

# 「ブラックボックスの解析」を通して見た学生の実験能力について

茨城職業能力開発短期大学校 竹内 生 公

On Student's Experiment Ability Looked from Black-box Analysis

Seikou TAKEUCHI

## 要約

本実験は理論と実験方法に対する考察力や創造力の向上をねらった実験テーマである。中味が見えない構造になっているブラックボックスの中に入っている電気回路の構成と素子定数を、用意された計測機器を用いて工学的に推定させている。本実験を通して学生の実験に対する興味や能力について調査し、それについて論じている。調査は学生が実験方法を決定するまでの過程と結論を得るまでの経過を記述したレポートおよび実験に対するアンケートの回答から行われている。本報告では実験装置と指導法および調査結果が示されている。

## 1 はじめに

現代の日進月歩する技術分野に対応できるためには技術の進歩に即応できる能力および自ら考え新しい分野を積極的に創り出す能力が要求される。短大ではこのような能力を有する学生を養成することが重要である。しかし、現状では学生にこのような能力を身につけさせる教育が必ずしも十分に行われているとは思えない。例えば、制御技術科の電子工学実験における教育訓練方法を考えると実験装置、実験手順、データ処理の仕方、解析手順、検討事項などを全て与えた上で指導が行われている。このような至れり尽くせりの教育訓練方法では学生が全て与えられたものに依存してしまい、自ら考える能力が損なわれる恐れがある。これらの点を補い、学生が自ら考えて何かを積極的に創り出す能力を育てる環境作りが学生実験という教育訓練を通してできないものかということを数年来模索してきた。その結果、考案されたのが「ブラックボックスの解析」という実験テーマである。ブラックボックスは2組の独立した電気回路から構成され、各端子が端子台に接続されたものである。

本実験の目的はこのブラックボックスに構成されている中身が判らない回路を工学的手法により解明させ

ることで、理論と実験手法に対する考察力を向上させることである。

実験は、最初に学生にデータを取得する方法を考察させ、用意された数種類の計測機器から必要と思われる計測機器を自由に選択させ実験を行わせる。つぎに実験により得られたデータを整理すると共に分析し、論理的思考により箱の回路構成を明らかにするというものである。したがって、計測の知識、回路の知識が十分に活用できないとこの実験は全く手がつけられないことになる<sup>(1)</sup>。本実験テーマを実施することにより、次の事項について学生を教育訓練し、同時に学生の持つ能力が評価できると考えている。

- (1) 計測、回路などの基礎学力を応用面に活用する能力。
- (2) 学生達が計測機器を選択し、実験手順、データ処理、解析手順および検討事項を自ら考える態度。

以上の主旨にしたがって本実験を同一年度の1年生後期と2年生後期に実施し、学生の実験能力や反応、基礎学力が実験の場でどの程度生かされているかなどを調査した。この結果、学生の実験能力に欠如している部分を一部ではあるが明らかにすることができたので、今後の教育訓練の参考になるものと考え、ここに報告する。

## II 実験装置および指導方法

### 1. 実験装置

対象となる学生は制御技術科の1年生と2年生である。1年生の前期で電気工学、電子工学、アナログ回路などにより理論的な基礎知識を、また電気・電子工学実験により実験と計測に関する基礎知識（計測機器の使用法、測定の方法、配線、測定条件の設定、データの取り方、データのまとめ方、考察の方法など）を習得している。一方、2年生はこれらに加へ電磁気学、電気・電子計測、インターフェイス実習、メカトロニクス実習などを履修している。ここでは、ブラックボックスの中に入れる回路は1年次前期に得た基礎知識で解明できるようにし、さらに学生自らがそれらの知識を有機的に結合しながら測定、解析および推定を行うことができ、ある結論に達し得るものとしている。さらに、指導を行う立場からは学生の実験過程が把握し易いこと、学生の実験に対する能力がその場で評価でき、学生の指導にフィードバックできることが望まれる。

以上のことから実験の主旨を失わず、かつ学生の使用に耐え得る装置ということから次の結論に達した。

- i) 回路は抵抗器とコイルまたはコンデンサの組み合わせとする。
- ii) 回路は素子単体または単エネルギー回路とする。
- iii) 電源として乾電池あるいは直流安定化電源が使用できるようにする。
- iv) 使用機器は取扱いが容易な機器とする。本実験では低周波発振器、テスター、周波数カウンタ、直流安定化電源および標準抵抗器を用いる。

図1に実験装置を、図2に配線図を示す。実験装置は次の点に留意して2台製作した。

- ①堅牢であること。
- ②装置内の配線が見えないこと。
- ③装置内の配線（各素子間の接続）の変更が容易にできること。

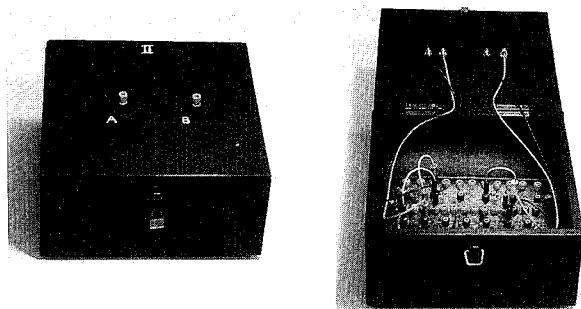


図1 実験装置

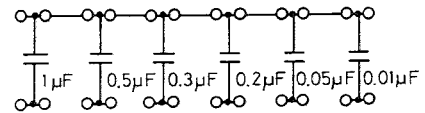
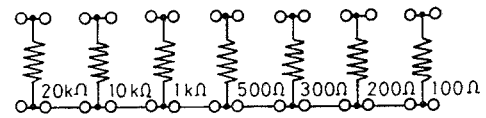
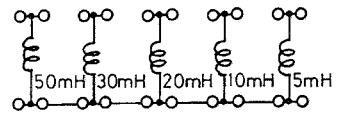


図2 配線図

### 2. 指導方法

実験を行う班分けは学年別に行い、電気回路は各班ごとに異なった素子定数とする。教官は一人で複数の実験テーマ（班）を同時に担当しているが、ブラックボックス内の回路構成を求めるといった性格から指導方針を次のようにしている。

- (i) 本実験の目的を十分に理解させる。
- (ii) 回路を構成している可能性のある素子とその最大定格、結線などの情報は前節の i) ~ ii) 程度の範囲で学生に教える。
- (iii) 各測定機器の仕様を簡単に説明する。
- (iv) 直接的な指導は一切行わず、学生自身の考え（実験の進め方）を尊重する。しかし、考え方に誤りや実験が不足している点があれば、それを学生自身が悟るように方法論的な指導を行う。
- (v) レポート提出時に、特に実験の進め方、結論への到達の仕方などについて時間の許す限り丁寧に学生と検討する。

学生に配布する実験テキスト（参考までに付録1に示す）の内容は従来のテキストの内容と異なり非常に簡潔なものとしている。学生への説明は「端子がついているこの箱の中の回路を求めてほしい。ここにはデジタルテスタ、CR発振器、直流安定化電源、6ダイヤル抵抗器などがある。これらを好きなように使用してよろしい。……中略……抵抗器、コイル、コンデンサなどの素子の電気的特性、各測定器の特徴を確認しておくこと……」程度にし、この後の実験の進め方、どこでどのような条件で、どの測定機器を使用するかなどは全て学生自身に決定させている。

実験を行った学生の総数は46名で、1班あたり約4名（1台の装置に学生2名）に分けて実施した。1回の実験時間は2コマ（実時間約3時間）である。回路

構成と素子定数は班ごとに異なる。学生が各自の考えに基づいて実験が終了したと確信した段階で、データを添えて申し出るように指導している。その際、実験方法が基本的に誤っていたり、データが不足している場合はその部分について再実験を指示している。

レポートは実験データの解析および検討、推定された回路を記述させ1週間以内に提出させている。このレポートを基に細部にわたり学生と記述内容について検討を行い、レポートの形式不備、計算ミス、飛躍的な結論の誘導、根拠のない考察などがある場合は訂正や書き直しを指示し再提出させている。参考のために学生が提出したレポートの一部を付録2に示す。

### III 実験を通して見た学生の能力

本実験手法は従来手法と異なっているために、最初の内は戸惑う学生もいた。しかし、学生達は相互の熱心な議論の過程を経ながら、彼らなりに懸命に実験を行っていた。今までにみられない熱意と生き生きとした学生達に接することができた。本章は本実験を通して見た学生の能力を学生が提出したレポートにより評価した結果を示す。

ブラックボックスに構成された回路を各素子の値まで正確に求めた場合「定量的に求めた」とし、構成素子のみを正しく推定し得た場合を「定性的に求めた」、どちらにも該当しない場合を「求まらない」と表わし、評価結果を整理すると表1になる。

表1 評価結果

評価結果	全体 (%)	1年生 (%)	2年生 (%)
求まらない	19.6	24.2	15.0
定期的に求めた	36.4	36.4	36.4
定量的に求めた	44.0	39.4	48.6

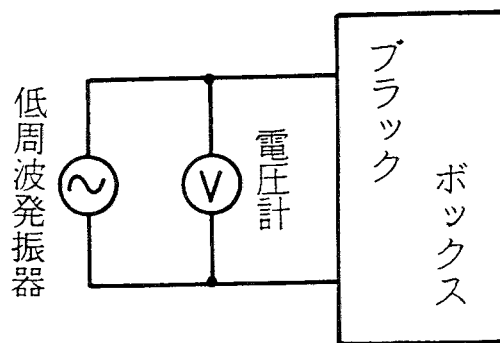
表中の「求まらない」の原因は提出されたレポートおよびアンケート調査（後述する）の結果、次の通りであることを明らかにすることができた。

- (a) 実験方法が適当でない …… 100 %
- (b) 測定器の取扱いが適当でない … 64.2%
- (c) 解析が適当でない …………… 53.6%
- (d) 推定、判定が適当でない …… 53.6%

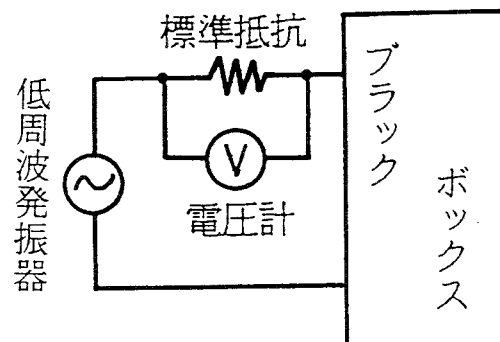
ただし、(a)～(d)が重複している学生もいる。

(a)の原因は測定回路を正しく構成できない学生が多い数である。例えば、ブラックボックスの電圧・電流特性を図3(A)で求めようとしている学生が多く

みられる。また、図3(B)の回路で求めた抵抗の端子電圧のデータのみで全てを判断している学生もみられた。これらは実験・解析にあたり、授業で身につけた知識を十分発揮できていないことを示している。(b)は適切な測定機器を選定できなかったり、機器の測定限界や精度を考慮しないで使用している場合が多く、特に後者は本項目中の約60%にも達している。(c)はベクトルの概念と実際の測定量との対応がつかない学生が多くみられる。(d)の適当でない代表的な例としては根拠のない推定、飛躍した判断などがあげられる。



(A)



(B)

図3 測定回路の構成例

表中の「定性的に求めた」の主な原因は次の通りである。ただし、これについても重複している学生がいる。

- (a) 実験方法が適当でない …………… 51.2%
- (b) 測定器の取扱いが適当でない … 56.5%
- (c) 解析が適当でない …………… 60.5%
- (d) 推定・判断が適当でない …… 72.1%

(a)の原因としては、実験方法を定めるのに長い時間を必要とし、このために十分な測定データが得られていない、データの取得方法の間違い、測定器の取り扱いミスなどのために適切なデータが得られていないなどがあげられる。(b)では正確に測定するための配慮を

していない学生が多くみられる。例えば、測定機器の誤差限界以上の微小電圧を測定したり、適切なレンジ（測定範囲）を選択していないなどの事例があげられる。(c)および(d)では計算能力の欠除、データ処理の基礎知識不足なども大きい原因としてあげられる。特に、静電容量を求めるのにどの計算式を用いたらよいか判断できない学生や使用する計算式がわかっても実際の数値計算ができない学生もみられる。

表中の「定量的に求めた」の学生は全体の半数近くいるが、決して十分でない事例も多くみられる。一意的に結論できないデータであるにもかかわらず、断定的に結論を導き出している学生もおり、それは1年生よりも2年生に多数みられた。また、1、2年生共に都合の悪い実験結果を単に測定ミス、測定誤差であるとして片づけたがる傾向にある。

本実験を通して学生の実験能力をみると、全般的に基礎知識はあるがそれを十分に活用できない学生が多くいることである。これは学生が提出したレポートを基に彼らと討論を行うとかなりの確な返答が得られることから基礎知識はあっても、それを応用することができないと判断できる。つまり、どのような手順で何を測定したらよいかを十分に認識しないまま、また測定量の物理的意味を把握しないまま実験を進めてしまうことが主な原因のひとつである。解析の段階においては測定条件を考慮していないなど基礎知識が生かされていない。また、結論を導くときに図・グラフを有効に利用しておらず、ただ描いただけの学生が多く、論理的に思考することが苦手ようである。

#### IV 学生の反応

本実験に対する学生の反応を調べるために以下のアンケート調査を実施した。アンケートは次の5つの骨子に基づいて作成し、各々細部へわたるように質問事項を選定した。

1. 実験に関する問い
2. 実験に対する心構えの問い
3. 教官に対する問い
4. レポートに関する問い
5. 上記項目全体を包含する記述形式の問い

アンケート用紙（付録3参照）は全員に配布し、レポートと一緒に提出させている。

表2に項目別の調査結果を示す。これらは母数が少ないため特別な統計処理は行わず、単純な分類整理にとどめてある。表より、本実験が全体的にみて有意義であったと回答した学生は約半数いるが、その多くは

回路および素子定数が推定できた学生で、それが求まらない学生は普通であったと回答している。また、学年始めの実験ガイダンス時あるいは本実験を行う前週に予習をしてくるように指示しているが、アンケートNo.3に見られるように80%以上の学生が予習をしていない。このことから実験手順やデータ分析の方法を十分に理解せず実験を行っていることがわかる。これはアンケートNo.5の欄にも如実に表れており、(a)試行錯誤の結果定まった、(b)何も定まらずに行ったと回答した学生の割合は上記の割合とほぼ同じである。また、(a)と回答した学生の約半数が定性的にあるいは定量的に回路構成が求められている。

アンケートNo.6の測定機器の取扱いについては1年生の60%、2年生の90.5%が容易であったと回答している。

アンケートNo.11で実験は大変であったと回答した学生は全体の約70%であり、学生にとっては難しい実験内容であることがうかがえる。大変であった理由としては勉強不足、測定機器の不足、何をどのように求めればよいか初めのうちよくわからなかったなどと回答している。また、全体の約24%の学生はスムーズに実験が行えたと回答しており、この回答をした学生の多くは定量的もしくは定性的に回路の素子定数が推定できている。

アンケートNo.12のレポートを書く段階での最終結論は(a)一部共同で作業を行ったと回答した学生が全体の約80%おり、各班ごとに検討しながら結論に達している。また、約10%の学生は独自で行ったと回答している。

アンケートNo.17のブラックボックスの内容としては約半数の学生が難しかったと回答している。しかし、この回答をした多くの学生は実験手順がなかなか定まらなかったり、回路構成や素子定数が推定できていない。また、データは容易に取得できたが解析方法が判らない、どの式を用いて各素子の定数を計算したらよいか判らないといった学生も含まれている。

記述形式の項目（No.13、No.14、No.15、No.18）においては全体の63%が白紙回答であり、回答傾向を多い順に簡条書きにして示すと次の通りである。

No.13 実験中に感じたこと

- \* 実験が有意義。
- \* 実力の無さ（勉強不足）を痛感した。
- \* データの判断に困った。

No.14 レポートを書く段階で感じたこと

- \* 解析時の困難。

\* 考察に苦勞した。

\* 結果の相違。

\* 勉強不足。

## No.15 反省事項

\* 測定機器の使用法不十分。

\* 基礎知識の不足。

\* 予習不足

\* 実験手順のトラブル。

## No.18 実験“ブラックボックス”に望みたいこと

\* 現状のままでよい。

\* 測定器の種類を増やしてほしい。

\* ヒントがほしい。

表2 アンケートの調査結果

学 生 数		25人		21人		46人	
アンケートNo.	学 年	1 年		2 年		全 体	
	アンケート項目	人数	%	人数	%	人数	%
1. 実験は全体的にみて	イ 有意義 ロ 普通意義でない ハ 有意義でない ハ 無回答	12	48	10	47.6	22	47.8
		13	52	11	52.4	24	52.2
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
2. 共同実験者の人数は	イ 多い ロ 適当 ハ 少ない ハ 無回答	3	12	0	0	3	6.5
		20	80	18	85.7	38	82.6
		2	8	3	14.3	5	10.9
		0	0	0	0	0	0
3. 予習を	イ 行いたい ロ 行かない ハ 無回答	2	8	1	4.8	3	6.5
		20	80	18	85.7	38	82.6
		3	12	2	9.5	5	10.9
4. 教官の説明は	イ 必要ない ロ 現状よりよく ハ 更に詳しく ハ 無回答	0	0	0	0	0	0
		11	44	16	76.2	27	58.7
		13	52	5	23.8	18	39.1
		1	4	0	0	1	2.2
5. 実験手順は	イ 容易 ロ 試行錯誤 ハ 予定通り ハ 無回答	4	16	6	28.6	10	21.7
		15	60	12	57.1	27	58.7
		5	20	3	14.3	8	17.4
		1	4	0	0	1	2.2
6. 機器の取扱いは	イ 困難 ロ 容易 ハ 無回答	10	40	2	9.5	12	26.1
		15	60	19	90.5	34	73.9
		0	0	0	0	0	0
7. 機器の精度、性能を	イ 考慮した ロ 考慮しない ハ 無回答	16	64	10	47.6	26	56.5
		8	32	7	33.3	15	32.6
		1	4	4	19.1	5	10.9
8. 素子の種類は	イ 推定が容易 ロ 推定が困難 ハ 無回答	11	44	11	52.4	22	47.8
		12	48	8	38.1	20	43.5
		2	8	2	9.5	4	8.7
9. 素子の定数は	イ 容易 ロ 困難 ハ 無回答	9	36	7	33.3	16	34.8
		15	60	12	57.1	27	58.7
		1	4	2	9.5	3	6.5
10. 実験中に結論が	イ 出た ロ 出ない ハ 無回答	13	52	14	66.7	27	58.9
		9	36	6	28.6	15	32.6
		3	12	1	4.8	4	8.7
11. 実験は	イ スムーズ ロ 大変 ハ 無回答	7	28	4	19.1	11	23.9
		15	60	17	80.9	32	69.6
		3	12	0	0	3	6.5
12. 最終結論は	イ 全く独自作業 ロ 一部共同作業 ハ 全部共同作業 ハ 無回答	2	8	3	14.3	5	10.9
		20	80	16	76.2	36	78.2
		3	12	2	9.5	5	10.9
		0	0	0	0	0	0
16. 機器の種類は	イ 充分 ロ 不足 ハ 無回答	13	52	13	61.9	26	56.5
		10	40	6	28.6	16	34.8
		2	8	2	9.5	4	8.7
17. 内容としては	イ 簡単 ロ 適当 ハ 難しい ハ 無回答	3	12	2	9.5	5	10.9
		10	40	7	33.3	17	37.0
		12	48	12	57.2	24	52.1
		0	0	0	0	0	0

## V おわりに

本実験テーマは工学的手法により電気回路おとび回路素子の定数を推定させることを目的にしており実験方法から結論に至るまで、全てを学生自身に考えさせて実験を行っている。これにより、学生自らが考え、創造する能力の一部が培えると考えている。実験方法、測定機器やデータの取り方を自分達で相談して決められることから今までにみられない意欲的かつ積極的な学生の態度に接することができた。

しかしながら、電気回路、電子工学、計測工学などの基礎学力が実験の場において必ずしも十分に生かされているとは言えない。これは暗中模索に実験を開始し、得られたデータの物理的意味を把握しないまま実験を進め、そのデータを基にして断定的に結論を導いている学生が多数いることから十分推測できる。さらに、考察をするときや結論を導くときに図表を十分に活用することができず、ただ単に描いただけという学生が多いことからわかる。これらの点を補えるような学生の指導方法を考えていく必要がある。

本実験を通して論理的思考能力が不足していることを学生に自覚させた点や未知のものを解明し、それが判ったときの喜びを学生が知ったことに教育訓練効果があったとみている。また、回路構成や各素子の定数を推定できた学生の実験に対する満足度は高く、彼らなりに自信が持てたようである。それが推定できなかった学生に対するフォローも大切で、どの分野の知識が不足しているか、どこを勉強したらよいかなどのアドバイスを与えることが重要であると考えている。

今後このような形式の実験をさらに充実し、より一層教育訓練効果を高めるべく検討していきたい。

### 参考文献

- (1) 竹内生公、電子工学実験における理解度の調査、報文誌、第5巻第2号、(1992)111。

### 付録1 実験テキスト

#### ブラックボックスの解析

##### 1. 目的

与えられたブラックボックスの電気回路を求めていく考え方を確立する。

##### 2. 実験方法

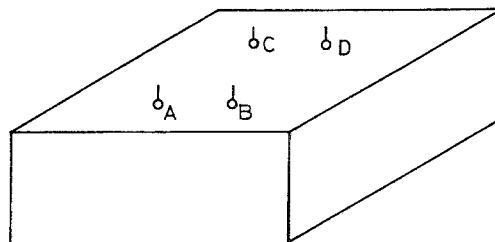
以下にあげる器具類を用いて、与えられたブラックボックス(2端子)のもつ様々な電気的特性を調べ、

そのブラックボックスに対応する線形受動素子(抵抗、コイル、コンデンサ)からなる電気回路を求める。

- (1)低周波発振器 (2)直流安定化電源 (3)マルチメータ (4)標準抵抗器 (5)周波数カウンタ

ブラックボックスを解析していく例を示しておく。

図1がブラックボックスであるとする。このブラックボックスでは、端子A B間についてその電気的特性を解析していけばよい。その解析手順の一部は次のようになる。



付図1 ブラックボックス

- AB間には  
直流的に
- (a) 開放 → 交流的には容量が入っている可能性がある。
  - (b) 短絡 → 交流的にはコイルが入っている可能性がある。
  - (c) ある抵抗値が測定された → ただし、純粋に抵抗だけではなく、容量が並列にあるいはコイルが直列に接続されている可能性がある。

あとは(a)の場合、(b)の場合、(c)の場合についてその先を各自考え、解析していく手順を完成し、その手順に沿って実際に測定を行い、電気回路を求めていけばよい。

### 3. 検討事項

- (1) 実験で用いた解析手順を示せ。
- (2) 各データを求めるのに用いた器具およびそのデータの測定方法を示せ。
- (3) 各データに基づいて、与えられたブラックボックスの電気回路を示し、説明せよ。

### 付録2 提出されたレポートの写し

#### 1. 目的

与えられたブラックボックスの電気回路を求めていく考え方を確立する。

#### 2. 実験装置および実験方法

##### 2-1 実験装置

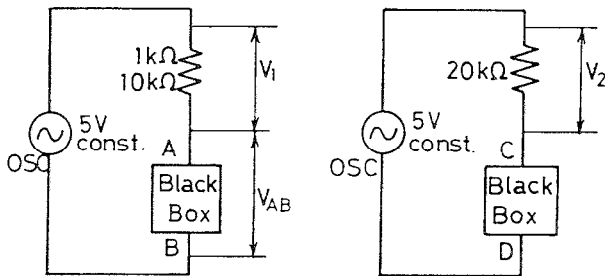
ブラックボックス 1台  
直流安定化電源 KENWOOD PR18-1.2

最大出力電圧18V  
 最大出力電流1.2A  
 マルチテスター KIKUSUI MODEL 1502  
 抵抗器 横河電機 2786  
 最大許容電流0.2A  
 低周波発振器 KENWOOD AG202A  
 周波数カウンタ KENWOOD FC758  
 参考書 電気・電子工学実験テキスト

2-2. 実験方法

- ① テスタによりA-B、C-D端子間を測定し、内部電源の有無と内部インピーダンスを測定する。
- ② 外部抵抗、発振器を直列に各端子に接続し、発振器の出力電圧を5V一定とし、周波数と外部抵抗電圧、端子電圧の関係をデジタルテスタで測定する。内部インピーダンスを調べる。

3. 測定回路

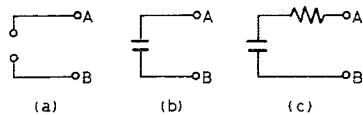


付図2 測定回路

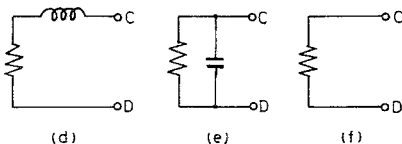
4. 実験結果および解析

- ① デジタルテスタによりA-B、C-D端子間を計った結果A-B、C-D端子間ともに電圧 $V = 0$ であった。このことより、内部には電源がない。
- ② 両端子間の内部抵抗(内部インピーダンス)を計った結果、 $R_{AB} = \infty$ 、 $R_{CD} = 20k\Omega$ という結果を得た。
- ③ 以上のことより考えられる内部回路を次に示す。(L-Cの組み合わせはないことが先生より伝えられているのでこの組み合わせは除外して考える。)

A-B端子間



C-D端子間



付図3 予想回路

④測定した周波数、電圧、内部インピーダンスの関係

A-B端子間

付表1

周波数 f	$V_{AB}$ (V)	$V_1$ (V)	$Z_{AB}$ ( $\Omega$ )
20 Hz	2.8	3.9	7.18 k $\Omega$
50	1.2	4.5	2.67
70	0.86	4.83	1.78
100	0.58	4.9	1.18
150	0.4	4.87	0.82
200	0.28	4.9	0.57
500	6.1	4.91	0.20
1 kHz	0.02	4.91	0.041
10	0.01	4.95	0.02

低周波発振器の出力電圧5V一定、外部抵抗10k $\Omega$

付表2

周波数 f	$V_{AB}$ (V)	$V_1$ (V)	$Z_{AB}$ ( $\Omega$ )
20 Hz	4.9	0.2	24.5 k $\Omega$
100	4.93	0.25	19.72
200	4.87	0.52	9.40
500	4.3	1.3	3.31
1 kHz	3.5	1.9	1.84
2	2.86	2.25	1.27
4	2.5	2.36	1.06
7	2.4	2.4	1
10	2.4	2.4	1
20	2.38	2.4	0.99

低周波発振器の出力電圧5V一定、外部抵抗1k $\Omega$

C-D端子間

付表3

周波数 f	$V_2$ (V)
20 Hz	2.4
100	2.36
500	2.36
1 kHz	2.36
5	2.36
10	2.36

低周波発振器の出力電圧5V一定、

外部抵抗20k $\Omega$

⑤A-B端子間の解析

データより外部抵抗1k $\Omega$ のとき周波数を増していくと $V_{AB}$ はしだいに減少(内部インピーダンスが減少)していき、それにつれて $V_1$ が増加していく。しかし、 $f = 7$  kHz以上になると $V_{AB}$ 、 $V_1$ ともに2.4Vとなり、ほぼ一定値になる。このことより、内部にはコンデンサが入っていることがわかり(a)の回路の可能性はなくなる。さらに、 $V_{AB}$ 、

$V_1$ が一定値になるということとは内部に外部抵抗と同量の抵抗が入っていることがわかり(b)の回路の可能性もなくなる。これより、コンデンサと1kΩの抵抗が直列に入っている(c)の回路であることがわかる。

回路の内部インピーダンスは、

$$Z_{AB} = R + \frac{1}{j\omega C} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

であり、 $\omega \rightarrow \infty$ となると  $1 / (j\omega C) \rightarrow 0$  となり、 $Z_{AB}$  は R に近づくので、 $Z_{AB}$  も 1kΩ に近づくのである。これは後ろにあるグラフからもわかる。次に内部抵抗とコンデンサの容量を計算により求める。

$$Z_{AB} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

の式に500Hzと1kHzのときのインピーダンスを代入して、次式を得る。

$$(3.31 \times 10^3)^2 = R^2 + \left(\frac{1}{2\pi \cdot 500 \cdot C}\right)^2 \quad (1)$$

$$(1.84 \times 10^3)^2 = R^2 + \left(\frac{1}{2\pi \cdot 500 \cdot C}\right)^2 \quad (2)$$

(1)-(2)より

$$10.956 \times 10^6 - 3.3856 \times 10^6$$

$$= \left(\frac{1}{3141.59C}\right)^2 - \left(\frac{1}{6283.19C}\right)^2$$

$$7.57 \times 10^6 = \left(318 \times 10^{-6} \frac{1}{C}\right)^2$$

$$- \left(159 \times 10^{-6} \frac{1}{C}\right)^2$$

$$= \left(101124 \times 10^{-12} \frac{1}{C^2}\right)$$

$$- \left(2528 \times 10^{-12} \frac{1}{C^2}\right)$$

$$= 98596 \times 10^{-12} \frac{1}{C^2}$$

$$C^2 = \frac{98596 \times 10^{-12}}{7.57 \times 10^6} = 13024.6 \times 10^{-18}$$

$$C = 0.114125 \times 10^{-6} \approx 0.114 \times 10^{-6} \approx 0.11 \mu F \quad (3)$$

(3)→(1)より

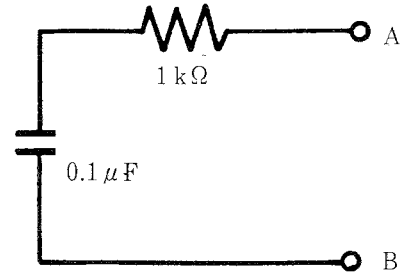
$$(3.31 \times 10^3)^2 = R^2 + \left(\frac{1}{2\pi \cdot 500 \cdot 0.1 \times 10^{-6}}\right)^2$$

$$10.956 \times 10^6 = R^2 + 101124 \times 10^{-12} \frac{1}{0.01 \times 10^{-12}}$$

$$= R^2 + 1.01124 \times 10^6$$

$$R^2 = 0.844 \times 10^6 \quad \therefore R \approx 0.918 \times 10^3 \Omega$$

よってA-B端子間には0.1μFのコンデンサと1kΩの抵抗が入っていることがわかる。電気回路は次のようになる。

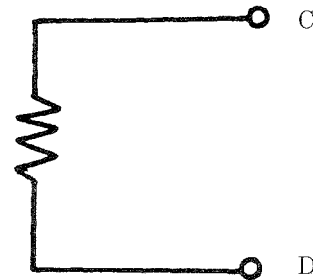


付図4 等価回路

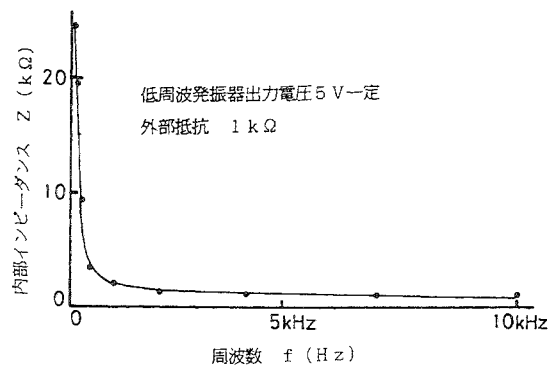
C-D端子間の解析

前記のデータを見ると  $V_2$  は  $f$  の増加に関係なく一定している。このことより(d)(e)の回路の可能性はなくなり、(f)の回路であることがわかる。なぜならば、(d)の回路では  $f$  の増加にともない内部インピーダンスが増加するので  $V_2$  は減少するはずであり、(e)の回路では内部インピーダンスが減少するので  $V_2$  は増加するはずである。

よって、C-D端子間は内部抵抗のみの回路であることがわかる。電気回路は次のようになる。



付図5 等価回路



付図6 f-Z特性

## 5. 考察および結論

省略

## 6. 参考文献

省略



## 付録3 アンケート用紙

\_\_\_\_\_ 学年      学生番号 \_\_\_\_\_ 氏名 \_\_\_\_\_

ブラックボックスの解析の実験に関するアンケート

1. ブラックボックスの実験は全体的にみて
  - イ 有意義であった。( \_\_\_\_\_ )
  - ロ 普通であった。( \_\_\_\_\_ )
  - ハ あまり有意義ではなかった。( \_\_\_\_\_ )
2. 共同実験者の人数は
  - イ 多すぎる。( \_\_\_\_\_ 人位がよい)
  - ロ 適当である。
  - ハ 少なすぎる。( \_\_\_\_\_ 人位がよい)
3. 実験を行うにあたって予習を
  - イ 行った。(予習の内容は \_\_\_\_\_ )
  - ロ 行なわなかった。
4. 教官の説明は
  - イ 必要ない。
  - ロ 現状程度でよい。
  - ハ 更に詳しくしてほしい。
5. 実験手順は
  - イ 容易に定まった。
  - ロ 試行錯誤の結果定まった。
  - ハ 何も定まらずに行った。
6. 測定機器の取扱いは
  - イ 困難であった。
  - ロ 容易であった。
7. 測定機器の精度、性能を
  - イ 考慮して使用した。
  - ロ 考慮せずに使用した。
8. 回路の素子の種類は
  - イ 容易に推定できた。
  - ロ 推定が困難であった。
9. 素子の定数は
  - イ 容易に求められた。
  - ロ 求めるのが困難であった。
10. 実験中に結論が
  - イ 出た。
  - ロ 出なかった。(理由 \_\_\_\_\_ )
11. 実験は
  - イ スムーズに行えた。
  - ロ 大変であった。(理由 \_\_\_\_\_ )
12. レポートを書く段階での最終結論は
  - イ 全く独自で行った。
  - ロ 一部共同作業であった。

ハ 全部共同作業であった。

13. 実験中に感じたこと。

---

---

14. レポートを書く段階で感じたこと。

---

---

15. 反省事項

---

---

16. 測定機器の種類は

イ 充分であった。

ロ 不足であった。(充足してほしい機器 )

17. ブラックボックスの内容としては

イ 簡単すぎた(付け加えてほしい内容 )

ロ 適当であった。

ハ むずかしかった。

18. 実験“ブラックボックス”に望みたいこと。

---

---

19. その他(意見、要望など)

---

---