新一代節能開關式電鍍整流器技術

朱嘉傑　依力柏電能有限公司（香港）

國內在過去的10年，電鍍行業與線路板製造業在其電鍍生產工藝中，使用開關式電源已經非常普及。民用開關式電源從1979年開始，最早應用在蘋果的微形電腦，到近年基本上已完全替代舊式矽鋼片的電源供應器，在電鍍工藝的應用亦有二十多年歷史。然而中國近年發展迅速，國內製造業不斷壯大，對將來電力的需求更為殷切。於是要配合中國長遠電力發展的要求，節能是必要的。因此，與電鍍相關的行業都需付出努力，對節能要執著，找尋新的節能路向，並不能滿足於傳統開關電源的節能效果。從來，電子行業發展都是非常迅速，在過去多年，坊間已開發了一系列嶄新的功率電子元件與控制用的集成電路，大大推動了開關式電源的發展。筆者試從下文簡單介紹，在現存的開關電源上，各種增加節能的手段。

開關電源的工作原理

由於大部份電鍍行業的工程人員與從業員都是化工專業，他們對電源的認識，不一定很全面。所以在開始介紹新節能手段之前，先用一個簡單的開關電源原理圖，描述它的工作原理，讓大家有個初步瞭解。在中學時代，每個學生都會從物理課本學習得知，透過一個不同圈數比的簡單變壓器，就能夠將電壓提升或降低。但它有一個條件，它的工作模式只可在交流電源進行，不能使用直流電源。然而電鍍工藝是使用直流低電壓，高電流的模式，所以需要一個整流器由市電(220V / 380V交流電)轉化成直流低電壓來工作。圖(1)是一個簡單前置式開關電源(定電流控制模式)的原理圖：

開關電源的主要損耗

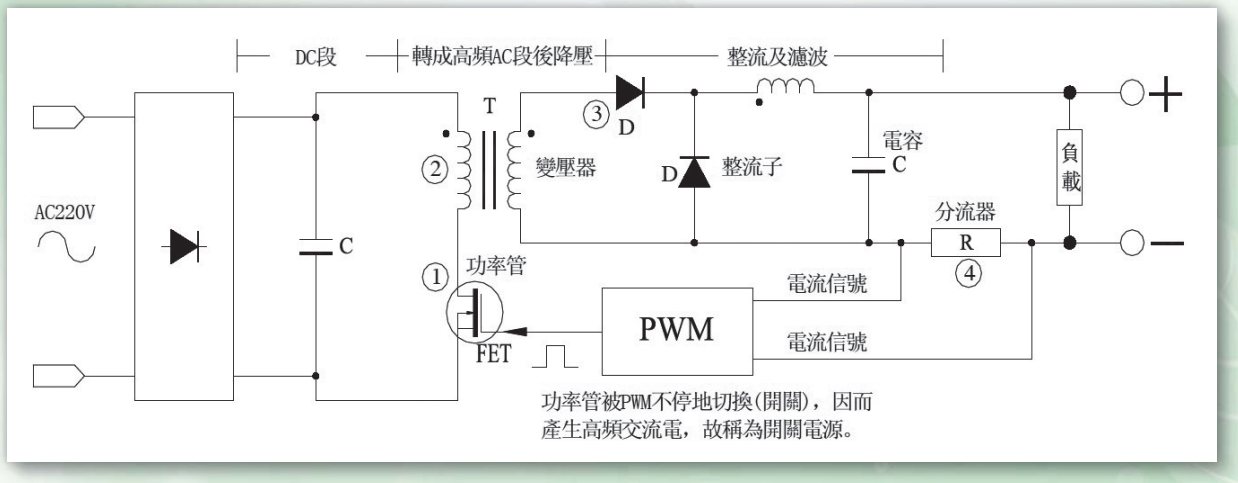
從上述的工作原理圖得知，開關電源主要的損耗是由四個部分產生：-

(1)　功率開關管的損耗。
(2)　高頻變壓器的損耗。
(3)　輸出端整流管的損耗。
(4)　檢測電流的分流器損耗。

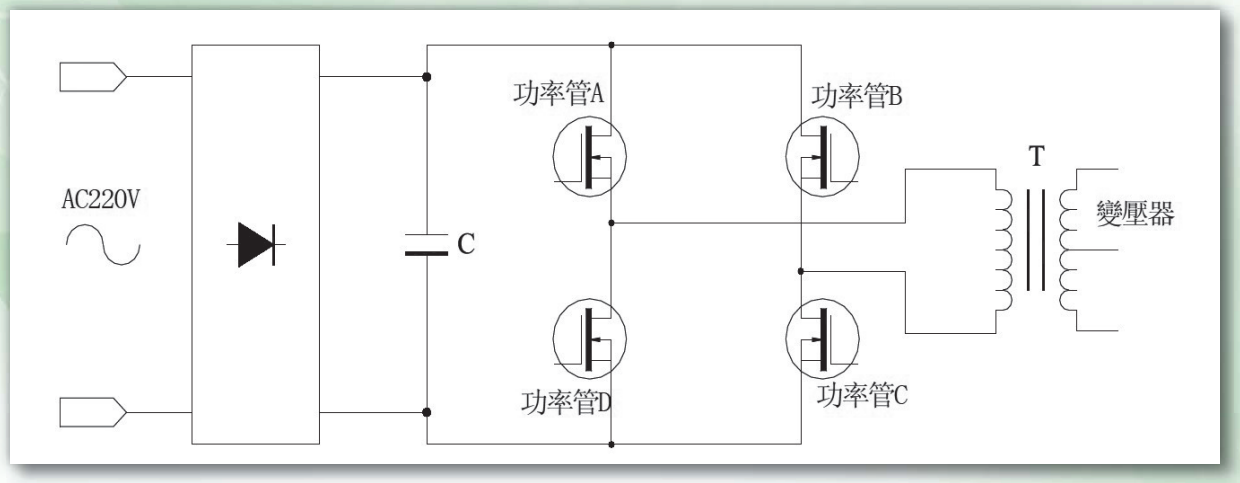
(1) 改善功率開關管的損耗

因電鍍用的開關式整流器大都是高功率輸出，由0.5KW-100KW不等。有這樣大的輸出功率，絕大部分整流器的設計都會採用全橋式的電路，如下圖(2)：-

傳統的全橋式電路，是一組A和C的功率管與另外一組B和D的功率管作交替



圖(1)　前置式開關電源(定電流模式)的簡單結構圖



圖(2)　全橋式開關電源簡單結構圖

切換，產生交流電效果。這個切換是在高壓狀態下瞬息進行，損耗非常大，稱為“**硬開關**”(Hard Switching)。坊間已開發一些新元件來降低這些損耗，它的方法是使四個功率管有特定時序作出切換，確保功率管幾乎在零電壓狀態下切換，因此損耗大幅減小，稱為“**軟開關**”(Soft Switching)，行業上稱為**零電壓切換**(Zero Voltage Switching)。

(2) 改善高頻變壓器的損耗

高頻變壓器的損耗可分為兩類損耗，(1)磁通損耗和(2)銅損耗。

(2.1) 磁通損耗-

因高頻變壓器是採用“**鐵氧體**”(Ferrite Core)，通過它磁通來偶合傳送能量。因此，整流器可採用較高運作頻率(200K Hz以上)的設計而選用較小磁通損耗的鐵氧體。但這只適合場效應管(MOSFET)這類高速功率管。另外，它有一個優點就是變壓器體積可以減小，降低元件的成本。

(2.2) 銅損耗-

變壓器機械外形可同時改為“**平面式**”設計(Planar Transformer)。這類外形的設計可使變壓器繞銅線的空間增大，利用較大的線徑來減小銅的損耗。另外，它的偶合效果也比較好。最後都能夠增加高頻變壓器的效率。

(3) 改善輸出端整流管的損耗

傳統開關電源在輸出端都是選用**蕭特基二極管**(Schottky Diode)來進行整流處理，雖然蕭特基二極管是同類整流管中是損耗最低的一類，但它的電壓降仍然有0.6V左右。試想想，當整流器在輸出1000A時，單單通過一組蕭特基二極管時的損耗時，就有(1000 x 0.6 = 600W)之多，損耗非常明顯。

目前，行業已有新進展，利用**同步整流**(Synchronous Rectification)的技術來改善。它棄用二極管，而採用在導通狀態時內阻極低(低至1m Ohm/1毫歐母)的專用功率場效應管(MOSFET)。它並聯多粒場效應管，使通過每粒場效應管電流降低，以達到減小損耗的目的。現假設，一個整流器同樣通過1000A，場效應管的數目是8粒，這樣，通過它的電流會平均分為125A，它的損耗會變成以下數式：-

導通損耗= 電流 x 電流 x 內阻 = 125 x 125 x 0.001 = 15.625W

8粒場效應管的總導通損耗會是15.625 x 8=125W

要留意，場效應管除了導通損耗之外，它還有規格書標稱的開關損耗。它的

損耗，總體來説不會比導通損耗為大。由上述兩個損耗例子比較，假設導通損耗 = 開關損耗。

塲効應管的總損耗會是 125W X 2 = 250W。

結果是用蕭特基二極管會比用塲效應管的總損耗多了(600-250)W =約350W

(4) 改善檢測電流的分流器損耗。

因電鍍工藝有定電流和定電壓兩種模式，自動化的電鍍裝置大多採用定電流的方法；而小規模的手動化電鍍裝置，則多採用定電壓做方法。因行業主流都是採用自動化，因此每台電鍍整流器都需要有定電流的模式，所以整流器內部的設計，一定要有一個檢測電流手段，以控制輸出的電流與設置的電流值一致。為達致要求，傳統簡單的做法是用一個電阻R(稱為分流器-Current Shunt)來處理，當輸出電流通過它時，分流器會檢測兩端的電壓差來確定是否達到已預設的電流值。為減少損耗，一般這類分流器的電壓降值都會設計在40毫伏-60毫伏(mV)之間。同樣道理，它與電流通過整流管時一樣會有功率損耗，損耗值會是：

1000A X 40mV = 40W

要減少這個損耗，可使用檢測磁塲的方法。因電流通過一個導體時，它周邊的磁塲與流通的電流值是有線性關係的。利用這個磁場值可無損耗地把整流器的輸出控制在目標電流值，做到定電流效果。

功率因素(Power Factor)

除了上述改善開關電源的節能方法外，還需要有改善**功率因素**的要求。許多國家都對這類高功率的開關電源作出規限，嚴格管理這些從整流器所產生的諧波。一般而言，各國要求整流器的功率因素都要達到0.95以上，而歐盟國家對這個要求更甚。關於諧波的管理，中國亦早已在1994年頒布了《電能質量公用電網諧波》（GB/T 14549-93）的國家標準，對各級公用電網的諧波電壓和用戶注入電網的諧波電流允許值作出了明確規定。另外，中國電力工業部於1998年頒布了《電網電能質量技術監督管理的規定》。

諧波是什麼

原來當電器裝置應用交流電工作時，會有以下三種負載狀態：-

(1) 純電阻負載時(例如鍍槽上的發熱捧)，電壓的波形與電流的波形並沒有時間差(即同相位)，功率因素會是1。

(2) 如應用電路上含有電容時(例如電鍍用的開關電源，照明的電子鎮流器和LED驅動器等等)，電流的波形會超前於電壓的波形而導致相位差，功率因素會小於1，形成無功功率的存在。

(3) 如應用電路上含有電感時(例如過濾泵的馬達，通風抽氣扇和空調的馬達等等)，電流的波形會滯後於電壓的波形而導致相位差，功率因素亦會小於1，形成無功功率的存在。

因為開關式電鍍整流器，是一個非線性的電容負載。因此，它的功率因素非常低，大部分都在0.65之間。運作時，它會產生一連串諧波電流。這些諧波電流和諧波電壓會在公用電網來回傳動，使公用電網中的元件產生了附加的諧波損耗，降低了發電、輸電及用電設備的效率；同時，大量的三次諧波電流流過中性線時會使線路過熱甚至發生火災，對工廠的節能要求和安全生產都有嚴重影響。

塲效應管(MOSFET) 與 絕緣閘雙極晶體管(IGBT) 的分別

兩者都是功率開關管，塲效應管主要用於消費類的電源供應器，部分低功率的工業產品也有採用，而IGBT則主要用

於工業用途。因為一般普及的場效應管只可應用於DC650V左右的電壓，而超過這個電壓的MOSFET，會有比較大的損耗。故此只適合單相輸入(AC220~230V)的電器裝置，其輸出功率一般不會超過3KW。因為消費市場有大量需求，所以MOSFET的價格是非常有競爭力。IGBT可應用的電壓在DC1200V以上，它適合三相輸入(AC380V) 的電器裝置，而因為三相的應用，輸入電源的電流亦容易達致平衡。所以大功率的開關整流器都是採用IGBT元件，但因為主要用於工業用途，數量不及消費類的產品，所以價格都比較貴。

在技術方面，MOSFET的運作頻率可高達500K Hz以上，而IGBT一般都不會超過40K Hz。故此，由IGBT組成的整流器的體積都是大的；在結構上，內部的零件也比較多。

在損耗方面，MOSFET大部分都是它在導通狀態下的內阻所構成，而新一代開發的MOSFET內阻都非常低，損耗比較小。IGBT的主體是個晶體管，它的損耗主要來自Vce的電壓降(一般在1.7V之間)，故此與MOSFET比較，IGBT損耗會比較大；但它的應用電壓高，也是它的優點。過去幾年，已開始有廠家生產以碳化矽(Silicon Carbide)為材料的場效應管，在日本已開始應用。它除了有保持低損耗和高頻的優點外，還可以工作在超過DC1200V電壓的地方。所以，從節能要求來看，在將來的整流器市場，碳化矽場效應管很可能會代替IGBT元件。但目前，碳化矽場效應管的價格還是非常高，與現有的場効應管比較，大概在8倍以上。

結論

(1) 在選擇開關式電鍍整流器時，應選有功率因素修正設置的器材。市場上有**有源功率因素修正器(Active Power Factor Correction-PFC)**的整流器，功率因素一般在0.98或以上。

(2) 一台整流器如能集合上述改善損耗的設計，它的整體效率能夠增加5%-10%。