

まえがき

この規格は、工業標準化法第 14 条によって準用する第 12 条第 1 項の規定に基づき、日本水晶デバイス工業会(QIAJ)/財団法人日本規格協会(JSA)から、工業標準原案を具して日本工業規格を改正すべきとの申出があり、日本工業標準調査会の審議を経て、経済産業大臣が改正した日本工業規格である。

これによって、**JIS C 6710:1999** は改正され、この規格に置き換えられる。

改正に当たっては、日本工業規格と国際規格との対比、国際規格に一致した日本工業規格の作成及び日本工業規格を基礎にした国際規格原案の提案を容易にするために、**IEC 60679-1:1997, Quartz crystal controlled oscillators of assessed quality—Part 1: Generic specification, Amendment 1 (2002)** 及び **Amendment 2 (2003)** を基礎として用いた。

この規格の一部が、特許権、出願公開後の特許出願、実用新案権又は出願公開後の実用新案登録出願に抵触する可能性があることに注意を喚起する。経済産業大臣及び日本工業標準調査会は、このような特許権、出願公開後の特許出願、実用新案権又は出願公開後の実用新案登録出願に係る確認について、責任はもたない。

JIS C 6710 には、次に示す附属書がある。

附属書 A (規定) ロジック駆動用負荷回路

附属書 B (規定) ラッチアップ試験

附属書 C (規定) 静電破壊試験の種類

附属書 D (参考) 参考文献

目 次

	ページ
序文.....	1
1. 一般的事項.....	1
1.1 適用範囲.....	1
1.2 引用規格.....	1
1.3 優先順位.....	4
2. 用語及び一般的要求事項.....	4
2.1 一般的事項.....	4
2.2 定義.....	4
2.3 定格及び特性の推奨値.....	12
2.4 表示.....	13
3. 品質評価手続.....	13
3.1 製造の初期工程.....	13
3.2 構造類似部品.....	14
3.3 外注の使用.....	14
3.4 組込み部品.....	14
3.5 製造業者認証.....	14
3.6 認証手続.....	14
3.7 能力認証の手続.....	14
3.8 品質認証の手続.....	15
3.9 試験手続.....	15
3.10 スクリーニング.....	15
3.11 手直し及び修理.....	15
3.12 試験記録の証明.....	15
3.13 出荷の有効性.....	15
3.14 出荷.....	15
3.15 規定をしていない検査項目.....	15
4. 試験及び測定手続.....	15
4.1 手続.....	15
4.2 試験及び測定条件.....	15
4.3 目視検査.....	16
4.4 寸法及び測定手続.....	17
4.5 電氣的試験手続.....	17
4.6 機械的試験及び耐候試験手続.....	52
4.7 耐久試験の手続.....	56
附属書 A (規定) ロジック駆動用負荷回路.....	58

	ページ
附属書 B (規定) ラッチアップ試験.....	60
附属書 C (規定) 静電破壊試験の種類	61
附属書 D (参考) 参考文献	62

白 紙

水晶発振器品目別通則

Generic specification of crystal controlled oscillators

序文 この規格は、1997年に第2版として発行された IEC 60679-1, Quartz crystal controlled oscillators of assessed quality—Part 1: Generic specification 並びに Amendment 1 (2002, Latch-up test/Electrostatic discharge sensitivity classification) 及び Amendment 2 (2003, Phase jitter) を翻訳し、技術的内容を変更することなく作成した日本工業規格である。ただし、追補 (Amendment) については、編集し、一体とした。

1. 一般的事項

1.1 適用範囲 この規格は、水晶発振器の品目別通則であって、水晶発振器に対する試験方法及び一般的要求事項について規定する。IEC 電子部品品質評価システム (IECQ) に基づく能力認証及び／又は品質認証にも適用する。

備考 この規格の対応国際規格を、次に示す。

なお、対応の程度を表す記号は、ISO/IEC Guide 21 に基づき、IDT (一致している)、MOD (修正している)、NEQ (同等でない) とする。

IEC 60679-1:1997, Quartz crystal controlled oscillators of assessed quality—Part 1: Generic specification (Amendment 1, 2) (IDT)

1.2 引用規格 次に掲げる規格は、この規格に引用されることによって、この規格の規定の一部を構成する。これらの引用規格のうちで、発効年又は発行年を付記してあるものは、記載の年の版だけがこの規格の規定を構成するものであって、その後の改正版・追補には適用しない。発効年又は発行年を付記していない引用規格は、その最新版 (追補・Amendment を含む。) を適用する。

JIS C 0025 環境試験方法 (電気・電子) 温度変化試験方法

備考 IEC 60068-2-14:1984, Environmental testing—Part 2: Tests—Test N: Change of temperature 及び Amendment 1:1986 が、この規格と一致している。

JIS C 0617-2 電気用図記号 第2部: 図記号要素, 限定図記号及びその他の一般用途図記号

備考 IEC 60617-2:1996 Graphical symbols for diagrams—Part 2: Symbol elements, qualifying symbols and other symbols having general application が、この規格と一致している。

JIS C 0617-3 電気用図記号 第3部: 導体及び接続部品

備考 IEC 60617-3:1996 Graphical symbols for diagrams—Part 3: Conductors and connecting devices が、この規格と一致している。

JIS C 0617-4 電気用図記号 第4部: 基礎受動部品

備考 IEC 60617-4:1996 Graphical symbols for diagrams—Part 4: Passive components が、この規格と一致している。

JIS C 60068-1 環境試験方法—電気・電子—通則

備考 IEC 60068-1:1988 Environmental testing—Part 1: General and guidance 及び Amendment 1:1992 が、この規格と一致している。

JIS C 60068-2-1 環境試験方法—電気・電子—低温（耐寒性）試験方法

備考 IEC 60068-2-1:1990 Environmental testing—Part 2: Tests—Tests A: Cold, Amendment 1:1993 及び Amendment 2:1994 が、この規格と一致している。

JIS C 60068-2-2 環境試験方法—電気・電子—高温（耐熱性）—試験方法

備考 IEC 60068-2-2:1974 Environmental testing—Part 2: Tests—Tests B: Dry heat, Amendment 1:1993 及び Amendment 2:1994 が、この規格と一致している。

JIS C 60068-2-3 環境試験方法（電気・電子）高温高湿（定常）試験方法

備考 IEC 60068-2-3:1969 Environmental testing—Part 2: Tests—Tests Ca:Damp heat, steady state が、この規格と一致している。

JIS C 60068-2-6 環境試験方法—電気・電子—正弦波振動試験方法

備考 IEC 60068-2-6:1995 Environmental testing—Part 2: Tests—Test Fc: Vibration (sinusoidal) が、この規格と一致している。

JIS C 60068-2-7 環境試験方法—電気・電子—加速度（定常）試験方法

備考 IEC 60068-2-7:1983 Environmental testing—Part 2: Tests—Test Ga: Acceleration, steady state 及び Amendment 1:1986 が、この規格と一致している。

JIS C 60068-2-13 環境試験方法（電気・電子）減圧試験方法

備考 IEC 60068-2-13:1983 Environmental testing—Part 2: Tests—Test M: Low air pressure が、この規格と一致している。

JIS C 60068-2-17 環境試験方法—電気・電子—封止（気密性）試験方法

備考 IEC 60068-2-17:1994, Basic environmental testing procedures—Part 2: Tests—Test Q: Sealing が、この規格と一致している。

JIS C 60068-2-20 環境試験方法—電気・電子—はんだ付け試験方法

備考 IEC 60068-2-20:1979 Environmental testing—Part 2: Tests—Test T: Soldering 及び Amendment 2:1987 が、この規格と一致している。

JIS C 60068-2-21 環境試験方法—電気・電子—端子強度試験方法

備考 IEC 60068-2-21:1983 Environmental testing—Part 2: Tests—Test U: Robustness of terminations and integral mounting devices が、この規格と一致している。

JIS C 60068-2-27 環境試験方法—電気・電子—衝撃試験方法

備考 IEC 60068-2-27:1987 Environmental testing—Part 2: Tests—Test Ea and guidance: Shock が、この規格と一致している。

JIS C 60068-2-29 環境試験方法—電気・電子—バンプ試験方法

備考 IEC 60068-2-29:1987 Environmental testing—Part 2: Tests—Test Eb and guidance: Bump が、この規格と一致している。

JIS C 60068-2-30 環境試験方法（電気・電子）温湿度サイクル（12+12 時間サイクル）試験方法

備考 IEC 60068-2-30:1980 Environmental testing—Part 2: Tests—Test Db and guidance: Damp heat, cyclic (12+12-hour cycle) 及び Amendment 1:1985 が、この規格と一致している。

JIS C 60068-2-32 環境試験方法—電気・電子—自然落下試験方法

備考 IEC 60068-2-32:1975 Environmental testing—Part 2: Tests—Test Ed: Free fall 及び Amendment

2:1990 が、この規格と一致している。

JIS C 60068-2-45 環境試験方法—電気・電子—耐溶剤性（洗浄溶剤浸せき）試験方法

備考 IEC 60068-2-45:1980 Environmental testing—Part 2: Tests—Test XA and guidance: Immersion in cleaning solvents 及び Amendment 1:1993 が、この規格と一致している。

JIS C 60068-2-52 環境試験方法—電気・電子—塩水噴霧（サイクル）試験方法（塩化ナトリウム水溶液）

備考 IEC 60068-2-52:1996, Environmental testing—Part 2: Tests—Test Kb: Salt mist, cyclic (sodium chloride solution) が、この規格と一致している。

JIS C 60068-2-58 環境試験方法—電気・電子—表面実装部品（SMD）のはんだ付け性、電極の耐はんだ食われ性及びはんだ耐熱性試験方法

備考 IEC 60068-2-58:2004 Environmental testing—Part 2: Tests—Test Td: Solderability, resistance to dissolution of metallization and to soldering heat of surface mounting devices (SMD) が、この規格と一致している。

JIS Z 8202-3 量及び単位—第3部：力学

備考 ISO 31-3:1992 Quantities and units—Part 3: Mechanics が、この規格と一致している。

JIS Z 8203 国際単位系（SI）及びその使い方

備考 ISO 1000:1992 SI units and recommendations for the use of their multiples and of certain other units が、この規格と一致している。

IEC 60027 Letter symbols to be used in electrical technology

IEC 60050-561:1991 International Electrotechnical Vocabulary (IEV)—Chapter 561: Piezoelectric devices for frequency control and selection

IEC 60068-2-10:1988 Environmental testing—Part 2: Tests—Test J and guidance: Mould growth

IEC 60068-2-36:1973 Environmental testing—Part 2: Tests—Test Fdb: Random vibration wide band Reproducibility Medium 及び Amendment 1 (1983)

IEC 60469-1:1987 Pulse techniques and apparatus—Part 1: Pulse terms and definitions

IEC 60679-4:1997 Quartz crystal controlled oscillators of assessed quality—Part 4: Sectional specification—Capability approval

IEC 60679-5:1998 Quartz crystal controlled oscillators of assessed quality—Part 5: Sectional specification—Qualification approval

IEC 60748-2:1997 Semiconductor devices—Integrated circuits—Part 2: Digital integrated circuits

IEC 60801-2:1991 Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment—Part 2: Electrostatic discharge requirements

IEC/PAS 62179:2000 Electrostatic discharge (ESD) sensitivity testing human body model (HBM)

IEC/PAS 62180:2000 Electrostatic discharge (ESD) sensitivity testing machine model (MM)

IEC QC 001001:1986 Basic rules of the IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ), Amendment 2 (1994) 及び Amendment 3 (1995)

IEC QC 001002:1986 Rules of the procedure of the IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ) 及び Amendment 2 (1994)

IEC QC 001005:1996 Register of firms, Products and Services approved under the IECQ System, including ISO 9000

ITU-T G.810 Definitions and terminology for synchronization networks

ITU-T G.811 Timing characteristics of primary reference clocks

ITU-T G.812 Timing requirements of slave clocks suitable for use as node clocks in synchronization networks

ITU-T G.813 Timing characteristics of SDH equipment slave clocks (SEC)

ITU-T G.825 The control of jitter and wander within digital networks which are based on the synchronous digital hierarchy (SDH)

ITU-T O.172 Jitter and wander measuring equipment for digital systems which are based on the synchronous digital hierarchy (SDH)

ANSI T1.101 Synchronization Interface Standard

ANSI T1.105.03 Synchronous Optical Network (SONET) — Jitter and Wander at Network Equipment Interfaces

ETSI EN 300462 Transmission and MultiplexingTM; Generic requirements for synchronization networks

1.3 優先順位 仕様書は、何らかの理由によって矛盾が生じた場合、次に示す優先順位によって確定する。

- 個別規格
- 品種別通則 (IEC 60679-4)
- 品目別通則 (この規格)
- その他引用される国際規格 (例えば, IEC などの)

2. 用語及び一般的要求事項

2.1 一般的事項 単位, 図記号, 文字記号及び用語は, できる限り次の規格から引用する。

JIS C 0617-2

JIS C 0617-3

JIS C 0617-4

JIS Z 8203

IEC 60027

IEC 60050-561

IEC 60469-1

2.2 定義 この規格で用いる主な用語の定義は, 次による。

2.2.1 パッケージ水晶発振器 (SPXO) [simple packaged crystal oscillator (SPXO)] 温度制御又は温度補償をしていない水晶発振器。発振器の周波数温度特性は, 水晶振動子に依存する [IEV 561-04-01]。

2.2.2 オーバートーン水晶発振器 (overtone quartz crystal controlled oscillator) 指定のオーバートーン次数で機能する水晶振動子を用いて動作するように設計された発振器 [IEV 561-04-02]。

2.2.3 水晶振動子のカット (crystal cut) 水晶の結晶軸に関係した水晶片の方位。

備考 この定義は, 水晶発振器に使用する水晶振動子のカットを規定する (すなわち, 周波数温度特性の概略の形態を規定する。) ことが望ましい場合に適用する。水晶振動子のカットの選択は, 水晶発振器の周波数温度特性の概略を決めるが, 個別規格には規定できない。

2.2.4 電圧制御水晶発振器 (VCXO) [voltage controlled crystal oscillator (VCXO)] 外部からの制御電圧によって, 出力周波数を可変又は変調できる水晶発振器 [IEV 561-04-03]。

2.2.5 温度補償水晶発振器 (TCXO) [temperature compensated crystal oscillator (TCXO)] 温度補償回路を付加して, 周囲温度の変化による周波数の変動を少なくなるようにした水晶発振器 [IEV 561-04-04]。

2.2.6 恒温槽付水晶発振器 (OCXO) [oven controlled crystal oscillator (OCXO)] 少なくとも、水晶振動子が温度制御されている水晶発振器 [IEV 561-04-05]。

備考 恒温槽付水晶発振器の動作は、動作温度全域にわたり発振周波数が一定に保たれるため、発振周波数は、水晶振動子の温度特性に依存しない。

2.2.7 公称周波数 (nominal frequency) 水晶発振器の出力周波数の公称値 [IEV 561-04-06]。

2.2.8 周波数許容偏差 (frequency tolerance) 規定状態で水晶発振器が動作しているときの発振周波数と規定公称周波数との最大許容偏差 [IEV 561-04-07]。

備考 周波数偏差は、規定の電氣的、機械的及び環境的要因別に定められることが多い。この取扱いを適用する場合には、規定変動値の範囲と同様にその他の動作パラメータの値も規定する。そのときの周波数偏差は、次による。

- 規定温度範囲全域にわたる動作によって生じる規定基準温度の周波数からの周波数偏差。その他の条件は一定に保つ。
- 規定電源電圧変化を与えることによって生じる規定基準電圧の周波数からの周波数偏差。その他の条件は一定に保つ。
- エージングによって生じる初期周波数からの周波数偏差。その他の条件は一定に保つ。
- 規定範囲の負荷インピーダンス変化を与えることによって生じる規定基準負荷条件の周波数からの周波数偏差。その他の条件は一定に保つ。

必要に応じて、動作パラメータの数種類又はすべてを組み合わせることによって、規定使用保証期間中の総合周波数許容偏差として規定してもよい。

2.2.9 オフセット周波数 (frequency offset) 水晶発振器の規定公称周波数に加える正又は負の周波数差。オフセット周波数は、規定の動作条件範囲全体での周波数偏差を最小にするために、ある特定の動作条件で発振周波数を調整する場合に用いる [IEV 561-04-08]。

例 全温度範囲で、公称周波数からの周波数偏差を最小にするため、オフセット周波数を基準温度での調整に対して規定できる (図 1 参照)。

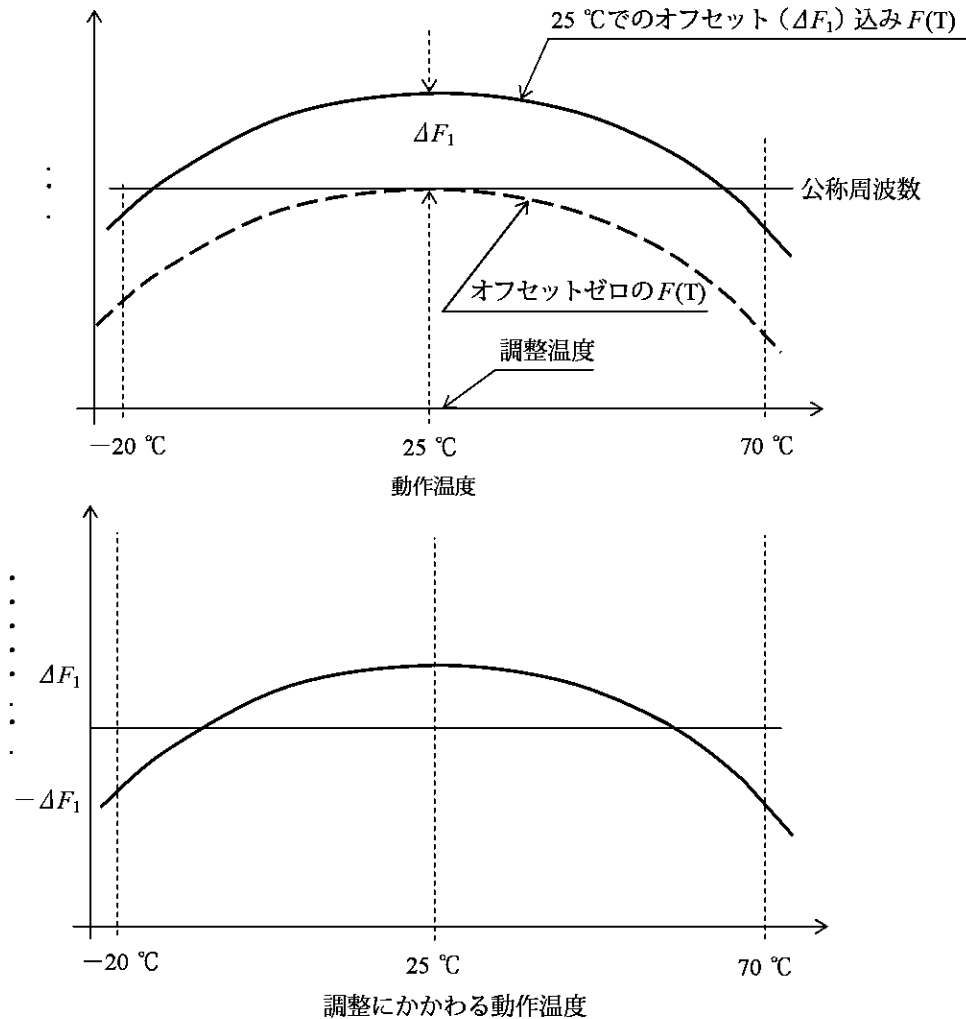


図 1 オフセット周波数の使用例

2.2.10 調整周波数 (adjustment frequency) 規定の全動作条件範囲で、周波数許容偏差の規定に合わせるために、ある特定の動作条件で調整する水晶発振器の周波数。すなわち、調整周波数＝公称周波数＋オフセット周波数 [IEV 561-04-09]。

2.2.11 周波数調整範囲 (frequency adjustment range) 可変素子を使用し周波数を変えることができる水晶発振器の周波数可変範囲 [IEV 561-04-10]。目的は、次による。

- a) 周波数を特定の値に合わせる。
- b) エージング又はその他の変動要因によって変動した発振周波数を、規定値に調整する。

2.2.12 保存温度範囲 (storage temperature range) 水晶発振器がその性能の劣化及び損傷を起こすことなく、保存できる、水晶発振器の容器上の最低温度及び最高温度。

2.2.13 動作温度範囲 (operating temperature range) 水晶発振器が規定公差内の周波数及び出力信号特性を保持して機能する温度範囲 [IEV 561-04-11]。

2.2.14 動作可能温度範囲 (operable temperature range) 水晶発振器が、必ずしも規定の周波数許容偏差、出力レベル、波形などを満足する必要はないが、出力信号を供給し続けることができる温度範囲 [IEV 561-04-12]。

2.2.15 基準温度 (reference temperature) 水晶発振器の特定の性能パラメータを測定する温度。通常 25 °C

±2 °C。

2.2.16 基準点温度 (reference point temperature) 水晶発振器に対する特定の基準点で測定される温度。

2.2.17 サーマルトランジェントにおける周波数安定度 (thermal transient frequency stability) 周囲の温度が特定の速度である温度から他の温度へ変わったときの発振周波数の時間応答。

2.2.18 安定化時間 (stabilization time) 電源投入開始から水晶発振器の動作状態が規定範囲内に入って安定するまでに要する時間 [IEV 561-04-13]。

2.2.19 周波数対電源電圧変動特性 (frequency/voltage coefficient) 電源電圧以外の条件を変えない状態で、電源電圧の単位当たりの変化によって起こる出力周波数の変化 [IEV 561-04-14]。

備考1. OCXO の場合、電源電圧の変化による恒温槽温度の変化が徐々に起こるため、電源電圧変動のすべての影響を観測するには、相当の経過時間が必要である。

2. 水晶発振器では、周波数対電源電圧変動特性を、単に電源電圧特性ということもある。

2.2.20 周波数対負荷変動特性 (frequency/load coefficient) 負荷以外の条件を変えない状態で、電気的負荷インピーダンスの単位当たりの変化によって起こる出力周波数の変化 [IEV 561-04-15]。

備考 水晶発振器では、周波数対負荷変動特性を、単に負荷変動特性ということもある。

2.2.21 長期周波数安定度 (周波数エージング) [long-term frequency stability (frequency ageing)] 発振周波数と時間との関係。この長期にわたる周波数変化は、水晶振動子及び発振器回路部品又は、そのどちらか一方の変化によって起こるもので、規定の時間間隔当たりの平均周波数の変化として表すことが望ましい。

2.2.22 短期周波数安定度 (short-term frequency stability) 短い時間周期内での水晶発振器周波数のランダムな揺らぎ [IEV 561-04-16]。

2.2.23 周波数揺らぎのアラン分散 (allan variance fractional frequency fluctuation) 水晶発振器出力周波数の短期安定度特性に関する時間領域で定義された客観的評価。

$$\sigma_y^2(\tau) \equiv \frac{1}{M-1} \sum_{k=1}^{M-1} \frac{(Y_{k+1} - Y_k)^2}{2}$$

ここに、 Y_k : 測定間に空き時間なく、継続的に得られた周波数揺らぎの平均値

τ : 測定を平均化するためのサンプリング時間

M : 測定回数

評価の確度は、 M の増加によって向上する。

2.2.24 実効的な周波数揺らぎ (rms fractional frequency fluctuation) 水晶発振器の短期周波数安定度に関する時間領域の尺度。実効的な周波数揺らぎは、規定のサンプリング間隔 τ 間の周波数の平均を表し、周波数測定回数に関する統計的な性質に基づいている。周波数揺らぎの尺度は、次の式による。

$$\frac{\Delta F}{F_0}(\tau)_{rms} = \left[\frac{1}{2(M-1)} \sum_{k=1}^{M-1} (Y_{k+1} - Y_k)^2 \right]^{1/2} = [\sigma_y^2(\tau)]^{1/2}$$

2.2.25 位相雑音 (phase noise) 水晶発振器の短期周波数安定度に関する周波数領域の尺度。位相揺らぎの電力スペクトル密度 $S_\phi(f)$ として表す。ここに、位相揺らぎ関数は、 $\phi(t) = 2\pi F_0 t - 2\pi F_0 t$ である。位相揺らぎのスペクトル密度は、周波数揺らぎのスペクトル密度と次の式のように直接的に関連付けられる。

$$S_\phi(f) = \left(\frac{F_0}{f} \right)^2 S_y(f) \quad \text{rad}^2/\text{Hz}$$

ここに, F : 発振周波数
 F_0 : 発振周波数の平均
 f : フーリエ周波数

2.2.26 スペクトル純度 (spectral purity) 1 Hz 帯域当たりの全信号電力に対する, 相対的なデシベル表現の信号外雑音電力スペクトルとして, 通常表す周波数領域での周波数安定度の尺度。それは, 不確定性雑音電力, 高調波ひずみ成分及びスプリアス的な単一周波数の干渉を含む。

2.2.27 寄生周波数変調 (incidental frequency modulation) 周波数領域における周波数安定度の付加的な尺度。寄生周波数変調は, 水晶発振器の出力信号を, 規定の特性をもつ理想復調回路に加えることによって得られる, ベースバンド信号のスペクトルによって最もよく表現できる。検出の帯域が適切に規定されるならば, 寄生周波数変調は, 出力周波数の比として表現できる (例えば, 10 kHz 帯域で 2×10^{-8} rms)。

備考 水晶発振器では, 寄生周波数変調の代わりに残留 FM の用語を用いることがある。

2.2.28 振幅変調ひずみ (amplitude modulation distortion) 変調信号波形のスペクトル成分の相対振幅が影響する非線形ひずみ。周波数ひずみ, 振幅ひずみ及び振幅/周波数ひずみとしてもよく知られている。

2.2.29 周波数変調偏移の直線性 (linearity of frequency modulation deviation) 理想 (直線) 関数と比較して表される変調システムの伝達特性の尺度。通常, 規定の全偏移量に対する許容非線形量のパーセントで表す。変調偏移の直線性は, 変調素子によって発生するベースバンド信号の許容ひずみによって表すこともできる (例えば, 全変調信号電力に対する相対値が -40 dB を超えないような相互変調及び高調波ひずみ)。

例 図 2 は, 3 V で 133.3 Hz/V の変調特性をもつ非線形許容値 $\pm 5\%$ の代表的な水晶発振器の出力周波数をプロットしたものである。カーブ D は, 理想値 (カーブ A) 及び規格値 (カーブ B 及び C) に対して, 比較される実際の特性である。

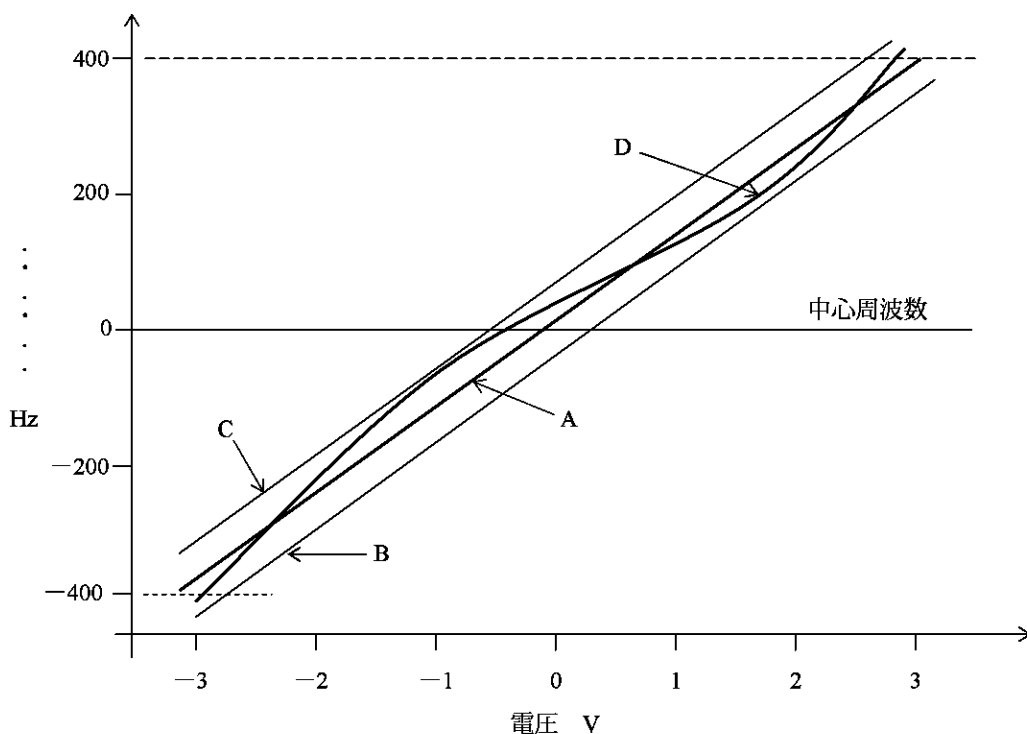


図 2 代表的な周波数変化特性

2.2.30 高調波ひずみ (harmonic distortion) 希望する信号の周波数の高調波不要スペクトル成分の発生による非線形ひずみ。それぞれの高調波成分は、通常、希望する信号の出力電力に対する電力比（デシベル）で表す。

2.2.31 スプリアス発振 (spurious oscillations) 水晶発振器の出力端子から出力される希望周波数の高調波とは異なる周波数スペクトル成分。この成分は、発生モードによってスペクトル成分又は対称な側波帯として現れる。出力スペクトルのスプリアス成分は、通常、出力信号電力に対する電力比（デシベル）で表す。

2.2.32 パルス持続時間 (pulse duration) パルスの立上りから立下りまでの間の時間（図 3 参照）〔IEC 60469-1〕。

2.2.33 立上り時間 (rise time) 波形の立上り区間を規定する二つの規定レベル間の時間間隔。規定レベルは、ロジックレベル V_{OH} 及び V_{OL} 若しくは最大振幅 ($V_{HI} - V_{LO}$) の 10 % から 90 % のレベルでもよいし、又は個別規格で規定のレベルでもよい（図 3 参照）。

ここに、
 V_{OL} : ローレベル出力電圧
 V_{OH} : ハイレベル出力電圧
 V_{HI} : パルス波形の上側平たん部電圧
 V_{LO} : パルス波形の下側平たん部電圧

2.2.34 立下り時間 [decay (or fall) time] 波形の立下り区間を規定する二つの規定レベル間の時間間隔。規定レベルは、ロジックレベル V_{OH} 及び V_{OL} 若しくは最大振幅 ($V_{HI} - V_{LO}$) の 90 % から 10 % のレベルでもよいし、又は個別規格に規定のレベルでもよい（図 3 参照）。

2.2.35 トライステート出力 (tri-state output) 入力コントロール信号によって、信号を出力又は停止させることを可能とするような出力機能。停止状態でのゲートの出力インピーダンスは、次段への試験信号の使用を可能とする高抵抗の設定である。

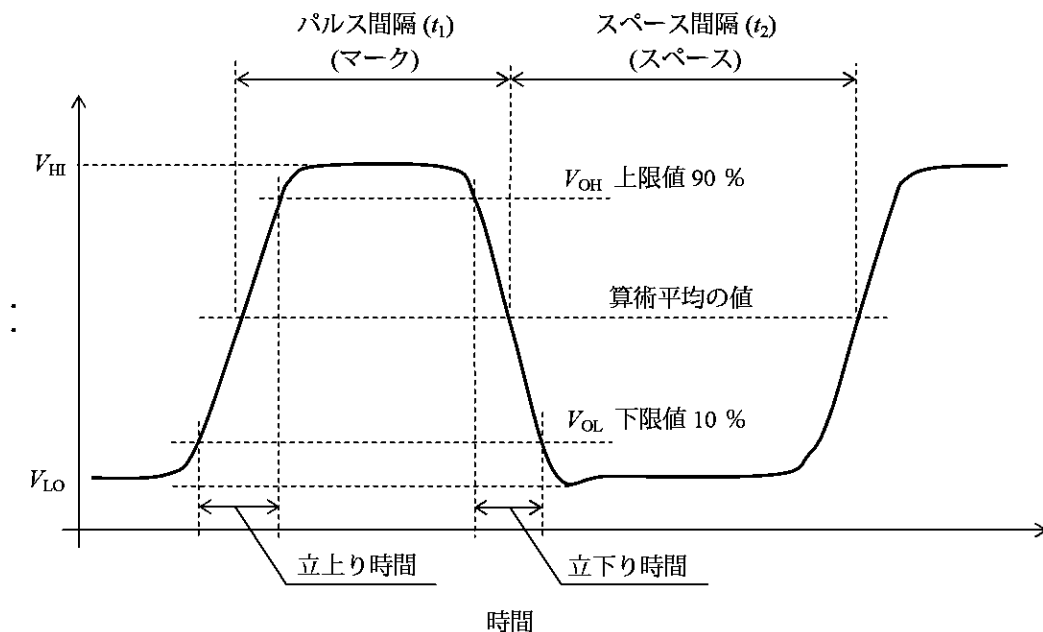


図 3 出力波形特性

2.2.36 波形シンメトリ (マーク／スペース比又はデューティサイクル) [symmetry (mark/space ratio or duty cycle)] 出力電圧における規定レベルよりも高くなっている時間 (t_1) と低くなっている時間 (t_2) との比で、全信号周期に対する百分率。規定のレベルの多くは、 V_{OL} と V_{OH} の算術平均又は全振幅の 50 % のレベルである (図 3 参照)。

この比は、次のように表す。

$$\frac{100 t_1}{t_1 + t_2} ; \frac{100 t_2}{t_1 + t_2}$$

2.2.37 再現性 (retrace characteristics) 初めの安定した発振周波数に対し、ある期間停止後、再び動作させ、規定時間経過後に前の周波数を再現する水晶発振器の能力。

2.2.38 発振起動時間 (start-up time) 水晶発振器へ電源電圧が加えられてから、水晶振動子によって制御された希望する周波数の出力が、次の条件を満たすまでの時間差 t_{SU} 。

- a) 疑似正弦波 出力信号の振幅は、安定状態での全振幅の 90 % とする。
- b) パルス波形 出力パルスのローレベル V_{LO} が V_{OL} より小さい状態を維持し、ハイレベル V_{HI} が V_{OH} を確実に超える安定した周波数に近い周期の波形とする。ここに、 V_{OH} 及び V_{OL} は、使用するロジックファミリで規定する。

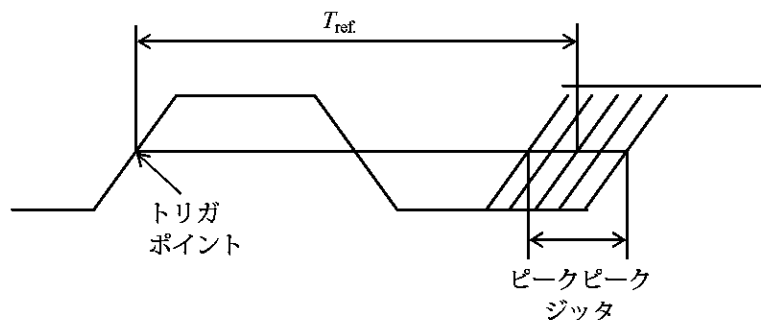
備考 出力信号は、安定信号になる前にスプリアス発振の状態を示す可能性がある。

2.2.39 位相ジッタ (phase jitter) 位相ジッタは、発振器出力信号におけるゼロクロス点の理想的な周期に対する短期的変動 (図 4 参照)。位相ジッタは、10 Hz 以上の周波数成分による位相変動 $\Delta\phi$ として定義する。10 Hz より遅い変動は、“ワンドラ” と呼ぶ。過度のジッタは、不正確なデータストリーム伝送によって通信信号のビット誤り率 (BER) を増やし、同期問題の原因となる。

周期長に対応する変動は、

$$\Delta T = \Delta\phi / (2\pi f_c)$$

で表され、周期ジッタと呼ぶ (f_c は、クロック周波数)。



備考 T_{ref} は、理想的な基準信号の周期である。

図 4 周期ジッタをもつクロック信号

ジッタ振幅は、通常、単一データビット幅のユニットインターバル (UI) を基準とするか (例えば、STM-1/OC-3 では、155.52 Mbit/s, UI=6.43 ns), 又は絶対時間変動 (ナノ秒, ピコ秒又はフェムト秒) として定義され、ピークピーク値, 又は rms (実効) 値として定量化する (図 5 参照)。

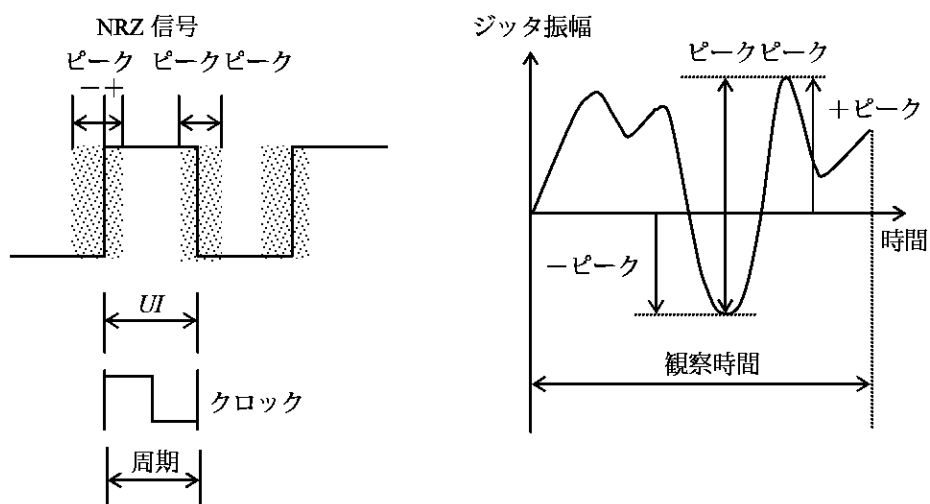


図 5 位相ジッタの測定

ランダム形のジッタに対する rms 値は、基本的なガウス分布の標準偏差 σ (シグマ) として定義する。したがって、ピークピークジッタは、信頼水準 99.953 48 % (すなわち、 465×10^{-6} のすそ広がり) に応じた、 7σ (すなわち、 $\pm 3.5 \sigma$) をカバーする範囲である (図 6 参照)。

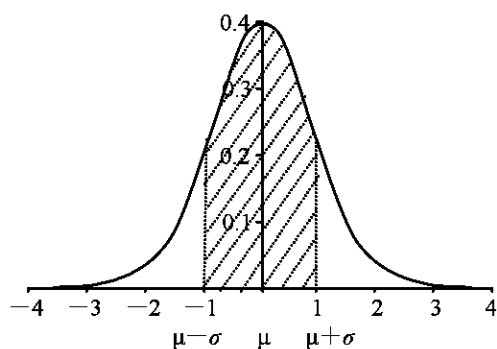


図 6 ジッタのガウス分布

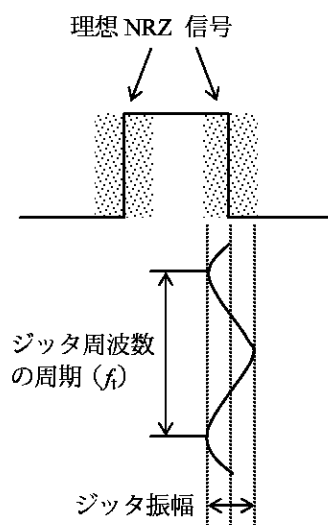


図 7 ジッタ振幅とジッタ周波数の周期

信号の生成に分数調波を含む場合、位相ジッタは、デューティサイクルの周期的な変化のために、ランダムでないスペクトルの構成要素を含む。これによって非ガウス分布が起きる。すなわち、ピークピーク値に対する 7σ 規則は、もはや当てはまらない。そのような場合には、ピークピーク値だけが意味をもつ。しかしながら、ピークピーク値の決定は、外乱の影響を受けやすい。ピークピークジッタの推奨観察時間は、1 分間である。

ジッタの特性表現のために、考慮すべきフーリエ周波数範囲、すなわち、ジッタ自身の周波数成分を定義することは重要である（図 7 参照）。これは、用途例（標準 ITU-T G.825, ANSI T1.105.03, 及び ETSI EN 300462 を参照。）に定義されている（図 8 参照）。

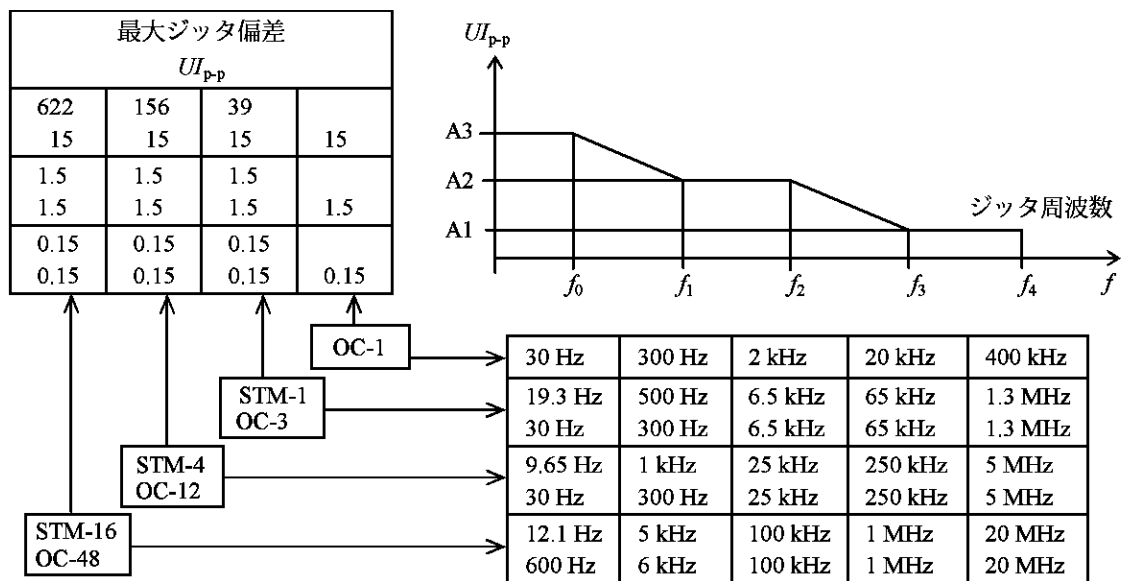


図 8 ITU-T G.825, ANSI T1.105.03, 及び ETSI EN 300462 によるジッタ耐力規格

ジッタとワンダに関連して、次の三つのパラメータをクロック特性表現のために用いる。

- TIE 時間間隔エラー（ナノ秒又はピコ秒）
- MTIE 最大時間間隔エラー（ピークピーク TIE）
- TDEV 時間偏差（rms 値）

TIE は、被測定信号と基準クロックとの時間偏差として定義し、一般的にナノ秒で測定する。

MTIE は、周波数偏差特性を表現する測定値である。MTIE (τ) は、時間 τ (秒) のすべての観察間隔における、最も大きいピークピーク値として定義する。

TDEV は、スペクトル成分の特性を表す。TDEV (τ) は、フィルタを通したときの TIE の rms (実効) 値として定義し、バンドパスフィルタの中心周波数は、 $0.42/\tau$ とする。TDEV (τ) は、それぞれの τ_i における TIE サンプルの標準偏差 $\sigma(\tau_i)$ から計算する（備考参照）。

備考 詳細は、ITU-T G.810～G.813, ANSI T1.101 及び T1.105.03, 又は ETSI EN 300462 による。

2.3 定格及び特性の推奨値 個別規格に規定がない場合には、次の項から選択することが望ましい。

2.3.1 耐候性カテゴリー 温度 -40°C 及び $+85^\circ\text{C}$ で 56 日間とする。水晶発振器の動作温度範囲が -40°C ～ $+85^\circ\text{C}$ よりも広い場合の要求に対しては、動作温度範囲と矛盾のない耐候性カテゴリーを規定する。

2.3.2 バンプ試験条件の厳しさ 加速度 400 m/s^2 , 垂直 3 方向に各 4 000 回 ± 10 回の衝撃（4.6.6 参照）、パルス持続時間は 6 ms とする。

2.3.3 振動試験条件の厳しさ 次による。

正 弦 波	10 Hz～55 Hz 振幅 0.75 mm (ピーク値) 55 Hz～500 Hz 又は 55 Hz～2 000 Hz 加速度 100 m/s ² (ピーク値)	又は 10 Hz～55 Hz 振幅 1.5 mm (ピーク値) 55 Hz～2 000 Hz 加速度 200 m/s ² (ピーク値)	3 方向各 30 分間 1 octave/min (4.6.7 参照)
ラ ン ダ ム	(19.2 m/s ²) ² /Hz 20 Hz～2 000 Hz 加速度 196 m/s ²	又は (48 m/s ²) ² /Hz 20 Hz～2 000 Hz 加速度 314 m/s ²	3 方向各 30 分間 1 octave/min (4.6.7 参照)

2.3.4 衝撃試験条件の厳しさ 個別規格に規定がない場合、ピーク加速度 1 000 m/s²、作用時間 6 ms、3 方向各 3 回 (4.6.8 参照)、半波正弦波とする。

2.3.5 リーク率 (適用する場合)

$10^{-1} \text{ Pa} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$ ($10^{-6} \text{ bar} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$)

$10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$ ($10^{-8} \text{ bar} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$)

2.3.6 破壊試験の種類 水晶発振器に使用される CMOS 回路の破壊試験には、ラッチアップ試験、静電破壊試験がある。試験方法は、附属書 B (ラッチアップ試験)、附属書 C (静電破壊試験の種類) を参照する。

2.4 表示

2.4.1 水晶発振器には、次の a)～g) 及び h)～j) の項目のできるだけ多くについて、容易に消えない方法で明りょうに表示する (4.6.21 参照)。

- a) 個別規格に規定する形名
- b) キロヘルツ (kHz) 又はメガヘルツ (MHz) 表示の公称周波数
- c) 製造年及び製造週
- d) 適合の表示 (適合の証明がなければ)
- e) 製造工場識別コード
- f) 製造業者名又はその商標
- g) 端子の識別表示
- h) 電氣的接続指定
- i) 電源電圧及び極性 (適用する場合)
- j) シリアル番号 (適用する場合)

小形の水晶発振器であって、表示面積に限界がある場合には、表示内容は、個別規格に規定する。

2.4.2 水晶発振器の最小こん (梱) 包は、g) を除く 2.4.1 の項目及び必要があれば、静電気に弱いデバイスであることを明示する (ESD) を表示する。

3. 品質評価手続 水晶発振器の品質評価の方法は、品質認証及び能力認証の 2 種類がある。

3.1 製造の初期工程 水晶発振器の製造の初期工程は、IEC QC 001002 の 11.1.1 に従って、次のとおりとする。

- a) 封止した水晶振動子を組み込んだ発振器に対して、
 - － 水晶発振器の組立
- b) 封止していない水晶振動子を組み込んだ発振器に対して、

- 水晶発振器の組立に加え、水晶片の最終表面処理工程

備考 水晶片の最終表面処理は、ポリッシュ板の場合には、研磨加工、鏡面加工、エッチング及び洗浄の処理がある。

3.2 構造類似部品 品質認証、能力認証及び品質適合検査を目的とした、構造的に類似した水晶発振器の区分は、関連の品種別規格に規定する。

3.3 外注の使用 これらの手続は、IEC QC 001002 の 11.1.2 に従う。外注の使用は、水晶発振器の最終工程の封止工程を除き、電子回路に水晶を組立てする工程以降は認めない。

3.4 組込み部品 水晶発振器が、JIS に適合した部品で構成されている場合には、この JIS を適用し製造する。それ以外の場合は、認められた製造業者の検査責任者が、次の書類によって品質を証明する。

- 最終的な製造品の一部分として、性能を確実に満たすことを確かめる必要なあらゆる状況を網羅する購入仕様書。
- 検査結果の記録を維持管理する適切な認証試験プログラム。
- 最終製品の性能を継続的に満たすことを確かめる十分な製品の内部検査手続書。

3.5 製造業者認証 製造業者認証を得るためには、製造業者は、IEC QC 001002 の 10.2 の要求事項を満たすことが必要である。

3.6 認証手続

3.6.1 一般 水晶発振器の品質評価は、能力認証又は品質認証のいずれかが適用できる。これらの手続は、IEC QC 001001 及び IEC QC 001002 による。

3.6.2 能力認証 能力認証は、共通の設計ルールに基づく類似構造の水晶発振器が、一群の共通製造工程で製造される場合に適用する。能力認証のもとでは、個別規格は、次の三つのカテゴリーに分類できる。

- a) **能力適合部品 (CQCs)** 監督検査機関 (NSI) が認めた能力適合部品 (CQC) に対して、それぞれに個別規格を用意する。能力適合部品の使用目的を明示し、関係するストレスレベル及び試験限界のすべてを含む。
- b) **標準カタログ項目** 能力認証手続を含めて部品が標準カタログ項目を適用しようとする場合には、ブランク個別規格に従う個別規格が必要である。そのような規格は、IECQ に登録する必要がある、その部品は、IEC QC 001005 に規定の登録リストに登録してもよい。
- c) **カスタム仕様の水晶発振器** 個別規格の内容は、IEC QC 001002 の 11.7.4.2 に従い、製造業者及び使用者間の合意による。さらに、個別規格の内容は、品種別規格 IEC 60679-4 の情報を含む。

製品及び能力適合部品 (CQCs) は、一緒に試験をする。認証は有効な設計ルール、工程及び品質管理手続に基づく製造施設に対し与えられる。詳細は、3.7 及び品種別規格 IEC 60679-4 参照。

3.6.3 品質認証 品質認証は、標準設計及び確立した製造工程で製造し、個別規格に適合する水晶発振器に適用する。適正な評価及び厳しさのレベルに関する個別規格に規定する試験プログラムは、3.8 及び品種別規格 IEC 60679-5 に規定のように、認証用水晶発振器に適用する。

3.7 能力認証の手続

3.7.1 一般 能力認証の手続は、IEC QC 001002 による。

3.7.2 能力認証の適合 製造業者は、3.1 に規定する製造の初期工程及び IEC QC 001002 の 11.1 の要求事項に適合しなければならない。

3.7.3 能力認証の申請 能力認証取得は、IEC QC 001002 の 11.7 の手続規則を適用する。

3.7.4 能力認証の付与 能力認証は、IEC QC 001002 の 11.7 の要求に適合し、完了したときに付与される。

3.7.5 能力認証マニュアル 能力認証マニュアルの内容は、品種別規格の要求事項による。

監督検査機関は、能力認証マニュアルを第三者に対し機密の資料として扱わなければならない。製造業者は、希望によって第三者に対し、その一部又はすべてを公開してもよい。

3.8 品質認証の手続

3.8.1 一般 品質認証の手続は、IEC QC 001002 による。

3.8.2 品質認証の適合 製造業者は、3.1 に規定する製造の初期工程及び IEC QC 001002 の 11.1 の要求事項に適合しなければならない。

3.8.3 品質認証の申請 品質認証取得は、IEC QC 001002 の 11.2 の手続を適用する。

3.8.4 品質認証の認可 品質認証の認可は、IEC QC 001002 の 11.3 の手続の要求に適合し、完了したときに付与される。

3.8.5 品質適合検査 品種別規格と関連するブランク個別規格には、品質適合検査の試験計画を規定する。

3.9 試験手続 使用する試験手続は、この規格から選択する。ただし、必要な試験が含まれない場合には、個別規格の規定による。

3.10 スクリーニング 水晶発振器のスクリーニングが使用者から要求された場合には、個別規格の規定による。

3.11 手直し及び修理

3.11.1 手直し 手直しは、工程不良の修正で、品種別規格で禁止している場合には、手直しをしてはならない。特定部品に起きる手直し回数を制限する場合には、品種別規格の規定による。

手直しは、すべて個別規格の要求事項の検査に基づく検査ロットを構成する前に、実施する。

このような手直し手順は、製造業者が関連文書で規定し、検査責任者の直接管理のもとで手直しを行う。手直しの外注は、禁止する。

3.11.2 修理 修理は、使用者に出荷した後の製品の不具合を修正することである。修理した部品は、製造業者の製品とはみなされないし、また、IECQ の製品として出荷してはならない。

3.12 試験記録の証明 IEC QC 001002 の 14. の要求事項を適用する。品質認証用に試験記録の証明 (CTR) を、品種別規格に規定している場合及び使用者が要求する場合には、規定の試験結果をまとめなければならない。

3.13 出荷の有効性 受入検査後、2 年間以上保管した水晶発振器は、出荷する前に、4.5.4 及び 4.5.17 によって電氣的試験の再検査を行う。

3.14 出荷 水晶発振器は、IEC QC 001002 の 12.5 に従って出荷する。

3.15 規定をしていない検査項目 個別規格に規定があり、試験を受けた水晶発振器の検査項目だけが、規定の限界内にあるとみなされる。規定をしていない検査項目は、一つの水晶発振器から別の水晶発振器までにわたって変わらないとはみなさない。さらに、別の検査項目が必要ならば、新しい、広範囲な、詳細な規格を使用する。追加の試験方式は、詳細に規定し、適切な限界、AQL や検査水準を規定する。

4. 試験及び測定手順

4.1 手順 試験及び測定の手順は、関連する個別規格に従って行う。

4.2 試験及び測定条件

4.2.1 標準試験条件 特に規定がない場合には、すべての試験は、JIS C 60068-1 の 5.3 に規定する標準環境条件のもとで行う。

温度 15 °C～35 °C

相対湿度 25 %～75 %

気圧 86 kPa～106 kPa (860 mbar～1 060 mbar)

疑義が生じた場合は、次による。

温度 25 °C±2 °C

相対湿度 48 %～52 %

気圧 86 kPa～106 kPa (860 mbar～1 060 mbar)

測定の前に、水晶発振器は、熱的平衡温度に達するように十分な時間、測定温度に保存する。乾燥するための回復条件及び標準状態は、JIS C 60068-1 の 5.4 及び 5.5 による。

測定中の周囲温度は、試験報告書に記録しておく。

4.2.2 温度安定 すべての電氣的試験は、個別規格に規定がない場合には、平衡状態で行う。試験状態が特性測定のとときに重大な時間的変化をもたらす場合は、このような変化に対する補正手段を規定する。例えば、測定の前に、水晶発振器を規定の試験状態に保持する時間。

4.2.3 温度試験のための空気対流条件 水晶発振器を 25 °C±2 °C 以外で測定する場合には、綿密な温度制御を確実にするため適切な強制空気循環を施す。

強制空気循環が水晶発振器の性能に影響を及ぼす場合には、熱伝導のよい箱で、水晶発振器表面から 20 mm±5 mm の間隔をもつ大きさのドラフトシールド（通気孔をもった覆い）で水晶発振器を囲むことによって空気を静止状態にする。これらの条件で行う測定温度は、ドラフトシールドの表面を基準温度点とする。

ドラフトシールドが必要な場合には、高温、低温試験ともに使用する。

4.2.4 電源 水晶発振器の試験に使用する直流電源は、要求する測定精度に影響する大きなリップルがあってはならない。交流電源は、過渡特性のないものとする。電源のリップル及び過渡特性が、測定に影響を与える場合には、個別規格にこのことを規定する。

4.2.5 測定精度 測定精度は、個別規格の規定を優先する。測定誤差は、結果を評価するときに考慮する。誤差を最少にする予防手段をとる。

4.2.6 注意事項

4.2.6.1 測定 測定は、規定の電氣的試験に対する測定回路で行う。測定器具が試験特性を変えるようないかなる負荷効果に対しても適切な配慮をする。

4.2.6.2 静電気に敏感な部品 静電気に敏感な部品がある場合には、試験中及び試験前後に、静電気からの損傷を防止するための予防手段をとる (IEC 60801-2 参照)。

4.2.7 代替試験方法 測定は、なるべく規定の方法で行う。疑義がなければ、同等の結果が得られる別の方法を用いてもよい。

備考 同等とは、代替試験方法で得た測定値が、規定の方法で測定したときの規定限界値の範囲内にあることを意味する。

4.3 目視検査 個別規格に規定がない場合には、外観目視検査は、通常の工場の照明及び目視条件で行う。

4.3.1 目視試験 A 水晶発振器は、その状態、出来栄え及び仕上がりが満足できるものであることを確かめるために、目視検査をする。表示は明りょうでなければならない。

4.3.2 目視試験 B 水晶発振器は、10 倍に拡大して目視検査をする。ガラスの割れ又は端子の損傷があってはならない。メニスカス（ハーメチック端子まわりのガラスはい上がり）の端周辺のごく小さいは（剥）がれは、クラックとはみなさない。

4.3.3 目視試験 C 水晶発振器は、腐食又は満足のいく動作を妨げるような欠点がないか目視検査をする。表示は、明りょうでなければならない。

4.4 寸法及び測定手順

4.4.1 寸法—試験 A 端子の寸法、端子間隔及び端子の配置が規定値を満足しなければならない。

4.4.2 寸法—試験 B その他の寸法が、規定値を満足しなければならない。

4.5 電氣的試験手順

4.5.1 絶縁抵抗 個別規格に規定がない場合には、図 9a の試験回路で、規定の試験点に 20 V の最大電圧を印加し、電流を測定する。電流値は、規定最大値以下とする。

代替試験方法として抵抗は、抵抗計（図 9b）によって直接測定してもよい。この値は、規定最小値よりも大きくななければならない。

測定は、規定点に正しい極性の電圧を加え、また規定の電圧値を超えないよう注意する。これらが守られないと試験中、部品に損傷を与える可能性がある。

試験後、水晶発振器の動作を確かめる測定をする。

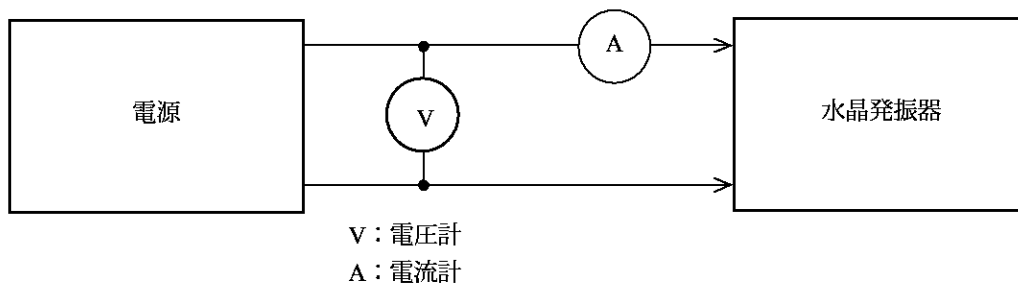


図 9a 電圧—電流法

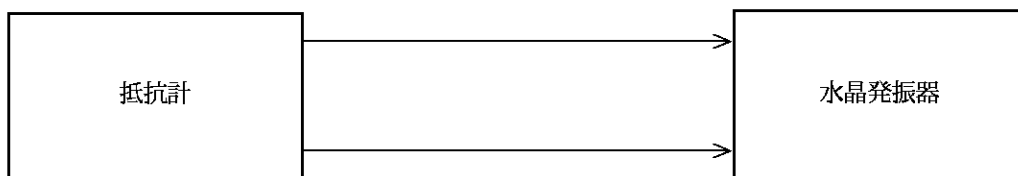


図 9b 抵抗計法

図 9 絶縁抵抗測定回路

4.5.2 耐電圧 規定の検査前処理を行った後、図 10 に示す試験回路を用いて、目的の端子に規定電圧を印加する。電源内部抵抗及び最大許容電流は、個別規格に定める。アーク、その他の電氣的破壊の形跡があってはならない。試験後、水晶発振器の動作を確かめる測定をする。

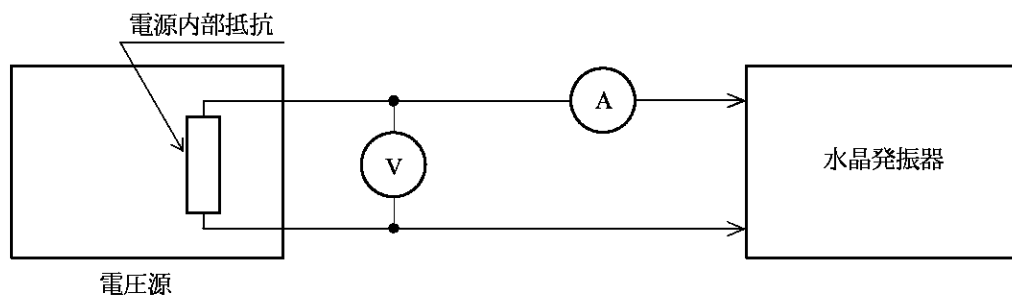


図 10 耐電圧試験回路

4.5.3 入力電力

4.5.3.1 水晶発振器入力電力 水晶発振器に図 11 に示すように電源及び規定の負荷を接続する。規定の電圧を加え、規定時間安定させておく。個別規格に規定がない場合には、電圧及び電流の測定は、基準温度で行う。入力電力は、これらの測定値を使用して算出する。

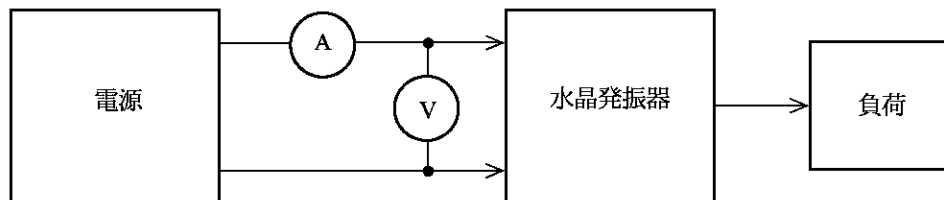


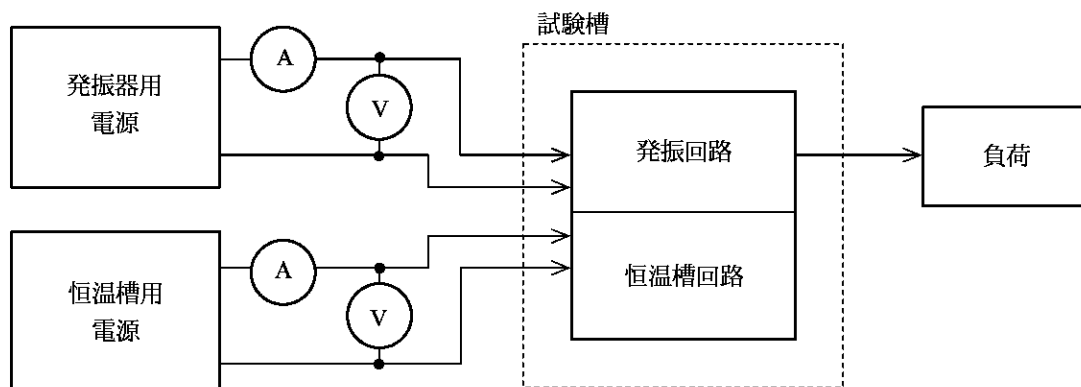
図 11 水晶発振器入力電力測定回路

4.5.3.2 恒温槽及び水晶発振器の入力電力 恒温槽制御水晶発振器（OCXO）の場合には、図 12 に示すような試験回路に接続し、試験槽の中に入れる。負荷及び電源電圧は、個別規格による。試験槽内の空気を強制的に循環させることが水晶発振器の入力電圧に影響を与えるおそれのある場合には、4.2.3 に基づいて水晶発振器をドラフトシールドで囲むことによって空気を静止状態にする。電圧及び電流は、個別規格に規定の温度（通常、動作温度範囲の最低温度、最高温度及び基準温度）で測定する。

ドラフトシールドを使用する場合の温度は、通常、ドラフトシールド表面を温度基準点とする。ピーク電力が規定されている場合には、電圧及び電流の過渡値は、試験槽が各指定温度に達してから測定する。この場合、過渡値を適切に測定するために、電流計及び電圧計に記録計をつける必要がある。

水晶発振器及び恒温槽は、非通電中ピーク電力の測定前に、動作温度で温度を安定にする。ピーク電力の測定の場合、試験槽の熱的時定数は、測定対象の恒温槽、水晶発振器の組合せの熱的時定数よりも十分に小さくなければならない。

入力電力は、電圧及び電流の測定値を用いて算出する。



備考 水晶発振器用電源は、恒温槽用電源から供給してもよい。

図 12 恒温槽及び水晶発振器の入力電力試験回路

4.5.3.3 恒温槽入力電力 恒温槽入力電力だけの測定は、水晶発振器の電源を接続しないことを除いて、4.5.3.2 に示す測定手順を用いる。

4.5.4 出力周波数 出力周波数測定は、規定の水晶発振器の精度に従って、次の注意を守り、方法 1 又は方法 2 を適用する。

— 測定系の精度及び分解能は、周波数測定値の精度よりも常に一けた高い精度とする。

- 水晶発振器には、正確な負荷を接続する。
- 測定系の安定性及び精度は、周波数標準を国際的に認められた標準に対し、定期的に校正することによって確認する。
- 正確な測定値を得るために、環境状態が測定値に影響を与えないように十分注意を払う。

方法 1—精度が 1×10^{-8} 未満の場合の測定

水晶発振器は、図 13 に示すように、規定の電源電圧及び負荷を接続する。通常の動作状態で、規定時間安定化させる。

周波数は、周波数カウンタで測定する。周波数の測定は、周波数を直接測定するか、又は周期を平均して求める。通常、測定時間周期は、0.1 秒から 10 秒までの範囲である。一般に、周期を平均して周波数を求める方法は、周波数 5 MHz 未満の測定に使用する。

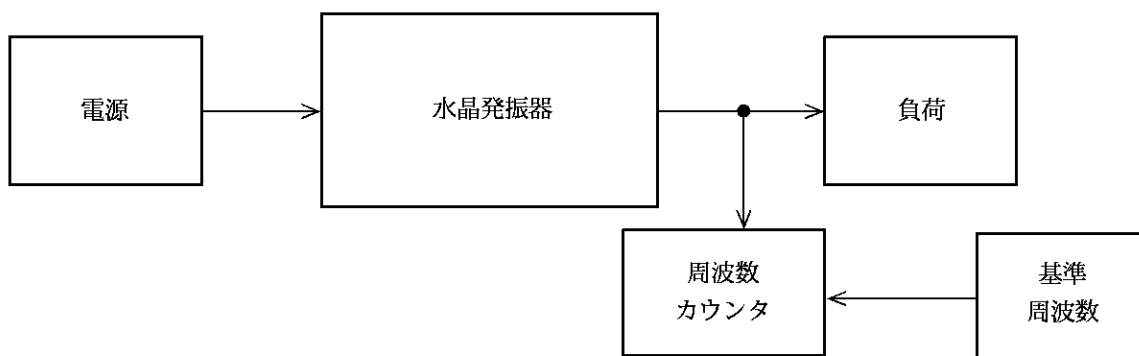


図 13 出力周波数測定試験回路，方法 1 の試験回路

方法 2—精度が 1×10^{-8} 以上の場合の測定

水晶発振器は、図 14 に示すように、規定の電源電圧及び負荷を接続する。通常の動作状態で、規定時間安定化させる。

要求精度に相応する周波数に逡倍して、周波数カウンタで、周波数を測定する。その測定時間周期は、0.1 秒～10 秒の範囲である。例えば、10 秒間以内に 1×10^{-8} 以上の精度の周波数を測定するためには、2.5 MHz 信号を 25 MHz に逡倍する必要がある。

周波数逡倍の代わりに、高速カウンタを使用する方法もある。 1×10^{-10} 又は、それ以上の精度で測定するために、基準信号で駆動する周波数シンセサイザを用いて位相比較によって測定する装置を使用することもできる。

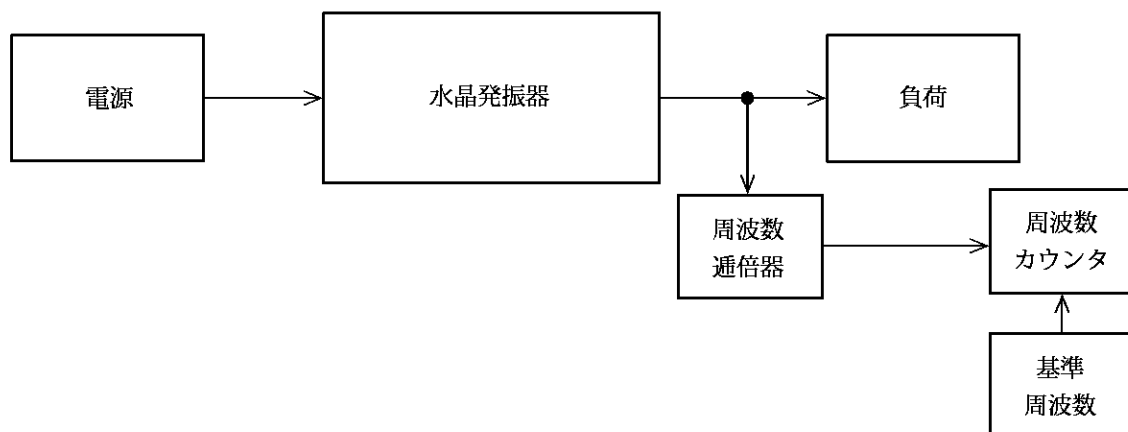


図 14 出力周波数測定試験回路，方法 2 の試験回路

4.5.5 周波数対温度特性

4.5.5.1 規定温度での周波数 非通電の水晶発振器を試験槽に入れ、図 15 の試験回路に示すように規定の負荷を接続する。その後、規定の電源電圧を水晶発振器に印加する。

試験槽内の空気を強制的に循環させることが、水晶発振器の入力電力に影響を与える場合は、周囲の空気を静止させるために、4.2.3 に規定のドラフトシールドで水晶発振器を囲む。

試験槽は、規定の温度で安定させ、水晶発振器の温度が安定した後（4.2.2 参照）、4.5.4 に規定の適切な測定方法を使用して、周波数を測定する。

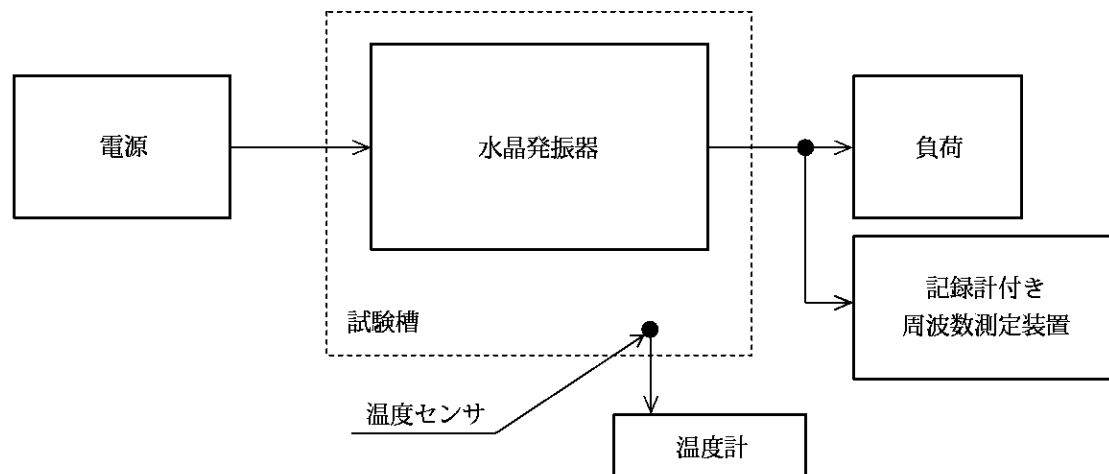


図 15 周波数温度特性測定試験回路

4.5.5.2 全温度範囲での周波数変化 通電しない状態で水晶発振器を試験槽に入れ、図 15 に示す試験回路のように、規定の負荷を接続する。その後、規定の電源電圧を水晶発振器に印加する。

試験槽内の空気を強制的に循環させることが、水晶発振器への入力電力に影響を与えるおそれがある場合には、周囲の空気を静止させるために、4.2.3 に規定のドラフトシールドで水晶発振器を囲む。

試験槽が測定温度範囲の最低温度で安定し、水晶発振器が温度安定に達したとき（4.2.2 参照）、4.5.4 の適切な周波数測定方法を使用し、周波数及び温度を記録する。

個別規格に規定がない場合には、試験槽の温度は、1.5 °C 刻みで各温度ごとに温度安定になっていることを確認しながら、温度を上げるか、又は 0.5 °C / 分の速さで温度を変える。

試験中の周波数及び温度は、記録しておく。個別規格に周波数温度特性の再現性の規定がある場合には、双方向の温度変化に対する周波数を記録する。

備考 特定の応用分野では、最初に最低温度から最高温度になるまで昇温し、次に最高温度から最低温度になるまで降温した場合の周波数温度特性の再現性の測定が要求されることがある。昇温時と降温時との特性の違いは、リトレースエラー又はヒステリシスと呼ばれ、TCXO を試験する場合には、特に重要である。

4.5.6 周波数対負荷変動特性 水晶発振器の出力周波数測定は、4.5.4 のような周波数測定系を用いて規定の公称負荷、最小負荷及び最大負荷で行う。その間、その他のすべての動作パラメータは規定値にする。負荷の値は、水晶発振器の出力に接続した測定器の影響を考慮に入れ、総負荷値に合算する。

4.5.7 周波数対電源電圧変動特性 4.5.4 のような周波数測定系を使用し、その他の動作パラメータを規定値にした上で、電源電圧を規定公称値、最小値及び、最大値にしたときに、水晶発振器周波数の測定を行う。いずれの場合も、電源電圧の調整と周波数測定の間では、規定の安定化の時間を許容する。

一時的な周波数の変動は、特に、水晶発振器が OCXO か TCXO のどちらかである場合には、電源電圧の調整直後に起こり得る。この一時的な変動の大きさが問題になる場合には、周波数変動を記録するのに記録式のメータを使用する。この間の一時的変動の最大許容偏差は分けて規定する。

必要なら、試験中、周囲温度を規定値に保つため、試験槽を使用する。

4.5.8 サーマルトランジェントをもつ周波数安定度 非通電の水晶発振器を試験槽に置き、図 15 に示す試験回路を用いて、規定の負荷を接続する。その後、規定電圧を水晶発振器に印加する。試験槽を規定の初期温度 T_1 で温度安定にし、かつ、水晶発振器も初期の規定温度 T_1 で温度安定になるようにして（4.2.2 参照）、水晶発振器の出力周波数を記録する。

その後、試験槽の槽内温度を最終温度 T_2 まで、規定の変化率で変える。

水晶発振器出力周波数及び環境温度（基準点で測定したように）は動作中、及び動作後も、連続して記録する。図 16 のように周波数変化及び温度の両方をプロットした結果から、温度熱応答時間及びオーバーシュートを決定してもよい。

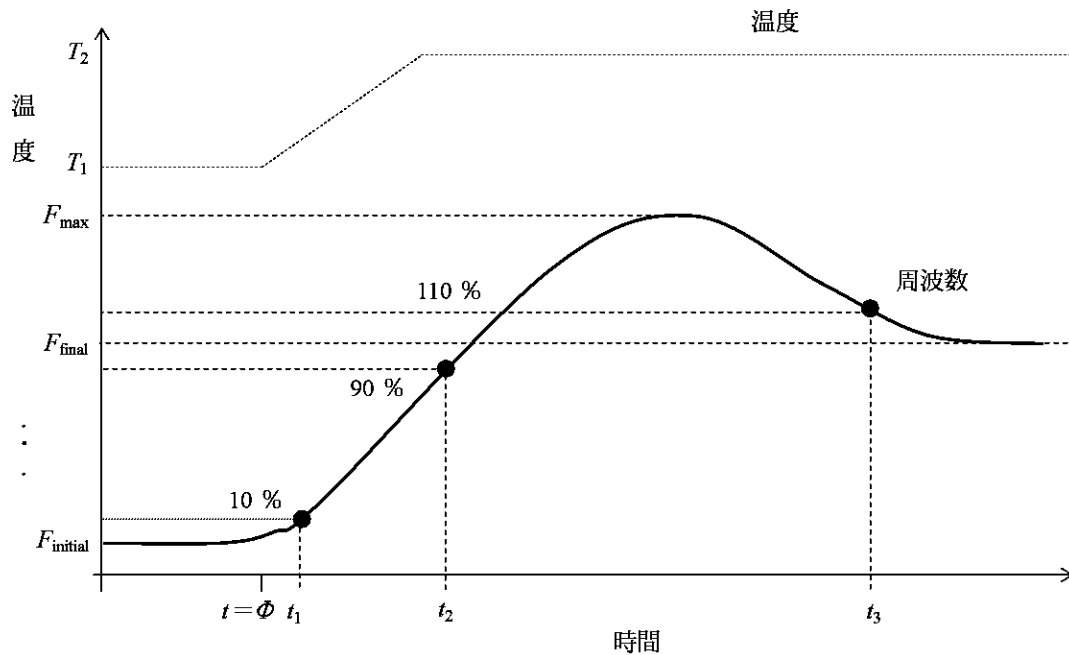
4.5.8.1 一時的な変動のオーバーシュート (ΔF_{os}) は、公称周波数 ($F_{nominal}$) に対する比で規定する。例えば、オーバーシュートは 2×10^{-7} を超えない。

$$\Delta F_{os} = \frac{F_{max} - F_{final}}{F_{nominal}}$$

4.5.8.2 個別規格に規定がない場合には、サーマルランジェントとは、最終周波数までの周波数変化の 10 % 変化したときから、最終周波数の 10 %（周波数変化の 10 %）以内に到達するときまでとする。

図 16 の例で示すように、二つのケースがある。

- オーバシュートが 10 % 未満のとき、サーマルランジェントは、 $t_2 - t_1$ 時間に等しい。
- オーバシュートが 10 % 以上のとき、サーマルランジェントは、 $t_3 - t_1$ 時間に等しい。



$t = \Phi$ = 安定化時間の終わり

t_1 = 初期値から $(F_{\text{final}} - F_{\text{initial}})$ の 10 % の周波数に達するまでの時間

t_2 = 初期値から $(F_{\text{final}} - F_{\text{initial}})$ の 90 % の周波数に達するまでの時間

t_3 = オーバシュートから復帰し、最終値から変化分の 10 % の周波数に達するまでの時間
(オーバーシュートが 10 % よりも大きい場合)

図 16 代表的な水晶発振器のサーマルトランジェント

4.5.9 発振起動特性 信頼度の高い発振振幅の起動開始及び発振起動時間を測定することが目的である。

図 17 に一般化した発振回路を示す。水晶発振器の起動特性は、次の要因に大きく依存する。

発振段：

- 能動素子の雑音指数
- 能動回路のループ利得（過剰負性抵抗）
- 能動回路の振幅制限
- 負荷 Q （共振器の実効帯域幅）
- 水晶振動子等価抵抗のドライブレベル依存性

出力段：

- 正弦波出力
- ロジック出力

内部電源ライン：

- ブロッキング容量
- 電圧レギュレータ

電源電圧：

- 立上り時間、通電時間、立下り時間
- 出力インピーダンス

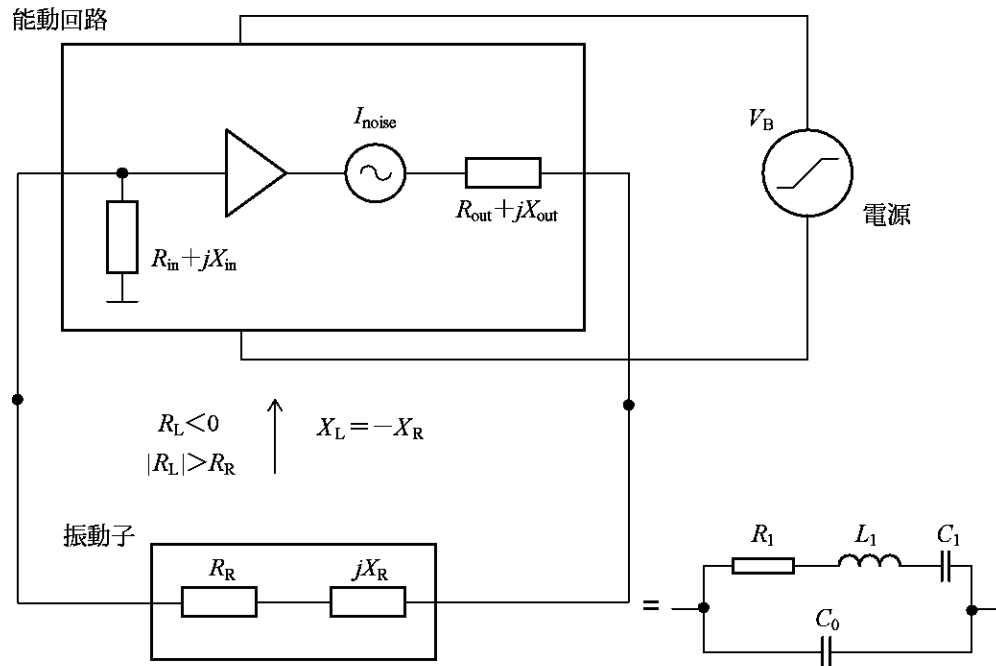


図 17 一般化した発振回路

4.5.9.1 発振起動動作 発振が確実に立ち上がるかどうかを決めるために、水晶発振器を図 18 に示す起動動作試験回路に接続する。

水晶発振器にプログラマブル電源を接続し、出力信号及び電源電圧をオシロスコープに表示する。その時間軸は、全発振起動区間が表示できるように適切にセットする。

電源電圧を 0 V から公称動作電圧まで直線的に上げる。上昇時間 t_{ramp} は、水晶発振器の規定又は予想発振起動時間の少なくとも 100 倍から 1 000 倍に選ぶ。

水晶発振器は、図 19 に示すように電源電圧の上昇時間内に、規則的な繰返し発振起動動作を行う。

個別規格には、次の事項を規定する。

- 電源電圧
- 負荷の詳細
- 発振起動時間
- VCXO の場合は、直流制御電圧

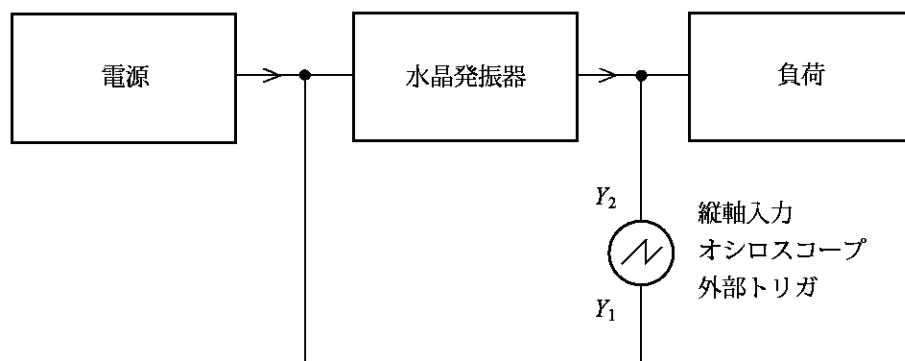


図 18 発振起動動作及び発振起動時間測定の実験回路

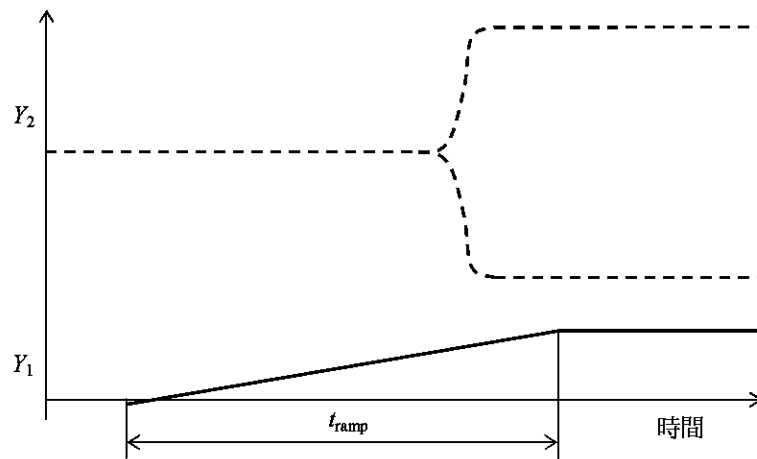


図 19 電源電圧スロー立上げ時の代表的な発振起動動作

4.5.9.2 発振起動時間 規定の条件下で発振の起動時間 t_{SU} を測定するため、水晶発振器をプログラマブル電源に接続する（図 18 参照）。

出力信号及び電源電圧をオシロスコープに表示する。その時間軸は、全発振起動区間が表示できるように適切にセットする。

電源電圧を 0 V から公称動作電圧まで直線的に上昇する。上昇時間 t_{ramp} は、規定又は予想発振起動時間の 10 分の 1 未満に選ぶ。

発振起動時間 t_{SU} は、電源の立上りの開始点から高周波信号が次の条件を満たすまでの時間差として測定する。

- a) **擬似正弦波** 個別規格に規定がない場合には、信号のエンベロープが安定した状態のピークピーク振幅値の 90 % になったとき。
- b) **パルス波** 出力パルスの連なりが周期的に安定した状態の周期に近く、その間継続的に、ローレベル V_{LO} が V_{OL} 以下、ハイレベル V_{HI} が V_{OH} を超えているとき。ここで、 V_{OH} 及び V_{OL} は、はん（汎）用的なロジックファミリによって定められている。

警告 ロジック出力の場合は、安定状態の信号になるまでに、スプリアス発振を示すことがある。

備考 測定の前に、内部の発振回路のブロッキングコンデンサが、放電されていることを確認する。

一例を図 20 に示す。上記の手順は、シングルショット又は周期的な測定のどちらでも適用できる。後者の場合には、次の条件を満足することとする（図 21 参照）。

t_{ramp} : 上記に示す。

$$t_{hold} \geq 100 t_{SU}$$

t_{off} : 測定時間の延長が t_{SU} などの測定結果に影響を与えないような最小の時間長を選定する。例えば、 $t_{off} \geq 100 t_{SU}$

t_{off} の間、水晶発振器の電源電圧端子は、内部ブロッキングコンデンサを確実に放電させるために接地する。

備考 t_{hold} 及び t_{off} の計算式中の数値 100 は、小さい値に減らすことができる。特に、高い Q の振動子は、起動時間が変わらないことを確認する。

警告 電源は、規定の電圧の立上りを実現するように十分な電流を供給する。また、 t_{off} の間、水晶発振器の放電電流を放電できるようにする。

個別規格には、次の事項を規定する。

- 電源電圧
- 負荷の詳細
- 発振起動時間
- VCXO の場合、直流制御電圧

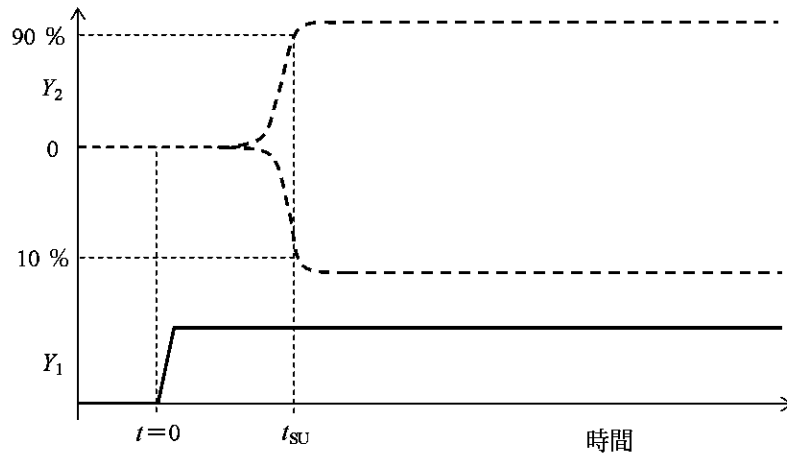


図 20 発振起動時間の定義

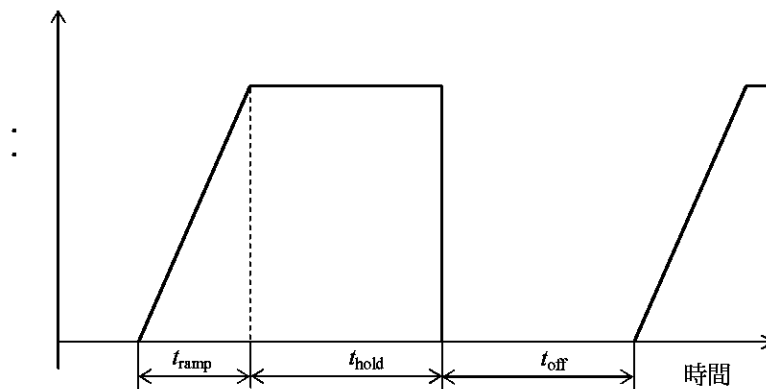


図 21 周期的 t_{SU} 測定電源電圧波形

4.5.10 安定化時間 無通電状態の水晶発振器を、試験槽の中に置き、図 15 に示す試験回路を用いて規定の負荷を接続する。4.5.4 の周波数測定を用いる。試験槽内の温度は、個別規格に規定の温度に調整する。水晶発振器に電源電圧を印加し、出力周波数を時間の関数として記録計に記録する。安定化時間 t_s は、水晶発振器の出力周波数が、規定経過時間後に、長期経過後の規定周波数許容差に落ち着くまでの時間である（図 22 参照）。

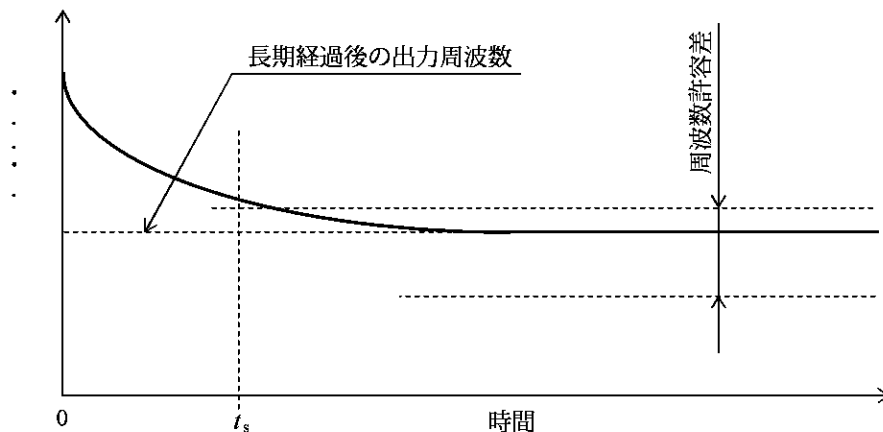


図 22 代表的な水晶発振器安定特性

4.5.11 周波数調整 水晶発振器は、4.5.4 に示すように接続し、必要があれば適切な制御電圧を加える。水晶発振器に電源電圧を印加し、通常の動作条件で、規定時間安定化する。水晶発振器の出力周波数の調整機能を測定する方法は、個別規格に規定がない場合には、最大と最小の周波数に調整し、そのときの周波数を測定する。

4.5.12 再現性 無通電状態の水晶発振器を、試験槽の中に置き、図 15 に示す試験回路を使って規定の負荷を接続する。試験槽は、個別規格に規定がない場合には、20 °C～30 °C の範囲で、 ± 0.5 °C 以内に制御された温度に維持する。水晶発振器に電源電圧を印加し、すべての動作パラメータを規定値に調整し、その後周波数を時間の関数として測定する。

規定の動作時間（図 23 の t_1 、ただし、安定期間を超えていることとする。）及び出力周波数を記録する。水晶発振器の電源を切り、規定の t_2 期間、規定の保存温度に放置する。放置時間の終わりに、再び電源電圧を印加し、周波数を時間関数として記録する。再現時間 t_r は、出力周波数が、電源電圧を印加してから、電源を切る前の規定周波数許容差に戻るまでの時間である。

水晶発振器が試験槽以外のところに（ t_2 期間の間）置かれている場合、周波数を測定する前に、水晶発振器を規定の温度に達するまで適切な時間放置する。この安定化の時間は、放置時間 t_2 （電源電圧が印加されない条件での）の一部分として扱う。

備考 測定温度は、この規格以外で規定する。保存温度と測定温度が同じであっても、保存温度の許容差は、測定温度の許容差よりも大きいと考えてよい。

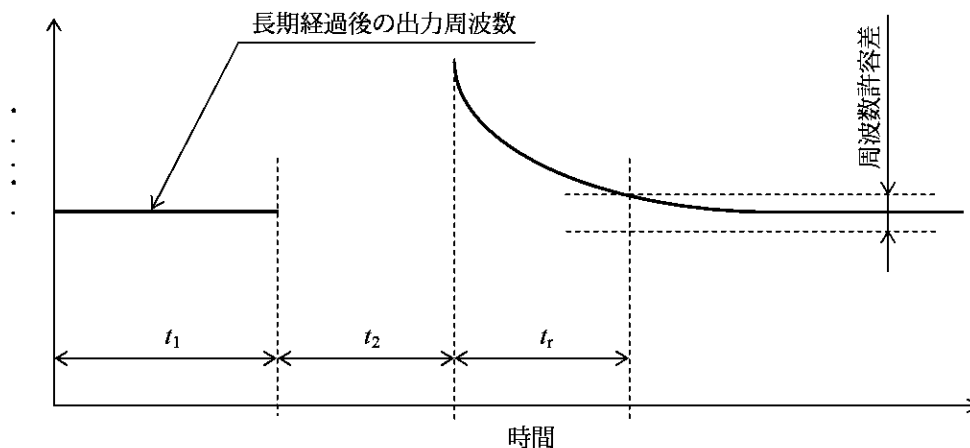


図 23 再現性の一例

4.5.13 発振器出力電圧（正弦波） 図 24 に示すように、水晶発振器に規定の電源電圧と負荷を接続する。規定期間放置して安定化させ、負荷を通じて出力電圧を測定する。出力電圧は、個別規格に規定の周波数調整範囲にわたって、個別規格に規定の範囲以内とする。測定は、基準温度で行うが、個別規格に規定があれば、動作温度を超えてもよい。実効電圧の測定には電子電圧計を、せん（尖）頭値電圧の測定にはオシロスコープを用いる。

擬似正弦波の場合、出力電力の測定には、直読パワーメータ又は校正された実効電圧計を用いる。

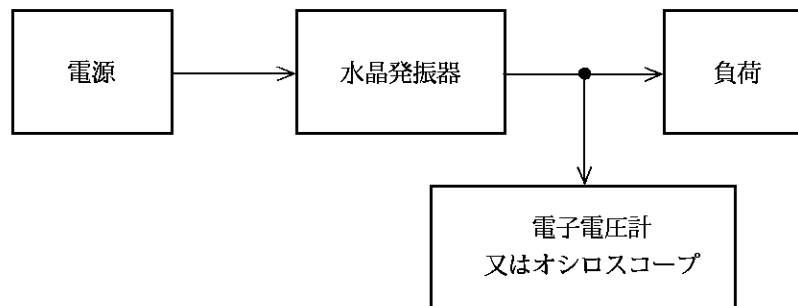


図 24 出力電圧測定の実験回路

4.5.14 発振器出力電圧（パルス波） 図 25 に示すように、水晶発振器に規定の負荷を接続する（詳細は、附属書 A のロジック駆動用負荷回路を参照）。

ハイ及びローレベル出力電圧（図 3 参照）は、オシロスコープで測定し、個別規格の規定限界値内とする。

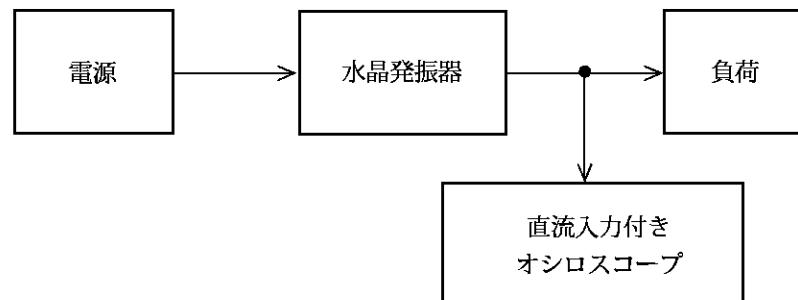


図 25 パルス出力測定用試験回路

4.5.15 発振器出力波形（正弦波） 図 26 に示すように、水晶発振器に規定の負荷を接続する。

スペクトラムアナライザは、水晶発振器の高調波を適切に含有する周波数帯域を表示するように調整する。代表的な疑似正弦波形を図 27 に示し、代表的周波数スペクトルを図 28 に示す。

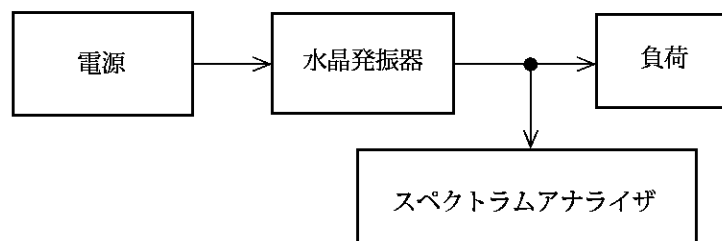


図 26 高調波ひずみ測定の回路

スペクトラムアナライザによって測定されるスペクトルは、通常、直接デシベル（dB）単位で、搬送波に対する電力比で測定し、デシベルで表す。代替として、次の式で計算される高調波ひずみの百分率（%）

で表す。

$$D_x = \frac{100}{10^{\frac{d_x}{20}}}$$

ここに、
 D_x : 高調波ひずみの百分率
 d_x : スペクトラムアナライザによって測定した基本波のレベルと高調波のレベルとの差
 x : 高調波次数

この試験方法を使用するとき、次の注意事項を守る。

(1) スペクトラムアナライザの入力ミキサでひずみが生じないように注意を払う。

(2) 入力ミキサが過負荷になると、非線形ひずみが生じる。この場合には、水晶発振器とスペクトラムアナライザとの間に減衰器を挿入して、種々の出力レベルの測定を行うことで非線形ひずみが生じているかを確認できる。減衰器のレベル設定が、高調波ひずみの百分率に影響しないようにする。

備考 全高調波ひずみは、個々の高調波レスポンスの合計によって得ることができる。

$$D_{\text{total}} = 100 \left[10^{\frac{d_2}{10}} + 10^{\frac{d_3}{10}} + \dots + 10^{\frac{d_n}{10}} \right]^{-\frac{1}{2}}$$

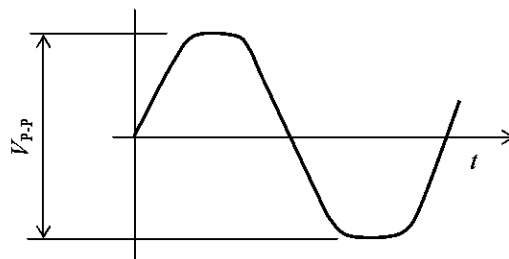


図 27a 対称

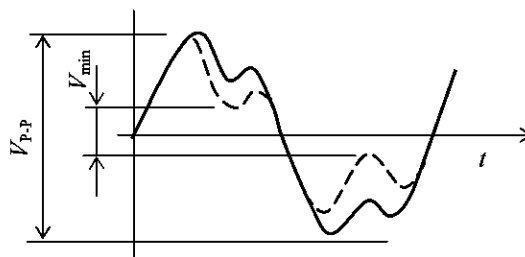


図 27b 大きな奇数次高調波含有

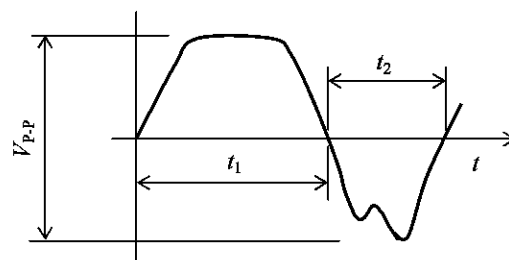


図 27c 大きな偶数次高調波含有

図 27 疑似正弦波出力波形

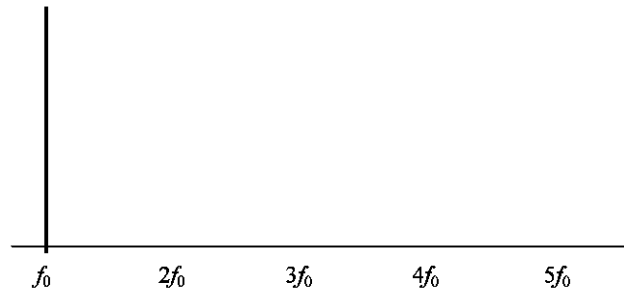


図 28a 理想的なスペクトル

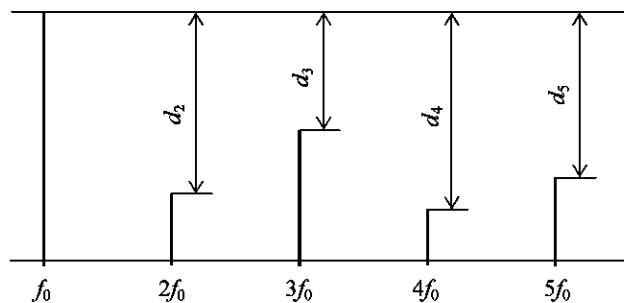


図 28b 大きな高調波ひずみを示しているスペクトル

図 28 高調波ひずみの周波数スペクトル

4.5.16 発振器出力波形（パルス） 図 25 に示すように、水晶発振器に規定負荷を接続する（詳細は、附属書 A ロジック駆動用負荷回路による。）。

4.5.16.1 立上り、立下り時間（2.2.33 及び 2.2.34 参照） 測定は、立上り及び立下りの両方の区間で、個々の論理ファミリの動作が保証されている入力電圧の限界値間にわたって行う。例えば、TTL 及び CMOS 論理ファミリの場合は、 $V_{OH \min}$ 及び $V_{OL \max}$ 又は最大振幅レベルの平坦部から 10 % 及び 90 % の点である。この測定では、オーバシュートが安定した状態の規定のレベルを超えなかったり、オーバシュートの原因が、水晶発振器とオシロスコープ以外の外部インダクタンスに起因する場合は無視する。高精度を要求される場合は、次の式を用いる。

$$t_a = \sqrt{(t_i)^2 - (t_s)^2}$$

ここに、
 t_i : 立上り又は、立下り時間の測定値
 t_s : オシロスコープの立上り又は、立下り時間
 t_a : 実際の時間

4.5.16.2 パルス持続時間（2.2.32 参照） 水晶発振器のパルス持続時間は、立上り及び立下り時間測定時にオシロスコープによって測定する。規定がない場合、測定は、 $V_{OL \max}$ と $V_{OH \min}$ の間の midpoint 又は 50 % のレベルで行う。

4.5.16.3 シンメトリ（2.2.36 参照） 個別規格に規定がある場合には、水晶発振器の波形シンメトリは、立上り及び立下り時間を測定して決定する。個別規格に規定がない場合、測定は $V_{OL \max}$ と $V_{OH \min}$ の midpoint 又は 50 % のレベルで行う。

4.5.17 発振器出力電力（正弦波） 試験手順は、4.5.13 によって実施する。出力電力は、rms（実効）出力電圧と負荷抵抗から計算するか、又は適切な電力計によって測定する。擬似正弦波の場合、出力電力の測

定は、常に、直読電力計又は校正された実効直読電圧計によって行う。

4.5.18 発振器出力インピーダンス（正弦波） 水晶発振器を図 24 に示すように接続する。ただし、負荷は、規定負荷の－10 %に等しい正確な抵抗 R_L （±1 %でリアクタンス分が無視できるもの）とする。水晶発振器は、電源を加えて、ある規定時間安定させた後、出力電圧 V_L の測定を行う。その後、負荷を規定負荷の＋10 %に等しい正確な抵抗 R_H （±1 %でリアクタンス分が無視できるもの）に置き換え、出力電圧 V_H の測定を行う。出力インピーダンスは、次の式から算出する。

$$Z = \frac{R_L R_H (V_H - V_L)}{V_L R_H - V_H R_L}$$

備考 この方法は、水晶発振器の出力インピーダンスが抵抗性である場合だけ有効であり、出力抵抗が負荷インピーダンスよりもかなり低い場合には正確でない。

4.5.19 再入力アイソレーション 水晶発振器を図 29 に示す試験回路に接続する。アイソレーション測定の間は、短絡し、信号発生器は、規定の再入力信号レベルと周波数に設定する。スペクトラムアナライザ（又は選択電圧計）を使用して、信号を加えられていないポート（多数のポートをもつ水晶発振器の場合は、指定のポート）の信号レベルを測定する。その後、短絡リンクをはずし、出力レベルを再度測定する。

短絡リンクを用いたときと外したときに測定された信号の比〔通常デシベル（dB）で表す。〕が、その周波数での特定のポート間の再入力アイソレーションである。この比は、個別規格で規定する。

この試験を実施する場合には、次の注意事項を守る。

- － 水晶発振器に加えられる負荷は、信号発生器の出力インピーダンス、スペクトラムアナライザ（又は選択電圧計）の入力インピーダンス及びすべての外部負荷を組み合わせたものである。
- － スペクトラムアナライザ（又は選択電圧計）の過負荷によって、信号が抑圧され再入力アイソレーションの見掛け上の減少が生じるので、注意が必要である。
- － アイソレーションが水晶発振器の高調波の周波数で測定するとき、再入力アイソレーションの値は、信頼できないものとなる。しかし、高調波のレベルが測定される絶縁のレベルよりも十分に小さいならば、有効な結果が得られるであろう。出力信号の高調波成分が多い場合、測定前に水晶発振器をデイスエーブル（つまり電源を加えたままで水晶発振器の発振を止める。）にする必要がある。

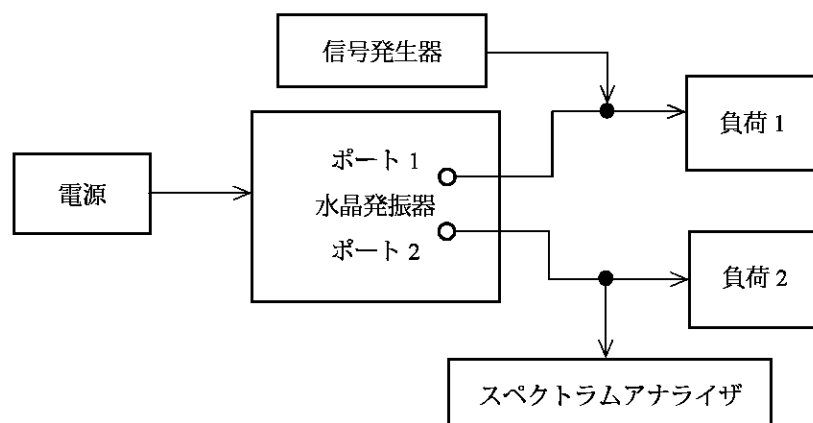


図 29 出力ポート間アイソレーションの試験回路

4.5.20 ゲート機能をもつ発振器の出力抑圧 水晶発振器を図 30 に示す試験回路に接続し、試験を次のように行う。

水晶発振器出力を“ON”にするのに必要な規定のゲート信号を加え、基本周波数の出力レベルと規定の高調波の出力レベルをスペクトラムアナライザによって測定する。次に、水晶発振器出力を“OFF”とするのに必要な規定のゲート信号を与え、出力レベルを測定する。

ON と OFF の出力レベルの比は、通常デシベル (dB) で表され、特定の周波数での出力抑圧度であり、個別規格に規定する。

スペクトラムアナライザの過負荷によって、信号が抑圧し出力抑圧度の見掛け上の減少が生じるので、注意が必要である。

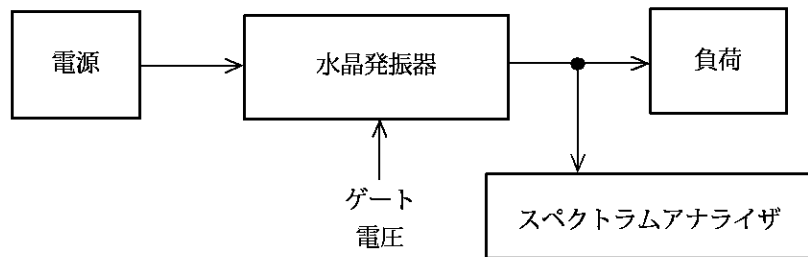


図 30 ゲート機能をもつ水晶発振器の出力抑圧試験回路

4.5.21 トライステート出力特性

4.5.21.1 トライステート・ディスエーブルモード出力電流 この試験は、ディスエーブルモードに保たれているときの、トライステート出力をもつ水晶発振器の短絡出力電流を決定するために用いられる。

水晶発振器を図 31 に示すように接続する。イネーブル／ディスエーブル端子は、スイッチ 1 を経由して規定の直流電圧を印加する。その電圧とは、イネーブルハイの設計の場合は、接地であり、イネーブルローの設計の場合は、電源電圧である。

イネーブル／ディスエーブル電圧レベルは、個別規格の規定値内とする。イネーブル／ディスエーブル端子と出力端子に加える電圧は、水晶発振器への供給電圧を超えないように注意が必要である。水晶発振器の出力をスイッチ 2 によって交互に電源電圧と接地に切り替え、各々の設定での出力電流を測定する。

ディスエーブルモードで、許容出力電流の最大値は、個別規格の規定値内とする。

4.5.21.2 出力ゲート時間 水晶発振器の出力段のイネーブルとディスエーブルとの間の切替えに要する時間を測定するために、水晶発振器を図 32 に示すように接続する。抵抗 R の値は、 R とオシロスコープの入力容量によって形成される時定数が、測定精度に影響を与えないよう選択する。

規定の電源電圧、基準電圧及びイネーブル／ディスエーブル電圧は、イネーブル／ディスエーブル電圧が電源電圧を超えないように注意しながら、水晶発振器に印加する。

イネーブル／ディスエーブル入力信号のイネーブル移行又はディスエーブル移行時のトリガに同期するように調整したオシロスコープを使用し、トリガの移行及び水晶発振器の出力移行を表示して、トリガの移行及び水晶発振器出力が、基準電圧で安定する時点の間のゲート時間を測定する。

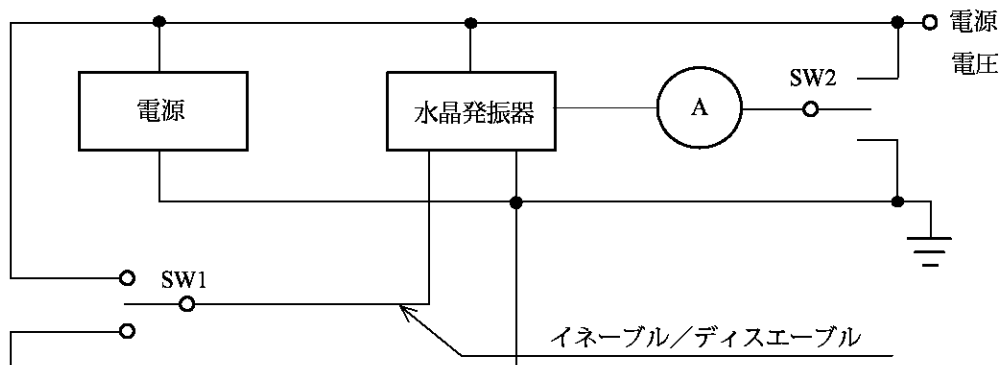
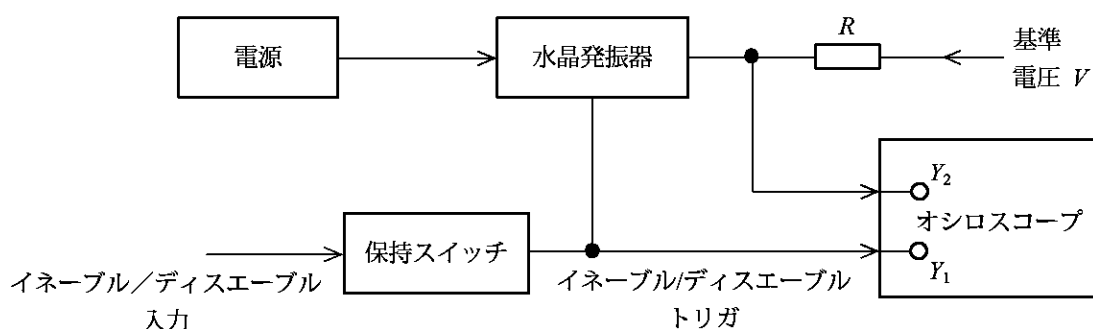


図 31 トライステート・ディスエーブルモード出力電流試験回路



ここに,

$$V = \frac{(V_{OH} - V_{OL})}{2} + V_{OL} : \text{基準電圧}$$

V_{OL} : 水晶発振器ローレベル出力電圧

V_{OH} : 水晶発振器ハイレベル出力電圧

図 32 トライステート・出力ゲート時間試験回路

4.5.22 振幅変調特性

4.5.22.1 振幅変調度

試験 A この試験の手順は、変調度が 0.1 よりも大きく 1.0 よりも小さい場合に用いる。

水晶発振器に図 33 に示すように規定負荷を接続し、規定の変調信号を加える。波形の x 及び y (図 34 参照) の測定値から、次の式で振幅変調度 (m) を算出する。

$$m = \frac{y - x}{y + x}$$

得られた変調度は、 $100 \times m$ % であり、個別規格の規定値内とする。この試験方法は、 $m < 0.1$ のときには用いてはいけない。なぜなら、本質的に精度の低い測定法となるからである。

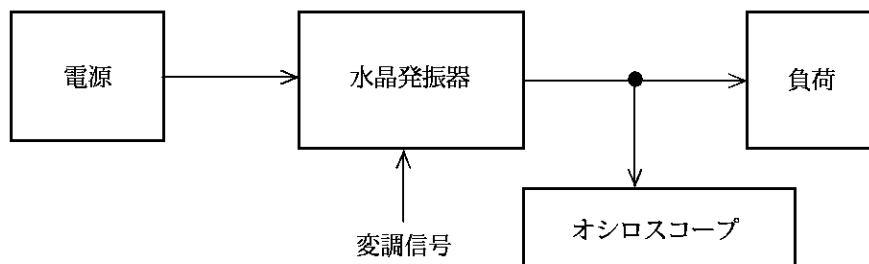


図 33 変調度測定試験回路

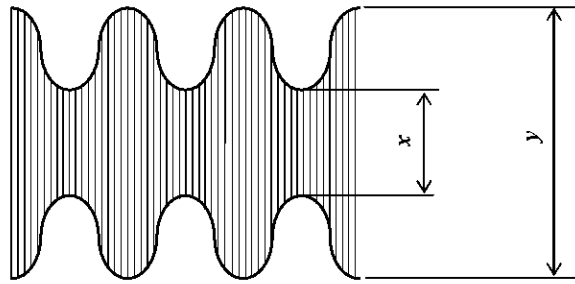


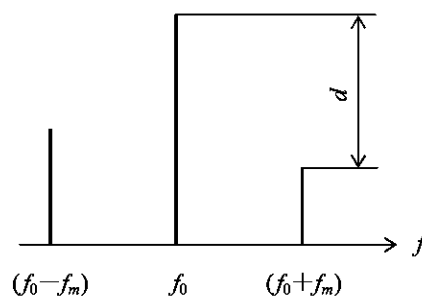
図 34 変調度計算のための変調波形

備考1. この測定精度は、周波数変調による影響を受けない。

2. この測定は、非正弦波でも有効である。

試験 B この測定方法は、変調度が 0.1 未満の規定のものに適用する。

図 33 に示すように、水晶発振器に規定の負荷を接続する。ただし、オシロスコープは、水晶発振器出力とその側波帯信号とを適切に分離するために、十分に狭い中間周波帯域幅をもつスペクトラムアナライザと置き換える。水晶発振器に加えた規定の変調信号については、水晶発振器の出力周波数の周波数スペクトル領域内に表示できるように、対数信号振幅スケールを使ってスペクトラムアナライザを調整する（図 35 参照）。



ここに、
 f_0 : 水晶発振器出力周波数
 f_m : 変調信号周波数
 $f_0 - f_m$: 下側波帯信号周波数
 $f_0 + f_m$: 上側波帯信号周波数
 d : 水晶発振器出力周波数レベル (f_0) とどれか一方の側波帯信号レベルとのデシベル (dB) 差

図 35 対数スケール振幅レベル

変調度 (m) は、次の式によって算出する。

$$m = 10^{\frac{6-d}{20}} \quad (m < 0.1)$$

ここに、 d : 水晶発振器出力レベル (f_0) とどれかの側波帯信号レベルとのデシベル (dB) 差

変調度は、個別規格の規定値内とする。スペクトラムアナライザの過負荷を避けるために、スペクトラムアナライザの設定に注意をする。これは、水晶発振器とスペクトラムアナライザとの間に減衰器を入れ、いろいろな電力レベルで測定することによって確認できる。減衰器の調整は、 d 値に影響がないようにする。

備考1. 周波数変調が生じる場合は、この方法は、適用してはならない（4.5.22.7 参照）。

スペクトラムアナライザの周波数変調の影響は、高い変調信号周波数を選択することによって、減らすことができる（変調指数 $\beta \propto \frac{1}{f_m}$ ）。

2. この測定は、変調信号中に高調波を含有する場合、周波数振幅の非直線ひずみがある場合には、適用されない（4.5.22.3 参照）。

4.5.22.2 振幅変調感度 図 36 に示すように、水晶発振器に規定の負荷を接続する。規定周波数での変調信号を供給する信号発生器は、その水晶発振器の外部変調端子に接続する。その出力は、オシロスコープ又は電子電圧計によって測定しながら、規定の振幅にセットする。出力信号の変調度は、4.5.22.1 に示すように測定する。

通常、振幅変調感度は、変調信号のピークピーク変調電圧のパーセンテージで表し、個別規格の規定内とする。

備考 この方法は、直流電源電圧に変調信号を重ねさせることによって、電源リップルに対する水晶発振器の耐性を決定するために使用してもよい。

4.5.22.3 振幅変調ひずみ（非線形） 図 36 に示すように、水晶発振器に規定の負荷を接続する。ただし、オシロスコープは、水晶発振器出力とその側波帯信号を適切に分離するために、十分に狭い中間周波帯域幅をもつスペクトラムアナライザと置き換える。

水晶発振器が規定の変調度になるように、規定の周波数の正弦波変調信号を水晶発振器の外部変調端子に加える。水晶発振器の周波数スペクトルが見えるように、スペクトラムアナライザを調整する（図 37 参照）。

二次、三次などの個々の高調波ひずみは、通常、 d_2 、 d_3 などのようにデシベル（dB）で表す。それぞれの高調波に対し、 $\frac{100}{10^{\frac{d}{20}}}$ % のようにパーセントで表してもよい。

ひずみは、個別規格の規定値内とする。

この試験を行う場合には、次の注意事項を守る。

- スペクトラムアナライザの過負荷を避けるために、スペクトラムアナライザの設定に注意する。これは、水晶発振器とスペクトラムアナライザとの間に減衰器を入れたり、電力レベルを変えて測定することによって調べることができる。

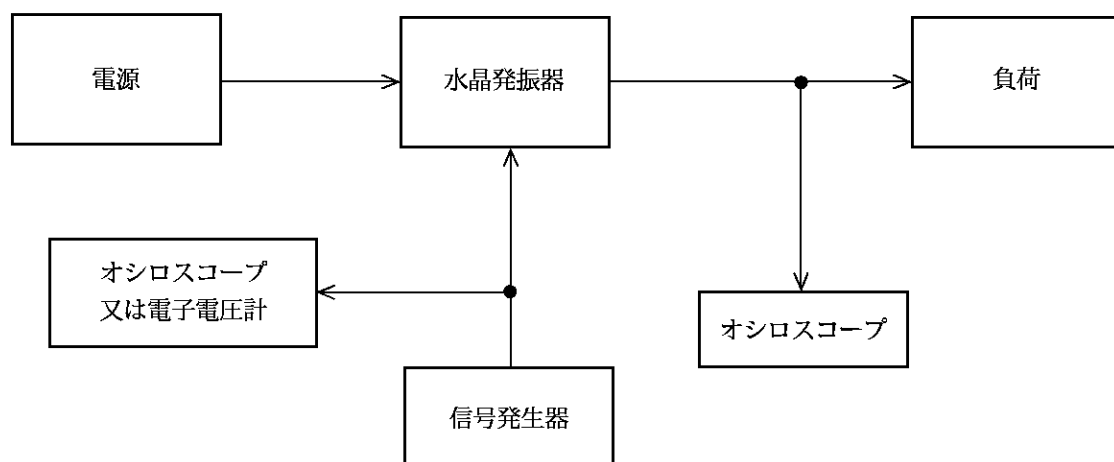
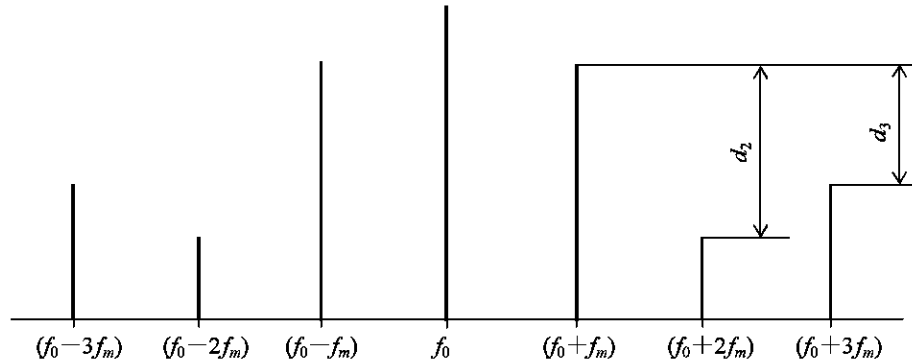


図 36 振幅変調感度を定める試験



ここに,

- f_0 : 水晶発振器出力周波数
- f_m : 変調信号周波数
- $(f_0 - f_m)$: 変調信号による下側波帯
- $(f_0 - 2f_m)$: 変調信号の第2高周波による下側波帯
- $(f_0 - 3f_m)$: 変調信号の第3高周波による下側波帯

図 37 振幅変調ひずみの周波数スペクトル

減衰器の設定は、 d_2 、 d_3 などの変調ひずみの値に影響を与えないようにする。変調信号の高調波成分が大きければ、得られた結果を修正するか、又はその高調波成分を減らすために変調信号をフィルタリングする。

備考 水晶発振器の出力を検出し、適切なデストーションアナライザで測定することによって、総合の変調ひずみ (D_{total}) を評価してもよい。この方法によって、振幅変調信号の総合側波帯成分を測定することができる。スペクトラムアナライザで測定した各側波帯信号を合計してもよい。

$$D_{\text{total}} = \frac{100}{\sqrt{10^{\frac{d_2}{10}} + 10^{\frac{d_3}{10}} + \Lambda}}$$

4.5.22.4 振幅変調周波数応答 試験方法は、4.5.22.2 による正弦波変調信号試験を適用する。規定の基準周波数での振幅変調感度を測定する。また、変調感度を変えてその他の周波数でも測定する。通常デシベル (dB) で表し、個別規格の規定値内とする。

4.5.22.5 パルス振幅変調 図 38 に示すように、水晶発振器に規定の負荷を接続する。

規定の波形で、発振周波数と高調波的に無関係な規定の反復周波数の変調信号を供給するパルスジェネレータを水晶発振器の変調入力端子に接続する。

図 39 に示すように、変調信号の出力波形のピークピーク振幅が変調信号の2倍になるように調整し、変調信号と変調信号の出力波形とを同時にオシロスコープ上に表示する。

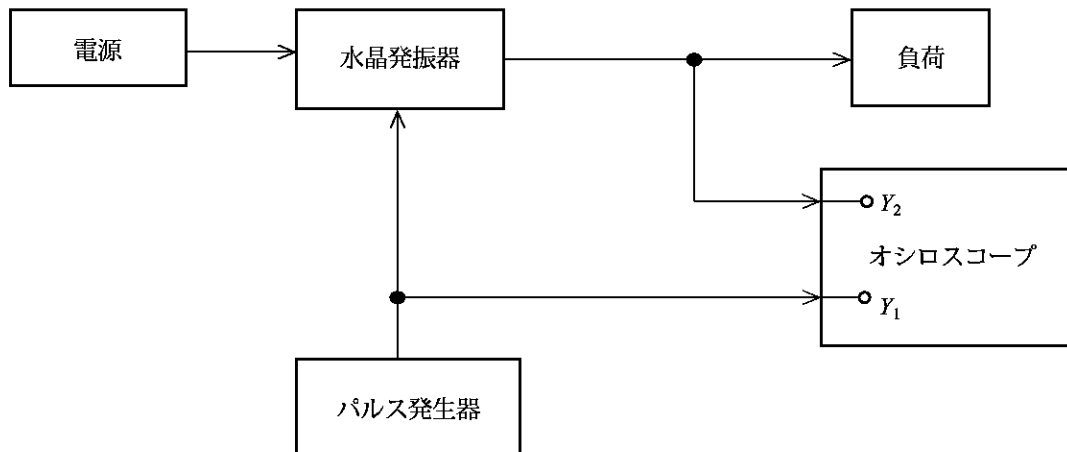


図 38 パルス振幅変調を決める回路

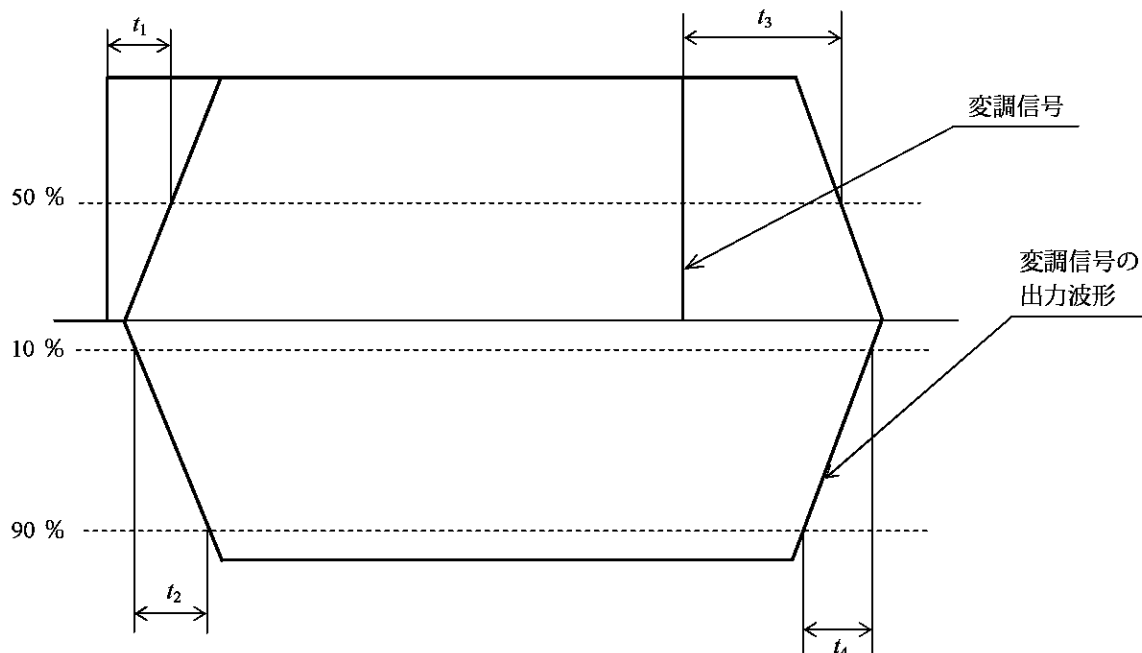


図 39 パルス変調特性

次のパラメータは、個別規格の規定値内とする。

t_1 : ターンオン時間。変調信号の立上り区間の 50 % 点と出力波形の 50 % 点間の時間。

t_2 : 立上り時間。出力波形の立上り区間の 10 % 点と 90 % 点間の時間（変調信号の立上り時間が、ほぼないと仮定）。

t_3 : ターンオフ時間。変調信号の立下り区間の 50 % 点と出力波形の 50 % 点間の時間。

t_4 : 立下り時間。出力波形の立下り区間の 10 % 点と 90 % 点間の時間（変調信号立下り時間がほぼないと仮定）。

4.5.22.6 振幅変調入力インピーダンス 規定の周波数の変調信号を供給する信号発生器を外部変調端子に接続し、図 40 に示すようにシールドトランスを通じて、抵抗器を接続する。その抵抗器は、規定の測定周波数では無誘導とする。

オシロスコープ（又は電子電圧計）を接続して、抵抗器に加わる信号レベル（ V_1 ）及び水晶発振器の変調入力レベル（ V_2 ）を測定する。低周波発振器は、水晶発振器の変調入力端子電圧が規定値となるように出力を調整する。

変調入力インピーダンスは、次の式から算出する。

$$Z = \frac{V_2}{V_1} R$$

変調入力インピーダンスは、個別規格の規定内とする。

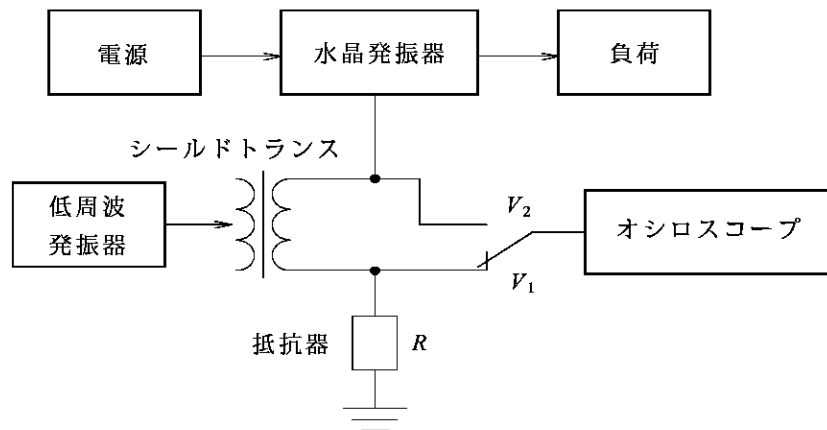


図 40 変調入力インピーダンスの試験回路

4.5.22.7 振幅変調信号の寄生周波数変調 水晶発振器を 4.5.22.1 に規定の振幅変調度に調整して、4.5.23.1 によって寄生周波数変調の偏移を測定する。振幅変調に付随する寄生周波数変調偏移は、個別規格の規定値内とする。

周波数通倍器は、信号から振幅変調分の大部分を除去するが、残留振幅変調分が周波数変調計の精度に影響しないことを確かめるよう注意する。

4.5.23 周波数変調特性

4.5.23.1 周波数変調偏移

試験 A この試験は、100 Hz 以上の最大周波数偏移の測定に適用する。

図 41 に示すように、水晶発振器に規定の負荷を接続して、変調入力端子に規定周波数の変調信号を印加する。FM 変調計で測定した最大周波数偏移は、個別規格の規定値内とする。

VHF で最大周波数偏移が低い場合は、FM 雑音の影響を低減するために FM 分が低い信号源（例えば、水晶発振器）に位相同期した局部発振器が必要である。

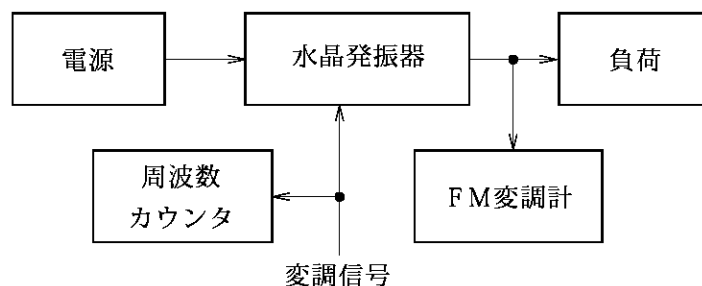


図 41 FM 偏移測定の試験回路

備考 周波数変調指数 $\beta = \Delta f / f_m$

ここに, Δf : 実際の最大周波数偏移
 f_m : 変調信号の周波数

試験 B この試験は, 100 Hz 以下の最大周波数偏移の測定に適用する。

図 41 に示すように水晶発振器を規定の負荷に接続した後, FM 変調計 (備考 2. 参照) の前に周波数通倍器を付加する。

水晶発振器の変調入力端子に規定の周波数の変調信号を加えて, 周波数通倍器を通じて FM 変調計 (又は偏移計) で出力信号の最大周波数偏移を測定する。

$$\Delta f = \frac{\Delta f_{\text{mult}}}{M}$$

ここに, Δf_{mult} : 出力信号の最大周波数偏移
 M : 周波数通倍器の通倍数

最大周波数偏移は, 個別規格の規定値内とする。

この試験方法を用いる場合には, 次の注意事項を守る。

- VHF で最大周波数偏移が低い場合は, FM 雑音を低減するために, 残留 FM 分が低い信号源 (例えば, 水晶発振器) に位相同期した局部発振器が必要である。
- 大部分の水晶発振器は, 電源のリップルの影響を受けやすい。

周波数変調度が低い信号を測定する場合は, 電源電圧の変動が最大周波数偏移の測定に影響しないように最大限の注意を払う。

備考1. 周波数変調指数 $\beta = \Delta f / f_m$

ここに, Δf : 実際の最大周波数偏移
 f_m : 変調信号の周波数

2. 変調計の測定範囲内で測定できるようにするために, 周波数通倍器の前又は後にミキサを使用して低い周波数に変換する。

4.5.23.2 周波数変調感度 図 42 に示すように, 水晶発振器に規定の負荷を接続して, 規定周波数の変調信号に設定した低周波発振器を, 変調入力端子に接続する。オシロスコープ又は電子電圧計で測定して, 変調入力レベルを規定振幅 (V_{p-p}) に設定する。変調入力レベルは, 水晶発振器の最大許容周波数偏移を超えてはならない。出力信号の最大周波数偏移 (Δf_{p-p}) は, 4.5.23.1 の試験 A 又は試験 B によって測定する。次の式で定義する周波数変調感度 (S_{FM}) は, 個別規格の規定値内とする。

$$S_{FM} = \frac{\Delta f_{p-p}}{V_{p-p}}$$

備考 この方法は, 電源ラインにリップルなどの変調信号を重畳させることによって, 電源リップルなどに対する水晶発振器の耐性を決定するために用いてもよい。

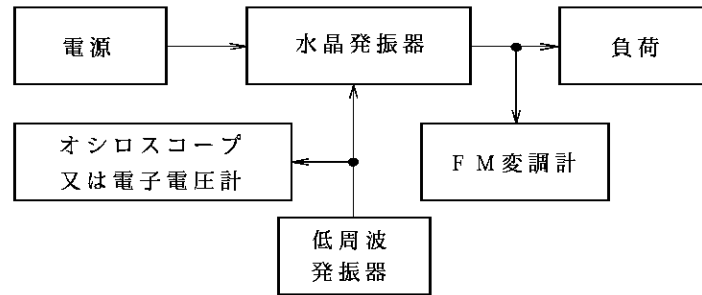


図 42 FM 変調感度の測定回路

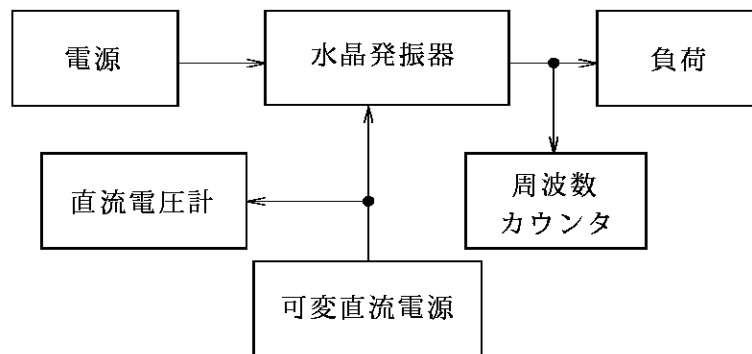


図 43a 静的試験

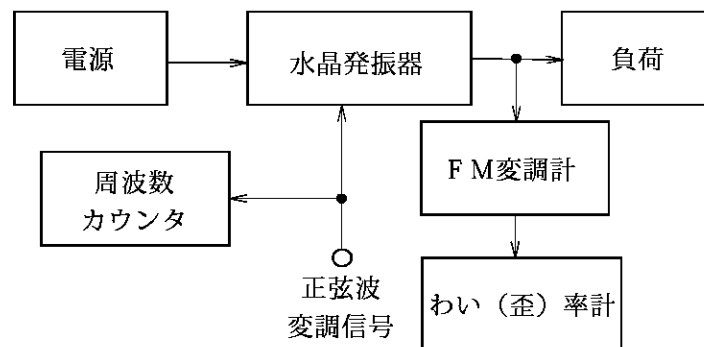


図 43b 動的試験

図 43 周波数変調ひずみの測定回路

4.5.23.3 周波数変調ひずみ（非直線性）

試験方法 A（静特性試験） 図 43a に示すように、水晶発振器に規定の負荷を接続し、可変直流電源を変調入力端子に接続する。規定の直流変調電圧での水晶発振器の出力周波数を測定する。制御電圧に対する出力周波数をグラフにプロットして、ここから周波数変調偏移の直線性を決定する。直線性は、個別規格の規定値内とする。

試験方法 B（動特性試験） 図 43b に示すように、水晶発振器に規定の負荷を接続し、規定の変調周波数偏移（4.5.23.1 参照）が生じるように、外部変調端子に規定の周波数及び電圧レベルの正弦波電圧を印加する。

変調検波器からの出力信号のひずみは、わい率計で測定する。わい率は、個別規格の規定値内とする。

この試験方法を適用する場合は、次の注意事項を遵守する。

- 変調信号の高調波成分が影響する場合は、結果を修正するか、フィルタで変調信号の高調波を低減する。
- 変調計の検波ひずみは、水晶発振器に比較して低くする。

4.5.23.4 FM 変調周波数特性 4.5.23.2 の測定手順で、規定の周波数の正弦波変調信号で周波数変調感度を測定する。

その他の規定の周波数についても変調感度を測定して、変調感度の変化量 [通常デシベル (dB) で表す] を決定する。変調感度の変化量は、個別規格の規定値内とする。

4.5.23.5 周波数変調の入力インピーダンス 試験は、4.5.22.6 による。入力インピーダンスは、個別規格の規定値内とする。

4.5.24 スプリアス応答 スプリアス応答は、4.5.15 と同一手順で測定する。ただし、測定系は、水晶発振器の試験環境にあるいかなる高レベルの信号に対しても隔離する。

備考 基本周波数の高調波以外のスプリアス応答は、水晶発振器から発生しているのか、試験環境から拾っているのかを見分けるのが大変困難であるが、水晶発振器の電源電圧を OFF にすることによって調べることができる。

4.5.25 位相雑音

4.5.25.1 一般 位相雑音は、搬送波に対し、対称的な相対振幅対からなる側波帯の分布として与えられ、その大きさは、ラジアン (rad) 単位で、その成分のピーク位相偏差の半分に等しい。

位相雑音の測定のため、同期信号を位相検波器で比較する。位相検波器の出力は、位相雑音に基づく瞬時アナログ電圧である。位相雑音の成分を除いて、位相検波器がゼロ出力となるためには、水晶発振器 (図 44 の水晶発振器 2) が基準発振器に対して 90 度位相を保つ必要がある。これは、直流増幅器を用いて位相検波器のゼロ出力を検出することによって実現でき、水晶発振器を 90 度位相で駆動していることになる。

出力の位相雑音は、低周波・波形分析器で記録する。波形分析器によって測定された雑音は、両側波帯の実効雑音である (平均/実効の変換をする必要がある。)。これは、6 dB 減ずることによって、単側波帯位相雑音に変換できる。

理想的には、基準発振器 (図 44 の水晶発振器 1) が極めて低雑音であることが望ましい。実際には、両発振器が同程度であることがよく起こる。そのような場合には、両発振器からの雑音の寄与分が等しいと仮定してよく、信号対雑音比は、同種の発振器に対して 3 dB 減ずる。この補正は、結果を計算するときに行えばよい。

4.5.25.2 手順 図 44 に示すように、2 個の水晶発振器を接続する。位相検波器からの帰還ループは、水晶発振器 1 と水晶発振器 2 が 90 度で位相同期するように組まれている。波形分析器は、規定の分解能の帯域 (周波数 1 Hz) に設定する。積分の時定数は、個別規格に規定がない場合には 1 秒に設定する。

スイッチを開き、差の周波数は、水晶発振器 1 と水晶発振器 2 から作られる。波形分析器は、その差の周波数に調節され、X-Y レコーダ上のスケールが、-60 dB ~ -80 dB の範囲 (低雑音増幅器のオーバロードを避けるため高減衰) で減衰器によって校正する。

スイッチを閉じる。すると水晶発振器 1 と水晶発振器 2 は、90 度で位相同期する。減衰器を (個別規格に規定がなければ) -10 dB に設定する。そして、位相雑音を測定するため、規定の離調周波数範囲にわたって、波形分析器の周波数を掃引する。

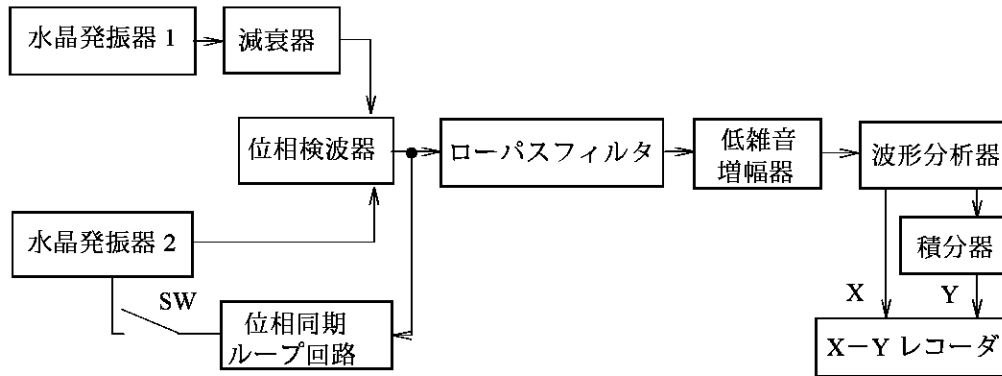


図 44 SSB 位相雑音測定の実験回路

4.5.25.3 注意事項 周波数制御ループの応答時間は、測定しようとする最も低い側波帯雑音の周期よりも十分に長くしなければならない。例えば、10 秒の応答時間（又は 0.1 Hz のカットオフ周波数）は、1 Hz での位相雑音を測定することを意味している。同期ループの通過帯域内では出力信号は、周波数雑音に比例している。また、同期ループの通過帯域より外側では出力信号は、位相雑音に比例している。しかし、その遷移領域では、その状態が多少複雑になっている。

狭帯域同調検波器を使用する際の一般的な注意は、次による。特に、チューニングレート (Hz/s) は、検波器の帯域 (Hz) に比較して小さくし、検波器後の積分時間は、検波器の帯域の逆数に比較して長くする。

例えば、10 Hz の通過帯域をもつ検出器では、チューニングレートを 1 Hz/s より大きくしないほうがよいし、少なくとも 1 秒の積分時間を用いることが望ましい。

備考1. この測定系の分解能の限界は、波形分析器の最小帯域幅で決まる。この場合、分析器の帯域幅よりも低いフーリエ周波数をもつスペクトル成分は、測定できない。

2. 位相同期ループからの雑音が水晶発振器のものに比較して小さいと仮定する。これに代わる回路構成として、25 kHz 離れた二つの水晶発振器を作り、ミキサからの 25 kHz 出力の周りの雑音分布を検査する（例えば、波形分析器で）ことが望ましい。また、この構成では、異なる中心周波数をもつバンドパスフィルタを、ローパスフィルタの代わりに用いてもよい。このシステムの欠点は、本質的に安定度が低いことで、一般的に、低分解能の帯域幅は利用できない。

4.5.26 位相雑音－振動 4.5.25 の方法で、4.6.7.2 又は 4.6.7.4 によって振動時の水晶発振器の位相雑音を測定する。位相雑音（振動）は、個別規格の規定値内とする。

4.5.27 位相雑音－音響 4.5.25 の方法で、4.6.12 で要求した音響雑音による水晶発振器の位相雑音を測定する。

4.5.28 ノイズペDESTAL

4.5.28.1 一般事項 ノイズペDESTAL は、発振周波数からはるかに離れた点での雑音レベルと発振周波数でのレベルの相対値を表す。図 45 のグラフは、スペクトラムアナライザ上に示される水晶発振器から得られる一般的なスペクトルを示している。4.5.25 は、発振周波数近傍の雑音成分の測定に関係しており、ここでの試験は、はるかに離れた離調周波数の成分の測定に関するもので、通常、発振周波数を基準にデシベル (dB) で表す。

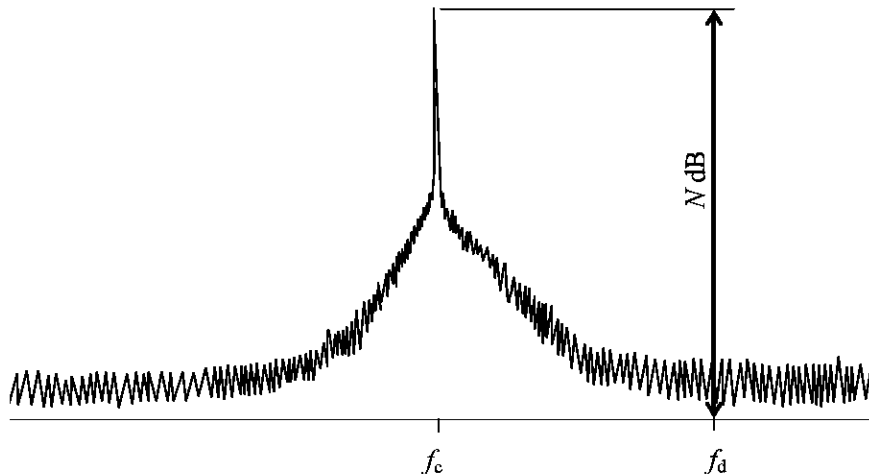


図 45 典型的なノイズペデスタルのスペクトル例

4.5.28.2 手順 図 26 に示すように、水晶発振器を規定の負荷と規定の分解能のスペクトラムアナライザに接続する。スペクトラムアナライザに表示された水晶発振器の出力スペクトルから、ノイズペデスタルは、雑音のベースラインから測定する。このベースラインは、漸近レベル又は規定の周波数 (f_d) の雑音レベルである。

測定周波数 f_d 又は特定の周波数オフセットが関連している場合には、発振周波数からの離調 ($f_c - f_d$) は、個別規格で規定する。

備考 雑音の平均レベルは、ベースラインとして使用する。これは、スペクトラムアナライザのビデオフィルタを長い時定数、例えば、低域通過帯域を 10 Hz に設定することで容易に評価できる。

4.5.28.3 注意事項 次のことに注意する。

- スペクトラムアナライザの雑音が、ノイズペデスタルの測定を劣化させないことを確かめるように注意する。これは、スペクトラムアナライザの入力減衰器の設定を変化させることによって調べることができる。この場合、 N の値 (図 45 参照) を変えないで、発振周波数レベルと十分に離れた雑音レベルの両方を減らすことが望ましい。この試験の運用は、スペクトラムアナライザの雑音が、およそ 70 dB から 90 dB (スペクトラムアナライザに依存するが) 又はそれよりも悪いノイズペデスタルをもつ水晶発振器に限定される。
- ノイズペデスタルは、スペクトラムアナライザのしきい値よりも低くすることが望ましい。**4.5.25** の方法は、ノイズペデスタルの概算値を得るために用いる。この方法は、低いレベルでは、すべての雑音に対する主な寄与分は、周波数と位相の双方から生じるので、非常に有効である。

4.5.29 スペクトル純度

4.5.29.1 一般事項 帯域外雑音は、発振周波数と別個の高調波又は単一のスプリアス周波数を含めて、発振周波数から十分に離れた周波数の雑音の発振周波数レベルに対する相対レベルである。

4.5.25 は、発振周波数近くの (数 Hz 以内の) 位相雑音測定に関するものである。一方、この項では、発振周波数から十分に離れた数 kHz から数 MHz 程度までの平たん部の付加雑音領域に関するものである。

4.5.29.2 手順 水晶発振器を図 26 に示すように接続し、スペクトラムアナライザを規定の周波数範囲を表示するように調整する。ノイズペデスタルのレベルは、データを 1 Hz 当たりに換算するために、アナライザの帯域幅 (つまり、10 dB/decade の帯域幅) に対して適切な修正を行うことによって、スペクトラムアナライザの表示 (デシベル) から直接決定できる。

4.5.29.3 注意事項 スペクトラムアナライザのもつ雑音が、測定精度を落とさないことを確かめるように注意する。これは、水晶発振器とスペクトラムアナライザとの間に可変減衰器を接続して、搬送波と雑音レベルの両者が等しくなるように減衰器を設定することによって調べてもよい。

多くの場合、水晶発振器の信号対広帯域雑音比は、スペクトラムアナライザのダイナミックレンジを大きく超える。この場合は、スペクトラムアナライザの飽和を避けるために、既知の量（80 dB 又は 90 dB）だけ搬送波を減衰させるような、狭帯域阻止フィルタを用いる必要がある。代替試験方法として、搬送波を効果的に取り除く **4.5.25** の狭帯域位相同期回路のような復調法を用いてもよい。

備考 水晶発振器からの付加雑音レベルは、負荷インピーダンスそれ自身によって発生する熱雑音と同等なものと思われるから、測定に使用する増幅器又は信号処理装置の選択に最大の注意を払うことを推奨する。

4.5.30 寄生周波数変調 水晶発振器を図 46 のように接続し、安定化させる。周波数弁別器は、規定周波数範囲内でベースバンドのスペクトル成分のひずみを生じさせないような、十分に広い帯域にわたって直線的な特性とする。寄生周波数変調スペクトルは X-Y レコーダで直接得られ、個別規格の規定値内とする。

特定のベースバンド領域で、全周波数変調信号を規定する場合には、適切なバンドパスフィルタと実効値電圧計（電子電圧計）を、波形分析器と X-Y レコーダの代わりに置き換える。その場合は、システムを校正するために、弁別器の特性（V/Hz）を決定する必要がある。

次のような注意を考慮する必要がある。

一般的に、高精度な水晶発振器の寄生周波数変調は非常に小さく、特に、低いベースバンド周波数では、低雑音の弁別器と広帯域増幅器を注意深く選択することが要求される。検波後の積分時間及び波形分析器の掃引レートは、電源電圧のリップルなどによって発生するような離散的な周波数変調成分を精密に測定するために、波形分析器の帯域を対応した値に調節しなければならない。

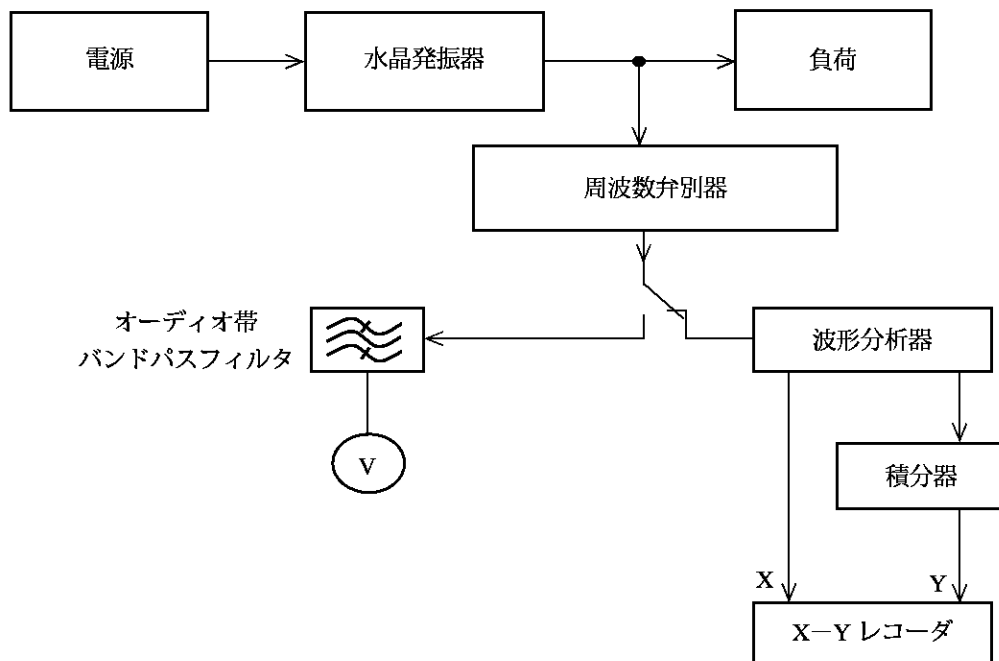


図 46 寄生周波数変調測定の試験回路

4.5.31 実効的な規格化された周波数揺らぎ

4.5.31.1 手順 通常、時間領域の安定度測定は、水晶発振器よりもはるかによい安定度をもっている基準信号を用いて測定を行う。しかしながら、一般的な手段として、2 個の同一設計の水晶発振器の比較によって行われ、通常、それらのランダム雑音過程の確率密度と分布関数がほとんど同じであると仮定される。雑音過程がパワーの和であることから、2 個の同一設計の水晶発振器間での離散的な周波数揺らぎの $1/\sqrt{2}$ 倍として、それらの水晶発振器 1 個当たりの離散的な周波数揺らぎは求められる。この手順は、次の方法 1 及び方法 2 によって導かれた公式に反映されている。

方法 1 2 個の水晶発振器の平均周波数がほぼ等しい場合

図 47 で示すように、2 個の水晶発振器を接続する。

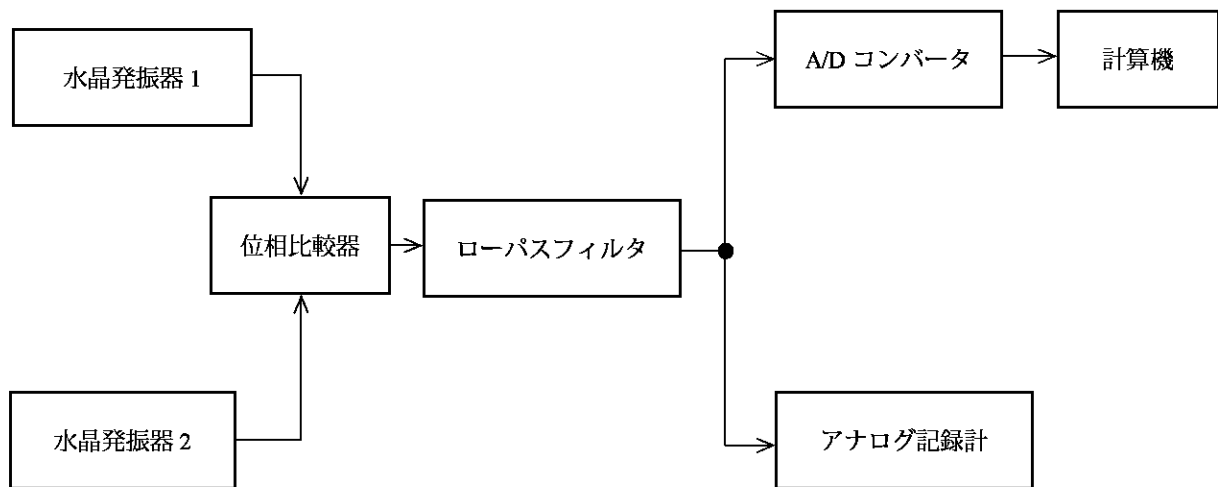


図 47 方法 1 の試験回路

警告 位相比較器は、しばしば位相と振幅の両方の変化に敏感である。振幅感度を最小にするために、通常、直交位相検波器としてダブルバランスドミキサを使用する。

この場合、位相比較器によって、2 個の水晶発振器間の瞬時的な位相揺らぎに正比例した（低域通過フィルタのカットオフよりも低いフーリエ周波数の）アナログ信号が出力される。アナログ的方法で（連続記録計、実効電圧計、又はスペクトラムアナライザなどで）この信号を調べるか、又はサンプル平均時間 τ に制御されたサンプリングタイプの A/D コンバータを用い、繰り返し測定を行い、解析するためにコンピュータに取り込む時間領域の測定法によって調べることができる。この方法を使用することによって、測定システムから生じるデッドタイムはなくなり、その実効的な周波数揺らぎは、次の式による。

$$\frac{\Delta F}{F_0}(\tau)_{\text{rms}} = \frac{1}{4\pi F_0 \tau} \left[\frac{1}{(M-1)} \sum_{k=1}^{M-1} \left[[\varphi(t_k + 2\tau) - \varphi(t_k + \tau)] - [\varphi(t_k + \tau) - \varphi(t_k)] \right]^2 \right]^{1/2}$$

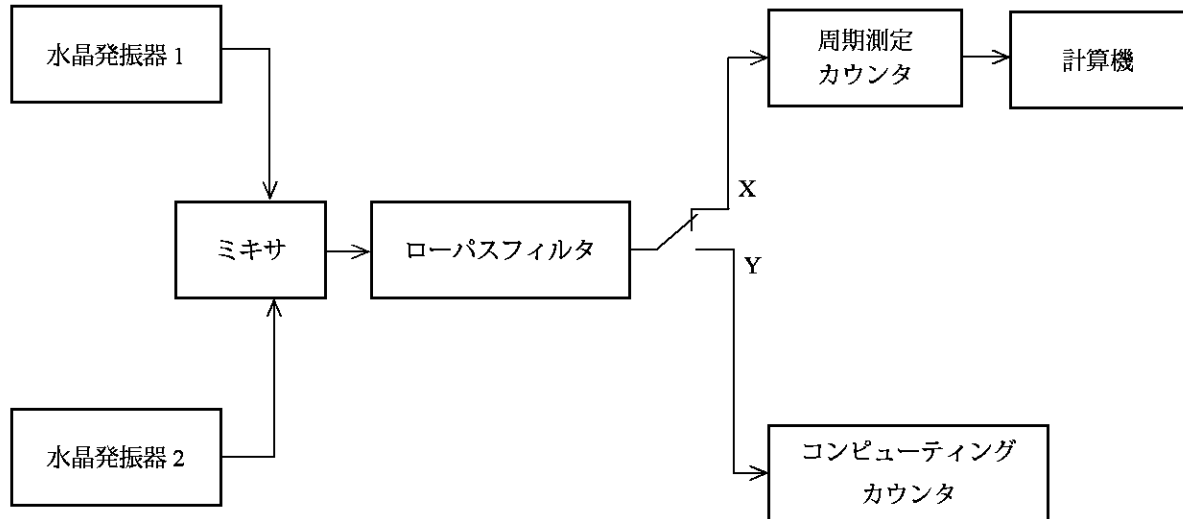
ここに、 M : 繰り返して測定する回数
 τ : サンプル平均時間

備考 事実上、使用される基準発振器が水晶発振器よりもはるかによい安定度である場合は、全周波数変動は、水晶発振器に起因するものであるとみなせるので、上記の式に $\sqrt{2}$ 倍した値となる。

方法 2 2 個の水晶発振器の周波数がわずかに異なっている場合

図 48 で示すように、2 個の水晶発振器を接続する。この場合、通常、水晶発振器がわずかに異なった周波数に調整されていることを除いて、比較される水晶発振器 2 個は同一性能の水晶発振器である。したが

って、ローパスフィルタの出力は正弦波で、その周波数は2個の水晶発振器の周波数差となる。この周波数差は、一般的に100 Hz～10 kHzの範囲のどこかを選ぶ。水晶振動子の共振周波数を調整して発振周波数を調整する場合には、小さな違いがあったとしても、水晶発振器のランダム雑音特性に大きな影響を及ぼすことはない。



備考 (X) 又は (Y) の位置は、アラン分散と偏差を得るのに使用する。また、(X) は、標準偏差を決定するためにも使用する。

図 48 方法 2 のための試験回路

ビート周波数周期の規定測定回数 M は、規定の平均時間 τ (τ は、ビート周波数の周期の整数倍でなければならない。) を使用して作られる。連続的測定間隔 T は、通常、少なくとも、平均サンプル時間 τ よりも長いビート周波数の1周期となる。また、ビート周波数に大きく依存する周期の2周期以上及び計数データ収集システムの繰返し時間でも差し支えない。実効的な周波数揺らぎは、次の式による。

$$\frac{\Delta F}{F_0}(\tau)_{\text{rms}} = \frac{1}{\sqrt{B_2(\gamma, \mu)}} \times \frac{1}{2F_0} \left[\frac{1}{(M-1)} \sum_{k=1}^{M-1} (F_{k+1} - F_k)^2 \right]^{1/2}$$

ここに、

- τ : サンプル平均時間
- $B_2(\gamma, \mu)$: デッドタイムに対応する補正係数
- T : サンプルング周期
- $\gamma = \frac{T}{\tau}$: サンプルング周期とサンプル平均時間の比
- F_k, F_{k+1} : サンプル平均時間 τ で平均化されたビート周波数の連続する測定値

4.5.31.2 方法 1 及び方法 2 の修正 クリスタルフィルタを用いる方法

特別な場合 (例えば、非常に短い平均時間が必要な場合) には、ミキサ又は位相比較器と基準発振器との間に、図 49 に示すように狭帯域水晶フィルタを挿入してもよい。平均時間 τ がフィルタ帯域幅の逆数よりも非常に小さい場合には、この修正で基準信号から側波帯雑音を取り去ることができる。したがって、試験中の水晶発振器の周波数の揺らぎだけを観測できる。より効果を出すために、水晶フィルタ自体が過大な騒音を受けないように、機械的に妨害から守り、安定した温度に保つ。

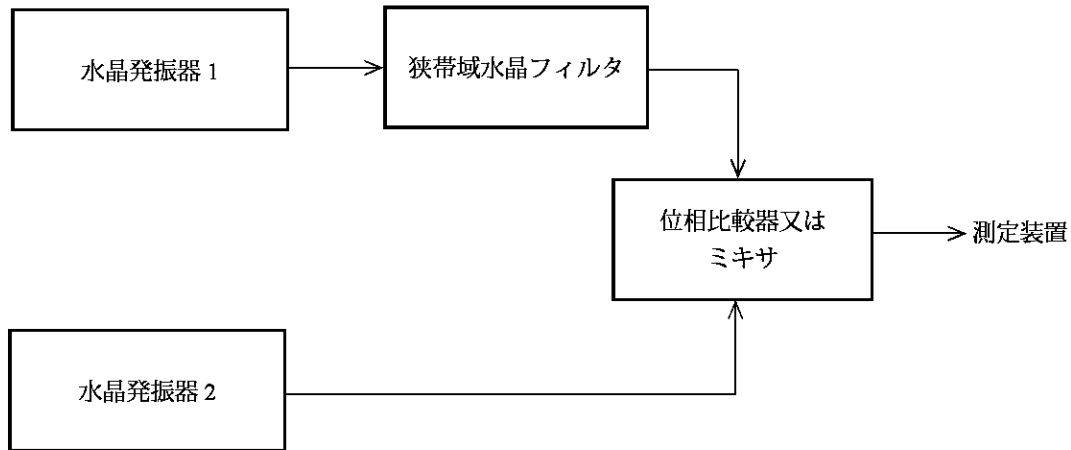


図 49 方法 1 及び方法 2 の回路修正

4.5.31.3 注意事項 水晶発振器の短期安定度は、非常に感度が高いスペクトル純度の測定である。この測定は、管理された状態で行うことが望ましい。より高い安定度の要求に対しては、記録装置以外を遮へいする容器を使用することが望ましい。

4.5.31.4 結果 水晶発振器の周波数短期安定度は、図で表す。この一例を図 50 に示す。

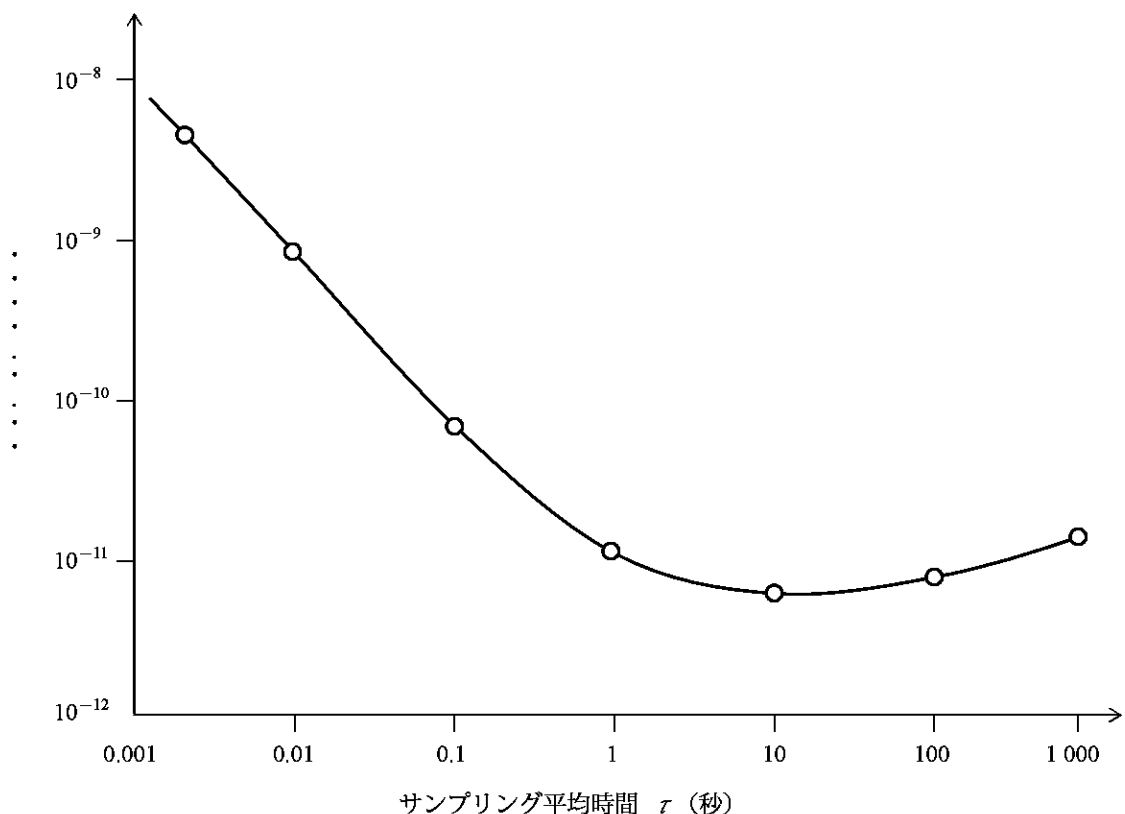
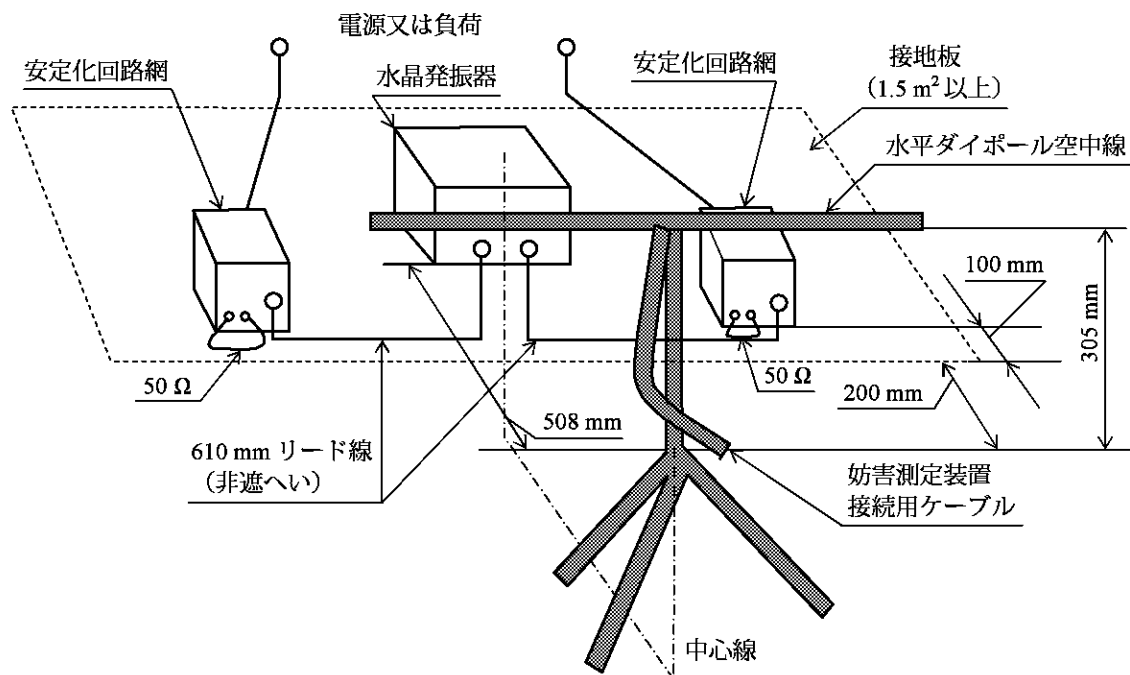


図 50 代表的な 5 MHz 高精度水晶発振器の時間領域での短期周波数安定度

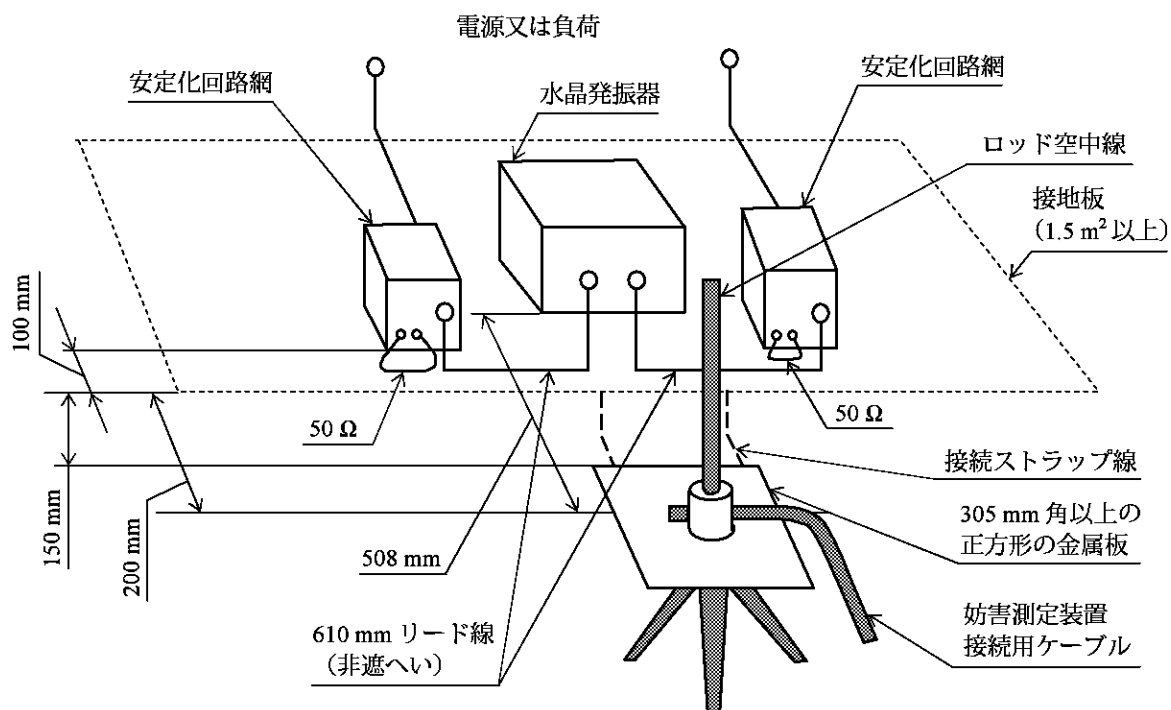
4.5.32 電磁波干渉（ふく射） 国際的な規定がない場合は、次の方法を用いる。

試験の機器の配置・接続は、図 51a 及び図 51b に示す。



備考 安定化回路網は、接地板に接続する。

図 51a 30 MHz 以上の放射妨害試験のための典型的な配置



備考 安定化回路網は、接地板に接続する。

図 51b 30 MHz 未満の放射妨害試験のための典型的な配置

図 51 放射妨害試験

4.5.32.1 試験条件 放射妨害試験は、基本的に高さ 2.4 m、幅 2.1 m、奥行き 4.6 m 以上の寸法の遮へい室で行うことが望ましい。

理想的には、伝導妨害試験は、すべての回路に供給される入力線に適切なフィルタを備える部屋で行うことが望ましい。これが不可能ならば、試験中の水晶発振器以外から出る雑音電圧及び電場の影響がないことを確かめる予防処置を講じることが望ましい。これは、電源又は負荷回路に追加するフィルタの使用法を含む。

試験中の水晶発振器は、接地板の上に取り付け、接地板は、接地板の端と 0.9 m 以上離れない所で遮へい室に接続することを推奨する。

試験中の水晶発振器から安定化回路網までの引き出し線は、該当する図の中で示されるように、長さ 610 mm とし、遮へい又は非遮へいである。安定化回路網の中の測定に関係しない線路は、50 Ω の無誘導抵抗によって終端しなければならない。

安定化回路網のインピーダンス特性は、図 52 の範囲内である。このインピーダンス特性を達成するための一つの実践的な方法を図 53 に示す。

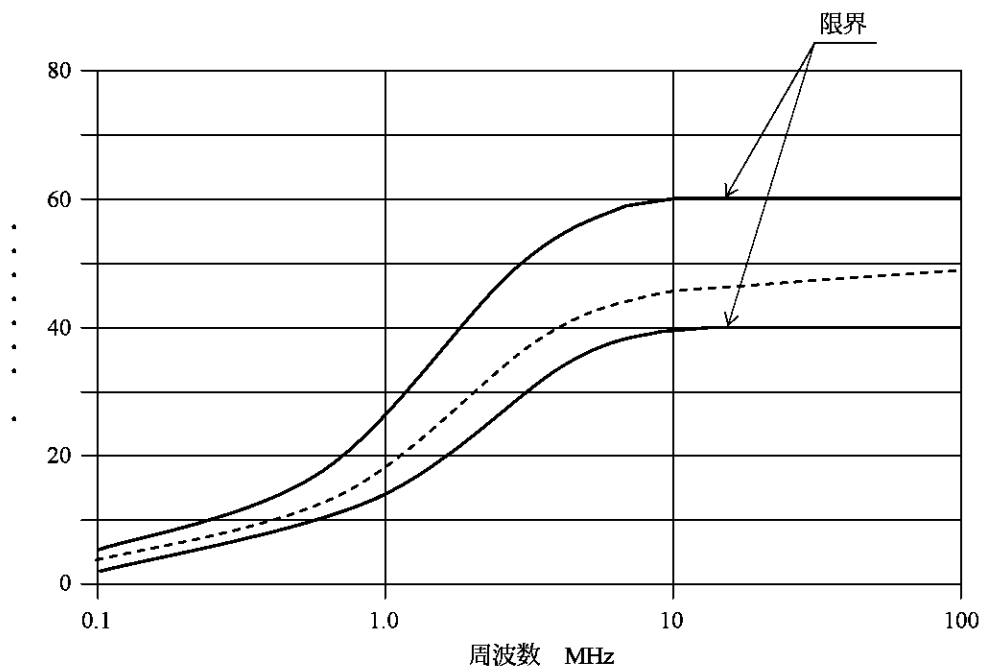
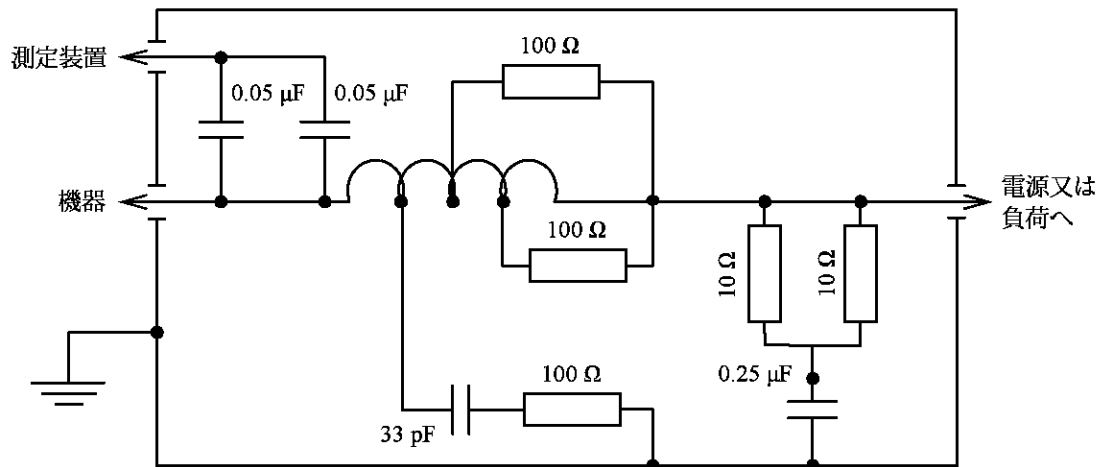


図 52 安定化回路網のインピーダンス特性

4.5.32.2 手順 水晶発振器は、4.5.32.1 に述べた測定装置をもつ遮へいした部屋の中に置く。

測定は、電波妨害の視点から妨害信号が最大となる負荷条件で行う。長さ 1 016 mm \pm 25 mm の垂直のロッド空中線は、30 MHz 未満の周波数で使用する。それは、接地した板の手前に沿って平行に動かしたときに妨害が最も大きく現れる位置に置く。30 MHz 以上及び 50 MHz 以下の周波数に対しては 50 MHz 水平のダイポール空中線を使用し、50 MHz を超える周波数では共振形の水平ダイポール空中線を使用する。それを接地した板の前端と平行に置く。その高さは、接地した板の高さよりも 305 mm \pm 25 mm 高くする。さらに、その中心は、試験試料の幾何学的な中心になるように調整する。ロッド又はダイポール空中線は、試験する水晶発振器の表面に近い位置から 508 mm に置く。ダイポールの長さが試験配置のそれよりも小さい場合には、設置面の端に平行で応答が最大になる所まで移動する。



コイルの特性：5 μH ，10 ターン，5.89 mm (0.232 インチ) 4SWG⁽¹⁾ 巻枠の直径 51.0 mm (2 インチ)

注⁽¹⁾ 英国巻線規格基準

図 53 安定化回路網の線路インピーダンスの回路図

4.5.32.3 測定装置 この規格に規定の測定には、ピーク値測定装置及び表 1 に示す限界値内の帯域幅をもつ測定装置を使用することが望ましい。適切な補正係数を使うことによって、その他の帯域幅の測定装置も使用することができる。

表 1 測定系の帯域幅

周波数範囲 MHz	6 dB バンド幅の限界
0.05～0.15	200 Hz \pm 100 Hz
0.15～30	9 kHz \pm 1 kHz
30～300	150 kHz \pm 50 kHz
300～1 000	150 kHz \pm 50 kHz

すべての電圧は、50 Ω で測定する。測定装置の入力インピーダンスが、この値と違う場合には、適切な整合回路を使用し、適切な補正係数を適用する。測定器装置が擬似ピーク電圧計だけの場合には、測定値をピーク電圧に変換する必要がある。

測定装置のインパルス帯域幅は、通常 1 kHz でないので、該当する補正係数は、直線を適用する。

測定装置は、常に妨害信号の応答が最大になるように同調させる。

4.5.33 位相ジッタ 三つの基本的方法を、次に示す。

- a) デジタルリアルタイムオシロスコープ又はサンプリングオシロスコープを使用する時間領域の測定
- b) データ領域の測定 (BER 試験装置)
- c) 周波数領域の測定
 - 1) 位相雑音測定装置の使用、又は
 - 2) ジッタ及びワンダ試験装置

位相雑音測定装置を使用する方法 c) 1) が、任意の発振器出力周波数に十分な精度が見込まれるので、推奨できる測定方法である。

4.5.33.1 時間領域における測定 デジタルリアルタイムオシロスコープ又はサンプリングオシロスコープは、広帯域・高速サンプリングレート・大容量のデータメモリをもつものが市販されており、中にはジッタ評価専用ソフトが附属されているものもある。

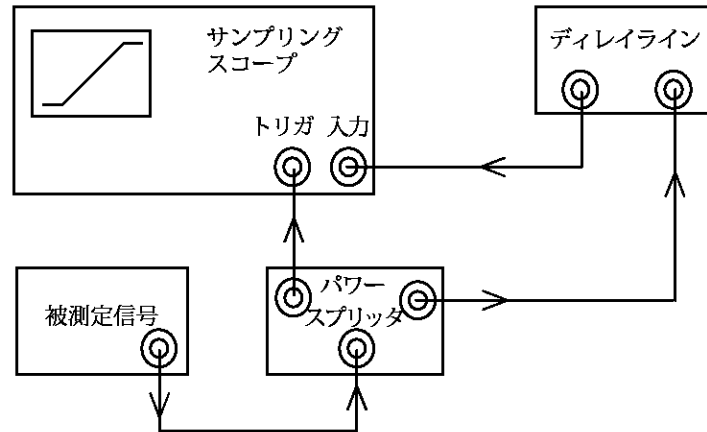


図 54 サンプルングオシロスコープによる位相ジッタ測定

被測定クロック信号のトリガエッジの時間変動を、画面に表示するとともに多周期（通例、数千周期）にわたり保存する。計測器のソフトウェアは、ピークピークジッタ値の決定とその分布の統計的評価を与える（図 54 参照）。サンプリングオシロスコープ法では、ジッタのスペクトル成分の正確な評価を見込めない。さらに、1 UI より大きいジッタは、識別できない。

測定されたジッタ値 ($Jitter_{meas}$) は、計測器のクロックの内部ジッタ ($Jitter_{int}$) によって、供試品 (DUT) のジッタ ($Jitter_{DUT}$) より悪くなる。

$$Jitter_{DUT} = \sqrt{(Jitter_{meas})^2 - (Jitter_{int})^2}$$

高安定又は低ノイズ水晶発振器は、測定器のクロックジッタ及びトリガ精度よりも非常に小さいジッタを示す。したがって、この測定方法は、高安定又は低ノイズ水晶発振器の精密なジッタ測定に適さない。

4.5.33.2 データ領域における測定 BER 試験装置は、通信サブシステムのシステム全体の性能評価を、ビット誤り率 (BER) として測定するために用いる。水晶発振器のジッタとシステムのビット誤り率 (BER) との関係を示すことは困難である。この測定方法は、水晶発振器のジッタ値を、定量的に与えることもできない。

4.5.33.3 周波数領域における測定

4.5.33.3.1 位相雑音測定装置 ジッタは、4.5.25 の位相同期ループを用いて確立された位相雑音測定方法を使用して、周波数領域で測定することができる。

SDH/SONET の用途におけるフーリエ周波数レンジ ($f_{min} \dots f_{max}$) は、2.2.39 (位相ジッタ) に従って選択する。もし、関係するデータシートに規定がなければ、推奨フーリエ周波数レンジは、表 2 の f_3 から f_4 で与えられる。

表 2 位相雑音試験のフーリエ周波数レンジ

発振器出力周波数	$f_0=f_{\min}$	f_3	$f_4=f_{\max}$
1 MHz 以上 10 MHz 未満	10 Hz	10 kHz	100 kHz
10 MHz 以上 50 MHz 未満	20 Hz	20 kHz	500 kHz
50 MHz 以上 200 MHz 未満	100 Hz	50 kHz	1.5 MHz
200 MHz 以上 1 000 MHz 未満	1.0 kHz	200 kHz	5.0 MHz
1 000 MHz 以上 5 000 MHz 未満	5.0 kHz	500 kHz	15 MHz
5 000 MHz 以上	20 kHz	2 MHz	80 MHz

表 2 から最も厳しい要求は、 f_3 から f_4 のレンジに適用することが分かる。 f_3 から f_4 以外の周波数帯域におけるジッタ性能も同様に定義される。

位相ジッタを計算するために、位相雑音データ $L(f)$ は、次に示すようにして、検討する周波数範囲で積分し、算出しなければならない。

位相変動 $S_\phi(f)$ のスペクトラム密度は、SSB 位相雑音のプロット $10 \log_{10} L(f)$ から計算する。

$$S_\phi(f) = 2L(f)$$

帯域幅における位相ジッタの二乗平均を得るために、規定された f_{\min} から f_{\max} までのフーリエ周波数範囲にわたって $S_\phi(f)$ を積分する。

$$\langle \Delta \Phi^2(f) \rangle = \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} S_\phi(f) df$$

位相ジッタの二乗平均は、 n で分割された仕様周波数レンジ f_{\min} から f_{\max} まで逐次積分することによって近似する。例えば、

$$\langle \Delta \Phi^2(f) \rangle \approx \sum S_\phi(f_i) \Delta f_i$$

$$\text{ここに、} \Delta f_i = f_{i+1} - f_i \quad (i=1 \cdots n-1)$$

$$f_1 = f_{\min} \quad \text{及び} \quad f_n = f_{\max}$$

積分の平方根 $\Delta \Phi(f)$ は、ラジアン単位における実効又は rms 位相ジッタである。これは次に示す係数 k を乗じることによって、度 (°)、ユニットインターバル (UI) 単位、又は時間 (秒) に変換することができる。

	度 (°)	ユニットインターバル (UI)	時間 (秒)
$k =$	$360/2\pi$	$1/(2\pi)$	$1/(2\pi f_c)$

ランダムジッタにおけるピークピークジッタは、先に計算した値の 7 倍とみなす (2.2.39 参照)。

精度 全フーリエ周波数範囲にわたる位相雑音データ $10 \log_{10} L(f)$ の 1 dB の誤差は、約 10 % のジッタの不正確さの原因となる。

4.5.34 コミュニケーションアナライザ ITU-T O.172 に規定の方法による、市販のコミュニケーションアナライザを、クロック源のジッタ又はワンダの測定に用いてもよい。動作原理は、直交位相検波法を用いた位相雑音測定技術に類似している。試験装置に附属のソフトウェアは、すべての測定値を、直接、ジッタ及びワンダとして数値及び画像表示で出力する (図 55 参照)。

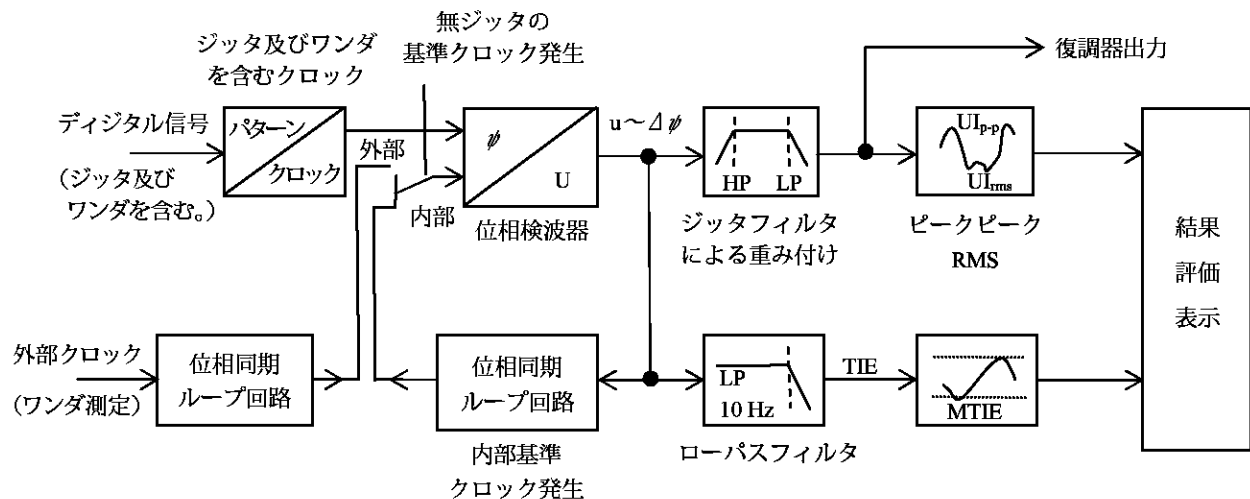


図 55 ITU-T O.172 に準拠したジッタ及びワンダアナライザのブロックダイアグラム

位相雑音試験におけるこれらシステムの利点は、rms 及びピークピークの両方の測定が可能なことである。これらのシステムの欠点は、表 3 に示す光通信システム (SONET, SDH) の標準ビットレートに従った入力信号 (発振器の周波数) を必要とすることである。

表 3 用途別標準ビットレート

SDH	SONET	ビットレート Mbit/s	測定可能な発振器周波数
—	OC-1	51.84	25.92 MHz, 51.84 MHz
STM-1	OC-3	155.52	77.76 MHz, 155.52 MHz
STM-4	OC-12	622.08	311.04 MHz, 622.08 MHz
STM-16	OC-48	2 488.32	1 244.16 MHz, 2 488.32 MHz
STM-64	OC-192	9 953.28	4 976.64 MHz, 9 953.28 MHz

その他の出力周波数の発振器は、試験することができないため、使用領域が制限される。

備考 その他の用途では、異なる要求の可能性がある。

4.6 機械的試験及び耐候試験手順

4.6.1 端子強度 (破壊)

4.6.1.1 端子の引張及び押力試験 この試験は、JIS C 60068-2-21 の試験 U_{a1} (引張強さ) 及び試験 U_{a2} (押し強さ) に従って行う。個別規格に規定がない場合には、引張力の値は、表 4 に示し、押力の値は、表 5 に示す。

4.6.1.2 リード線端子の曲げ強さ この試験は、JIS C 60068-2-21 の試験 U_b (曲げ強さ) によって行う。個別規格に規定がない場合には、曲げは、水晶発振器の本体から 2.5 mm ± 0.5 mm の位置で行い、曲げ回数は 3 回とし、おもりの質量と曲げ力は、表 6 による。

4.6.1.3 取付けスタッドのトルク試験 この試験は、JIS C 60068-2-21 の試験 U_d (トルク強さ) によって行う。個別規格に規定がない場合には、トルク値は、表 7 による。

表 4 引張力

公称断面積 ⁽¹⁾ mm ²	断面が円形の場合の公称線径 mm	引張力 (許容差 ±10 %) N
0.1 < S ≤ 0.2	0.35 < d ≤ 0.5	5
0.2 < S ≤ 0.5	0.5 < d ≤ 0.8	10
0.5 < S ≤ 1.2	0.8 < d ≤ 1.25	20

注⁽¹⁾ 円形断面、板状又はピンの場合：
 公称断面積は、個別規格の規定による公称寸法値から算出する。
 標準の線としては：
 公称断面積は、個別規格の規定によるそれぞれのより線のしん（芯）線の断面積を総計する。

表 5 押力

公称断面積 ⁽¹⁾ mm ²	断面が円形の場合の公称線径 mm	押力 (許容差 ±10 %) N
0.1 < S ≤ 0.2	0.35 < d ≤ 0.5	1
0.2 < S ≤ 0.5	0.5 < d ≤ 0.8	2
0.5 < S ≤ 1.2	0.8 < d ≤ 1.25	4

注⁽¹⁾ 円形断面、板状又はピンの場合：
 公称断面積は、個別規格の規定による公称寸法値から算出する。

表 6 曲げ力

断面係数 mm ³	円形リード線の公称線径 mm	曲げ力 (許容差 ±10 %) N
4.2 × 10 ⁻³ < Z _x ≤ 1.2 × 10 ⁻²	0.35 < d ≤ 0.5	2.5
1.2 × 10 ⁻² < Z _x ≤ 0.5 × 10 ⁻¹	0.5 < d ≤ 0.8	5
0.5 × 10 ⁻¹ < Z _x ≤ 1.9 × 10 ⁻¹	0.8 < d ≤ 1.25	10

備考1. 丸線の場合の断面係数は、次の式によって算出する。

$$Z_x = \frac{\pi d^3}{32}$$

ここに、 d ：リード線径
 Z_x ：断面係数

板状端子の場合の断面係数は、次の式によって算出する。

$$Z_x = \frac{ba^2}{6}$$

ここに、 a ：曲げ軸に垂直な板の厚み
 b ：板の他辺の寸法
 Z_x ：断面係数

2. 断面係数 Z_x は、JIS Z 8202-3 の 3-21 で定義され、機械工学の分野で用いられている。

表 7 トルク

ねじの公称径 mm	2.6	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0
トルク N・m 厳しさ 2	0.2	0.25	0.4	0.6	1.0	1.25

4.6.2 気密性（非破壊）

4.6.2.1 大リーク試験 この試験は、JIS C 60068-2-17 の試験 Q₆、試験方法 1 又は試験方法 2 によって行う。

方法 1 浸せき液は、ガス抜きされた水を用い、気圧を 8.5 kPa (85 mbar) 以下まで減圧する。大気圧に戻す前に排水したり、供試品を動かしてはならない。

方法 2 浸せき液は、125 °C ± 5 °C に保つ。個別規格に規定がない場合には、浸せき時間は 30 秒間とする。試験中、水晶発振器内部からガス又は空気の漏れがあってはならない。連続した気泡の発生は、リークの証拠である。

4.6.2.2 小リーク試験 この試験は、JIS C 60068-2-17 の試験 Q₆、試験方法 1 によって行う。個別規格に規定がない場合には、加圧容器内の圧力は 200 kPa (2 bar) とする。個別規格に規定がない場合、最大リーク率は、2.3.5 の規定値を超えてはならない。

4.6.3 はんだ付け（はんだ付け性及びはんだ耐熱性）（破壊）

4.6.3.1 はんだ付け性

試験 A リード線端子形の製品に適用する。この試験は、JIS C 60068-2-20 の試験 Ta、方法 1 によって行う。端子のはんだめれ性は、溶融はんだに浸すことによって明らかに分かるので、端子のめっきが良好であるかを調べる。

試験 B 表面実装形部品（SMD）の製品に適用する。この試験は、JIS C 60068-2-58 によって行う。個別規格に規定がない場合には、235 °C ± 5 °C のはんだ槽に 2 秒 ± 0.2 秒間浸し、端子のはんだめれ性が良好であるかを調べる。

4.6.3.2 はんだ耐熱性

試験 A リード線端子形の製品に適用する。この試験は、JIS C 60068-2-20 の試験 Tb、方法 1A によって行う。個別規格に規定がない場合には、浸せき時間は、5 秒 ± 1 秒間とする。断熱板は、はんだ槽からの熱放射によって水晶発振器への影響を避けるために用いる。また、個別規格に規定がない場合、水晶発振器の端子の根本から 2 mm の所まで浸す。

試験 B 表面実装形部品（SMD）の製品に適用する。この試験は、JIS C 60068-2-58 によって行う。個別規格に規定がない場合には、はんだ槽温度は、260 °C ± 5 °C とし、浸せき時間は 10 秒 ± 1 秒間とする。

4.6.4 温度の急激な変化：液体への浸せきによる熱衝撃（非破壊） この試験は、JIS C 0025 の試験 N₆ によって行う。水晶発振器は、98 °C ± 3 °C から 1 °C ± 1 °C までを 5 秒間で下げる試験を 1 サイクルとして行う。

4.6.5 温度の急激な変化：空気中の熱衝撃（非破壊） この試験は、JIS C 0025 によって行う。非温度補償形水晶発振器の場合、低温槽と高温槽の温度は、個別規格に規定の動作温度範囲の下限及び上限の温度とする。温度補償形の水晶発振器の場合、個別規格に規定がない場合には、低温及び高温は、それぞれ -40 °C ± 3 °C 及び +85 °C ± 3 °C とする。

個別規格に規定がない場合には、水晶発振器は、低温及び高温にそれぞれ 30 分間ずつ放置する。10 サ

イクルの試験後、水晶発振器を標準環境状態に 2 時間以上放置する。

4.6.6 バンプ（破壊） この試験は、JIS C 60068-2-29 によって行う。水晶発振器は、個別規格の規定によって取り付ける。バンプを加える方向は、次の方向を含み、互いに直交した 3 軸方向とする。

- 水晶発振器の端子と平行な方向
- 水晶発振器のベースと平行な方向

表面実装形（SMD）の場合：

- 水晶発振器の端子ランド面と平行な方向
- 水晶発振器の端子ランド面と直交する方向

個別規格に規定がない場合、加速度、作用時間及び回数の試験条件は、2.3.2 による。

4.6.7 振動（破壊）

4.6.7.1 正弦波振動（非動作） この試験は、JIS C 60068-2-6 によって行う。水晶発振器は、個別規格の規定によって取り付ける。加速度を加える方向は、次の方向を含み、互いに直交した 3 軸方向とする。

- 水晶発振器の端子と平行な方向
- 水晶発振器のベースと平行な方向

表面実装形（SMD）の場合：

- 水晶発振器の端子ランド面と平行な方向
- 水晶発振器の端子ランド面と直交する方向

個別規格は、加速スペクトル密度（ASD）、周波数範囲及び試験時間を規定する。

4.6.7.2 正弦波振動（動作） この試験は、4.6.7.1 によって行う。水晶発振器は、試験中動作状態とし、個別規格に規定の電氣的試験をする。個別規格に規定がない場合には、周波数範囲、振動振幅及び持続時間は、2.3.3 による。

4.6.7.3 ランダム振動（非動作） この試験は、IEC 60068-2-36 の試験 Fdb によって行う。水晶発振器は、個別規格の規定によって取り付ける。加速度を加える方向は、次の方向を含み、互いに直交した 3 軸方向とする。

- 水晶発振器の端子と平行な方向
- 水晶発振器のベースと平行な方向

表面実装形（SMD）の場合：

- 水晶発振器の端子ランド面と平行な方向
- 水晶発振器の端子ランド面と直交する方向

個別規格は、加速スペクトル密度（ASD）、周波数範囲及び試験時間を規定する。

4.6.7.4 ランダム振動（動作） 試験は、4.6.7.3 によって行う。水晶発振器は、試験中動作状態とし、個別規格に規定の電氣的試験をする。

4.6.8 衝撃（破壊） この試験は、JIS C 60068-2-27 によって行う。水晶発振器は、個別規格の規定によって取り付ける。衝撃を加える方向は、次の方向を含み、互いに直交した 3 軸方向とする。

- 水晶発振器の端子と平行な方向
- 水晶発振器のベースと平行な方向

表面実装形（SMD）の場合：

- 水晶発振器の端子ランド面と平行な方向
- 水晶発振器の端子ランド面と直交する方向

個別規格に規定がない場合には、厳しさの程度は、2.3.4 による。

4.6.9 自然落下(破壊) この試験は、JIS C 60068-2-32 の方法 1 によって行う。水晶発振器は、1 000 mm の高さにその端子を用いてつり下げる。個別規格に規定がない場合には、落下回数は 2 回とする。

4.6.10 加速度(定常)(非破壊)

4.6.10.1 加速度(定常)(非動作) この試験は、JIS C 60068-2-7 によって行う。水晶発振器は、個別規格の規定によって取り付ける。手順及び厳しさは、個別規格の規定による。

4.6.10.2 加速度(定常)(動作) この試験は、4.6.10.1 によって行う。水晶発振器は、試験中動作状態とする。個別規格に規定の電氣的試験をする。手順及び厳しさは、個別規格の規定による。

4.6.11 加速度(2G 加重) この試験は、使用者と製造業者の合意による。

4.6.12 音響雑音 この試験は、使用者と製造業者の合意による。

4.6.13 減圧(非破壊) この試験は、JIS C 60068-2-13 によって行う。手順及び厳しさは、個別規格の規定による。

4.6.14 高温(耐熱性)(非破壊) この試験は、JIS C 60068-2-2 の試験 Ba によって行う。試験は、個別規格に規定がない場合には、環境条件 (2.3.1) の上限温度で 16 時間行う。

4.6.15 温湿度サイクル(破壊) この試験は、JIS C 60068-2-30 の試験 Db, 方法 1 によって行う。厳しさ (2) 及び 55 °C で 6 サイクルとする。

4.6.16 低温(非破壊) この試験は、JIS C 60068-2-1 の試験 Aa によって行う。個別規格に規定がない場合には、環境条件 (2.3.1) の下限温度で 2 時間実施する。

4.6.17 連続耐候性(破壊) この試験及び測定は、次の順序で実施する。

- 高温 4.6.14 参照
- 温湿度サイクル 4.6.15 参照 (最初の 1 サイクルだけ)
- 低温 4.6.16 参照
- 温湿度サイクル 4.6.15 参照 (残り 5 サイクル)

この試験中、温湿度サイクル (最初の 1 サイクル) 及び低温試験期間を除き、3 日間以上の間隔をあけてはならない。ただし、低温試験は、温湿度サイクル試験で規定されている回復期間後すぐ行う。

4.6.18 高温高湿試験(定常)(破壊) この試験は、JIS C 60068-2-3 によって行う。個別規格に規定がない場合には、56 日間実施する。

4.6.19 塩水噴霧(サイクル)(破壊) この試験は、JIS C 60068-2-52 によって行う。個別規格に規定がない場合には、厳しさ 1 を適用する。

4.6.20 カビ発生(非破壊) この試験は、IEC 60068-2-10 の試験 J, 方式 2 によって行う。

警告 この試験は、健康障害を引き起こすため、特別な予防措置を講じなければならない (IEC 60068-2-10 の附属書 A を参照)。

4.6.21 耐溶剤性(浸せき)(非破壊) この試験は、外面表示だけに適用する。表示の耐久性を確かめるため、JIS C 60068-2-45 の方法 1 によって行う。個別規格には、溶剤の種類、溶剤の温度並びにラッピング材料及びその寸法・力を規定する。表示は、判読できることとする。

4.6.22 放射線強度試験 “検討中”

4.7 耐久試験の手順

4.7.1 エージング試験(非破壊) 水晶発振器は、連続 30 日間規定温度に保持する。試験中の温度管理及び周波数測定精度は、規定の最大周波数許容差の測定精度に一致させる。個別規格に規定がない場合には、水晶発振器は、試験中試験槽内に入れたままにし、連続して電源電圧を印加する。

出力周波数は、最初の 24 時間が終了した時点及び 30 日間の期間が終了した時点で測定する。さらに、

期間中 1 日以上, 5 日以下の間隔で少なくとも 4 回の間中測定を行う。測定は, 4.5.4 によって行う。

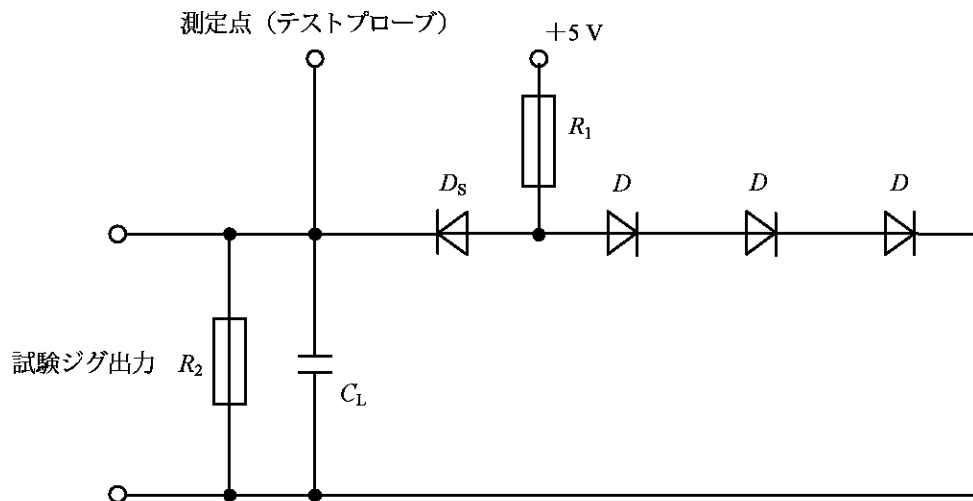
性能要求は, 試験中の最大周波数の変化量で表すか, 又は試験期間の最終 5 日間の時間に対する周波数曲線のこう配 (3 回以上の測定に基づく) によって表す。温度の推奨条件は, SPXO 及び TCXO は, 規定されている最高動作温度とする。OCXO は, $+25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ とする。

4.7.2 長期エージング (非破壊) この試験は, 4.7.1 によって行う。連続期間は, 個別規格によって, 1 000 時間, 2 000 時間及び 8 000 時間とし, 参考にとどめる。測定は, 4.5.4 によって行う。測定は $+25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 又はその他の規定の温度とする。

4.7.3 動作エージング試験 密封形恒温槽制御水晶発振器の場合, 動作エージングレートの測定は, 4.7.1 のエージング試験と同時に実施する。4.7.1 の試験条件及び要求事項を適用する。

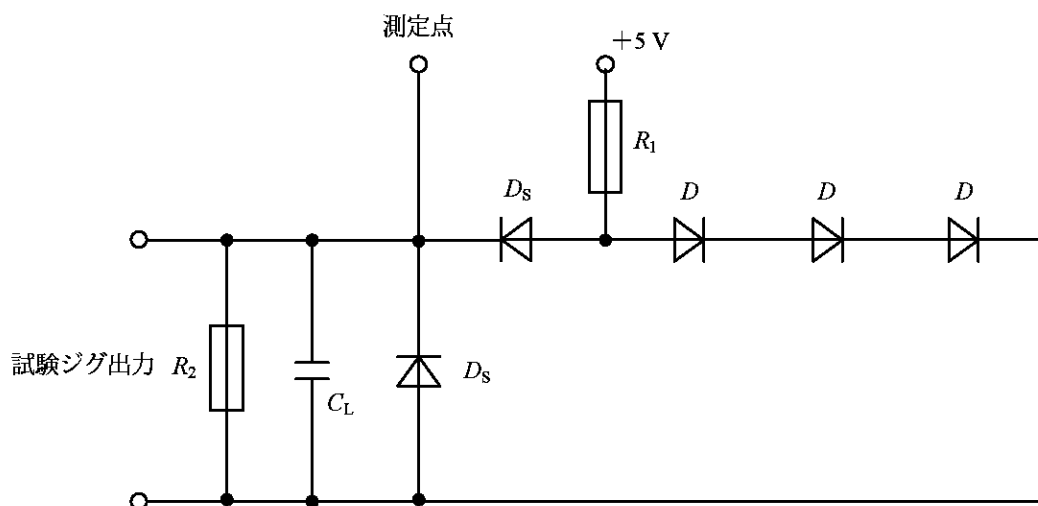
附属書 A (規定) ロジック駆動用負荷回路

A.1 TTL 及びショットキー ロジック駆動回路用に設計された水晶発振器の試験ジグは、水晶発振器を駆動するための負荷条件と同等なものではない。TTL 及びショットキーロジックに対する推奨試験回路は、附属書 A 図 1 及び附属書 A 図 2 による。



備考 標準 TTL (54/74 シリーズ)
高速 TTL (54/74 シリーズ)

附属書 A 図 1 TTL 回路



備考 ショットキーロジック (54S/74S シリーズ)
低電力ショットキーロジック (54LS/74LS シリーズ)

附属書 A 図 2 ショットキーロジック用負荷回路

附属書 A 図 1 及び附属書 A 図 2 に関する注記事項

— ダイオード D は、1N916 及び 1N3064 タイプである。

- ダイオード D_s は、高速タイプである（例 1S1993）。
- R_1 及び R_2 は負荷要件によって決まり、次の式で計算する。

$$R_1 = \frac{5 - (V_{OL} + V_D)}{n |I_{IL}|}$$

$$R_2 = \frac{V_{OH}}{n |I_{IH}|}$$

ここに、
 n : ゲート数
 V_{OL} : 水晶発振器ローレベル出力電圧
 I_{IL} : ゲート当たりローレベル入力電流
 V_{OH} : 水晶発振器ハイレベル出力電圧
 I_{IH} : ゲート当たりハイレベル入力電流
 V_D : ダイオードにおける電圧降下

備考 この電圧降下は、附属書 A 図 1 では 0.65 V、図 2 では 0.45 V。

上の式で使用する各種 TTL シリーズのパラメータ値は、附属書 A 表 1 による。

C_L は、プローブやジグの静電容量も含んでいる。

附属書 A 図 1 及び附属書 A 図 2 の試験回路を使用した水晶発振器の出力電圧の一般的な限界値は、次による。

V_{OH} : 2.4 V min

V_{OL} : 0.5 V max

附属書 A 表 1 R_1 及び R_2 を算出するときに使用する値

TTL シリーズ	74	54	74H	54H	74L	54L	74LS	54LS	74S	54S
V_{OH} (V)	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.7	2.7	2.7	2.7
V_{OL} (V)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4
I_{IH} (μ A)	40	40	50	50	10	10	20	20	50	50
I_{IL} (mA)	-1.6	-1.6	-2.0	-2.0	-0.18	-0.18	-0.4	-0.4	-2.0	-2.0
C_L (pF)	15	15	25	25	50	50	15	15	15	15

次の情報は、個別規格で規定する。

R_1 , R_2 , C_L , V_{OH} 及び V_{OL} 並びに参考回路。

備考 特定の回路で適正な動作が行われている場合であっても、ある特定の水晶発振器がすべてのタイプの TTL ロジックで正しく動作することを保証しているわけではない。

A.2 CMOS CMOS ロジック回路用に設計された水晶発振器の試験ジグは、水晶発振器が駆動するための負荷条件と同等なものではない。負荷回路は、10 pF と動作対象のゲート数を掛け合わせた容量をもたなければならない。10 pF には 2.5 pF の浮遊容量を含む。

備考 これらの条件で適正な動作が行われている場合であっても、ある特定の水晶発振器がすべての CMOS ロジック回路で正しく動作することを保証しているわけではない。

A.3 ECL “検討中”

附属書 B（規定）ラッチアップ試験

B.1 定義

B.1.1 ラッチアップ 入出力又は電源の過電圧によって生じ、そして、持続する低インピーダンスの導通状態。

B.1.2 試験手順 非動作状態でのラッチアップ試験は、デバイスにとって、通常動作よりも大きなストレスを受ける。同程度の電流又は電圧を用いた動作試験よりも厳しい。

この試験は、この規定に定義した手順に従って行えば、CMOS 集積回路を使用した水晶発振のラッチアップに対する感性又は耐性の特性評価として必要、かつ、十分な方法である。

B.2 試験方法

B.2.1 この試験は、破壊試験である。

B.2.2 この試験は、CMOS 集積回路を使用した水晶発振器だけに適用する。

B.2.3 この試験は、IEC 60748-2 に従って行う。

B.2.4 この試験は、推奨試験手順であり、規定ではない。試験限界は与えられない。

B.2.5 この試験は、開発時の特性評価だけに行う。製品の試験には用いない。

附属書 C (規定) 静電破壊試験の種類

C.1 定義

C.1.1 静電気放電 (ESD) 異なる電位差をもつ物体間における静電荷の移動。

C.1.2 試験手順 この方法は、CMOS 集積回路を使用した水晶発振器が、静電気の放電 (ESD) を受けることによって生じる損傷劣化の感性又は耐性を分類するための手順として確立する。この分類は、水晶発振器の適切なこん (梱) 包方法又は取扱い方法の必要条件を明確にするために用いる。

C.2 試験方法

C.2.1 この試験は、破壊試験である。

C.2.2 リード形水晶発振器 リード形水晶発振器は、人体モデル (HBM) の ESD 試験を適用する。

試験手順は、IEC/PAS 62179 による。

最大試験電圧は、2 000 V を推奨する。

最大試験電圧は、製造業者と使用者とで協議して決めてもよい。

C.2.3 表面実装形 (SMD) 水晶発振器

表面実装形 (SMD) の水晶発振器は、通常、自動工程によってプリント基板 (PWBs) 上に組み立てられるので、機械モデル (MM) の ESD 試験を適用する。

試験手順は、IEC/PAS 62180 による。

最大試験電圧は、2 000 V を推奨する。

最大試験電圧は、製造業者と使用者とで協議して決めてもよい。

附属書 D (参考) 参考文献

この附属書 (参考) は、本体及び附属書 (規定) に関連する事柄を補足するもので、規定の一部ではない。

JIS C 61000-4-3 電磁両立性—第 4-3 部：試験及び測定技術—放射無線周波電磁界イミュニティ試験

備考 対応する国際規格は **IEC 61000-4-3:1995** Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4: Testing and measurement techniques—Section 3: Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test である。

IEC 60027-1:1992 Letter symbols to be used in electrical technology—Part 1: General

(電気工学用文字記号—第 1 部：一般)

IEC 60027-2:1972 Letter symbols to be used in electrical technology—Part 2: Telecommunications and electronics

(電気工学用文字記号—第 2 部：電気通信及びエレクトロニクス)

IEC 60410:1973 Sampling plans and procedures for inspection by attributes

(計数型抜取検査に対する抜取計画及び手順)

IEC 60679-2:1981 Quartz crystal controlled oscillators—Part 2: Guide to the use of quartz crystal controlled oscillators

(水晶発振器—第 2 部：水晶発振器の利用ガイド)

IEC 60679-3:1989 Quartz crystal controlled oscillators—Part 3: Standard outlines and lead connections

Amendment 1 (1994)

[水晶発振器—第 3 部：標準外形寸法及び端子接続，追補 1 (1994)]

IEC 60679-3A:1991 Quartz crystal controlled oscillators—Part 3: Standard outlines and lead connections. First supplement

IEC 61178-1: 1993 Quartz crystal units—A specification in the IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ)—Part 1: Generic specification

[水晶振動子—IEC 電子部品品質評価システム (IECQ) の規格—第 1 部：共通規格]

IEC Guide 102:1989 Electronic components—Specification structures for quality assessment (Qualification approval and capability approval)

[電子部品—品質認証規格の構成 (品質認証及び能力認証)]

IEEE 1139:1988 Standard definitions of physical quantities for fundamental frequency and time metrology

(基本的な周波数及び時間測定のための物量の標準定義)

ITU-R TF 686:1994 Glossary (用語)

Telcordia GR-253: Synchronous Optical Network (SONET) Transport Systems: Common Generic Criteria