

電力電子領域之 高精度測量功率所需的電流測量技術

依田 元，小林 宏企，瀧口 真也

1 前言

在電力電子的領域中，我們對功率調節器的功率轉換效率測量、變頻器・馬達的效率測量、電抗器的損耗測量等，在各種各樣的情況下都需要用到高精度（電流和電壓）的測量。

在本稿中，我們把焦點放在電流測量的技術探討上。本公司使用獨立的研發技術，開發電流感測器及功率計（功率分析儀）已經有一定的歷史了。以下將介紹本公司的一部份技術內容。

2 關於電流的測量方式

使用功率分析儀來進行電流測量時，一般是使用直接接線的方式(Fig.2.1(a))或電流感測器方式(Fig.2.1(b))當中的其中一個。以下將闡述個別的特徵。

2.1 直接接線方式

直接接線方式，是把被測對象的引線直接接到功率分析儀上後，直接測量電流的方式。這個方式的測量原理較為簡單，好處還有使用功率計自身就能進行電流測量。所以這種方法自古以來都在被大家所使用。但是，把電流的接線引出，接到功率分析儀的電流輸入部位也就等同於把功率分析儀接到了被測對象的電路中。因此，也有以下的不利之處。

- i) 測量時，被測對象的狀態和實際工作狀態存在差異。
- ii) 因為引線而造成的接線的電阻，會增加損耗。
- iii) 接線間以及接線 - GND 之間會產生線間電容耦合，增加高頻的洩漏。

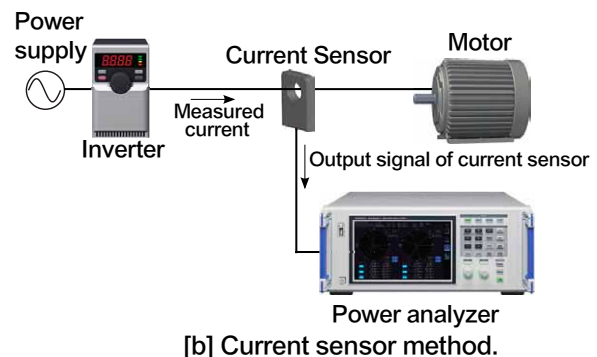
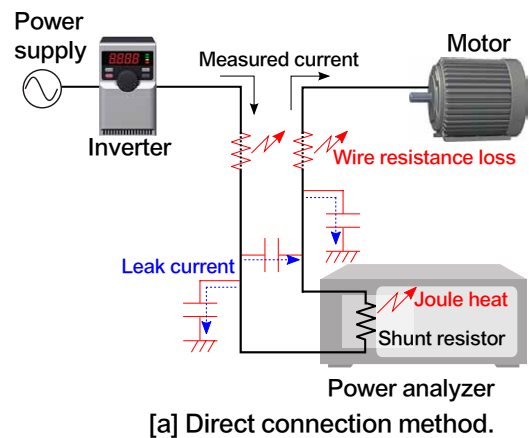


Fig. 2.1 直接接線方式[a] 和電流感測器方式 [b]

例如，上述ii)我們舉個例子，使用AWG6的線材，引出5m的線的話，那麼線電阻就是6.5mΩ。假設被測對象的電流是30A的話，因接線電阻而造成的損耗就是5.85W。雖然光用5.85W這個數值，並沒有辦法判斷是大還是小，但是對被測對象的功率值來說，這個損耗是無法忽視的。

另外，直接接線方式一般都是使用分流電阻來檢測電流的。這個使用分流電阻的檢測方式，也是存在缺點的。

- i) 在分流電阻中流過電流的話，會產生與電流的平方成正比的焦耳的熱量。這個熱量不但會對測量儀器造成損耗，還會因自身的發熱導致分流電阻自身的電阻值發生變化。會讓精度變差。
- ii) 為了抑制發生熱量，也能使用電阻值較小的分流電阻。但是，阻值較小的分流電阻無法無視掉一些微弱的感應成分，會讓頻率特性變差。

這些全部都是讓電流、功率的測量精度大幅變差的主要因素，在測量大電流時，需要特別注意。

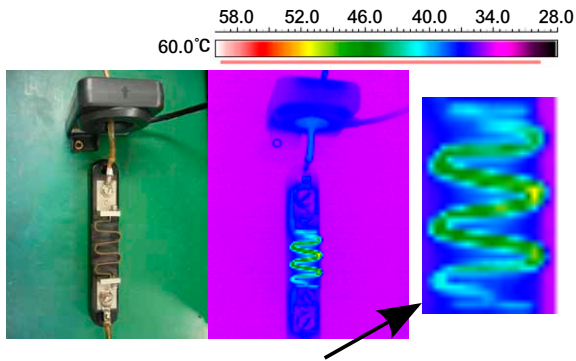


Fig. 2.2 分流電阻的自我發熱

Fig.2.2 中表示的是，在 $2\text{m}\Omega$ 的分流電阻上流過 20A 電流時自我發熱的情況。為了做比較，我們在接線上還放了本公司額定 50A 的電流感測器CT6862。可以看到，分流電阻因為自我放熱，溫度上升到了 50°C 左右。而電流感測器上幾乎看不到有自我發熱的現象。那麼就可以知道，使用電流感測器時對測量設備的損耗以及因自身的溫度特性而導致的對測量精度的影響，都是很微弱的。

從以上來看，直接接線方式在測量待機功率或LED照明的功耗這種，不太會受到分流電阻發熱影響的微弱電流($\sim 1\text{A}$ 左右)時，是非常有效的。

2.2 電流感測器方式

電流感測器方式，是要把電流感測器接在被測對象的接線上，把感測器的輸出訊號（電流或電壓）輸入到功率分析儀中的測量方法。使用電流感測器方式的話，測量對象的狀態就和實際工作中的狀態一樣，並且測量大電流時，自身的發熱也很微弱，不會影響測量精度。

我們大致把 5A 作為分界線，想要高精度測量比它還大的電流時，比起直接接線方式，使用電流感測器更為合適，在電力電子領域中一般也都是使用電流感測器方式的。

在Fig.2.3中，我們把直接接線方式和電流感測器方式各自能夠達到的高精度測量電流值的範圍，和頻率帶寬都標示出來了。只是，並不是說在這張圖表範圍以外的地方使用這兩種方法就一定不能測量，這點還請留意。

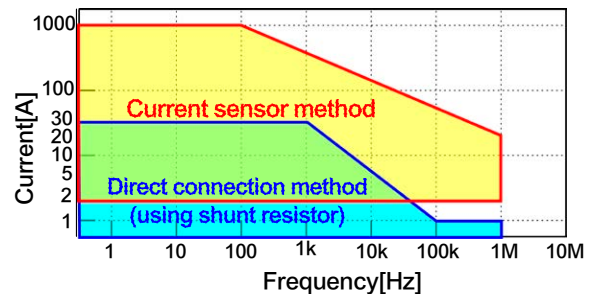


Fig.2.3 直接接線方式和電流感測器方式的高精度可測電流值範圍和頻率帶寬。（即使在圖中範圍以外的地方，也並不是說就一定不能測量了，這點還請留意）。

3 如何使用電流感測器去高精度的測量功率

如上所述，測量超過 5A 的電流時使用電流感測器方式是比較普遍的。電流感測器方式雖說沒有像直接接線方式這樣的缺點，但為了能夠高精度的測量電流，還是有幾點需要注意的。

在本章中，我們會介紹一下使用電流感測器方式去高精度的測量功率時的注意點。

3.1 選擇合適的電流感測器

要使用電流感測器做高精度、重現性較高的功率測量時，有一個前提就是要選擇合適的電流感測器。具體的選型標準，首先有以下2點。

- i) 電流感測器的額定電流值和測量對象電流的大小相匹配。
- ii) 測量對象電流的全頻率成分，都涵蓋在電流感測器的可測頻率帶寬之內。

在保證上述2點的情況下，更進一步說的話，

- iii) 在全頻段電流感測器的精度都有標定，並且精度要足夠好。
- iv) 電流感測器輸出的干擾、溫度特性，受導體位置的影響，外部磁場的干擾、帶磁的影響、同相電壓的影響等誤差因素都有標定，並且夠小。

這些在選擇電流感測器時，都是需要十分注意的。特別在 iii)中，普通的電流感測器精度只會限定在DC以及50/60Hz下。其他頻段大多都是給出一個代表特性就結束了。這裡需要留意。

使用感測器方式去高精度的測量電流時，包括功率分析儀，電流感測器也要性能足夠好才行。

3.2 功率測量系統(包含電流感測器)的整體最佳化

要使用電流感測器去高精度的測量功率，在前面章節所說的光是選用合適的電流感測器是不夠充分的。在測量前，需要對整體的功率測量系統(包括電流感測器)都做優化。因為，無論電流感測器能夠多麼高精度的去測量到電流，感測器的輸出訊號到功率分析儀為止的傳輸途徑上出現衰減的話，那麼也是無法實現高精度穩定測量的。

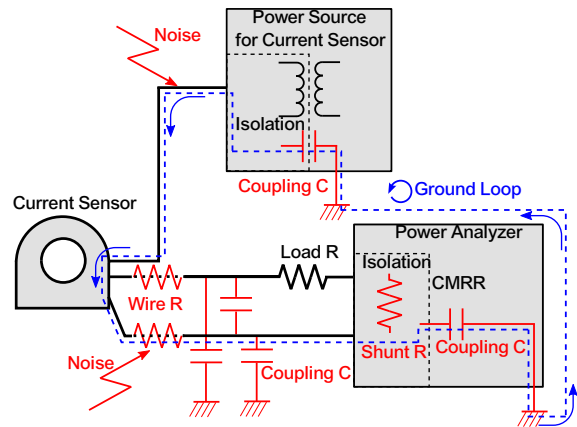


Fig. 3.1 一般的功率測量系統

Fig.3.1 中所示的是一般的帶電流感測器的功率測量系統。另外，前章節也有說過電流感測器是有分輸出電流訊號和輸出電壓訊號這兩種方式的。一般來說，比起電壓輸出，使用電流輸出的感測器較多，所以這裡我們以使用電流輸出的感測器為前提，來繼續進行討論。

要讓電流感測器的輸出訊號能夠毫無衰減的傳輸到功率分析儀中的話，有以下幾點條件，

- i) 用於感測器供電的電源品質較好，GND接地良好。
- ii) 線間以及線 - GND 間的耦合電容較小，抗干擾性較高。
- iii) 功率分析儀的電流輸入部位的頻率特性較好，發熱較小，絕緣性能 (CMRR較高、洩漏電流小) 強。另外，抗干擾性要好，接地方式恰當。

一般情況下，電流感測器、感測器用電源、功率分析儀的廠商都是各不相同，電纜線的種類或接線方法也都需要用戶自己去考慮。在這種情況下，在滿足上述所有條件的前提下，還要能夠保證將感測器的輸出訊號能夠毫無衰減地傳輸到功率分析儀，並且高精度測量到電流，這對於電

流感測器廠商、功率分析儀廠商，更不用說是供電給感測器的電源廠商了，可想而知都是相當困難的。

另一方面，本公司自從很久以來就用獨自的技術開發著電流感測器和功率分析儀。由1家公司來提供構成功率測量系統的所有要素的測量儀器廠商，在全世界都是絕無僅有的。本公司的功率測量系統的特徵，有以下幾點。

- i) 電流感測器為電壓輸出模式，對於可測頻率的全帶寬都有精度上的標定。
- ii) 功率分析儀的電流輸入為電壓輸出型電流感測器專用，感測器的輸出電壓電位和功率分析儀的電流輸入部位的輸入電壓電位做到了最佳化。
- iii) 功率分析儀中內置了感測器用的電源，供給給感測器的電源品質，也一定是能夠保證在精度範圍以內的。另外，本公司的功率分析儀的感測器用的電源和GND是一致的。同時也去除了接地所形成的一些干擾因數，在測量精度和重現性上都有充分考量。
- iv) 本公司使用的感測器輸出電纜線是屏蔽線，在抗干擾的同時，還會對感測器輸出的增益做調整，使電纜線導致的微弱的壓降部分能夠抵銷。

甚至本公司的電流感測器和功率分析儀組合之後，還會和第三方認證機構進行測量精度的評估和干擾試驗。在 Fig.3.2中，就是在第三方認證機構使用本公司的電流感測器(CT6862, CT6863, 9709, CT6841, CT6843, 3274) 和功率分析儀(PW6001)組合後，進行抗干擾實驗時的情形。

如上所述，為了使整體系統都呈現最佳化的狀態，除了對1個1個構成要素相當講究之外，這些構成要素所建構出的系統也會進行整體評估。也因此，本公司能提供世界最高水準的功率測量系統給客戶使用。

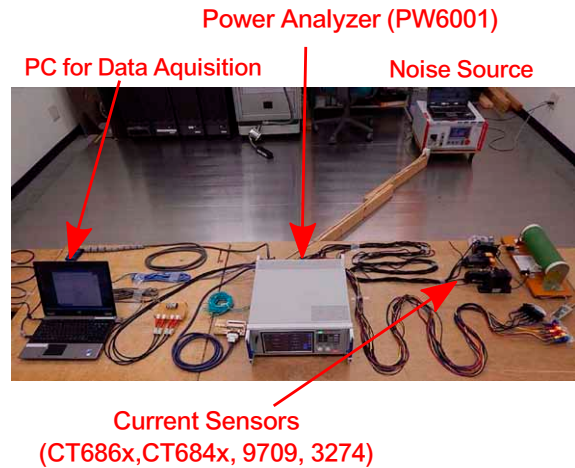


Fig. 3.2 第三方認證機構對本公司的功率測量系統做抗擾試驗時的情景

4 結語

在本稿中，我們對電力電子的領域中，在各種情況下需要用到高精度功率測量，特別是在電流測量技術上做了一個探討。並且對本公司長期以來獨自研發電流感測器及功率分析儀的一部份技術經驗也做了介紹。因篇幅的關係，本稿中還存在著許多沒有能夠詳細說明的內容，甚至是未能提到的地方。像這樣的情報，我們今後還供給各位廣大的讀者參考的。