

第 2 図 変調度  $M$  に対する出力波形

Fig. 2. Output waveforms vs. values of degree of modulation  $M$ .

を除去した波形を示す。(c)図は出力波形の測定値と線形に出力された場合の理論値との比較を表す。理論値と測定値の差は(8)式で示した誤差  $D$  と一致し、また信号波に対する増幅度も  $M$  の値を小さくすることにより増大することがわかる。

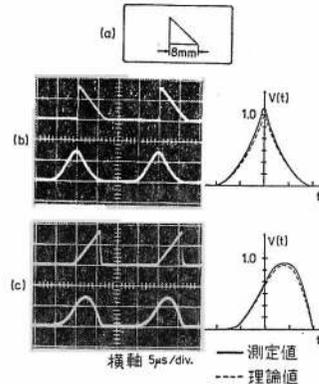
第 3 図 (a)~(c) は入力パターン (a) 図と信号波との相関出力を示し、(b)、(c) 図の上段が信号波  $f(t)$ 、下段が相関出力  $C(t)$  を表す。信号波  $f(t)$  に任意波形信号を使用できるため、(b) 図に示すような自己相関波形あるいは (c) 図のような逆向き波形との相互相関波形を簡単に得ることができる。振幅変調度  $M$  は 20% で、破線で示した理論値との出力誤差は(8)式で示した値となっている。

このように、本相関器では入力パターンに対して任意波形信号を用いた実時間相関演算を精度良く実行することが可能である。これを利用して、信号波をわずかずつ変化させて相関波形の変化の動きを観察したり、異なる単発波形で構成された信号波を用いて、幾つかの相関波形の同時比較を行なうことなどが可能となる。また、相関波形の振幅値をもとにしたパターンマッチング法によって、入力パターンの特徴検出も考えられ、次章で述べる空間周波数検出装置は、連続的に出力される相関出力の振幅値により、入力パターンの空間周波数スペクトラムを検出するものである。

なお実験に際しての諸定数は、搬送波周波数 7.45 MHz、光源波長 6,328 Å、ULM 内の超音波伝搬媒質はエタノールで音速 1,150 m/s、フーリエ変換レンズの焦点距離 465 mm である。ULM の周波数対出力光強度特性は、周波数  $7.45 \pm 0.6$  MHz 以内で、光電変換後の電圧変化  $\pm 2.0$  dB 以内である。

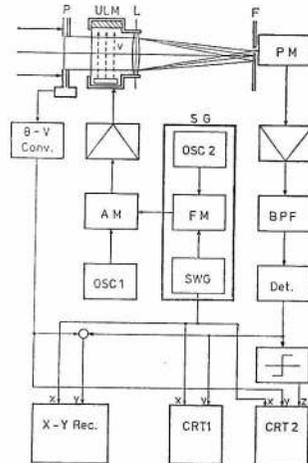
3. 空間周波数検出装置の構成と動作

〈3・1〉 試作装置と動作原理 第 4 図は前章で述べた相関器による空間周波数検出装置の構成略図である。OSC 1 は 7.45 MHz の搬送波発振器、AM は振幅変調器、SG の部分は線形 FM 信号を発生する掃引



第 3 図 入力信号と相関出力波形

Fig. 3. Input signals and correlation output waveform.



第 4 図 空間周波数検出装置の構成略図

Fig. 4. Schematic diagram of spatial frequency detection system.

発振部である。光電子増倍管 PM の出力は、周波数帯域フィルタ BPF、検波整流回路 Det. に送られ、相関出力波形の包絡線が分離検出される。各出力表示装置は SG 内の掃引信号発生器でトリガ掃引される。

光学系は相関器と同一構成であるが、パターン入力面  $P$  の光軸垂直面内での回転が可能で、回転角に比例した電圧値が得られる装置を付加してある。

動作原理は、振幅変調した超音波により ULM 内に疎密強度の包絡線が正弦波状の超音波格子を形成し、この正弦波包絡線の空間周波数を時間と共に変化させて入力パターンとの空間的相関演算を行ない、相関出力波形の包絡線を掃引表示して入力パターンに含まれる空間周波数成分を検出するものである。これを実現





出可能な最低空間周波数  $\nu_i$  は、電気回路特性を考慮し  $n=4$  とすれば  $\nu_i=0.25$  cycle/mm である。また、振動子の共振周波数帯域幅 1.2 MHz より同じく最高空間周波数  $\nu_h$  は、 $\nu_h=1.0$  cycle/mm となる。

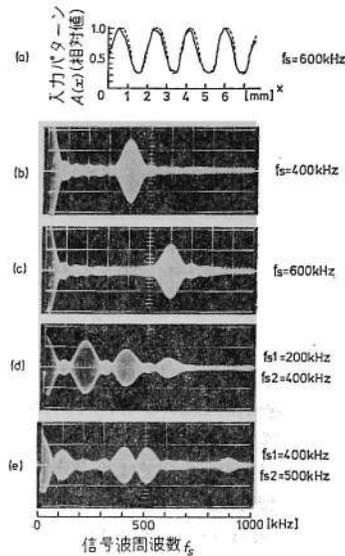
(3) (15)式の  $\nu_{ii}$  と(14)式  $C(t)_{out}$  の  $\nu_{ii}$ (cycle/mm)成分値  $C(\nu_{ii})_{p-p}$  の関係を表わす空間周波数  $\nu_{ii}$  対出力特性は、 $T_s=800$  mm の場合、 $\nu_{ii}=0.25$  cycle/mm 以上で一定となる。また、(15)式の  $\cos 2\pi \nu_{ii} x$  の振幅値と  $C(t)_{out}$  の振幅値  $C(t)_{p-p}$  は比例関係にあることより、 $C(\nu_{ii})_{p-p}$  は入力パターンに含まれている空間周波数  $\nu_{ii}$  の成分値を線形に表わすことになる。例えば、 $A(x)$  が偶関数の場合、 $A(x)$  のフーリエ変換は余弦変換となって周波数スペクトルを表わすが、この値は第 5 図の結果からも明らかのように  $C(\nu_{ii})_{p-p}$  と一致する。空間周波数対出力特性図は実測結果との比較のため第 10 図に示した。

4. 実験結果および検討

第 9 図 (a)~(e) は相関出力  $C(t)_{out}$  と、その周波数精度を示している。入力パターンは光強度透過率分布  $A(x)$  が正弦波形の二次元パターンで、 $100\mu\text{m}$  のピンホールを用いて  $x$  方向に実測した透過率  $A'(x)$  を (a) 図に示す。 $A(x)$  は  $A'(x)$  を  $y$  方向に積分したものの平均となり、破線で示す正弦波状の分布となる。(b)~(e) 図の横軸は信号波  $f_m(t)$  の周波数  $f_i$  を示す。(b), (c) 図はそれぞれ  $f_i=400$  kHz,  $600$  kHz の  $f_m(t)$  に相当する空間周波数パターンを入力して得た  $C(t)_{out}$  を示す。(d), (e) 図は同じく  $200$  kHz と  $400$  kHz,  $400$  kHz と  $500$  kHz のパターンを重ねて入力した場合の  $C(t)_{out}$  である。この場合、入力面での透過率分布は各々の透過率分布の積となり、 $C(t)_{out}$  にはそれぞれのパターンの周波数成分と和および差の周波数成分が出力される。(d) 図では和の成分が  $600$  kHz に、また (e) 図では差の成分が  $100$  kHz, 和の成分が  $900$  kHz に現われている。これら既知周波数の実測成分値が周波数目盛に対して有する誤差は、線形 FM 信号の周波数偏移精度が主因となり、本装置では  $\pm 5\%$  以内である。実験に際しての振幅変動度  $M$  は  $10\%$  である。

第 10 図は装置および ULM の周波数特性を示す。装置については  $\nu_{ii}$  と  $C(\nu_{ii})_{p-p}$  の関係を、また ULM については信号波周波数  $f_i$  と出力光強度  $I(f_i)$  の関係を示している。破線は〈3・3〉節(4)項で述べた  $C(\nu_{ii})_{p-p}$  の計算結果を示す。実測値、計算値とも  $T_s=800$  mm,  $d=20$  mm の結果である。

第 11 図は第 9 図(b)の出力波形を掃引時間  $T$

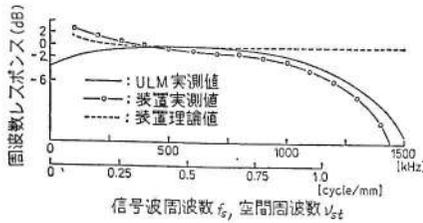


第 9 図 正弦波形格子パターンによる相関出力波形

Fig. 9. Correlation output waveforms by sinusoidal lattice pattern.

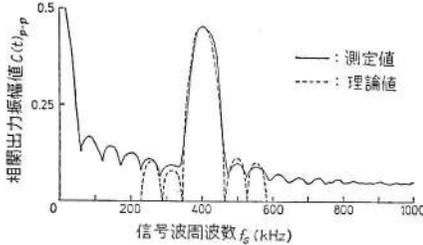
$=6.0$  s で記録した結果を示している。破線は  $T_s=6,400$  mm における計算結果で、 $400$  kHz の成分値を実測値に等しくとり、第 2 側葉まで示している。側葉で顕著に見られる測定値と計算値との差異は、入力面開口わくと入力パターンの正弦波形格子との空間的な位相差によって生ずるもので、装置内で発生する誤差ではない。第 12 図 (a), (b) は、この位相差により出力スペクトラムが変化する様子を示したものである。(a) 図に示すように入力面開口幅  $d=10$  mm で、空間周波数  $\nu_{ii}=0.4$  cycle/mm の正弦波形格子パターンを入力し、開口わくと格子との位相  $\phi$  を変化させて測定した結果を (b) 図に示す。側葉の大きさが  $\phi=\pi$  の周期で変動していることがわかる。本装置では、回折像の入力パターン位置に対する不変性より、開口より小さなパターンであれば、開口面内のどの位置に入力しても同一出力を得ることができるが、このように大きなパターンを開口わくと切り取って測定する場合には、パターンの位置を明確にする必要がある。

第 13 図 (a)~(d) は  $A(x)$  が偶関数である単純図形の出力スペクトラムと、 $A(x)$  のフーリエ余弦変換値 (d) との比較を示す。入力パターンはそれぞれに示した寸法の 2 値面積形パターンである。(a)~(c) 図の測定値は  $C(0)_{out}=1.0$  に正規化してある。第 14 図 (a)~(d) は相関出力  $C(t)_{out}$  が変調波であるために生ずる誤差について示したものである。2 値面積



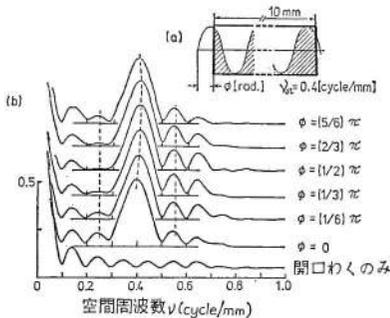
第 10 図 周波数特性測定値

Fig. 10. Measurement of frequency characteristics.



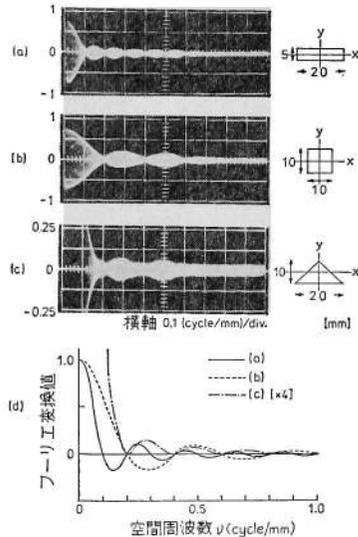
第 11 図 出力波形の測定値と計算値の比較

Fig. 11. Comparison between experimental and calculated value of output waveform.



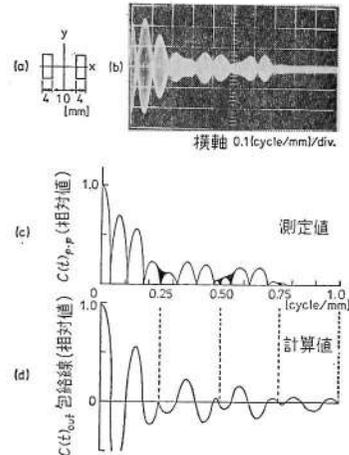
第 12 図 位相角  $\phi$  に対する空間周波数成分の変化  
Fig. 12. Change of spatial frequency components vs. spatial phase angle  $\phi$ .

形パターン (a) 図の相関出力を (b) 図に示す。(b) 図の波形の上側包絡線を (c) 図に示す。(d) 図は (a) 図のパターンの  $A(x)$  により, (14), (15) 式で  $C(t)_{out}$  を計算し, 位相状態を考慮して得た包絡線波形を示している。(c), (d) 図の比較より, (c) 図の波形の塗りつぶし部分が測定値誤差であることがわかる。この誤差は (d) 図で明らかのように, 包絡線波形の折点または高周波部分に集中して見られ,  $C(t)_{out}$  が (d) 図の包絡線波形を完全に表現できる周波数を持たない場合に生ずる。この場合, 測定精度を保つために  $T_s$  の値を大きくする必要がある。しかしながら, こ



第 13 図 出力波形とフーリエ変換波形の比較

Fig. 13. Comparison between Fourier transform and experimental output waveform.



第 14 図 出力波形の誤差

Fig. 14. Error of experimental output waveform.

の種の誤差は繰返し図形などによる極めて干渉性の強い  $A(x)$  の出力スペクトラムに限り局部的に発生するもので, 一般的な不規則分布パターンでは問題にするほどの量には至らず, 特に第 13 図で示したような単純図形では皆無である。第 13 図, 第 14 図での測定結果の出力振幅値精度は, 空間周波数 0.15~0.75 cycle/mm で計算値の  $\pm 1.5$  dB 以内, 第 10 図に示した周波数特性で調整した結果では 0.05~1.10 cycle

