

故障電流抑制器應用於減緩科學園區電壓驟降影響 之探討

曾旭廷

105年11月17日

大綱

1

介紹

2

故障電流及電壓驟降抑制原理

3

電力電子FCL之種類及操作原理

4

電壓驟降抑制之模擬與討論

5

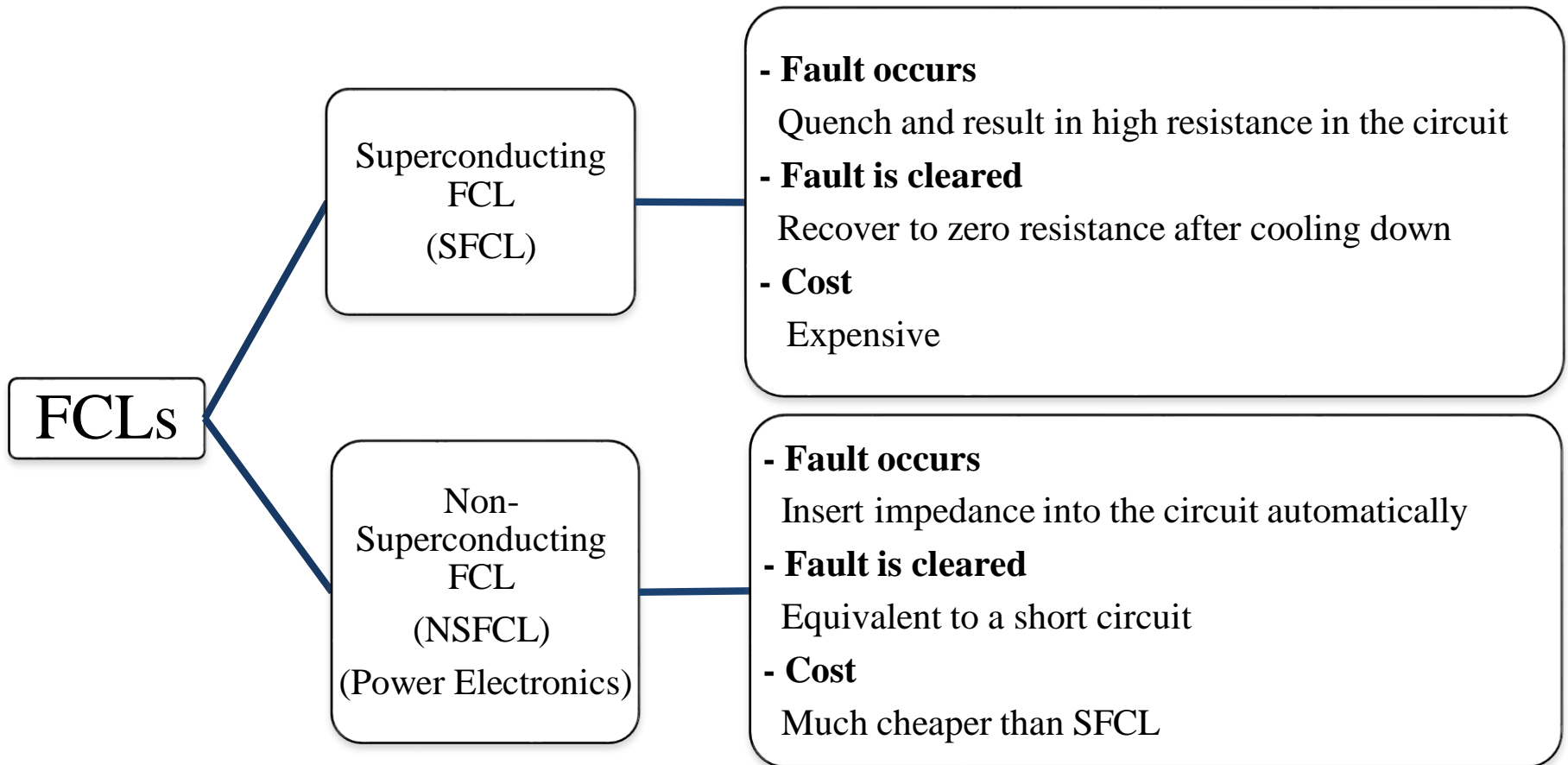
結論

1. 介紹

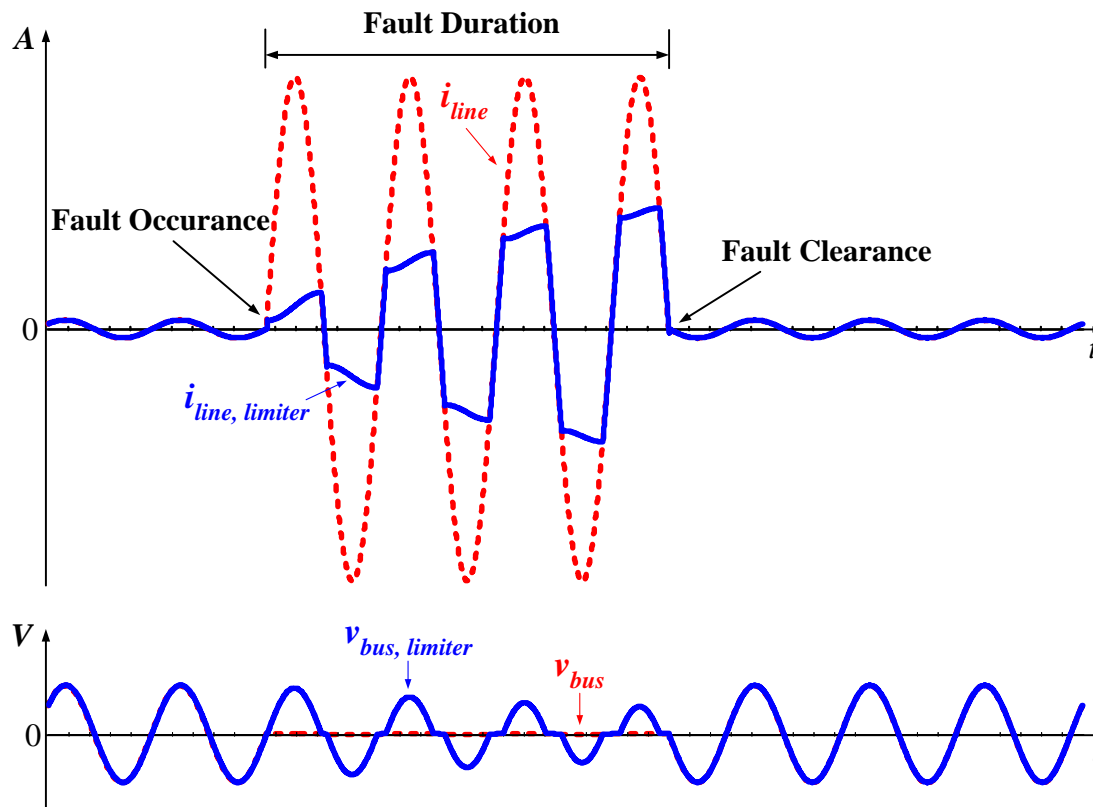
- 三科學園區產值占台灣GDP約13%
- 電壓驟降將導致園區廠商嚴重損失
- IEEE Std. 1159-2009定義：電壓驟降係指電壓的有效值降至標稱值的10%至90%之間，且持續時間為0.5週波至1分鐘
- 故障電流抑制器FCL為一新興之解決方案，可有效抑制電壓驟降衝擊

1. 介紹

- 故障電流抑制器種類介紹



- 故障發生
 - 故障電流快速增加，匯流排電壓幾乎降為零
- 使用FCL
 - 故障電流有效被抑制，匯流排電壓尚有殘餘電壓

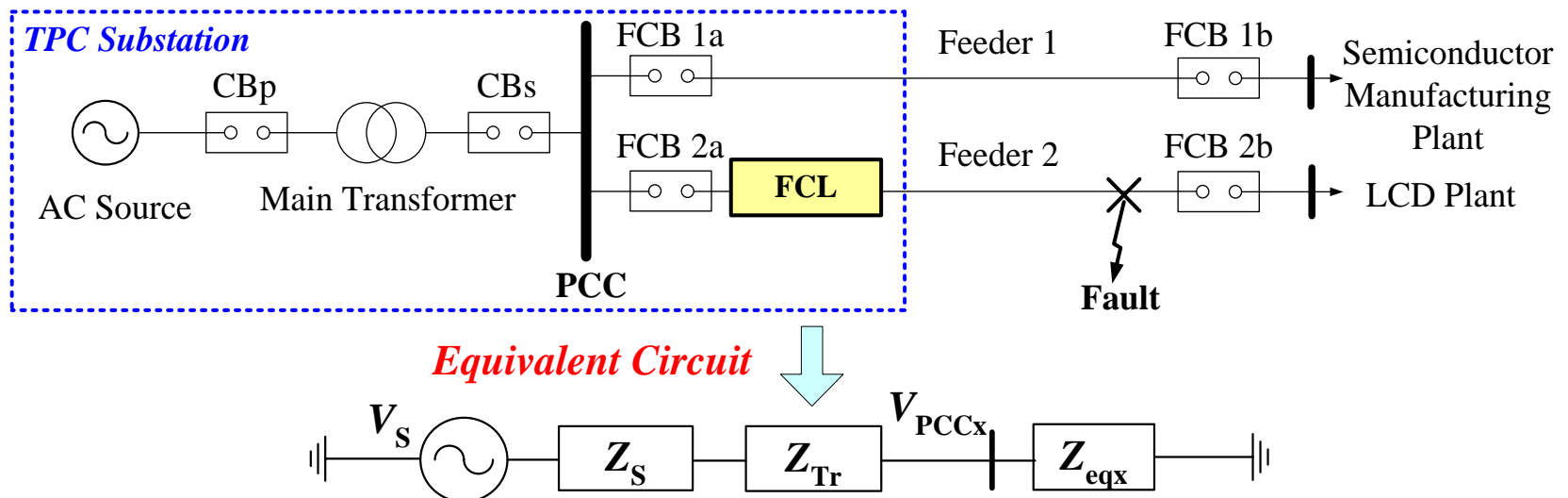


2.故障電流及電壓驟降抑制原理

- 假設將FCL設置於台電變電所匯流排出口端，共同耦合點(Point of Common Coupling, PCC)的電壓為

$$|V_{PCCx}| = \left| \frac{Z_{eqx}}{Z_{eqx} + (Z_{Tr} + Z_S)} |V_S| \right|$$

其中 Z_{eqx} 為各饋線與負載的並聯等效阻抗、 Z_{Tr} 為主變壓器之阻抗、 Z_S 為電源阻抗及 V_S 為電源電壓。



2.故障電流及電壓驟降抑制原理

- 當短路故障未發生前，正常操作時各饋線及負載的並聯等效阻抗為

$$Z_{\text{eq,Normal}} = \frac{(Z_{\text{Feeder1}} + Z_{\text{Load1}}) \times (Z_{\text{Feeder2}} + Z_{\text{Load2}})}{(Z_{\text{Feeder1}} + Z_{\text{Feeder2}} + Z_{\text{Load1}} + Z_{\text{Load2}})}$$

其中 Z_{Feeder1} 與 Z_{Feeder2} 分別為饋線1與饋線2的線路阻抗，而 Z_{Load1} 與 Z_{Load2} 則分別為半導體製造廠與液晶顯示器製造廠的負載阻抗

- 因 $(Z_S + Z_{\text{Tr}}) \ll Z_{\text{eq,Normal}}$ ，故共同耦合點的電壓幾乎與電源電壓相等

2.故障電流及電壓驟降抑制原理

- 假設於饋線2發生三相短路故障，若尚未於該饋線裝設FCL，則此時各饋線及負載的並聯等效阻抗為

$$Z_{\text{eq,Fault-without FCL}} = \frac{(Z_{\text{Feeder1}} + Z_{\text{Load1}}) \times (Z_{\text{Feeder2}} + Z_{\text{F}})}{(Z_{\text{Feeder1}} + Z_{\text{Feeder2}} + Z_{\text{Load1}} + Z_{\text{F}})}$$

其中 Z_{F} 為故障點阻抗

- 短路故障時 $Z_{\text{F}} \approx 0$ ，故 $Z_{\text{eq,Fault}} \ll Z_{\text{eq,Normal}}$ ， $|V_{\text{PCC}}|$ 將會快速降低且小於正常值，因而造成電壓驟降，導致由饋線1供電之半導體廠的靈敏性製程設備跳機

2.故障電流及電壓驟降抑制原理

- 若於饋線2中加入FCL

$$Z_{\text{eq,Fault-with FCL}} = \frac{(Z_{\text{Feeder1}} + Z_{\text{Load1}}) \times (Z_{\text{Feeder2}} + Z_{\text{FCL}} + Z_{\text{F}})}{(Z_{\text{Feeder1}} + Z_{\text{Feeder2}} + Z_{\text{Load1}} + Z_{\text{F}} + Z_{\text{FCL}})}$$

其中 Z_{FCL} 為FCL之阻抗

$$Z_{\text{eq,Fault-with FCL}} > Z_{\text{eq,Fault-without FCL}} \Rightarrow V_{\text{PCC,with FCL}} > V_{\text{PCC,without FCL}}$$

- 在饋線斷路器FCB 2a跳脫前，設置FCL後的 $|V_{\text{PCC}}|$ 電壓振幅將會大於未設置前的 $|V_{\text{PCC}}|$ ，並使其高於SEMI F47-0706規範之電壓驟降耐受度準位，以降低饋線1半導體廠跳機率

3.電力電子FCL之種類及操作原理

- FCL之動作原理說明
 - 正常操作時，FCL在電路中幾乎呈現零阻抗，其等效電路可視為短路
 - 短路事故發生時，FCL可立即偵測到故障電流，並迅速於電路中自動提供符合期望故障電流抑制率 (Prospective Fault Current Reduction, PFCR)的阻抗值，藉以限制故障清除前的故障電流振幅
 - 當故障清除後，FCL能快速回復至正常操作零阻抗狀態，以因應後續短路事故的發生
- 期望故障電流抑制率定義

$$\text{PFCR} = \frac{I_f - I_{\text{exp}}}{I_f}$$

其中 I_f 及 I_{exp} 分別為預期最大故障電流值及期望抑制故障電流值

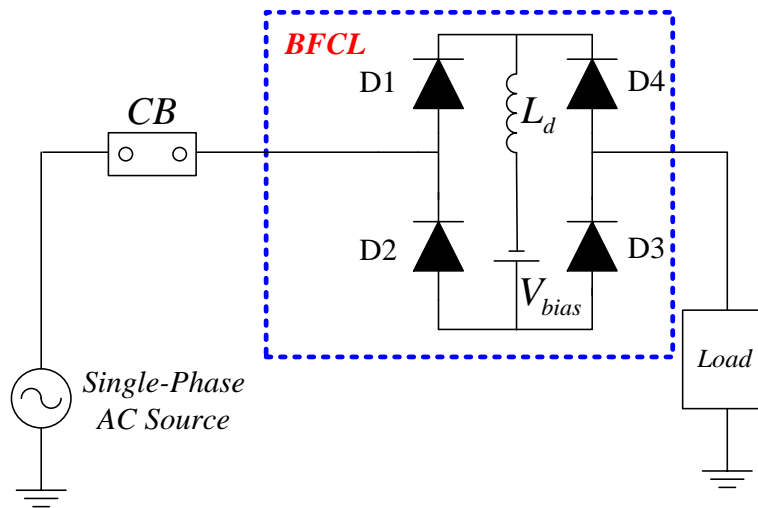
3.電力電子FCL之種類及操作原理

- 電力電子FCL種類

- 橋式型 (Bridge Type FCL):分為單相型及三相一體型

- 1) 單相型

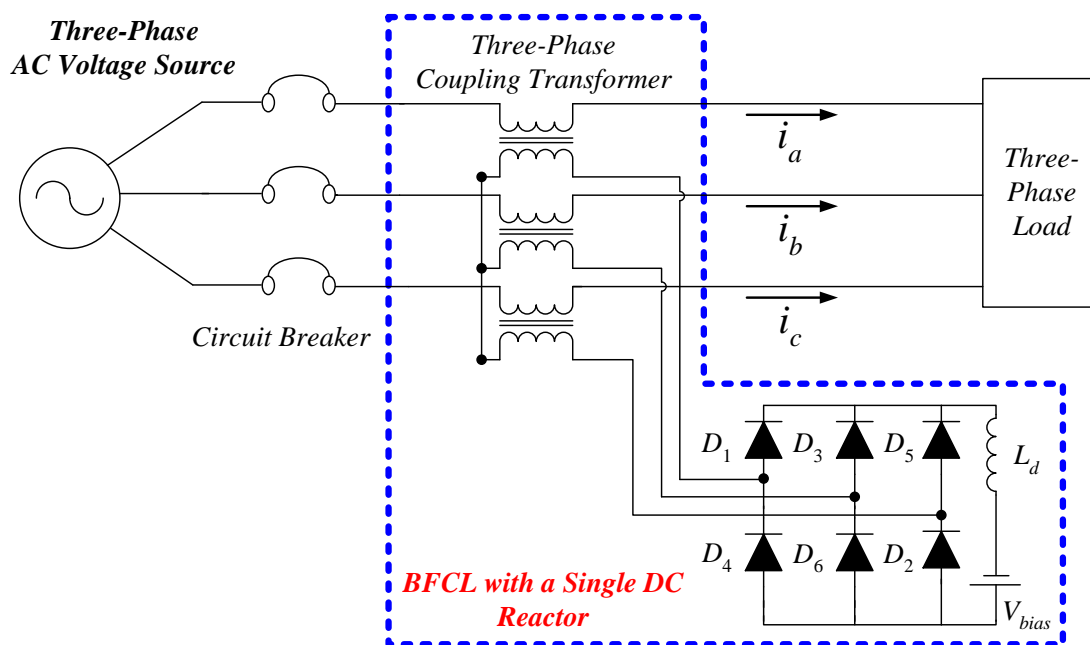
- 故障發生時，D1及D3或D2及D4將相互導通，短路電流流經電抗器，利用電感 L_d 限流作用來抑制故障電流之振幅
- 配合調整保護電驛設定，可降低斷路器之遮斷容量，得電力系統負載擴充時，不須再更換較大遮斷容量之斷路器，有助於降低系統擴建的設備投資成本



3.電力電子FCL之種類及操作原理

2) 三相一體型

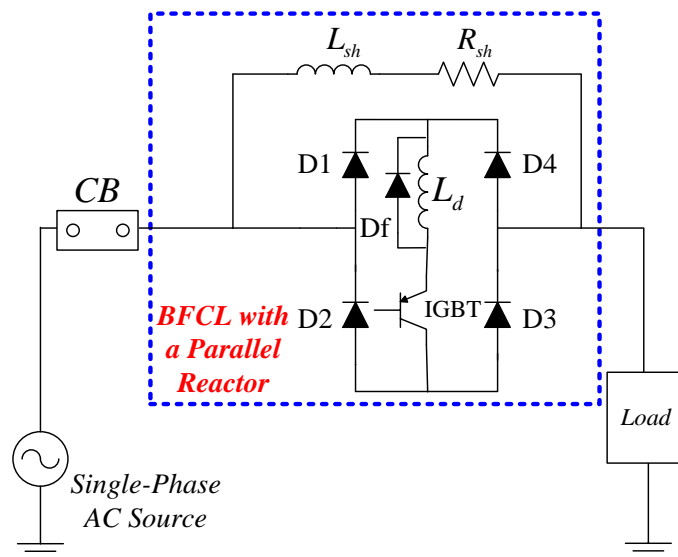
- 利用一個三相耦合變壓器及一組三相橋式整流器、一組電抗器及一組直流偏壓電源
- 由於三相耦合變壓器的使用，功率損失低於單相型，另三相一體型的二極體、電抗器及偏壓電源的數量亦少於單相型
- 為降低負載電壓及電流波形之總諧波失真率(THD)，故設置一直流偏壓電源，調整流經電抗器 L_d 的直流電流準位，使其大於或等於線電流之峰值



3.電力電子FCL之種類及操作原理

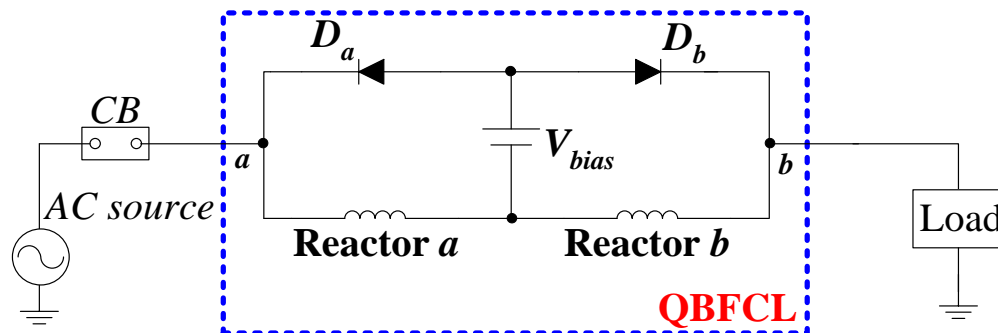
- 橋式並聯電抗型 (Bridge Type FCL with a Parallel Reactor)

- 橋式整流器直流輸出端的兩端由一個電抗器串聯一半導體功率開關(IGBT)所組成，電抗器 L_d 亦並聯一飛輪二極體Df，而橋式整流器則並聯一電感器 L_{sh}
- 正常操作時，IGBT開關導通，橋式整流器輸入端有非常小的電壓降，故可視為短路，此時線路電流流經橋式整流器及電抗器 L_d ，並聯之電抗器 L_{sh} 被旁路
- 短路故障發生時，IGBT截止，電抗器 L_d 利用亦飛輪二極體Df進行釋能，故障電流改流經併聯電抗器 L_{sh} 分支，短路電流獲得抑制



3.電力電子FCL之種類及操作原理

- 類橋式型 (Quasi-Bridge-Type FCL, QBFCL)
 - 比單相橋式型少用2個二極體，但增加1個電抗器
 - 當短路故障發生時， D_a 及 D_b 將交互導通，此時故障電流會流經電抗器a與b，而被其限制振幅
 - 直流偏壓電源為補償穩態時電感及二極體的電壓降，使負載電壓及電流波形無失真
 - QBFCL之功率損失較BFCL來得高，且初設費用亦較高，然優點是二極體會老化現象，QBFCL的二極體數量為BFCL的一半，故可靠度較高

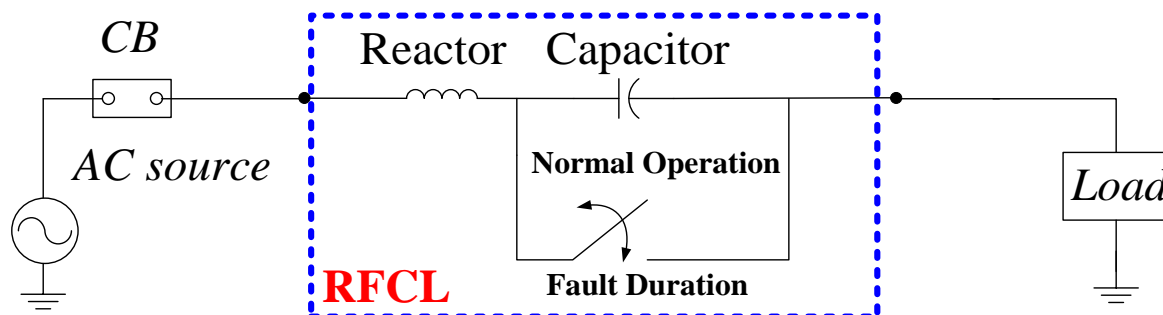


3.電力電子FCL之種類及操作原理

諧振型 (Resonant Type FCL, RFCL)

1) 基本串聯諧振型

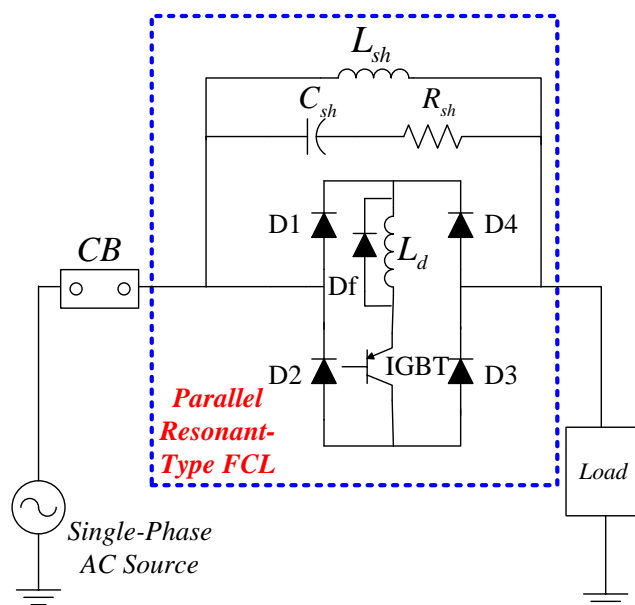
- 正常狀態時，調整電感及電容值使其處於諧振頻率 ω_0 ，此時抑制器之等效電路可視為短路
- 故障發生時，導通閘流體開關將電容器短路，此時僅電抗器存在於電路中，故藉由其阻抗抑制故障電流



3.電力電子FCL之種類及操作原理

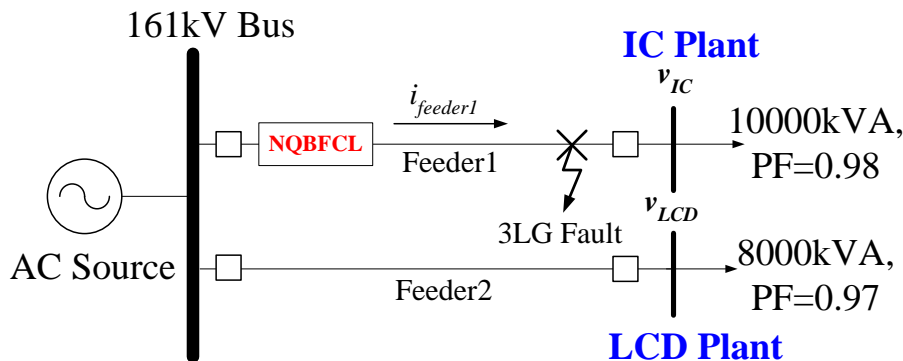
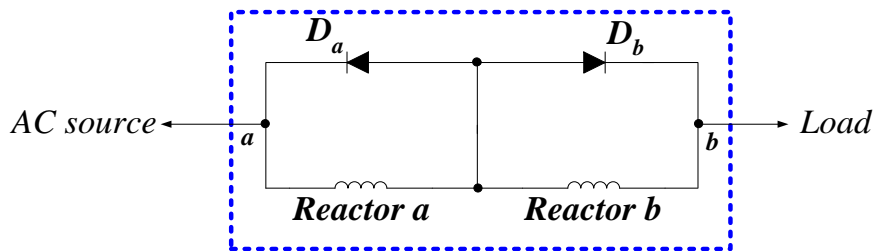
2) 並聯諧振型

- 正常時，IGBT導通，因並聯諧振分支處於諧振頻率 ω_0 ，此時並聯諧振分支處於開路狀態，線路電流會流經單相橋式整流器及直流電抗器，因二極體串導通壓降及電抗器之電壓降非常小，故單相橋式整流器幾乎可視為短路
- 故障發生時，將IGBT截止，故障電流流經並聯諧振分支，因諧振槽呈現高阻抗，故可抑制故障電流
- 而單相橋式整流器中之直流電抗器因有飛輪二極體，故無 di/dt 的現象產生



4. 電壓驟降抑制之模擬與討論

- 本文提出一新型類橋式FCL作為研究案例，其電路架構係以QBFCL為基礎，將直流偏壓電源予以移除
- 以IsSpice軟體模擬，並以簡單之161kV放射型供電饋線結構供應半導體及液晶顯示器兩家廠商，探討短路故障事故時廠商之影響

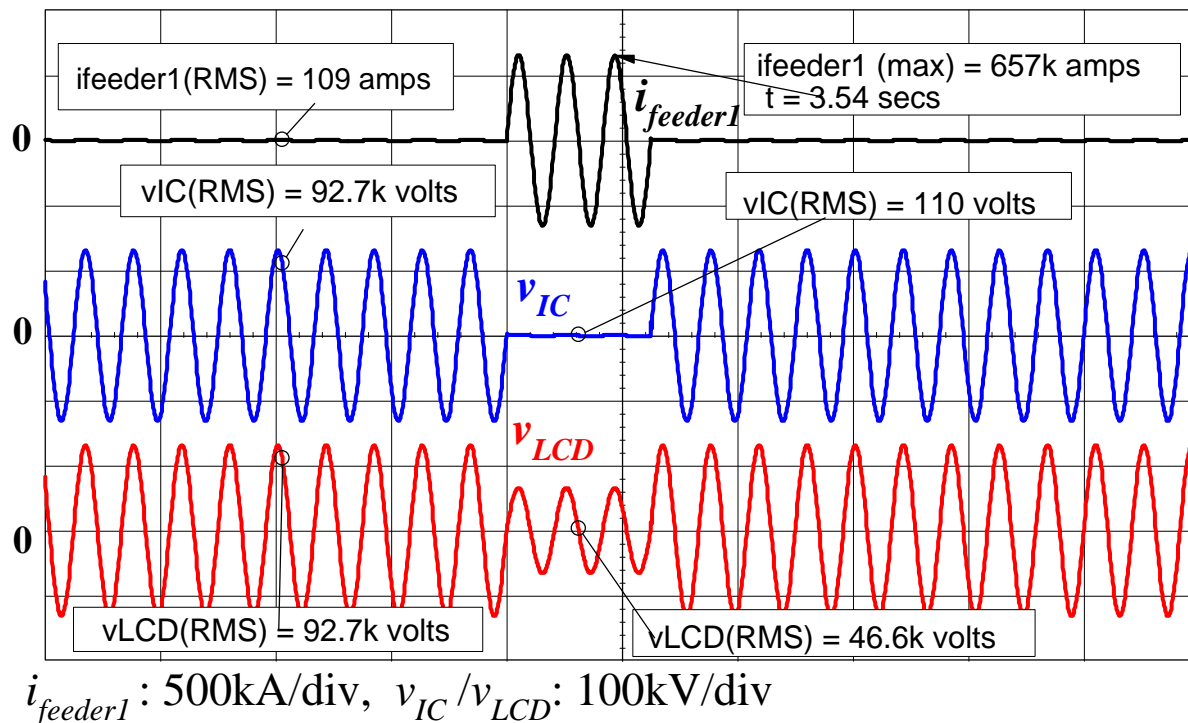


表一模擬參數表

參數	數值
V_m	$161\sqrt{2}kV / \sqrt{3}$
V_D	15V
$L_a=L_b$	50mH
$R_a=R_b$	0.1 Ω
$R_s=R_{Line}$	0.1 Ω
$L_s=L_{Line}$	5 μ H

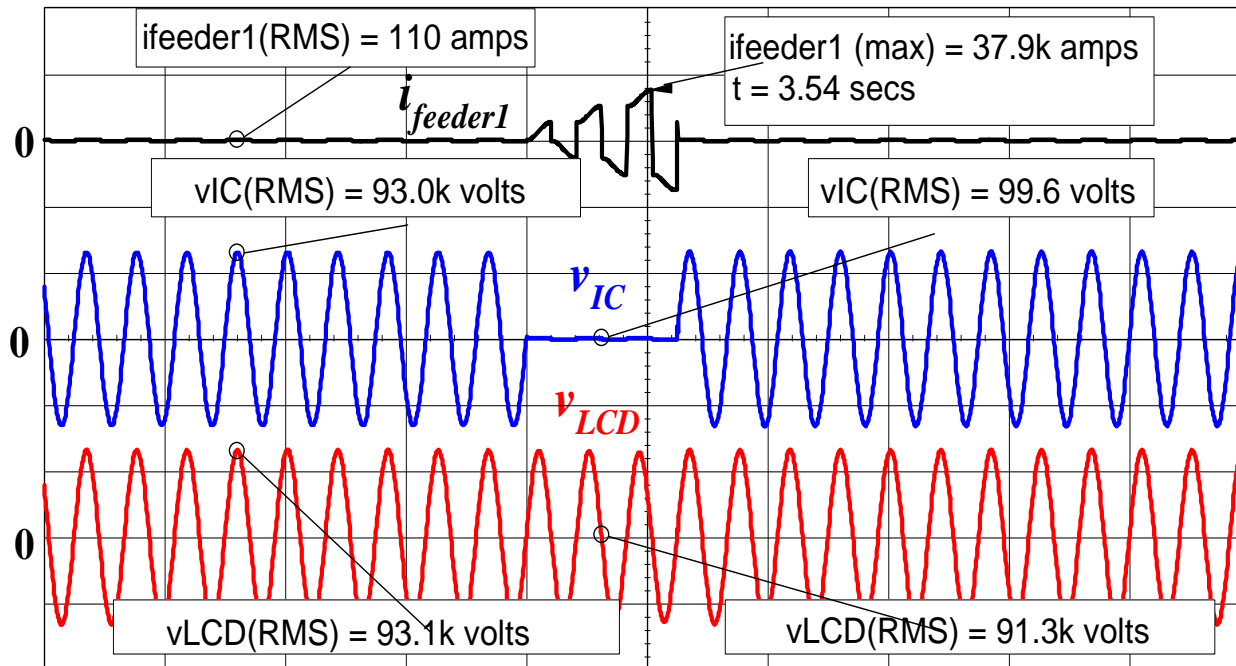
4. 電壓驟降抑制之模擬與討論

- 假設饋線1(feeder1)發生三相短路接地故障，且故障於3週波後即予清除，利用IsSpice模擬單相電路
- $i_{feeder1}$ 故障電流峰值約為657kA，IC廠之PCC電壓 v_{IC} 降至約110V，另LCD廠之PCC電壓 v_{LCD} 降至約46.6kV，電壓驟降率約為50%



4. 電壓驟降抑制之模擬與討論

- 裝設NQBFCL後， $i_{feeder1}$ 故障電流峰值降至約38kA，PFCR=94.2%
- IC廠之PCC電壓 v_{IC} 驟降值與裝設前相同，但LCD廠之PCC電壓 v_{LCD} 約為91.3kV，電壓驟降率僅為1.8%，符合SEMI F47-0706規範值(12週波內，電壓驟降率為50%)



$i_{feeder1}$: 500kA/div, v_{IC}/v_{LCD} : 100kV/div

5. 結論

- 本文彙整目前已提出之電力電子FCL
- 電力電子FCL正常時幾乎無作用；當短路故障發生時，FCL會自動提供一高阻抗來限制故障電流振幅，藉以抑制電壓驟降率；故障清除後，其會快速回復至正常狀態
- 本文提出一NQBFL，成本低，可靠度高
- FCL+UPS，限制及補充故障暫態能量損耗，有助於改善園區電壓驟降

Thanks for your listening