

For 800kW Charging

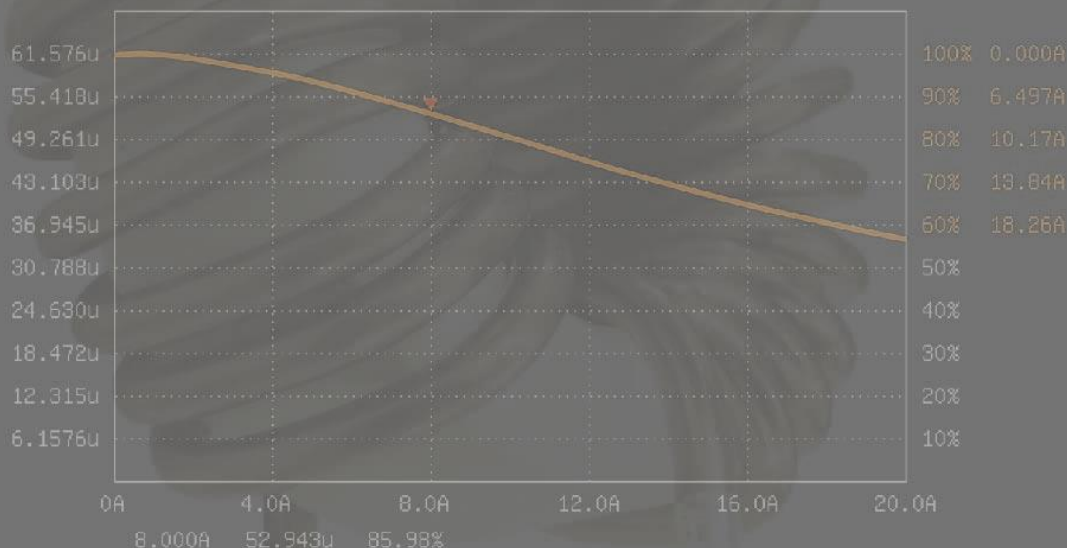
800kW超快充技術下 電感與變壓器設計與優化全攻略

磁飽和測試新標竿，突破磁性元件測試極限

MICROTEST推出業界唯一支援640A的DC偏流測試方案

新能源與電動車的關鍵利器-**6632S+6243H** DC偏流源測試系統

<SATURATION CURRENT I_{sat} >



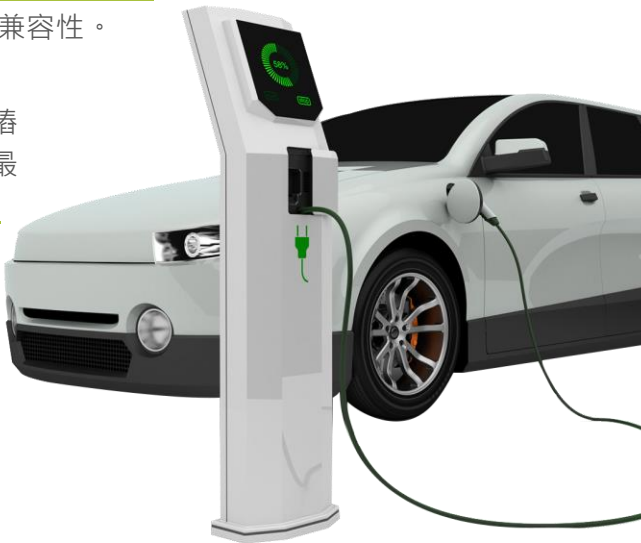
MICROTEST

電動汽車充電樁分類與最新標準(功率提升至800kW)

電動汽車充電樁分為直流充電樁和交流充電樁，快速充電的直流充電樁能在20至30分鐘內將電池從0%充至80%，充飽只需要40至50分鐘，直流充電樁常見的功率有58kW、120kW、180kW、250kW、350kW、360kW、480kW等。而慢速充電的交流充電樁需5至8小時才能充滿，常見的功率為7kW最大電流為32A與11kW最大電流為50A，以Tesla Model 3為例，續航里程為450公里，通過交流充電樁從0%充到100%需花費12小時進行充電。

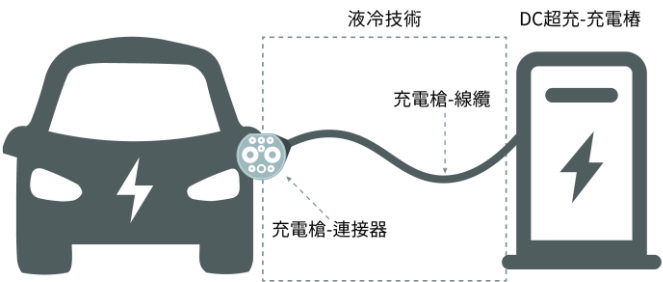
相比之下，直流充電速度明顯更快，2023年9月，中國工業和信息化部發布了兩項電動汽車充電標準（GB/T20234.1-2023和GB/T20234.3-2023），將最大充電電流從250A提高至800A，充電功率提升至800kW，同時保障新老充電接口的兼容性。

為解決電動汽車充電慢的核心痛點，利用提高充電樁的電壓和電流實現大功率超充技術，目前電樁輸出最大電流可達800A，最大電壓達到1000V，電動車已進入『分鐘級』充電時代。



從風冷到液冷 800kW超充開啓分鐘級充電時代

800kW超充技術使電動汽車充電速度進入『分鐘級』時代，但高功率充電也帶來了嚴重的發熱問題，過去傳統的風冷方式在面對大功率時，因散熱不均、效果差、噪音大等問題難以滿足高效散熱的需求，液冷技術解決了這一難題，液冷系統是指在充電槍和電纜中布置了專用液冷管路，利用了冷卻液(如水、乙二醇水溶液、空調製冷劑或矽油)的循環流動，快速有效地帶走熱量，保持充電設備在適宜的溫度範圍內工作，大幅提高散熱效率和均勻性、降低了噪音，液冷技術可支援更高的電流和電壓，以確保800kW超充設備在高功率條件下穩定運行，也減輕纜纜和連接器的重量，改善了設備因過熱而損壞，提升電動汽車充電設備的可靠性與壽命。



品牌	華為	威睿能源	特來電	星星充電	特斯拉
充電功率	600kW	800kW	600kW	480kW	600/250kW
散熱技術	液冷	液冷	液冷	液冷	液冷

電動汽車各家充電技術彙整

800kW超充技術-磁性元件設計與優化

電動車超充技術下，以800kW高功率超充為例，充電樁輸出最大電流達到800A，最大電壓達到1000V，為了實現全站最大功率輸出，同時，確保充電的高度安全性，充電樁的樁、線、槍、櫃四大模塊需要進行全面升級與優化。

提升電動汽車的續航距離需要增加電池容量，縮短充電時間需要高輸出能力的充電樁，以360kW充電樁為例，會使用到9組40kW的電源模塊，在電路拓撲方面，單向充電樁通常使用高效的三相Vienna整流器和LLC電路，而雙向充電樁會使用三相B6-PFC結合雙有源橋電路，以實現雙向能量傳輸，滿足電動汽車對電網和家庭供電的需求，在此過程中，除了功率元件外，磁性元件的設計與優化也是不可或缺的，兩者相輔相成，共同確保充電系統的高效、安全和可靠運行。

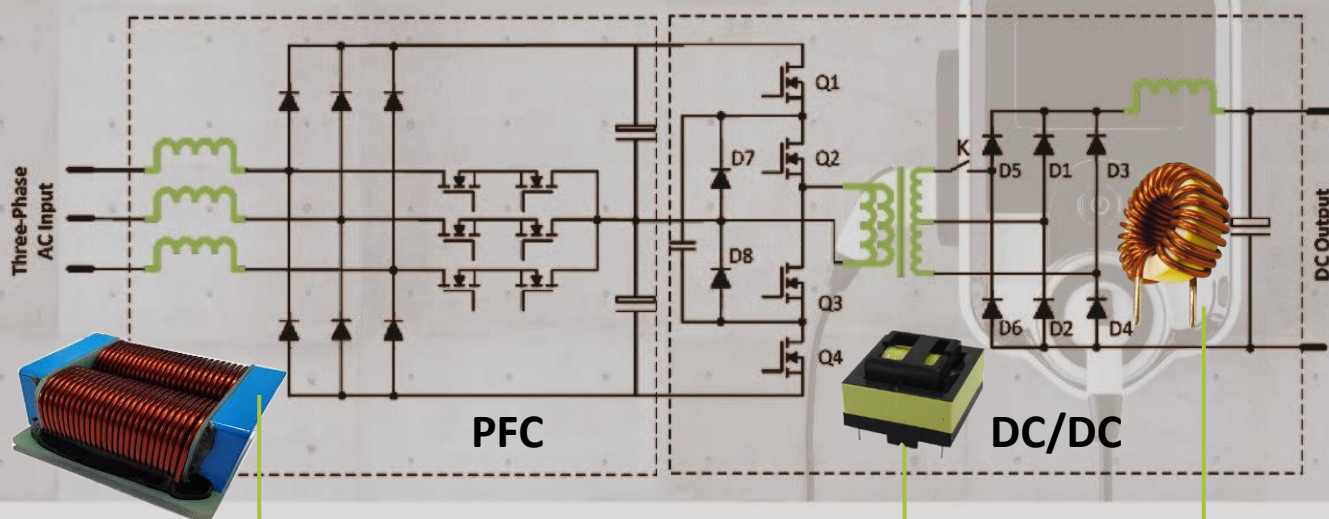
電動車高功率充電技術下

PFC電感、LLC變壓器與濾波電感等磁性元件是效能轉換的關鍵

在充電樁架構中，前級（電源轉換初始階段，包含整流濾波、功率因數校正、EMI濾波）和後級（電源轉換後續階段，包含DC-DC轉換、諧振變換、輸出濾波）都使用了多種磁性元件來實現高效的能量轉換。前級使用的磁性元件有PFC電感、共模電感和差模電感，其中PFC電感用來提高功率因數，減少諧波失真，共模電感則是抑制共模噪聲，減少電磁干擾，差模電感處理了濾波和平滑電流。後級會用到差模電感為DC-DC轉換器處理濾波工作，主變壓器用於電壓轉換和電氣隔離，諧振電感則在諧振變換器中提供高效能量傳遞。

磁性元件在高功率充電技術中的重要性不容忽視，可從磁芯材料、提高頻率、繞線方式、散熱管理等技術層面進行優化與設計。

車載充電，通常會使用Vienna功率因數校正(PFC)與三電平移相全橋DC/DC轉換器



● PFC電感

- 提高電路中的功率因數
- 減少諧波失真
- 改善電能的利用率

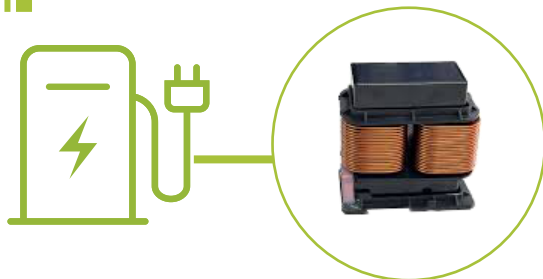
● LLC變壓器

- 高效能量轉換
- 體積小友善熱管理
- 適用於高頻工作
- 降低開關損耗

● 濾波電感

- 平滑電流
- 減少電磁干擾(EMI)
- 改善輸出電壓品質
- 降低高頻損耗

優化磁性元件應對高頻與散熱的對策



電動車電源模組採用分組式架構，在800kW超充系統中，以每組30kW電源模組需要26組，由於體積受限，電源模組需縮小，但在狹小空間中熱量難以散發，導致模組溫度升高，可能引發元件失效，降低充電系統的可靠性。

電源模組功率提高，考慮體積受限下，散熱機制是重要關鍵

CCM模式下的PFC電感面臨磁飽和的問題

在連續導通模式下(CCM)，電流始終在PFC電感中流動，易導致磁芯持續被磁化，如果電流過大或持續時間過長，磁芯內的磁通量會不斷增加，最終達到磁芯材料的飽和點，使電感量會急劇下降，同時，持續高電流會引起PFC電感的發熱，溫度升高將影響磁芯的磁性能，降低其飽和磁通密度，使得磁芯更容易達到飽和狀態，導致PFC電感無法再有效儲能和轉換電能。

為了實現充電樁的高功率輸出，溫度升高是最大的挑戰

提高工作頻率和縮小磁性元件體積會產生更多熱量，散熱不佳將導致溫度升高，可能損壞元件，而降低充電樁的可靠性和效率，因此，解決散熱問題是確保高功率充電樁穩定運行的關鍵。

液冷模組電源在電流密度降低與高頻工作的雙重壓力下

採用液冷模組電源中，在電流密度的取值要求更小與功率密度要高雙條件下，體積要縮小則須提高工作頻率，相對的磁性元件受到磁芯損耗、集敷效應、電磁干擾與熱管理挑戰。

因應電動車高溫、高飽和帶來的挑戰 | 磁性元件優化與設計的對策

磁性元件從磁芯到繞組優化與設計對於實現800kW高功率超充非常重要，磁芯材料的飽和磁通密度與導磁率，決定了磁芯在特定磁場強度下能容納的磁通量，高導磁率材料在低磁場強度下容易飽和，高電流則會導致磁通密度急劇增加，使磁芯進入飽和狀態，高頻操作產生了強烈磁場變化，也會增加磁芯飽和的風險，同時，工作溫度升高也會造成導磁率下降，使磁芯更容易飽和，當電感值下降，使濾波效果減弱、共模噪聲增加，變壓器的轉換效率變差，影響整個充電系統的穩定性和可靠性。

優化磁芯與繞組的重要決策點



磁芯尺寸與特性決定了它能處理的磁通量與電功率，確保磁芯不會飽和且能有效繞製。

$AP=A_e \cdot A_w$ (磁芯尺寸計算)

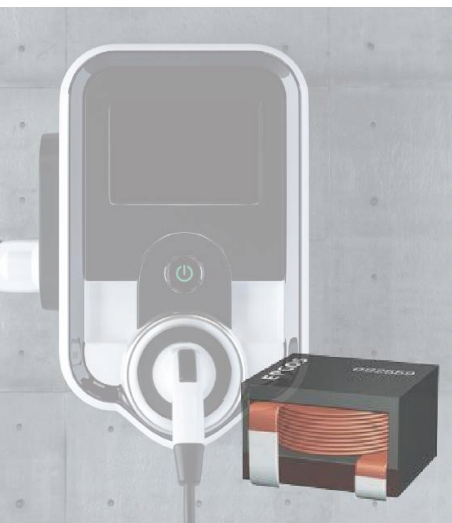
A_e 指的是磁芯中柱等效截面積足夠大避免磁飽和。

A_w 指的是超充實現短時間內傳輸大量電能，窗口面積足夠大，以確保更粗更多匝數的導線能被繞製。



繞組方式是根據工作頻率計算出渦流透入深度，選擇單股導線最大的線徑，同時，根據功率電流大小給定的電流密度，計算出導體總面積，最終確定出導線規格與繞組方式。優化繞組設計可降低損耗，可採用扁螺旋立繞方式，適合用於高頻與高功率的超充需求。

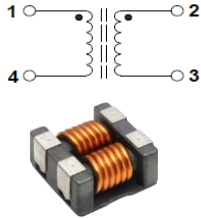
對銅箔厚度的選擇，在空間受限下，盡可能選擇厚一點，對於多股絞線，盡可能提高股數。



磁性元件影響高功率充電效能的關鍵 | 磁飽和電流與溫升電流

Part No.	OCL (1)-(4)&(2)-(3) (nH) ±15%	Li (1)-(4)&(2)-(3) (nH) Min.	DCR (1)-(4) (mΩ) ±10%	DCR (2)-(3) (mΩ) ±10%	Isat (1)-(4)&(2)-(3) (A) Typ.		Irms(1)-(4) (A)	Irms(2)-(3) (A)
					@25°C	@100°C		
GTLVR126011PV-R10L	105	71.4	0.125	0.37	125.0	106.0	77.0	45.0
GTLVR126011PV-R12L	120	81.6	0.125	0.37	102.0	87.0	77.0	45.0
GTLVR126011PV-R15L	150	102.0	0.125	0.37	84.0	71.0	77.0	45.0
GTLVR126011PV-R17L	170	115.6	0.125	0.37	70.0	60.0	77.0	45.0
GTLVR126011PV-R20L	200	136.0	0.125	0.37	58.0	50.0	77.0	45.0

Isat & Irms



關於磁飽和電流(Isat)與溫升電流(Irms)

磁飽和與過熱都會對電感的壽命產生負面影響，需要透過制定磁飽和電流 (Isat) 與溫升電流 (Irms) 兩個指標參數，以確保電感在正常工作條件下不會因飽和甚至過熱而損壞，在電動汽車充電樁的高功率和高溫條件下，磁飽和電流(Isat)能確保電感在大電流條件下不進入飽和狀態，保持其儲能和平滑電流的能力，溫升電流(Irms)則確保電感在允許的溫升範圍內工作，避免因過熱而導致性能下降或損壞，從而，優化充電樁電源系統的整體性能。

磁飽和電流的定義(Isat)

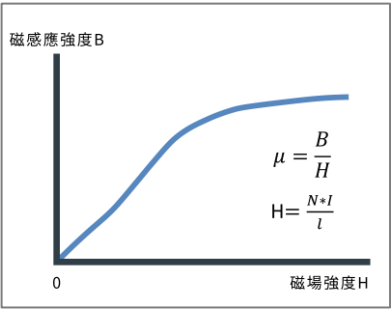
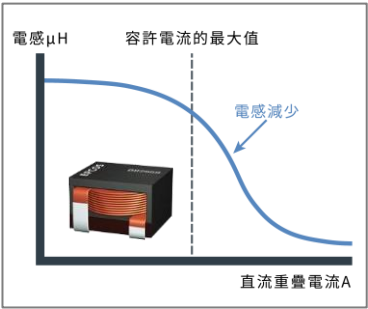
電感一般都含有磁芯，特別是功率電感，磁芯存在磁飽和現象，當磁場強度達到一定程度後，磁感應強度增加的趨勢會減緩，最終趨于飽和狀態，同時，磁芯的導磁率(μ)會大幅降低，導致電感值顯著下降，電感失去其正常的電流抑制能力。

飽和電流是以電感值下降程度為指標的額定電流，通常定義為電感值下降20-30%時的電流，可利用直流疊加的方法，測試電感值在不同電流下的衰減情況，以分析電感磁飽和特性。

電感值計算公式

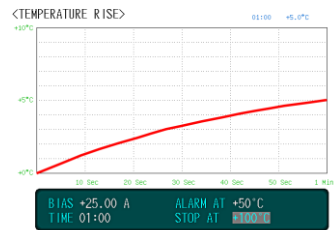


$$L = \frac{\mu * N^2 * S}{l}$$



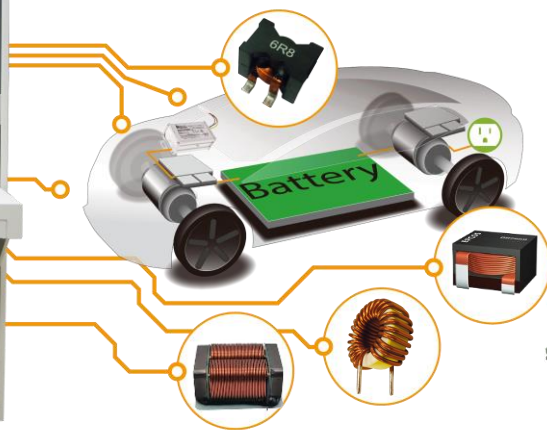
溫升電流的定義(Irms)

由於電感本身存在了寄生直流電阻，在工作狀態下電感內部溫度會隨著電流增高而上升，一般會將電感自我溫升溫度不超過20°C或 40°C時的電流當作溫升電流，也是電感產品的應用額定電流，確保在此電流範圍內工作時，電感器不會因過熱而損壞。



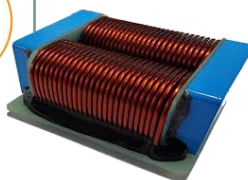
6632S+6243H DC偏流源測試系統

業界最高可支援640A電流輸出，新能源與電動車關鍵利器

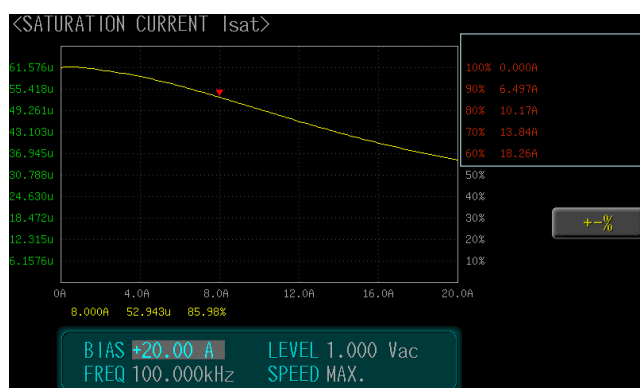


滿足高功率PFC電感大電流測試

- DC偏置電流輸出最大640A
- 高頻率響應100Hz-10MHz



磁飽和電流掃描分析功能，量測結果以電感值下降%顯示



顯示電感值加入DC偏置電流下降%

電感製造商通常定義為電感值下降了30%時的電流 (Isat)

支援磁飽和電流掃描分析，電流最大輸出高達640A，頻率響應最高100Hz-10MHz，在圖形分析模式下，X軸為施加的偏置電流，Y軸為電感值，量測結果直接顯示電感值下降百分比(%)，為工程師提供更直觀的方式，驗證高功率電感器的磁飽和電流。

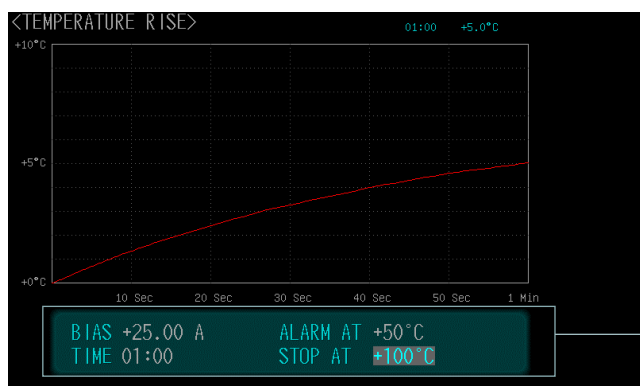
溫升電流分析功能，以銅材內阻量測技術更客觀更精準

採用銅材溫度係數為基礎進行電感溫升分析

依照銅導線的溫度係數約為3,930 ppm Tr溫升下，其電阻值
 $RDC_Tr = RDC (1 + 0.00393Tr)$
模擬電感的工作電流進行溫升量測
溫升計算方式以DCR為基礎
每上升一度C，DCR上升0.393%

$$\text{利用公式 } \Delta T = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \div 0.0039$$

計算出電感施加電流後的溫升特性



電流大小

設定警報的溫度

持續輸出時間

溫度上限與停止輸出

對電感線圈施加電流，模擬電感工作電流進行溫升特性的量測，量測時根據已知的規範(一般會將電感自我溫升溫度不超過20°C或 40°C時的電流當作溫升電流Irms)進行測試。

支援磁性材料分析功能-內置相對導磁係數量測



量測前請先將磁性材料切成環形狀態
(磁環可直接放上治具)



採用電感法測量技術進行導磁係數測試，儀器內置導磁係數公式，需選購搭載FX-0000C8導磁係數測試治具，直接可在機上量測出電感值(Ls)、導磁係數(μ_r' / μ_r'')。



FX-0000C8治具支援3種尺寸規格

- Type A: OD 8, ID 3.1, H 3 mm
- Type B: OD 20.5, ID 4.8, H 11 mm
- Type C: OD 65.5, ID 7.1, H 28 mm

支援等效電路分析，三元件/四元件建模實測與模擬解析磁性元件不可預期的變化 (選型6632S)

三元件建模			
Model A 高磁漏電感	Model B NFC	Model C 高阻值電阻	Model D 電容
四元件建模			
Model E 壓電片/石英晶體	Model F 電感等效串聯電阻	Model G 電容	

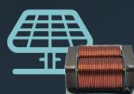
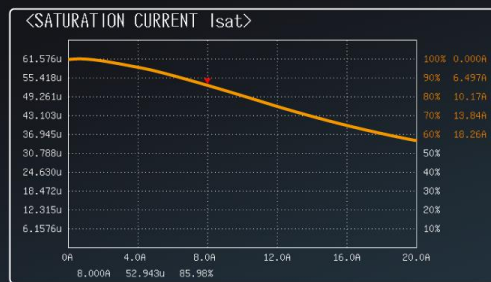


提供7種模型的等效電路分析，透過三元件或四元件建模，在不同頻率下計算阻抗軌跡，並與實際測量曲線進行比較，可調整R1/L1/C1值，觀察阻抗和頻率特性的變化，評估自諧振頻率點偏移，非常適合研發新材料或新製程工藝階段快速精準分析元件可能的差異性。

業界最高
640A輸出

- DC偏置電流最大輸出640A
- 頻率響應100Hz~10MHz
- 磁飽和電流&溫升特性分析
- 內置導磁係數量測(μ r)

大電流磁飽和分析的唯一選擇



MICROTEST直流偏置電流源測試系統是由阻抗分析儀/LCR Meter搭載直流偏置電流源，可分析可分析磁性元件飽和與溫升特性，搭載阻抗分析儀提供磁飽和電流與溫升電流掃圖分析，量測數據可透過USB Host介面擷取，也能選購PC軟體進行遠端程控與收集數據，針對產線需求可規劃機櫃型或桌上型方案。

規劃方案	機櫃式+PC	桌上型+PC	桌上型
LCR測試儀/阻抗分析儀	●	●	●
DC偏置電流源	●	●	●
PC軟體	●	●	/
測試治具	DIP型元件測試治具		SMD型元件測試治具
	F6210		F6220 FX-DB0001
特色	- 容易管理與維護 - 移動便捷 - PC程控與收集數據		- 適合研發或實驗室空間 - PC程控與收集數據 - 機上操作設定進行測試

提供三大系列6632+、6632S+與6350+系列，可根據量測需求選型

系列	功能	適合對象
6632+	6632阻抗分析儀搭載DC偏流源，支援圖形分析與Meter模式，提供磁飽和電流、溫升電流掃圖分析。	研發/驗證
6632S+	6632阻抗分析儀搭載DC偏流源，支援圖形分析與Meter模式，提供磁飽和電流、溫升電流、等效電路分析。	研發/驗證
6350+	6355/6356 LCR Meter搭載DC偏流源，支援Meter模式，提供磁飽和電流測試。	生產/品保

6632+ / 6632S+ 系列

DC偏置電流源測試系統



Handler

- 最大輸出電流640A/320A/120A/60A
- 頻率響應 100Hz-30MHz/10MHz/3MHz
- 磁飽和電流掃圖分析
- 溫升電流掃圖分析
- 等效電路分析 (6632S+ 系列)
- 支援PC連線軟體

DC偏流源測試系統是阻抗分析儀6632/6632S搭載DC偏流源，可分析電感器/線圈/鐵氧體/鐵芯等飽和特性，此外還提供相對導磁係數(μ_r)測試，分析磁性材料關鍵特性，本系統支援磁飽和電流與溫升電流掃描分析，提供給研發工程師快速精準的電流曲線變化，導入生產線可選擇電錶模式/多步模式，量測結果以數值顯示，同時支援PC連線軟體存儲測試數據或進行報表分析。

6632+系列、6632S+系列 (S機種支援等效電路分析功能)

阻抗分析儀	6632 6632S	6632 6632S	6632 6632S	6632 6632S	6632 6632S	6632 6632S	6632 6632S
DC偏流源	6210	6220	6223	6225	6240A	6243	6243H
頻率響應	100Hz-3MHz	100Hz-3MHz	100Hz-10MHz	100Hz-30MHz	100Hz-3MHz	100Hz-10MHz	100Hz-10MHz
最大輸出電流	60A	120A	120A	20A	320A	320A	640A
最多重疊台數	6	6	6	1	8	8	16
單台輸出電流	10A	20A	20A	20A	40A	40A	40A
消耗功率	320W	320W	320W	320W	640W	640W	640W
電流精度	0.000A-1.000A 1%+5mA 1.001A-5.000A 2% 5.001A-40.000A 3%						
定功率輸出	●	●	●	●	●	●	●
正負電流切換	●	●	●	—	●	●	●
量測功能	• 直流電阻量測功能(DCR) • 磁飽和電流掃圖分析 • 溫升電流掃圖分析 • Meter/列表測試模式/選型6632S+系列支援等效電路分析功能						

阻抗分析儀 6632/6632S (可根據量測頻率選型)

6632-1 6632-1S	6632-3 6632-3S	6632-5 6632-5S	6632-10 6632-10S	6632-20 6632-20	6632-30 6632-30S	6632-50 6632-50S
10Hz-1MHz	10Hz-3MHz	10Hz-5MHz	10Hz-10MHz	10Hz-20MHz	10Hz-30MHz	10Hz-50MHz
基本量測精度	±0.08% (典型值±0.05%)					
輸出阻抗	25Ω/100Ω (可切換)					
內置DC偏壓	0~±12V					
量測參數	Z (阻抗)、 Y (導納)、θ(相位角)、X(電抗)、R(串並聯電阻)、G(電導)、B(電納)、L(電感) D(損耗因數)、Q(品質因數)、DCR(直流電阻)、C(電容)、ESR(等效串聯電阻) ε _r (相對介電係數)、μ _r (相對導磁係數)					

6350+ 系列
DC偏置電流源測試系統

- 最大輸出電流640A/320A/120A
- 頻率響應 100Hz-500kHz/200kHz
- 加入DC Bias電流測試電感值
- 支援Meter Mode/List Mode
- 支援PC連線軟體



RS-232

Handler

DC偏流源測試系統是LCR測試儀6355/6356搭載DC偏流源，可分析電感器/線圈/鐵氧體/鐵芯等飽和特性，可精準驗證測試磁性元件重要的指標電流-磁飽和電流(Isat)，導入生產線可選擇電錶模式/多步模式，量測結果以數值顯示，同時支援PC連線軟體存儲測試數據或進行報表分析。

6350+ 系列						
LCR Meter	6355	6355	6355	6356	6356	6356
DC偏流源	6223	6243	6243H	6223	6243	6243H
頻率響應	100Hz-200kHz	100Hz-200kHz	100Hz-200kHz	100Hz-500kHz	100Hz-500kHz	100Hz-500kHz
最大輸出電流	120A	320A	640A	120A	320A	640A
最多重疊台數	6	8	16	6	8	16
單台輸出電流	20A	40A	40A	20A	40A	40A
消耗功率	320W	640W	640W	320W	640W	640W
電流精度	0.000A-1.000A 1%+5mA 1.001A-5.000A 2% 5.001A-40.000A 3%					
定功率輸出	●	●	●	●	●	●
正負電流切換	●	●	●	●	●	●
量測功能	• 直流電阻量測功能(DCR) • 直流偏置大電流輸出測試元件飽和特性 • Meter/列表測試模式					
LCR Meter (可根據量測頻率選型)						
6355			6356			
100Hz-200kHz			100Hz-500kHz			
基本量測精度	±0.05%					
輸出阻抗	100Ω					
量測參數	Z (阻抗)、 Y (導納)、θ(相位角)、X(電抗)、R(串並聯電阻)、G(電導)、B(電納)、L(電感)、D(損耗因數)、Q(品質因數)、DCR(直流電阻)、C(電容)、Δ%					

MICROTEST DC偏流源測試系統 選型				頻率響應	最大電流	重疊台數	功能
6632+系列	阻抗分析儀	6632	6243H	100Hz-10MHz	640A	16	Meter模式
6632S+系列	阻抗分析儀	6632	6243H	100Hz-10MHz	640A	16	圖形+等效電路分析
6350+系列	LCR Meter	6356	6243H	100Hz-500kHz	640A	16	Meter模式
6350+系列	LCR Meter	6355	6243H	100Hz-200kHz	640A	16	Meter模式
6632+系列	阻抗分析儀	6632	6210	100Hz-3MHz	60A	6	圖形+Meter模式
6632S+系列	阻抗分析儀	6632	6210	100Hz-3MHz	60A	6	圖形+等效電路分析
6632+系列	阻抗分析儀	6632	6220	100Hz-3MHz	20A	6	圖形+Meter模式
6632S+系列	阻抗分析儀	6632	6220	100Hz-3MHz	20A	6	圖形+等效電路分析
6632+系列	阻抗分析儀	6632	6223	100Hz-10MHz	20A	6	圖形+Meter模式
6632S+系列	阻抗分析儀	6632	6223	100Hz-10MHz	20A	6	圖形+等效電路分析
6632+系列	阻抗分析儀	6632	6225	100Hz-30MHz	20A	1	圖形+Meter模式
6632S+系列	阻抗分析儀	6632	6225	100Hz-30MHz	20A	1	圖形+等效電路分析
6632+系列	阻抗分析儀	6632	6240A	100Hz-3MHz	320A	8	圖形+Meter模式
6632S+系列	阻抗分析儀	6632	6240A	100Hz-3MHz	320A	8	圖形_等效電路分析
6632+系列	阻抗分析儀	6632	6243	100Hz-10MHz	320A	8	圖形+Meter模式
6632S+系列	阻抗分析儀	6632	6243	100Hz-10MHz	320A	8	圖形+等效電路分析
6350+系列	LCR Meter	6356	6243	100Hz-500kHz	320A	8	Meter模式
6350+系列	LCR Meter	6355	6243	100Hz-200kHz	320A	8	Meter模式

標配項目

- 電源線
- 網路線
- F6210 DIP型元件測試治具
- 電流連接片(黑/紅) ★搭載2台以上DC偏流源

選配項目

- PC連線軟體
- F6220 SMD型元件測試治具
- FX-DB0001 SMD型元件測試治具
- BNC+BNC連接線
- 電流連接片(長/短)

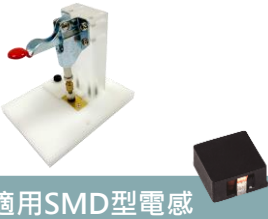
可根據電感類型選型測試治具

F6210



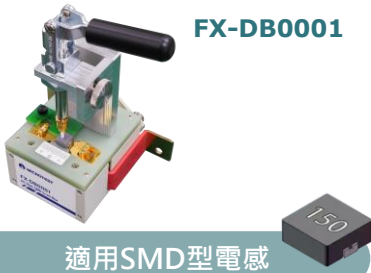
適用DIP型電感

F6220



適用SMD型電感

FX-DB0001



適用SMD型電感