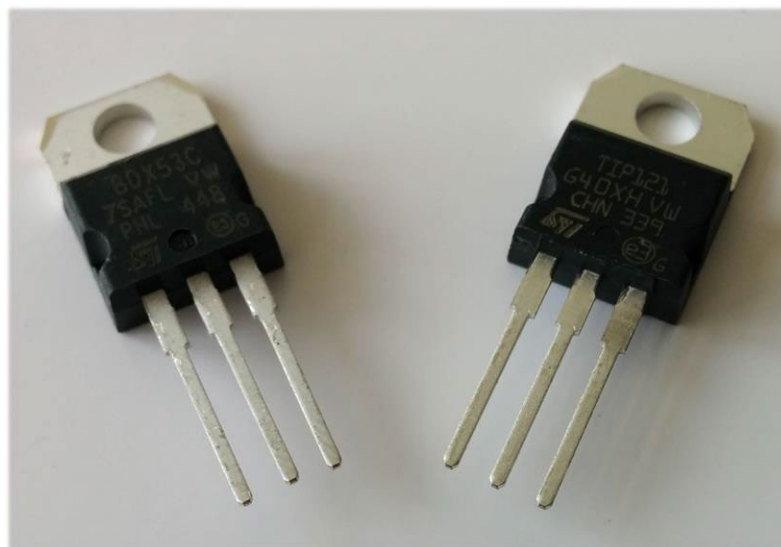


Bode 100 – アプリケーションノート

バイポーラトランジスタの交流電流増幅率測定



By Benjamin Möblang
© 2017 by OMICRON Lab – V2.0

Visit www.omicron-lab.com for more information.
Contact support@omicron-lab.com for technical support.

目次

1	はじめに.....	3
2	測定タスク.....	3
3	測定セットアップ.....	4
3.1	使用機器.....	4
3.2	試験対象.....	4
3.3	測定セットアップ.....	5
3.4	電流プローブアンプ.....	7
3.5	Bode 100 の設定.....	7
3.6	キャリブレーション.....	9
4	測定結果.....	10
4.1	BDX53C.....	10
4.2	TIP121.....	11
5	まとめ.....	12
6	参考文献.....	12

Note: Bode 100 のセットアップ、調整、キャリブレーションなどの基本的な操作手順については、Bode 100 ユーザーマニュアルに記載されています。ユーザーマニュアルは以下の URL からダウンロードできます。
www.omicron-lab.com/bode-100/downloads#3

Note: 本アプリケーションノートに掲載されているすべての測定は、Bode Analyzer Suite V3.0 を使用して実施しています。本書の測定を再現する場合は、V3.0 以上のバージョンを使用してください。最新版は以下の URL からダウンロードできます。

www.omicron-lab.com/bode-100/downloads

1 はじめに

本アプリケーションノートでは、Bode 100 ベクトルネットワークアナライザとPICOTEST J2130A DC バイアスインジェクタを使用して、バイポーラトランジスタの交流電流増幅率(h_{fe}^1)を測定する方法について説明します。

被測定デバイス(DUT)には、バイポーラ・ダーリントン・トランジスタ BDX53C および TIP121 を使用します。

2 測定タスク

バイポーラトランジスタを含む設計の周波数特性を最適化するためには、使用しているトランジスタの交流電流増幅率 h_{fe} を測定することが有用です。

交流電流増幅率 h_{fe} は、周波数に依存するコレクタ電流 I_C とベース電流 I_B の比として定義されます。

$$h_{fe}(f) = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \text{ with } V_{CE} \text{ const.} \quad (1)$$

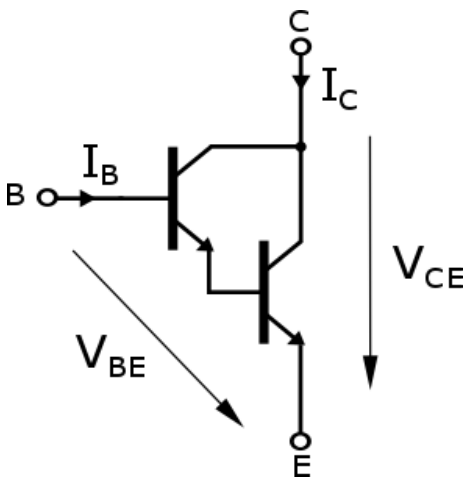


Figure 1: バイポーラ・ダーリントン NPN トランジスタ

この測定を行うため、CH1 でベース電流 I_B 、CH2 でコレクタ電流 I_C を測定し、Gain 測定を実行します。これにより、周波数に対する交流電流増幅率 $h_{fe}(f)$ が得られます。

¹ h_{fe} は交流電流増幅率、 h_{FE} は直流電流増幅率を示します。

3 測定セットアップ

3.1 使用機器

- Bode 100 ベクトルネットワークアナライザ(PC 接続)
- PICOTEST J2130A DC バイアスイnjekタ
- Tektronix A6302 電流プローブ ×2
- Tektronix AM503B 電流プローブアンプ ×2
- Hameg HM7042-5 トリプル電源
- Maxwell BCAP0310(310 F スーパーキャパシタ)
- Fluke 87 デジタルマルチメータ
- BDX53C ダーリントントランジスタ
- TIP121 ダーリントントランジスタ
- アクティブヒートシンク

3.2 試験対象

今回の DUT(被測定デバイス)は、BDX53、TIP121の 2 種類のダーリントントランジスタです。これらのトランジスタが過熱しないよう、アクティブヒートシンク上に取り付けて測定を行います。両デバイスとも TO-220 パッケージです。

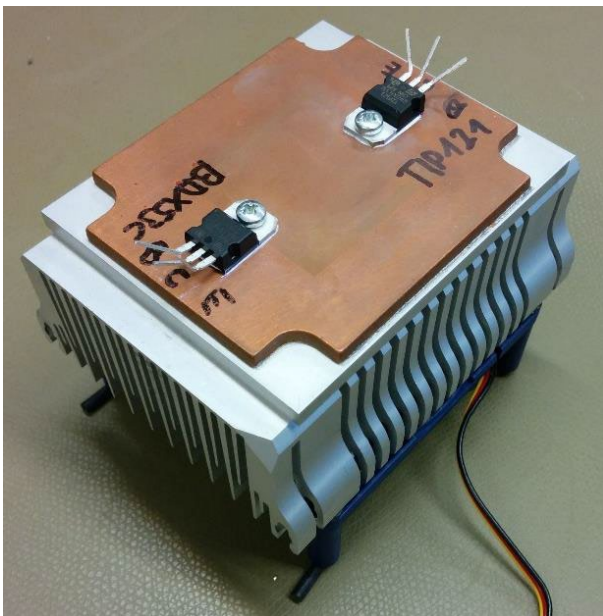


Figure 2: アクティブヒートシンクに取り付けられた DUT

データシートより:

BDX53C:

- $h_{FE,min} = 750$ at $I_C = 3 A$ and $V_{CE} = 3 V$
- $V_{CEmax} = 100 V$
- $I_{Cmax} = 8 A$
- $V_{BEmax} = 5 V$

TIP121:

- $h_{FE,min} = 1000$ at $I_C = 3 A$ and $V_{CE} = 3 V$
- $V_{CEmax} = 80 V$
- $I_{Cmax} = 5 A$
- $V_{BEmax} = 5 V$

3.3 測定セットアップ

交流電流増幅率を測定するため、以下の図に示すように測定を構成します。

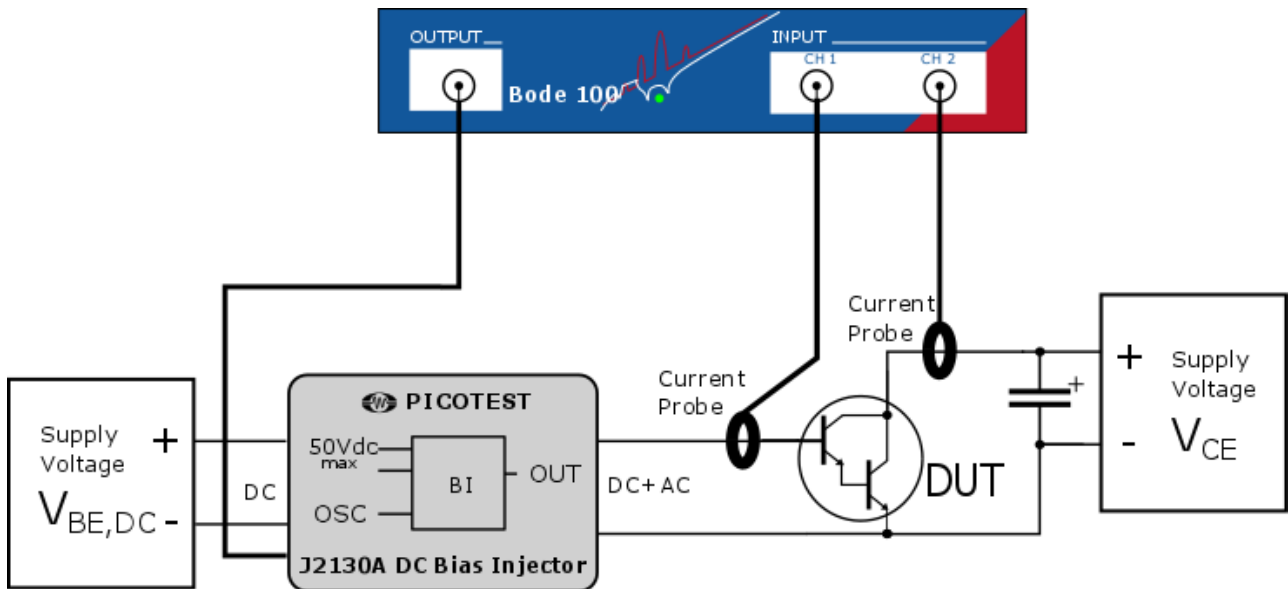


Figure 3: 測定セットアップ

PICOTEST J2130A DC バイアスインジェクタを用いて、ベース-エミッタ間電圧 V_{BE} に直流バイアスを印加します。これはトランジスタを 順方向アクティブ領域 (forward-active region) に入れるため、この領域ではトランジスタの動作が近似的に線形となります。そのため、今回は $V_{BE} = 1.5\text{ V}$ に設定します。Bode 100 の出力は、バイアスインジェクタの OSC 入力へ入力されます。

コレクタ-エミッタ間電圧 V_{CE} は、実験用直流電源により 2.5 V DC に設定します。一方、コレクタ電流 I_C の AC 成分は高周波であるため、電源出力のインピーダンスが測定に影響しないよう、スーパーキャパシタ (Maxwell 310 F / 2.7 V) を直流電源に並列接続して補助しています。この対策を行わない場合、高周波領域で電源の出力インピーダンスが影響し、正しい測定ができなくなります。このアプローチの妥当性を確認するため、文献 [1] (OMICRON Lab, 2015) に従い、直流電源の出力インピーダンスの測定を実施しています。

次の図は、電源装置の出カインピーダンス測定結果を示しています。

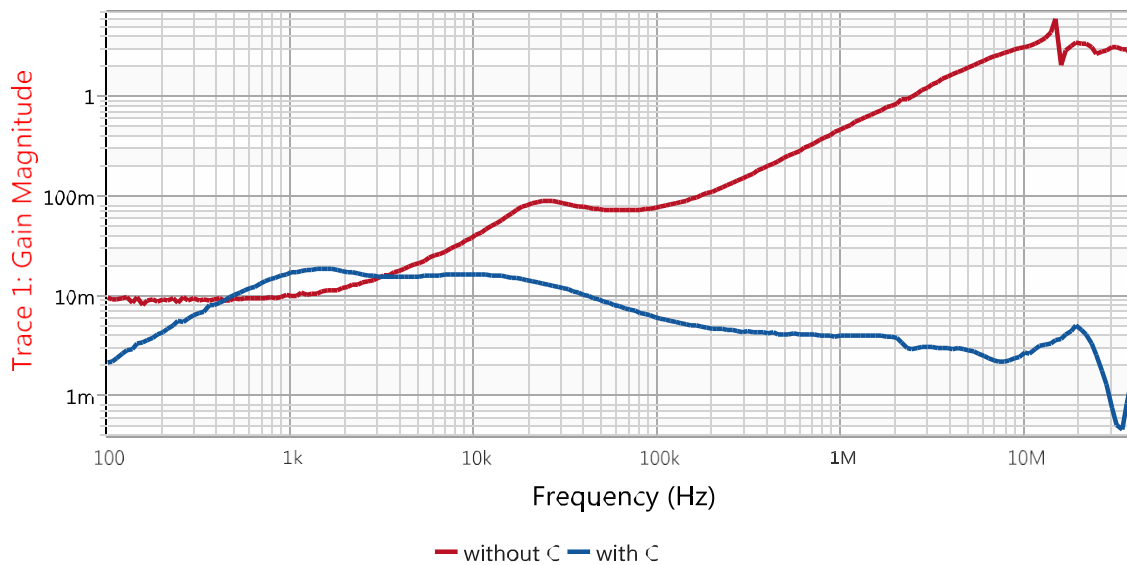


Figure 4: 電源の出カインピーダンス[Ω].

赤線は、電源単体の出カインピーダンスを示しています。高周波になるにつれ、出カインピーダンスは 100 mΩ を超えて上昇しています。この状態では、交流コレクタ電流 ΔI_c がトランジスタではなく電源のインピーダンスによって制限されてしまい測定誤差が発生します。そこで、電源に低インピーダンスのスーパーキャパシタを追加すると、周波数全域で出カインピーダンスが 20 mΩ 未満に低下し、低周波・高周波ともに非常に良好な特性を示します。なお、配線インダクタンスを最小化するため、スーパーキャパシタは DUT に直接取り付けられています。

CH1 の電流プローブでは ベース電流の AC 成分 ΔI_B を測定し、CH2 の電流プローブでは コレクタ電流の AC 成分 ΔI_c を測定します。

以下の図は、 h_{fe} (交流電流増幅率)測定セットアップの詳細を示しています。

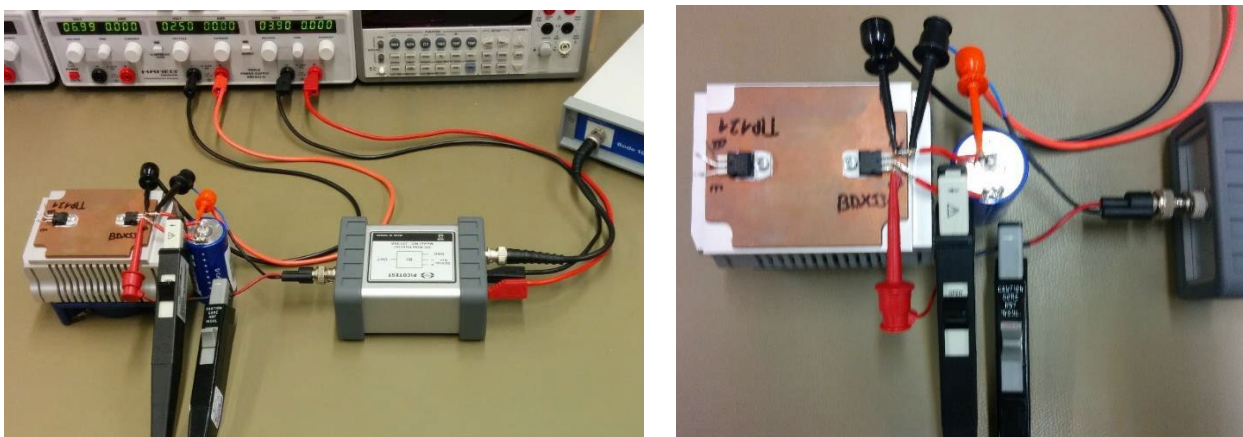


Figure 5: 測定セットアップ

3.4 電流プローブアンプ

2つの電流プローブアンプは、同じ増幅率(Gain) に設定します。これにより、CH1 と CH2 の増幅率が 相殺され、測定結果に影響しない ようになります。また、低周波測定を可能にするため、カップリング(Coupling)は DC に設定します。



Figure 6: 2 台の電流プローブアンプ

3.5 Bode 100 の設定

まず、Bode Analyzer Suite で 測定タイプを “Gain / Phase” に設定します。

Welcome, please select a measurement type...

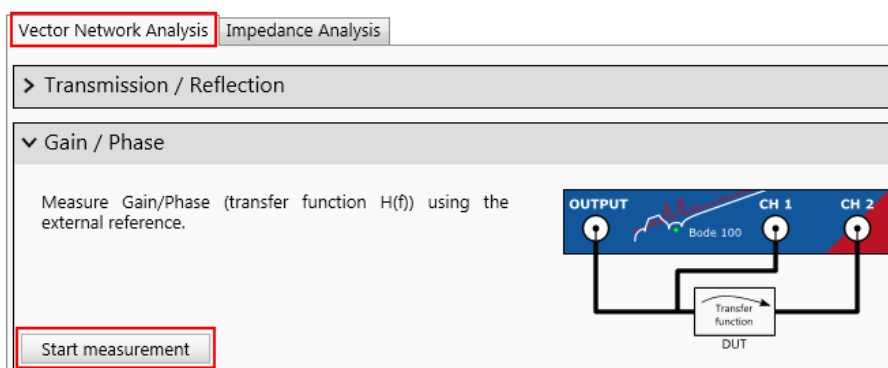


Figure 7: 測定タイプを Gain / Phase に設定

次に、Hardware Setup を開き、チャンネル 1 とチャンネル 2 を 50 Ω に設定します。



Figure 8: Hardware Setup の表示

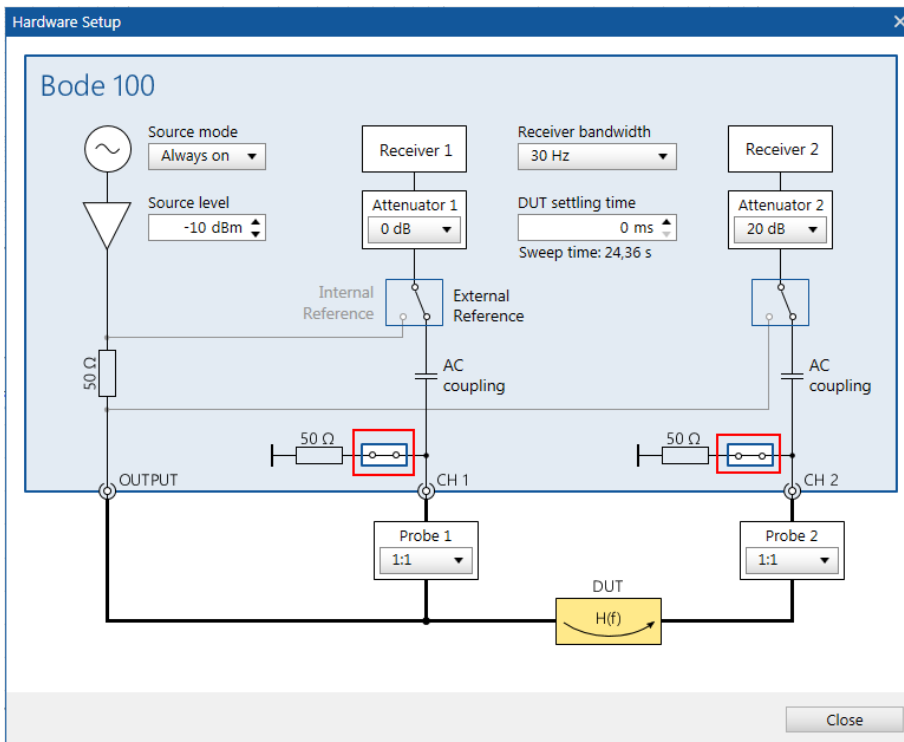


Figure 9: Hardware Setup ウィンドウ

測定設定は次のとおりです。

Frequency	Sweep	Fixed
Start frequency	10 Hz	
Stop frequency	1 MHz	
Center	500,005 kHz	
Span	999,99 kHz	
Get from zoom		
Sweep	Linear	Logarithmic
Number of points	201	
Level	Constant	Variable
Source level	-10 dBm	
Attenuator	Receiver 1	Receiver 2
	0 dB	20 dB
Receiver bandwidth	30 Hz	

Figure 10: 測定設定

3.6 キャリブレーション

測定を開始する前に、セットアップのキャリブレーションを行う必要があります。そのため、ユーザーレンジ・キャリブレーション(User-Range Calibration) を実施します。

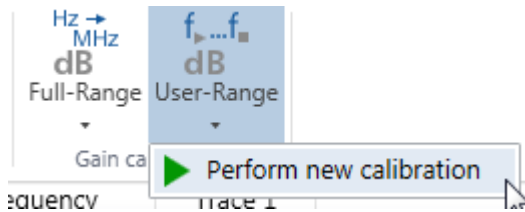


Figure 11: ユーザーレンジ・キャリブレーションを実行

キャリブレーションウィンドウの Start ボタンをクリックすると、Thru キャリブレーション が開始されます。

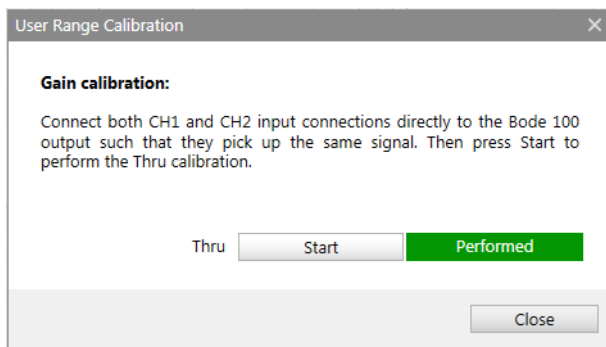


Figure 12: THRU キャリブレーション

次の図は、Thru キャリブレーション時の接続セットアップを示しています。

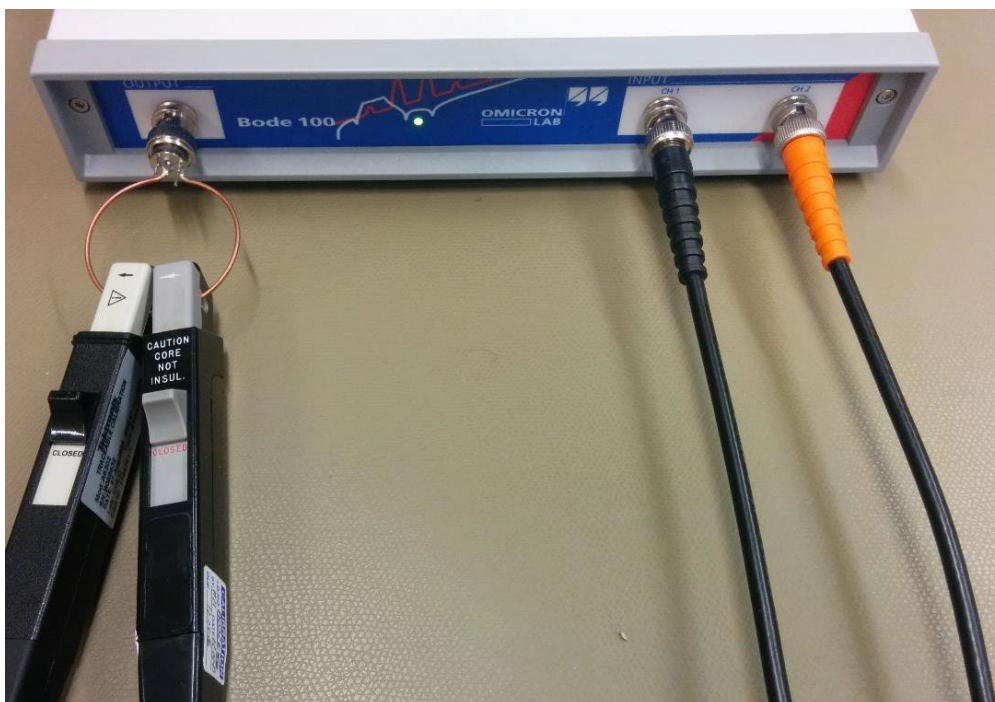


Figure 13: THRU キャリブレーション

4 測定結果

4.1 BDX53C

まず BDX53C の測定を行いました。1 回の測定により、以下の結果が得られています。

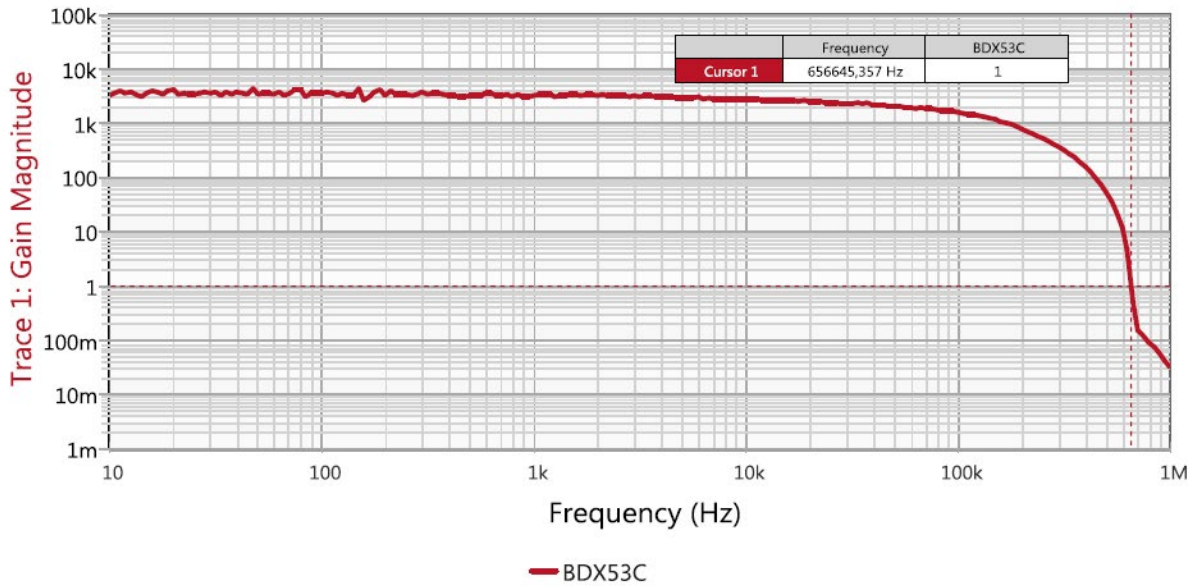


Figure 14: BDX53C — 交流電流増幅率 Magnitude

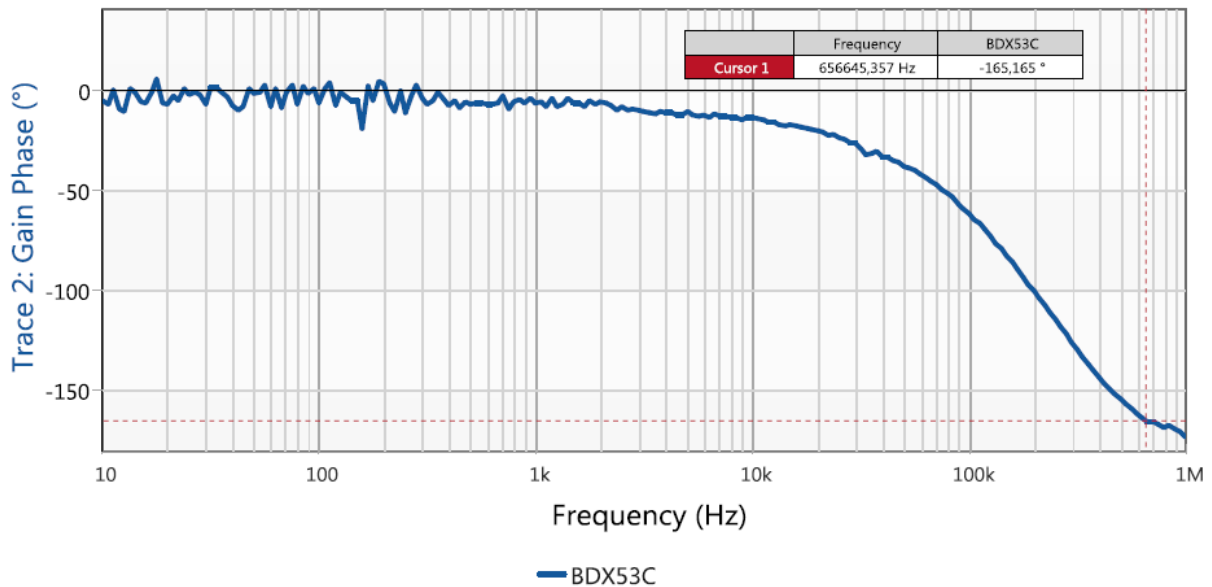


Figure 15: BDX53C — 交流電流増幅率 Phase

このトランジスタは、交流電流増幅率が約3500で、また周波数に対して非常に線形な挙動を示しています。電流増幅率の減衰は約 100 kHz 付近から始まります。また、遷移周波数 f_T はおおよそ 657 kHz位相も同様の傾向を示すが、Magnitude より早い段階で下降し始めるという結果が得られています。

4.2 TIP121

次に TIP121 を接続し、測定を行いました。1 回の測定で、以下のカーブが得られています。

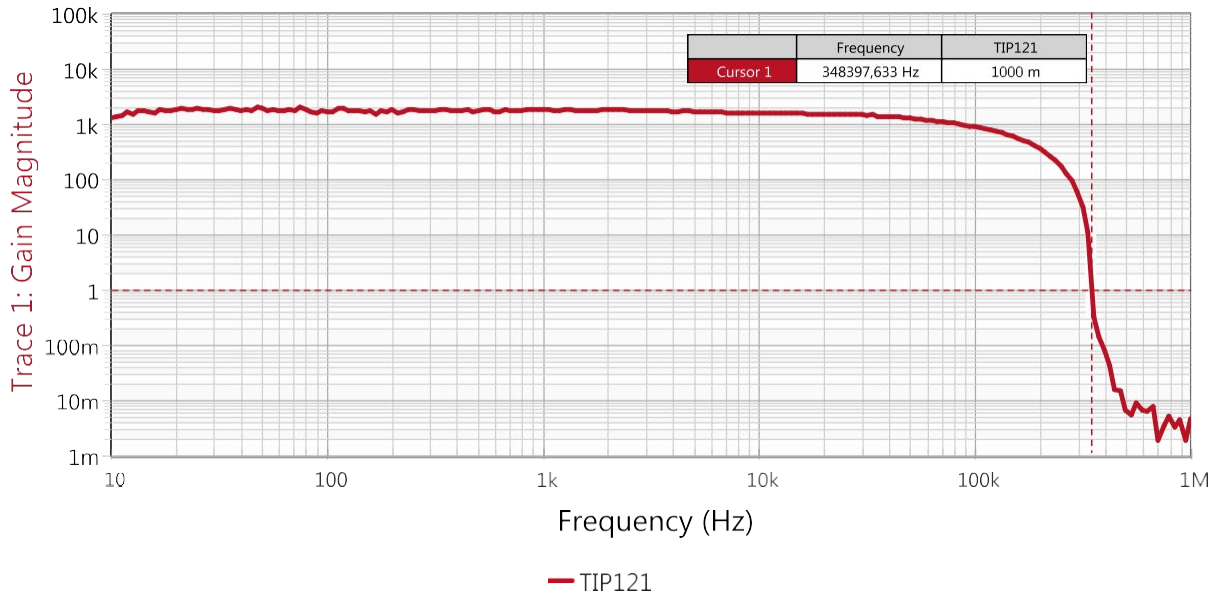


Figure 16: TIP121 — 交流電流増幅率 Magnitude

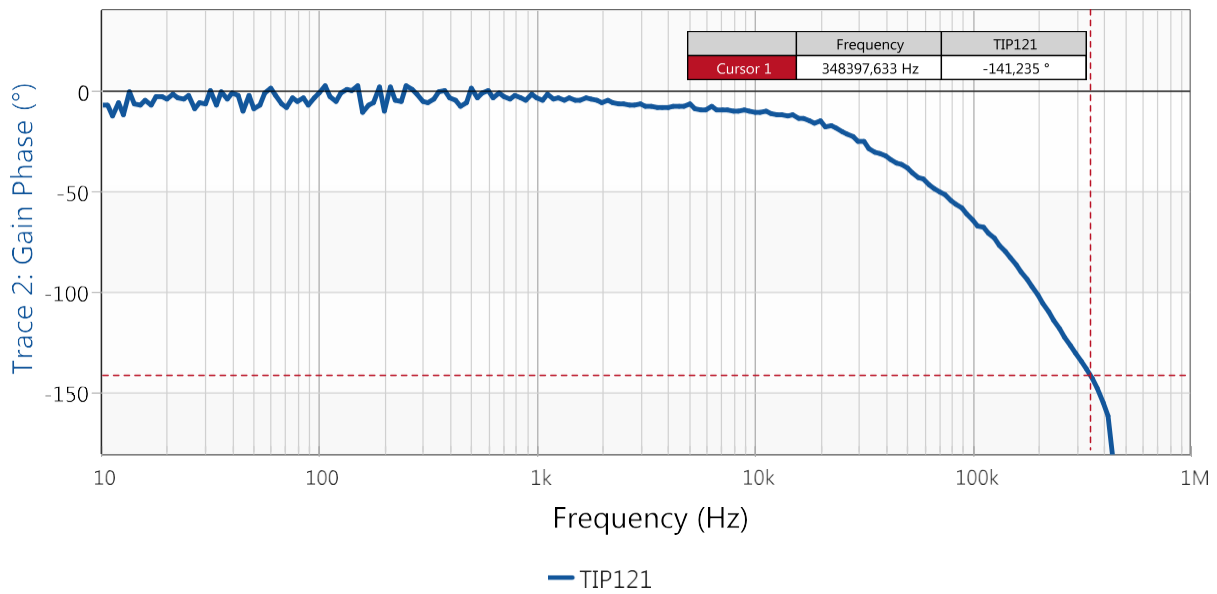


Figure 17: TIP121 — 交流電流増幅率 Phase

Th BDX53C と比較すると TIP121 の特徴は交流電流増幅率(AC gain)が約 2000 と低めでカットオフ (増幅率の減衰)エッジがより急峻、遷移周波数 $f_T \approx 348$ kHzとなっています。

5 まとめ

本アプリケーションノートでは、バイポーラトランジスタの交流電流増幅率(h_{fe})を測定する方法を示しました。また、高周波領域における電源装置の出力インピーダンスが、測定結果の正確性に大きく影響することも示されています。

Bode 100 ベクトルネットワークアナライザとJ2130A DC バイアスインジェクタを組み合わせることで、バイポーラトランジスタの交流電流増幅率を簡便かつ高精度に測定することができます。Bode 100 は扱いやすく、幅広い測定用途に対応する強力な測定基盤を提供します。

6 参考文献

- [1] OMICRON Lab. (2015). *Traditional and Non-Invasive Stability Measurements*. Retrieved from OMICRON Lab "Smart Measurement Solutions":
https://www.omicron-lab.com/fileadmin/assets/application_notes/App_Note_Traditional_Noninvasive_Stability_V2_0.pdf



OMICRON Lab は、電子工学分野に携わる 研究者、技術者、教育関係者といった専門家向けに、スマートな計測ソリューションを提供することに特化した OMICRON electronics の事業部門です。計測作業を簡素化することで、お客様が本来の業務により多くの時間を割けるよう支援しています。

OMICRON Lab は 2006 年に設立され、現在では 40か国以上のお客様に製品とサービスを提供しています。アメリカ、ヨーロッパ、東アジアに拠点を構え、さらに国際的な販売代理店ネットワークを通じて、迅速かつ卓越したカスタマーサポートを実現しています。

OMICRON Lab の製品は、市場において最適な価格対価比(コストパフォーマンス)で提供される高品質を特長としています。高い信頼性と使いやすさにより、トラブルのない運用を可能にします。また、顧客との密接な関係と 25年以上にわたる社内での専門技術の蓄積により、現場のニーズに即した革新的な製品開発を実現しています。

製造元
OMICRON electronics GmbH

販売元
岩崎通信機株式会社

info@omicron-lab.com • www.omicron-lab.com

Smart Measurement Solutions®