

濾波器設計與配置最佳化

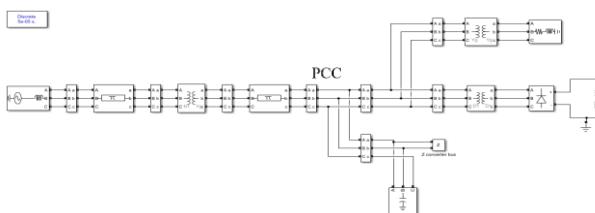
指導老師：張文恭 教授
專題生：潘聖佑、尋博煜、湯健元

Abstract and Introduction

在安裝濾波器時，如何兼顧濾波效益與經濟性，一直是工程實務中重要且廣受關注的課題。因此，本研究將從兩個面向進行探討：其一，針對市面上常用的單諧調濾波器與C-type濾波器，以相同虛功補償量及相同濾波次數為前提，評估兩者在經濟效益上的差異，作為濾波器選型之參考依據；其二，運用靈敏度分析方法，探討濾波器於多匯流排系統中不同安裝位置所產生的影響，進而比較配置前後阻抗大小與總諧波失真（THD）的變化，找出最佳安裝位置。本研究的最終目標，是在濾波效能與經濟成本之間尋求最適平衡。

Proposed Strategy

Case 1 – 5 匯流排系統



該模型的供電端電壓為 140.76kV，經由 138/12.5kV 以及 12.5kV/4160V 變壓器後，分別供應兩個負載，其中一個為六脈波轉換器，為諧波電壓與電流的主要來源。在裝設單調諧濾波器及 C-Type 濾波器前後分別記錄 THD 以比較效能差異。

表 1：不同濾波器配置下之諧波抑制效果比較

	4.7 次阻抗(Ω)	THDv(%)	THD _i (%)
未裝設濾波器	28	19.28	29.49
單調諧濾波器	0.18	4.31	3.49
C-type 濾波器	0.73	4.29	3.55

經模擬，兩種濾波器的效果是相當接近的，因此我們將探討各自的成本與損耗，以選擇更經濟的方案。下表是估算並統整後的成本與損耗結果，成本是濾波器中電感、電容、電阻所需花費，損耗則分為兩部分：其一是安裝濾波器後因濾波器本身所增加的損耗，其二是濾波器改善諧波電流後，電網相較於未裝設濾波器時所節省的損耗。

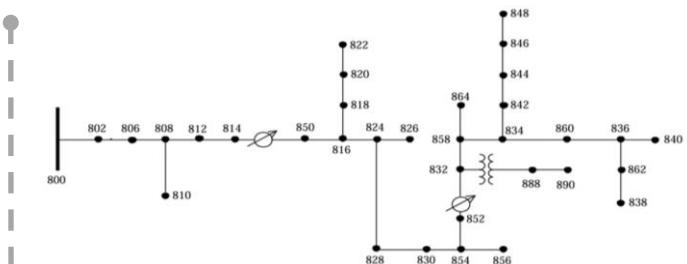
濾波器功率損耗分為電阻造成的功率損耗及電感中內電阻造成的功率損耗，而損耗皆是以電功率公式 $P = I^2 \times R$ 計算且以五年為限。因系統只有五個匯流排且時限較短，因此差距較小，但也足夠為我們提供參考的依據。

表 2：總成本比較表格

	單調諧濾波器	C-type 濾波器
濾波器建置成本(USD)	58910(支出)	58027(支出)
濾波器功率消耗成本(USD)	1621.91(支出)	1056.24(支出)
傳輸線、變壓器功率消耗花費差額(USD)	21122.24(節省)	20625.09(節省)
5 年總支出(USD)	39409.67(支出)	38458.15(支出)

Case 2 – 34 節點測試饋線系統

此模型內容包含節點距離、輸電線編號與材質、對應的阻抗與導納矩陣、負載類型與位置，並配置一台變壓器，並於中下游四個匯流排（832、890、844、840）分別 24.9 kV/4.16 kV 配置六脈波整流器以模擬主要諧波電流源。



濾波器將統一選用 C 型濾波器，並固定濾波器的參數，調諧頻率設定為第 5 次諧波，品質因數 $Q=50$ ，單支補償容量 100kVar，進行靈敏度分析，統計出所有節點阻抗變化量總和最多和最少的位置，該節點即是我們要安裝濾波器的候補地點。

表 3：將各個匯流排裝設濾波器前後的阻抗值相減後加總得出整體變化量(Ω)

impedance/node	v832	v840	v844	v890	v858	v834	v842	v846	v848	v860	v836	v888	總和
installing 6 pulse converter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
installing 6 pulse converter and a CTF at node 832	-181.97	-196.7	-210.92	3.02	-193.75	-207.15	-207.8	-216.72	-217.55	-203.4	-198.35	3.83	-2021.5
installing 6 pulse converter and a CTF at node 840	-173.64	-216.05	-222.32	3.41	-193.91	-218.07	-218.8	-229.03	-229.99	-217.67	-216.98	4.3	-1934.8
installing 6 pulse converter and a CTF at node 844	-178.42	-213.04	-229.39	3.36	-198.7	-222.65	-223.81	-237.39	-238.53	-219.27	-214.6	4.24	-2168.2
installing 6 pulse converter and a CTF at node 848	22.54	29.28	29.97	-29.19	25.34	28.92	29.1	32.06	32.36	29.04	29.22	-10.44	248.2
installing 6 pulse converter and a CTF at node 890	-181.43	-205.04	-219.21	3.16	-200.03	-215.02	-215.74	-225.82	-226.77	-211.47	-206.63	4	-2100
installing 6 pulse converter and a CTF at node 858	-179.25	-213.56	-227.42	3.31	-199.22	-222.68	-223.5	-235.1	-236.19	-219.48	-215.04	4.19	-2163.9
installing 6 pulse converter and a CTF at node 842	-179.11	-213.48	-227.77	3.32	-199.14	-222.69	-223.83	-235.5	-236.6	-219.46	-214.98	4.2	-2165
installing 6 pulse converter and a CTF at node 846	-176.07	-211.14	-228.7	3.44	-196.85	-221.67	-222.88	-241.56	-242.81	-217.93	-212.82	4.15	-2164.8
installing 6 pulse converter and a CTF at node 834	-175.7	-210.82	-228.55	3.45	-196.55	-221.48	-222.7	-241.5	-243.37	-217.68	-212.52	4.36	-2163.1
installing 6 pulse converter and a CTF at node 860	-177.28	-214.87	-225.71	3.35	-197.39	-221.15	-221.94	-233.02	-234.06	-220.43	-216.27	4.23	-2154.5
installing 6 pulse converter and a CTF at node 888	-174.55	-216.32	-223.19	3.39	-194.79	-218.86	-224.61	-230.04	-232.02	-218.49	-217.6	4.28	-2142.8
installing 6 pulse converter and a CTF at node 884	44.06	56.85	58.27	-15.76	49.42	56.25	56.59	62.24	62.82	56.45	56.75	-18.78	466.89

表 4：各節點 THDv(%)統計

THD	v832	v840	v844	v890	v858	v834	v842	v846	v848	v860	v836	sum
installing 6 pulse converter and a CTF at node 890	2.16	2.27	2.28	7.6	2.2	2.26	2.26	2.31	2.32	2.26	2.27	30.19
installing 6 pulse converter and a CTF at node 832	1.09	1.07	1	7.6	1.03	1	1	0.94	0.96	1.03	1.06	17.78
installing 6 pulse converter and a CTF at node 840	1.1	0.97	0.94	7.6	1.02	0.94	0.94	0.87	0.88	0.95	0.97	17.18
installing 6 pulse converter and a CTF at node 848	1.09	1	0.91	7.6	1	0.92	0.92	0.83	0.85	0.95	0.99	17.06
installing 6 pulse converter and a CTF at node 858	1.09	1.04	0.96	7.6	1.01	0.96	0.96	0.9	0.91	0.99	1.03	17.45
installing 6 pulse converter and a CTF at node 880	1.09	1	0.92	7.6	1	0.92	0.92	0.84	0.86	0.95	0.99	17.09
installing 6 pulse converter and a CTF at node 842	1.09	1	0.92	7.6	1	0.92	0.92	0.84	0.86	0.95	0.99	17.09
installing 6 pulse converter and a CTF at node 890	1.1	1.01	0.92	7.6	1.02	0.94	0.93	0.82	0.84	0.97	1.01	17.16
installing 6 pulse converter and a CTF at node 888	1.1	1.02	0.93	7.6	1.02	0.94	0.93	0.83	0.84	0.97	1.01	17.19
installing 6 pulse converter and a CTF at node 860	1.09	0.99	0.93	7.6	1.01	0.93	0.93	0.85	0.87	0.94	0.98	17.12
installing 6 pulse converter and a CTF at node 890	1.1	0.98	0.93	7.6	1.01	0.94	0.93	0.86	0.88	0.95	0.97	17.15

Result and Conclusion

Case 1：單諧調濾波器與 C-type 濾波器皆能有效降低五次諧波失真，但 C-type 濾波器在長期運行下具更佳的成本效益。

Case 2：透過靈敏度分析，找出濾波器最適合安裝節點為 844 與 890，可顯著降低 THD 並避免系統共振。

綜合兩個案例的結果，本研究驗證了以成本效益為導向的濾波器設計與靈敏度分析流程，能有效兼顧濾波性能與經濟性。C-type 濾波器在長期運行下具較佳的成本效益，而透過靈敏度分析所得的最佳安裝節點可顯著降低系統諧波失真並提升整體穩定度。此研究方法可作為後續多匯流排系統或更大規模電力網路進行濾波器配置與設計的參考，亦為電能品質改善提供實務上的應用依據。

