

保護電驛

應用電力線載波之探討

羅隆和
台電電力調度處

一、前言

輸電線路的保護電驛種類及保護方式很多，依線路的電壓等級、供電方式、線路長度及線路的重要性等之不同，而分別採行各種妥適的保護方式。對於較高電壓等級之輸電線路，由於考慮系統穩定度及設備之安全問題，一般都需要快速之主保護電驛。

就目前保護電驛技術而言，一般輸電線路主保護方式大多採用頻道控制電驛，即載波系統（pilot system）及副線保護電驛系統（pilot-wire relaying system）。

保護電驛使用頻道種類有：電力線載波（P.L.C）、微波（MICRO WAVE）、光纖（OPTICFIBER）、副線（PILOT WIRE）。

電力線載波（PLC）在電力系統中有很多用途，而運用最多的為保護電驛，其主要

用途在於輸電線路之保護，由於使用了通訊頻道，所以在內部故障時，保護電驛能快速的隔離事故，另一種使用 PLC 的例子為斷路器故障時作為遠方跳脫通訊頻道，當然 PLC 尚可作為資料的傳輸及語音的傳送，這裡將僅探討保護電驛之運用。

影響 PLC 頻道可靠度的因素很多，但是重點在於能使對方之接收器收到其靈敏度水準以上的訊號，且其訊號與雜訊的比值（SNR）在最低要求水準以上，使得接收器可以從所接收到的訊號，作正確的判斷，假設這些要求均能作到，那麼 PLC 頻道將可視為可靠，也才可以應用於保護電驛系統，否則必須考慮使用其他之通訊頻道，即微波系統或光纖系統等，影響 PLC 頻道可靠度之因素可歸納為下列諸項：

- 1.發送器輸出功率的多寡
- 2.並接於發送器與接收器需要何種型式

之混合器及其數量

- 3.選用何種線路調諧器
- 4.耦合電容器之電容值
- 5.陷波器電感值及型式
- 6.輸電線之電壓及構造
- 7.選用輸電線之相別.
- 8.線路長度及其換位情況.
- 9.所傳送之訊號其調變方式，及接收器的解調方式.
- 10.所接收之訊號與雜訊比.

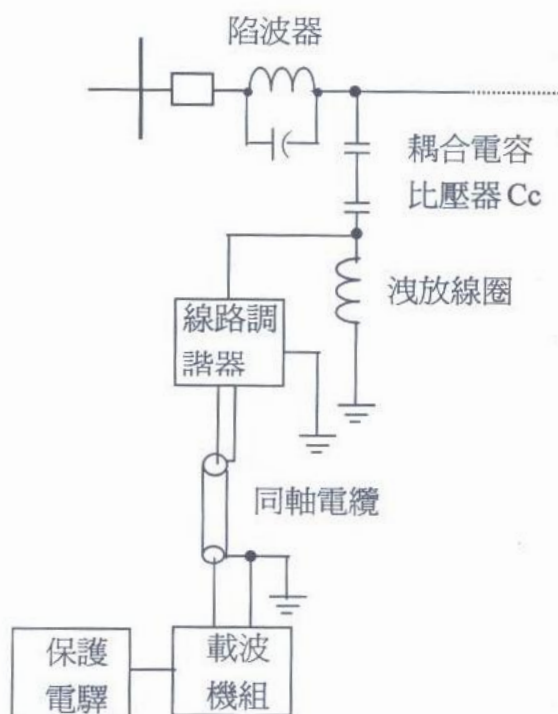
以上所列僅為主要影響因素，茲分析如下並作為改善 PLC 頻道可靠度之參考。

二、載波頻道之主要組件

PLC 頻道主要組件如圖一所示，隨 PLC 所產生的問題是如何將載波訊號加在那麼高電壓之線路上，而不使載波設備受損害，而且我們把訊號加在線路上，是希望它往所指定的方向前進，如此，訊號才能被線路另一端之接收器收到。

由於載波機組均裝設於控制室內，而線路調諧器因必須置於 CCPD 之下，故均設於開關場，此兩者之間有一大段距離，必須用同軸電纜連接，此種電纜有遮蔽層，可以防止雜訊進入產生干擾，假如使用的

不僅僅只有一個發送器，則載波訊號須經混合器才可以接收到同軸電纜，混合器 (HYBRID) 之主作用是使兩個以上之發送器可以連接到同一同軸電纜，而不引起互相調變而失真，當然混合器電路如選用不當，會引起很大的損失。



圖一、電力線載波構成要件圖

線路調諧器連接於耦合電容器，主要的作用在於對載波能量提供一低阻抗的路徑到輸電線，而對於電力頻率之能量卻是一高阻抗路徑，原因在於調諧器與耦合電容器在載波頻率時形成串聯共振，雖然耦合電容器在電力頻率為高阻抗，但為了 CCPD 能正常使用，必須有一對地的路徑，

在 CCPD 內之洩放線圈(DRAINCOIL)可提供此一功能，洩放線圈被設計為在電力頻率下為低阻抗，而因其係線圈有感抗，對於高頻率之載波將為高阻抗，因此組合線路調諧器，耦合電容器及洩放電圈，以提供一有效工具，將載波訊號耦合至輸電線路，並能防止電力頻率能量進入載波器，線路調諧器另一個功用是在同軸電纜(50-70 ohms)與電力線路(150-500 ohms)間提供適當之阻抗匹配。

在輸電線路上的載波訊號必須朝向線路另一端傳送，而不可以朝向匯流排，否則訊號損失會極為嚴重，同時必須不受匯流排阻抗變化影響。此一任務必須由陷波器來執行，陷波器通常調整在載波頻率時產生並聯共振，我們知道並聯共振在其共振頻率時之阻抗最大，因此載波訊號就無法往匯流排傳送，而必須朝向線路之另一端行進，如圖一所示。

在載波訊號從輸電線之一端傳送至另一端的過程中，訊號必然會衰減，而且週遭的雜訊亦將加之於訊號上。在受訊端從線路上將訊號反耦合回來之方式與送訊端相同，訊號經同軸電纜送至控制室之接收器，故在運用這些 PLC 之組件時，必須妥善選用與調整，使 PLC 系統能正確運作，

茲分述如下：

1.同軸電纜

通常載波機組發送出來的訊號，必須利用同軸電纜接到開關場之線路調諧器，而同軸電纜有很多型式可使用，較常用的為 RG8/U 及 RG213/U，它們的特性阻抗值分別為 52 ohms 與 50 ohms，其損失為 0.4-0.9dB/1000 呎。因其損失很小，通常均不予考慮，比較需要注意的是遮蔽的問題，由於遮蔽線不能兩端均接地，故不可能獲得最佳遮蔽效果。遮蔽線不能兩端均接地的原因，在於事故時變電所接地網之電位差，故遮蔽線只能於載波機組所在位置一點接地，此乃因載波機組不可以有對地之浮動電壓，而線路調諧器在設計上即容許其置於較高電壓之環境，所以同軸電纜之遮蔽線在線路調諧器上不接地。如果要得到較佳的遮蔽效果，可以使用雙重遮蔽電纜，使用此種電纜時，內層之遮蔽線只可以在載波機組一點接地，外層之遮蔽線則兩端均接地，即可獲得完整的遮蔽效果。但必須再使用一較大的銅導體與外層遮蔽線並用，以保護遮蔽線在事故時不受大量的故障電流損害，然而在大部分情況下，並不需要使用雙重遮蔽線之同軸電纜。

2. 耦合電容器

事實上耦合電容器通常是調諧回路的一部分，它是一種對載波訊號與高壓線路間提供低阻抗通路的設備，且對電力頻率為一高阻抗路徑而阻絕了電力電流，它只有在低壓端為接地電位時才能將線路電壓經過其電容器而降壓，為了將線路調諧器之輸出連接到此低電壓端，必須使用一種在載波訊號為對地高阻抗，而在電力頻率時為對地低阻抗之設備，這種設備是一種電感性線圈稱為洩放線圈(drain coil)。

為了降低載波訊號之損失及保持耦合系統頻寬在最大限度，因此希望耦合電容器之值越大越好，然而由於是在高壓系統，考慮成本與體積等因素，耦合電容器之電容值並不可能如願的提高太多，其值大約在 $0.001\text{--}0.075\mu\text{f}$ 之間（與所選用之 CCVT 型式有關）。

耦合電容器上有載波及電壓接地開關，做為一旦此一訊號或電壓不接用時，將其接地以免浮動造成設備損害，或是維護時接地用。但是實用上要特別注意，在維護工作完成後必須記得將接地開關打開，否則載波訊號無法正常傳遞。

3. 線路調諧器

線路調諧器與耦合電容器對載波訊號提供低損失的路徑，線路調諧器有兩種基本的型式：一為共振式，另一種為寬頻帶式，依輸電線路及載波頻道數量之不同而選用。

線路調諧器必須儘可能的安裝於耦合電容器附件，原因在於線路調諧器與耦合電容器之間的導線越短越好，由於耦合電容器為調諧器線路之一部分，在耦合電容器與調諧器之間的連接點通常為高阻抗。任何連接電纜對地之電容都將引起訊號損失，且會改變調諧回路之特性。因此連接電纜通常使用單導體並具有高絕緣低旁路電容，特別要注意的是，不可在這地方使用同軸電纜。

所有線路調諧器均有保護設施，包括接地開關及保護間隙，此間隙在輸電線路發生嚴重暫態過壓現象時，保護調諧器及載波設備免於受損，這些暫態現象產生大量的高頻能量，因洩放線圈對於這些頻率為高阻抗，所以均經過耦合電容器到達線路調諧器，故線路調諧器內必須附有保護間隙。接地開關是在執行維護工作時，對工作人員的保護設施，有些線路調諧器內備有洩放線圈，但是此洩放線圈不可作為主要的洩放路徑，耦合電容器內洩放線圈

才是電力頻率的主要洩放路徑。

4. 陷波器(LINE TRAPS)

當載波訊號被耦合到電力線後，訊號可以向兩個方向行進，即向線路的遠端或進入到匯流排而到其他線路，假如訊號進入到匯流排，則其大部分能量將由於匯流排之對地分路電容而流向大地，部分能量則經由其他線路而到電力系統裡。由於系統裡面其他的線路可能使用相同的頻率，故上述的現象是不容許的，因此需要一種裝置來阻止能量傳向匯流排，而直接朝向線路的遠端傳送，這種裝置稱為陷波器。一般的陷波器設計為 LC 並聯回路，這種並聯 LC 回路於載波訊號在共振頻率時為高阻抗。因此，假設此種 LC 並聯回路在匯流排與耦合電容器之間被串聯到電力線，則載波訊號必將朝向線路的遠端行進。陷波器必須具有提供電力頻率電流低阻抗路徑的性能，而其電感可以有此功能，並且可通過大量電流。陷波器另一個重要功用是使載波訊號與匯流排之阻抗無關，使載波回路與系統操作情況無關。

陷波器可以同時具有高-Q 或低-Q 回路，低-Q 陷波器為低阻抗寬頻帶，適用於兩種以上較接近之頻率，高-Q 陷波器為高阻抗且頻寬較窄，很容易受匯流排阻抗之

變化影響，匯流排對載波頻率而言為一電容，與陷波器之電感形成串聯共振，而產生一對地很低阻抗之路徑。另外，在陷波器背後之電力變壓器，已被確認會改變陷波器之調諧特性。

要確認陷波器之調諧特性是否受匯流排阻抗或系統操作影響，可以在本端陷波器與系統分離或陷波器連接至系統兩種情況下，由遠端之接收訊號加以比較，假如所接收之訊號改變很大，且確定陷波器已調整妥當，則表示陷波器調諧受系統操作影響，必須選用低-Q 回路。另外，載波頻率最好不要選擇在陷波器調諧頻率範圍之上下限，因此種情況之調諧，較易受系統情況影響。

三、電力線載波之特性

1. 線路之衰減

載波訊號在輸電線路上之損失，包括許多因素，最主要的因素為：載波頻率、線路構造排列、導體的大小及材質、接地線之大小及材質、换位之地點與方式、天候、大地的電導係數及絕緣礙子的洩漏等。訊號的損失將隨頻率的增加而提高，原因在於頻率提高使分路電容阻抗降低，及導

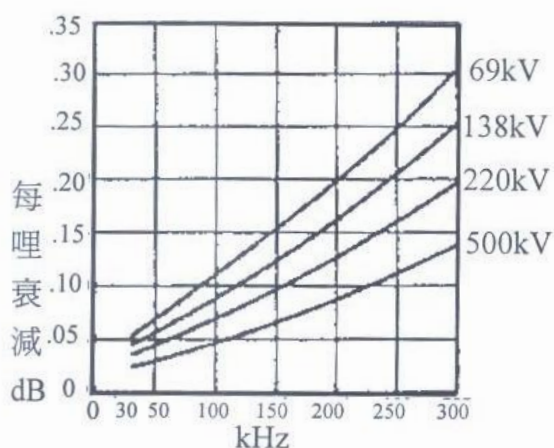
體之集膚效應在高頻率情況下，有效傳導面積減少。

天候狀況更是影響線路衰減重要因素，在惡劣之天候情況將使衰減增加，最嚴重的情況是線路結霜，如果絕緣礙子受污染亦會使衰減增加。

圖二表示在良好天候情況 34.5 kV 到 765 kV 輸電線路之損失曲線。

2. 線路之特性阻抗

輸電線路之特性阻抗為進行波在一無限長之線路上的電壓、電流比值，此一比值在線路上之任一點均為常數 Z_0 ，載波耦合設備必須與此阻抗匹配，才能得到最佳能量傳輸，表一為不同輸電線特性阻抗之範圍。



圖二、載波訊號在輸電線路的損失與電壓等級之關係曲線

表一、各種電力線特性阻抗範圍表

輸電線導體， 每相	電力線特性阻抗範圍	
	特性阻抗(ohms)	
	相對地	相對相
單導體	350-500	650-800
複導體	250-400	500-600
四導體	200-350	420-500

3. 輸電線路之雜訊

限制電力載波頻道使用距離的因素之一即為電力線之雜訊，故在設計此種頻道時，必須考慮雜訊因素，務必使得受訊端在接收器頻寬內，收到的訊號大於收到的雜訊，至於要大多少，則與所使用的調變及頻道方式有關。在保護電驛運用上，如果 SNR 不足，將造成保護電驛該動作而不動作或是誤動作。

輸電線路的雜訊有兩種基本型式，一為連續性雜訊，另一種為突波雜訊。連續性雜訊經常存在，其波幅變化較小；而突波雜訊則僅在某一極短時間內存在，但突波雜訊之波幅卻遠大於平均雜訊，這些雜訊幾乎在載波頻寬內任一種頻率均存在，且其波幅隨時在改變。

霧對於線路之雜訊有很大的影響，雷電產生的放電電荷亦會增加雜訊，在潮溼的情況下產生的電暈雜訊，也是主要的雜訊來源，這些雜訊在惡劣天候下，可能高

於良好天候時 30dB 以上。

由於保護電驛使用之頻道，必須在事故情況下乃正常運作，故必須知道在事故時會產生何種的雜訊。事故時之電弧如果已經產生，即不會有雜訊，但是在第一次激發時之 1-4 毫秒雜訊相當大，之後空氣被離子化而成為導體，雜訊就很小了，原因在於事故導致線路電壓降低而減少電量。

圖三為 230 kV 輸電線路在不同天候下 3 kHz 之頻寬的平均雜訊圖，如果電纜等級不同可參考表二，而得到雜訊之估算值，當計算 SNR 值時，必須考慮頻道真正的頻帶寬度，由於只有普通頻帶寬度的雜訊才會造成問題，其修正公式為：

$$\text{dB} = 10 \text{ LOG (BM/3000)}$$

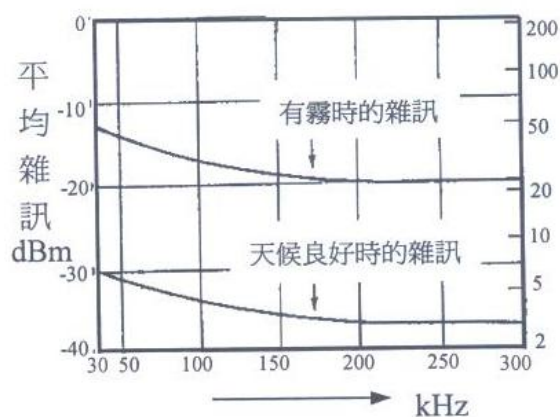
BM：為使用頻道之頻寬

例如 TCF 載波機阻頻寬為 500Hz，則修正數為： $10 \text{ LOG (500/3000)} = -8 \text{ dB}$ ；則從圖三及表二所得到的雜訊值，必須再減去 8 dB。

表二、不同電壓之輸電線雜訊修正值

(與 230kV 比較)

電壓(kV)	修正數(dB)
66-115	-8
138-161	-4
230	0
345	+2
500	+5
765	+12



圖三、230 kV 輸電線路之平均雜訊圖

四、結論

為了快速清除輸電線路上末端的故障，在線路的兩端之間必須有通訊頻道來比較故障情況，以確定是否為內部故障，電力載波即為此種通訊頻道之一，其優點為通訊導體是利用輸電線本身，如線路長度很長時，則此種方式較為經濟，但必須估算其通訊頻道之總損失與雜訊，求出 SNR 之值，此值不應小於 20 dB，否則 PLC 系統不可以使用，需考慮其他通訊頻道，如光纖系統或微波頻道等。



陷波器(Line Trap)