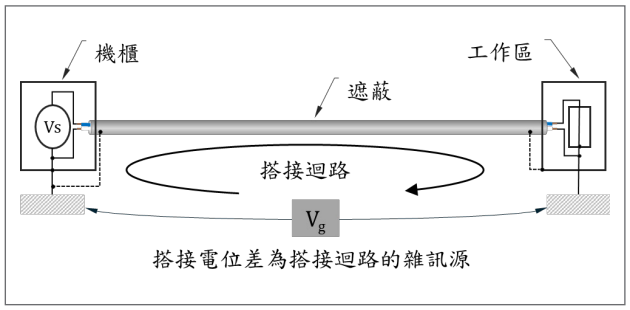
認識網路線干擾（下）

交通部中華技術服務社 顧問 劉時淼老師
兼台灣區電信工程工業同業公會　技術諮詢顧問

搭接迴線

當一個網路線路有多個搭接點，而這些搭接點的「共同模式」的電位差不相同時就會引起雜訊干擾。如下圖：



圖三 搭接迴路示意圖

這些雜訊電壓不僅在網路線的屏/遮蔽傳送，也會感應到芯線對傳送。主要是因建築物內一般家用交流電力為60Hz，所產生諧波落在通信電路內會產生嗡嗡聲音，即〝交流聲（Hum）〞。使用50Hz的其他國家，也有同樣的現象。

因為每一扭絞線對都會接到巴倫變壓器（Balun Transformer ）[1]，而雜訊抑制設備裝在網路介面卡（交換機端）和設備終端，變壓器之間不同的線圈比率加上搭接阻抗差異，雜訊電流就在這之間流動著。

此雜訊會落在網路線的屏/遮蔽層，是因為線路匯流排搭接點和建築物接地點之間有不同的電位差，也會落在芯線對上。線對上的雜訊雖然可以被屏/遮蔽層大幅的消減，但無法消除。即便在設備內使用雜訊濾波器或雜訊抑制器，也無法完全消除。

通信設備商並沒有被強制要求一定要在RJ45接頭的外殼遮蔽和建築物接地之間提供一個很低的搭接阻抗，有時在設備底盤會用RC電路[2]與建築接地完全隔離，有時在RJ45遮蔽外殼即直接隔離。

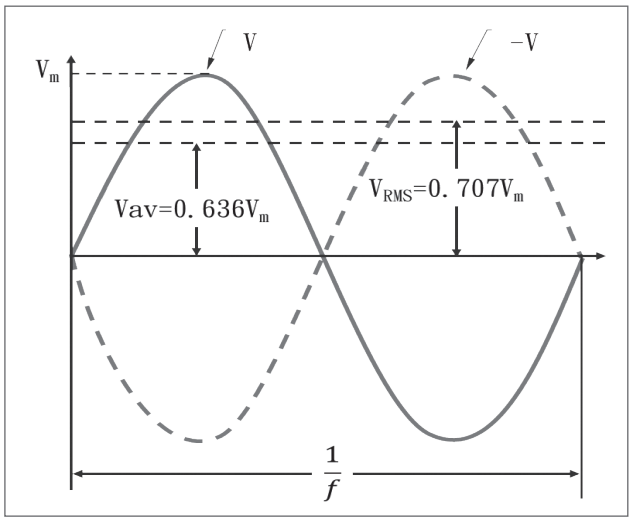
TIA和ISO標準在這方面訂了一個門檻值限制搭接迴路的雜訊電流：在工作區網路線末

1 Balun Transformer源自於“BALANCE TO UNBALANCE”，即〝平衡(信號)-不平衡(信號)轉換器〞，又稱為〝巴倫〞。此處所謂的不平衡指的是一種信號傳送模式，在該模式下，信號的往返路徑被明確的區分。大多數信號線的回路為共同接地線，在平衡的信號傳送模式下，信號的往返路徑呈組對形式，且具電氣對稱性。1.將電流或電壓從不平衡轉至平衡 2.通過某些構造進行共模電流抑制。

2 使用電阻(R)和電容器(C)控制電流和存儲電能的電路。常見於許多電子設備中，電阻器控制了電流流過電路的量，減慢電流的流動。另一方面，電容器存儲和釋放電能。當電力流入其中並在需要時排放或釋放該能量時，電容器充電。

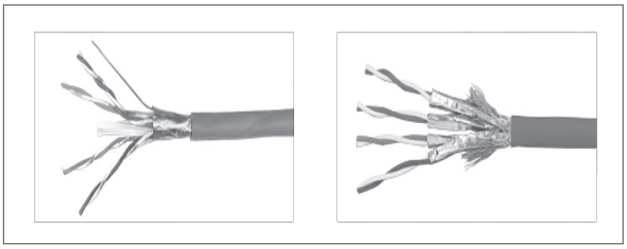
端量測的電位與連接電腦的電氣出口之電位不同時，必須當場修正以免妨礙電腦通信。在世界各國中，這個值很少超過1.0[3]Vrms 。

而且搭接迴路引起的「共同模式」雜訊都屬低頻，50 Hz或60 Hz，其諧波也是。網路線本身的扭絞平衡機制已經有足夠的免疫力，同時雜訊的電壓值可以忽略。



屏蔽（Screens）與遮蔽（Shields）的設計

遮蔽有許多的好處，如改善線對間的串音、防止外來串音、及雜訊免疫。Cat 6和等級較低的F/UTP網路線，其芯線外圍有一層鋁箔包捲，如下圖左。Cat 7和等級較高的網路線每一對線都有一鋁箔包捲，電纜蕊的外有一層辮帶抱捲，如下圖右。偶爾有一條引流線供連接搭接端子用，如圖左最上方那條線。



圖四 F/UTP（左）與S/FTP（右）網路線屏/遮蔽結構

遮蔽層材料的選用，以能對電場干擾最大免疫力、對外來電波最大反射、最大吸收、及能提供最低阻抗供雜訊通過為主，因此導電性佳的遮蔽層都能消除雜訊。實心鋁箔更好，如上圖左。圖右的S/FTP網路線使用遮蔽是因為它能提供100%的高頻信號（>100MHz）洩露，及搭接時需要的低阻抗。

鋁箔的厚度與干擾雜訊電流的〝集膚效應〞[4]關係密切，雜訊電流滲入鋁箔的深度與雜訊電流的頻率成反比。一般的鋁箔厚度從0.038mm~ 0.051mm不等，配合30Hz雜訊電流的最大滲入深度，但不得讓高頻信號從網路線洩出。

扭絞的芯線對因為其平衡狀態很好，不受低頻信號干擾。辮帶及引流線有利於纜線的組裝，如果正確的搭接可以降低遮蔽層兩端的電阻。

搭接與纜線

ANSI/TIA-607-D訂義了建築物電信搭接與打線（Bonding）架構[5]，對使用UTP及S/FTP架構的纜線網路極為重要：

3 Vrms(電壓均方根值)不同於Vav(電壓平均值)。沒有變化的正弦波電壓平是0，而有變化的正弦波的均方根值和直流的電壓等值。換句話說，如果有一正弦波的均方根值是10伏，用直流來傳送時就是10伏。如下圖：Vm是波峰值，則Vav是0.636Vm，VRMS是0.707Vm.

4 維基百科：「集膚效應（又稱趨膚效應或直譯作表皮效應，英語Skin effect）是指導體中有交流電或者交變電磁場時，導體內部的電流分布不均勻的一種現象。隨著與導體表面的距離逐漸增加，導體內的電流密度呈指數衰減，即導體內的電流會集中在導體的表面。從與電流方向垂直的橫切面來看，導體的中心部分幾乎沒有電流流過，只在導體邊緣的部分會有電流。簡單而言就是電流集中在導體的「皮膚」部分，所以稱為集膚效應。產生這種效應的原因主要是變化的電磁場在導體內部產生渦旋電場，與原來的電流相抵消」。

5 電信接地源自電力接地。

1. 電信用的一次匯流排（Primary Bonding Busbar，PBB）[6]的搭接線打在建築物電力設備接地端子。打線使用的方法、材料、及元件規格依系統、網路規格、容量、及當地規範而調整。
2. 如果有電信二次匯流排，則利一次匯流排的打線幹線打在「電信一次匯流排上」。
3. 所有機櫃及金屬纜線架與電信一次匯流排連接。
4. 網路線網路與電信設備連接到設備機架或是鄰近金屬纜線架，確保資訊設備在建築物交流或直流的接地上方有備援且專用的搭接通路。

TIA 和ISO標準還額外的訂定網路線終端於機櫃時，其屏/遮蔽層應該與當地的電信一次或二次接地匯流排連接，用意是使搭接點與纜線系統連接後，儘量減少搭接迴路的出現，同時也接受網路線網路系統多點搭接[7]。

〝搭接〞不同於〝屏/遮蔽連接〞。搭接的目的是把網路線系統的屏/遮蔽共同打線在電信一次或二次匯流排，但是屏/遮蔽的連接的目的是要維持一條順著網路線一路延伸到末端的電氣通路暢通。

屏/遮蔽的部份功能是提供一條接地通路使雜訊電流容易流到大地，TIA和ISO也規定了沿線的屏/遮蔽連接點的網路線參數、連接硬體所產的阻抗值、及耦合衰減確保可以維持一條低阻接通路。為了防制外來串音及雜訊，從網路線的始端到末端，整條路由的遮蔽一定要維持連續性，不建議在網路線系統使用UTP跳線連接屏/遮蔽

建議終端使用者能自行檢查網路線的屏/遮蔽對一次或二次匯流排的搭接是否正常：

1. 目視檢查所有設備的機架、箱體、金屬纜線架的搭接打線是否使用16mm2導線。
2. 目視檢查所有的屏/遮蔽跳線板是否使用4mm2導線。
3. 執行直流電阻計測試確保每一個配線板、機架、箱體與一次或二次電信匯流排搭接點間的直流電阻<1Ω，最大不得<5Ω。
4. 記錄前述測試結果。

天線效應的說法

一般人認為網路線的屏/遮蔽層像天線，只是因為這兩層都是長形金屬。兩者都會吸收週圍的電磁波信號或是輻射扭絞線對的信號。事實上兩者對電磁波的感應行為，只是〝有點像天線〞。

6 〝一次打線匯流排〞連接主要設備的搭接。其他非連接主要設備的打線匯流排稱為〝二次打線匯流排(Secondary Bonding Busbars (SBB)〞。

7 在此未提到工作區設備的搭接，因為在ANSI/TIA-607-D制訂時已考慮進去。

差異點是，在同樣的場景下耦合到S/FTP網路線的雜訊信號強度小於耦合到UTP網路線的100~1000倍（約-20dB~-30dB），是因為S/FTP網路線內的扭絞線對和屏/遮蔽的搭接精準的控制著「共同模式」阻抗。

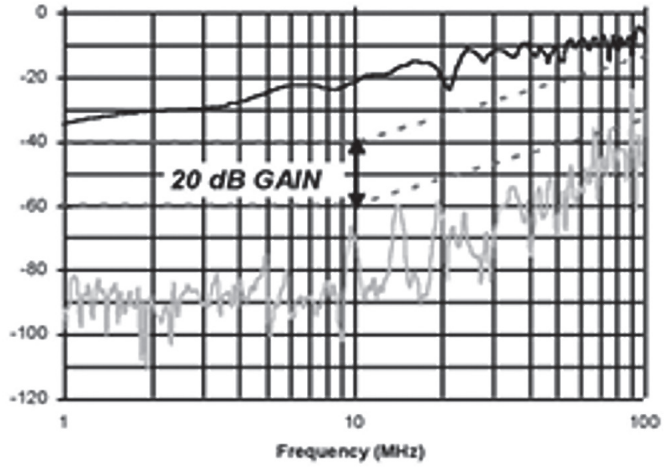
以下是30MHz以上和30MHz以下信號對平衡扭絞網路線的干擾情形分析：

在30MHz以下，來自週圍環境的雜訊電流可以穿過S/FTP網路線的屏/遮蔽，接著感應到芯線對，但是這些雜訊被鋁箔吸收而大量衰減。在同樣的環境下，沒有遮蔽的UTP網路線會感應到較大的雜訊電流。不過，其芯線的扭絞平衡結構對環境的雜訊敏感度降到最低。

在30MHz以上的場景下，來自週圍環境的雜訊電流因集膚應及芯線扭絞而無法穿過S/FTP網路線的屏/遮蔽層，而UTP網路線光靠芯線扭絞是無法防制這樣高頻的雜訊電流干擾，需要數位信處理技術來彌補不良的信號雜訊比。

另一說是「共同模式」雜訊感應到S/FTP網路線時，只能靠著低阻抗的通路讓雜訊電流排出，理由是未搭接的屏蔽會把聚集在屏/遮蔽的信號輻射出去。然而事實上，既使未搭接也會把殘留的高頻率信號衰減掉，因為這兩金屬層的電阻、沿線散佈的電容、及串連的電感形成低通濾波器。

因未搭接而形成的低通濾波效果如下圖所示：圖中黑線為UTP網路線的濾波效果比圖中藍線的S/FTP網路線效果差20dB，等於10倍[8]的電壓。只有在最壞的情況下，UTP才會有天線效應，而S/FTP網路的天線效應微乎其微。屏/遮蔽確實有防制雜訊的功能。



*Data provided courtesy of NEXANS/Berk-Tek

資料來源：
Screened and Shielded Cabling，Noise Immunity, Grounding, and the Antenna Myth, Siemon chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://files.siemon.com/en/whitepaper/22-05-11-shielded-myth.pdf

圖五 UTP與S/FTP網路線對高頻雜訊防疫能力的比較

8 $P = IV \rightarrow V = IR \rightarrow P = V^2/R \rightarrow P \propto V^2 \rightarrow 10\log_{10} P \rightarrow 10\log_{10} V^2 \rightarrow 20\log_{10} V$

搭接迴路的說法

只在有屏/遮蔽的網路線系統才有搭接迴路嗎？這種說法認為，在有屏/遮蔽的纜線系統之間的對地電位差會產生大量的「共同模式」雜訊電流，以至於妨礙線路裡的電路傳輸。其實，真正造成S/FTP和UTP內芯線的雜訊是線對內電路兩端的電位差。

在網路卡端巴倫變壓器阻抗和網路設備間引起的雜訊電流才會感應到每一對芯線對，網路的多點搭接也有這個可能。不過，這些雜訊電流的電壓無論大小，其波形總是和50Hz或60Hz的交流電力混在一起。又因為扭絞芯線在低頻時，就算從設備的阻抗在網路上不匹配，或屏/遮蔽層感應而來的「共同模式」雜訊電流，也會被收發信機在做「差動模式」傳輸運算時消除。

為什麼要用S/FTP網路線？

有下列好處：

1. 減少線對間串音。
2. 減少外來串音。
3. 有屏蔽的Cat 6A F/UTP網路線的纜徑比Cat6 UTP小，有利於纜線佈放。
4. 對各種不同頻率的雜訊有明顯防疫效果，尤其30MHz以上，萬一扭絞平衡開始劣化，還能防制雜訊。
5. 在綁縛較鬆弛的場合散熱效果極佳，尤其是在PoE或溫度較高環境時。

結語

要有好的信號雜訊比餘裕就得靠纜線的平衡和屏/遮蔽防制「共同模式」和「差動模式」的雜訊。數位通信靠著正的SNR餘裕才能正確的傳輸比次串並維持最小比次錯誤率

在10GBASE-T時，很明顯的單靠芯線扭絞最多只能勉強的維持10Gbps的傳輸速率。F/UTP及S/FTP網路線對外來串音的防制能力使得網路業者眼睛為之一亮！很難再找到比這更好的網路線了。