

1 実習名

電磁界測定機器の概要 (「EMC 測定法」)

2 実習の目的

電磁界測定で使用されるスペクトラムアナライザについての知識を深める。

3 実習の内容

3-1 スペクトラムアナライザの基礎

信号を処理したり発生する回路や装置の多くはその周波数特性つまり周波数スペクトラムによって初めて正確に特性づけられることが多い。たとえば、歪み特性、変調特性、ミキサなどの周波数変換特性、周波数レスポンス特性、信号の純度特性などの基本量は全て周波数ドメインの測定によって可能になる。デバイスで表現すれば、発振器や増幅器、ミキサ、フィルタ、変調器などの特性づけの大部分は周波数ドメインの測定によらなければならない。逆にスペクトラムアナライザを使用せずにこれらの測定を行う場合は、通常は非常に多くの測定器が必要になる。たとえば、RF 信号レベルを測定するのにパワーメーター、周波数スペクトルを測定するには特殊な受信機か波形分析器が必要になる。

スペクトラムアナライザは、周波数軸上を連続掃引する受信機で、表示画面上に信号の絶対レベルを周波数の関数としても表示する測定器といえる。したがって非常に複雑な信号でも、そのひとつひとつを画面上に正確に表示することができる。また、ダイナミックレンジが広いので、低いレベルの信号から高いレベルの信号まで正確に表示できる。図1にスペクトラムアナライザの基本原理図を示す。

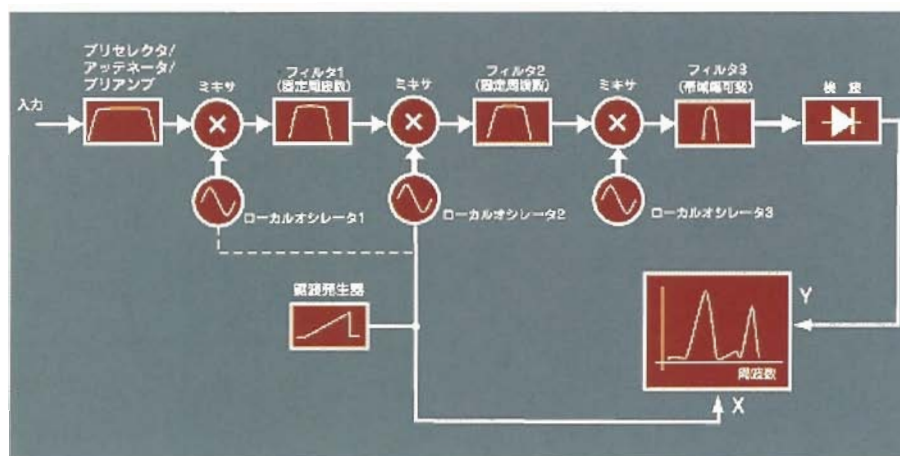


図1 スペクトラムアナライザの基本原理図

3-2 スペクトラムアナライザに要求される基本特性

スペクトラムアナライザは信号のエネルギー分布を周波数の関数として、入力信号のフーリエ変換をおこなうように設計された測定器である。周波数ドメインにおける測定で次の条件を満たす必要がある。

- ①すべての周波数および振幅の表示機能が絶対値で校正されていること。
- ②その周波数内でフラットネスの良好な周波数レスポンス特性を持っていること。
- ③互いに近接した信号を分解して詳細に観測できること（十分な分解能帯域とシェープファクタ特性を持っていること）。
- ④十分な周波数安定度を持っていること。
- ⑤微弱な信号でも検出できるだけ高感度であること。
- ⑥大きな振幅差のある複数信号を誤った測定のもととなるレスポンスなしに同時に表示できること。

3-3 スペクトラムアナライザの例

図2にスペクトラムアナライザの例を示す。



図2 スペクトラムアナライザの例

3-4 波形測定の場合

図3にオシロスコープで観測した波形を、図4にその信号をスペクトラムアナライザで観測した波形を示す。この信号は40MHzと10MHzを合成した波形であるので、スペクトラムアナライザで観測すると、40MHz及び50MHzのピークと高調波が観測されている。

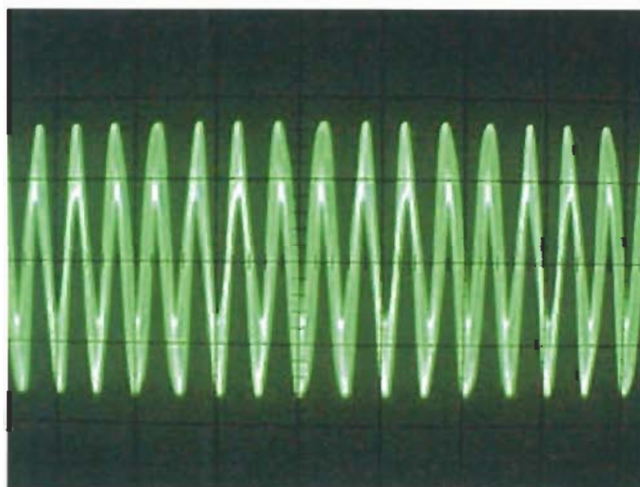


図3 10MHzと40MHzの合成波形のオシロスコープ画面

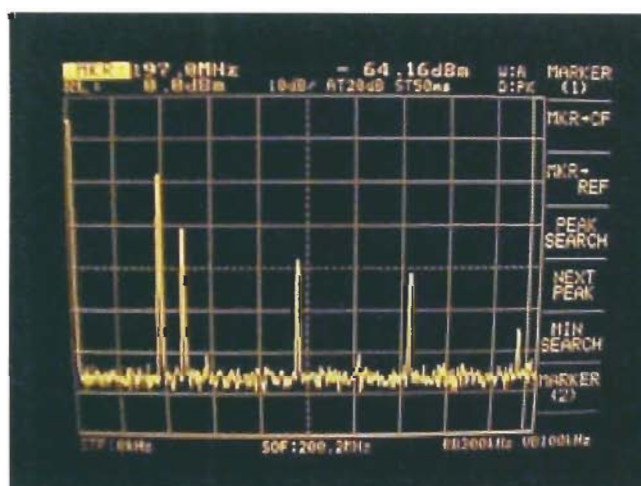


図4 上図信号のスペクトラムアナライザ画面

3-5 スペクトラムアナライザで使用される用語

【FREQUENCY RANGE(周波数測定範囲)】

アナライザの測定可能な周波数範囲。

【FREQUENCY ACCURACY (周波数の正確さ)】

アナライザ周波数の正確さ。アナライザの同調周波数に対して \pm *MHzもしくは \pm *ppmで表現される。

【FREQUENCY RESOLUTION (周波数分解能)】

入力信号に含まれる周波数成分の弁別能力。近接している 2 つの信号を区別して表示する能力を周波数分解能と言う。主に IF フィルタの帯域幅および選択度によって周波数分解能が決定される。

【RESOLUTION BANDWIDTH (分解能帯域幅)】

アナライザ IF 最終段の 3dB 帯域幅を分解能帯域幅という。アナライザの表示上の個々の信号の 3dB 帯域幅はこの IF 最終段の 3dB 帯域幅により決まり、振幅に等しい 2 つの信号は 3dB 帯域幅だけ離れて存在したときに分解可能になってくる。

【OPTIMUM RESOLUTION BANDWIDTH (最適分解能帯域幅)】

スキャン幅および観測しやすい適当な掃引時間に見合った最も便利な IF 帯域幅を言う。

【BANDWIDTH SHAPE FACTOR (帯域幅選択度)】

最終 IF フィルタの 3dB 以下のところでどれだけの帯域幅があるか、すなわちアナライザ表示上の各信号のすその広がりを示すファクタ。選択度は振幅の等しくない近接した 2 つの信号の分解能を示す。一般的には、フィルタの先端から 3dB 下がった点の帯域幅と 60dB 下がった点の帯域幅の比で示す。選択度が小さくなるほど、フィルタはシャープな形状になり分解能は向上する。

$$\text{帯域幅選択度} = \frac{60\text{dB帯域幅 (Hz)}}{3\text{dB帯域幅 (Hz)}}$$

【SPN (スパン)】

アナライザの横軸の校正目盛をさす。横軸は 10 目盛あり、単位は Hz、kHz、MHz となる。

【FREQUENCY SPAN (周波数スパン)】

表示画面の横軸の周波数範囲をさす。スキャンモードには 3 種類ありフルスキャン、可変スキャン、ゼロスキャンとなる。さらに可変スキャンにはセンタ、スタートがある。

【FULL SCAN (フルスキャン)】

このモードは画面上表示の横軸はアナライザの全周波数レンジに対応する。表示の右端は下限周波数に左端は上限周波数となる。このときアナライザの第一局部発振器は、その全周波数範囲に渡って掃引する。

【ZERO SCAN (ゼロスキャン)】

このモードに設定すると横軸は単一周波数の実時間となり、アナライザは単

一周波数に同調する。従って画面表示は信号振幅の時間的变化が表示され、可変帯域幅を持つ同調受信機になる。

【FREQUENCY STABILITY (周波数安定性)】

スペクトラムアナライザ測定システム全体の周波数の安定度。通常、システム全体の安定度はいくつかの局部発振器の周波数安定度の合計によって決定される。周波数安定度には短期安定度と長期安定度の2種類があり、残留FMおよび雑音側波帯は短期安定度のファクタであり、ドリフトは長期安定度のファクタとなる。

【RESIDUAL FM (残留FM)】

アナライザ自体の周波数のふらつき。通常第一局部発振器の周波数ジッタもしくは周波数のふらつきになり、アナライザの短期安定性を決定するファクタになる。ある帯域幅において1秒間にふらつく周波数のピーク-ピーク値、実行値、ピーク値、平均値などいろいろな方法で規定される。IF帯域幅およびスキャン幅が狭いとき、残留FMが多いとアナライザで測定することができなくなる。このためアナライザの最も狭いIF帯域幅および最狭スキャン幅は残留FMによって制限される。

【NOISE SIDEBANDS (雑音側帯波)】

画面上に描かれた一つの信号の純粋度、すなわちスペクトルとして画面上に描かれるIFフィルタ形状のすそのところに現れる雑音をいう。これは局部発振器信号波形の純粋度によりほぼシステム全体の性能が決まる。入力信号の純粋度をアナライザで測定する場合を考えると、アナライザの純粋度は入力信号のそれより高くなければならない。さらに雑音側帯波はアナライザの周波数分解能も制限してしまうファクタになるので、アナライザの特性を考える上で重要な項目となる。

【STABILITY (安定度)】

狭帯域スキャン幅で測定するにはアナライザの残留FMを小さくする必要がある。このため、掃引形の局部発振器周波数を安定化するためにはクリスタル発振器の安定な周波数に同期させる。これを安定化といい、自動位相コントロール(フェーズロック)と自動周波数コントロール(AFC)の2つの方法がある。

【IMAGE RESPONSES (イメージレスポンス)】

高調波ミキシングにより生じるまぎわらしいレスポンスの一つ。アナライザの第一IF周波数の2倍離れた信号対をイメージ対という。イメージ信号がアナライザに入力されたとき入力信号回路にフィルタがないと、おのおのが同

一の瞬間の局部発振機の周波数とミキシングして同時に IF 周波数となり、アナライザの表示上では一つのレスポンスとして表れる。このレスポンスをイメージレスポンスという。高周波ミキシングのアナライザでは、イメージレスポンスによる問題をなくすため入力部に帯域通過フィルタをつけたり、トラッキングプリセクタを用いたりする。トラッキングプリセクタは、高調波ミキシングによって生じるイメージレスポンス以外の好ましくない信号も除去できる。

【MULTIPLE RESPONSES (マルチプルレスポンス)】

高調波ミキシングにより生じるまぎわらしいレスポンスの一つで、一つの周波数成分をもった信号に対していくつものレスポンスがアナライザ表示上に表れる現象をいう。複数の同調曲線が一つの入力信号に同調するために生ずる。

【IF FEEDTHROUGH (IF フィードスルー)】

第一 IF と等しい周波数の入力信号が入力されると、その信号はミキサを通り抜けてそのまま IF となる現象。アナライザ表示上では IF と等しい周波数の入力信号レベルだけベース・ラインが持ち上げられてしまい測定は不可能となる。IF フィードスルーは、高調波ミキシングのアナライザだけに問題となる。

【PRESELECTOR (プリセクタ)】

アナライザの同調曲線に追従する可変同調形の帯域通過フィルタ。プリセクタは高調波ミキシングのアナライザに用いられ、イメージレスポンス、マルチプルレスポンス、スプリアスレスポンスおよび IF フィードスルーなどを除去できる。プリセクタには電圧制御可能な YIG が使用され、YIG の同調特性から一般にその同調範囲は 1.8GHz から 18GHz までとなる。

【DISPLAY RANGE (振幅表示範囲)】

画面上の縦軸の有効範囲で、一番上にあるレベル表示線と校正値で読み取ることのできる下のレベル表示線の範囲を dB で表したものを。振幅表示範囲は表示の大きさおよびアナライザ内の対数増幅器で決まる。

【DYNAMIC RANGE (ダイナミックレンジ)】

画面上で同時に観測できる最小信号振幅と最大信号振幅の差を dB で表したものをいう。ダイナミックレンジを広くとるためには、最小信号振幅が識別不能になるような最大信号振幅によって生じるひずみ及びスプリアスが十分小さくなくてはならない。また、最小信号振幅は雑音レベルによってかくれて見えなくならないような感度が必要となる。

最大のダイナミックレンジを得る為には、最大入力信号レベルはひずみおよびスプリアスを生じるようなミキサのレベルを越えないようにする。最大入力信号の頂点は画面上の最上部に位置させ、さらに雑音レベルを下げるように必要な感度が得られるような IF 帯域幅を選択する必要がある。

【SENSITIVITY (感度)】

アナライザの微小信号検出能力のことを感度という。アナライザの最大感度は、アナライザ自身から生じる平均雑音電力と等しい信号電力として定義する。平均雑音電力と等しい信号電力は、画面上雑音レベルより 3dB 上に越えて見え識別可能となる。

$$(\text{信号電力} + \text{平均雑音電力}) / (\text{平均雑音電力}) = 2$$

アナライザの雑音発生要因は、熱雑音と能動素子から発生する雑音の 2 種類となる。式で表すと

$$P_{in} = 10 \log KTB + N$$

ここで、

- Pin : アナライザ内部で生じる平均雑音 (dBm)
- K : ボルツマン定数 (J)
- T : 絶対温度 (° K)
- B : 等価 IF 帯域幅 (Hz)
- N : アナライザの雑音指数 (dB)

【OPTIMUM INPUT LEVEL (最適入力レベル)】

アナライザの入力ミキサに信号を加えた時にあるレベル以下のひずみが生じない一定レベルを言う。最適入力レベルはミキサによって異なり通常おおよそ -40dBm になっている。

【LINEAR INPUT LEVEL (リニア入力レベル)】

入力ミキサ特性を直線に保てる最大入力信号レベルをリニア入力レベルという。入力ミキサの特性に依存し、一般にその利得圧縮が 1dB 以下であればリニアであると定義する。ミキサにリニア入力レベル以上のレベルが印加されるとミキサの利得圧縮には 1dB 以上になり、非直線になり、ミキサの出力は入力レベルに比例しなくなる。

【MAXIMUM INPUT LEVEL (最大入力レベル)】

アナライザの入力回路部の損傷レベルを言う。最大入力レベルは入力減衰器および入力ミキサの特性によって定められる。入力ミキサの損傷レベルの代表値は +13dBm、入力減衰器の代表値は +30dBm であるので、実際の使用についてはこれ以下であることが必要である。

【AMPLITUDE ACCURACY (振幅の正確さ)】

入力信号振幅が画面上に正確に表示される能力をいう。振幅の誤差は次の 6 つの要因からなる。

- ① 周波数の平坦さ
- ② 入力減衰器の正確さ
- ③ IF 帯域幅の各設定での利得の変化
- ④ 対数増幅器の IF 利得の正確さ
- ⑤ 振幅表示の正確さ
- ⑥ 内部校正器出力の正確さ

【FLATNESS (周波数特性の平坦さ)】

周波数による利得変化を表す用語。±1dB の平坦さとは、アナライザの周波数レスポンスの山と谷とが 2dB 離れていることを表す。

【AMPLITUDE DISPLAY ACCURACY (振幅表示の正確さ)】

アナライザ表示の 1 目盛あたりの誤差を示し、2 信号の振幅差を測定する場合などに適する。

【LOG DISPLAY (対数表示)】

画面表示の縦軸が入力信号レベルの対数関数で表される表示モード。

【LINEAR DISPLAY (リニア表示)】

画面表示の縦軸が入力信号レベルの電圧で表される表示モード。

【SPURIOUS RESPONSES (スプリアスレスポンス)】

アナライザ内で発生し画面上で表示される好ましくないレスポンスをスプリアスレスポンスと言う。スプリアスレスポンスには、次の 2 つがある。

- ① 高調波によるもの：入力信号の高調波ひずみ
- ② 高調波によらないもの：異なった周波数の入力信号間の相互変調ひずみ

【HARMONIC DISTORTION (高調波ひずみ)】

入力ミキサに大きな振幅の入力信号が印加されるとミキサは非線形動作となり入力信号の高調波が発生する。このアナライザの中で発生した高調波を高調波ひずみという。

【INTERMODULATION DISTORTION (相互変調ひずみ)】

2 つの大きな周波数が近接した信号がアナライザの入力ミキサに加えられると、これらの信号により入力ミキサは非線形動作となりこれによって 2 つの信号が相互に影響しあい、アナライザ内部で入力信号には含まない周波数成分が発生する。これを相互変調ひずみという。

【RESIDUAL RESPONSES (残留レスポンス)】

入力信号を加えないのに画面上にレスポンスが現れることがある。これを残留レスポンスと言う。この潜在レスポンスは局部発振器の基本波もしくは高調波がアナライザ内部のいくつかの IF 周波数のうち1つと混合され、アナライザの IF となるために発生する。

【LO RADIATION (LO 放射)】

アナライザの入力回路部で検出されるアナライザ入力から放射されるエネルギーをいう。これは第一 LO のエネルギーの一部が入力ミキサを通して入力部に及ぼす為に生じる。LO 放射のため、アナライザの一部が取り付けられた機器が非常に低いレベルのデバイスの場合その損傷レベル以上に及ぶことがある。基本波ミキシングを用いたアナライザでは、LO 周波数は、アナライザ同調周波数より高く、入力部に低域通過フィルタを取り付けて LO 放射による影響を防いでいる。