被動濾波器應用於離岸風力發電廠模型之諧波抑制與效能比較

學生：宋宥嫺、洪承陽　　指導教授：張文恭 教授

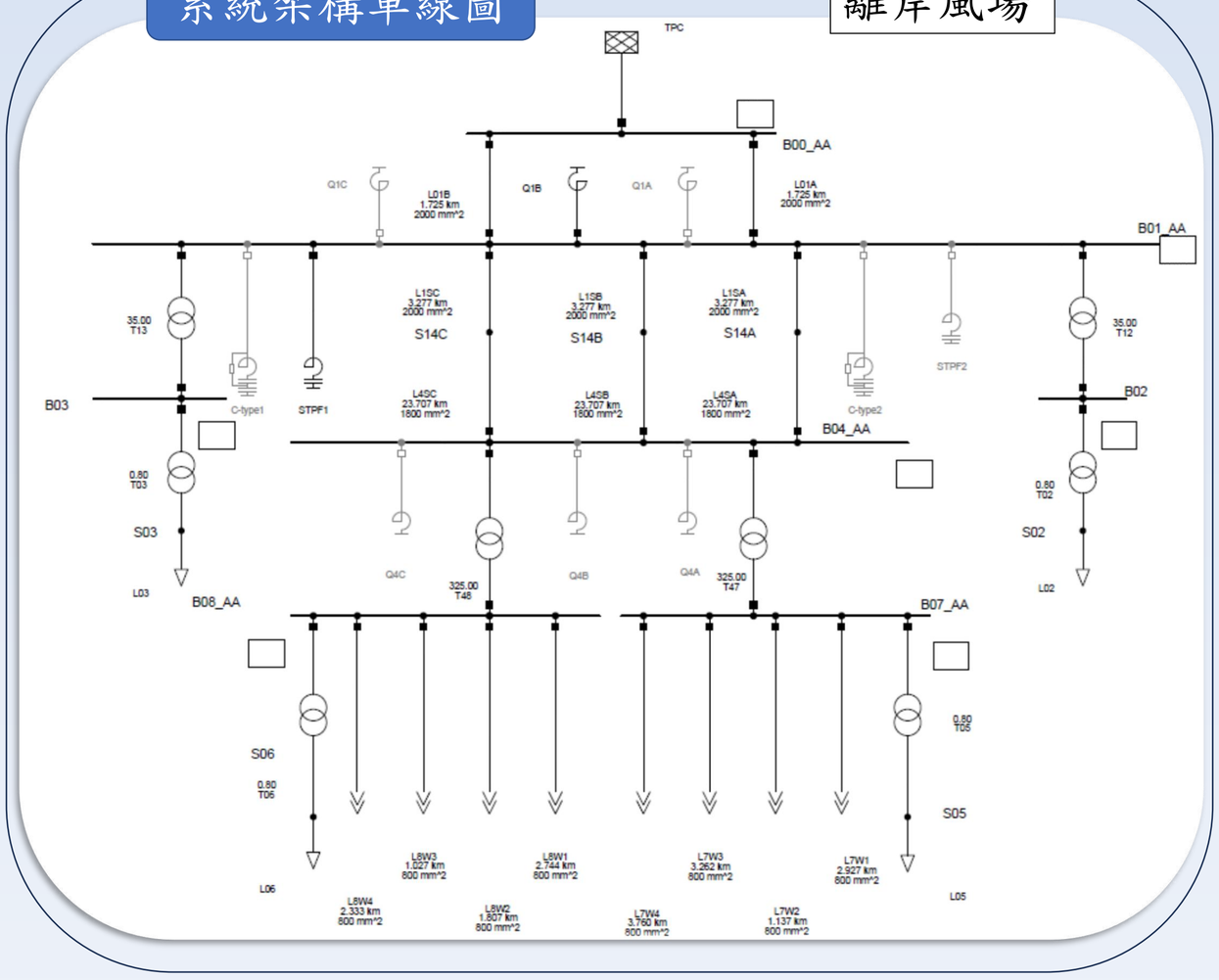
摘要

全球再生能源併網比例持續增加，風力渦輪機裝機容量以每年超過 25% 的速度增長 。然而，風力發電機配備了電力電子變換器，它們可能會向電網產生諧波。國際標準如IEEE 519 對每個階次的諧波含量與總諧波失真率（Total Harmonic Distortion, THD）皆有明確限制。

本專題針對單調諧濾波器與 C 型濾波器兩種結構，模擬以 MATLAB/Simulink 平台進行，分析濾波器安裝前後系統在諧波電流、電壓特性以及阻抗掃描下的差異，探討其在風力發電系統中的應用效能。

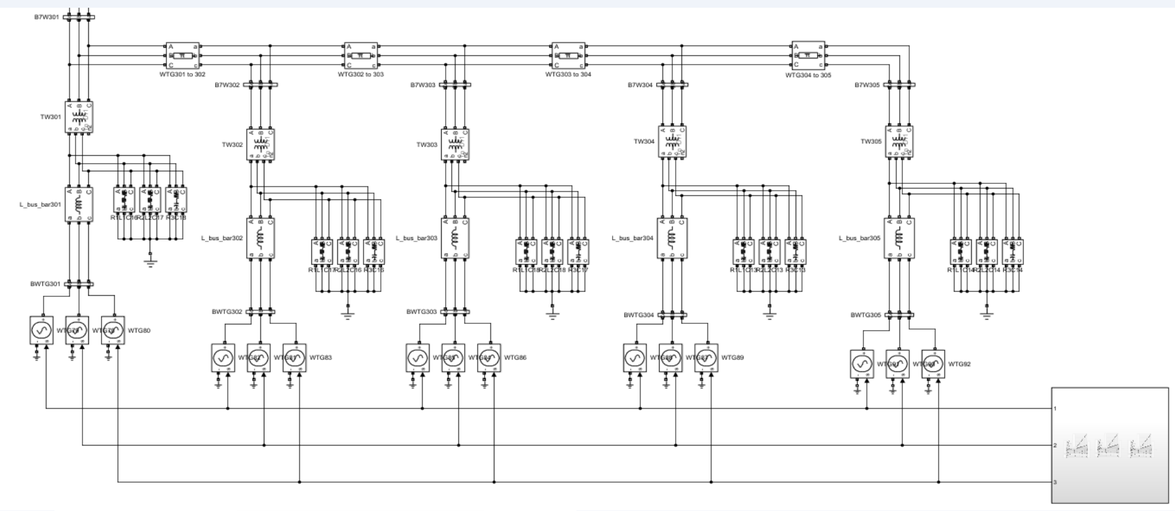
系統架構單線圖

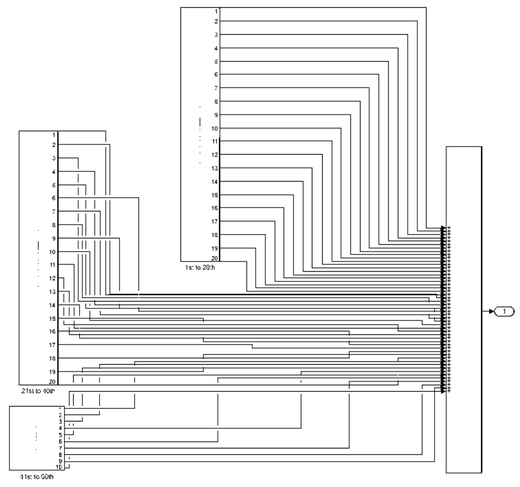
離岸風場



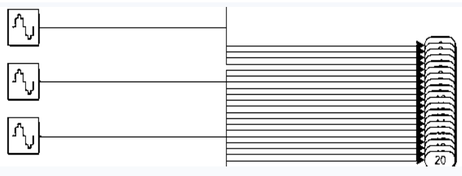
風機陣列建模

下圖為系統其中五台風機陣列，由風機、高頻濾波器及連接電纜組成。風機使用受控電壓源建模，以含有諧波成分的電壓作為輸入信號，包含三相從 2 次至 50 次的電壓諧波。





風機受控電壓源訊號來源



訊號來源(由sin wave組成)

f/fn	U in V³
2	0.48
3	0.69
4	0.29
5	1.54
⋮	

諧波電壓成分

濾波器設計

單調諧濾波器 (STF) RLC參數可以由式（1）~式（5）給出

X_C:容抗　X_L:感抗
V:額定電壓
Q_C:補償電容容量
f_0:基頻頻率
Q:品質因子
圖1為單調諧濾波器的配置

$$X_C = \frac{V^2}{Q_C} \quad (1)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f_0 X_C} \quad (2)$$

$$X_L = 2\pi f L \quad (3)$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f_0} \quad (4)$$

$$R = \frac{X_L}{Q} \quad (5)$$

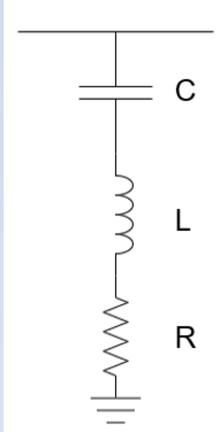


圖.1

C型濾波器 (CTF) 參數可以由式（6）~式（8）給出

h_0:調諧諧波階次
Q_1:無功補償功率
ω_1:調諧頻率
V:額定電壓
q:品質因子
圖 2 為 C 型濾波器的配置

$$C = \frac{(h_0^2 - 1)Q_1}{\omega_1 V^2} \quad (6)$$

$$L = \frac{V^2}{(h_0^2 - 1)\omega_1 Q_1} \quad (7)$$

$$R = \frac{qV^2}{h_0 Q_1} \quad (8)$$

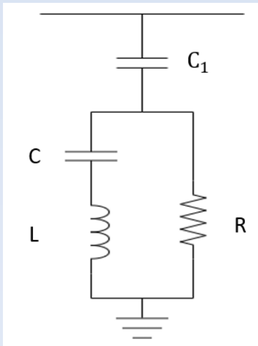


圖.2

模擬結果

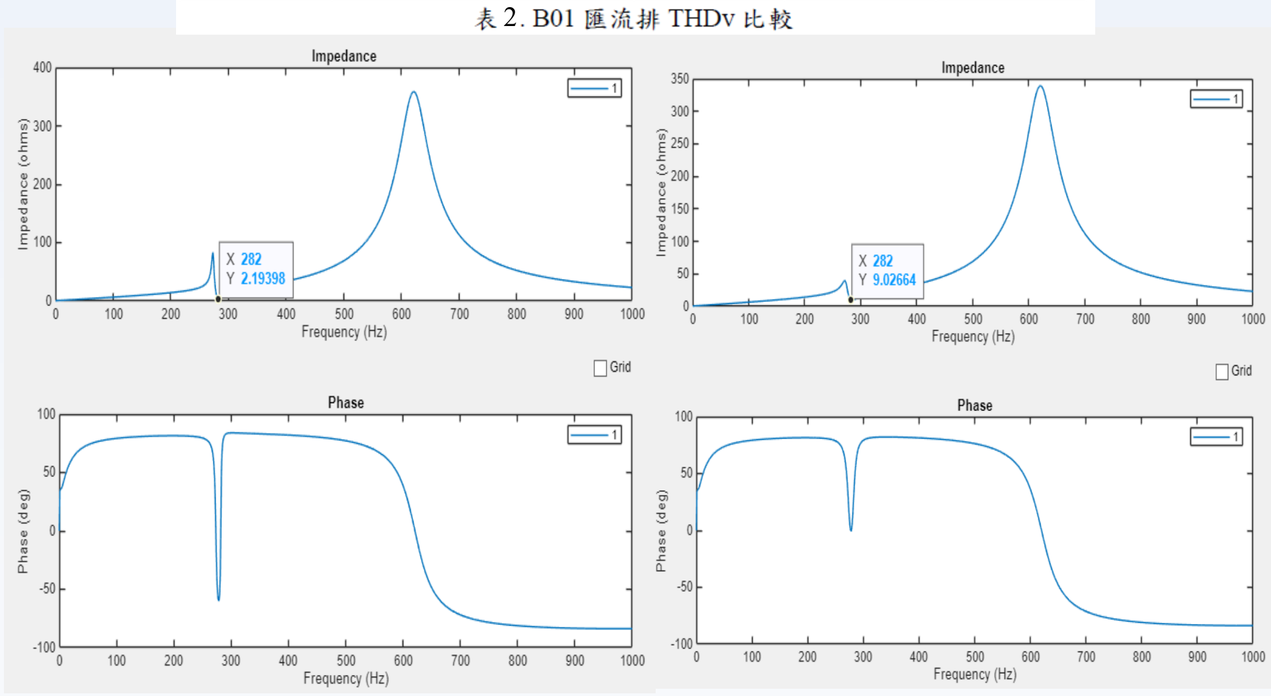
表1、表2分別為B00併網側匯流排、B01併接風廠匯流排在未裝設濾波器與裝設STF、CTF的THDv比較。結果顯示兩者均有效抑制諧波，總THDv下降至1.5%內，小於50次的THDv控制在大約1%，符合IEEE 519的標準，其中C型濾波器的效果更佳。

	總 THDv	5th(%)	7th(%)	11th(%)	13th(%)
原始	2.17	1.549	1.488	0.092	0.052
STF	1.49	0.946	1.026	0.259	0.088
CF	1.48	0.966	1.072	0.266	0.106

表 1. B00 匯流排 THDv 比較

	總 THDv	5th(%)	7th(%)	11th(%)	13th(%)
原始	2.24	1.576	1.557	0.107	0.066
STF	1.49	0.914	1.05	0.289	0.105
CF	1.48	0.936	1.098	0.296	0.127

表 2. B01 匯流排 THDv 比較



加裝 STF 並調在4.7次諧波後，阻抗曲線在282 Hz 附近產生低阻抗點 (左圖)，對應濾波器的調諧頻率。系統對該頻率的諧波電流提供低阻抗通道，可有效吸收相應次諧波。

加裝 CTF 並調在4.7次諧波後，阻抗曲線在282 Hz 同樣產生阻抗下降 (右圖)，但曲線相較 STF 更為平滑，尖峰幅值較低，能在維持調諧效果的同時，降低次諧波與高頻諧波間的共振放大效應。

結論

結果顯示單調諧濾波器和C型濾波器對於諧波的抑制都有不錯的成效。值得注意的是，在靠近諧波源的匯流排上，濾波器對電流失真度的改善有限，甚至出現局部失真增加，顯示實際應用上需同時考慮佈點位置與系統阻抗特性。