

RF 通信トレーナ

GRF-1300A

生徒用テキストブック

ユーザーマニュアルとテキストブック



ISO-9001 CERTIFIED MANUFACTURER

GW INSTEK

保証

RF 通信トレーナ GRF-1300A

この度は Good Will Instrument 社の計測器をお買い上げいただきありがとうございます。今後とも当社の製品を末永くご愛顧いただきますようお願い申し上げます。

GRF-1300A は、正常な使用状態で発生する故障について、お買上げの日より 1 年間に発生した故障については無償で修理を致します。ただし、ケーブル類など付属品は除きます。

また、保証期間内でも次の場合は有償修理になります。

1. 火災、天災、異常電圧等による故障、損傷。
2. 不当な修理、調整、改造がなされた場合。
3. 取扱いが不適當なために生ずる故障、損傷。
4. 故障が本製品以外の原因による場合。
5. お買上げ明細書類のご提示がない場合。

お買上げ時の明細書(納品書、領収書など)は保証書の代わりとなりますので、大切に保管してください。

また、校正作業につきましては有償にて受け賜ります。

この保証は日本国内で使用される場合にのみ有効です。

This warranty is valid only Japan.

2024 年 10 月

本説明書の内容の一部または全部を転載する場合は、著作権者の許諾を必要とします。また、製品の仕様および本説明書の内容は改善のため予告無く変更することがありますのであらかじめご了承ください。

取扱説明書類の最新版は当社 HP (<https://www.texio.co.jp/download/>)に掲載されています。

当社では環境への配慮と廃棄物の削減を目的として、製品に添付している紙または CD の取説類の廃止を順次進めております。

取扱説明書に付属の記述があっても添付されていない場合があります。

Microsoft, Microsoft® Excel および Windows は、米国 Microsoft Corporation の、米国、日本およびその他の国における登録商標または商標です。

Good Will Instrument Co., Ltd.

No. 7-1, Jhongsing Rd., Tucheng Dist., New Taipei City 236, Taiwan.

目次

安全上の注意	2
GRF-1300A の概要	8
パッケージの内容 : GRF-1300A	9
GRF-1300A の仕様と機能	9
使用方法	10
時間ドメインと周波数ドメインの概要	17
異なる視点からの観測	17
スペクトラムアナライザの紹介	24
広帯域受信機	24
減衰器 (アッテネータ: Attenuator)	25
分解能帯域幅フィルタ (Resolution Bandwidth Filter: RBW)	25
検出器 (Detector)	27
ビデオ帯域フィルタ (VBW: Video Bandwidth Filter)	27
RF 通信と信号実験	30
実験 1: スペクトラムアナライザの基本操作	31
実験 2: ベースバンド波形の測定	35
実験 3: 異なるベースバンド波形とその高調波測定	39
実験 4: RF キャリア (搬送波) の測定	45
実験 5: AM 信号の測定	55
実験 6: FM 信号の測定	65
実験 7: 通信システムでスペクトラムアナライザの使用	77
実験 8: 通信製品の測定	84
実験 9: 生産ラインのアプリケーション	87
実験 10: ミキサ (Mixer)	92
*ミキサ回路の紹介	103
学習成果のためのテスト	108
付録	116
dBm 変換表	116
dB と dBc の関係	116
π 型抵抗アッテネータの抵抗値	117
T 型抵抗アッテネータの抵抗値	118
変調指数および側帯波振幅比較表	119
EU Declaration of Conformity	120

安全上の注意

この章では、GRF-1300A の操作と保管する際に守らなければならない重要な安全上の注意事項を記載しています。

GRF-1300A の最良状態に保ち、安全な操作のために事前に以下をお読みください。

安全記号

これらの安全記号は、本マニュアルまたは本器に表示されています。



警告

警告：ただちに人体の負傷や生命の危険につながる恐れのある状況、用法が記載されています。



注意

注意：本器 または他の機器へ損害をもたらす恐れのある箇所、用法が記載されています。



危険：高電圧の恐れあり



注意：マニュアルを参照してください



保護導体端子



アース（接地）端子



Do not dispose electronic equipment as unsorted municipal waste.
Please use a separate collection facility or contact the supplier from which this instrument was purchased.

安全上の注意事項

一般注意事項



警告

- 電源コードは、製品に付属したものを使用してください。ただし、入力電源電圧によっては付属の電源コードが使用できない場合があります。その場合は、適切な電源コードを使用してください。
- 感電の危険があるためケーブルの先端を信号源に接続したまま抜き差ししないでください。
- 入力端子には、製品を破損しないために最大入力が決まっています。製品故障の原因となりますので定格・仕様欄または安全上の注意にある仕様を越えないようにしてください。周波数が高い信号や高圧パルスによっては入力できる最大電圧が低下します。
- コネクタの接地側に危険な高電圧を決して接続しないでください。火災や感電につながります。
- 激しい衝撃または荒い取り扱いは本器の損傷につながります。
- スペクトラムアナライザの RF 入力端子への入力信号は、+30dBm または DC 電圧が最大±25V を越えていないようにしてください。入力回路が破損します。
- 本器に静電気を与えないでください。
- 端子に対応したコネクタのみを使用し、裸線は使用しないでください。
- 通気口および冷却用ファンのある製品では通気口をふさがないでください。製品の通気口をふさいだ状態で使用すると故障、火災の危険があります。
- 重いものを製品の上に置かないでください。
- 激しい衝撃または荒い取り扱いを避けてください。本器の破損につながります。
- 濡れた手で電源コードのプラグに触らないでください。感電の原因となります。
- 危険な活線電圧を BNC コネクタのグランド側に決して接続しないでください。火災や感電の原因になります。
- 電源付近と建造物、配電盤やコンセントなど建屋施設の測定は避けてください。(以下の注意事項参照)。
- 測定ケーブルおよび入力コネクタのグランドを被測定物の接地電位(グランド)に接続してください。グランド以外の電位に接続すると、感電、本器および被測定物の破損などの原因となります。

- 製品の上に可燃物を置かないでください。
(測定カテゴリ) EN61010-1:2010 は測定カテゴリと要求事項を以下の要領で規定しています。GRF-1300A はカテゴリ I の部類に入ります。
- 測定カテゴリ IV は、建造物への引込み電路、引込み口から電力量メータおよび一次過電流保護装置(分電盤)までの電路を規定します。
- 測定カテゴリ III は、直接分電盤から電気を取り込む機器(固定設備)の一次側および分電盤からコンセントまでの電路を規定します。
- 測定カテゴリ II は、コンセントに接続する電源コード付機器(家庭用電気製品など)の一次側電路を規定します。
- 測定カテゴリ I は、コンセントからトランスなどを経由した機器内の二次側の電気回路を規定します。ただしこの測定カテゴリは今後廃止され、II / III / IV に属さない測定カテゴリ 0 に変更されます。

電源**警告**

- AC 入力電圧: AC100~240V、50~60Hz。
- 電源コード: 感電を避けるため本器に付属している3芯の電源コード、または使用する電源電圧に対応したもののみ使用し、必ずアース端子のあるコンセントへ差し込んでください。2 芯のコードを使用される場合は必ず接地をしてください。

ヒューズ**警告**

- GRF-1300A のヒューズの種類: 1A/250V。
- 弊社認証のサービス以外の方は交換しないでください。
- ヒューズ切れの原因が判らない場合、製品に原因があると思われる場合、弊社サービスまでご連絡ください。
- 間違えてヒューズを交換された場合、火災の危険があります。

クリーニング

GRF-1300A

- 製品の清掃を開始する前に電源コードを外してください。
- 中性洗剤を水の混合液を柔らかい布を浸して使用してください。製品に直接液体をスプレーしないでください。
- ベンゼン、トルエン、キシレン、アセトンなど危険な材料を含む化学物質を使用しないでください。

操作環境

- 屋内で直射日光が当たらない場所、ほこりがつかない環境、ほとんど汚染のない状態。以下の注意事項を必ず守ってください。
- 可燃性ガス内で使用しないで下さい。
- 高温になる場所で使用しないでください。
- 湿度の高い場所での使用を避けてください。
- 腐食性ガス内に設置しないで下さい。
- 風通しの悪い場所に設置しないで下さい。
- 傾いた場所、振動のある場所に置かないで下さい。
- 相対湿度: < 80%
- 高度: < 2000m
- 温度: 0°C~40°C

(汚染度) EN61010-1:2010 は汚染度を以下の要領で規定しています。

本製品は、汚染度 2 に該当します。

汚染の定義は「絶縁耐力が表面抵抗を減少させる固体、液体、またはガス(イオン化気体)の異物の添加を指します。

- 汚染度 1: 汚染物質が無いか、または有っても乾燥しており、非電導性の汚染物質のみが存在する状態。汚染は影響しない状態を示します。
- 汚染度 2: 結露により、たまたま一時的な電導性が起こる場合を別にして、非電導性汚染物質のみが存在する状態。
- 汚染度 3: 電導性汚染物質または結露により電導性になり得る非電導性汚染物質が存在する状態

保存環境

- 場所: 屋内
- 温度: $-10^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$
- 湿度: $<70\%$

Disposal



Do not dispose this device as unsorted municipal waste. Please use a separate collection facility or contact the supplier from which this instrument was purchased. Please make sure discarded electrical waste is properly recycled to reduce environmental impact.

イギリス向け電源コード

本器をイギリスで使用する場合、電源コードが以下の安全指示を満たしていることを確認してください。

注意:このリード線/装置は資格のある人のみが配線することができます。



警告: この装置は接地する必要があります。

重要: このリード線の配線は以下のコードに従い色分けされています:

緑/黄色:

接地

青色:

中性

茶色:

ライブ(位相)



主リード線の配線の色が使用しているプラグ/装置で指定されている色と異なる場合、以下の指示に従ってください:

緑と黄色の配線は、E の文字、接地記号 がある、または緑/緑と黄色に色分けされた接地端子に接続する必要があります。

青い配線は N の文字がある、または青か黒に色分けされた端子に接続する必要があります。

茶色の配線は L または P の文字がある、または茶色か赤に色分けされた端子に接続する必要があります。

不確かな場合は、装置に梱包された説明書を参照するか、代理店にご相談ください。

この配線と装置は、適切な定格の認可済み HBC 電源ヒューズで保護する必要があります。詳細は装置上の定格情報および説明書を参照してください。

参考として、0.75mm² の配線は 3A または 5A ヒューズで保護する必要があります。それより大きい配線は通常 13A タイプを必要とし、使用する配線方法により異なります。

ソケットは電流が流れるためのケーブル、プラグ、または接続部から露出した配線は非常に危険です。ケーブルまたはプラグが危険とみなされる場合、主電源を切ってケーブル、ヒューズおよびヒューズ部品を取除きます。危険な配線はすべてただちに廃棄し、上記の基準に従って取替える必要があります。

本書について

このテキストブックは、主に RF 通信トレーナ GRF-1300A および 3GHz スペクトラムアナライザ GSP-730 を使用した RF 通信教育を目的として書かれています。本書は、詳細な例とともに AM および FM 通信システムだけでなく、スペクトラムアナライザの原理など RF 測定に必要な実用的な知識についても簡単に説明しています。

このテキストブックは、内容を簡単に理解できるようにできるだけ多くの写真や図を掲載しました。

テキストブックには、講師版と学生版があります。すべての実験結果については、講師版に含まれています。さらに、アスタリスク(*)の付いた章は、学生版には含まれない高度な内容の追加テキストとなっています。なお、受講者が学習を進めていく上で追加テキストの省略による学習への影響はありません。

なお、受講者版にはこれらの記載されていない箇所は「メモ」ページになっています。

GRF-1300A の概要

GRF-1300A は、3MHz のベースバンド信号と最大 900MHz のキャリア信号を出力できる RF 教育向けのトレーニングキットです。GRF-1300A には、AM 変調と FM 変調信号の RF 回路実験をすることができます。

本トレーニングキットを使用した実際の演習は、最も一般的な RF 学習コースのニーズに対応できるように設定されています。

GRF-1300A は、ベースバンドモジュール、RF シンセサイザ/ FM モジュールと AM モジュールで構成されています。

ベースバンドモジュールは、出力周波数と振幅が調整可能なベースバンド信号をシミュレートすることができます。信号は、正弦波、方形波または三角波を選択できます。

実験内で実際に 3 種類の波形を切り替えながら違いを確認する演習も用意されています。

RF シンセサイザ/ FM モジュールは、周波数変調を実験するだけでなく、調整可能なキャリア周波数を発生するために使用します。RF 回路理論内のいくつかのポイントで本モジュールについてフォーカスしています。また、この後の章では、実際の実験で重要なモジュールです。本モジュールとベースバンドモジュールを組み合わせると FM 信号を生成できます。スペクトラムアナライザに入力することで FM 波形のさまざまな特性を実験できます。

GRF-1300A は、USB インターフェイス経由でコンピュータから制御できます。インターフェイス経由で PC から個々の回路をオン/オフすることで、受講生が誤動作診断の実験ができます。

受講生は、本器を使用した様々な実験を通して RF 理論の基本的な側面を学習できます。RF 回路を基本機能ごとに学習できるようにしているため RF 理論を理解することがより簡単になっています。これにより、受講生は理論が RF 回路の実用的な側面にどのように関連しているかを理解することができます。

本システムは、信号発振、周波数変調、振幅変調、通信およびその他の機能を一つにまとめた RF 通信学習装置です。異なるモジュールを組み合わせることで、さまざまな RF 回路実験を実施できます。具体的な実験については、後の章で説明します。RF 通信トレーナ GRF-1300A は、搬送波波形でオーディオ信号を変調できます。このシステムは、RF 回路理論および学習により生じる難しさを考慮に入れています。様々な RF 理論に焦点を当て、RF 回路の理論的な側面を理解するための実験を設定しています。これはまた、実際の実験により RF 回路を学習する学生の興味を高めるという利点があります。

図 A-1.
GRF-1300A
コントロール
パネル

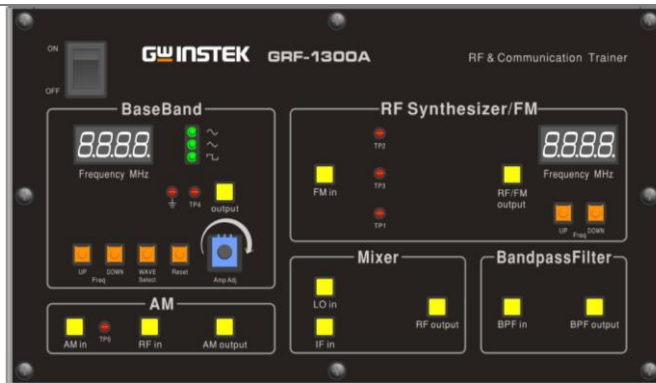


図 A-2.
スペクトラム
アナライザ
GSP-730



パッケージの内容: GRF-1300A

GRF-1300A のパッケージには、GRF-1300A 本体、RF ケーブル 10cm× 3 本、RF ケーブル 20cm× 1 本、RF ケーブル 80cm× 2 本、CD(受講生用テキスト)、アンテナ、電源コードが含まれています。

項目	写真	数量	備考
GRF-1300A		1	
RF ケーブル		3	100mm
RF ケーブル		1	200mm
RF ケーブル		2	800mm
アンテナ		2	800-1000MHz
AC 電源コード		1	仕向け地による
変換アダプタ		1	N-SMA 変換アダプタ

GRF-1300A の仕様と機能

機能	項目	仕様
ベースバンド	波形	正弦波、矩形波、三角波
	周波数範囲	0.1~3MHz (三角波:0.1~1MHz) 分解能:10kHz
	振幅	$\geq 1.5V_{pp}$ $\geq 0.75V_{pp}$ (50Ω 負荷)
	高調波ひずみ	$\leq -30dBc$
RF/FM 解析	周波数確度	$\pm 0.15MHz$
	可変範囲	$\geq 45MHz$ (870~920MHz) 分解能:1MHz
	電力範囲	$\geq -15dBm$
FM	最大周波数偏移	$> 3MHz$
AM	ピーク偏差	$\geq -18dBm$
Mixer	LO+IF	$\geq -35dBm$
	LO-IF	$\geq -35dBm$
Mixer + modulation		$\geq -60dBm$
バンドパスフィルタ	センター周波数:2.4GHz	帯域幅: $\pm 20MHz$
通信制御による機能	診断実験用としてリモートコマンドで回路のオン/オフが可能	

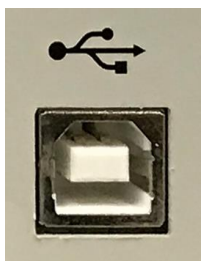
使用方法

手順

1. 安全のため、本機を正しく AC 電源に接続してください:
AC100V~240V、50-60Hz

感電防止のため、接地端子が正しくアースされていることを確認してください。

2. 電源ソケットと USB ポートは背面パネルにあります。
電源スイッチは、パネル上部の左側にあります。



USB ポート



AC ソケット



電源スイッチ

3. 複数のモジュールを同時に使用する場合は、各モジュール間を適切な RF ケーブルで接続してください。

図 A-3.
異なるモジュール間を接続した例



4. ベースバンドモジュールは、UP および DOWN ボタンを使用して、ベースバンド信号の周波数を可変できます。ベースバンドモジュールは 10kHz ステップで調整可能です。



- WAVE Select ボタンを押すと、3 種類のベースバンド波形が選択できます。対応する LED が点灯します。
- Reset ボタンを押すと、GRF-1300A の設定をリセットします。リセットするとベースバンド信号は周波数 0.10MHz の正弦波、搬送波は 880MHz になります。
- output 端子から、設定したベースバンド信号が出力されます。
- 4 桁ディスプレイにベースバンド信号の周波数が表示されます。
- TP4(テストポイント 4)は、出力ポートからの出力信号をモニタできます。
- ポテンショメータを回すと、出力ベースバンド信号の出力電圧を調整できます。時計方向に回すと振幅が増加し、反時計方向に回すと振幅が減少します。

図 A-4.
ベースバンドモジュール



5. RF シンセサイザ/ FM モジュールの UP ボタンと DOWN ボタンを押すとキャリアの周波数を変更することができます。キャリア周波数は、1MHz ステップで可変します



- 4 桁ディスプレイは、キャリア信号の周波数を表示しています。
- FM in 端子と RF/FM OUTPUT 端子は、FM 信号の入力とキャリア信号の出力です。
- TP2, TP3 と TP1 は、疑似故障回路のモニタに使用します。各テストポイントの位置は図 A-7 を参照してください。



図 A-5.
RF シンセサイザ/
FM モジュール

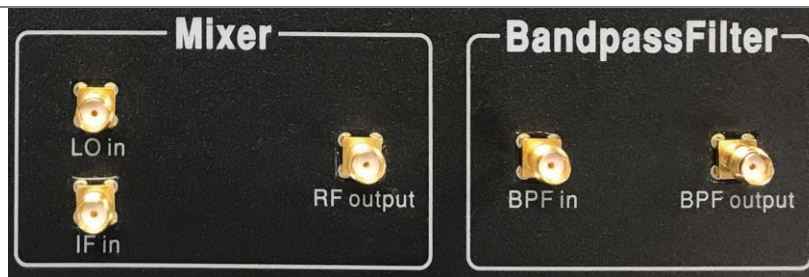


6. AM モジュールは、振幅変調に使用します。AM in 端子および RF in 端子は、それぞれ変調信号および搬送波信号を入力します。AM output 端子は、振幅変調波形を出力します。

図 A-6.
AM モジュール

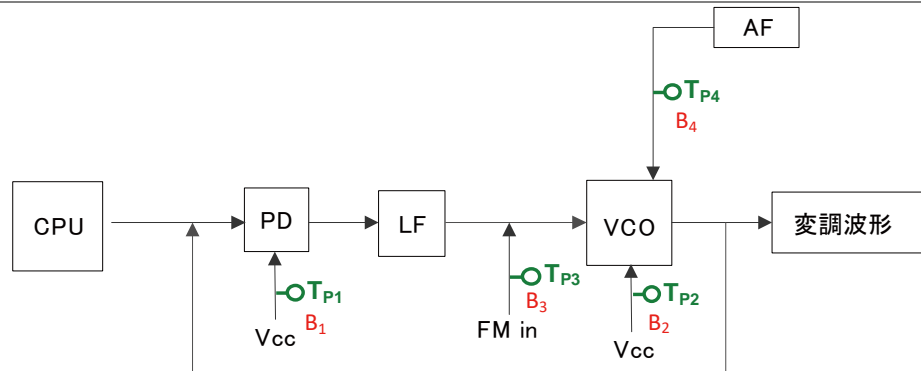


ミキサは、RF 信号を中間周波数信号に変換するか、または逆の変換で、中間周波数信号を RF 周波数信号に変換し搬送されたメッセージを送信または処理します。



7. パネル上に5つのテストポイント(Tp1、Tp2、Tp3、Tp4、Tp5)があります。これら5つのテストポイントは、接続されたモジュールの回路経路上の異なるポイントに設定されています。具体的な位置は図 A-7 のようになります。対応するリレー(B1、B2、B3、B4、B5)をオン/オフ可能です。オシロスコープを使用して、これらのテストポイントで回路の状態を検出/確認することができます。

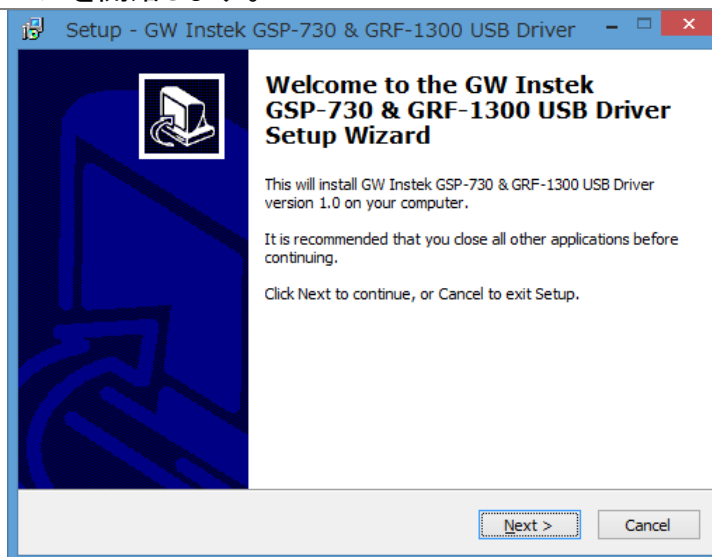
図 A-7.
各テストポイントの回路位置

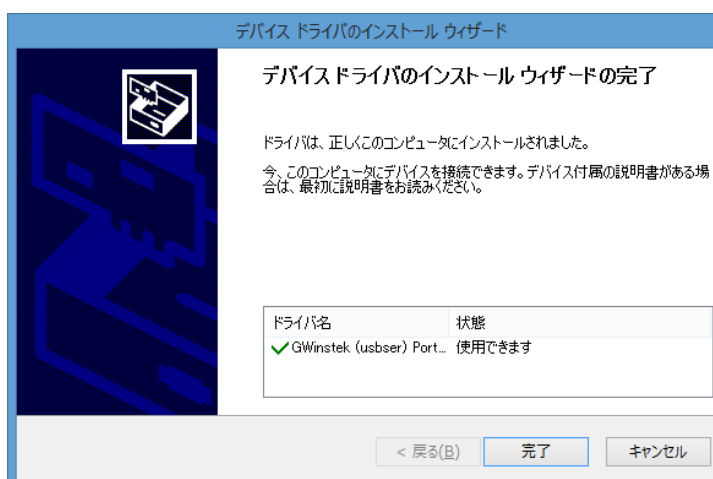
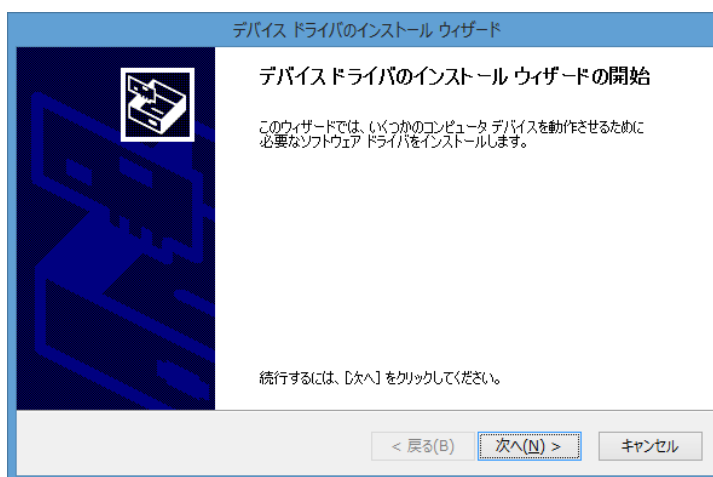
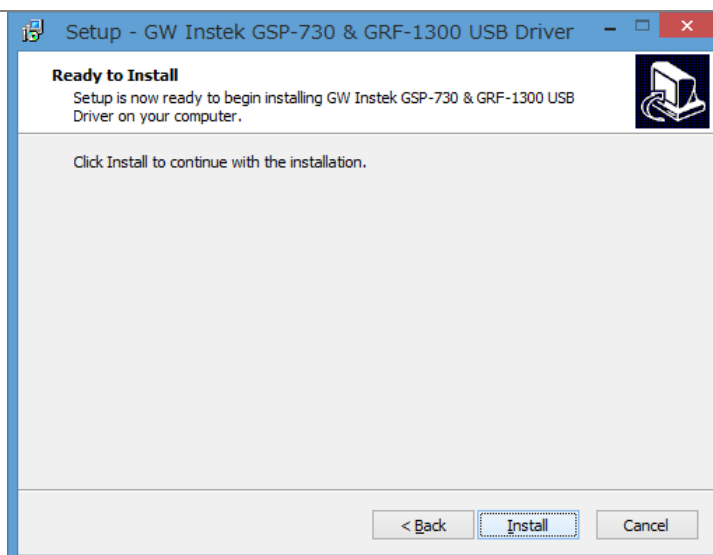


USB インターフェイス

8. USB 通信を使用する場合に PC が認識しない場合は、PC に USB ドライバーをインストールする必要があります。自動で認識されない場合はドライバの手動インストールが必要です。USB ドライバの Setup.exe ファイルをダブルクリックするとインストールを開始します。

図 A-8.
USB ドライバのインストール手順





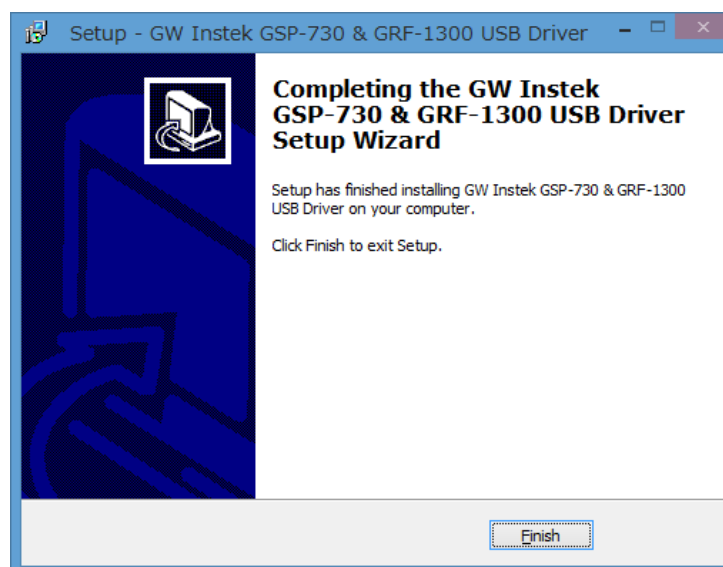
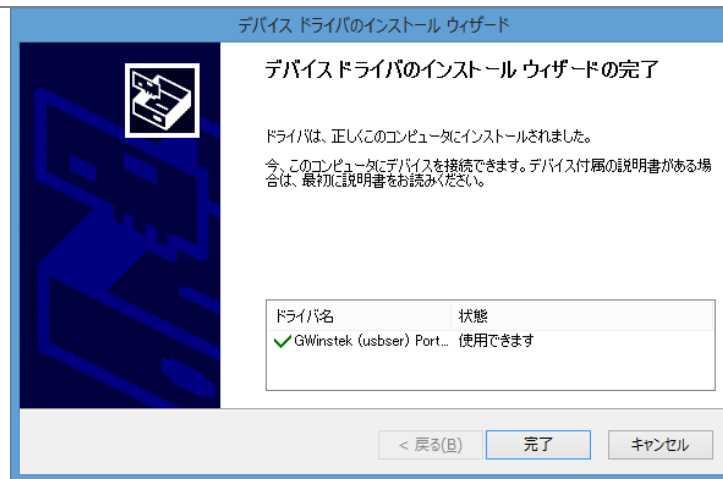
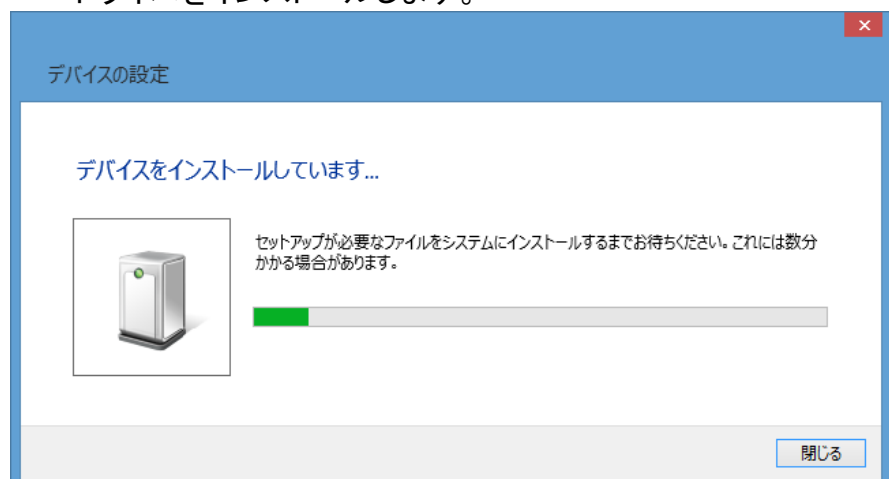
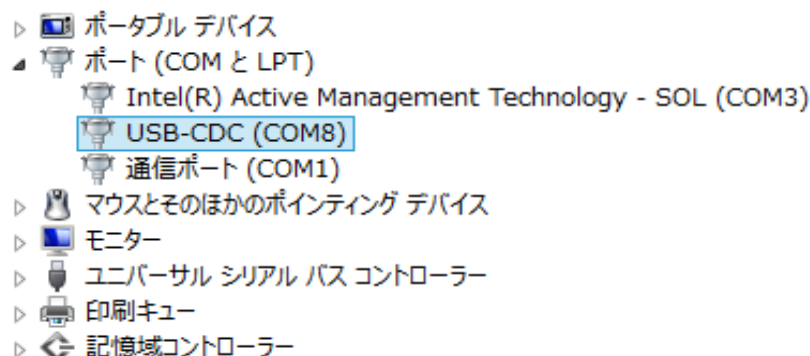


図 A-9.
GRF-1300A を
PC に認識させ
る。

- 「続行」ボタンをクリックします。インストール完了するまで待ちます。
- PC に GRF-1300A を接続します。GRF-1300A の電源をオンします。
- PC が先ほどインストールしたドライバを使用して自動的にドライバをインストールします。



ドライバの認識が完了すると GRF-1300A は、「COM と LPT」に USB-CDC (COM**)として認識されます(下図は COM8 として認識されています。)



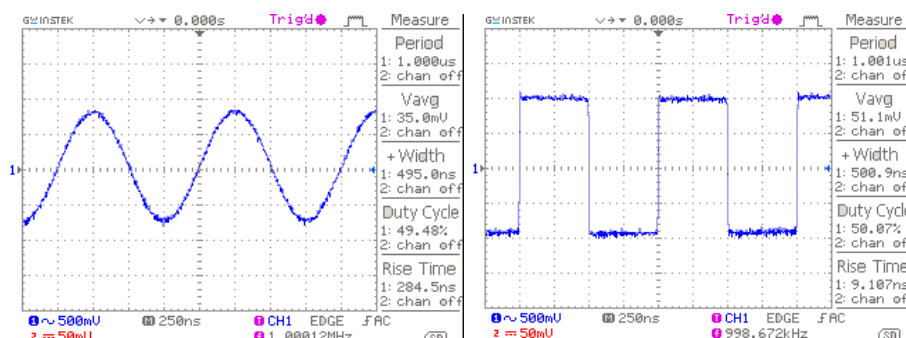
9. 以下に、各コマンドとその機能についての説明を記載しています。

コマンド	機能
*IDN?	製造者、モデル名とシリアル番号を返します。
RF?	FM/RF シンセサイザモジュールの LED 表示値(設定値)を返します。
AF?	ベースバンドモジュールの LCD 表示値(設定値)を返します。
WAVE?	ベースバンドモジュールに設定している波形の種類を返します。
Bn? (n は、テストポイントに対応するリレー番号です)	指定したリレー番号の状態(開放/短絡)を返します。
WAVE:0	ベースバンドモジュールの波形を正弦波(sine)に設定します。
WAVE:1	ベースバンドモジュールの波形を三角波(triangle)に設定します。
WAVE:2	ベースバンドモジュールの波形を方形波(square)に設定します。
Bn:0 (' n' はリレー番号。例., B1:0)	指定したリレーをoffに設定します。
Bn:1 (' n' はリレー番号。例., B3:1)	指定したリレーをONに設定します。
AF:N(N は、設定する周波数)	AF周波数をN[Hz]に設定します。
RF:N(N は、設定する周波数)	RF 周波数をN[Hz]に設定します。

時間ドメインと周波数ドメインの概要

異なる視点からの観測

信号が時間ドメインにあるというとき、信号が時間の関数として表されることを意味します。例えば、1 マイクロ秒 (μsec 、 10^{-6}) ごとに 1 回繰り返される正弦波信号を記述すると、信号の周期は $1\ \mu\text{s}$ です。通常、オシロスコープを使用してこれらの信号特性を時間ドメインで測定します。さらに、方形波の立ち上がり時間と立ち下がり時間についても時間ドメインで観測されます。位相遅延も時間ドメインで測定されます。オシロスコープは、時間ドメインで測定をする最も一般的な電気信号測定器です。



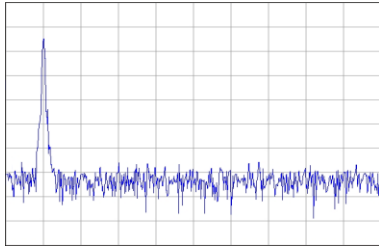
1 μsec 正弦波

同じ周期の方形波

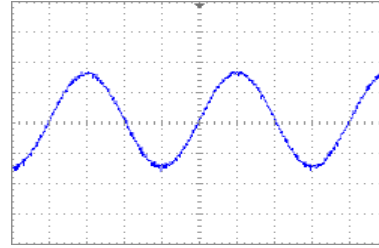
しかし、振幅と周期が同じ正弦波と方形波を観測すると、その違いを説明する方法はありますか？ 周波数ドメインでの測定は、まさに別の視点で観測をします。

まず、周波数ドメインの意味について説明します。周波数ドメインとは、信号に含まれる周波数成分を観測することを意味します。1 μs の周期を持つ正弦波信号をスペクトラムアナライザに入力すると、1MHz のところに明瞭な信号が表示されます。これにより、周波数は周期の逆数であることがわかります。従って、1 マイクロ秒周期の正弦波は、1MHz の周波数と言い換えられます。オシロスコープでは電圧が測定できスペクトラムアナライザでは電力 (dBm) を測定できます。電圧と電力は、一方から他方に変換できるので電圧と電力の両方を使用して信号の強度を表すことができます。

ここでは、先ず基本的な概念を紹介します。スペクトラムアナライザに表示されているスペクトル内の各周波数ポイントは、単一周波数の正弦波 (サインまたはコサイン) を表します。



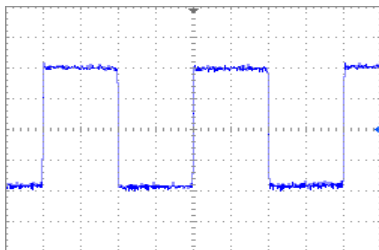
スペクトラムアナライザの表示



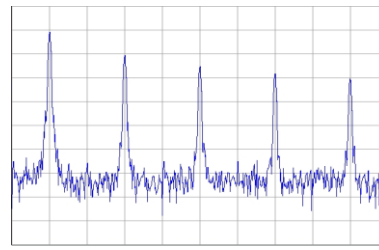
オシロスコープの表示

方形波は、どうでしょうか？

ここで、方形波と正弦波が周波数ドメインでどのように異なるかについて説明します。1 μ s 周期の方形波をスペクトルアナライザに入力すると、その波形表示(通常、スペクトルまたは周波数分布と言う)は以下の通りです。



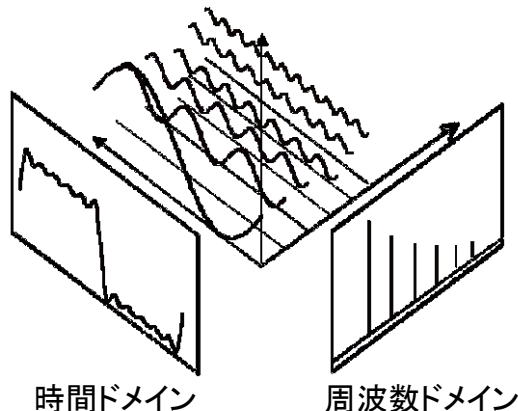
オシロスコープの表示



スペクトラムアナライザの表示

方形波のスペクトルを正弦波のスペクトルと比較すると、1MHz の成分の他に、より高い周波数成分で振幅が減少しているスペクトルが有ることががわかります。したがって、方形波は、1MHz の基本周波数に加えて、基本周波数の奇数倍の周波数成分も含まれています。

以下の図は、時間ドメインと周波数ドメインの関係を表しています。時間ドメインにおける方形波信号は、複数の基本高調波に分解することができる。この高調波成分の分布は、周波数ドメイン表示で明確に観測できます。このように周波数領域分析は、時間ドメインとは別の視点からの信号の特性を記述できます。



時間ドメイン

周波数ドメイン

スペクトラムアナライザの紹介

スペクトラムアナライザは、RF マイクロ波測定のための最も重要な機器の 1 つです。一般に、スペクトラムアナライザに精通することは高周波マイクロ波機器の操作や通信測定に非常に重要です。さらに、スペクトラムアナライザの基本操作原則に精通することは、他の関連装置をすばやく理解することができます。

この章では、スペクトラムアナライザの基本的な動作原理を簡単に紹介します。基本的な動作原理を理解したのちにスペクトラムアナライザを使用すると便利なツールであることが分かります。

広帯域受信機

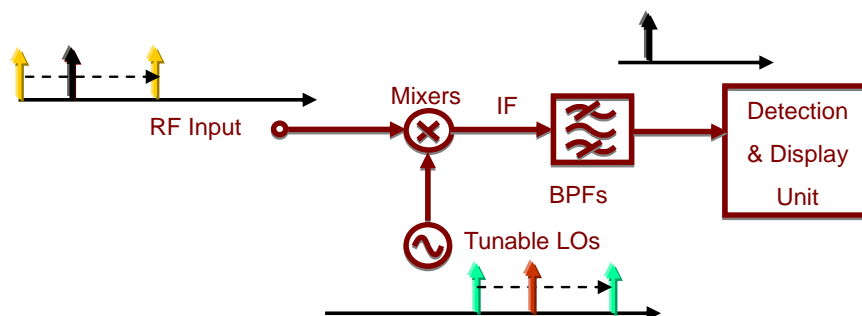
スペクトラムアナライザの主な機能は、入力信号の周波数を検出回路が処理できる周波数(帯域)に変換することです。

例えば、2.4GHz の信号は、検出器および表示装置が信号を処理する前に、数 MHz にダウンコンバートする必要があります。従って、スペクトラムアナライザは、周波数帯域を数 MHz まで変換します。

スペクトラムアナライザの前段は、無線周波数モジュールと呼ばれ、その役割は入力信号の周波数を下げることです。周波数を下げるためにミキサとバンドパスフィルタを使用します(周波数をアップコンバートすることもできます)。

ミキサは、2つの入力と1つの出力を持つ3ポートの部品です。入力ポートの2つの入力周波数をそれぞれ f_{RF} と f_{LO} とし、出力周波数を f_{IF} と仮定します。 f_{IF} は、出力ポートに出力される2つの異なる周波数の信号 ($f_{LO} - f_{RF}$ と $f_{LO} + f_{RF}$) で構成されます。1つの信号は、入力信号の和でもう1つは差です。どの中間周波数(IF: Intermediate Frequency) 信号を使用するかは、システムとそれに続く帯域通過フィルタの設計によって決まります。3つのポートの後ろに RF、LO、IF と名前が付いている理由は、従来から使用されている一般的な用語にすぎません。

図 B-1.
広帯域受信機
の基本構造

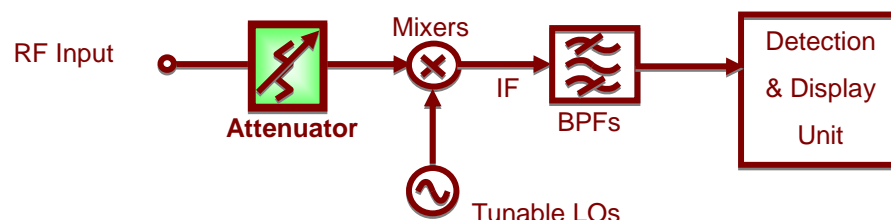


次に、スペクトルアナライザを構成しているその他の基本機能ブロックについて紹介します。これらのブロックは、スペクトラムアナライザの使用方法について説明する場合によく出てきます。

減衰器(アッテネータ: Attenuator)

RF 入力経路上の減衰器(アッテネータ)は、入力信号レベルのダイナミックレンジを拡大したり、スペクトラムアナライザの RF 入力回路の保護に用います。図 B-2 を参照すると、アッテネータは、ミキサ(RF エンド)に入力する信号レベルを一定のレベルに制限します。入力信号がリファレンスレベルを超えると、測定エラーが発生したりスプリアスノイズが発生する可能性があります。

図 B-2.
アッテネータ



分解能帯域幅フィルタ(Resolution Bandwidth Filter: RBW)

入力信号周波数は、IF に変換され、分解能帯域幅(RBW)フィルタで、周波数が互いに近い信号を区別します。

図 B-3 にこの概念を示します。

図 B-3。分解能帯域幅フィルタの基本構造

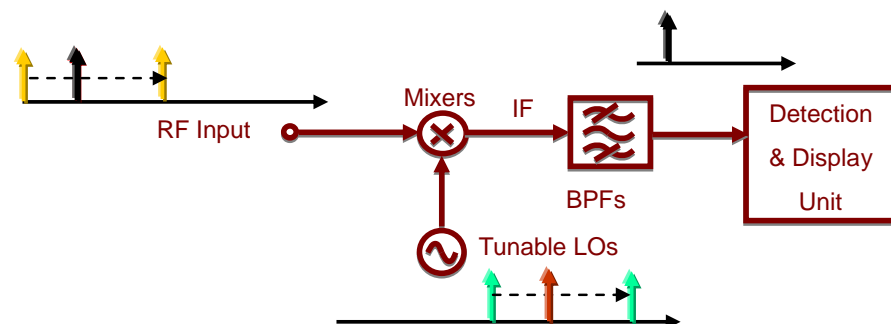
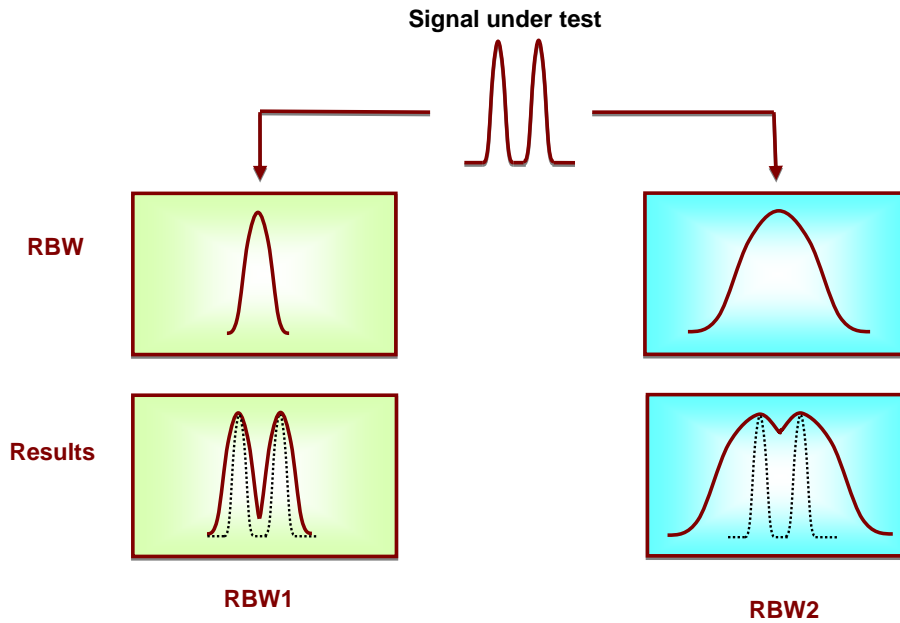


図 B-4 は、2 つの RBW フィルタが周波数が互いに近い 2 つの信号を区別する方法を示しています。

RBW2 の帯域幅は、RBW1 の帯域幅よりも広いフィルタです。

図 B-4。異なる RBW の効果 (1)

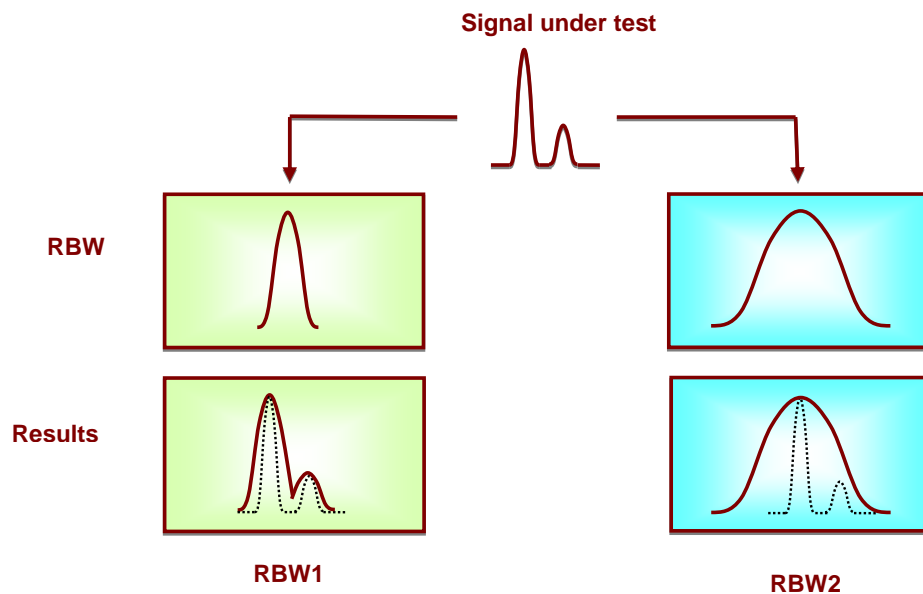


より狭い RBW1 フィルタを通過すると、2 つのトーン信号成分が互いに明確に区別されます。しかし、より広い RBW2 フィルタでは、RBW1 のような結果が得られません。RBW2 のように分解能帯域幅が広ければ、1 つの信号として誤って観測することも予測できます。これは、これらの 2 つの信号周波数さらに近接している場合にも発生します。

別の例としては、一方の信号の振幅が他方の信号の振幅よりもはるかに大きい場合です。RBW1 を使用するとより小さい信号を検出することができますが、RBW2 では不明瞭になります。

図 B-5 に、この違いを示します。このため、このフィルタは分解能帯域幅フィルタと呼ばれています。

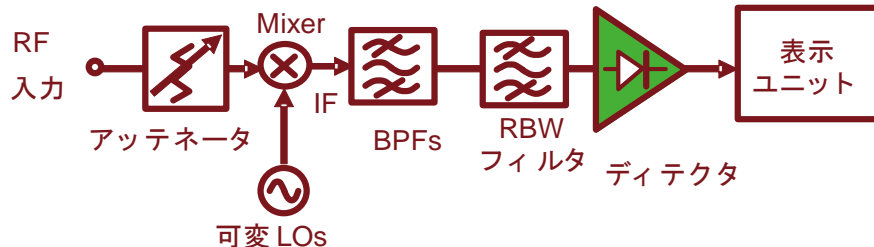
図 B-5。異なる RBW (2) の効果は、



検出器 (Detector)

RBW フィルタの後に検出器があります。検出器は電力を検出し、ADC を介して DC 電圧に変換し、それを画面に表示します。

図 B-6.
検出器



ビデオ帯域フィルタ (VBW: Video Bandwidth Filter)

ビデオフィルタは、検出器の後に使用され検出器によって生成されたノイズをフィルタリングします。図 B-7 に VBW (ビデオ帯域幅) フィルタの位置を示します。

図 B-7.
VBW フィルタ

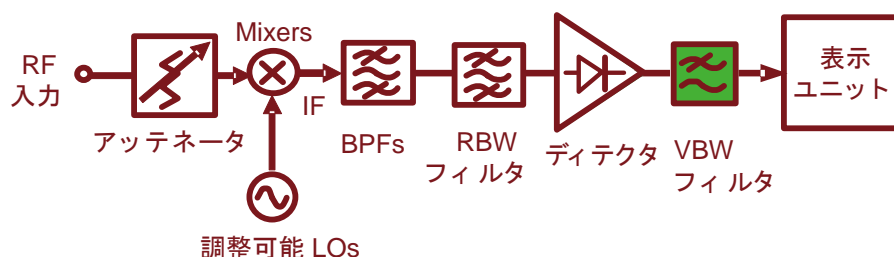


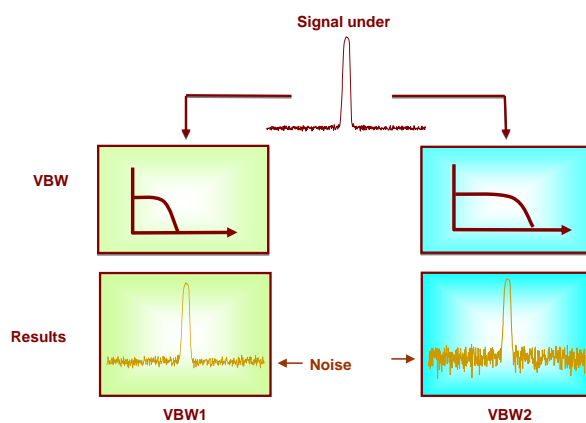
図 B-8 に、VBW フィルタが表示出力にどのように影響するかを示します。

VBW1 が VBW2 より狭い 2 つの異なる VBW フィルタを通過する場合、VBW2 のノイズフロアの大きさは VBW1 のノイズフロアの大きさよりも大きいことがわかります。しかし、ノイズフロアの平均レベルは同じままであることに注意してください。

VBW フィルタはノイズレベルの平均化のみを行います。信号ノイズフロア全体の振幅には影響しません。

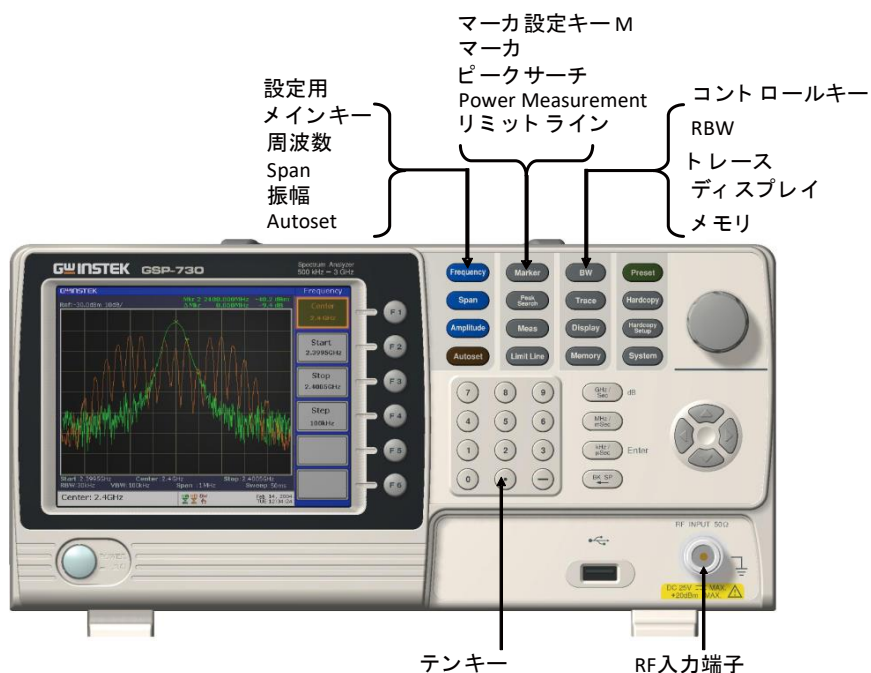
ノイズフロア (noise floor) は、スペクトラムアナライザ自体が発生するノイズ (雑音) のレベルのことです。例えば、RF 信号を入力していても、ディスプレイ画面に表示されるギザギザとした波形です。

図 B-8.
異なる VBW



RF 通信と信号実験

この章では、スペクトラムアナライザの基本的な動作原理を説明し、測定実験を紹介します。初めに、GW Instek GSP-730 スペクトラムアナライザの操作方法について簡単に説明します。操作の詳細については、GSP-730 ユーザーマニュアルを参照してください。



実験 1: スペクトラムアナライザの基本操作

関連情報

私たちの生活環境には目に見えず聞こえない電磁気ネットワークが存在しています。このネットワークは、様々な周波数帯域の無線信号に絡み合っています。これらの信号は目に見えませんがスペクトルアナライザを使用してこれらの無線信号を分析し理解することができます。

この実験では、スペクトルアナライザ GSP-730 を使用して測定環境内のいくつかの無線信号を捕捉してみます。

この実験により、スペクトラムアナライザの操作を理解し、RF 信号の分野に対する興味を持つことに役立ちます。

実験設備

項目	装置	数量	備考
1	スペクトラムアナライザ	1	GSP-730
2	アダプタ	1	N-SMA
3	アンテナ	1	800-1000MHz

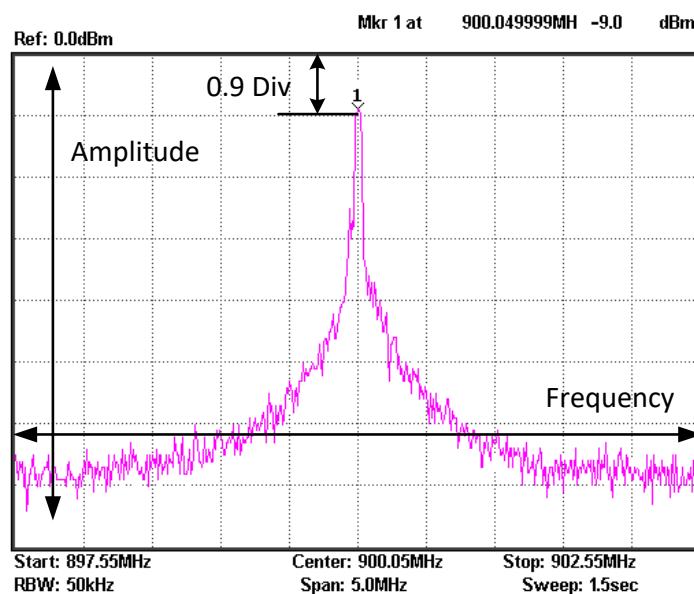
実験の目標

GSP-730 の仕様方法、周波数、振幅、マーカなどのパラメータ設定方法を理解する。

実験原理

スペクトルアナライザは、主に信号の周波数および振幅などの物理量を測定するために使用します。

基本操作は、まず周波数レンジを設定、リファレンスレベル(振幅)を設定する必要があります。



上図は、典型的なスペクトラムアナライザの表示画面です。
 水平軸は周波数、垂直軸は振幅です。
 従って、スペクトルアナライザは基本的に周波数と振幅に関連する測定をするために使用します。
 Frequency (周波数)、Amplitude (振幅)などのファンクションキーとテンキーを組み合わせることで周波数、振幅、その他の関連の設定しスペクトラムアナライザを操作します。

周波数、振幅、スパン、テンキー、ユニットキー。



周波数の設定には 2 つの方法があります。

1. 測定したい信号の周波数がわかっている場合は、センター周波数とスパン機能を使用して周波数を設定できます。
2. 周波数を範囲で測定する必要がある場合は、スタート周波数とストップ周波数の範囲で設定できます。

実験内容 スペクトラムアナライザ GSP-730 に付属のアンテナを接続し、環境内の電波を測定してみます。

実験手順 1. スペクトラムアナライザ GSP-730 にアンテナを接続します。

携帯電話の送信機信号の強度を測定してみます。
 携帯電話の周波数帯はメーカーにより異なりますが、ここでは周波数範囲を 800~2400MHz に設定してみます。

2. GSP-730 を次のように設定します：

- スタート周波数：800MHz,
ストップ周波数：2400MHz
- リファレンスレベル：-30dBm
- RBW (RBW) : Auto

Step1 **Frequency** F2 8 0 0 MHz / mSec **Start 800.0MHz**

Step2 Frequency (F3) 1 + 9 GHz/Sec Stop 19GHz

Step3 Amplitude (F1) - 3 0 GHz/Sec Ref. Level -30.0dBm

Step4 BW (F1) RBW Auto Man

3. スペクトラムアナライザの画面にいくつかの信号が表示されるはずです。最も高いピークを選択し、それらの周波数値を書き留めます。リファレンスレベルは、表示位置を調整するために使用します。

4. 携帯電話は、周波数ホッピングが使用されているためピークホールド機能を使用して取り込んだ信号のピークを保持するようにします。表示された信号の周波数と振幅を記録します。

Step5 Trace (F3) Peak Hold

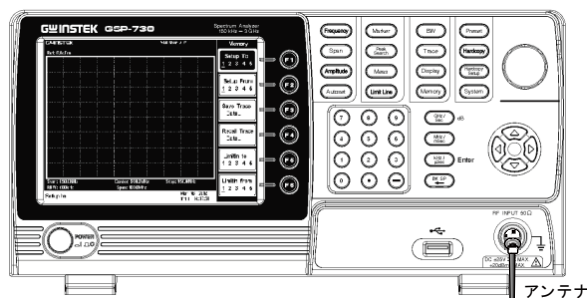
5. スパンを 5MHz に変更します。
上記の周波数ポイントをセンター周波数に設定し、より正確に観察できるようにします。
この周波数ポイントを表 1-1 に記録する。

Step6 Frequency (F2)

センター周波数を周波数ポイントに設定します。

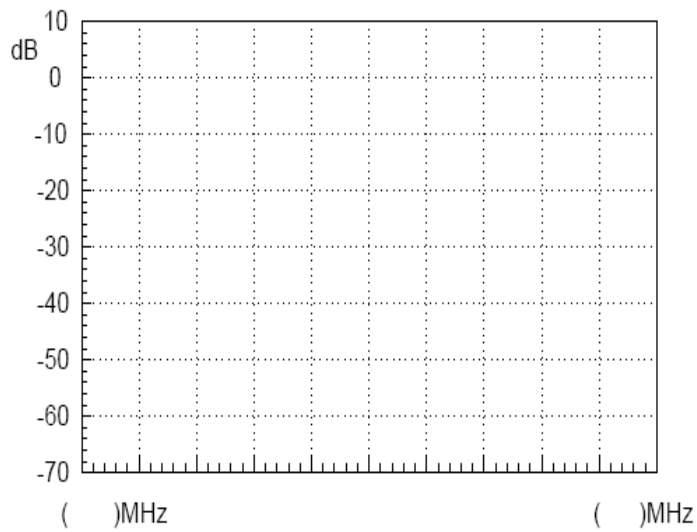
Step7 Span (5) MHz/mSec Span 5.0MHz

6. 環境内の無線信号をテストする方法は、下の図のとおりです。

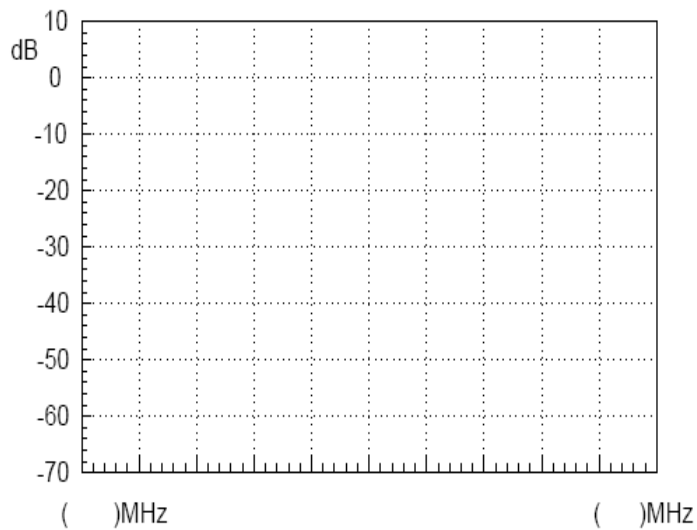


実験結果

表 1-1.
例：
携帯電話の
送信信号の周
波数と振幅



周波数: _____ 振幅: _____



周波数: _____ 振幅: _____

質問

携帯電話の信号の他に、環境内で測定できた他の無線信号は何ですか？

実験 2: ベースバンド波形の測定

関連情報 オシロスコープと比較して、スペクトラムアナライザには多くの優れた利点があります。また、スペクトラムアナライザは周波数ドメインのデータを測定するための重要な測定ツールです。
 スペクトラムアナライザの使用方法を学ぶことは、全ての生徒が RF の知識を得るために習得しなければならない必須の能力です。

この実験では、ベースバンド信号を測定することにより、スペクトルアナライザの操作方法を総合的に理解し、その後の実験の基礎を築くことができます。

項目	装置	数量	備考
1	スペクトラムアナライザ	1	GSP-730
2	RF 通信トレーナ	1	GRF-1300A
3	RF ケーブル	1	800mm
4	アダプタ	1	N-SMA

実験の目標

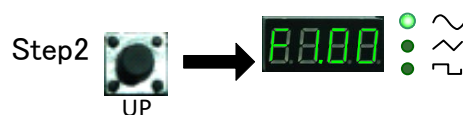
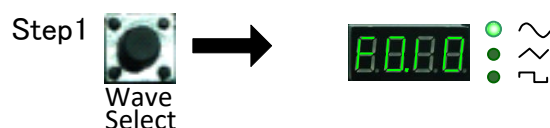
1. 基本信号の測定と解析
2. 通信トレーナ GRF-1300A を使用してベースバンド信号を出力する方法を理解する。

実験原理 1MHz の正弦波を出力するように GRF-1300A を設定し、GSP-730 でそのスペクトルを測定する。

実験の内容 スペクトラムアナライザ GSP-730 と GRF-1300A を設定し 1MHz 正弦波のスペクトルを測定する。各高調波周波数で高調波比を測定する。

実験手順

1. GRF-1300A と GSP-730 の電源を入れます。
2. GRF-1300A のベースバンド信号を次の様に設定します。
 - 波形の種類: 正弦波 (Sine)
 - 周波数: 1MHz.
 - 振幅ツマミを時計方向に最大まで回します。





3. GRF-1300A のベースバンド信号出力ポートと GSP-730 の RF 入力端子を RF ケーブルで接続します。




4. GSP-730 を次の様に接続します。

- センター周波数: 2.5MHz
- スタート周波数: 0kHz, ストップ周波数: 5MHz
- リファレンスレベル: 10dBm
- RBW: Auto



最初のステップを操作すると、ステップ 2 と 3 (以下) は自動的に設定されています。

 注意: 生徒によっては、ここで 2 と 3 のステップを実行することがあります。



5. スペクトラムアナライザのマーカ機能を使用して、高調波比を確認し、スペクトルを表 2-1 に記載してください。



ステップ 6 が終了したら、次のステップで“Delta(デルタ)”マーカを使用します。“Normal”マーカではないことを確認します。
 デルタマーカを各高調波のピーク点に移動し、表 2-1 のスペクトルの簡単な絵を描いて記録します。



6. 測定の信号源としてファンクションジェネレータも使用できますが、出力信号の振幅が高すぎないように注意が必要です。

⚠注意: GSP-730 の最大損傷電圧は、±DC 25V、+25dBm です。

dBm は、1mW を基準とする電力単位です。

$$\text{計算式は } X \text{ dBm} = 10 * \log(Px / 1mW)$$

例えば、上式 Px に 10mW を代入すると、 $10 * \log(10/1) = 10 * 1 = 10\text{dBm}$ となります。

同様に上記の式 Px に 100mW を入力すると、 $X = 10 * \log(100mW / 1mW) = 10 * 2 = 20\text{dBm}$ となります。

信号発生器の出力電圧は、多くの場合 50Ω 負荷の電圧として表現されるため、電圧を電力に変換する必要があります。

いくつかの一般的な値を次表に示します。

電圧を dBm に換算 (50Ω 負荷時)

Vpp (V)	Vm (V)	Vrms (V)	P (mW)	dBm
10.00	5.00	3.54	250.00	23.98
5.00	2.50	1.77	62.50	17.96
2.00	1.00	0.71	10.00	10.00
1.00	0.50	0.35	2.50	3.98

dBm を電圧に換算(50Ω 負荷時)

dBm	P (mW)	Vrms (V)	Vm (V)	Vpp (V)
20.00	100.00	2.24	3.16	6.32
10.00	10.00	0.71	1.00	2.00
0.00	1.00	0.22	0.32	0.63
-10.00	0.10	0.07	0.10	0.20

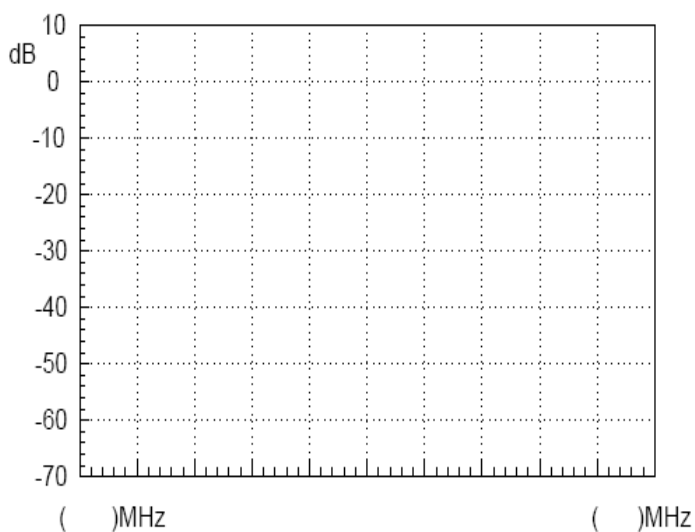
一般的にオシロスコープの入力は、1MΩ です。

そのため、50Ω 終端しない状態でオシロスコープを使用して電圧を測定する場合、Vpp と Vm の値を 2 倍にする必要があります。

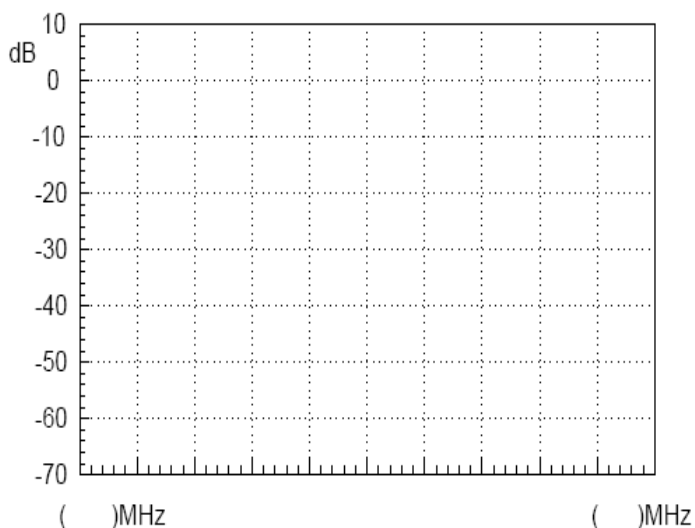
例えば、オシロスコープの測定値が 4Vpp(無負荷時)の場合、50Ω 負荷に変換すると 2Vpp、または 10dBm です。

実験結果

表 2-1.
1MHz 正弦波
のスペクトラム



第 2 高調波比: _____



3 次高調波比: _____

質問

1. 理想的な正弦波のスペクトルはどのようになりますか？
また、実際の測定されたものとはなぜ異なっていますか？.
2. 周波数ドメインにおける信号分析の特徴は何ですか？



注意

信号源の出力電力は、スペクトラムアナライザの定格入力を超えないようにしてください。

定格入力を超えると、スペクトラムアナライザが損傷します。

RF ケーブルを接続する場合は、必ずコネクタ部のネジを回し、締めつけてください。

実験 3: 異なるベースバンド波形とその高調波測定

関連情報 受講者がすでに一般的な電気信号に精通している必要があります。オシロスコープは、波形の振幅を観測するために使用されています。言い換えると、電気信号 $X(t)$ が時間とともにどのように変化するかを観察するために使用されます。しかし、私たちが何を勉強しようとしているかによって、信号測定のする理由も異なる場合があります。例えば、増幅器、フィルタ、ミキサーを分析する場合、時間に関する関数よりも、周波数によって特徴づけられる応答関数のほうが関心があります。

この実験では、周波数ドメインで信号を解析すると時間ドメインで信号解析する場合に比べて多くの利点があることがわかります。また、時間ドメインと周波数ドメインの間に存在する関係があることも分かり、フーリエ級数の背後にある理論をよりよく理解することができます。

実験装置

項目	装置	数量	備考
1	スペクトラムアナライザ	1	GSP-730
2	RF 通信トレーナ	1	GRF-1300A
3	オシロスコープ	1	DCS-2204E
4	RF ケーブル	1	800mm
5	アダプタ	1	N-SMA

実験の目標

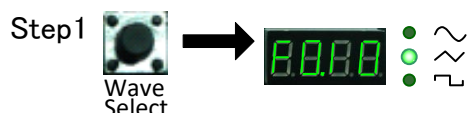
1. ベースバンド信号出力の高調波成分を測定する。
2. 測定結果からフーリエ級数定理を検証する。
3. 信号内の時間ドメインと周波数ドメインの関係を理解する。
4. この実験を通じて、振幅や周波数などの一般的な信号のスペクトル特性を測定する方法を理解する。

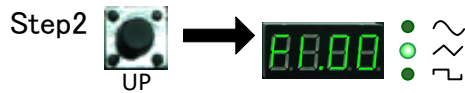
実験原理 GRF-1300A の波形(正弦波、方形波、三角波)を設定し、高調波スペクトルを測定する。
波形を切り替え、スペクトラムアナライザで高調波スペクトルを測定し違いを比較する。
時間ドメインと周波数ドメインの関係は第 3 章で既に紹介しているので、ここでは繰り返しません。

実験内容 三角波と方形波信号のスペクトラムを分析することにより、スペクトラムアナライザの使用法と GRF-1300A の使用法を理解します。

実験手順

1. GRF-1300A と GSP-730 の電源を投入します。
2. GRF-1300A のベースバンド部を以下のように設定します:
 - 波形: 三角波 (Triangle)
 - 周波数: 1MHz.
 - 振幅ツマミを時計方向に回し最大にします。



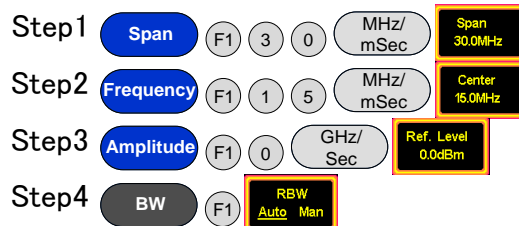


3. GRF-1300A のベースバンド部の信号出力ポートと GSP-730 の RF 入力端子を RF ケーブルで接続します。



4. GSP-730 を次のように設定します：

- センター周波数：15MHz
Span：30MHz
または
スタート周波数：0kHz,
ストップ周波数：30MHz
- リファレンスレベル：0dBm
- RBW：Auto



5. 表示されたスペクトルを観察します。
スペクトラムアナライザのマーカ機能を使用し、高調波比を測定し、スペクトルを表 3-1 に記入します。

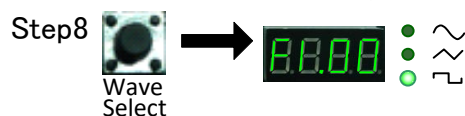


ステップ 4 を実行した後、“Normal”マーカではなく“Delta”マーカを使用しているかを確認してください。

Delta マーカを各高調波のピーク点に設定し、表 3-1 に簡単なスペクトルを書いてください。



6. GRF-1300A のベースバンドモジュール出力の波形を方形波にしてください。前と同様の手順でスペクトル測定をします。



7. スペクトラムアナライザに表示された方形波のスペクトラムを観察

します。マーカ機能を使用して高調波比を記録し、スペクトルを表 3-3 に記入します。

三角波の場合と同様に、方形波スペクトルのスペクトルを描きます。

三角波の観測で使用していたデルタマーカ(Δ - マーカ)をオフにすることを忘れないでください。

Step9   

表 3-3 にスペクトルを描いた後、次の手順で各高調波の高調波比を測定します:

Step10     

Step11     

上記で使用した方法で、高次の高調波の高調波比を測定できます。

8. スペクトラムアナライザでスペクトルを観測した後、GRF-1300A のベースバンド部の出力ポートをオシロスコープの入力端子に接続し、三角波と方形波の時間ドメイン波形を観測し、表 3-2 と表 3-4 に結果を書きます。

実験結果

1. 三角波と方形波の時間ドメインにおける波形と周波数ドメインにおけるスペクトルの測定結果を確認する。

表 3-1.
1MHz 三角波
のスペクトラム
の結果.

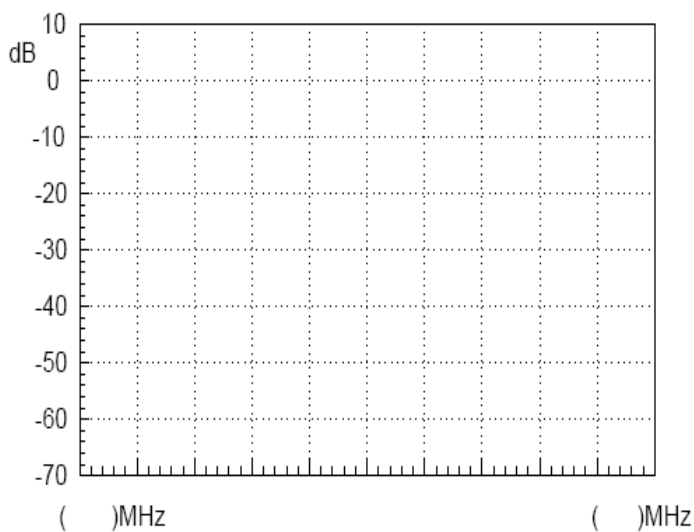


表 3-2.
1MHz 三角波
の時間ドメイン
波形

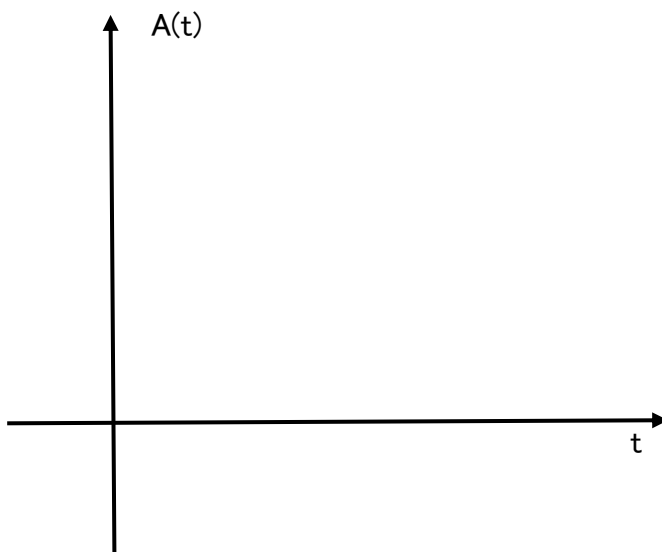


表 3-3.
1MHz 方形波
のスペクトラム
測定結果

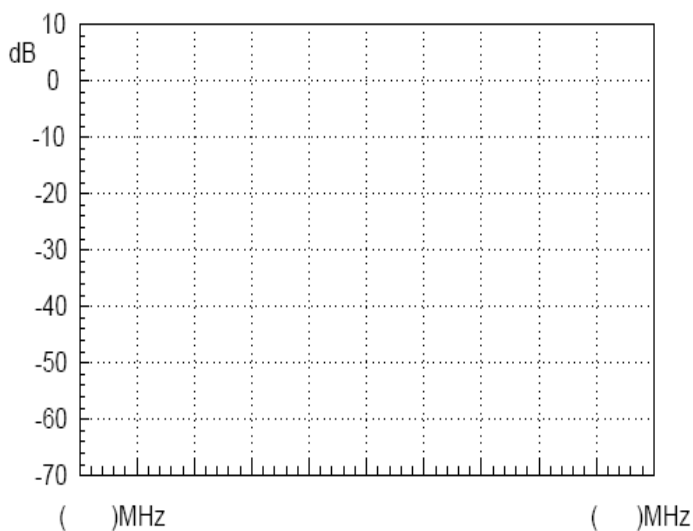


表 3-4.
1MHz 方形波
の時間ドメイン
波形

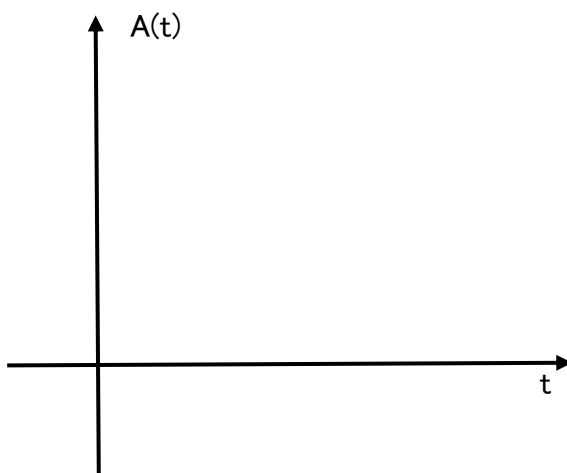
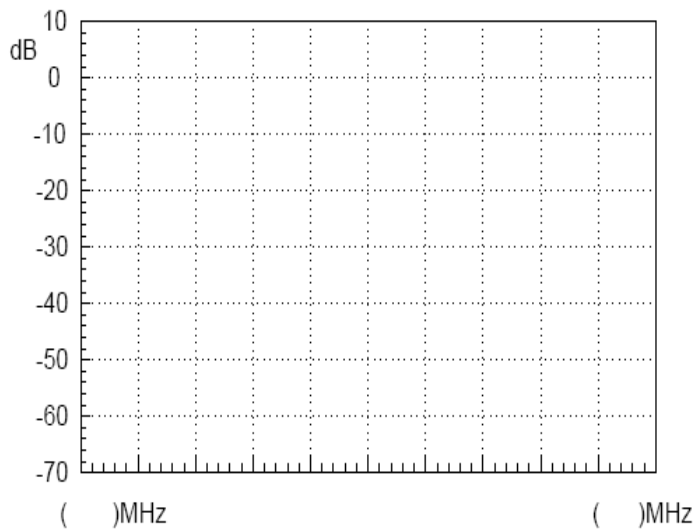


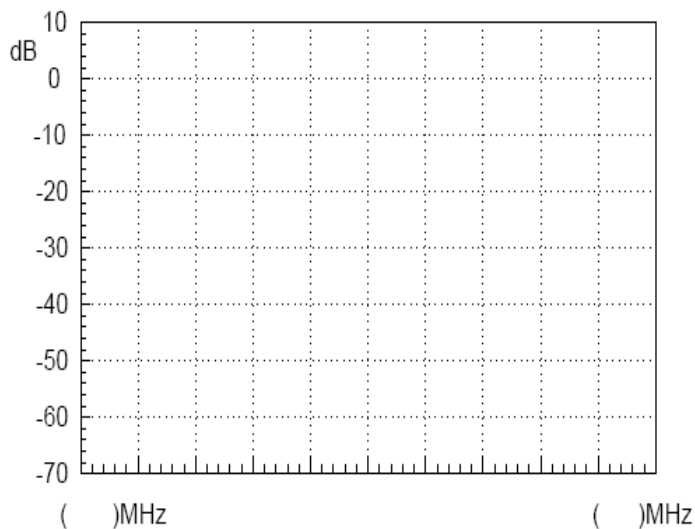
表 3-4. 1MHz 三角波の時間ドメイン波形

2. 三角波の第 3 高調波と第 5 高調波の高調波比を測定します。
方形波の第 2 高調波と第 3 高調波の高調波比を測定します。

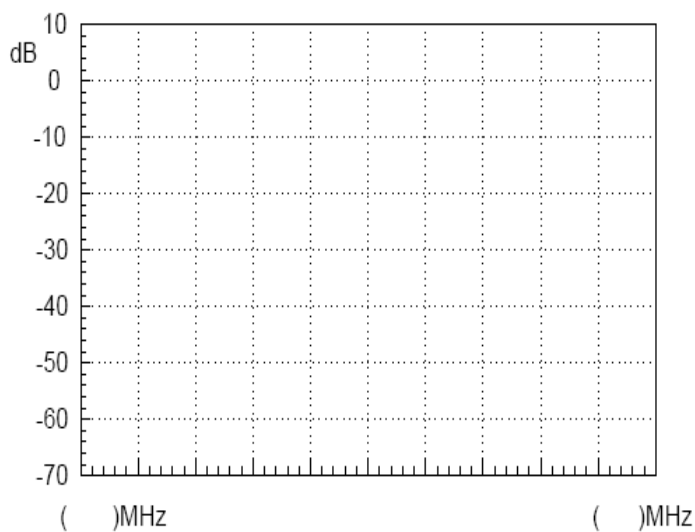
**三角波の 3 次
高調波比
(19dB)**



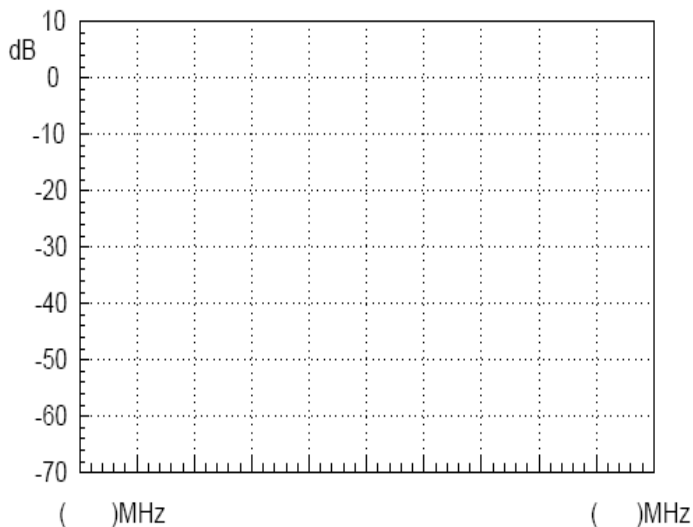
**三角波の 5 次
高調波比
(30dB)**



**方形波の 2 次
高調波比
(36.0dB)**



方形波の2次
高調波比
(10dB)



質問

1. 周波数ドメイン波形と時間ドメイン波形の測定結果を比較し、フーリエ級数理論との関係を考察してください。
2. 三角波と方形波のスペクトルの違いを分析してください。そして、それらを三角関数の形式でフーリエ級数を書きます。級数の各ハーモニックと各項目の間にはどのような関係がありますか？



注意

スペクトラムアナライザのセンター周波数を設定する方法は、いくつかあります。ニーズに合わせて設定してください。

実験 4: RF キャリア(搬送波)の測定

関連情報

通信システムでは、一般に RF 信号をキャリア信号として使用します。低い周波数の信号は、非常に遠くの空気に容易に伝送できないため、低い周波数のメッセージ(音声など)は、アンテナを使用して遠くに送信できるように、より高い周波数の信号に乗せて伝送する必要があります。この高い周波数の信号は、メッセージを伝送するためキャリアと呼ばれます。この実験では、RF 信号の基本測定を実施し位相ノイズや高調波歪みなどの重要なパラメータを測定します。この実験システムのキャリア波は、PLL (Phase locked loop) によって生成されます。PLL は、位相ロック受信機として、または位相同期周波数変調および復調のために広く使用されています。これらは、送信機と受信機の局部発振器 (Local Oscillator: LO) としてよく使用されます。我々が、RF 回路を学習するとき、PLL 回路の動作原理を詳細について学習する必要があります。この実験は、キャリア周波数のスペクトルを測定することにより高周波数信号を理解することができます。同時に PLL 回路の基本構造を理解できるようにします。次の実験では、フェーズロックループのロック状態とアンロック状態についてさらに学習します。

実験装置

項目	装置	数量	備考
1	スペクトラムアナライザ	1	GSP-730
2	RF 通信トレーナ	1	GRF-1300A
3	RF ケーブル	1	800mm
4	アダプタ	1	N-SMA

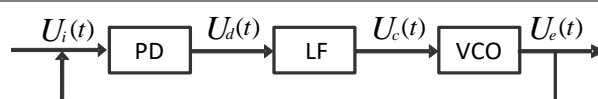
実験の目標

RF 通信トレーナ GRF-1300A の RF 信号を測定する。また、位相ノイズや高調波歪みなど、より重要なパラメータの測定も行います。

実験原理

フェーズロックループ (PLL) は、位相誤差制御システムです。これは、基準信号と出力信号との間の位相を比較し出力周波数を基準信号と同期するように、電圧制御発振器の周波数出力を調整するための位相誤差電圧を生成します。基本的な回路構成を図 4-1 に示します。

図 4-1.
PLL 回路構造



上: PD は、位相同期ループの位相検出器、LF はループフィルタ、VCO は電圧制御発振器です。

VCO からの出力信号の純度は、位相ノイズに直接関係しています。出力信号の歪みが小さいほど、出力信号に含まれる高調波成分およびノイズが低くなります。

通常、位相雑音は与えられた周波数オフセット値で dBc / Hz で指定されます。ここで、dBc はキャリア周波数に対して dB です。発振器の

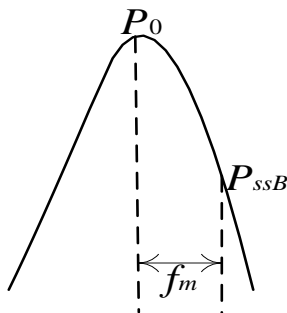
位相雑音は、1Hz の帯域幅で生成される雑音に対して正規化されます。位相ノイズは、通常、以下の式を使用して計算されます。ここで、 f_m はキャリアからの単側波帯 (SSB: single sideband) の周波数で、 P_{ssB} は測定された側波帯電力です。

$$L(f_m) = (P_{ssB} - P_0) - \log B + 2.5$$

ここで、

$$B = 1.2RBW \text{ (RBW は、分解能帯域幅です)}$$

図 4-2.
位相ノイズの
定義



発振器は、非線形機器のため高調波成分を生成します。高調波歪みも RF 信号の重要な要素です。一般に、これを除去するためにフィルタを使用します。

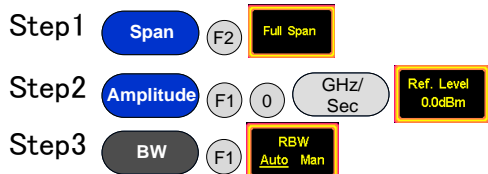
実験内容

1. RF 信号のスペクトラムを測定する
2. RF 信号の高調波ひずみを測定する
3. RF 信号の位相ノイズを測定する

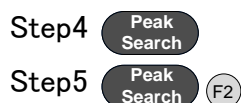
実験手順

RF 信号のスペクトラムと高調波ひずみを測定する

1. GRF-1300A および GSP-730 の電源を入れます。
2. GRF-1300A の RF / FM 出力ポートと GSP-730 の RF 入力端子を RF ケーブルで接続します。
3. GSP-730 を次のように設定します。
 - Span: Full Span
 - リファレンスレベル: 0dBm
 - RBW: Auto



4. マーカ機能を使用し観測しているスペクトルの各周波数ポイントの振幅を測定します。Next Peak 機能を使用し連続して各ピークを測定できます。結果を表 4-1 に記録してください。



5. 結果を表 4-1 に書いてください。各高調波の高調波比は、以下のステップに従って測定します。

Step6 **Marker** (F3) **Mode Normal Delta**
 1 . 7 6 GHz/Sec

Step7 **Marker** (F3) **Mode Normal Delta**
 2 . 6 4 GHz/Sec

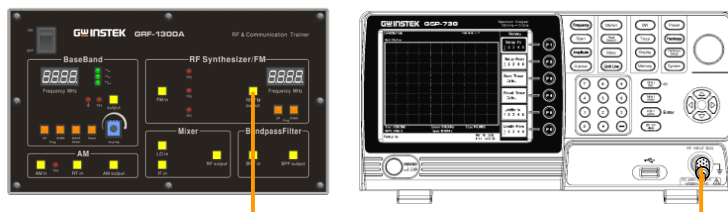
Step 6 と 7 は、スパン幅がかなり大きく、エラーが発生する可能性があります。2 次と 3 次の高調波を見つけるには、周波数を微調整する必要があります。観測結果を表 4-2 に記録してください。

RF 位相ノイズを測定する

1. GRF-1300A および GSP-730 の電源を入れます。
2. GRF-1300A の RF Synthesizer/FM を次のように設定します：
 - キャリア周波数：875MHz

Step1  → 
DOWN

3. GRF-1300A の RF / FM 出力ポートと GSP-730 の RF 入力端子を RF ケーブルで接続します。



4. GSP-730 を次のように設定します：
 - センター周波数：875MHz
 - Span：1MHz
 - リファレンスレベル：0dBm
 - RBW：Auto

Step1 **Frequency** (F1) 8 7 5 MHz/mSec **Center 875.0MHz**

Step2 **Span** (F1) 1 MHz/mSec **Span 10MHz**

Step3 **Amplitude** (F1) 0 GHz/Sec **Ref. Level 0.0dBm**

Step4 **BW** (F1) **RBW Auto Man**

Step5 **Peak Search**

5. キャリアの電力を記録してください。キャリア周波数 f_m の偏差を 100kHz の偏差 (Δ) に設定します。スペクトラムアナライザのデルタマーカ機能を使用して、 Δ 値を測定してください。

Step6 **Marker** (F3) **Mode Normal Delta** 1 0 0 kHz/uSec

値を記録し、式に従って位相ノイズを計算し、スペクトルと測定結果を表 4-3 に記録してください。

6. PLL の出力周波数を 900MHz に調整し、同様に周波数に対応する電力と位相ノイズを測定してください。

Step7  → 
UP

Step8 **Frequency** F1 9 0 0 MHz/mSec **Center 900.0MHz**



Step9 **Peak Search**

キャリアの電力を記録します。キャリア周波数 f_m の偏差を 100kHz の偏差 (Δ) に設定します。スペクトルアナライザの Delta Marker 機能を使用して、 Δ 値を測定します。

Step10 **Marker** F3 **Mode Normal Delta** 1 0 0 kHz/uSec

測定した値を記録し、式に従って位相ノイズを計算し、スペクトルと測定結果を表 4-3 に記録してください。

7. PLL の出力周波数を 910MHz に設定し、同様の方法で周波数に対応する電力および位相ノイズを測定してください。

Step11  → 

Step12 **Frequency** F1 9 1 0 MHz/mSec **Center 910.0MHz**

Step13 **Peak Search**

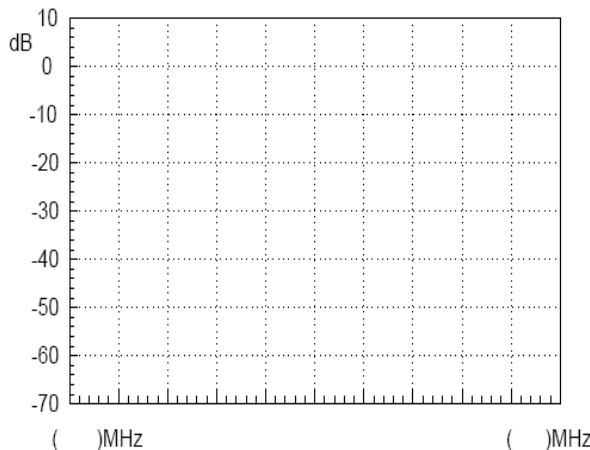
キャリアの電力を記録します。キャリア周波数 f_m の偏差を 100kHz の偏差 (Δ) に設定し、スペクトルアナライザの Delta Marker 機能を使用して、 Δ 値を測定してください。R

Step14 **Marker** F3 **Mode Normal Delta** 1 0 0 kHz/uSec

測定した値を記録し、式に従って位相ノイズを計算し、スペクトルと測定結果を表 4-3 に記録してください。

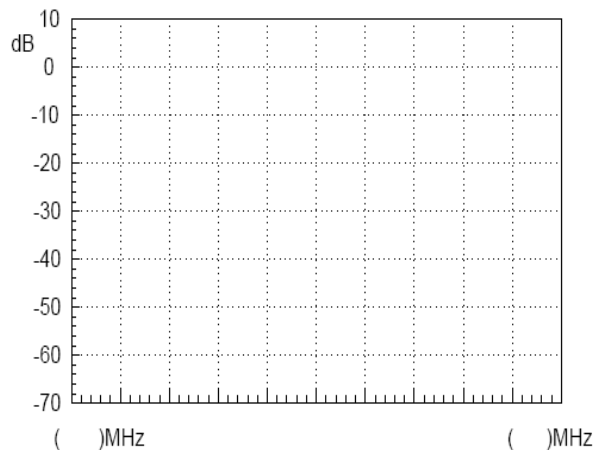
実験結果
表 4-1.
RF 信号の
スペクトラム

RF 信号のスペクトラムを測定する



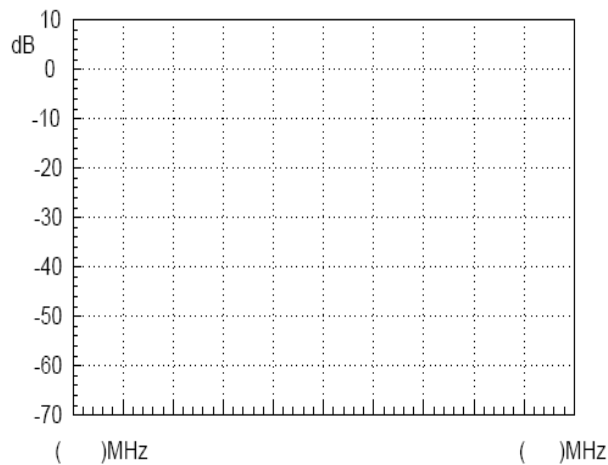
1. RF 信号の高調波測定

表 4-2
RF 信号の
スペクトラム



第 2 高調波の測定

表 4-2
RF 信号の
スペクトラム



第 3 高調波の測定

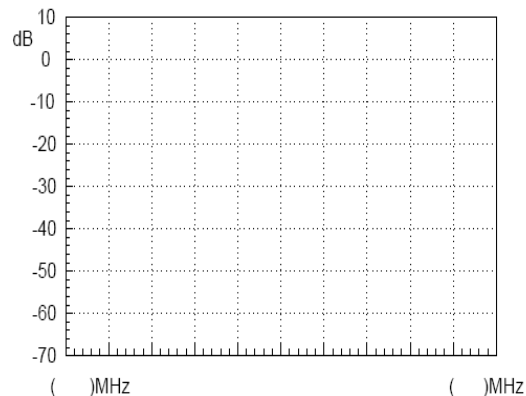
表 4-3.
位相ノイズの
測定

2. 位相ノイズの測定結果

キャリア周 実験結果

波数

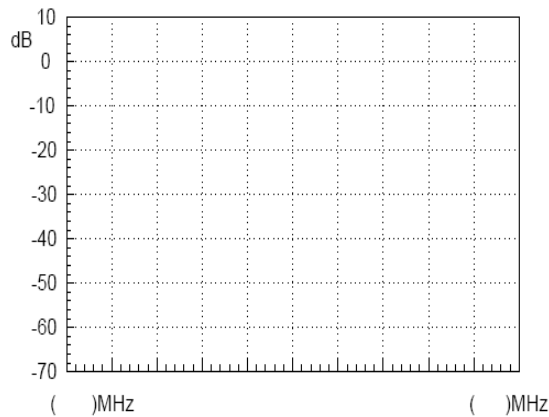
875MHz



キャリア周波数: _____ 出力電力: _____

位相ノイズ: _____

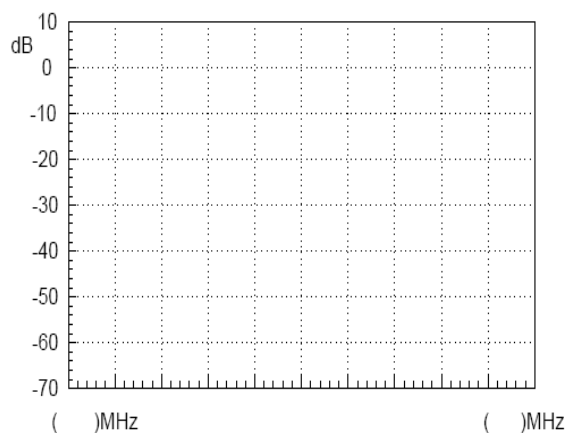
900MHz



キャリア周波数: _____ 出力電力: _____

位相ノイズ: _____

910MHz



キャリア周波数: _____ 出力電力: _____

位相ノイズ: _____

質問

1. PLL 回路はどのような構成になっていますか？
また、各部の機能を説明してください。
2. PLL の利点は何ですか？
3. 位相ノイズの原因はなにか説明してください。
位相ノイズは、どのように改善できますか？



注意

RF ケーブルを接続するときは、必ず SMA コネクタを十分に締めてください。

実験 5: AM 信号の測定

関連情報

通常、メッセージや音声信号の周波数は低周波です。一般に、このような低周波信号は送信には適していません。

したがって、通信およびテストシステム用のメッセージを送信するためには変換が必要です。

変調とは、信号伝送に用いられる信号変換方法です。これは、適切な周波数の信号で情報を運ぶ低周波信号を変調するために使用します。これにより、微弱な信号の増幅および伝送に関連する問題を解決します。RF 通信システムにおいて変調の役割は不可欠です。変調は、元の低周波信号と変調し伝送するだけでなく、周波数分割多重 (FDM) にも使用されます。

これからの実験は、振幅変調 (AM) から始まります。スペクトラムアナライザを、AM 信号の特性を測定するために使用します。これは、学生が FM 変調の原理だけでなく AM 変調の原理と特性を習得するために非常に重要です。

実験設備

項目	装置	数量	備考
1	スペクトラムアナライザ	1	GSP-730
2	RF 通信トレーナ	1	GRF-1300A
3	RF ケーブル	2	100mm
4	RF ケーブル	1	800mm
5	アダプタ	1	N-SMA

実験の目標

1. 振幅変調の動作原理
2. スペクトラムアナライザを使用して AM 変調の特性と RF 信号を測定する

実験原理

変調とは、低周波信号を高周波に変換し高周波信号を送信する処理のことです。一般的に元の情報を運ぶ低周波信号を変調信号またはベースバンド信号と呼びます。高周波信号は、搬送波 (キャリア信号) と呼ばれています。搬送波信号が変調信号によって変調された後に得られた信号を変調波と呼びます。変調に使用される方式には、AM、FM、位相変調の 3 種類があります。

この実験は、AM 変調から始めて何種類か変調理論を学習します。AM 変調は、変調信号を使用して高周波キャリア信号の振幅を制御します。変調信号は、変調信号の振幅に比例してキャリアの振幅を変更するために使用します。振幅変調された高周波キャリア信号は AM 波と呼ばれます。AM 波は、通常の AM 波と、搬送波を抑圧した抑圧搬送波両側波帯 AM 波と、搬送波を抑圧した抑圧搬送波単側波帯 AM 波とに分けられます。

1. 変調波形を表す式は次のとおりです。

変調信号が単一周波数の正弦波と仮定すると($\Omega=2\pi f_{\Omega}$)
と

$$U_{\Omega}(t) = U_{\Omega m} \cos \Omega t = U_{\Omega m} \cos 2\pi f_{\Omega} t \quad (5.1)$$

からキャリア信号は

$$U_c(t) = U_{cm} \cos \omega_c t = U_{cm} \cos 2\pi f_c t \quad (5.2)$$

振幅変調後、キャリアの周波数は変わらず、AM 波の振幅は変調信号に比例するので、変調波は以下のように表すことができます：

$$U_{AM}(t) = U_{AM}(t) \cos \omega_c t = U_{cm}(1+m_a \cos \Omega t) \cos \omega_c t \quad (5.3)$$

解析を簡単にするために、両方の波形の初期位相角をゼロに設定しました。式(5.3)において、 m_a は AM 変調の変調度または AM 変調の指数として知られています。

$$すなわち、m_a = \frac{k_a U_{\Omega m}}{U_{cm}}$$

この式は、キャリア振幅が変調信号によってどの程度制御されるかを示しています。定数 k_a は、変調回路によって決定される比例定数です。AM 変調指数は、1 以下でなければいけません。AM 変調指数が 1 より大きい場合、過変調と呼ばれ変調した信号は歪みます。

このことから、AM 波も高い周波数で発信することがわかります。その振幅は規則的に変化する(エンベロープ変化)、変調信号に比例します。したがって、変調信号の情報は、振幅変調波の振幅で搬送されます。次の図は、キャリア信号(無変調状態)から AM 波(変調状態)に信号がどのように変化するかを表しています。

図 5-1.
無変調のキャリア信号がどのように変調処理されるかを示した図。

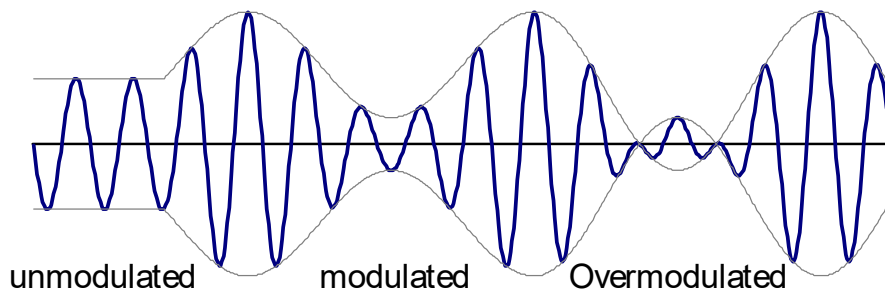
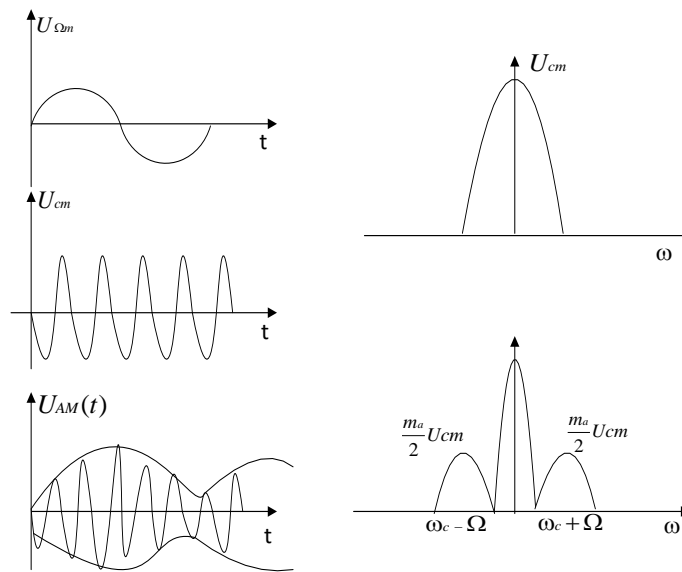


図 5-2. 時間ドメインと周波数ドメインの AM 波形



2. AM 波形のスペクトラム

式(4.3)を展開すると、次式が得られます::

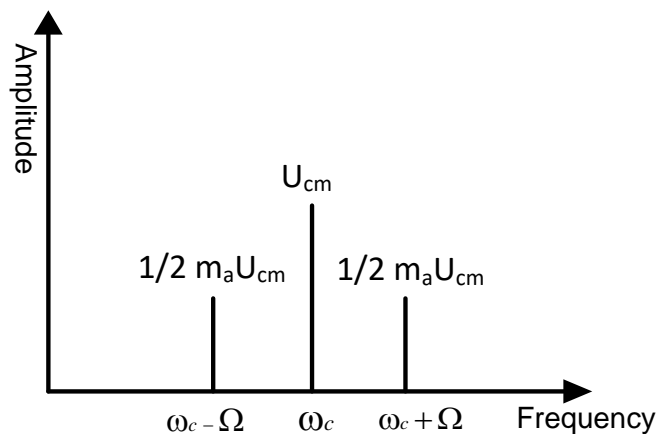
$$u_{AM}(t) = U_{cm} \cos \omega_c t + \frac{1}{2} m_a U_{cm} \cos(\omega_c + \Omega)t + \frac{1}{2} m_a U_{cm} \cos(\omega_c - \Omega)t$$

ここから分かるように、単一の変調されたオーディオ信号は、3つの高周波成分から成っています。キャリアに加えて、2つの新しい周波数成分($\omega_c + \Omega$)と($\omega_c - \Omega$)が含まれています。

1つは上側波帯として知られ ω_c よりも高く、もう1つは下側波帯として知られ ω_c よりも低い信号です。

そのスペクトルを図 5-3 に示します。

図 5-3. AM 波形のスペクトラム



上記の分析から、振幅変調は低い周波数変調信号を高周波キャリアの側波帯にシフトさせる処理であることが理解できます。図から明らかなように、AM 波では、キャリアは有用な情報を含まず情報は側波

帯にのみ含まれています。

実験内容

1. AM 変調の波形とスペクトラムを測定する
2. 異なるキャリア周波数と異なる振幅の変調信号とを用いて、AM 波のスペクトルを測定する

実験手順

1. GRF-1300A と GSP-730 の電源を投入する
2. GRF-1300A を次のように設定する：
 - GRF-1300A を初期設定状態にします
 - ベースバンドモジュールの出力ポートと AM モジュールの AM 入力ポートを RF ケーブルで接続します。
 - RF シンセサイザ/ FM の RF / FM 出力ポートと AM モジュールの RF 入力ポートを RF ケーブルで接続します。
 - 出力 (OUTPUT) ツマミを時計方向に回し最大にします
3. AM 出力ポートとスペクトラムアナライザの RF 入力ポートを RF ケーブル (800 mm) で接続します。



4. GSP-730 を次のように設定します：

- センター周波数 : 880MHz
- Span : 5MHz
- リファレンスレベル : 0dBm
- RBW : Auto

Step1 **Frequency** (F1) 8 8 0 MHz/mSec **Center 880.0MHz**

Step2 **Span** 5 MHz/mSec MHz/mSec **Span 5.0MHz**

Step3 **Amplitude** (F1) 0 GHz/Sec **Ref. Level 0.0dBm**



5. スペクトラムアナライザのマーカ機能を使用し、AM 波のキャリア成分と上下のサイドバンドの電力を測定します。オシロスコープを使用して、Amp Adj ツマミの位置(すなわち、変調振幅)に対する TP4 の電圧を測定します。表 5-4 にスペクトルを描きます。



6. Amp Adj ツマミを反時計方向に回し中間程度にします。オシロスコープでそのときの電圧を測定します。変調信号の出力振幅を変えることで、スペクトルの変化を観察できていますか?
表 5-4 にこの実験結果を記録してください。

7. OUTPUT ツマミを反時計方向に回して出力電圧をさらに下げます。オシロスコープでそのときの電圧を測定します。AM 波のスペクトルの変化を観察し、表 5-4 に記録してください。

8. OUTPUT ツマミを時計方向最大に回します。ベースバンドモジュールの UP ボタンを押し、変調信号の周波数を変更します。AM 波形のスペクトルが変化していることが観測できますか? 実験結果を元のベースバンド周波数 100kHz と比較し、表 5-5 に記録してください。



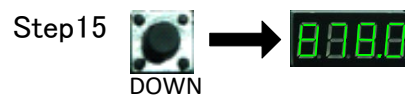
9. ベースバンドモジュールの UP ボタンで、変調信号の周波数を変更します。AM 波のスペクトルが変化していることが観測できますか? 表 5-5 に結果を記録してください。



10. 上記の実験ステップを終了したら、Reset ボタンを押してください。その後、RF シンセサイザ/ FM モジュールの UP ボタンを使用してキャリア信号の周波数を変更します。
AM 波のスペクトルは変化しましたか？
実験結果と元の搬送周波数 880MHz を比較し、表 5-6 に記録してください。



11. RF シンセサイザ/ FM モジュールの DOWN ボタンを使用してキャリア信号の周波数を変更します。
AM 波のスペクトルが変化するかを確認し、表 5-6 に記録してください。



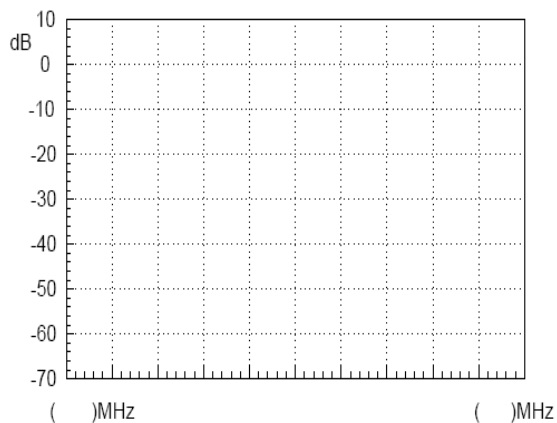
実験結果

1. 変調電圧を変更する

表 5-4.

変調電圧 実験結果

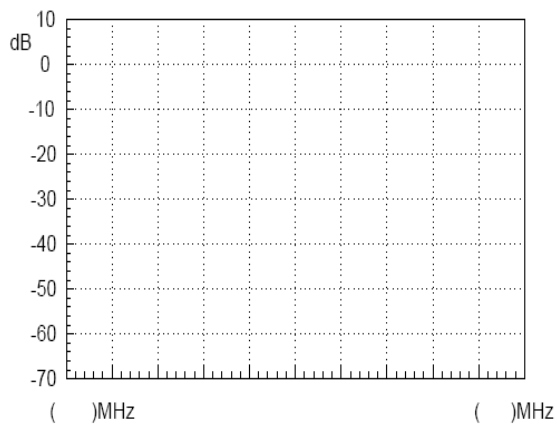
実験結果:
変調電圧を変 V_{pp} :
更していく



キャリア電力: _____ 変調指数: _____

Lower sideband 電力: _____

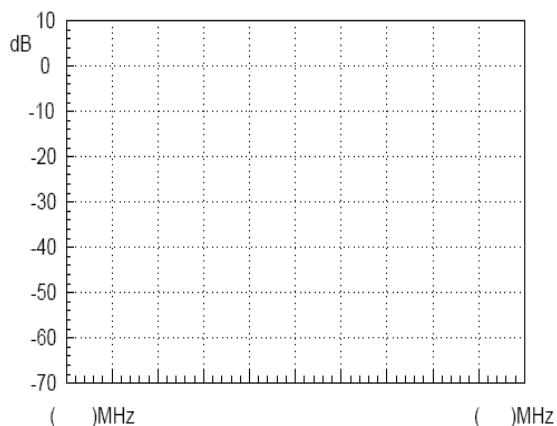
V_{pp} :



キャリア電力: _____ 変調指数: _____

Lower sideband 電力: _____

V_{pp} :



キャリア電力: _____ 変調指数: _____

Lower sideband 電力: _____

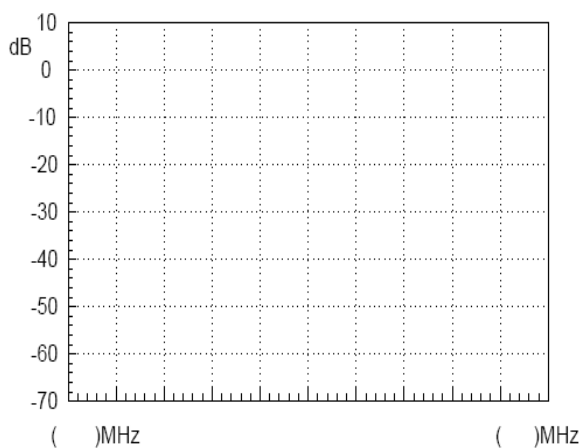
結論:

2. 変調信号の周波数を変更する。

表 5-5. 変調周波 実験結果

実験結果: 経過

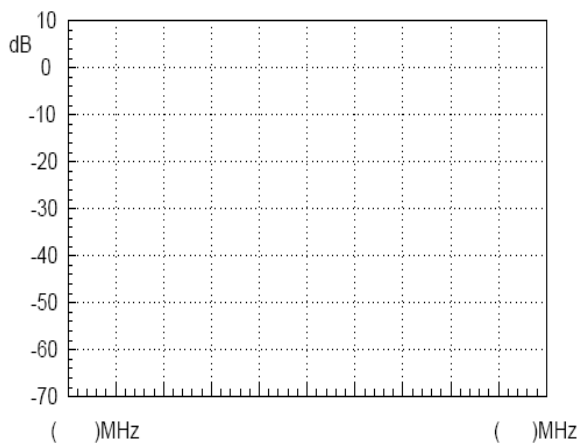
変調信号周波
数を変更して 100kHz
いく



キャリア電力: _____

Lower sideband 電力: _____

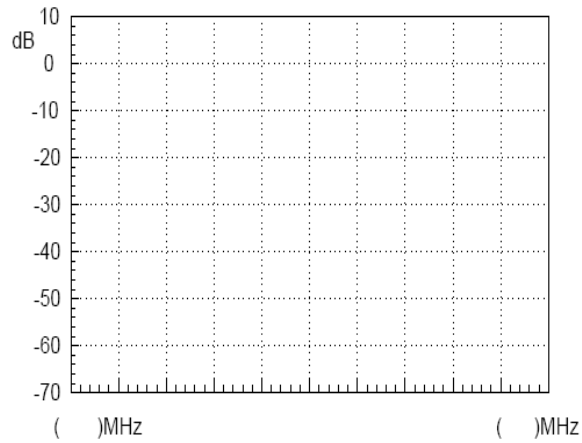
300Khz



キャリア電力: _____

Lower sideband 電力: _____

600kHz



キャリア電力: _____

Lower sideband 電力: _____

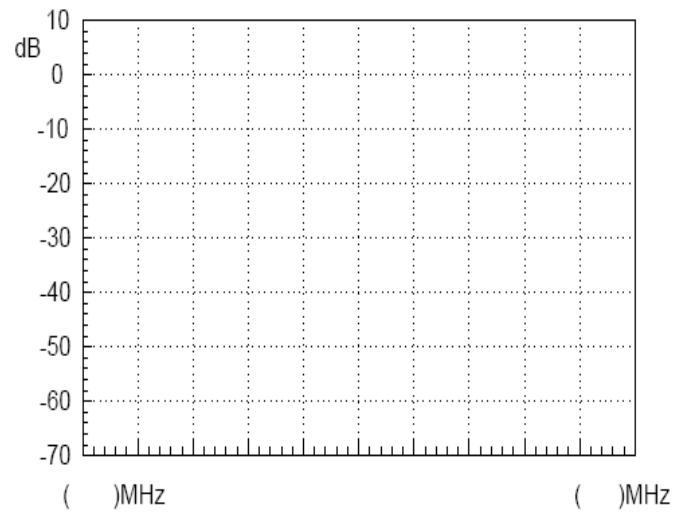
結論

3. キャリア周波数を変更していく

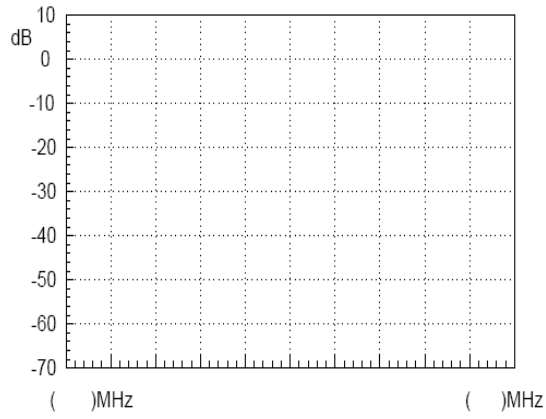
表 5-6.
実験結果:
キャリア周波
数を変化させ
る

キャリア周 実験結果
波数

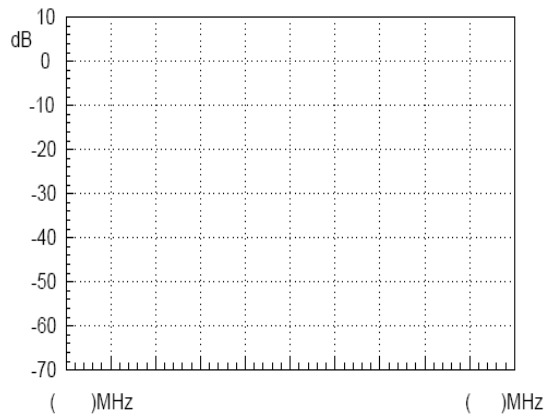
882MHz



880MHz



878MHz



結論:

質問

1. 変調波の周波数を変更しても振幅を同じに保ったとき、AM 波は影響を受けますか？

回答:

2. AM モジュールの入力ケーブルが切り換えた場合(ベースバンド信号を「RF 入力」端子に接続し、キャリア信号を「AM 入力」端子に接続)、何が起こりますか？また、それはなぜですか？

回答

実験 6: FM 信号の測定

関連情報

周波数変調は、一般的な変調方式であり、FM 波の原理と特性を知ることが重要です。AM 波と比較して、FM 波の振幅は変調信号の情報を搬送していません。このことから、復調前の振幅干渉を除去するために振幅リミッタが使用できます。FM 波帯の雑音電力スペクトル密度は、入力端子に均等に分布しています。しかし、周波数変調のため、出力端子の周波数の影響を受けます。変調された信号の帯域幅は、FM 波の帯域幅より十分に小さいため、復調時にローパスフィルタを通過させてノイズを減衰させ、出力信号対ノイズ(SN)比を高めることができます。FM 波形は、電力効率がよくベースバンド信号を搬送するために振幅ではなく変調信号の位相に依存するので、高い忠実度があり有利です。

この実験の FM 回路は、位相ロックループを使用しています。前述したフェーズロックループ回路の原理は、このセクションのフェーズロックループ回路の応用を学習するために使用できます。

実験設備

項目	設備	数量	備考
1	スペクトラムアナライザ	1	GSP-730
2	RF 通信トレーナ	1	GRF-1300A

3	RF ケーブル	2	100mm
4	RF ケーブル	1	800mm
5	アダプタ	1	N-SMA

- 実験の目標**
1. 周波数変調の動作原理を理解する。
 2. スペクトルアナライザを使用して、FM 波の FM 特性を測定する。
 3. FM で使用するフェーズロックループを習得する。

- 実験原理**
1. 時間ドメイン分析。
周波数変調は、キャリア信号の周波数に対する変調信号の瞬間周波数偏差が変調信号の瞬時振幅に正比例する変調の一種である。

変調信号が以下と仮定すると

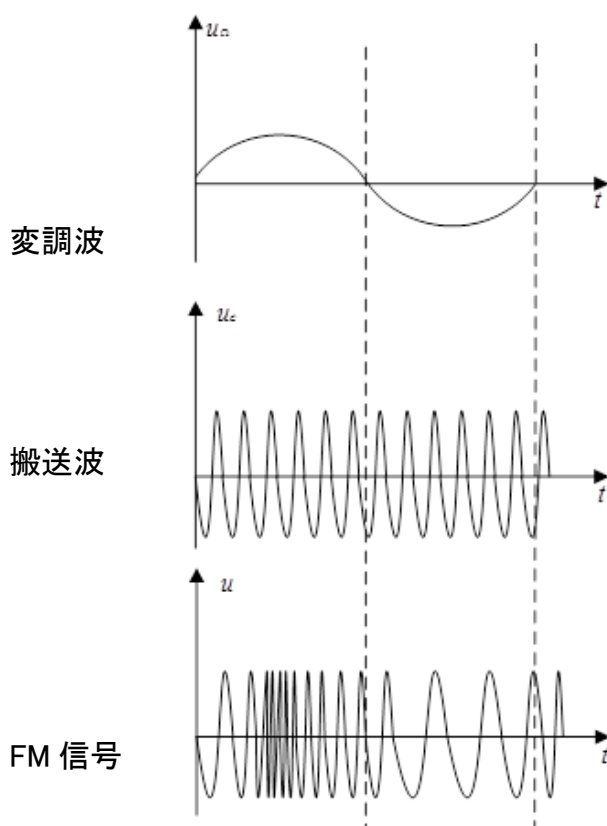
$$U_{\Omega}(t) = U_{\Omega m} \cos \Omega t$$

キャリア信号は

$$U_c(t) = U_{cm} \cos \omega_c t = U_{cm} \cos 2\pi f_c t$$

図 6-1 に、変調信号の変化に応じて変化する FM 信号を示します。

図 6-1.
変調信号の
変化に応じて
変化する FM
信号



変調信号の正の半周期では、変調信号の周波数は搬送波信号の周波数よりも高く、正の半周期のピークでは変調信号の角周波数はその最大になる。

変調信号の負の半周期では、変調信号の周波数は搬送波信号の周波数より低く、その角周波数は最少になる。FM 波の角周波数 ω は、変調信号の変化に応じて変化します。

$$\omega = \omega_c + \Delta \omega \cos \Omega t$$

この式において、 ω_c は搬送波の角周波数であり、 $\Delta \omega$ は変調信号 U Ω によって決定される角周波数のオフセットです。

FM 信号の一般的な表現:

$$\begin{aligned} u(t) &= U_{cm} \cos[\omega_c t + k_f \int_0^t u_\Omega(t) dt + \varphi_0] \\ &= U_{cm} \cos[\omega_c t + k_f \int_0^t U_{\Omega m} \cos \Omega t dt + \varphi_0] \\ &= U_{cm} \cos[\omega_c t + \frac{k_f U_{\Omega m}}{\Omega} \sin(\Omega t) + \varphi_0] \end{aligned}$$

$$M_f = \frac{k_f U_{\Omega m}}{\Omega} = \frac{\Delta \omega_m}{\Omega}$$

と仮定する

この式において、 M_f は FM 指数、 $\Delta \omega_m$ は最大角周波数偏差で、その値は変調信号の振幅に比例します。

2. 周波数ドメイン解析

FM 波形を時間ドメインで表現すると

$$\begin{aligned} u(t) &= U_{cm} \cos[\omega_c t + \frac{k_f U_{\Omega m}}{\Omega} \sin(\Omega t) + \varphi_0] \\ &= U_{cm} \cos[\omega_c t + m_f \sin(\Omega t) + \varphi_0] \end{aligned}$$

初期位相角を 0 とし、以下のように展開します:

$$u(t) = U_{cm} [\cos \omega_c t \cos(m_f \sin \Omega t) + \sin \omega_c t \sin(m_f \sin \Omega t)]$$

$m_f \ll 1$, $\cos(m_f \sin \Omega t)$ のとき

$$\sin(m_f \sin \Omega t) \approx (m_f \sin \Omega t)$$

$$\begin{aligned} \text{とすると } u(t) &= U_{cm} \cos \omega_c t + m_f U_{cm} \sin \omega_c t \sin \Omega t \\ &= U_{cm} \cos \omega_c t + \frac{m_f U_{cm}}{2} \cos(\omega_c + \Omega)t + \frac{m_f U_{cm}}{2} \cos(\omega_c - \Omega)t \end{aligned}$$

$m_f \ll 1$ のとき、FM 波のスペクトルはキャリア、 $(\omega_c + \Omega)$ 周波数成分と $(\omega_c - \Omega)$ 周波数成分からなることがわかります。

$m_f \gg 1$ のとき

$$\cos(m_f \sin \Omega t) = J_0(m_f) + 2J_2(m_f) \cos 2\Omega t + 2J_4(m_f) \cos 4\Omega t + \dots$$

$$\sin(m_f \sin \Omega t) = 2J_1(m_f) \sin \Omega t + 2J_3(m_f) \cos 3\Omega t + 2J_5(m_f) \sin 5\Omega t + \dots$$

この式で、 $J_n(m_f)$ は第 1 種 n 次ベッセル関数と呼ばれます。

FM 波には無数の周波数成分があり、それらは搬送波周波数の中心の周りに対称的に分布、各成分の振幅はベッセル関数に依存している。

理論的には、FM 帯域幅は無限大ですが、FM 信号のエネルギーは、主に搬送周波数付近に集中しています。FM 信号の側波帯は小さな振幅成分しか含んでおらず、実際には設計者によって無視されます。側波帯の振幅が 10% 未満で無視できる場合、FM 波帯を次のように求めることができます：

$$B = 2(m_f + 1)F$$

上記から

$$m_f = \frac{\Delta \omega_m}{\Omega} = \frac{\Delta F}{F}$$

ゆえに Therefore $B = 2(\Delta F + F)$

$\Delta F \gg F$ の時、これは広帯域周波数変調で、

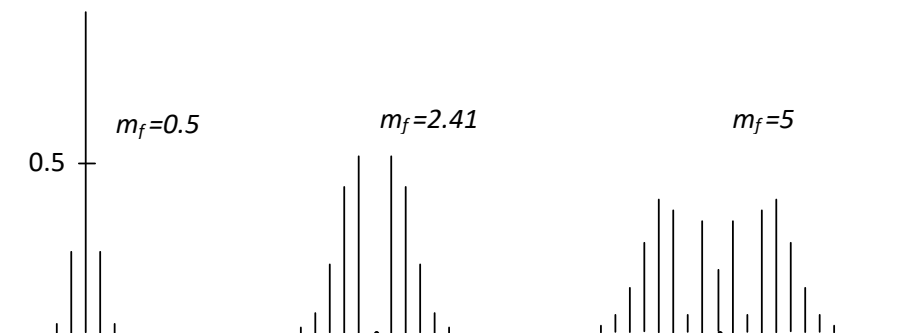
$$m_f \gg 1, B \approx 2\Delta F$$

$\Delta F \ll F$ の時、これは狭帯域周波数変調で

$$m_f \ll 1, B \approx 2F$$

FM 信号における側波帯成分の振幅は、周波数変調指数に関係します。このことは、付録の比較表で参照できます。

以下では、変調指数が 0.5、2.41 および 5 である信号の側波帯の絶対振幅例を示します。

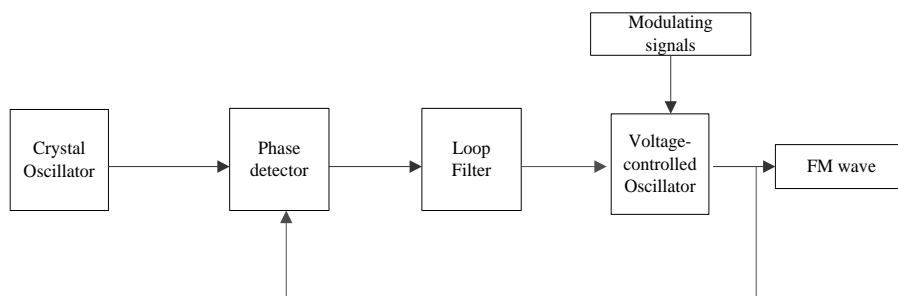


GRF-1300A の FM 回路は、位相ロックループを使用しています。FM 変調用の PLL 回路を使用すると、直接 FM 変調の中心周波数安定性の問題を解決するだけでなく、水晶発振器を使用する場合の狭帯域 FM 範囲の制約も解決します。

変調信号のスペクトルは、位相ロックされた FM 波を達成するために、ローパスフィルタ通過帯域の外側になければいけません。

VCO の中心周波数が安定した高周波にロックされると、変調信号が変化するとき VCO が周波数をシフトすることが可能になります。

図 6-2.
GRF-1300A
FM 原理



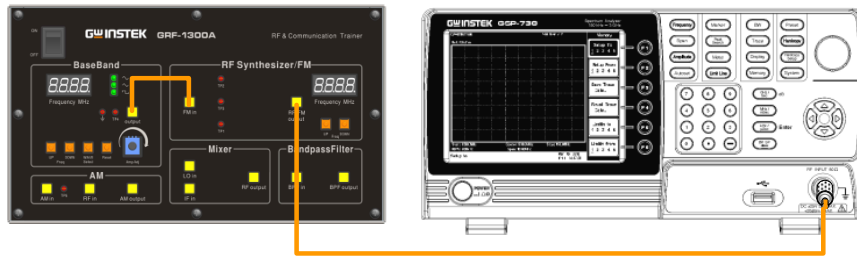
実験内容

1. FM 波形のスペクトラムを測定する
2. 変調信号の振幅が FM 波の周波数偏差にどのように影響するか観察する
3. 変調信号の周波数が FM 波の周波数偏差にどのように影響するか観察する。

実験手順

1. GRF-1300A と GSP-730 の電源を入れる
2. GRF-1300A を次のように設定します：

- 初期設定の状態(電源投入時の状態)で、Amp Adj ツマミを最小位置(反時計方向一杯)に回します。
- ベースバンドモジュールの出力ポートと RF シンセサイザ/ FM モジュールの FM 入力ポートを RF ケーブルで接続します。
- RF / FM 出力ポートとスペクトラムアナライザの RF 入力ポートを RF ケーブルで接続します。



3. GSP-730 を次のように設定します：

- センター周波数：880MHz
- Span：50MHz
- リファレンスレベル：0dBm
- RBW：Auto (初期状態は、100kHz)

Step1 **Frequency** (F1) 8 8 0 MHz/mSec **Center 880.0MHz**

Step2 **Span** (F1) 5 0 MHz/mSec **Span 50.0MHz**

Step3 **Amplitude** (F1) 0 GHz/Sec **Ref. Level 0.0dBm**

Step4 **BW** (F1) **RBW Auto Man** (F4) **RBW 100 kHz**

4. スペクトラムアナライザの Marker 機能を使用し、この時のキャリアの位置(周波数)を測定します。

Step5 **Peak Search**

5. Amp Adj ツマミを時計方向の任意の位置に回します。
 スペクトラムアナライザで電圧を測定します。
 変調信号の出力振幅が変化した後、FM 波スペクトルが変化しましたか？
 次の手順に従って周波数偏差を測定し、表 6-2 に記録します。

Step6 **Marker** (F3) **Mode Normal Delta**



6. Amp Adj ツマミを右回りに回して別の位置にします。
 スペクトラムアナライザで電圧を測定します。
 変調信号の出力振幅を変更すると、FM 波のスペクトルが変化しますか？
 次の手順に従って周波数偏差を測定し、表 6-2 に記録します。

Step7 

7. Amp Adj ツマミを時計方向に回し最大位置に調整します。
 上記の手順を繰り返し、結果を表 6-2 に記録します。

Step8 

8. 上記の実験が完了した後、ベースバンドモジュールの UP ボタンを押し変調信号の周波数を変更して、FM 波のスペクトルに変化があるかどうかを確認してください。元の 100kHz ベースバンド信号と比較し、表 6-3 に記録します。

Step9  → 

9. 変調信号周波数を 600kHz に変更し、FM 波のスペクトルの変化を観察しその結果を表 6-3 に記録します。

Step10  → 

10. 変調信号周波数を 1MHz に変更し、FM 波のスペクトルの変化を観察し、その結果を表 6-3 に記録します。

Step11  → 

11. 上記の実験が完了したら、Reset ボタンを押し変調信号の振幅を最小にして、50MHz の範囲内の FM スペクトルを表示させます。その後、RF シンセサイザ/ FM モジュールの DOWN ボタンを押して、キャリア信号の周波数を変更します。
 FM 波のスペクトルが変化するか確認してください。
 この結果を元のキャリア周波数 880MHz と比較し、表 6-4 に記録してください。



12. キャリア周波数を再度調整し、FM 波のスペクトルが変化しているかどうかを確認し、表 6-4 に記録します。

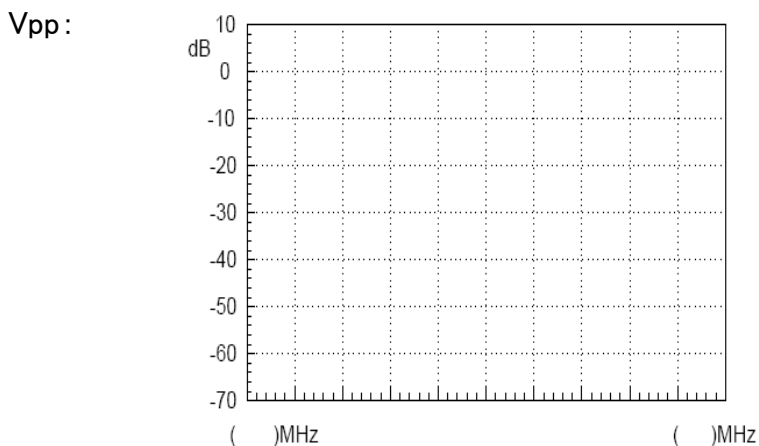


実験結果

1. 変調信号の振幅を変更する。

表 6-2.
実験結果：
変調信号の
振幅を変更

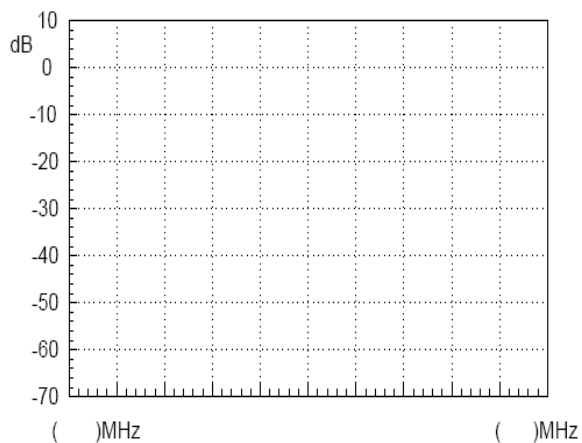
変調電圧 実験結果



周波数偏差: _____

FM 指数: _____

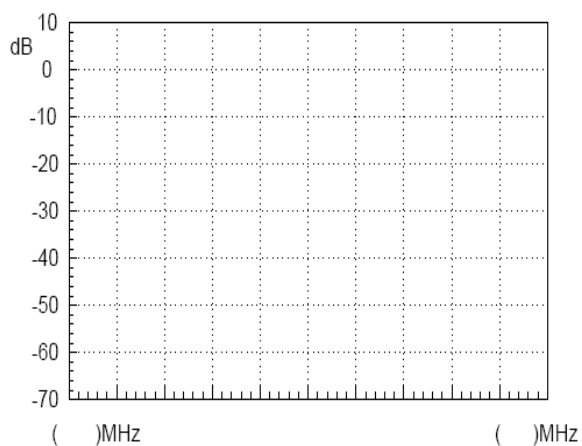
Vpp:



周波数偏差: _____

FM 指数: _____

Vpp:



周波数偏差: _____

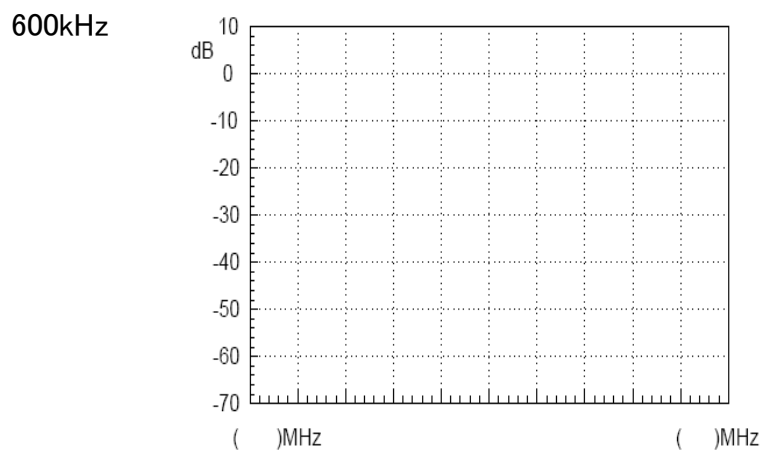
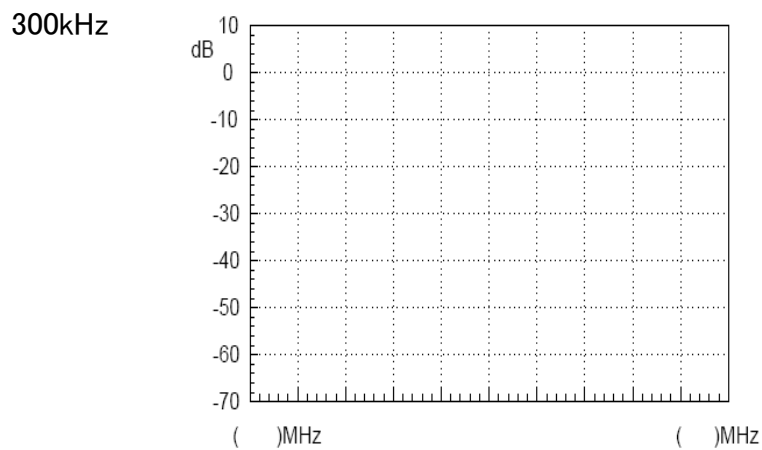
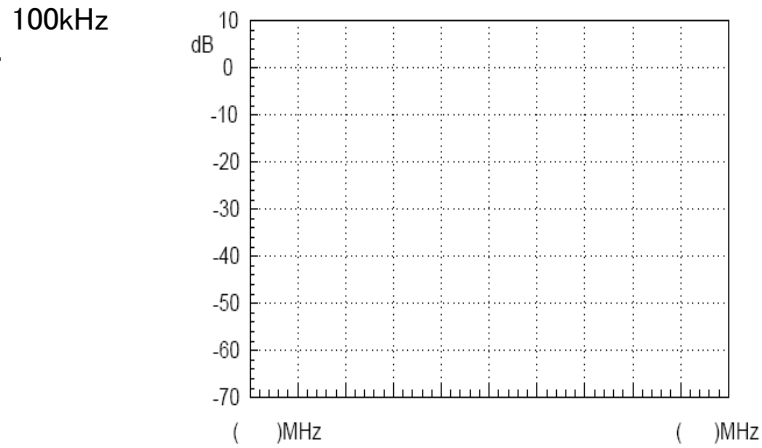
FM 指数: _____

結論

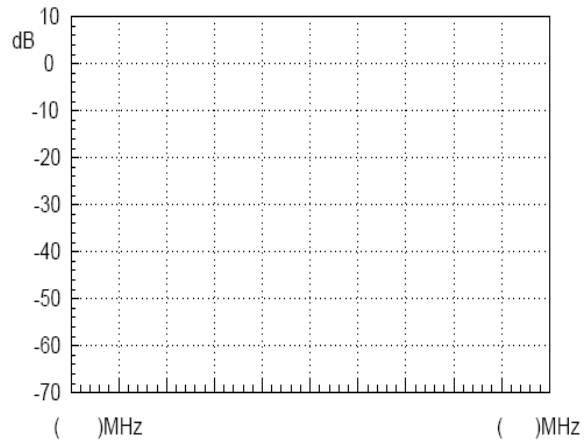
変調周波数を変えずに、変調信号の振幅を増加させると変調信号の周波数偏差が増加する。
変調された信号の振幅は、一定のままである。

2. FM 信号の周波数を変更する

表 6-3. 変調周波数 実験結果
 実験結果:
 FM 信号の周波数を変更する



1MHz



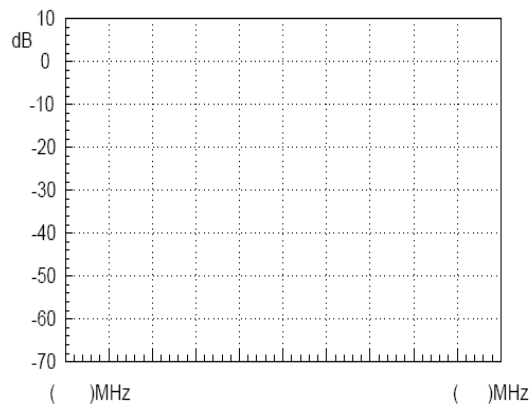
結論

3. キャリア周波数を変更する

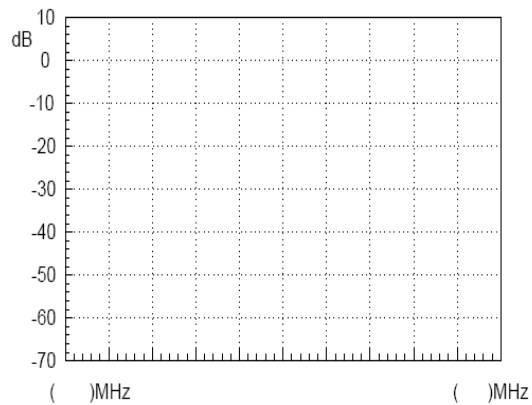
表 6-4.
実験結果:
キャリア周波
数を変更する

キャリア周波数	実験結果
875MHz	
880MHz	

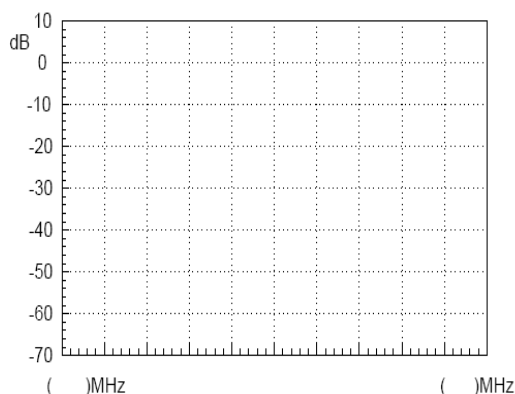
875MHz



880MHz



890MHz



結論

-
4. オシロスコープで測定した FM 波の時間ドメイン波形を表に記録する。

質問

1. FM 波の場合、変調信号振幅を一定に保ち周波数を 2 倍にすると変調信号の周波数偏差と帯域幅はどのように変化しますか？

回答

2. スペクトラムアナライザから得られた測定データから変調回路の FM インデックスを計算してください。

回答

実験 7: 通信システムでスペクトラムアナライザの使用

関連情報 隣接チャンネル電力比 (ACPR) および占有帯域幅 (OCBW) は、RF 変調信号の測定における重要なパラメータです。スペクトルアナライザを使用し ACPR と OCBW を測定することは非常に重要です。スペクトルアナライザを使用して、頻繁に使用される RF パラメータを測定し、将来の使用するために基本的な方法を知っておく必要があります。ACPR は、主チャンネルか隣接チャンネルに漏洩した電力量の割合です。OCBW は占有帯域幅であり、チャンネルの総積分電力の特定の割合です。この実験は、携帯電話の RF 電力および関連分野の測定にとって実用的です。

項目	設備	数量	備考
1	スペクトラムアナライザ	1	GSP-730
2	RF 通信トレーナ	1	GRF-1300A
3	RF ケーブル	2	100mm
4	RF ケーブル	1	800mm
5	アダプタ	1	N-SMA

- 実験の目標**
1. ACPR 測定原理を理解し、実際の ACPR 測定を実行する。
 2. OCBW 測定原理を理解し、実際の OCBW 測定を実行する。

実験原理 1. ACPR 測定

ACPR (隣接チャンネル電力比) は、主チャンネルから隣接チャンネルに漏洩した電力量の割合です。それは、送信機から他のチャンネルの送信帯域にどのくらい多くの電力が漏れるかを表します。隣接チャンネルは、通常、伝送チャンネルに最も近い隣接チャンネルを指し、測定要件に応じて他のチャンネルも選択することができます。

同様の周波数の 2 つの信号が RF 電力増幅器に入力されると、2 つの出力信号だけでなく相互変調信号 (入力信号 1 ± 入力信号 2) も存在します。典型的な入出力周波数スペクトルを図 7-1 に示します。

図 7-1.
RF パワーア
ンプの入力と
出力

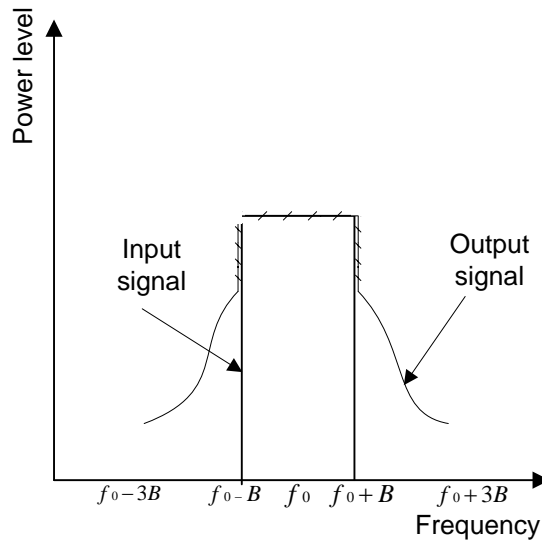
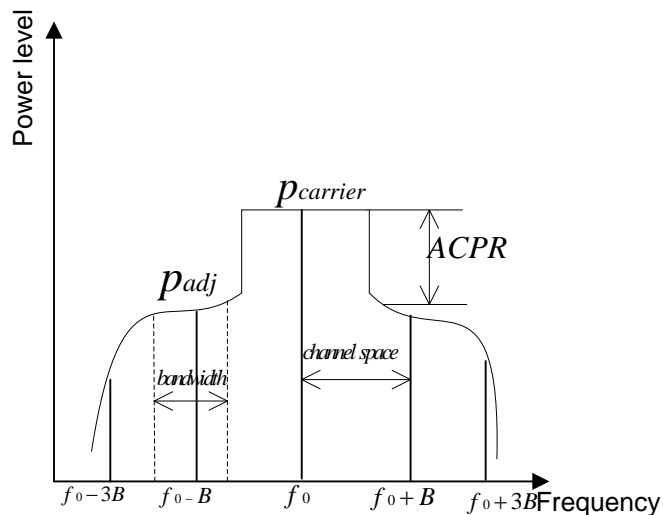


図 7-2.
ACPR の定義



ACPR の定義(図 7-2)に従って、
 $ACPR = 10 \log(P_{adj} / P_{carrier})$
 であることがわかります。

スペクトラムアナライザを使用して ACPR を測定する場合、まずスパンと分解能帯域幅 (RBW) の設定を適切に選択する必要があります。スパンは、測定帯域幅よりも大きくなければなりません。RBW は、測定帯域幅の約 1% に等しくなければなりません。スペクトラムアナライザの掃引時間は、RBW の 2 乗に反比例するため、RBW 設定を考慮する必要があります。

RBW は、測定されたチャンネル帯域幅の 4% を超えるてはいけません。その他に、RBW は広すぎてチャンネルの元のスペクトルを不明瞭にします。GSP-730 の RBW 設定範囲がありますが RBW を Auto モードに設定しても問題ありません。

2. OCBW 測定

OCBW 測定は、チャンネルが指定された電力量で占有する帯域幅を測定するためのものです。これは、占有帯域幅を特定の電力量に対するチャンネル電力のパーセンテージとして測定するために使用されます。測定によく使用されるパラメータは、チャンネル帯域幅、チャンネル間隔、OCBW%です。

実験内容

1. GRF-1300A の FM 信号から ACPR を測定します。
2. GRF-1300A の FM 信号から OCBW を測定します。

実験手順

1. GRF-1300A と GSP-730 の電源を入れます
2. GRF-1300A を次のように設定します
 - GRF-1300A を初期設定(電源投入時)にしておきます。
 - ベースバンドの出力を RF シンセサイザ/ FM モジュールの FM 入力ポートに RF ケーブルで接続します。
 - RF / FM モジュールの出力端子とスペクトラムアナライザの RF 入力端子を RF ケーブルで接続します。



3. GSP-730 を次のように設定します：

- センター周波数：880MHz
- Span：10MHz
- リファレンスレベル：-10dBm
- RBW：Auto

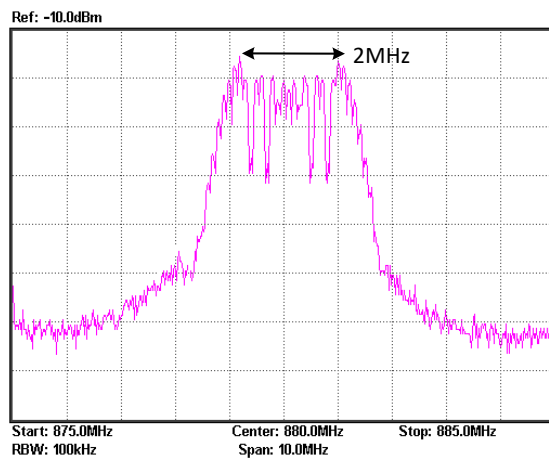
Step1 **Frequency** (F1) 8 8 0 MHz/mSec **Center 880.0MHz**

Step2 **Span** (F1) 1 0 MHz/mSec **Span 10.0MHz**

Step3 **Amplitude** (F1) - 1 0 GHz/Sec **Ref. Level -10.0dBm**

Step4 **BW** (F1) **RBW Auto Man**

4. OUTPUT ツマミを回し FM 周波数偏差を 1MHz(合計 2MHz)に調整します。



5. 設定が完了した後、ACPR と OCBW を測定します。

ACPR 測定

Step1 **Meas** (F2) **ACPR ON OFF**

Step2 (F1) **Main CH BW**

メインチャンネルの帯域幅を 2MHz に設定します。

Step3 (F2) **Main CH Space**

メインチャンネルのスペースを 5MHz に設定します。

Step4 (F3) **ACPR Setup...** (F1) **Adj CH BW 1**

第 1 隣接チャンネルの帯域幅を 0.8MHz に設定します。

Step5 (F2) **Adj CH Offs 1**

第 1 隣接チャンネルのオフセットを 2MHz に設定します。

Step6 (F3) **Adj CH BW 2**

第 2 隣接チャンネルの帯域幅を 0.5MHz に設定します。

Step7 (F4) **Adj CH Offs 2**

第 1 隣接チャンネルのオフセットを 4MHz に設定します。

Amp Adj ツマミを回し周波数偏移を 2MHz(合計 4MHz)に増やします。
再度 ACPR を測定し、結果を表 7-1 に記録してください。

OCBW 測定

Step1 Meas (F3) 

Step2 (F1) 

測定するチャンネルの帯域幅を 2MHz に設定します。

Step3 (F2) 

メインチャンネルスペースの SPAN を 10MHz に設定します。

Step4 OCBW%の初期設定値は、90%です。

測定したデータを表 7-2 に記録してください。

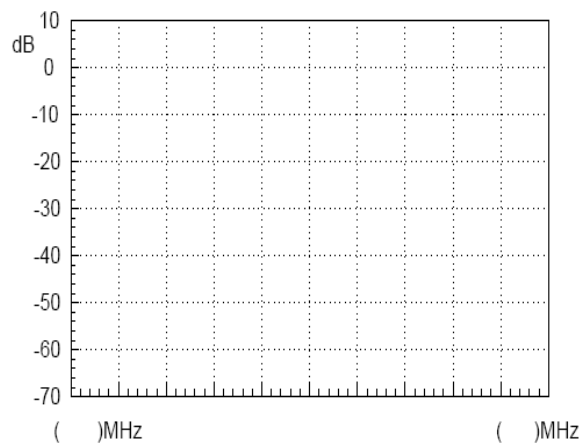
Step5 GRF-1300A の Amp Adj ツマミを回し FM 波の周波数偏差を調整してください。再度 OCBW%を測定し、結果を表 7-2 に記録してください。

測定結果を表 7-2 に記録してください。R

実験結果

1. ACPR 測定結果

1MHz 周波数
偏差の測定結果



2MHz 周波数
偏差の測定結果

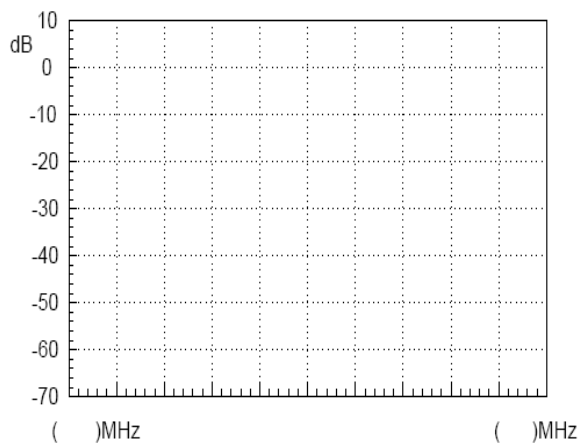
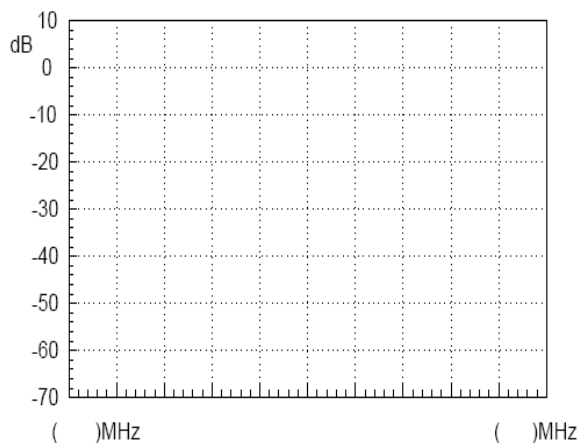


表 7-1.
ACPR 測定の結果

実験 番号	Item			
	Lower ACPR1	Upper ACPR1	Lower ACPR2	Upper ACPR2
1				
2				
3				
4				
Average				

2. OCBW 測定の結果

1MHz 周波数
偏差の測定結果



2MHz 周波数
偏差の測定結果

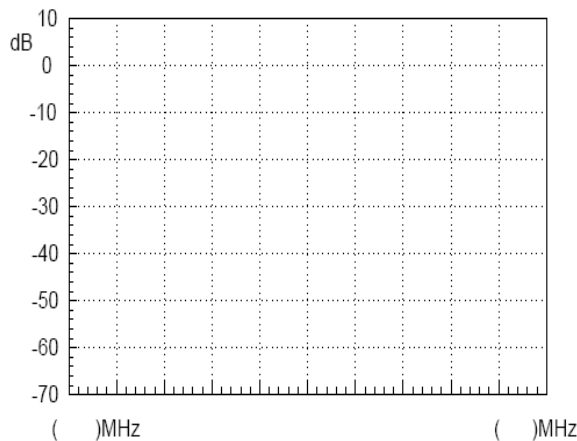


表 7-2. OCBW
測定の結果

OCBW% : 90%

実験番号	CH パワー	OCBW	平均
1			
2			
3			
4			
5			

質問 ACPR の定義を説明してください。



注意

ACPR および OCBW 測定には複数の測定値と平均値が必要です。平均を計算するには対数計算を使用するため、スペクトラムアナライザのトレース平均機能を使用することはできません。

実験 8: 通信製品の測定する

関連情報

無線通信をする製品の中で、身近の物に PC 用の無線マウスがあります。

無線技術は、周波数帯域と目的に応じて Bluetooth、Wi-Fi (IEEE 802.11)、赤外線 (IrDA)、ZigBee (IEEE 802.15.4) などの異なるカテゴリに分類されます。

現在の主流のワイヤレスマウスには、27Mhz、2.4G、Bluetooth という 3 つのカテゴリがあります。

この実験は、実際の通信製品 (この場合はワイヤレスマウス) を測定してみます。

この実験を行った後、使用したスペクトラムアナライザと測定方法を十分に理解しておく必要があります。この実験は RF 知識を統合し、実用的なスペクトラムアナライザのスキルを強化するのに役立ちます。

実験設備

項目	設備	数量	備考
1	スペクトラムアナライザ	1	GSP-730
2	2.4G ワイヤレスマウス	1	
3	アンテナ	1	
4	アダプタ	1	N-SMA

実験の目標

1. スペクトラムアナライザを使用して、日々使用している一般的な電子通信製品についていくつかのパラメータを測定します。
2. ワイヤレスマウスの通信方法を学ぶ

実験の原理

ここでは 2.4GHz の無線マウスを使用して実験することについて説明をします。

これは、いわゆる 2.4G 周波数帯を使用します。

周波数帯で、27MHz 帯域を使用するよりも 2.4G 帯域を使用する利点は、27MHz 帯域は伝送距離が短く、他の装置からの干渉を受けやすいことである。2.4GHz の周波数帯域で動作するため、2.4G と呼んでいます。ほとんどの国で、この周波数帯は免許不要です。

ワイヤレスマウスの原理は、非常に簡単です。主にデジタル無線技術を使用して、近距離の通信機器に適切な帯域幅を使用します。マウスやキーボードなどの周辺機器に最適です。ワイヤレスマウスと通常のマウスと操作原理は同じです。ワイヤレスマウスの唯一の違いは、X&Y ポジションと各ボタン操作が送信機を介して無線で送信されることです。無線受信機は、信号を復号しこの情報をホストに渡し、ドライバはオペレーティングシステムに信号をマウス操作に変換するように指示します。

実験内容 ワイヤレスマウスから送信される信号の周波数とパワーを測定する。

実験手順 1. アンテナをスペクトラムアナライザの RF 入力ポートに接続します。

2. GSP-730 を次のように設定します：

- センター周波数: 2.4GHz
- Span: 200MHz
- リファレンスレベル: -20dBm
- RBW: Auto

Step1 **Frequency** (F1) 2 . 4 (GHz/Sec) **Center 2.4GHz**

Step2 **Span** (F1) 2 0 0 (MHz/mSec) **Span 200.0MHz**

Step3 **Amplitude** (F1) - 2 0 (GHz/Sec) **Ref. Level -20.0dBm**

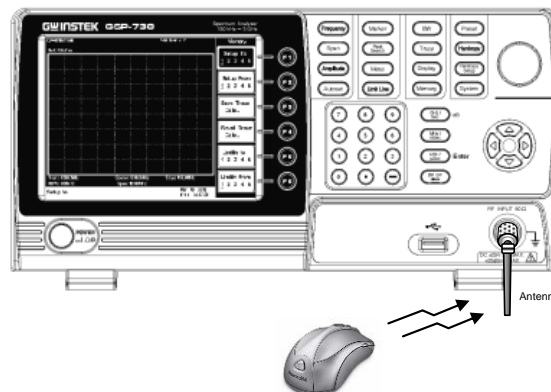
Step4 **BW** (F1) **RBW Auto Man**

3. ワイヤレスマウスの電源を入れます

Step5 **Trace** (F3) **Peak Hold**

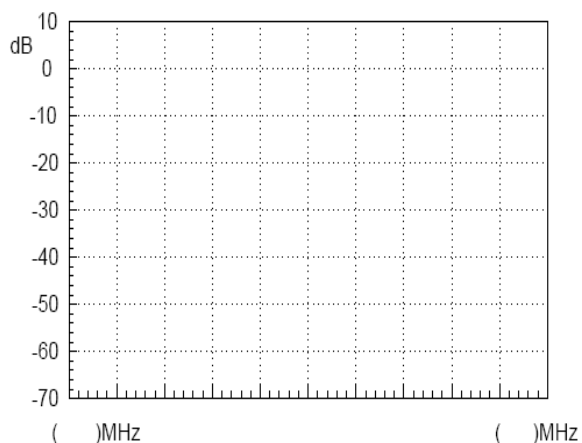
Step6 **Peak Search**

4. 測定の設定例



5. ブルートゥース機器やワイヤレスネットワークカードも、測同じ方法で測定ができます。(測定する帯域の確認は必要です)

測定結果



送信周波数 _____

送信信号の電力: _____

質問

ワイヤレスマウスが 2.4 G 帯域幅で動作する利点は何ですか？

回答

Tip

スペクトラムアナライザのピークホールド機能を使用して、ワイヤレスマウスから放射される信号を捕捉してください。掃引型スペクトラムアナライザで同的な信号を測定することは容易ではありません。

実験 9: 生産ラインのアプリケーション

関連情報 スペクトラムアナライザは、RF 通信製品の可否判定に使用できます。テストは、計測器のみで手動で行うことも PC でリモートコントロールすることもできます。リモートコントロールを使用すると、スペクトラムアナライザのパラメータ設定と測定結果をリモートで対応できます。これにより、作業者の設定作業時間を節約でき、生産ライン効率を向上させることができます。この実験では、GRF-1300A が生産ラインにあると仮定しリミットライン機能を使用して簡単なテストを実行し製品がテストに合格したかどうかをリモートコマンドを使用して判定します。

項目	設備	数量	備考
1	スペクトラムアナライザ	1	GSP-730
2	RF 通信トレーナ	1	GRF-1300A
3	RF ケーブル	1	800mm/100mm
4	アダプタ	1	N-SMA

実験の目標

1. 合格/不合格の制限値(リミットライン)の編集方法と、合格/不合格のテストの実行方法を理解する。
2. リモートコマンドを使用し、スペクトラムアナライザからテストデータを読み取る。

実験原理

1. リミットラインの編集と合格/不合格のテストを実行する。
上限リミットラインと下限リミットラインは、周波数スパン全体に適用されます。リミットラインは、信号振幅が設定された振幅レベルを上回るか下回るかを検出するために使用します。合格(PASS)/不合格(FAIL)テストの判定は、スペクトラムアナライザの画面下部に表示されます。

リミットラインを作成するには、次図のリミットライン編集テーブルのポイント(最大 10 個)を編集します。

No.	MHz	dBm	No.	MHz	dBm
1	0.0	0.0	6	60.0	0.0
2	20.0	0.0	7	70.0	0.0
3	30.0	0.0	8	80.0	0.0
4	40.0	0.0	9	90.0	0.0
5	50.0	0.0	10	100.0	0.0

リミットライン編集テーブルの各ポイントの振幅と周波数を設定します。矢印キーを使用して、各ポイントにカーソルを移動させます。各ポイントに数値を入力し、上限リミットラインと下限リミットラインの両方を編集します。リミットラインを設定すると合否判定を開始することができます。

2. リモートコマンドを使用してテスト結果を読み込みます。
テスト用にスペクトルアナライザを手動で設定するには時間がかかります。ここでは、リモートコマンドを使用して、スペクトルアナライザのさまざまなパラメータをリモートで設定します。いくつかのコマンドについて簡単に説明します。

周波数コマンド	<code>meas:freq:cen?</code>	センター周波数の値を kHz で返します。
	<code>meas:freq:cen</code>	センター周波数を設定します。 例: <code>meas:freq:cen_100_mhz</code>
	<code>meas:freq:st?</code>	スタート周波数を kHz で返します。
	<code>meas:freq:st</code>	スタート周波数を設定します。 例: <code>meas:freq:st_100_mhz</code>
	<code>meas:freq:stp?</code>	ストップ周波数を kHz で返します。
	<code>meas:freq:stp</code>	ストップ周波数を設定します。 例: <code>meas:freq:stp_100_mhz</code>
Span Commands	<code>meas:span?</code>	SPAN 周波数の設定値を返します。
	<code>meas:span</code>	SPAN 周波数を設定します。 例: <code>meas:span:10_mhz</code>
	<code>meas:span:full</code>	フルスパンに設定します。
Amplitude Commands	<code>meas:refl:unit?</code>	リファレンスレベルの単位を返します。
	<code>meas:refl:unit</code>	リファレンスレベルの単位を設定します。 パラメータ: 1(dBm), 2(dBmV), 3(dBuV)

Limit line Commands	meas:refl?	リファレンスレベルを dBm 単位で返します。
	meas:refl	リファレンスレベルを dBm 単位で設定します。
	meas:limitline:on	リミットラインをオンにします。 パラメータ: 0 (下限リミットライン), 1 (上限リミットライン)
	meas:limitline:off	リミットラインをオフにします。 パラメータ: 0 (下限リミットライン), 1 (上限リミットライン)
	meas:limitline:passfail_on	Pass/Fail テストをオンにします。

- 実験内容**
1. GRF-1300A で合格 (PASS) / 不合格 (FAIL) テストを実行するために、上限リミットラインと下限リミットラインを設定します。
 2. PC からリモートコマンドを使用して、スペクトラムアナライザをリモートで設定します。

- 実験手順**
1. GRF-1300A と GSP-730 の電源を入れます。
 2. GRF-1300A の設定を初期状態 (電源投入時) の状態にします。
 3. ベースバンドモジュールの出力ポートと RF シンセサイザ / FM モジュールの FM 入力ポートを RF ケーブルで接続します。(下図)



4. GSP-730 を次のように設定します：

- センター周波数：880MHz
- Span：50MHz
- リファレンスレベル：0dBm
- RBW：Auto

Step1 **Frequency** (F1) 8 8 0 (MHz/mSec) **Center 880.0MHz**

Step2 **Span** (F1) 5 0 (MHz/mSec) **Span 50.0MHz**

Step3 **Amplitude** (F1) 0 (GHz/Sec) **Ref. Level 0.0dBm**

Step4 **BW** (F1) **RBW Auto Man**

5. Pass/Fail テストのリミットライン

Step5 **Limit Line** (F3) **Edit...**

Step6 (F1) **Limit High Low** (F2) **Edit Table ON OFF**

画面下側のリミットラインに各ポイントの振幅と周波数が入力することができます。カーソルを移動してポイントを選択し、テンキーとユニットキーでポイントの値を入力または編集します。

(F6) {F6} キーで前の画面に戻ります。

Step7 (F1) **Pass/Fail ON OFF**

6. 上記の手順に従って、リミットラインの設定をします。

7. GRF-1300A の Amp Adj ツマミを調整します。

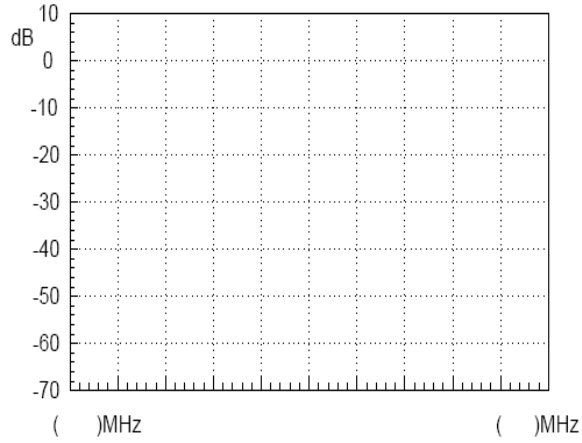
合格/不合格のテスト結果を観察し、結果を表 9-1 に記録します。

8. ターミナルソフト等を使用して PC からリモートコマンドを送信することで、同じ機能を実現できます。

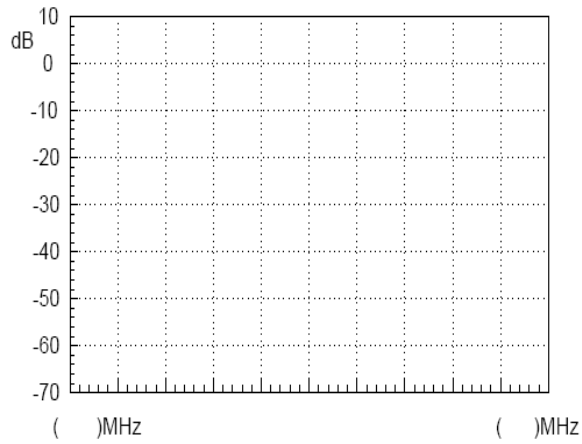
実験結果

表 9-1. OUTPUT ツマミを回して調整した結果

**5MHz 周波数
偏差のテスト
結果**



**10MHz 周波数
偏差のテスト
結果**



実験 10: ミキサ (Mixer)

関連情報 実験 5 および実験 6 では、信号がキャリア上にどのように変調されるかを学習しました。しかし、変調された信号を送信する前に実行する必要がある他のプロセスは何でしょうか？

このプロセスでは、周波数ミキサと呼ばれるものが非常に重要です。

周波数ミキサの主な機能は、周波数を変換することです。

ミキサは、RF 信号を中間周波数 (IF) 信号に変換したり、IF 信号を RF 周波数信号に変換し搬送されたメッセージをそれぞれ送信または処理します。

この実験の目的は、ミキサがスペクトルの観点から信号の周波数スペクトルをどのようにシフトさせるか観測し、ミキサの原理を理解することです。

実験設備	項目	設備	数量	備考
	1	スペクトラムアナライザ	1	GSP-730
	2	RF 通信トレーナ	1	GRF-1300A
	3	USB 信号発生器	1	USG-LF44
	4	RF ケーブル	2	100mm
	5	RF ケーブル	1	200mm
	6	RF ケーブル	1	800mm
	7	アダプタ	1	N-SMA

- 実験の目標**
1. ミキサの動作原理を理解する
 2. スペクトラムアナライザで周波数スペクトラムを解析し周波数シフトを観測する
 3. 変換ゲインやポートアイソレーションなどのミキサのパラメータを測定する

- 実験原理**
1. ミキシングの概念の紹介
ミキサは、周波数変換に使用されます。ミキシングは、変換とも呼ばれキャリア周波数 f_c を、次段の回路で処理するためにキャリア周波数を有する変調信号 f_m に変換するために使用されます。
このプロセスは、周波数シフト (周波数スペクトルのシフト) と呼ばれます。
ミキサによる周波数変換は、変調された搬送波からの変調を変化させずに維持する必要があります。

ミキサの基本的な機能は、キャリア周波数を増加 (アップコンバート) または減少 (ダウンコンバート) のみを実行し変調信号の変調を一定に維持することです。スペクトルの観点から、ミキシングの本質は、変調

された信号のスペクトルを周波数軸に沿って直線的に移動させることです。従って、ミキサ回路は図 10-1 に示すように、乗算機能を持つ非線形素子とバンドパスフィルタで構成する必要があります。

図 10-1
ミキサ回路

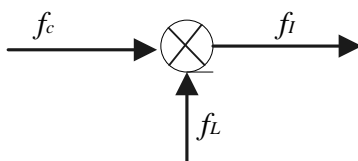
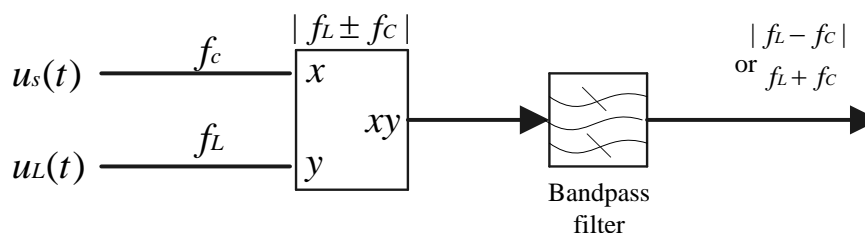


図 10-2 に示すように、ミキサはキャリア周波数 f_c である変調信号 $u_s(t)$ および発振周波数 f_L である局部発振器信号 $u_L(t)$ をミキシングします

三角関数の乗算により、入力の乗算の結果は f_c と f_L の加算と減算になります。

例えば、 $f_i = |f_L + f_c|$ 、 $f_i = |f_L - f_c|$ で f_i は中間周波数と呼ばれます。キャリア周波数 f_i の含むミキシング周波数信号を中間周波数信号 $u_i(t)$ と呼びます。

図 10-2
ミキサ信号の
ブロック図



変調入力信号 $u_s(t)$ を $u_s(t) = V_s \cos(\omega_c t)$ 、局部発振信号 $u_L(t)$ を $u_L(t) = V_L \cos(\omega_L t)$ とすると、積は

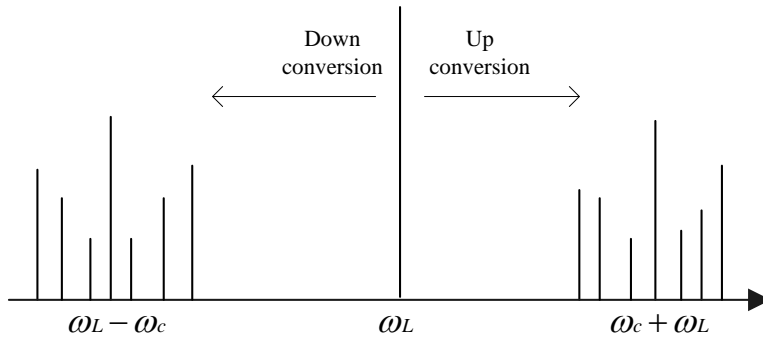
$$u_i(t) = V_s V_L \cos(\omega_c t) \cos(\omega_L t) = \frac{V_s V_L}{2} [\cos(\omega_c + \omega_L)t + \cos(\omega_L - \omega_c)t]$$

となります。

バンドパスフィルタを通過し、片方の周波数成分 ($\omega_c + \omega_L$ または $\omega_L - \omega_c$) を除去することで周波数変換が完了します。

一般に、新しいキャリア周波数は IF 信号と呼ばれます。

上記の計算結果のスペクトルを次図に示します。



上図のスペクトルシフトから、ミキシング周波数信号は入力信号と LO 信号の加減算であることが分かります。周波数ミキサは一般に非線形デバイスのためミキシング処理において不可避免的に周波数歪みと干渉との非線形の組み合わせが生じることは明らかです。LO 信号と入力信号の高調波成分も周波数ミキサにも入力されるため、出力には各高調波の正と負の成分もあります。

無線トランシーバの回路では、前段の低雑音小信号増幅器(LNA)および IF 増幅器 (IFA) は、周波数ミキサによって発生するよりもはるかに小さい非線形周波数歪みがあります。したがって、無線受信回路における非線形歪みと周波数干渉を合わせたものは、主に周波数ミキサ回路によって生成されます。工学において周波数ミキサの非線形特性は、一般的に次式で表されます：

$$i = a_0 + a_1u + a_2u^2 + a_3u^3 + \dots$$

式中の u は、周波数ミキサの入力端に加えられる総信号です。U の構成は

$$u = u_1 \cos \omega_1 t + u_2 \cos \omega_2 t + u_3 \cos \omega_3 t$$

U を代入すると Substituting U

$$\begin{aligned}
 i = & A_0 + A_1(u_1 \cos \omega_1 t + u_2 \cos \omega_2 t + u_3 \cos \omega_3 t) \\
 & + A_2(u_1^2 \cos 2\omega_1 + u_2^2 \cos 2\omega_2 + u_3^2 \cos 2\omega_3) \\
 & + A_3(u_1^3 \cos 3\omega_1 + u_2^3 \cos 3\omega_2 + u_3^3 \cos 3\omega_3) \\
 & + \dots + A_p \cos(\pm\omega_3 + \omega_1)t + A_q \cos(\pm\omega_3 \pm \omega_2)t \\
 & + A_m \cos(\pm\omega_3 + 2\omega_1 \pm \omega_2)t \\
 & + A_n \cos(\pm\omega_3 + \omega_1 \pm 2\omega_2)t \\
 & + A_x \cos(k\omega_3 + r\omega_1 + s\omega_2)t \\
 & + \dots
 \end{aligned}$$

ここで、項 A0 は直流成分で、項 A1 は基本項、項 A2 および項 A3 はそれぞれ 2 次および 3 次高調波です。

より高い高調波成分は無視されています。これらの周波数成分は、ミキサの後に生成され、バンドパスフィルタで除去されます。

それらは、どのサブシーケンス段階にも影響しません。項 Ap および Aq は有用な IF 項で通常、受信機によって受信されるべきです。

Am および An 成分は 3 次相互変調周波数成分で、これらもまたチャネル干渉に寄与します。フィルタを使用し 3 次相互変調干渉を除去することは困難です。3 次干渉を低減する最も効果的な手段は、良好な直線性を有するミキシングデバイスを設計し製造することです。

集積されたミキシングデバイスは、通常、IP3 ポイント(3 次相互変調インターセプトポイント)を使用して 3 次相互変調干渉のレベルを表します。IP3 値が大きいものは、良好な直線性を持つミキサを表しています。また、ミキサがより線形的に動作するように RF 信号入力の振幅を最小にする回路設計は 3 次相互変調積を低減することができます。

2. 周波数ミキサの主なパラメータ

周波数ミキサの主な技術指標には、変換ゲイン、1dB 圧縮ポイント、ポートアイソレーションなどがあります。

(1) 変換ゲイン

RF 入力パワーレベルと出力信号パワーレベルの比は、変換ゲイン G_c と呼ばれます。

すなわち、

$$G_c = 10 \lg \frac{P_I}{P_R}$$

式では、RF 入力電力 P_R と IF 出力電力 P_I ともに単位は、dBm を使用しています。

変換利得が 1 未満の場合には、 L_c で表される受動式ダイオードでは変換損失が存在します。トランジスタ、FET、または集積アナログ乗算器などの能動型周波数ミキサの場合、変換ゲインは、周波数ゲイン > 1 です。

変換ゲイン G_c の測定において、LO の駆動電力は固定電力レベルであるべきです。例えば、 $50\ \Omega$ の入出力インピーダンスを持つダイオードリングミキサの場合、LO の標準電力レベルは 7dBm です。集積アナログ乗算器 MC1596 では、LO の標準電力レベルは 20dBm です。

周波数ミキサを測定して適用する場合、周波数ミキサの 3 つのポートでインピーダンスマッチングを使用する必要があります。周波数ミキサの RF ポートがイメージ除去フィルタを通過して LNA に接続されている場合、周波数ミキサの RF ポートの入力インピーダンスは、フィルタの出力インピーダンスと一致してフィルタの性能を確保する必要があります。一般に、フィルタの出力インピーダンスは $50\ \Omega$ です。同様に、周波数ミキサの IF ポートの出力インピーダンスは、IF フィルタの入力インピーダンスと一致する必要があります。一般に、周波数が 100MHz 未満の IF フィルタのインピーダンスは $50\ \Omega$ より大きい。

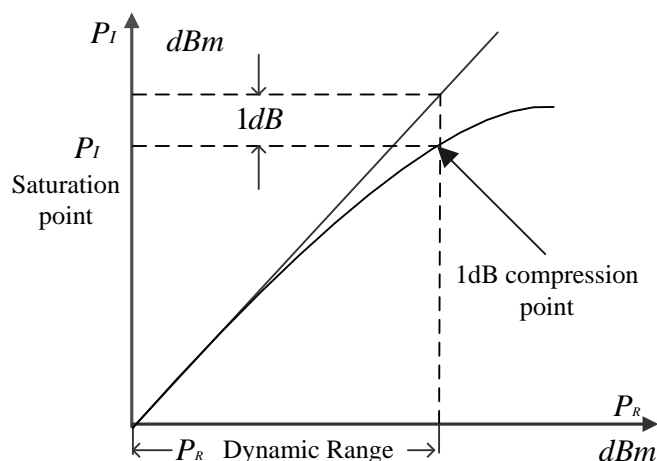
(2) 1dB compression point

圧縮点は、周波数ミキサの非線形歪みを示すために使用します。小さな RF 信号の場合、周波数ミキサは線形ネットワークです。RF 入力レベルが LO レベルよりもはるかに小さい場合、周波数ミキサは直線的に動作します。

言い換えれば、RF 出力は RF 入力レベルの増加に伴って直線的に増加します。しかし、RF 入力レベルと LO レベルの差が 10dB を超えるような RF 入力がある程度増加すると、IF 出力の比がゆるくなり、RF 入力と RF 出力の関係はもはや線形ではなくなります。この時点で、周波数ミキサは飽和状態になり始め、図 10-3 に示すように非直線的な歪みを示します。

次図は、変換圧縮点が、IF 出力パワーレベルが理想的な線形 1dB だけずれている点を示しています。明らかに、変換圧縮点は、周波数ミキサの非線形歪みの程度を間接的に表します。LNA の場合、この 1dB の圧縮点を使用して、LNA の線形増幅範囲を表すこともできます。

10-3

1 dB
compression
point

(3) Port isolation

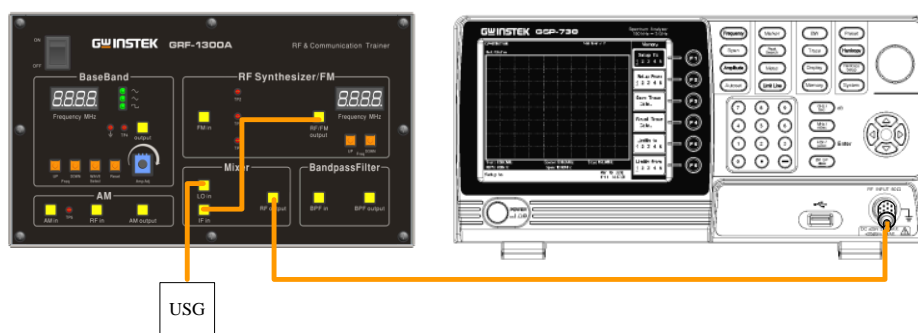
ミキサのポートアイソレーションは、ミキサと各ポート間のフィードスルーのリーク量を決定する内部回路のバランスを特徴づけます。理論的には、ミキサのポートは厳密に分離する必要がありますが、実用的な内部ミキサ回路は多少のバランスが取れていないため、各ポート間に信号フィードスルーが発生します。

周波数ミキサの各ポート間のアイソレーションが低いと、次のような側面に直接影響します。LO 信号ポートの RF ポートへの漏れは、LNA に影響を与え、アンテナを通して放射します。特にダイオードリング周波数ミキサでは、LO 信号が LO ポートを通過して RF 入力ポートにリークすると、アンテナを介して LO 信号が送信され、隣接チャンネルに干渉が発生します。RF ポートから LO ポートへの漏れ電力は、LO を周波数引き込みに対して脆弱にします。LO ポートがミキサ出力ポートにリークすると、大きな LO 信号が IF 信号の増幅に影響を与えます。

-
- 実験内容
1. 周波数シフトを観測する
 2. ポートアイソレーションと変換ゲインの測定
 3. GRF-1300A を使用して 2.4GHz 変調信号を出力します。
-

- 実験手順
1. GRF-1300A と GSP-730 の電源を入れます。
 2. GRF-1300A の設定をします。
 - GRF-1300A のシンセサイザ / FM モジュールの RF / FM ポートとミキサモジュールの IF 入力ポートを RF ケーブルで接続します。

- USG(USB 信号発生器)出力ポートとミキサモジュールの LO 入力ポートを RF ケーブルで接続します。
- GRF-1300A のミキサモジュールの RF 出力とスペクトラムアナライザ GSP-730 の RF ポートを RF ケーブルで接続します。C
- USG の出力周波数を 1520MHz に設定します。



3. GSP-730 を次のように設定します：

- センター周波数:2.4 GHz
- Span:FULL
- リファレンスレベル:0dBm
- 分解能帯域幅:Auto

Step1 **Frequency** (F1) 2 . 4 GHz/Sec **Center 2.4GHz**

Step2 **Span** (F2) **Full Span**

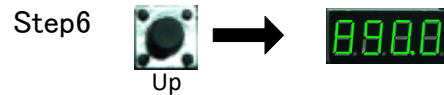
Step3 **Amplitude** (F1) 0 GHz/Sec **Ref. Level 0.0dBm**

Step4 **BW** (F1) **RBW Auto Man**

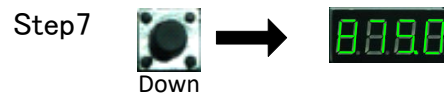
4. スペクトラムアナライザでスペクトル分布を観察します。
周波数ミキシング時のスペクトル分布を取得します。
各スペクトルの大きさを測定し、表 10-1 に書きます。

Step5 **Peak Search**

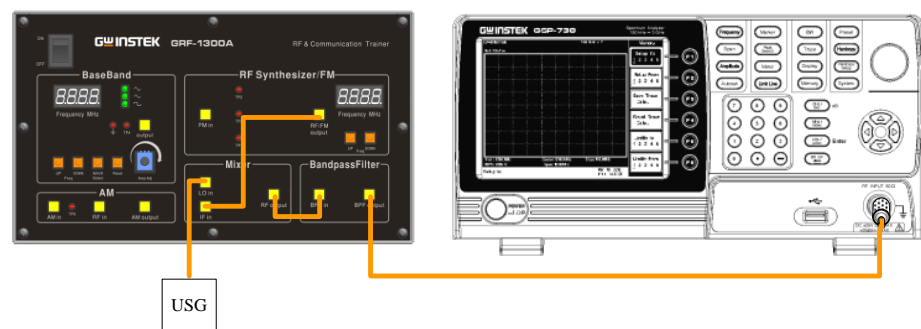
5. RF シンセサイザ/ FM モジュールの RF 出力の周波数を変更します。
スペクトルアナライザで変化を観察し、表 10-1 に記録します。



- RF シンセサイザ/ FM モジュールの RF 出力の周波数を変更します。スペクトルアナライザで変化を観察し、表 10-1 に記録します。



- 前のステップに従って各スペクトルの振幅を求め、ダウンコンバートされた積の変換利得を計算し、IF 入力ポートの分離(アイソレーション)度を計算します。実験結果を表 10-2 に記録してください。
- 上記の実験ステップが完了したら、RF シンセサイザ/ FM モジュールの RF 周波数を 880MHz に設定します。
次に、ミキサモジュールの RF 出力ポートを、バンドパスフィルタモジュールの BPF 入力ポートに RF ケーブルで接続します。
ミキサモジュールの RF 出力ポートに接続されていた RF ケーブルを BPF 出力ポートに接続し、もう一方をスペクトラムアナライザの入力ポートに接続してください。



- スペクトラムアナライザの設定は変更しません。
- スペクトラムアナライザの変化を観察し、表 10-3 に記録してください。
- ステップ 10 で使用したのと同じ接続を使用します。
ベースバンドモジュールの出力ポートを RF シンセサイザ/ FM モジュールの FM ポートに RF ケーブルで接続します。
オーディオ信号が一定のレベルになるように、ベースバンドの OUTPUT ツマミを調整します。

12. GSP-730 を次のように設定します：

- センター周波数：2.4GHz
- Span: 50MHz
- リファレンスレベル：0dBm
- 分解能帯域幅(RBW): Auto

Step8 **Frequency** (F1) 2 . 4 (GHz/Sec) **Center 2.4GHz**

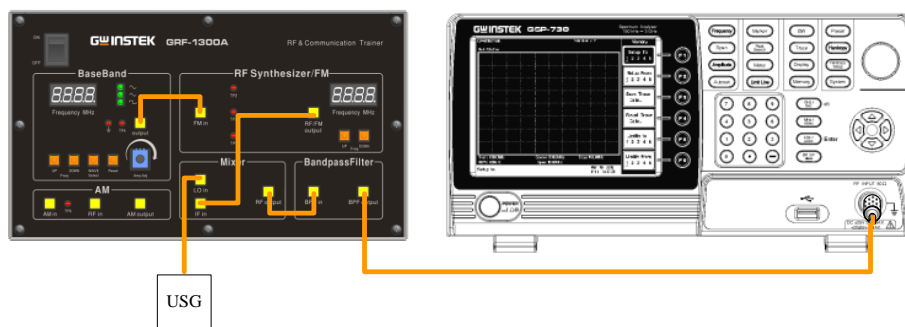
Step9 **Span** (F1) 5 0 (MHz/mSec) **Span 50.0MHz**

Step10 **Amplitude** (F1) 0 (GHz/Sec) **Ref. Level 0.0dBm**

Step11 **BW** (F1) **RBW Auto Man**

13. スペクトルアナライザの変化点を観察し、表 10-3 に記録してください。

14. 実験 5 で AM 変調信号を生成するために使用した方法に従って AM 変調信号を 2.4GHz に変換してください。
結果を表 10-3 に記録してください。



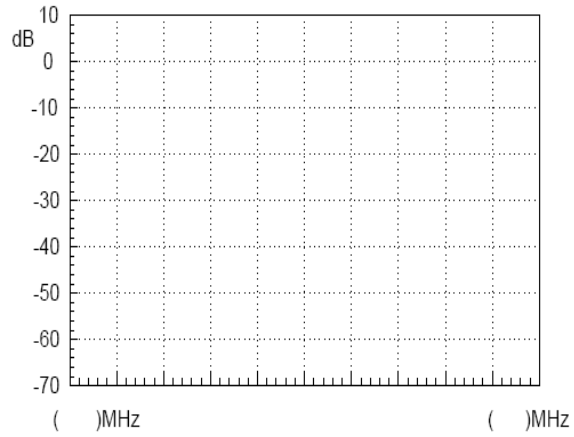
実験結果 1. ミキサによる周波数シフト

RF 周波数	実験結果
--------	------

表 10-1

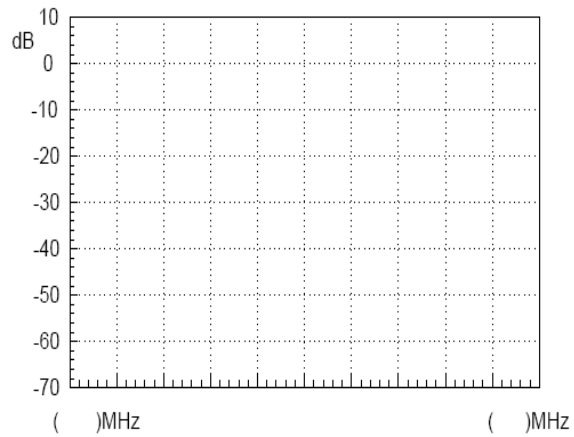
周波数シフト
の結果

880MHz



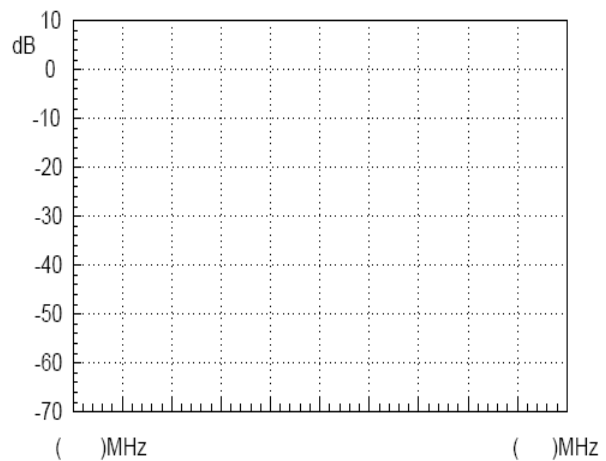
各周波数ポイントの振幅: _____

890MHz



各周波数ポイントの振幅: _____

875MHz

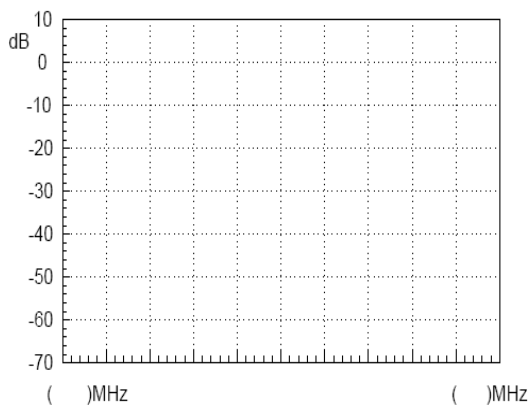


各周波数ポイントの振幅: _____

2. ダウンコンバートの変換利得と IF 入力ポートの分離度。

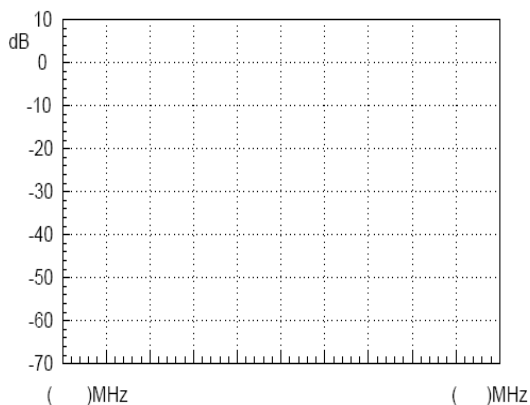
表 10-2 変換利得

利得とアイソ
レーションの
計算



利得: _____

IF 入力ポートの
アイソレーション

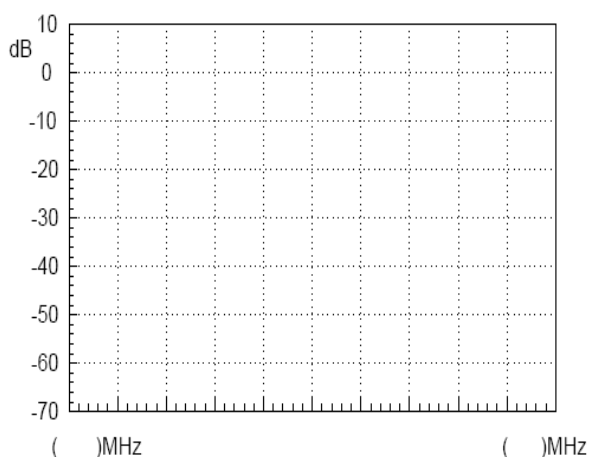


アイソレーション: _____

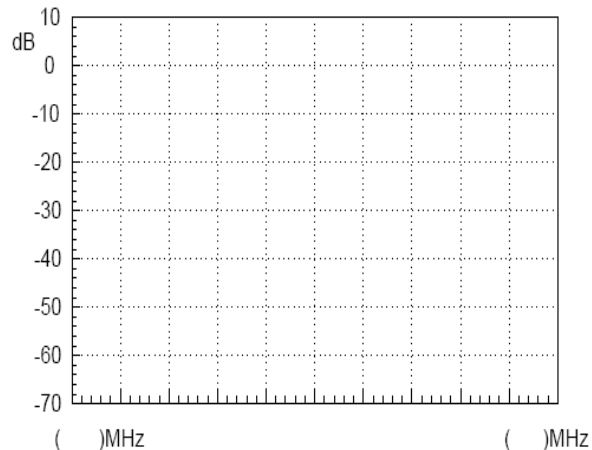
3. 2.4GHz 変調信号

表 10-3 変調前の信号

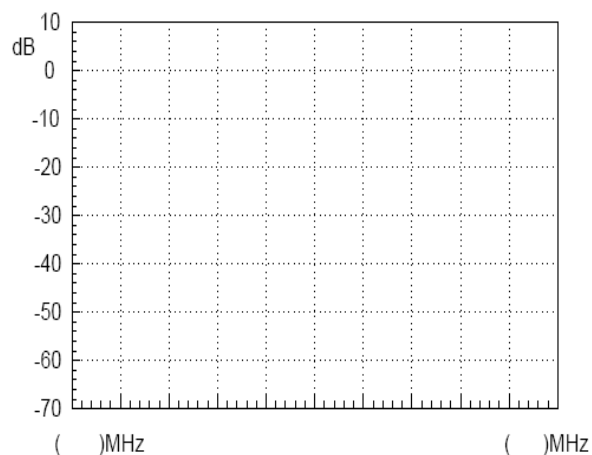
2.4GHz 変調
信号



FM 変調信号



AM 変調信号



質問

1. バンドパスフィルタの特性は何ですか？
2. 周波数ミキサの出力スペクトラムに 5 つの周波数ポイントがあるのはなぜですか？

*ミキサー回路の紹介

関連情報

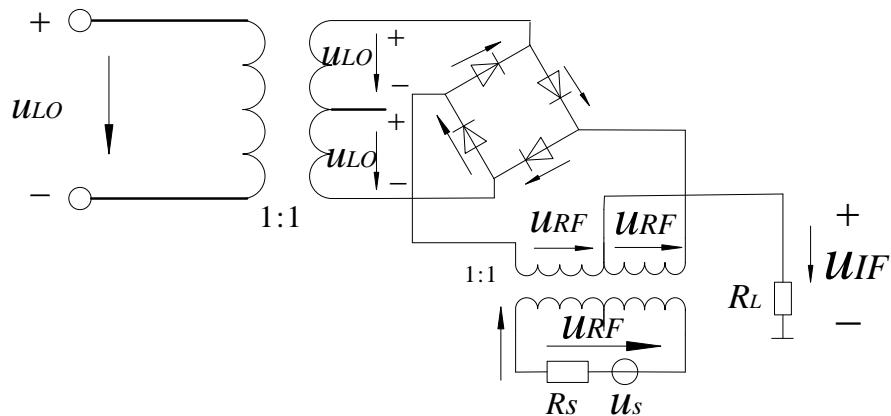
ミキサ回路は、受動回路と能動回路の 2 種類の回路に分けられます。能動型ミキサ回路は、通常、シングルバランスミキサおよびダブルバランスギルバートミキサのような単一のトランスコンダクタンスタイプからできています。一般的な受動型ミキサ回路には、ダイオードミキサ回路およびパッシブ FET ミキサ回路があります。

1. ダイオードダブルバランスミキサ (DBM) 回路.

最も一般的なダブルバランス型ダイオードミキサは、リングミキサとも呼ばれます。一つのループ構成が 4 つのダイオードで構成されています。それは、3 つのポートを持っています: LO ポート、RF ポート、および IF ポート。

ローカルオシレータ (LO) の電圧が $u_{LO}(t) = u_{LO} \cos \omega_{LO} t$ で RF 電圧

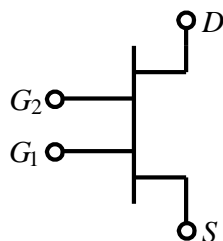
ローカルオシレータ(LO)の電圧が $u_{LO}(t) = u_{LO} \cos \omega_{LO} t$ で RF 電圧が $u_{RF}(t) = u_{RF} \cos \omega_{RF} t$ の場合、LO ポートと RF 入力ポートの両方がトランスを通過し、平衡入力インピーダンスを持つシングルエンド入力になります。中間周波数(IF)ポートが不平衡である場合、LO 信号振幅は、RF 信号よりも大きくなります。この状態では、ダイオードおよび局部発振器がスイッチングを制御します。中間周波数の出力電圧は、IF 出力負荷抵抗 R_L により決定されます。



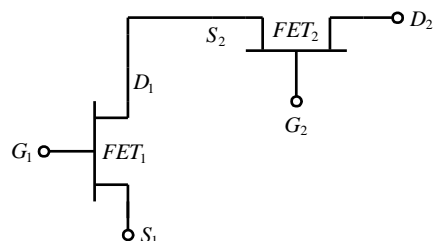
二重平衡型ダイオードミキサは、4つのダイオードを使用して周波数ミキシングを行います。これら4つのトランジスタは線形に動作していません。二重平衡型ダイオードミキサの3つのポートのアイソレーション特性は、ダイオードがお互いにどれほど良好にマッチしているか、およびトランスの対称性に関係します。

2. FET ミキサ回路

図 10.1 にデュアルゲート電界効果トランジスタ(FET)を示します。この図は、デュアルゲート FET の構成が単一ゲート構成に類似していることを示していますが、デュアルゲート FET を形成するためにゲートに第 2FET またはショットキー接続もあります。通常、回路設計をシミュレーションまたは解析する場合、適切なデュアルゲート FET を見つけることが困難な場合があるので、一对の単段トランジスタをカスコード構成で接続します。



(a) デュアルゲート FET



(b) 等価反復モデル

図 10.1 デュアルゲート FET およびその等価反復モデル

9. デュアルゲート FET ミキサの主な利点は、次のとおりです。
 デュアルゲート FET 自体、各ゲート間の容量は非常に小さいので、アイソレーション特性は、トランジスタゲートに入力される LO 信号および RF 信号に対して非常に良い。T

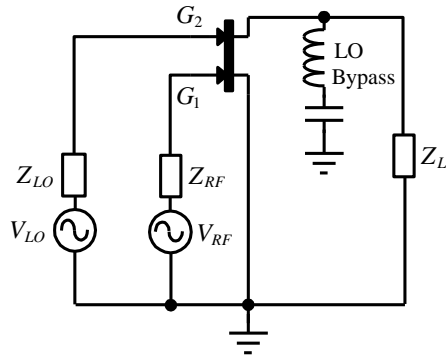


図 10.2 代表的なデュアルゲート FET ミキサ回路

図 10.2 に示すように、デュアルゲート FET は、単一ゲートトランジスタミキサとは異なり、LO または RF 入力に追加されたときにバランスを取る必要はありません。

さらに、ミキサが増幅機能を持つように変換利得を得ることもできる。通常、RF 信号を第 1 ゲートに接続し LO 信号を第 2 ゲートに接続し、IF 信号はソース出力から出力される。このような接続の利点は、ミキサがより低い雑音指数レベルを達成できることです。

良好なミキシング性能を得るためには、FET1 は線形領域で動作し、FET2 は飽和するようにバイアスされなければいけません。LO 入力に第 2 ベース端子に入力されると、LO 信号の振幅は FET1 ソースのバイアス電圧を変化させるのに十分高いので、トランジスタは線形領域で動作し、飽和領域は FET1 相互コンダクタンス値を変調し、ミキシング信号となります。図 10.3 にデュアルゲート FET ミキサの小規模等価回路モデルを示します。

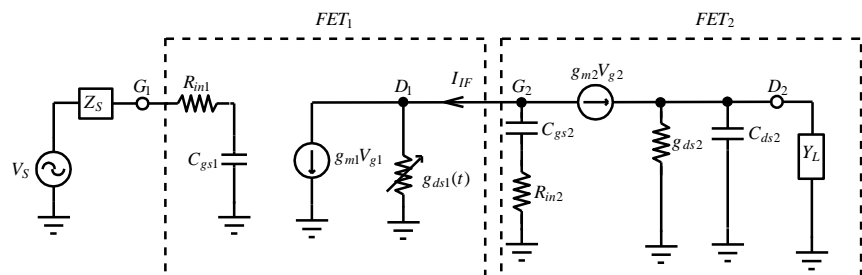


図 10.3. デュアルゲート FET ミキサの小規模等価モデル。

FET1 には混合の役割があるため、相互コンダクタンス値 $g_{m1}(t)$ とド

レイン - ソース間アドミッタンス $g_{ds1}(t)$ で FET1 を設定することができます。フーリエ展開として表現すると、次のようになります

$$g_{m1}(t) = G_{m0} + G_{m1} \cos(\omega_{LO} + \Phi_{m1}) + G_{m2} \cos(2\omega_{LO} + \Phi_{m2}) + \dots \quad (10-1)$$

$$g_{ds1}(t) = G_{d0} + G_{d1} \cos(\omega_{LO} + \Phi_{d1}) + G_{d2} \cos(2\omega_{LO} + \Phi_{d2}) + \dots \quad (10-2)$$

FET1 のドレイン電流は:

$$I_{IF}(t) = g_{m1}(t)v_{g1}(t) + g_{ds1}(t)v_{d1}(t) \quad (10-3)$$

$$I_{IF}(t) = G_{m0}v_{g1}(t) + G_{m1} \cos(\omega_{LO} + \Phi_{m1})v_{g1}(t) + G_{m2} \cos(2\omega_{LO} + \Phi_{m2})v_{g1}(t) + \dots + G_{d0}v_{d1}(t) + G_{d1} \cos(\omega_{LO} + \Phi_{d1})v_{d1}(t) + G_{d2} \cos(2\omega_{LO} + \Phi_{d2})v_{d1}(t) + \dots \quad (10-4)$$

式 10-3 に $v_{g1}(t) = v_{g1} \cos(\omega_{RF}) + \dots$ を代入します。

三角関数積は、和と差の演算となります。周波数出力項目を削除すると、次のようになります。

$$I_{IF}(\omega_{IF}) = 1/2(G_{m1}v_{g1}(\omega_{RF}) + G_{d1}v_{d1}(\omega_{RF}) + G_{d0}v_{d1}(\omega_{IF})) \quad (10-5)$$

この式を使用して、ミキサの動作原理を理解できます。さらに、ドレインが LO バイパスに接続されると、高周波信号 (RF と LO) をフィルタリングして変換利得を向上させることができます。

通常、ミキサの生成と分析には、ミキサ変換ゲイン、ポートアイソレーション、IP3 などを正確にシミュレートして予測するために、必要なパラメータと等価回路モデルをコンピュータ支援設計ソフトウェアに渡します。しかし、このようなプログラムが無い場合でも、正確な非線形トランジスタモデルを使用するには、3SK241 トランジスタを使用します。このトランジスタユニットの仕様書には、必要な情報を計算するために必要なすべてのデータが含まれています。

ミキサ変換利得は、中間周波数信号 (IF) および入力信号 (RF) 電力比の出力として定義されます。ミキサ変換ゲインを良好にするには、データシートに書かれているバイアス値を基準点として選択することが重要です。スペクトラムアナライザを使用して、基準 DC バイアスポイントからの DC バイアスを調整して最大変換ゲインを決定します。最後に、 $V_{DS} = 3V$ 、 $I_{DS} = 10mA$ (約) の回路バイアスを設定します。

デュアルゲート FET 3SK241 を使用した実際の回路を図 10.4 に示します。DC バイアスは、抵抗 R_1 と R_2 、バイパスコンデンサは C_3 と C_4 、RF 電流チョークインダクタは L_3 、ローパスフィルタはコンデンサ C_5 と C_6 とインダクタ L_4 で構成されています。

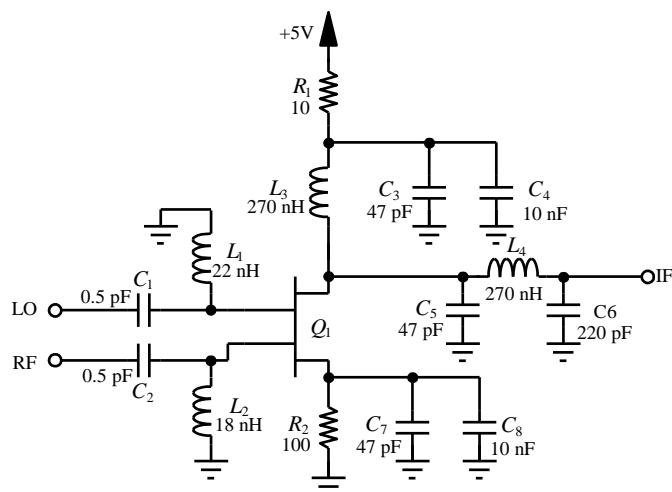


図 10.4. 900MHz デュアルゲート FET ミキサ回路

学 習 成 果 の た め の テ ス ト

これまでの実験では、位相ロックループ、振幅変調、周波数変調の概念を導入しました。しかしそれだけでは RF 回路を完全に把握することはできません。この実験は、これらの 3 つの部分を組み合わせて 1 つのシステムを形成します。回路内の各モジュールは、遠隔コマンドを介してオンまたはオフにすることができるので、実験を使用して(シミュレートされた)誤動作を診断することができます。生徒がこれらの誤動作の原因を分析するとき、生徒はそれぞれの背後にある関係と原則について全体的に理解します。これにより、学生は PLL、AM、FM の知識を身につけることができます。

- 実験の目的:**
1. どのように、なぜ位相ロックループがロック状態になるか、またはロック状態を失うかを理解する。
 2. 全体的なコミュニケーションシステムを理解する。

実験の内容 インストラクターは、GRF-1300A にリモートコマンドを送信し、誤動作を起こします。生徒は、オシロスコープ、スペクトラムアナライザまたは他の測定機器を使用して、誤動作/故障の原因を推定/検証します。

1: RF 信号の誤動作シミュレーション

誤動作 1

誤動作の説明

仮説:

検証

誤動作 2

誤動作の説明

仮説:

検証:

2: FM 誤動作シミュレーション

誤動作 1

誤動作の説明

仮説:

検証:

誤動作 2

誤動作の説明

仮説:

検証:

誤動作 3

誤動作の説明

仮説:

検証:

誤動作 4

誤動作の説明

仮説:

検証:

3:AM 誤動作シミュレーション

誤動作 1

誤動作の説明

仮説:

検証:

誤動作 2

誤動作の説明

仮説:

検証:

誤動作 3

誤動作の説明

仮説:

検証:

誤動作 4

誤動作の説明

仮説:

検証:

付録

質問に使用しているために使用されて変換テーブルをいくつか記載しています。

dBm 変換表

dBm, dBuV と dBmV dBmV はすべて絶対単位です。すなわち、それらは物理量を表します。対応する変換表は次のとおりです。

dBm	mW	uV	dBuV	dBmV
-30	0.001	7071.07	76.9897	16.9897
-25	0.003	12574.33	81.9897	21.9897
-20	0.010	22360.68	86.9897	26.9897
-15	0.032	39763.54	91.9897	31.9897
-10	0.100	70710.68	96.9897	36.9897
-5	0.316	125743.34	101.9897	41.9897
0	1.000	223606.80	106.9897	46.9897
5	3.162	397635.36	111.9897	51.9897
10	10.000	707106.78	116.9897	56.9897
15	31.623	1257433.43	121.9897	61.9897
20	100.000	2236067.98	126.9897	66.9897
25	316.228	3976353.64	131.9897	71.9897
30	1000.000	7071067.81	136.9897	76.9897

dB と dBc の関係

上記の表の数値は、50Ω 負荷に基づいています。一例として、-30dBm は 0.001mW または 10^{-6} W に等しいため、50Ω 負荷では 7071.07uV または 0.007071mV です。

上記の表の式と導出は次のとおりです：

$$P_{\text{inmW}} = 10^{\frac{\text{dBm}}{10}} \Rightarrow V = \sqrt{P \times R}$$

$$\Rightarrow \text{dBuV} = 20 \times \log\left(\frac{V}{\text{uV}}\right)$$

$$\text{further } \text{dBm} = 10 \times \log\left(\frac{P}{\text{mW}}\right) \quad \text{dBmV} = 20 \times \log\left(\frac{V}{\text{mV}}\right)$$

dB と dBc は相対単位です。

電力に関しては、20dB の差は 100 倍の差に同じです。

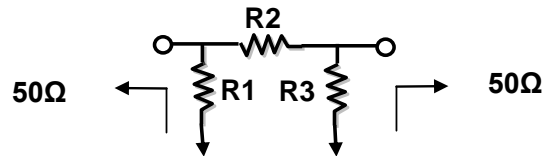
質問 0dBm と -50dBm の違いは何ですか？

それは 50dB または 50dBm ですか？

回答 50dB

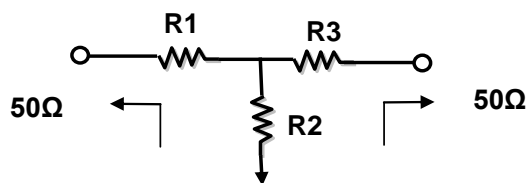
説明 0dBm = 1mW, -50dBm = 10^{-5} mW, したがって、両方の差は 50 倍に等しい 10^5 倍または 0.99999mW の差です。
 そして、0.99999mW は、-0.0000434dBm \approx 0dBm と同じです。
 50dBm = 10^5 mW = 100W。
 明らかに 50dBm が間違った回答になります。

π 型抵抗アッテネータの抵抗値



dB	R1	R2	R3
1	869.55	5.77	869.55
2	436.21	11.61	436.21
3	292.40	17.61	292.40
4	220.97	23.85	220.97
5	178.49	30.40	178.49
6	150.48	37.35	150.48
7	130.73	44.80	130.73
8	116.14	52.84	116.14
9	104.99	61.59	104.99
10	96.25	71.15	96.25
11	89.24	81.66	89.24
12	83.54	93.25	83.54
13	78.84	106.07	78.84
14	74.93	120.31	74.93
15	71.63	136.14	71.63
16	68.83	153.78	68.83
17	66.45	173.46	66.45
18	64.40	195.43	64.40
19	62.64	220.01	62.64
20	61.11	247.50	61.11
25	55.96	443.16	55.96
30	53.27	789.78	53.27
35	51.81	1405.41	51.81
40	51.01	2499.75	51.01

T型抵抗アッテネータの抵抗値



dB	R1	R2	R3
1	2.88	433.34	2.88
2	5.73	215.24	5.73
3	8.55	141.93	8.55
4	11.31	104.83	11.31
5	14.01	82.24	14.01
6	16.61	66.93	16.61
7	19.12	55.80	19.12
8	21.53	47.31	21.53
9	23.81	40.59	23.81
10	25.97	35.14	25.97
11	28.01	30.62	28.01
12	29.92	26.81	29.92
13	31.71	23.57	31.71
14	33.37	20.78	33.37
15	34.90	18.36	34.90
16	36.32	16.26	36.32
17	37.62	14.41	37.62
18	38.82	12.79	38.82
19	39.91	11.36	39.91
20	40.91	10.10	40.91
25	44.68	5.64	44.68
30	46.93	3.17	46.93
35	48.25	1.78	48.25
40	49.01	1.00	49.01

変調指数および側帯波振幅比較表

Modulation index	Sideband																
	Carrier	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0.00	1.00																
0.25	0.98	0.12															
0.5	0.94	0.24	0.03														
1.0	0.77	0.44	0.11	0.02													
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01												
2.0	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03												
2.41	0	0.52	0.43	0.20	0.06	0.02											
2.5	-0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02	0.01										
3.0	-0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01										
4.0	-0.40	-0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02									
5.0	-0.18	-0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02								
5.53	0	-0.34	-0.13	0.25	0.40	0.32	0.19	0.09	0.03	0.01							
6.0	0.15	-0.28	-0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02							
7.0	0.30	0.00	-0.30	-0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02						
8.0	0.17	0.23	-0.11	-0.29	-0.10	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03					
8.65	0	0.27	0.06	-0.24	-0.23	0.03	0.26	0.34	0.28	0.18	0.10	0.05	0.02				
9.0	-0.09	0.25	0.14	-0.18	-0.27	-0.06	0.20	0.33	0.31	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01			
10.0	-0.25	0.04	0.25	0.06	-0.22	-0.23	-0.01	0.22	0.32	0.29	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01		
12.0	0.05	-0.22	-0.08	0.20	0.18	-0.07	-0.24	-0.17	0.05	0.23	0.30	0.27	0.20	0.12	0.07	0.03	0.01

EU Declaration of Conformity

We
 GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD.
 declare that the CE marking mentioned product satisfies all the technical relations
 application to the product within the scope of council:
 Directive: EMC; LVD; WEEE; RoHS
 Type of Product: RF & Communication Trainer
 Model Number: GRF-1300 , GRF-1300A

The product is in conformity with the following standards or other normative documents:

© EMC	
EN 61326-1	Electrical equipment for measurement, control and laboratory use -- EMC requirements
Conducted and Radiated Emission EN 55011	Electrical Fast Transients EN 61000-4-4
Current Harmonics EN 61000-3-2	Surge Immunity EN 61000-4-5
Voltage Fluctuation EN 61000-3-3	Conducted Susceptibility EN 61000-4-6
Electrostatic Discharge EN 61000-4-2	Power Frequency Magnetic Field EN 61000-4-8
Radiated Immunity EN 61000-4-3	Voltage Dip/ Interruption EN 61000-4-11

Low Voltage Equipment Directive	
Safety Requirements	EN 61010-1

GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD.

No. 7-1, Jhongsing Road, Tucheng Dist., New Taipei City 236, Taiwan
 Tel: +886-2-2268-0389 Fax: +866-2-2268-0639
 Web: www.gwinstek.com Email: marketing@goodwill.com.tw

GOOD WILL INSTRUMENT (SUZHOU) CO., LTD.

No. 521, Zhujiang Road, Snd, Suzhou Jiangsu 215011, China
 Tel: +86-512-6661-7177 Fax: +86-512-6661-7277
 Web: www.instek.com.cn Email: marketing@instek.com.cn

GOOD WILL INSTRUMENT EURO B.V.

De Run 5427A, 5504DG Veldhoven, The Netherlands
 Tel: [+31\(0\)40-2557790](tel:+31(0)40-2557790) Fax: [+31\(0\)40-2541194](tel:+31(0)40-2541194)
 Email: sales@gw-instek.eu

お問い合わせ

製品についてのご質問等につきましては下記まで
お問い合わせください。

株式会社テクシオ・テクノロジー

本社：〒222-0033 横浜市港北区新横浜 2-18-13
藤和不動産新横浜ビル 7F

[HOME PAGE] : <https://www.texio.co.jp/>

E-Mail: info@texio.co.jp

アフターサービスに関しては下記サービスセンターへ
サービスセンター：

〒222-0033 横浜市港北区新横浜 2-18-13
藤和不動産新横浜ビル

TEL. 045-620-2786 FAX.045-534-7183