1	1	1	1	2.4495	1.7687
ADALINE 檢測法	0.99786	1.0053	1.018	1.0355	1.0583	1.088	2.5335	1.8018

表 4.1-7 系統頻率為 60.5Hz 之計算誤差(參考解記於表 4.1-1)

	電壓閃爍調變成分(%)						$\Delta V\%$	$\Delta V_{10}\%$
	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz	30 Hz		
間接解調法	-0.0005	-0.0020	-0.0060	-0.0100	-0.0200	-0.0300	-0.0100	-0.0040
離散小波同步檢測法	0.0313	0.0726	0.1160	0.1630	0.2160	0.2890	-0.42987	-0.01334
Hilbert 轉換檢測法在	0	0	0	0	0	0	0	0
ADALINE 檢測法	0.21407	-0.52605	-1.801	-3.5528	-5.8277	-8.8008	-3.4297	-1.8701

觀察表 4.1-2 至表 4.1-7 可得以下結論：

- (1) 對測試波形取樣的時間長度為四秒，頻率解析度遂為 0.25Hz，在使用 Hilbert 轉換檢測法時，只要系統頻率及閃爍成分為 0.25Hz 之整數倍時，便可得最佳的檢測結果。
- (2) 間接解調法在系統頻率變動時仍有較佳的準確度，因此現場儀器多數採用此法。
- (3) 閃爍頻率越低時，ADALINE 檢測法的準確度越高，由於此法僅適用於追蹤具有一個頻率的閃爍波形，但閃爍波會有多個頻率成分，在追蹤包絡波形時，遂出現誤差，因此在計算閃爍時誤差較大。
- (4) 離散小波同步檢測法在系統頻率變動時能保持一定的準確性，誤差皆在 1% 以下。

在穩定性的測試方面，加入常態分佈的雜訊信號，其標準差分別為基頻振幅($\sqrt{2} \cdot 110$)之 0.5%、1%、5%，測試結果示於表 4.1-8 及表 4.1-9，由二表觀察可知：若雜訊為 0.5%，除 ADALINE 檢測法性能較差外，其他三個方法誤差皆在 1% 以下；若雜訊為 1%，可觀察到：相對於間接解調法及 Hilbert 轉換檢測法，離散小波同步檢測法誤差較大；若雜訊為 5%，四個方法的誤差已相當大， $\Delta V\%$ 皆在 40% 以上， $\Delta V_{10}\%$ 皆在 38% 以上，而離散小波同步檢測法的誤差為最大。因此，間接解調法、Hilbert 轉換檢測法就穩定性來說，有較佳的雜訊免疫特性。

表 4.1-8 加入雜訊後之計算結果

	$\Delta V\%$			$\Delta V_{10}\%$		
	0.5%	1%	5%	0.5%	1%	5%
間接解調法	2.4594	2.5002	3.6056	1.7838	1.7947	2.4749
離散小波同步檢測法	2.4425	2.5268	4.3382	1.7572	1.7896	2.5793
Hilbert 轉換檢測法	2.4555	2.4838	3.4356	1.7534	1.7833	2.4485
ADALINE 檢測法	2.5722	2.6435	3.9574	1.8368	1.8429	2.8178

表 4.1-9 加入雜訊後之計算結誤差(參考解記於表 4.1-1)

	$\Delta V\%$			$\Delta V_{10}\%$		
	0.5%	1%	5%	0.5%	1%	5%
間接解調法	0.4042	2.0698	47.1974	0.8537	1.4700	39.9276
離散小波同步檢測法	-0.28577	3.1557	77.106	-0.6502	1.1817	45.8303
Hilbert 轉換檢測法	0.2449	1.4003	40.2572	-0.8650	0.8255	38.4350
ADALINE 檢測法	5.0092	7.9200	61.5595	3.8503	4.1952	59.3148

4.2 現場量測之閃爍波

本節採用 1997 年 11 月 18 日在台中金興鋼鐵廠的記錄波形，如圖 4.2-1 與圖 4.2-3，從波形記錄檔內擷取兩段各 4 秒鐘的波形進行分析。由於未知系統頻率，因此，對於離散小波同步檢測法的同步信號，改由原始記錄波形透過 Hilbert 轉換所求得之 $|A(t)|$ 包絡波形，再將原始波形記錄除以 $|A(t)|$ ，而得到同步信號。測試結果並與國內廣泛採用的電力監測儀 ADX 3000 之檢測結果相比對。

4.2.1 現場量測之波形 1

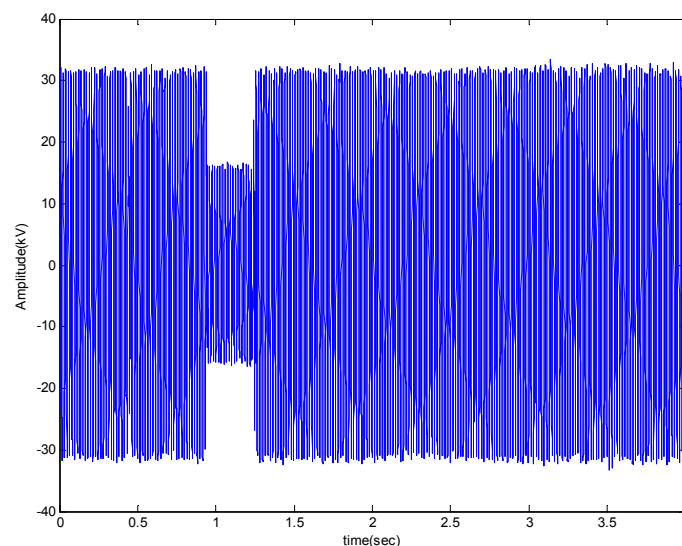
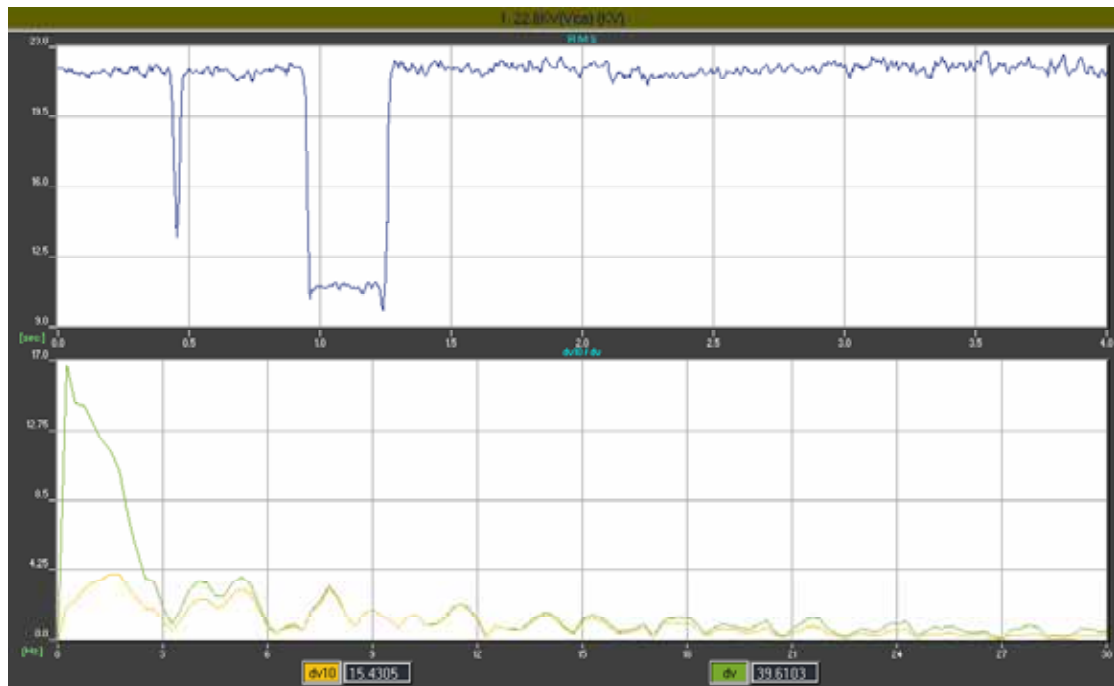


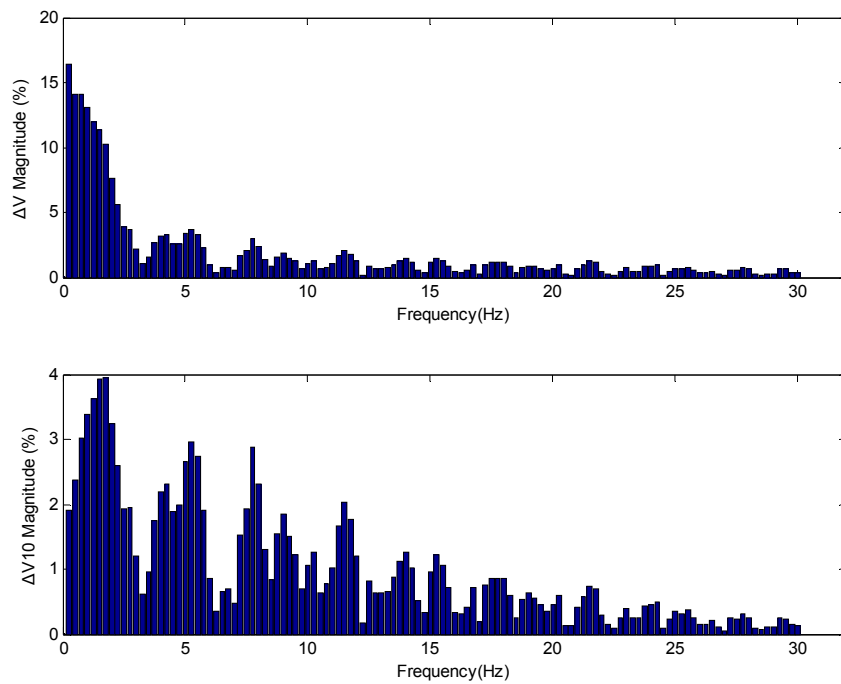
圖 4.2-1 現場量測之波形 1

表 4.2-1 現場量測波形 1 之計算結果

	$\Delta V\%$	$\Delta V_{10}\%$
ADX 3000 之檢測值	39.6130	15.4305
間接解調法	38.9565	14.8572
離散小波同步檢測法	39.1759	14.8108
Hilbert 檢測法	39.1140	14.9868
ADALINE 檢測法	39.2089	15.1559

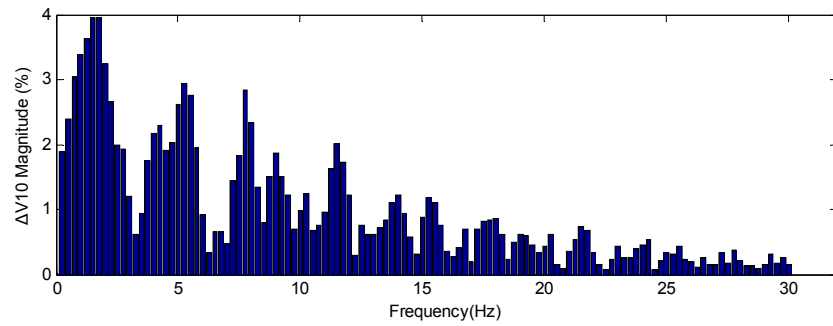
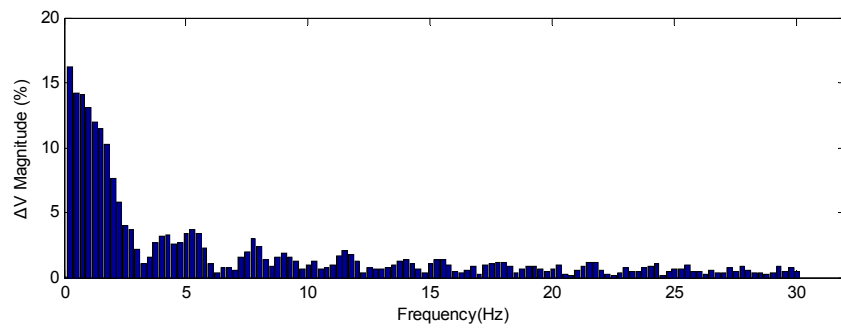


(a)

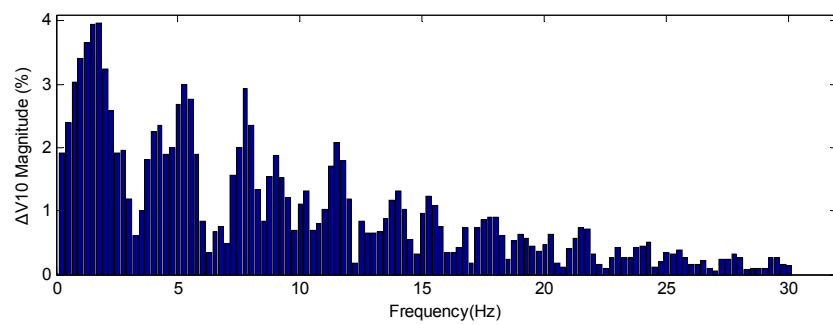
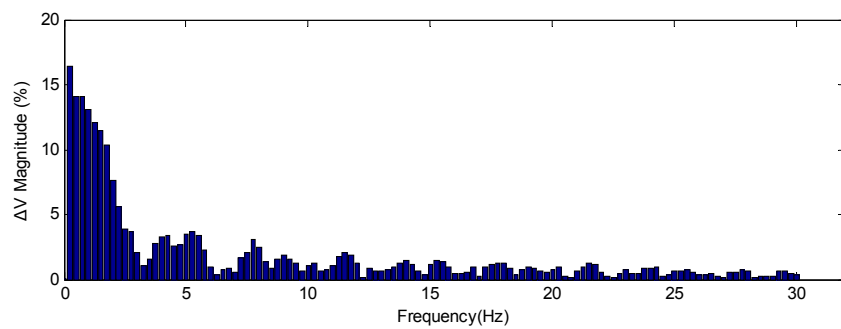


(b)

圖 4.2-2 現場量測之波形 1 的計算結果：(a) ADX 3000 之檢測值，其中，上圖為 $V_{rms}(kV)$ ，下圖為 $\Delta V\%$ 及 $\Delta V_{10}\%$ ；(b) 間接解調法；(c) 離散小波同步檢測法；(d) Hilbert 檢測法；(e) ADALINE 檢測法（待續）

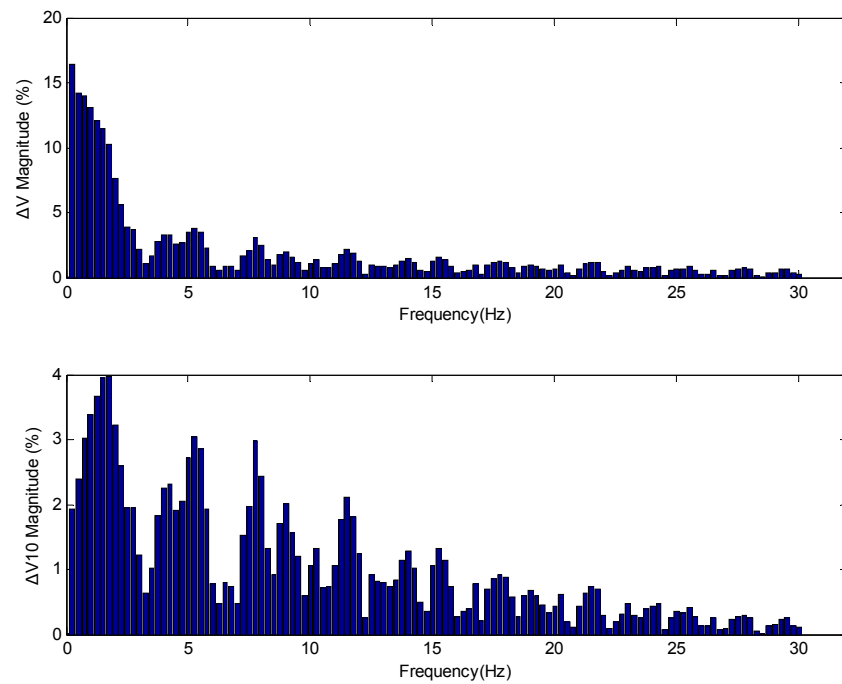


(c)



(d)

圖 4.2-2 現場量測之波形 1 的計算結果：(a) ADX 3000 之檢測值，其中，上圖為 $V_{rms}(kV)$ ，下圖為 $\Delta V\%$ 及 $\Delta V_{10}\%$ ；(b) 間接解調法；(c) 離散小波同步檢測法；(d) Hilbert 檢測法；(e) ADALINE 檢測法（待續）



(e)

圖 4.2-2 現場量測之波形 1 的計算結果：(a) ADX 3000 之檢測值，其中，上圖為 $V_{rms}(kV)$ ，下圖為 $\Delta V\%$ 及 $\Delta V_{10}\%$ ；(b) 間接解調法；(c) 離散小波同步檢測法；(d) Hilbert 檢測法；(e) ADALINE 檢測法（續）

4.2.2 現場量測之波形 2

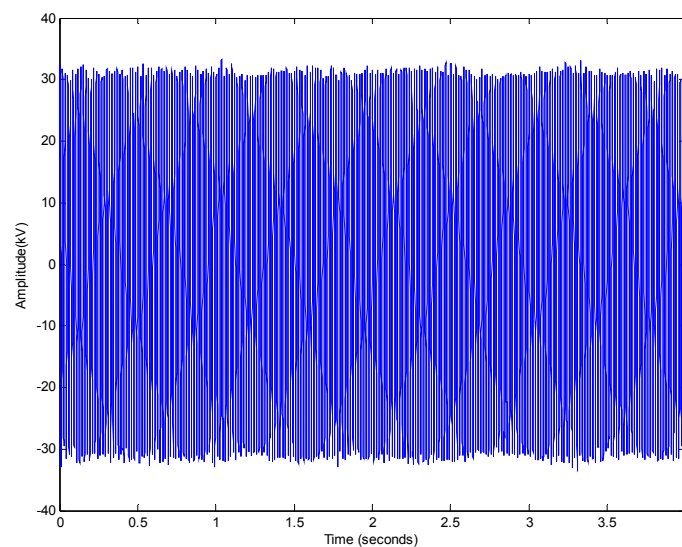
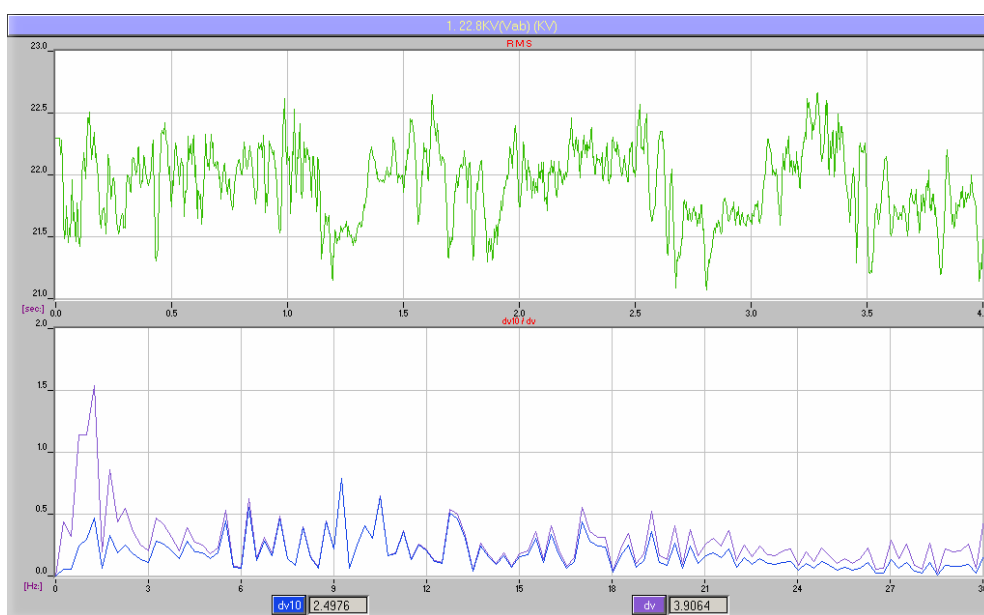


圖 4.2-3 現場量測之波形 2

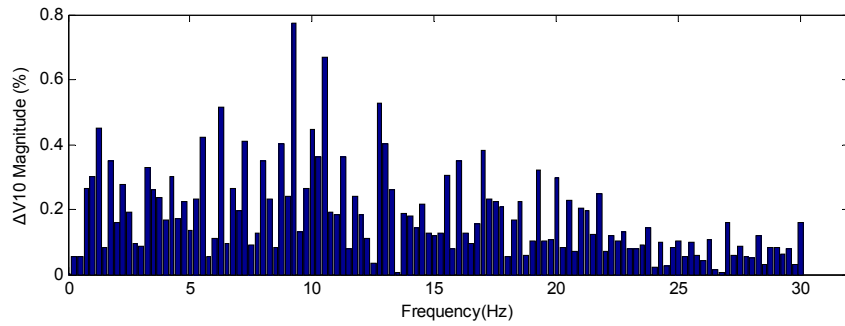
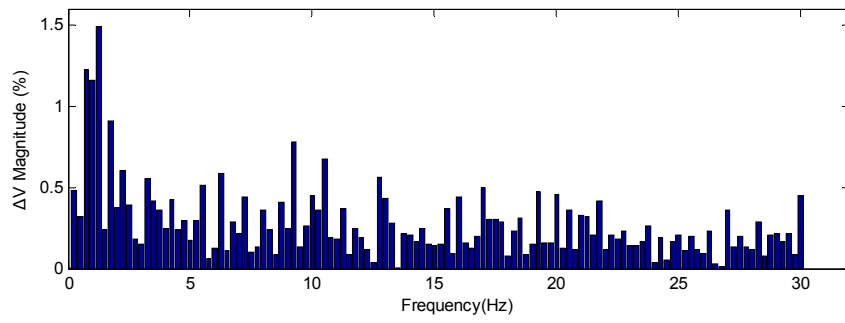
表 4.2-2 現場量測波形 2 之計算結果

	$\Delta V\%$	$\Delta V_{10}\%$
ADX 3000 之檢測值	3.9064	2.4976
間接解調法	3.9361	2.4777
離散小波同步檢測法	4.8295	2.5210
Hilbert 檢測法	3.9598	2.5287
ADALINE 檢測法	3.8526	2.3653

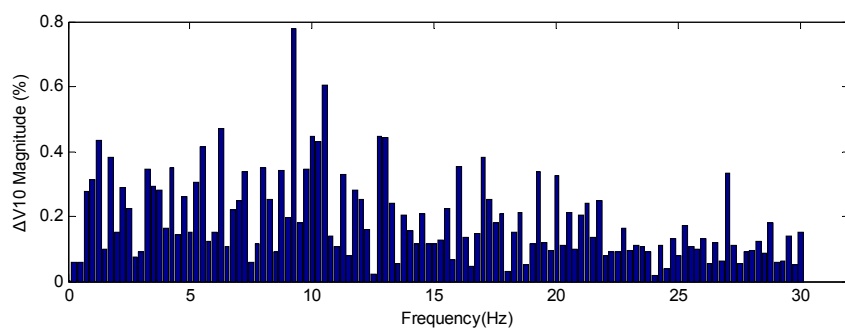
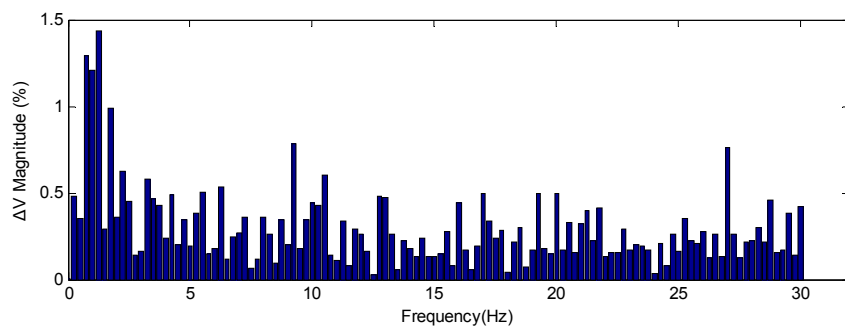


(a)

圖 4.2-4 現場量測之波形 2 的計算結果：(a) ADX 3000 之檢測值，其中，上圖為 $V_{rms}(kV)$ ，下圖為 $\Delta V\%$ 及 $\Delta V_{10}\%$ ；(b) 間接解調法；(c) 離散小波同步檢測法；(d) Hilbert 檢測法；(e) ADALINE 檢測法（待續）

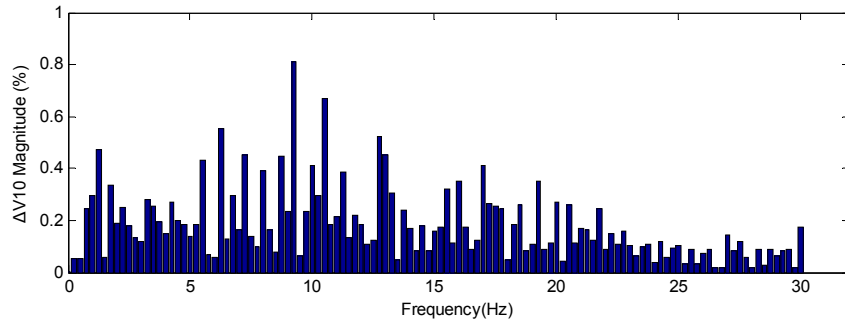
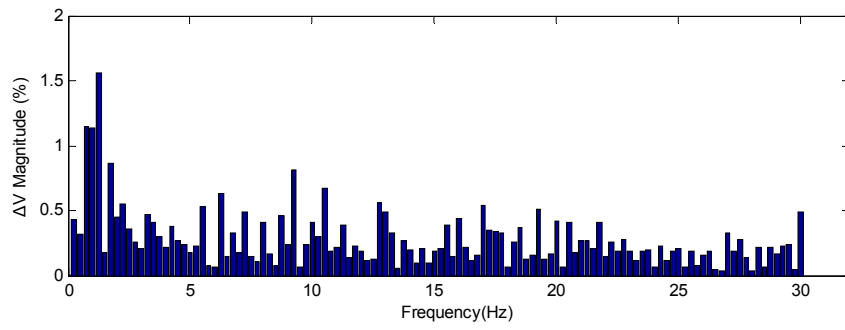


(b)

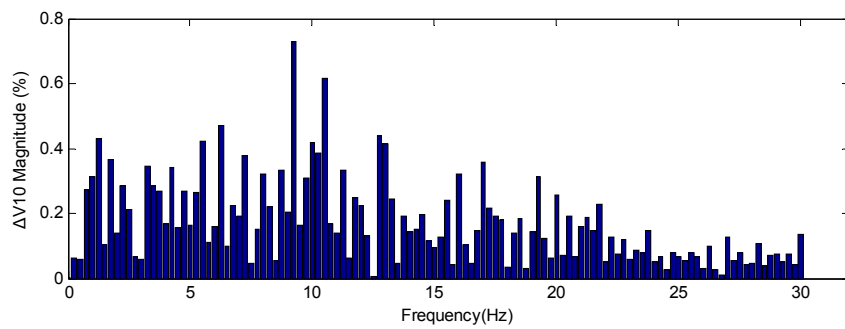
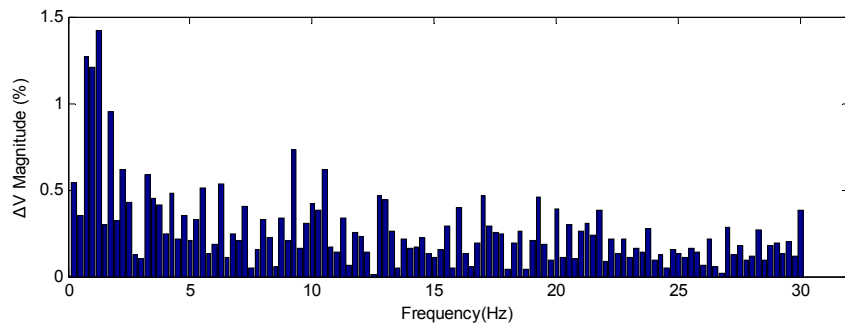


(c)

圖 4.2-4 現場量測之波形 2 的計算結果：(a) ADX 3000 之檢測值，其中，上圖為 $V_{rms}(kV)$ ，下圖為 $\Delta V\%$ 及 $\Delta V_{10}\%$ ；(b)間接解調法；(c)離散小波同步檢測法；(d) Hilbert 檢測法；(e) ADALINE 檢測法（待續）



(d)



(e)

圖 4.2-4 現場量測之波形 2 的計算結果：(a) ADX 3000 之檢測值，其中，上圖為 $V_{rms}(kV)$ ，下圖為 $\Delta V\%$ 及 $\Delta V_{10}\%$ ；(b) 間接解調法；(c) 離散小波同步檢測法；(d) Hilbert 檢測法；(e) ADALINE 檢測法（續）

4.3 計算時間的考量

為評估線上使用之可行性，本論文針對各個方法之檢測時間加以比較。取樣頻率為 3840Hz，總取樣時間為 4 秒，因此總取樣資料點數為 15360 點，本研究採用的主機為 Pentium 4 2.40GHz、1.00GB 的 RAM，實驗平台為 Matlab R13，估計其計算時間，評估方式說明如下：

- (1) 間接解調法：計算 RMS 值之視窗為 32 點，位移至下一個取樣點之點數為 15 點，共取 1024 個視窗，計算時間為 0.1810 秒。
- (2) 離散小波同步檢測法：由於離散小波於合成時，在資料末端會造成振盪，因此須加取樣點數 128 點；亦係考慮在分解時，如果資料量不足會造成合成時，資訊無法還原。如果資料量一次取足 4 秒(共 15488 點)，計算時間為 0.3210 秒；若改為每次取 3968 點，計算 4 次，則計算時間為 0.350 秒；若每次取 2048 點，計算 8 次，計算時間為 0.4610 秒。
- (3) Hilbert 轉換檢測法：若資料量一次取足 4 秒(共 15360 點)，計算時間為 0.05 秒；若每次取 128 點，共須計算 120 次，計算時間為 0.050 秒。
- (4) ADALINE 檢測法：考慮追蹤初期之誤差，時間為 0.05 秒(如圖 3.2-8a)，換算點數為 192 點，如果資料量一次取足 4 秒(共 15552 點)，計算時間為 5.4880 秒；每次取 704 點，共計算 30 次，計算時間為 0.6510 秒；每次取 1216 點，共計算 15 次，計算時間為 0.5610 秒；每次取 4032 點，共計算 4 次，計算時間為 0.5710 秒；因此，使用 ADALINE 檢測法每次取樣點數為 1216 點效果較佳。

綜合上述，Hilbert 轉換檢測法計算速度為最快，間接解調法次之，離散小波同步檢測法再次，而 ADALINE 檢測法最差。因此考慮

線上應用，Hilbert 轉換檢測法與間接解調法可行性較高。

表 4.3-1 計算時間之比較

方法	每次計算量	計算次數	總計算點數	總計算時間
間接解調	32	1024	32768	0.1810
離散小波同步檢測法	15488	1	15488	0.321
	3968	4	15872	0.35
	2048	8	16384	0.4610
Hilbert 轉換檢測法	15360	1	15360	0.050
	128	120	15360	0.050
ADALINE 檢測法	15552	1	15552	5.4880
	704	30	21120	0.6510
	1216	15	18240	0.5610
	4032	4	16128	0.5710

4.4 討論與分析

(1) 現場量測波形 1

由計算結果可知：最大的電壓閃爍振幅約為 16%，頻率為 0.25Hz，即使換算成 $\Delta V_{10}\%$ 仍接近於 2%，於 5、7、8、11、14、15、17、21、23、26Hz 等頻率附近皆有極大的電壓閃爍調變產生，本論文所研究的四個方法與 ADX 3000 所存錄波形之頻譜趨勢相當接近，若以 ADX 3000 之檢測值為參考，則四個方法的 ΔV 誤差皆在 1.5%以下、 ΔV_{10} 在 4%以下。間接解調法於人造波測試時，準確度佳，但於實際波形測試時，準確度比其他三個方法略差，可能係因為修正因數未能正確補償衰減所致；ADALINE 檢測法於人造波測試時，準確度差，但於實際波形測試時，準確度佳，係因閃爍波之低頻成分甚大之故。

(2) 現場量測之波形 2

波形 2 的最大電壓閃爍振幅約為 1.5%，頻率為 1.25Hz，即使換算成 $\Delta V_{10}\%$ 仍接近於 0.45%，於 5、10、12、16、19、22、27、30Hz 等頻率附近皆有極大的電壓閃爍調變產生。綜合而言，若以 ADX 3000

之檢測值為參考，四方法的 ΔV 誤差，除離散小波同步檢測法外，其餘皆在 1.5%以下、 ΔV_{10} 皆在 1.5%以下，頻譜趨勢亦相當接近。離散小波同步檢測法準確度差，可能係因同步信號未能準確檢出所致。透過與商用監測儀相互比較後，說明本論文所測試的方法有一定之可信賴度。

