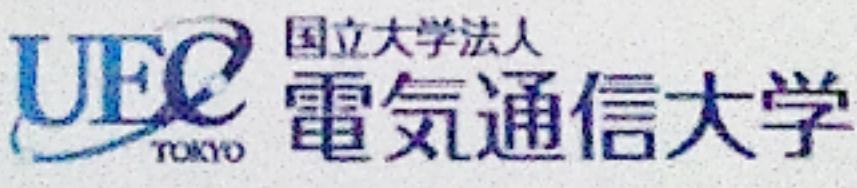


持出 禁止

情報通信工学実験 A/B
「通信符号誤り率測定」
実験マニュアル



情報通信工学科

第1章 ユニポーラ信号とバイポーラ信号の波形・アイパターーンの観測

1.1 目的

伝送路である同軸ケーブルの長さによって、信号の品質が変化することを確認する

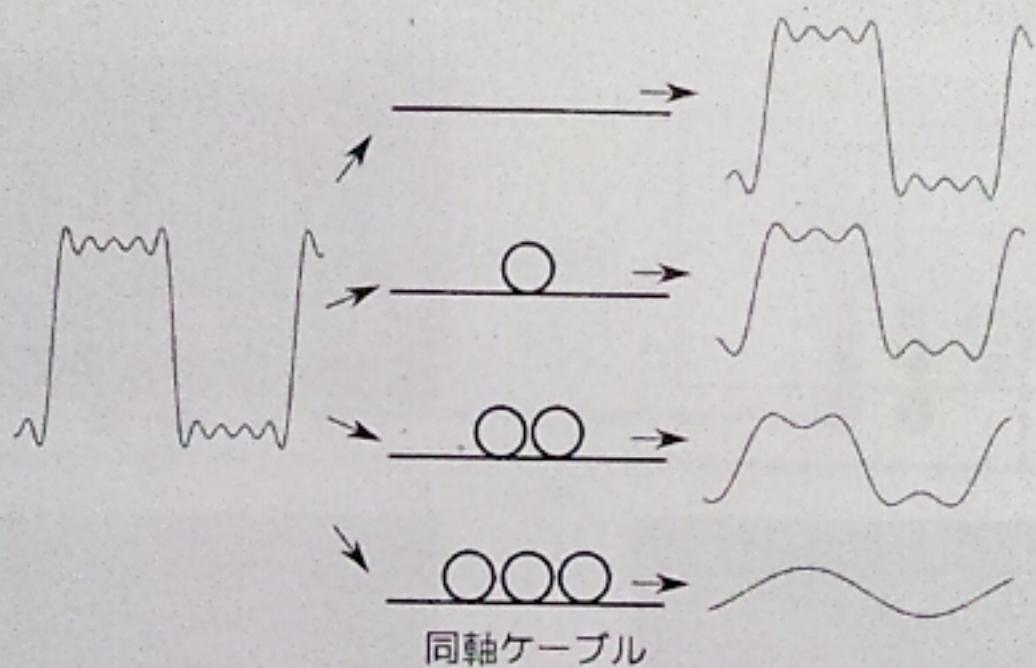


図 1.1: 同軸ケーブルの長さと信号品質

1.2 実験項目

1. ユニポーラ信号とバイポーラ信号の波形とアイパターーンを観測し、フロッピーディスクに記録する。
2. 同軸ケーブルの長さを 1m, 100m, 200m, 300m と変えて測定する。
 - ユニポーラ信号: 波形・アイパターーンをケーブル長を変えて 4 画像ずつ
 - バイポーラ信号: 波形・アイパターーンをケーブル長を変えて 4 画像ずつ
3. 得られた波形とアイパターーンを印刷する。

1.3 機材

1. 誤り率測定送信部



図 1.2: 誤り率測定送信部

2. オシロスコープ

オシロスコープ

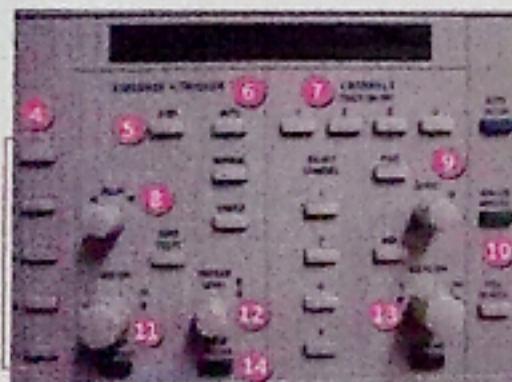
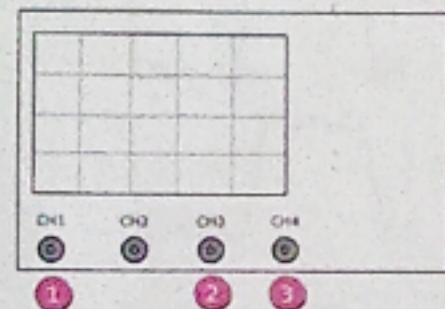


図 1.3: オシロスコープ

1.4 手順

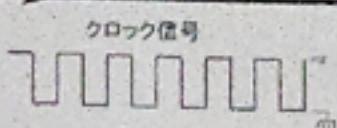
1.4.1 配線

図 1.4 のように、同軸ケーブルを用いて誤り率測定送信部とオシロスコープを接続する。

誤り率測定送信部

クロック
出力 ユニポーラ
出力 バイポーラ
出力

ユニポーラ信号



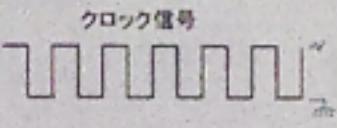
(a)

オシロスコープ

誤り率測定送信部

クロック ユニポーラ
出力 バイポーラ
出力

バイポーラ信号



(b)

オシロスコープ

図 1.4: 実験構成 (a) ユニポーラ信号 (b) バイポーラ信号

1.4.2 信号源の設定

この実験では誤り率測定送信部を信号源として用いる。

1. クロック [1] の設定

- ビットレート Mb/s を押し、32.064 に設定する

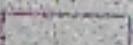


- コード を押し、AMI に設定する



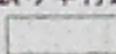
2. パターン [2] の設定

- ▲ を押し、15 に設定する



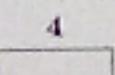
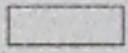
- パターン  を押し、 $2^N - 1$ に設定する。

3. 鳴り率付加 の設定

- 鳴り率付加  を押し、オフに設定する

1.4.3 トリガーの設定

以下の設定はオシロスコープで行う。

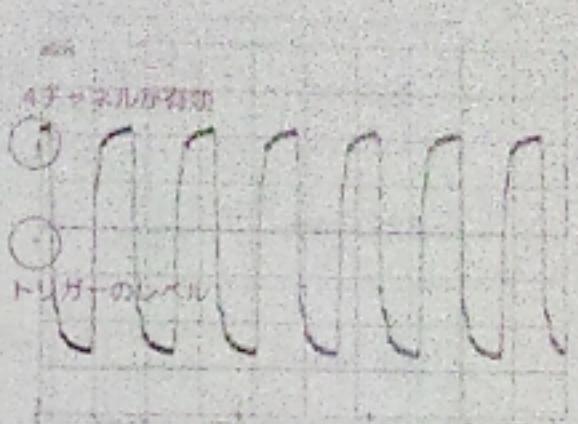
1. SETUPTRIGGER を押し、トリガーの設定を確認する。
2. 図 1.5 (a) のような設定になるように、 にあるボタンを用い、設定する
3. CHANNELS  にある  を押し、チャネル 4 の信号を表示させる
図 1.5 (b) のような画面が表示される。
4. 図 1.5 (b) のような画面にならない場合は、TIME/DIV  を用いて X 軸 (時間) のスケールを、VOLTS/DIV  を用いて Y 軸 (振幅) を調整する。
また、DELAY  と OFFSET  を用いて波形の X 軸と Y 軸の位置を調節することもできる。
5. 図 1.5 (b) に示されるようなトリガーレベルを確認する。
6. TRIGGERLEVEL を用い、トリガーレベルをクロック信号の振幅の半分程度にする。
7. RETURN  を押して、TRIGGER SETUP の表示を閉じる。

1.4.4 波形とアイバターンの観測

1. AUTO  を押し、波形のサンプリングを開始する
2. ANALOGPERSIST  を押し、オシロスコープモードに切り替える。



(a)



(b)

図 1.5: (a) トリガーの設定 (b) トリガー(クロック信号)の波形およびトリガーレベル

3. CHANNELS **8** にある **1** を押し、チャネル 1 の信号を表示させる。

4. TIME/DIV **11** DELAY **8** VOLTS/DIV **13** OFFSET **1**
9 を用いて波形を調整する。

5. 波形の画像を保存する。

- フロッピーディスクを入れる。
- SCREENDUMP **15** を押す

一つの画像のサイズは約 300 KByte なので、一つのフロッピーディスクに 4 画像しか保存できない。

6. ANALOGPERSIST **10** を押し、アイバターンモードに切り替える。

7. アイバターンの画像を保存する。

1.5 データの整理

1. オシロスコープから得られた画像には黒色が多く含まれているので、そのまま印刷すると大量なインクが消費されてしまう。これを防ぐには、画像の色を反転する。色を反転するには IrfanView というソフトウェアを用いる。
2. 図 1.6 のように、波形とアイバターンの画像(計 8 画像)を A4 一枚に印刷する

波形 1m	アイバターン 1m
波形 100m	アイバターン 100m
波形 200m	アイバターン 200m
波形 300m	アイバターン 300m

(a) バイポーラ信号

波形 1m	アイバターン 1m
波形 100m	アイバターン 100m
波形 200m	アイバターン 200m
波形 300m	アイバターン 300m

(b) ユニポーラ信号

図 1.6: 波形とアイバターンの印刷例

1.6 参考資料

1.6.1 ユニポーラ信号とバイポーラ信号

図 1.7 にユニポーラ信号とバイポーラ信号の例を示す。

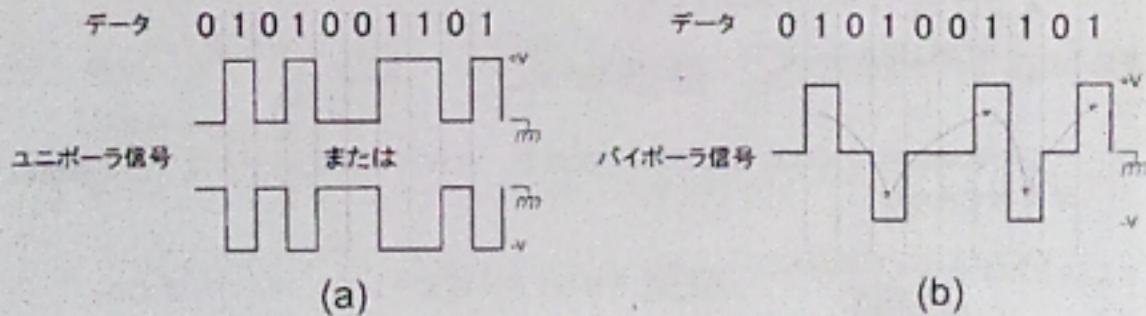


図 1.7: (a) ユニポーラ信号 (b) バイポーラ信号

1.6.2 信号の周波数成分と波形の関係

同軸ケーブルの周波数特性により、ケーブルの両端で波形が異なる（図 1.8）

1.6.3 オシロスコープの動作原理

- トリガー信号の振幅がトリガーレベルの値になるとサンプリングが行われる（図 1.9 (a)）。

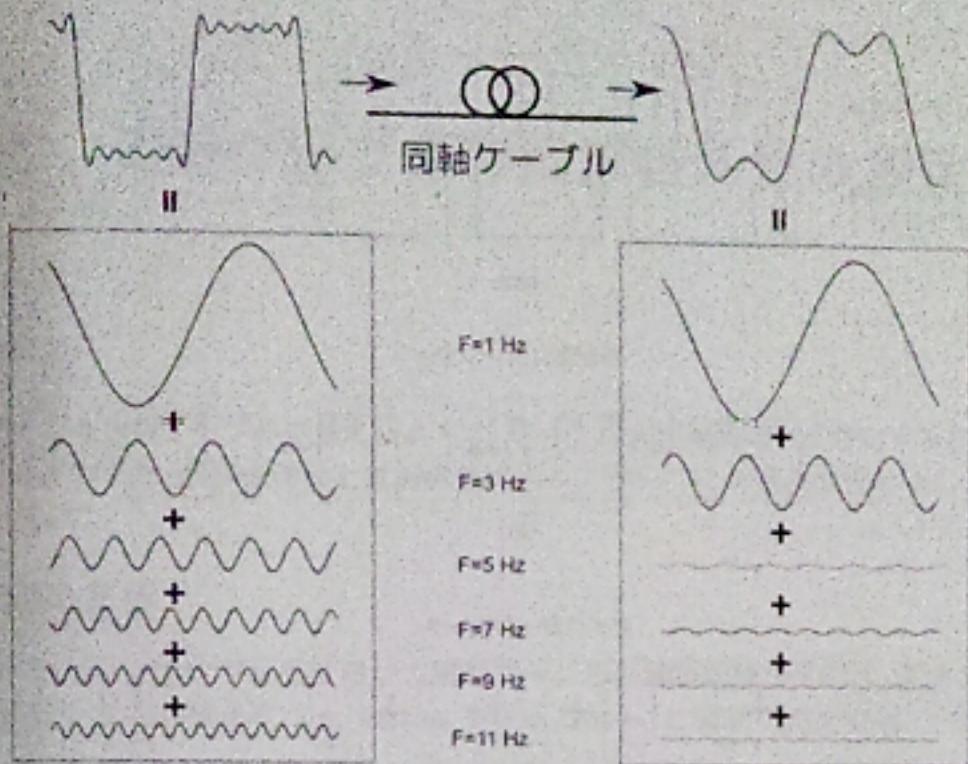


図 1.8 同軸ケーブルの周波数特性と波形

- オシロスコープモードでは、サンプリングされた波形が順次表示される（図 1.9 (b)）。
- アイバターンモードでは、サンプリングされた波形が重なって表示される（図 1.9 (c)）。

1.6.4 アイバターン

アイバターンとは、サンプリングした波形を重ねて表示したものである。図 1.10 にアイバターンの例を示す。

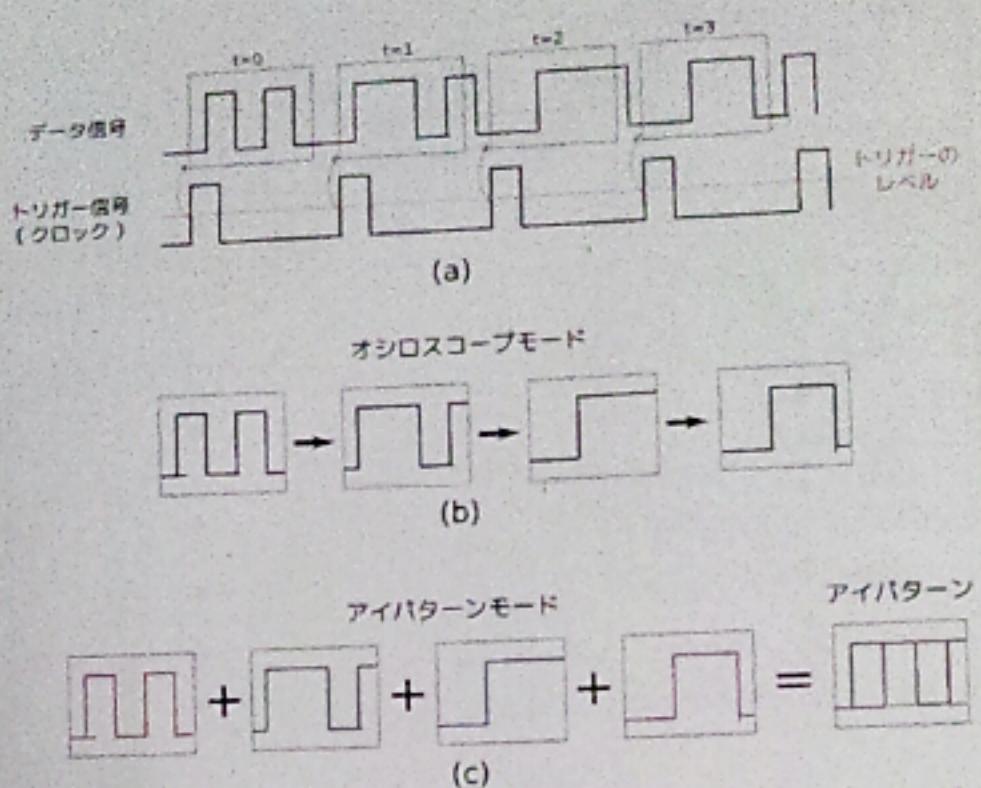


図 1.9: (a) トリガ信号によるサンプリング (b) オシロスコープモード (c) アイパターンモード

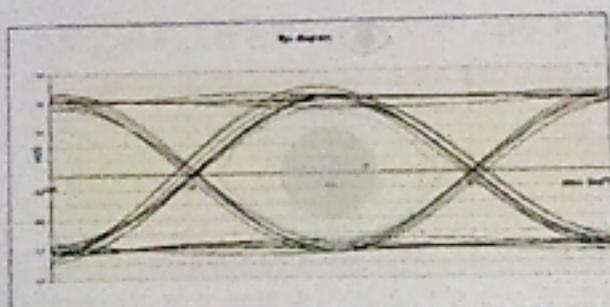


図 1.10: アイパターン (Eye pattern)

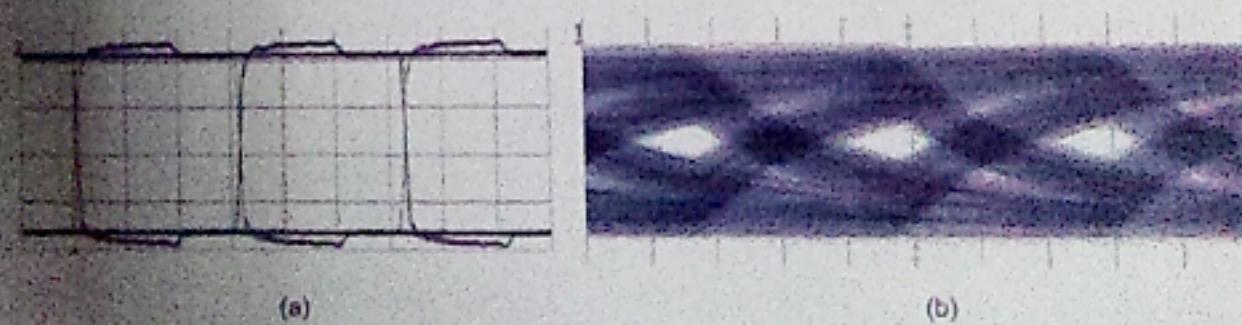


図 1.11: (a) 信号の品質が良い (b) 信号の品質が悪い

第2章 同軸ケーブルの周波数特性の測定

2.1 目的

伝送路である同軸ケーブルの長さによって、ケーブルの周波数特性が変化することを確認する。本実験の場合、周波数特性とは周波数によってケーブルの損失が変わることを指す。

2.2 実験項目

- ネットワークアナライザを用いて同軸ケーブルの周波数特性を測定、記録する。
同軸ケーブルの長さを 1 m, 100 m, 200 m, 300 m と変えて測定する。(計 4 画像)
- 得られた 4 画像の周波数特性の画像を A4 一枚に印刷する。

2.3 機材

- ネットワークアナライザ

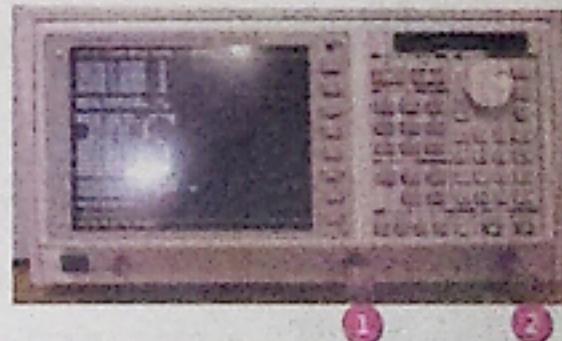
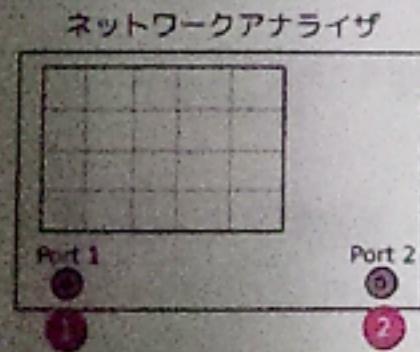
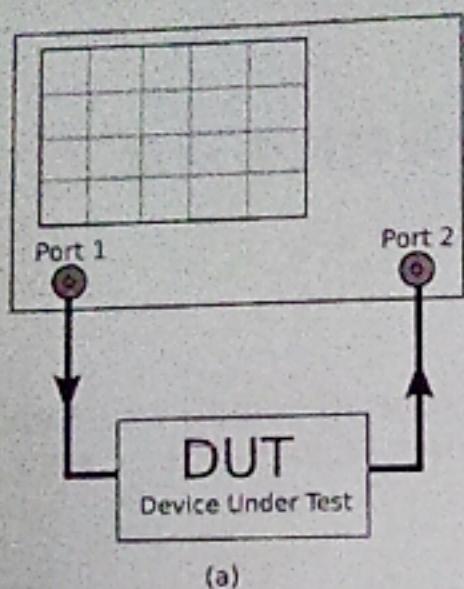


図 2.1: ネットワークアナライザ

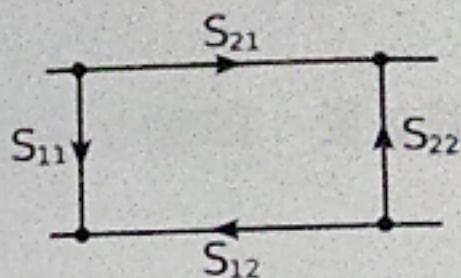
2.4 手順

2.4.1 配線

図 2.2 (a) のように、同軸ケーブルをネットワークアナライザの Port 1 [1] と Port 2 [2] に接続する。



(a)



$$S_{21} = \begin{matrix} \text{Port 1: 信号を送信する} \\ \text{Port 2: 信号を受信する} \end{matrix}$$

(b)

図 2.2: (a) 測定構成 (b) ネットワークアナライザの動作モード

2.4.2 ネットワークアナライザの設定

1. 測定モードの設定

- MEAS → [2] S21
P2 → P1

これで、ネットワークアナライザの動作モードは S21 になる。[3] で確認できる。

モード S21 では Port 1 が信号を送信し、Port 2 が信号を受信する（図 2.2 (b)）。

2. X 軸（周波数の範囲）の設定

- MENU → [3] SWEETYPE → [2] LOGFREQ

画面の X 軸のグラフが対数になる。[4]

- START → [3] [0] [0] kHz

X 軸の左端が 300 kHz になる。[7]

- STOP → [8] GHz

X 軸の右端が 8 GHz になる。[8]

3. Y 軸（損失または利得）の設定

- SCALE → [2] /DIV → [1] [0] x1

Y 軸のスケールが 10 dB/div になる。[5]

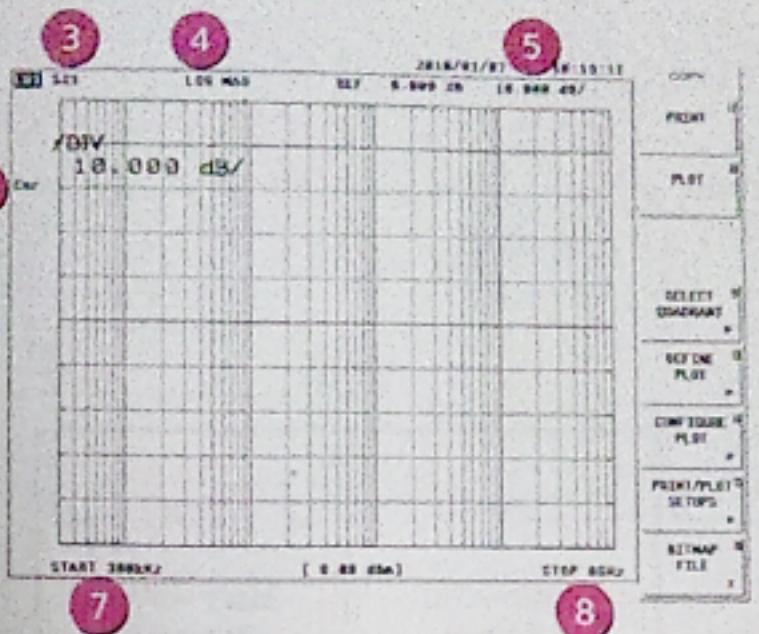
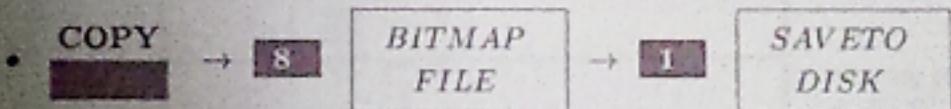


図 2.3: 正しく設定されたときの画面

2.4.3 周波数特性の測定

1. 同軸ケーブルの長さを変え、周波数特性の変化を測定する。
2. 周波数特性のグラフをフロッピーディスクに記録する。



2.5 データの整理

1. 図 2.4 のように、得られた 4 枚の周波数特性のグラフを A4 一枚に印刷する。

2.6 参考資料

2.6.1 ネットワークアナライザの動作原理

1. 300 kHz から 8 GHz の信号を Port 1 から出力する。
2. 同軸ケーブルの周波数特性により、周波数によって損失が異なり、信号のパワーが異なる。Port 2 が信号を受信する。
3. 送信信号と受信信号のパワーを比較し、損失を計算する。
4. 損失を dB スケールに変え、プロットする。

同軸ケーブル 1メートル	同軸ケーブル 100メートル
同軸ケーブル 200メートル	同軸ケーブル 300メートル

図 2.4: 周波数特性の印刷例

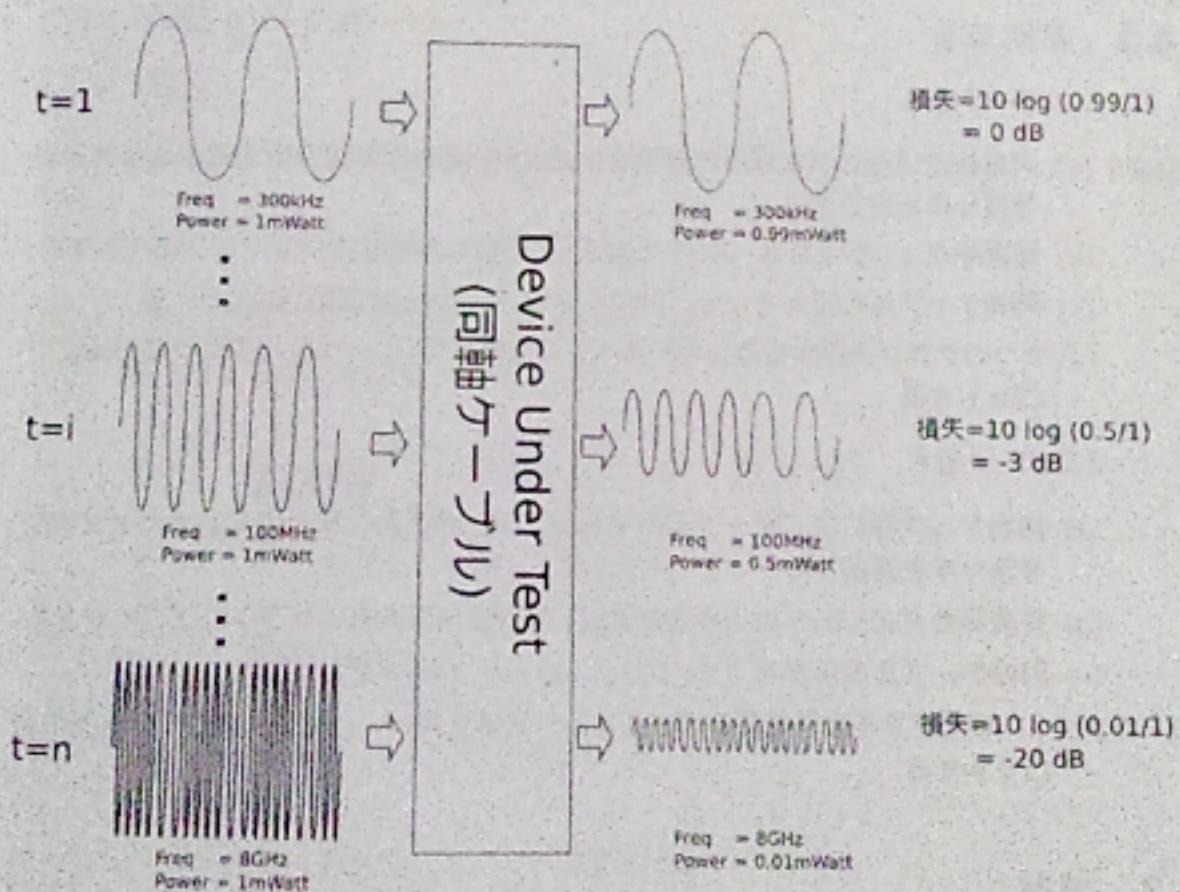
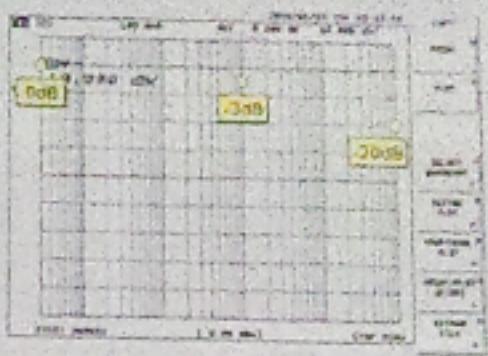
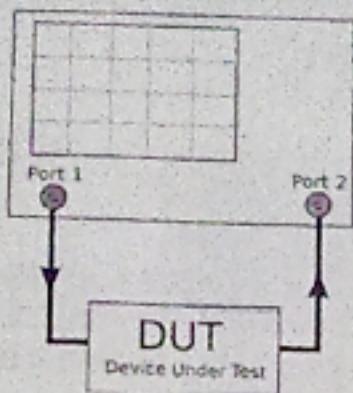


図 2.5 ネットワークアナライザの動作原理

第3章 同軸ケーブルを伝送させた信号の符号誤り率特性の測定

3.1 目的

伝送路に同軸ケーブルを用いたときの符号誤り率を測定する。送信器（誤り率測定送信部）が擬似ランダム信号（PRBS）信号を送信し、受信器（誤り率測定受信部）がその信号を受信する。受信した信号を正しい PRBS 信号と比較し、誤り率を計算する。

3.2 実験項目

1. バイポーラ信号

- 同軸ケーブルにバイポーラ信号を伝送させ、減衰器の減衰率を変えたときの符号誤り率を測定する。
- 減衰率を 0 dB から 60 dB まで変え、符号誤り率の値をグラフにプロットする。
- 同軸ケーブルの長さを 1 m, 100 m, 200 m, 300 m に変える。
- 4 つのグラフを異なる色のボールペン・鉛筆を用い、一枚の対数グラフ用紙にプロットする。

2. ユニポーラ信号

- 同軸ケーブルにユニポーラ信号を伝送させ、減衰器の減衰率を変えたときの符号誤り率を測定する。
- 減衰率を 0 dB から 60 dB まで変え、符号誤り率の値をグラフにプロットする。
- 同軸ケーブルの長さを 1 m, 100 m, 200 m, 300 m に変える。
- 4 つのグラフを異なる色のボールペン・鉛筆を用い、一枚の対数グラフ用紙にプロットする。

3.3 機材

- 誤り率測定送信部
- 誤り率測定受信部
- 同軸ケーブル
- 減衰器

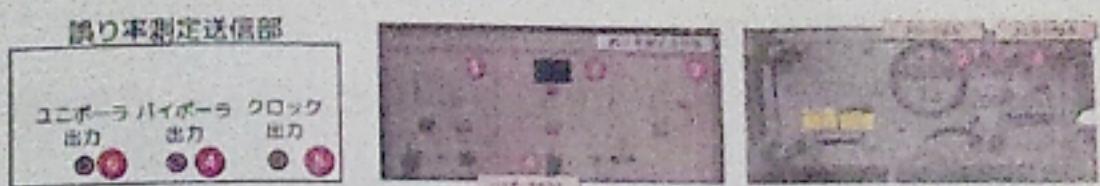


図 3.1 誤り率測定送信部



図 3.2 誤り率測定受信部

3.4 手順 (バイポーラ)

3.4.1 配線

図 3.4 (a) のように、符号誤り率送信部、符号誤り率受信部、減衰器、同軸ケーブルを接続する。

3.4.2 誤り率測定器送信部

1. クロック ① の設定

- ・ ピットレート Mb/s を押し、32.064 に設定する
- ・ コード を押し、AMI に設定する。

2. パターン ② の設定

- ・ ^ を押し、15 に設定する。
- ・ パターン を押し、 $2^N - 1$ に設定する。

3. 誤り率付加 ③ の設定

- ・ 誤り率付加 を押し、オフ に設定する。



(a)



(b)

図 3.3: (a) 同軸ケーブル (100 m) (b) 減衰器

3.4.3 誤り率測定器受信部

1. 入力 **7** の設定

- **入力** を押し、32.064 バイポーラに設定する。
- **コード** を押し、AMI に設定する。
- **パターン** を押し、 $2^N - 1$ に設定する。

2. 測定/時間 **8** の設定

- **測定** を押し、誤り率に設定する。

3.4.4 測定

1. スタート/ストップ を押し、測定を開始する。

2. 表示される誤り率の値を記録する。

3. 減衰器の減衰率の値を 0 dB から 60 dB まで変え、対数グラフ用紙にプロットする。

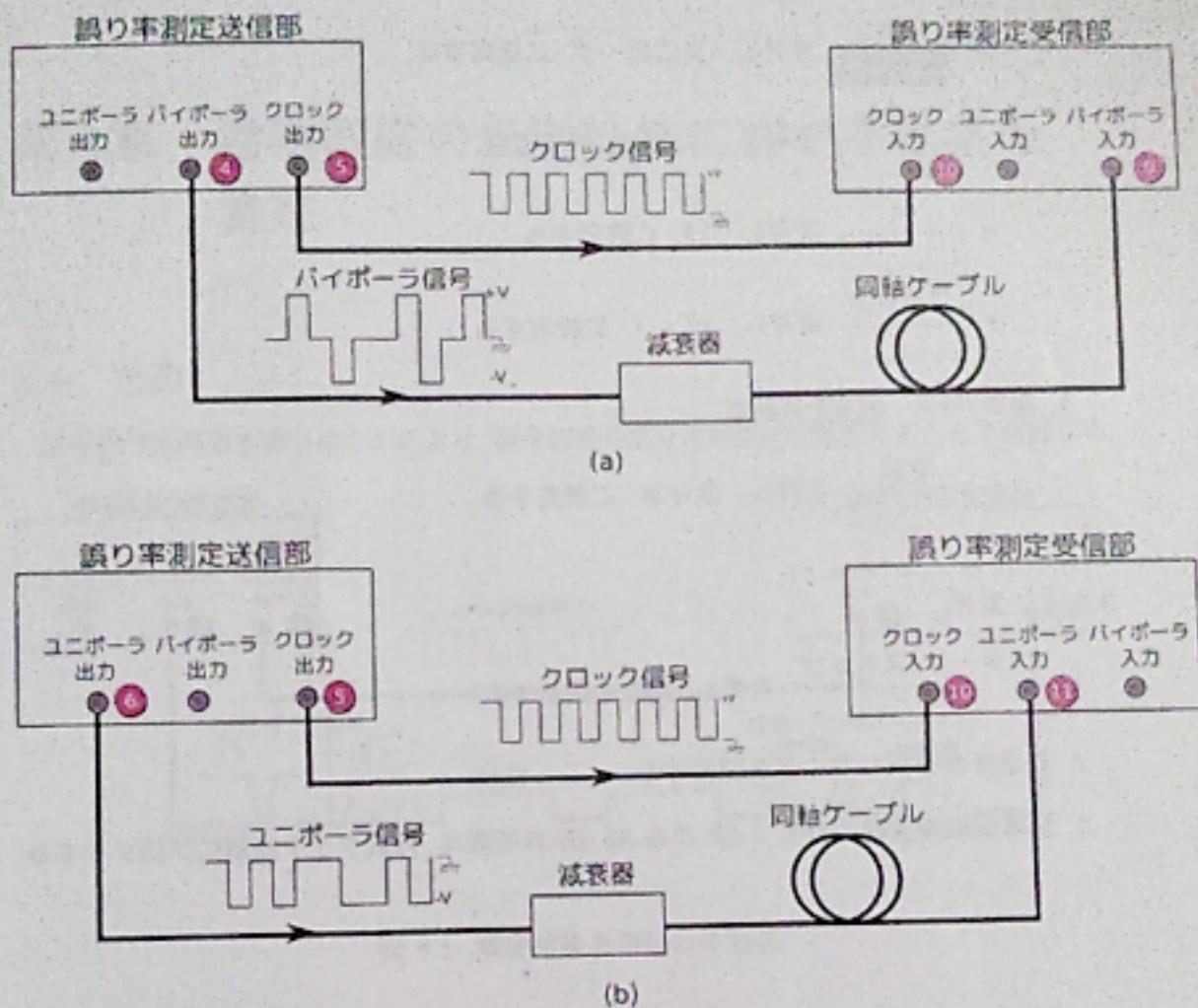


図 3.4: 符号誤り率測定の構成 (a) バイポーラ信号 (b) ユニポーラ信号

3.5 手順 (ユニポーラ)

3.5.1 配線

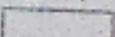
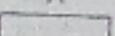
図 3.4 (b) のように、符号誤り率送信部、符号誤り率受信部、減衰器、同軸ケーブルを接続する。

3.5.2 誤り率測定器送信部

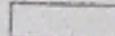
3.4.2 と同じ設定。

3.5.3 誤り率測定器受信部

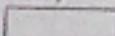
1. 入力 の設定

- **入力**  を押し、ユニポーラに設定する。
- **コード**  を押し、AMIに設定する。
- **^**  を押し、15に設定する。
- **バターン**  を押し、 $2^N - 1$ に設定する。

2. 測定/時間 の設定

- **測定**  を押し、誤り率に設定する。

3.5.4 測定

1. **スタート/ストップ**  を押し、測定を開始する。
2. 表示される誤り率の値を記録する。
3. 減衰器の減衰率の値を0dBから60dBまで変え、対数グラフ用紙にプロットする。

第4章 増幅回路の伝送特性に対する効果の測定

4.1 目的

受信側で増幅器を用いることにより、信号の符号誤り率特性が改善されることを確認する。

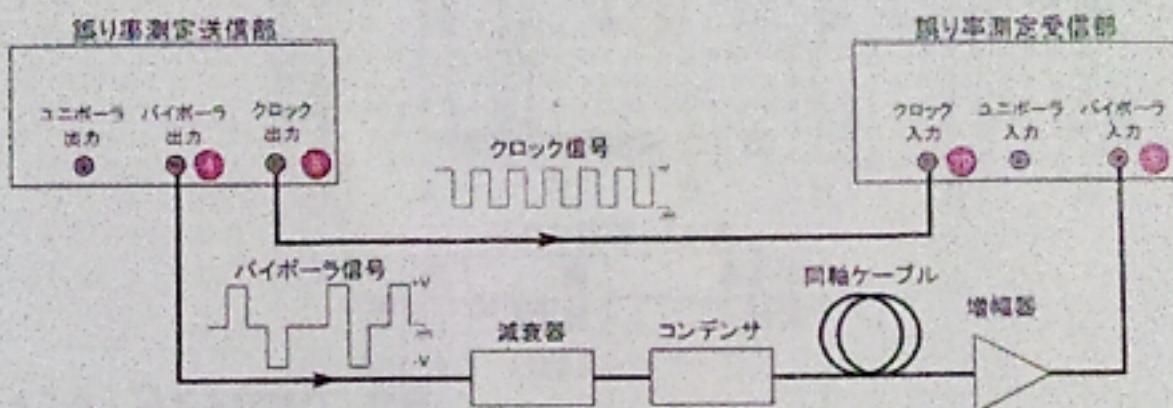


図 4.1 増幅回路を用いた伝送路

4.2 実験項目

1. 増幅器を作成する。
2. 増幅器を用いた場合の信号の符号誤り率特性を測定する。

4.3 手順

図 4.2 の回路図を元に、増幅器を作成する。

4.3.1 部品

表 4.1 のような部品リストを作成する。部品を箱から選び、取り出す。

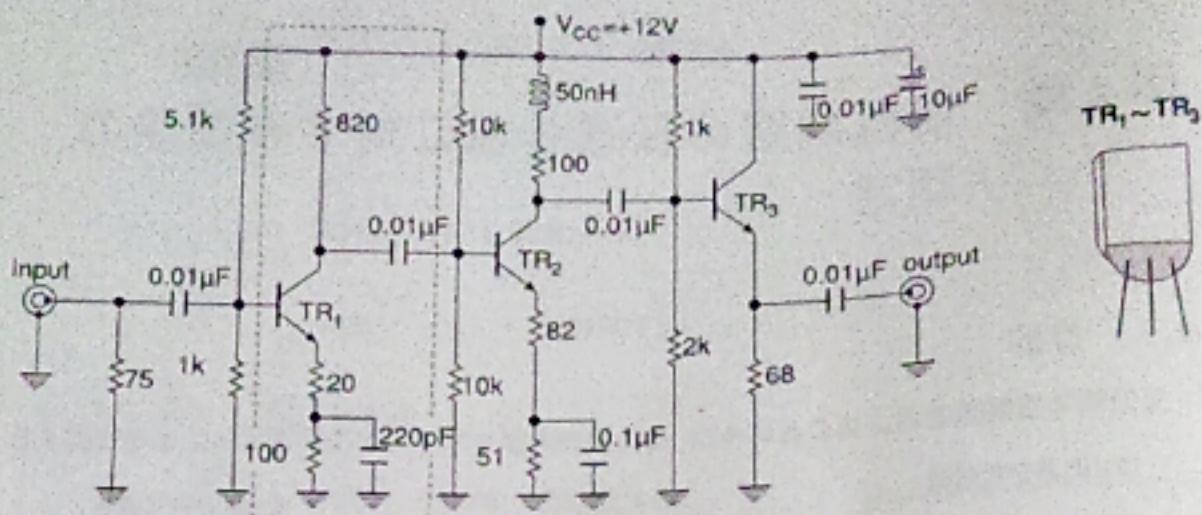


図 4.2 増幅器の回路図

表 4.1 部品リスト

部品名	値	数
抵抗	75Ω	1
	$1\text{ k}\Omega$	2

コンデンサー	$0.01\mu\text{F}$	5
	220 pF	1

コイル	50 nH	1
トランジスタ	C2644	3

4.3.2 トランジスタの端子

トランジスタにはベース (B), エミッタ (E), コレクタ (C) という 3 つの端子があるが、本体には端子の名前が書かれていない。さらに、トランジスタの型番によって端子の配置は異なる。端子の配置を調べるにはトランジスタのデータシートを用いる。トランジスタの型番を本体から読み出し、データシートで調べる。

4.3.3 レイアウト

部品を基盤に半田付けする前に、図 4.3 のような部品の配置と配線の設計を行う。

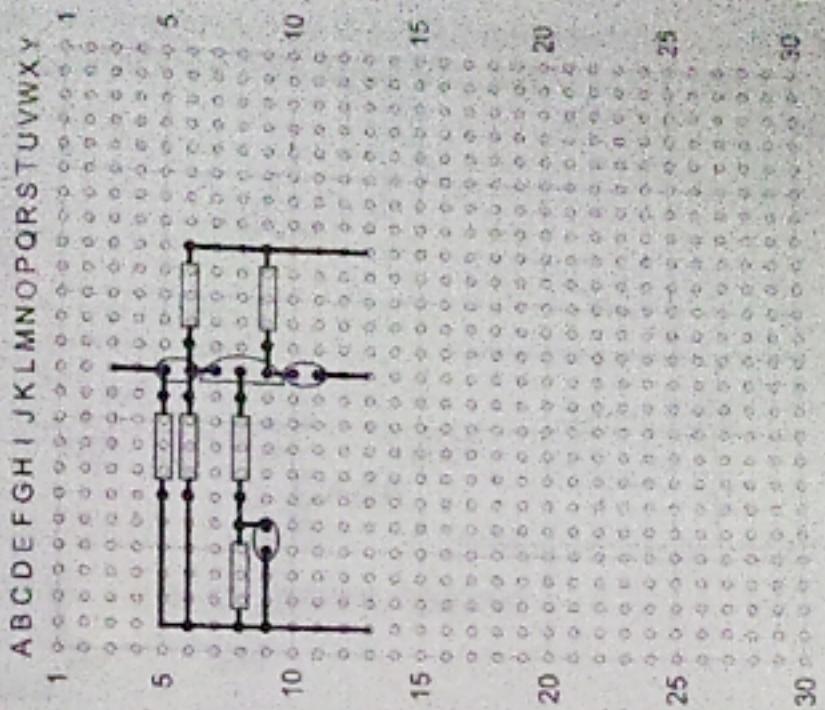


図 4.3 部品のレイアウトと配線の例

4.3.4 コイルの設計・作成

增幅回路には 50 nH のコイルが必要である。そのようなコイルは市販されていないため、自分で作る。

1. コイルの設計

式 4.1 を元に 50 nH のコイルを設計する。

$$L = \mu_0 n^2 l S \quad (4.1)$$

ここで、

$L [\text{H}]$: コイルの自己インダクタンス

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} [\text{H/m}]$: 真空の透磁率

$n [\text{m}^{-1}]$: 単位長さあたりの巻数

$l [\text{m}]$: コイル長

$S [\text{m}^2]$: コイルの断面積

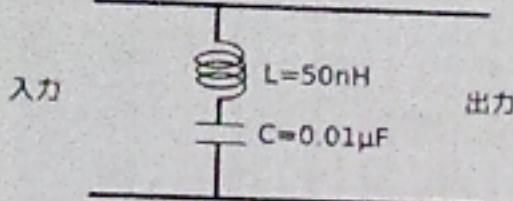
である。

2. インダクタンスの確認

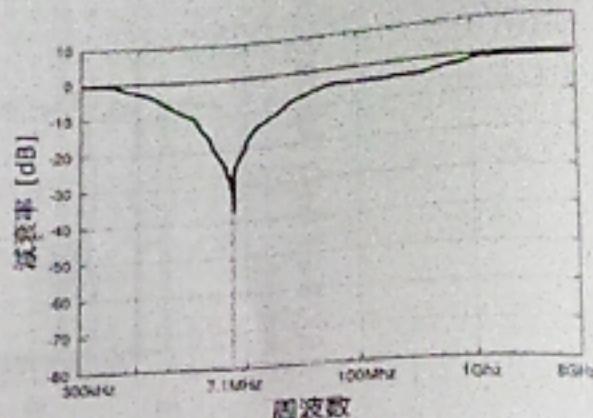
設計されたコイルのインダクタンスの値が 50 nH であるかどうかを確認するには、LC 直列回路の周波数特性を用いる。LC 直列回路の回路図とその周波数特性を図 4.1

に示す。LC 直列回路の共振周波数は式 4.2 により求まる。ここで用いられるコンデンサの値は $0.01 \mu\text{F}$ である。コイルのインダクタンスが 50nH であれば、共振周波数は 7.1 MHz になる。

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4.2)$$



(a)



(b)

図 4.4: LC 直列回路 (a) 回路図 (b) 周波数特性

4.3.5 半田付け

TA や先生に半田付けのやり方を教えてもらう。

4.3.6 増幅器の周波数特性の測定

2 章と同じ方法で行う。

増幅器が正しく動作した場合、周波数特性は図 4.5 のようになるはずである。周波数が 300 KHz から 100 MHz までの信号が増幅され、それ以上の周波数の信号は増幅されない。

4.3.7 増幅器を用いた場合の符号誤り率測定

3 章と同じ方法で行う。測定構成を図 4.1 に示す。

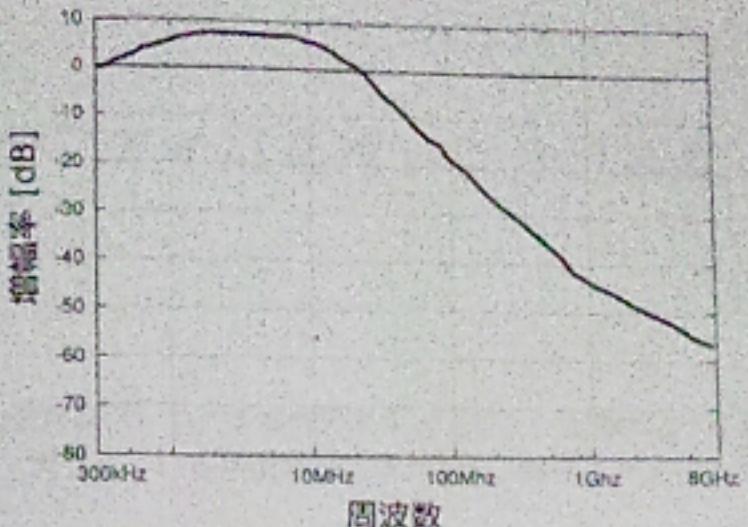


図 4.5: 増幅器の周波数特性

4.4 参考資料

4.4.1 LC 直列回路

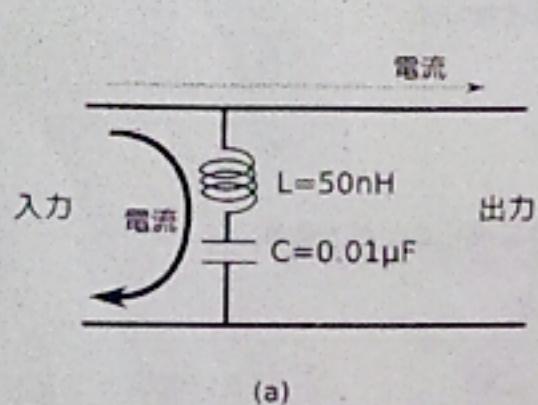
LC 直列回路のインピーダンス Z は以下のように導くことができる

$$\begin{aligned} Z &= X_L + X_C \\ &= j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \\ &= \frac{1 - \omega^2 LC}{j\omega C} \end{aligned}$$

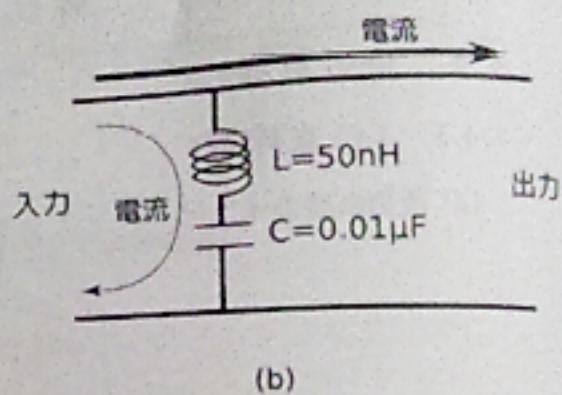
$Z = 0$, すなわち $1 - \omega^2 LC = 0$ の場合を考えると,

$$\begin{aligned} 1 - \omega^2 LC &= 0 \\ \omega^2 LC &= 1 \\ (2\pi F)^2 LC &= 1 \\ F &= \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \end{aligned}$$

したがって、周波数 F が $1/(2\pi\sqrt{LC})$ のとき、LC 直列回路のインピーダンスは 0 になる。このとき、回路の入力ポートには電流がよく流れ、出力ポートには流れない。



(a)



(b)

図 4.6: LC 直列回路に流れる電流 (a) インピーダンスが小さい場合 (b) インピーダンスが大きい場合

第5章 光ファイバを用いた伝送実験

5.1 目的

光ファイバを伝送路に用いたときの波形とアイバターンを観測し、同軸ケーブルの場合と比較する。また、光ファイバの周波数特性を測定し、同軸ケーブルの周波数特性と比較する。

本実験ではシングルモード光ファイバを用いて実験を行う。

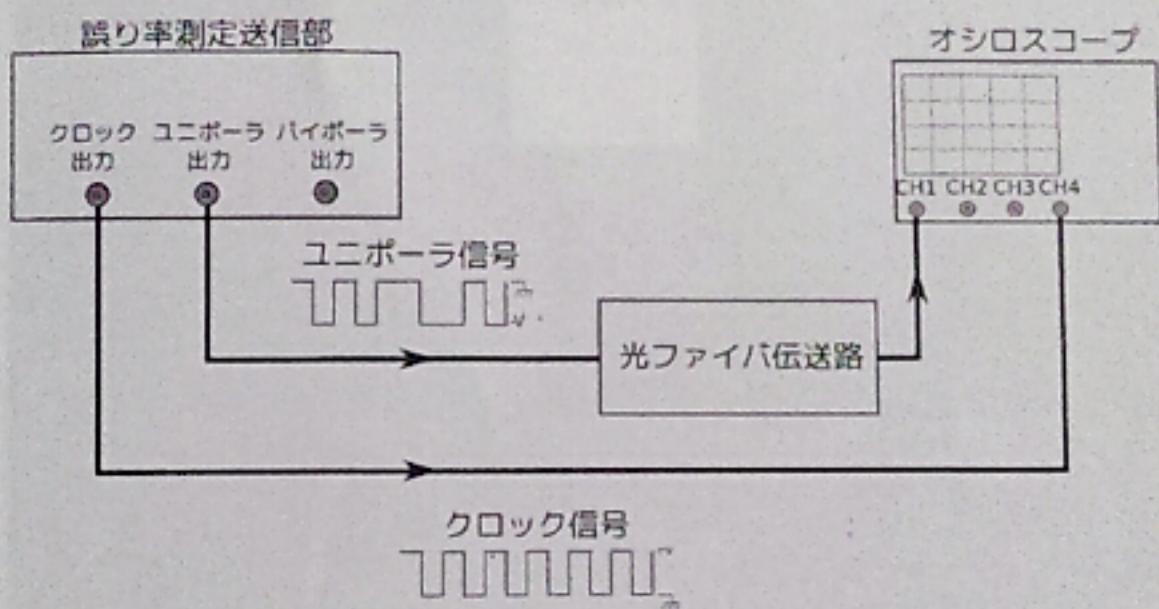


図 5.1: 実験構成 (ユニポーラ信号の場合)

5.2 実験項目

光ファイバの長さは 1 m と 1 km の両方について測定を行う。

- ユニポーラ信号: 波形・アイバターンをファイバ長を変えて 2 画像ずつ
- バイポーラ信号: 波形・アイバターンをファイバ長を変えて 2 画像ずつ
- 周波数特性: 3 画像 (後述)

5.3 機材

1. 光ファイバ



図 5.2: シングルモード光ファイバ

2. レーザダイオード光源



図 5.3: レーザダイオード光源

3. 偏波制御器

4. 電圧源

5. アダプタ

2本の光ファイバを接続するために使われる

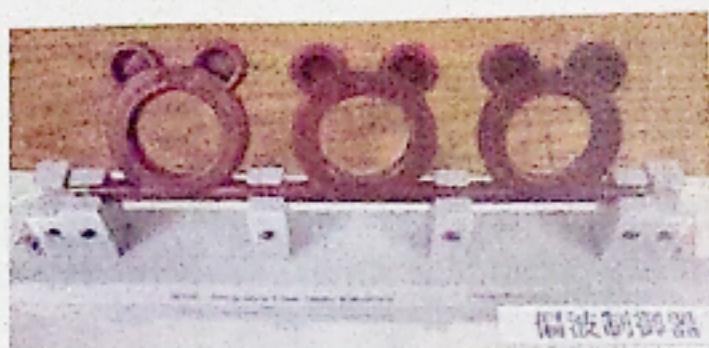
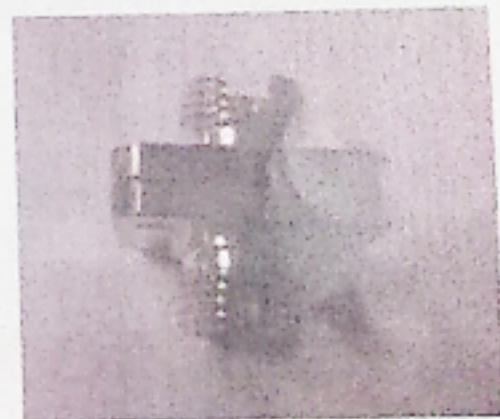


図 5.4: 偏波制御器



(a)



(b)

図 5.5: (a) 電圧源 (b) アダプタ

5.4 手順

5.4.1 配線

図 5.1 のように、同軸ケーブルを用いて誤り率測定送信部と光ファイバ伝送路システム、オシロスコープを接続する。

図 5.6 に、光ファイバ伝送路システムの構成を示す。入力信号はバイアスティーに繋がっている同軸ケーブルから入力される。また、出力信号はフォトダイオードに繋がっている同軸ケーブルから出力される。強度変調器の出力とフォトダイオードの入力を 1 m または 1 km の光ファイバで接続する。2 つの光ファイバを接続する際には図 5.5 のアダプタを用いる。

5.4.2 信号源の設定

1.4.2 章と同じ方法で行う。

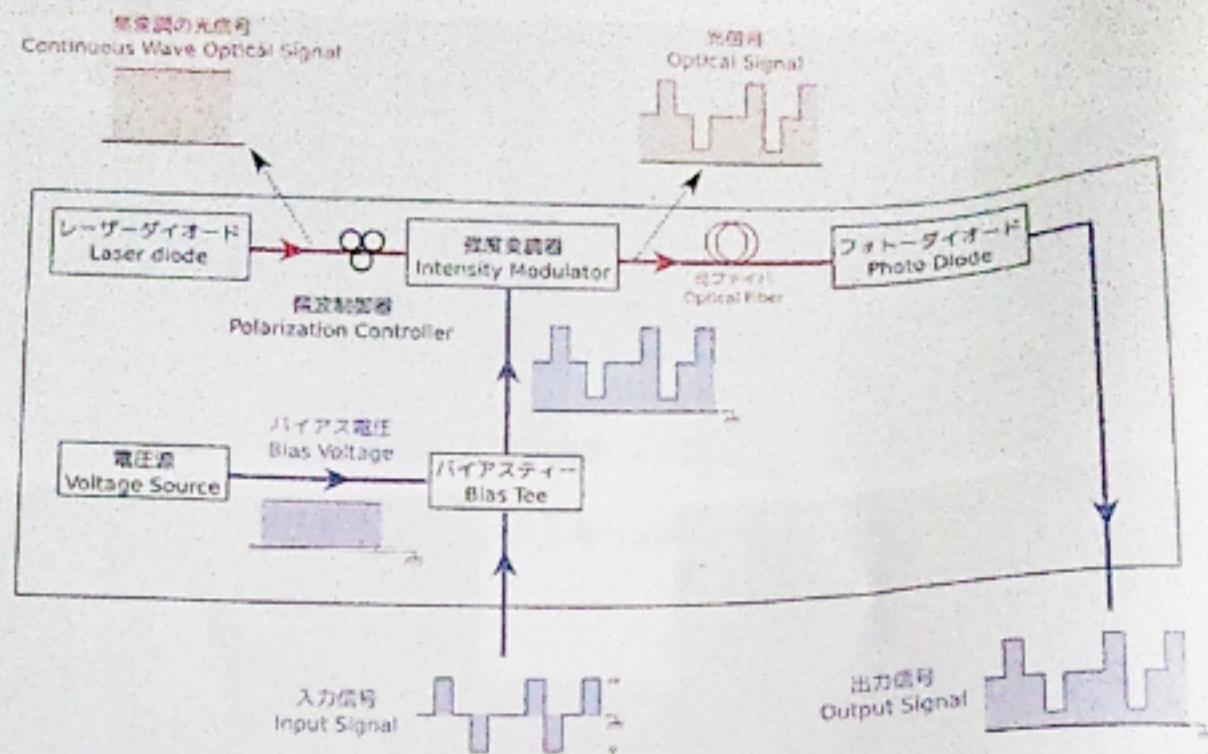


図 5.6: 光ファイバ伝送路システム

5.4.3 レーザ光源の設定

レーザ光源としてアンリツ製 MT9810B を用いる。

設定方法:

1. 電源スイッチを押し、電源を入れる。
2. **Opt On** を押す。

5.4.4 バイアスの電圧の設定

光ファイバ伝送路システムの特性を最適化（波形の劣化を最小、出力信号のパワーを最大）するには、バイアス電圧を調整する必要がある。図 5.7 に示すように、電圧バイアスを変えることにより、出力信号の波形と振幅が変わる。

バイアス電圧源として、KIKUSUI 製の電圧源を用いる（図 5.5 (a)）。

バイアス電圧源の設定:

1. **POWER** を押し、電源を入れる。
2. **+12V** を押す。
3. **OUTPUT** を押す。

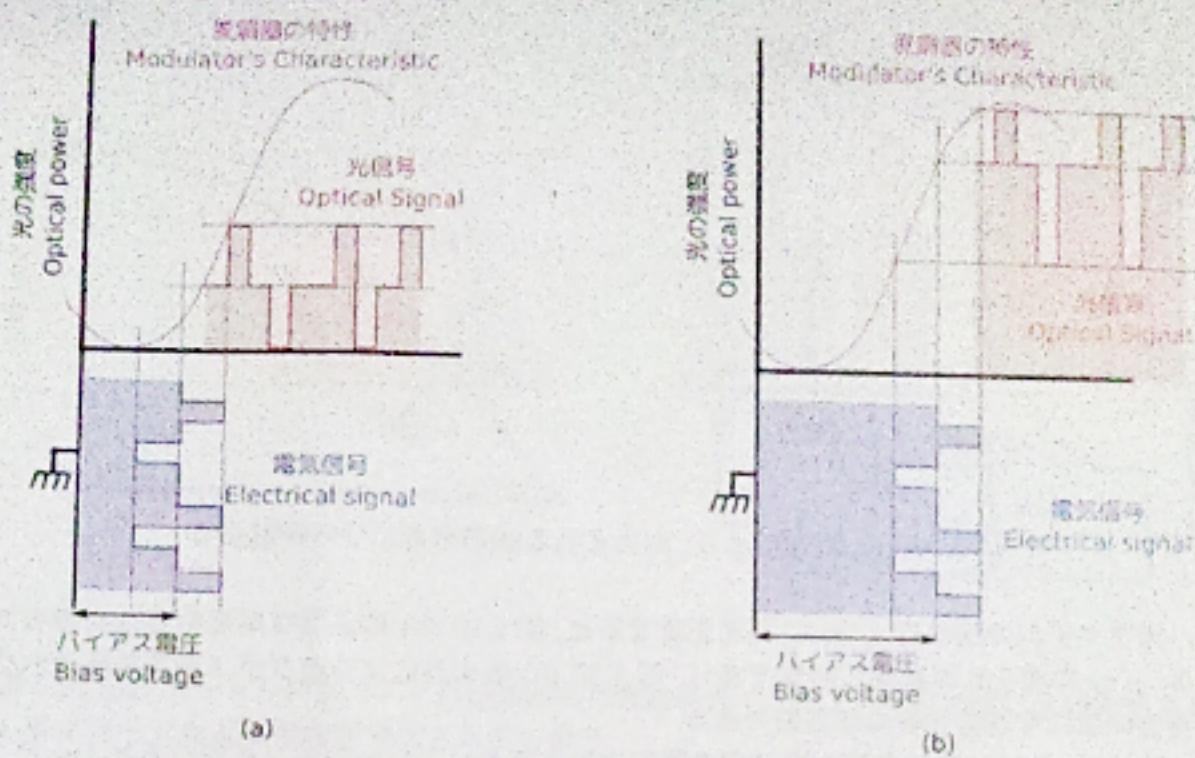


図 5.7. バイアス電圧の設定により、波形が変化する

4. 電圧を 1.1 ~ 1.2V の間で適当な値に設定する。

5.4.5 波形・アイバターンの観測

1 章と同じ方法で行う。

- 偏波の調整

本実験で使われる変調器は偏波依存性の高いものである。偏波状態により、出力される光信号のパワーが変わる。最適な偏波状態の光を入れると、振幅の大きな信号を得ることができる(図 5.8)。最大振幅の光信号を得るには、入力される偏波状態を偏波制御器を用いて調整する。

- 波形・アイバターンをオシロスコープで観測しながら、バイアス電圧の値を変える

5.4.6 周波数特性の測定

2 章と同じ方法で行う。

1 メートルの光ファイバの伝送路システムの周波数特性を測定すると、図 5.9(a)のような特性が得られる。ほぼ同軸ケーブルと同じ周波数特性を示すが、実はこの特性は光ファイバのみの周波数特性ではなく、変調器やフォトダイオードなどの周波数特性も含まれる(図 5.9 (b))。

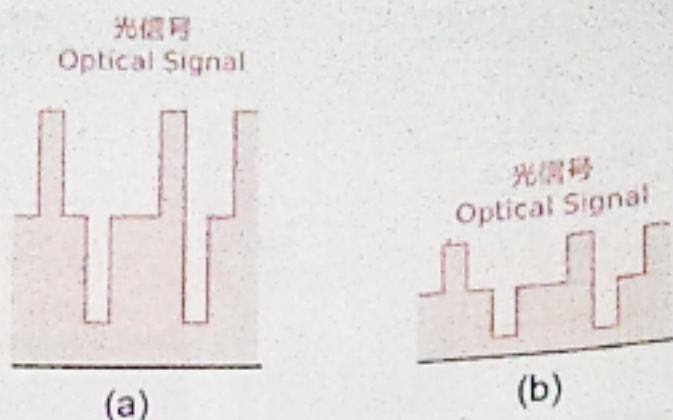


図 5.8: 偏波状態により、出力される光信号のパワーが変わる

光ファイバの長さを 1 km に変え測定すると、図 5.10 (b) のような周波数特性が得られる。1 m の場合とほぼ同じ特性であり、図 5.10 (c) のように 2 つのグラフを重ねなければ特性の違いを確認するのが困難である。

そこで、ネットワークアナライザの機能であるキャリブレーションを用いると 1m と 1 km の光ファイバの周波数特性の違いを簡単に確認できる（図 5.11）。

1. 1m の光ファイバの周波数特性を測定する。

2. キャリブレーションを行う。

- **CAL** を押す。
- **1** **NORMALIZE**
(THRU) を押す。

3. 光ファイバを 1 km に変え、周波数特性を測定する。

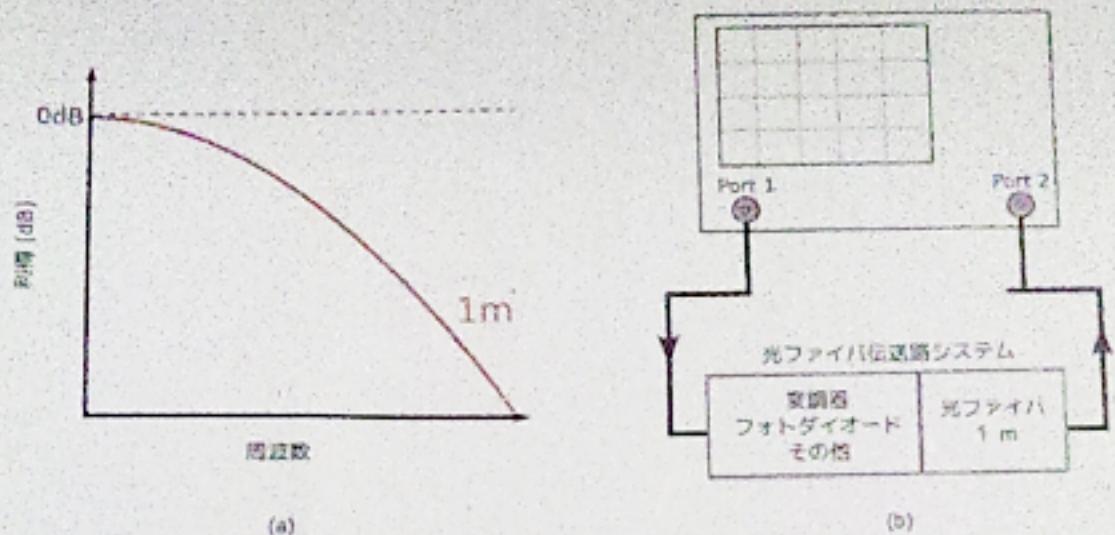


図 5.9: (a) 1 メートルの光ファイバ伝送路の周波数特性 (b) 光ファイバの他に変調器やフォトダイオードなどの特性が測定されてしまう

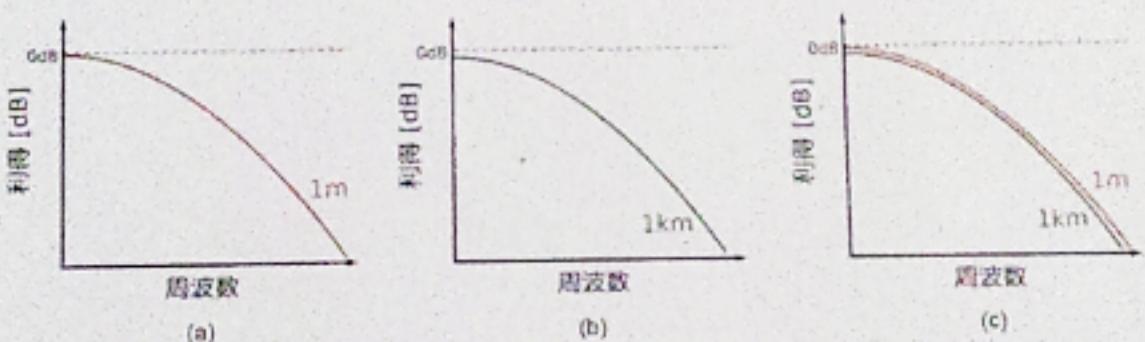


図 5.10: 光ファイバ伝送路の周波数特性 (a) 1 m (b) 1 km (c) 1 m と 1 km

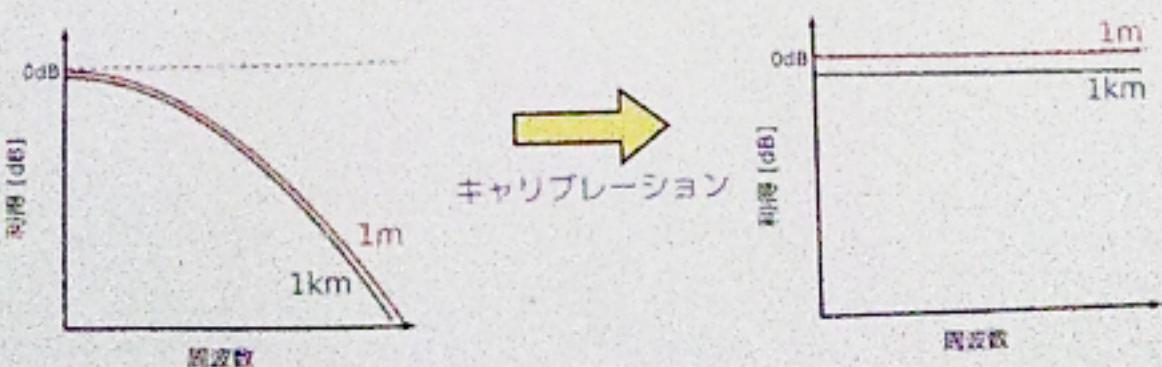


図 5.11: キャリブレーションを行うことで、1 m と 1 km の光ファイバの周波数特性の違いを簡単に確認できる