

## 1 目的

立体導波管回路におけるマイクロ波の周波数測定法と定在波測定法の動作原理を理解する。

## 2 予習

マイクロ波回路用の空洞周波数計について構造や動作原理を調べよ。

3ギガヘルツ以上のマイクロ波回路の周波数測定に用いられる装置。原理的には、寸法の定まった金属箱が、寸法に応じて定まる特定の波長のマイクロ波と共振する空洞共振器を利用して、波長の逆数としての周波数を測定する。

マイクロ波回路における、整合、反射係数、定在波、定在波比について調べよ。

- ・整合：信号源インピーダンスと負荷インピーダンスと伝送路の特性インピーダンスが等しくなった状態のこと
- ・反射係数：進行する波に対し反射して戻ってくる波の電圧振幅の割合のこと。
- ・定在波：周期、速さ、振幅が同一で逆方向に進行する波が重なると、波がその場で振動するように見える現象が生じる。この波のことを、定在波、あるいは定常波と呼ぶ。
- ・定在波比：定在波の最大の振幅と最小の振幅の比率。

## 3 理論

高周波伝送には一般に同軸ケーブルが使用されるが、マイクロ波の周波数では表皮効果による損失が大きいので断面寸法比が2:1の方形導波管が使用される。

導波管による立体マイクロ波回路で金属製の様々な形状の回路素子があり、空洞による共振回路や金属板による減衰器、フィルタ、分岐や合成を行う部品等がある。

高周波であるため分布定数回路として回路解析をする必要があり、特性インピーダンスの整合が取れない場合は反射はによる定在波が発生する。また、導波管での伝送は3次元的となり、通行の自由空間での電磁波の波長より長い管内波長をもつ。

導波管の遮断周波数  $f_c = c/\lambda_c$

遮断波長  $\lambda_c = 2a$

管内波長  $\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (\frac{\lambda}{\lambda_c})^2}}$

定在波比  $S = V_{max}/V_{min} = (1 + \gamma)/(1 - \gamma)$

## 4 実験

1. 測定器にクリスタルマウントをクリップで接続する。マイクロ波発振器専用電源のMODSELECTORをCWにし、投入後、電源電圧計が9Vであることを確認する。  
クリスタルマウント出力をuVメータで観測し、マイクロ波の存在を確認する。
2. 空洞周波数計のつまみを回転させ、uVメーターの表示の最小点を探索せよ。つまみの数値を読み周波

数校正図から発信周波数を求めよ。

3. 2.の測定周波数から自由空間のマイクロ波波長を計算で求める。次にノギスを用いて実験装置の導波管の長辺方向の内側寸法を計測し、遮断波長を求める。これらの測定値から管内波長を計算で求める。
4. 定在波測定装置の探針を移動しながら探針のクリスタルマウント出力をuVメーターで測定し、グラフにプロットする。そのグラフから定在波の最小値間の距離 $L$ を求める。
5. 4.の $V_{\max}$ と $V_{\min}$ の値から、電圧定在波比を求め、さらに反射係数を計算で求めよ。

## 5 使用機器

- ・専用電源：SPC ELECTRONICS, TYPR 14T052, S/N R2780011, DATE 2013-7
- ・ $\mu$ Vメータ：MODEL PM-18R, TOA Electronics Ltd., SERIAL No.C96521D, 昭和63年3月製造
- ・高調波除去用LPF：SPC ELECTRONICS, TYPE14T028, S/N R2780191, DATE 2013-7
- ・アイソレーター：SPC ELECTRONICS, TYPE 14T017A, S/N R2780161, DATE 2013-7
- ・可変抵抗減衰器：SPC ELECTRONICS, TYPE 14T003, S/N R2780021, DATE 2013-7
- ・空洞共振周波数計：SPC ELECTRONICS, TYPE 14T004, S/N R2780031, DATE 2013-7
- ・定在波測定器：SPC ELECTRONICS, TYPE 14T005, S/N R2780041, DATE 2013-7
- ・クリスタルマウント：KDR-IOSA, 製造年月 1971-4 No.17416

## 6 実験結果

### 6.1 実験4.1

発振器の電源を投入したところ、電圧計は9Vを示した。また、クリスタルマウントの出力からマイクロ波の発生が確認できた。

### 6.2 実験4.2

クリスタルマウントの出力が最小となる点は2.95mmであった。周波数校正図から9365MHzであることが確認できた。

### 6.3 実験4.3

光速 $c$ は約3000000000m/sである。また、測定された周波数 $f$ は9365000000Hzであった。 $c/f$ より自由空間のマイクロ波長は0.03203m (32.03mm) であることが分かった。

次に、ノギスを用いて実験装置の導波管の長辺方向の内側寸法を計測したところ、23.05mmであることが分かった。3理論の導波管の遮断周波数の式より、遮断波長は46.10mmであった。以上の情報から管内波長は44.55mmであることが分かった。

### 6.4 実験4.4

クリスタルマウント出力を表1に示す。また、プロットしたグラフを図1に示す。

また、最小値間の距離 $L$ は22.5mmであった。この事実から管内波長は45.05mmであることが分かった。

### 6.5 実験4.5

前項の値から公式を用いて定在波比を計算したところ $S = 12.63$ であった。

また、反射係数 $\gamma$ は $S = (1 + \gamma)/(1 - \gamma)$ を $\gamma$ について整理して、 $\gamma = (S - 1)/(1 + S)$ とし、これに代入して求めた。結果、 $\gamma = 0.8532$ であった。

表1 クリスタルマウント出力の距離特性

位置[mm]	出力[mV]	位置[mm]	出力[mV]
90	9.1	136	11.0
92	12.0	138	12.1
94	12.7	140	12.0
96	11.2	142	10.0
98	9.0	144	7.3
100	5.8	146	4.3
102	2.8	148	1.8
104	1.2	150	0.9
106	1.3	152	2.0
108	3.3	154	4.4
110	6.4	156	7.4
112	9.5	158	10.5
114	12.0	160	12.2
116	12.9	162	12.5
118	12.0	164	11.0
120	10.0	166	8.6
122	7.0	168	5.4
124	3.7	170	2.5
126	1.5	172	1.1
128	1.1	174	1.6
130	2.6	176	3.8
132	5.3	178	7.1
134	8.4	180	10.0

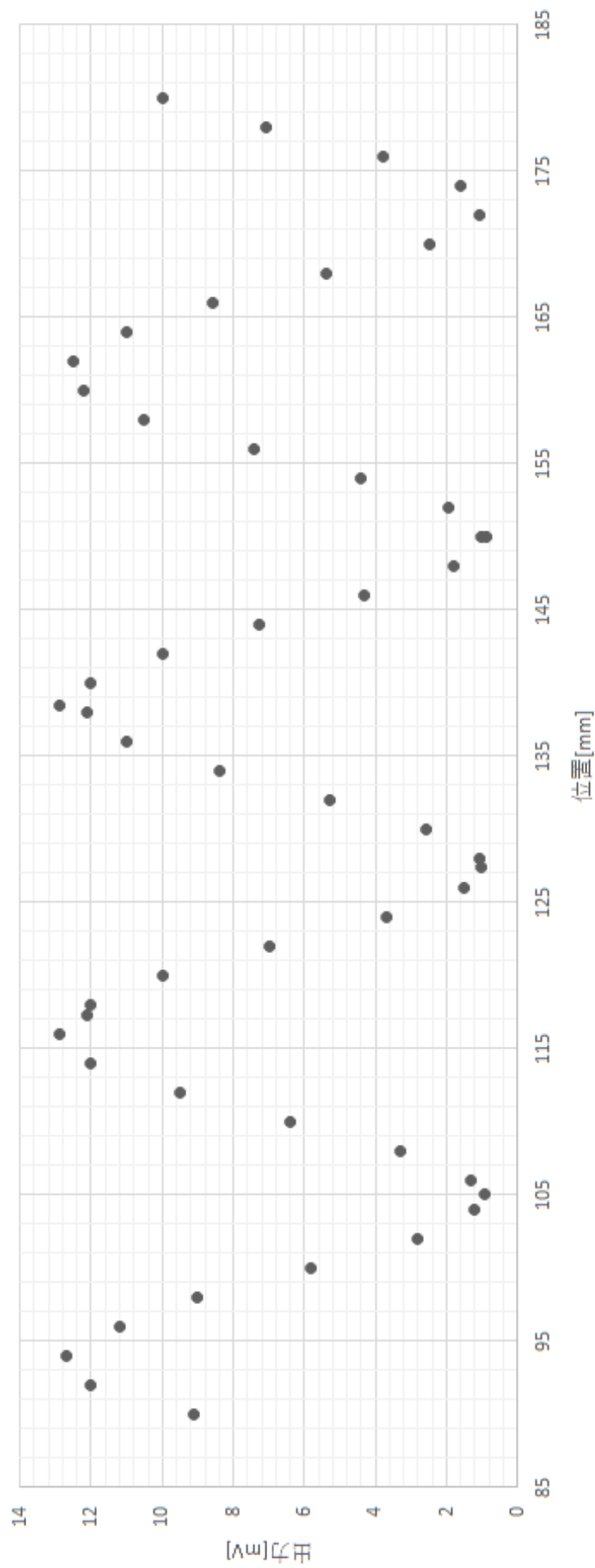


図1 クリスタルマウント出力の距離特性

## 7 考察

実験4.3で得た管内波長を真値として実験4.4のデータとの誤差を求めると、0.454であった。この時の誤差率は1.019%であった。

この誤差率は小さいものと捉え、実験全般において大きなミスはなかったものとする。

1.019%の誤差が発生した理由として考えられるのは、導波管の寸法測定誤差、uVの読み取り誤差などの測定に起因するものと、外部からの電磁的ノイズの影響などの環境的要因が考えられる。

実験4.5の結果から、定在波比と反射係数はそれぞれ $S = 12.63$ ,  $\gamma = 0.8532$ であった。

定在波比は最大の振幅を持つ定在波の振幅と最小の振幅を持つ定在波の振幅の比を表している。すなわち、値の取りうる範囲は1から $\infty$ である。定在波比は1となる時、定在波がない、つまり反射波が存在しない理想的な伝送状態であると言える。今回の実験では、12.63であり、高い値となってしまったと考える。

反射係数は反射波の電圧／進行波の電圧で定義され、反射波がどの程度存在するかを表す指標である。この値は、0に近いほど良いとされる。今回の反射係数は0.85であり、定義上の最大値は1であることから考えるとこれもかなり高い値であった。

以上の2つのパラメータから、伝送線路と負荷にインピーダンスの不連続（不整合）が存在し、反射波が発生していたことがわかった。一般にこれらのパラメータを改善し、反射波の発生を抑えるために、インピーダンスマッチングなどが行われている。