

非線形デバイス特性の高精度測定 High-precision measurement of the nonlinear device characteristics

小幡 紗織 濱崎 利彦
Saori Obata Toshihiko Hamasaki
広島工業大学情報学部情報工学科
Email:b111025@cc.it-hiroshima.ac.jp

Abstract—Today the vacuum tube is still used for the professional music instrument such as a guitar amplifier, in order to provide specific sound characteristics by the non-linearity of the amplification property. Also, it is well known that the sound is greatly different depending on the tube manufactures. However, the physical reason has not been clarified even though the vacuum tube is tailored based on the original I-V characteristics, which was demonstrated in the 1940s. This paper describes the construction of the measurement system for the vacuum tube with high precision static characteristics.

I. はじめに

真空管は、その特有の非線形特性によって電子楽器に特徴的な音色をもたらすため、今日においてもなお多く使用されている。たとえば、1947年に発売されたMT管12AX7は、ギターアンプに歪みを生み出すための初段増幅管として多用されている。この真空管は、今日においてもGROOVE TUBES社をはじめ、さまざまな製造メーカーが互換球を製造しており、メーカーごとに異なるサウンドキャラクターを持っていることが知られている。しかし、この互換球において真空管の正確な静特性のデータはなく、ギターアンプの設計は旧来モデルオリジナルの静特性データを用いているのが現状である。そこで、真空管の静特性を高精度に測定するための「真空管パラメータアナライザ」を構築した。

本稿では、その真空管パラメータアナライザの特徴と測定原理について述べる。

II. 測定システム

真空管パラメータアナライザを構成する機器を以下に示す。(図1参照)

- ・ DUTシャーシ(真空管のヒーター部は、実使用条件と同一にするためにトランス電源を用いている。)
- ・ Agilent 33509B 任意波形発生器(グリッド電圧供給)
- ・ KIKUSUI PAG300-2.5 (プレート電圧供給)
- ・ Agilent 34410A デジタル・マルチメータ
- ・ Windows PC(MATLAB R2014b)

上記の機器を USB 及び RS-232C ケーブルにより PC と接続し、MATLAB Instrument Control Toolbox を使用して自動計測を行う。

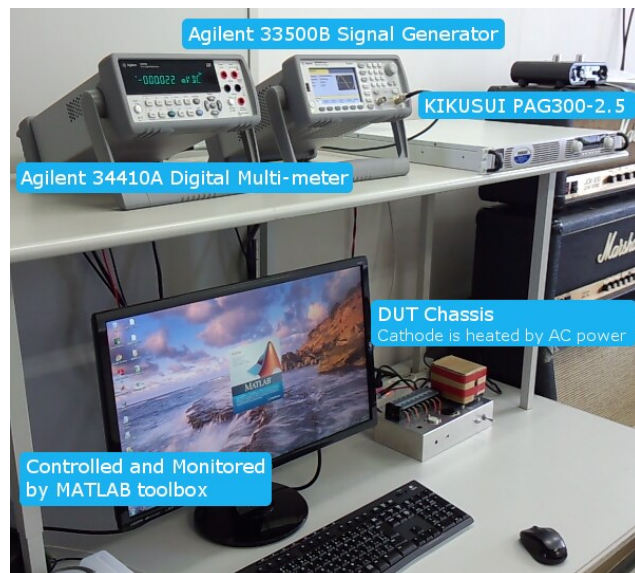


図1 真空管パラメータアナライザ

III. 測定器のパラメータ設定

A. 電源供給系

1) DC 高電圧発生器の精度と安定性

本測定システムでは、真空管のプレート電圧の制御に KIKUSUI PAG300-2.5 を使用している。仕様では、この高電圧発生器は 0V から最大電圧までの立ち上がり時間が 150ms となっている^[1]。実際の安定性を確保するために、50V ステップで V_p を変化させながら V_p - I_p 特性を測定した。 V_p - I_p 測定開始前の待ち時間は 3s, 2s, 1s, である。その結果、3 条件に大きな測定差は見られなかった。よって、快適な測定を行うために適した待ち時間を、最も短い 1s と設定することとした

2) グリッド電圧の切り替え時定数

グリッド電圧を制御している Agilent 33509B の立ち上がり時間は 8.7ns である^[2]。また、真空管はグリッド電圧が変化してからプレート電流が変化するまでにタイムラグが存在する。よって、ここでも立ち上がり時間と真空管のタイムラグを考慮するために、待ち時間の設定を行う。そのための実験として、 G_m 測定のプログラムを作成し、1s, 0.05s, 0.03s, の 3 条件で測定を行った。その結果、3 条件に大きな差は見られなかったため、最も短い 0.03s を適切な待ち時間として設定した。

B. 電流測定系

1) 60Hz ノイズと測定

電源由来の 60Hz ノイズを除去するための方法として、Agilent 34410A マルチメータには NPLC(Number Power Line Cycles)がある。これは、電源サイクル数で測定間隔(積分時間)を設定する方法である^[1]。ここでは NPLC6,3,0.3 の 3つの値を設定して、実験を行った。NPLC と測定間隔の関係を表 1 に示す。

表 1 NPLC と測定間隔の関係

NPLC	60Hz 波数	測定間隔
6	6 周期で 1 回測定	0.1
3	3 周期で 1 回測定	0.05
0.3	0.3 周期で 1 回測定	0.005

2) 繰り返し測定と平均化

本測定システムでは、測定条件(プレート電圧, グリッド電圧)を一定にして、繰り返し測定し、その平均値をとって静特性を導出している。この時の繰り返し回数は、測定時間に大きく影響を与える。適切な繰り返し回数を模索するため、測定環境を固定して、繰り返し回数 100 回, 10 回, 5 回の 3 条件について実験を行う。環境が一定なため、実験結果は分散値で確認する。

IV. 実験

A. ノイズ

上記の NPLC と繰り返し時間を組み合わせて実験を行った。ここで測定環境(プレート電圧, グリッド電圧)は一定にし、真空管は、スロバキア製 GT-ECC83S とロシア産 GT-12AX7-R の 2 種類で測定を行った。実験結果としてはそれぞれの測定値に対する分散値を出力した。(表 2,3)

表 2 スロバキア製真空管の分散値

2A			
標本分散	5回平均	10回平均	100回平均
0.1NPLC6	9.19653E-13	5.05213E-13	2.53655E-13
0.05NPLC3	9.89854E-13	5.92079E-13	6.29775E-13
0.005NPLC0.3	5.15954E-13	5.93295E-13	3.81565E-13

表 3 ロシア製真空管の分散値

2B			
標本分散	5回平均	10回平均	100回平均
0.1NPLC6	1.64168E-12	1.07783E-12	4.24975E-13
0.05NPLC3	1.92793E-12	1.32290E-12	1.80315E-13
0.005NPLC0.3	9.62150E-13	1.40265E-12	5.88836E-13

1) 測定時間とノイズの関係

分散値を見た結果、NPLC に 3 条件に有意な差が見られない。また、測定回数については、回数が増すごとに分散値が小さくなっていることがわかる。

2) 真空管製造メーカーとノイズ

今回は、スロバキア製の真空管とロシア製の真空管を使用した。2つの分散値を比較すると、スロバキア製のほうが分散値が少ないことがわかる。

B. 静特性測定

実験から得られた測定条件で静特性を測定した。

1) V_p-I_p 測定^[4]

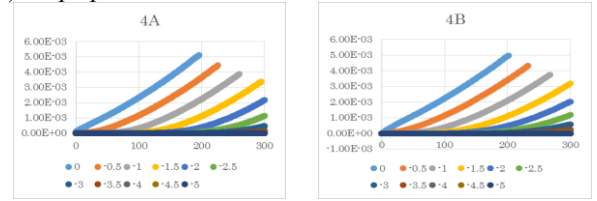


図 2 V_p-I_p 測定結果

2) V_g-I_p 測定^[4]

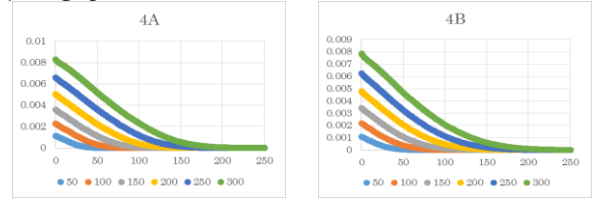


図 3 V_g-I_p 測定結果

V. 考察

実験の分散値を見た結果、3つの NPLC に有意な差は見られなかった。このことから、本測定システムでは、電源ノイズの有意な差がないといえる。よって、電源ノイズの影響が少ないシステムであると考えられる。また、カソードを暖めるためのヒーターには、60Hz100V 交流電源からトランスを用いて 6.3V に降圧し使用しているが、今回の結果からすると、ヒーターの 60Hz ノイズの影響も少ないといえる。

製造メーカーで分散値を比較すると、スロバキア製のほうが分散値が小さく、個体的なノイズが少ないことがいえると考えられる。さらにそれぞれ 3 本の測定を行い、同等の結果が得られた。この結果から、システムノイズの影響はほとんどなく、設計、製造によるノイズ傾向に明確な差があることが確認された。

VI. おわりに

本研究では、真空管パラメータアナライザの測定システムについて検討を行った。その結果、電源ノイズの少ない静特性が測定できる見通しを得た。また、製造メーカーによる個体的なノイズの関係も明らかになった。今後は、微分特性、Gm, 出力インピーダンスなどの交流特性を高精度に求め、回路シミュレータ高精度 SPICE モデルの提案を行っていく。

参考文献

- [1] KIKUSUI ユーザーマニュアル
- [2] Agilent 34410A/11A 6^{1/2}桁マルチメータ ユーザーズガイド
- [3] Agilent Technologies
<http://www.home.agilent.com/agilent/editorial.jsp?ckey=710001-2-jpn&id=710001-2-jpn&nid=-11143.0.00&lc=jpn&cc=JP>
- [4] 林正樹,真空管ギターアンプの工作・原理・設計

問い合わせ先

〒731-5193
広島市佐伯区三宅 2-1-1
広島工業大学 情報学部 情報工学科
小幡 紗織