

جمهورية العراق  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
جامعة بابل  
كلية العلوم

# تصميم و بناء ماسح ليزري هولوغرافي باستخدام الهولوغرامات الحاسوبية

رسالة قدمها الى  
مجلس كلية العلوم في جامعة بابل و هي جزء من متطلبات نيل  
درجة الماجستير علوم في الفيزياء

الطالب  
محمد حمزة خضير المعموري  
بكالوريوس علوم في الفيزياء  
١٩٩٩

شباط ٢٠٠٣ م

ذي الحجة ١٤٢٣ هـ

# Design and Construction of Laser Scanner Using Computer – Generated Holograms

A thesis

Submitted to The Council Of The College  
Of Science , University Of Babylon In Partial  
Fulfillment Of The Requirements For The  
Degree Of Master Of Science in Physics

By

**Mohammed Hamza Khdiar Al-Mamoori**

٢٠٠٣

## الخلاصة

إن العمل المنجز في هذه الرسالة قد تم في شركة الرازي العامة و جامعة بابل خلال الفترة من تشرين الاول ٢٠٠٠ لغاية ايلول ٢٠٠٢ بأشراف الأستاذ المساعد الدكتور عبد عون كاظم السعدي و الباحث العلمي الاقدم الدكتور حمد رحيم العزاوي . ان النتائج من عمل الباحث و لم تنشر في أي مصدر سابق و لم تقدم لنيل درجة علمية اخرى سابقاً ، بأستثناء ما هو مشار اليه في مصدر معين .

هذا البحث يتضمن مرحلتان رئيسيتان ، المرحلة الاولى تتمثل بتوليد الهولوجرامات الحاسوبية بأستخدام طريقتين من طرق توليدها ، فالطريقة الاولى هي إستخدام التقنية غير المحورية ( Off-axis Technique ) ، إذ إن هذه التقنية تنتج مناطق فريزيل ( Fresnel Zone Plate ) المتغيرة فضائياً . وتم تأشير ثلاث مناطق على هذا الهولوجرام لغرض التأكد من امكان الهولوجرام على حيود اشعة الليزر واثبات أن عملية الانحراف تتناسب مع كثافة الخطوط للمناطق الثلاث . وقد استخدمت لغة (Quick Basic) لتوليد الهولوجرام الحاسوبي وكان عدد الاهداب ٨٠ هدباً . و اما الطريقة الثانية فهي إستخدام تقنية الهولوجرامات الدائرية ( CCH-Technique ) بإستخدام برنامج (Picture Publisher) الذي يعمل على تحويل الهولوجرام الحاسوبي المنتج بالطريقة الاولى الى هولوجرام حاسوبي دائري بصورة مباشرة وسريعة جداً .

اما المرحلة الثانية فهي تتمثل بتصميم الماسح الليزري و بناءه بأستخدام الهولوجرامات الحاسوبية المصنعة في المرحلة الاولى . إذ أن الهولوجرام الحاسوبي غير المحوري استخدم في بناء الماسح الهولوجرافي ذو الشكل الاسطواني و الهولوجرام الدائري أستخدم في بناء الماسح الهولوجرافي ذو الشكل الدائري . وقد استخدمت كاميرا نوع ( CCD Charge Coupled Device ) للحصول على انماط الحيود و خطوط المسح .

وقد تم الحصول على زاوية انحراف مقبولة و تزداد بزيادة التردد الفضائي و تحقيق درجة تحليل عالية . وإن الهولوجرامات الحاسوبية المصنعة لها تردد فضائي متغير للحصول على خطوط مسح مستقيمة و تحقيق سرعة مسح عالية جداً للماسح الليزري . وقد وجد أن تشوه سرعة المسح و قطر الحزمة المرافقة للحزمة الحائدة هي ضمن المدى المسموح به للمواسح الليزرية و تحقيق كفاءة مسح عالية و كلفة قليلة للماسح الليزري ، وأن الماسح الهولوجرافي ذا الشكل الاسطواني هو الافضل لكونه يحقق سرعة مسح عالية .

الباحث

محمد حمزة المعموري

## ***Abstract***

The work done in this study is performed in “Al Razi General Company and Babylon University “ under the supervision of Dr.Abed Aoon Al-Sa’di and Dr. Hamad Raheem Al-Azawi ; for the period from Oct. 2000 to Sep. 2002 . At odds with what refer to it in a certain reference , the result is from the researcher’s creativity , and it is never published in any previous reference , and never afford to gain another scientific degree in the previous time .

This research includes two main stages , the first stage is represented by generating the computer holograms using two ways of its generating methods , The first method is using off- axis technique , This technique produces spatial variant Fresnel Zone Plate , and tracking three regions on this hologram to a sure the ability of hologram to diffract the laser ray and prove that the deflection process proportional with lines density of the three regions , and by using the quick basic language for generating the computer hologram where the number of fringes is  $\wedge$  . The second method is represented by using CCH – technique using picture publisher program which converts the computer holograms that produced by the first method directly and very quickly to circular hologram .

The second stage is represented by designing the laser scanner by using the computer holograms that were produced in the first stage . The off-axis computer hologram is used to generate the holographic scanner for drum configuration and using the circular hologram to generate the holographic scanner for disk configuration . CCD – camera is used to get the diffraction pattern and scan lines .

A reasonable diffraction angle was obtained which increases by increasing the spatial frequency and getting a high resolution degree . The fabricated computer holograms have variant spatial frequency to obtain straight scan lines and then getting a very high scan velocity for the laser scanner . The scan velocity distortion and beam diameter which accompanied the diffracted beam are in the permissible range of the laser scanner and getting high scan efficiency and low cost of the laser scanner. It was found that the holographic scanner for drum configuration is the best because it gives a high scan velocity .

## أقرار المشرفين على الرسالة

نشهد إن أعداد هذه الرسالة قد جرى تحت إشرافنا في قسم الفيزياء بكلية العلوم جامعة بابل وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في علوم الفيزياء .

التوقيع :	التوقيع :
الاسم : د. عبد عون كاظم السعدي	الاسم : د. حمد رحيم حمود العزاوي
المرتبة العلمية : أستاذ مساعد	المرتبة العلمية : باحث علمي اقدم
العنوان : جامعة كربلاء- كلية العلوم	العنوان : شركة الرازي العامة
قسم الفيزياء	
التاريخ : / / ٢٠٠٢	التاريخ : / / ٢٠٠٢

## توصية رئيس قسم الفيزياء

إشارة الى التوصية في أعلاه التي قدمها الأستاذان المشرفان الدكتور عبد عون كاظم السعدي و الدكتور حمد رحيم حمود العزاوي ، أحيل هذه الرسالة الى لجنة المناقشة لدراستها وبيان الرأي فيها .

التوقيع :

الاسم : د. طالب هادي قدوري

المرتبة العلمية : أستاذ مساعد

العنوان : كلية العلوم – جامعة بابل

التاريخ :

## قرار لجنة المناقشة

نشهد نحن أعضاء لجنة التقويم والمناقشة ، أننا اطلعنا على هذه الرسالة وقد ناقشنا الطالب في محتوياتها ، و في ما له علاقة بها ، و رأينا أنها جديرة بالقبول لنيل درجة ماجستير علوم في الفيزياء ، وعليه نوصي بقبول الرسالة وبتقدير ( جيد جدا) .

رئيس اللجنة	عضو اللجنة	عضو اللجنة
التوقيع :	التوقيع :	التوقيع :
الاسم : صالح نوري صالح القيسي	الاسم : عبدالهادي مطشر الجنابي	الاسم : احمد محمود عبداللطيف
المرتبة العلمية : استاذ	المرتبة العلمية : استاذ مساعد	المرتبة العلمية : استاذ مساعد
العنوان : قسم العلوم التطبيقية	العنوان : معهد الليزر و البلازما	العنوان : قسم الفيزياء
الجامعة التكنولوجية	جامعة بغداد	جامعة بابل
التاريخ : / / ٢٠٠٢	التاريخ : / / ٢٠٠٢	التاريخ : / / ٢٠٠٢

عضو اللجنة (المشرف)

عضو اللجنة (المشرف)

التوقيع :

التوقيع :

الاسم : د. عبد عون كاظم السعدي

الاسم : د. حمد رحيم حمود العزاوي

المرتبة العلمية : أستاذ مساعد

المرتبة العلمية : باحث علمي اقدم

العنوان : قسم الفيزياء- كلية العلوم -جامعة كربلاء

العنوان : شركة الرازي العامة

التاريخ : / / ٢٠٠٢

التاريخ : / / ٢٠٠٢

## مصادقة عمادة كلية العلوم

أصادق على ما جاء في قرار اللجنة أعلاه

التوقيع :

الاسم : أ.د. فلاح حسن حسين

المرتبة العلمية : أستاذ

التاريخ : / / ٢٠٠٢

## بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

### شكر و تقدير

الحمد لله مستحق الحمد حتى الانقطاع و موجب الشكر بأقصى ما يستطيع و صلى الله على محمد خير من افتتحت بذكره الدعوات و استنجحت به الطلبات و على اله الذين هم زينة الحياة و سفينة النجاة و شجرة الرضوان و على صحبه الغر الميامين .

اما بعد فإن الشكر قيد النعمة و مفتاح المزيد و ثمن الجنة و قد وجب علي في نهاية بحثي ان اتقدم بوافر الشكر و التقدير الى الاستاذ الدكتور خليل ابراهيم الطيف رئيس جامعة بابل و الاستاذ الدكتور فلاح حسن حسين عميد كلية العلوم و الدكتور طالب هادي قدوري رئيس قسم الفيزياء لتوجيهاتهم القيمة و متابعتهم المستمرة لطلبة الدراسات العليا . و اتوجه بالشكر الى المشرفين على البحث الدكتور عبد عون كاظم السعدي للجهد المتميز الذي بذله في الاشراف على مراحل انجاز البحث و الدكتور حمد رحيم العزاوي لأقتراحه موضوع البحث و توجيهاته السديدة و متابعتة العلمية و العملية طيلة فترة البحث و جزاهم الله عني كل خير . و كذلك اقدم شكري و تقديري الى الدكتور لؤي كاظم -قسم الحاسبات - جامعة بغداد ، لما ابداه من مساعدة علمية في انجاز البحث .

كما يلزمني الواجب ان اتقدم بالشكر و الاحترام لعائلتي الكريمة التي احاطتني برعايتها في اثناء فترة البحث .

و اخيرا اتوجه بالشكر و العرفان الى كل من مد يد العون لي بأي شكل من الاشكال .

و الله ولي التوفيق



## قائمة المحتويات

رقم الصفحة	الموضوع	
١	المقدمة	الفصل الاول
١	مقدمة عامة	١-١
٢	طرائق المسح	٢-١
٢	تقنية النموذج المتحرك	١-٢-١
٣	تقنية مسح الحزمة	٢-٢-١
٣	١- المواسح الميكانيكية الخالية من الهولوغرام	
٣	أ- المواسح الميكانيكية الدوارة	
٤	ب- المواسح الميكانيكية الثابته	
٥	٢- المواسح الميكانيكية الحاوية على الهولوغرام	
٦	الاسس النظرية لبناء هولوغرام حاسوبي	٣-١
٧	بناء الهولوغرام الحاسوبي	٤-١
٨	تقنيات انتاج الهولوغرام الحاسوبي	٥-١
٨	التقنية المطورة لهولوغرام الحزمة المرجعية غير المحورية	١-٥-١
١٢	هولوغرام الطور الشفاف	٢-٥-١
١٤	تقنية التفاف الطور	٣-٥-١
١٤	هولوغرام لومان	١-٣-٥-١
١٨	هولوغرام لي	٢-٣-٥-١
٢١	الهولوغرام الحاسوبي نوع Sawchuk	٣-٣-٥-١
٢٣	الهولوغرامات الحاسوبية الدائرية	٤-٥-١
٢٤	الهولوغرامات الحاسوبية المحورية	٥-٥-١
٢٧	الهولوغرامات الحاسوبية غير المحورية	٦-٥-١
٢٧	المواسح الهولوغرافية البصرية	٦-١
٣١	الماسح الهولوغرافي الحاسوبي	٧-١
٣٢	الماسح الهولوغرافي ذو الشكل الاسطواني	١-٧-١
٣٦	الماسح الهولوغرافي ذو الشكل الدائري	٢-٧-١
٣٧	الدراسات السابقة	٨-١
٣٨	هدف البحث	٩-١
٣٩	الجزء العملي	الفصل الثاني
٣٩	تصميم و بناء الماسح الهولوغرافي ذو الشكل الاسطواني	١-٢
٣٩	١-الاجزاء الاساسية للماسح	
٤٢	٢- تكامل المنظومة	
٤٣	٣- ترصيف المنظومة	
٤٥	٤-فحص المنظومة	
٤٧	تصميم و بناء الماسح الهولوغرافي ذو الشكل الدائري	٢-٢
٤٧	١- الاجزاء الاساسية للماسح	
٤٨	٢- تكامل المنظومة	
٤٨	٣- ترصيف المنظومة	
٥٠	٤-فحص المنظومة	
٥١	النتائج و المناقشة	الفصل الثالث
٥١	الماسح الهولوغرافي ذو الشكل الاسطواني	١-٣

٥٢	١- زاوية الانحراف ( $\theta$ )	
٥٤	٢- قدرة التحليل ( $N_s$ )	
٥٤	٣- التردد الفضائي ( $v_x$ )	
٥٥	٤- سرعة المسح ( $V_s$ )	
٥٩	٥- تشوه سرعة المسح ( $D_s$ )	
٥٩	٦- قطر الحزمة ( $B_d$ )	
٦٠	٧- زمن الاطار ( $t_f$ )	
٦٠	٨- كفاءة المسح ( $E_s$ )	
٦١	الماسح الهولوجرافي ذو الشكل الدائري	٢-٣
٦٣	الاستنتاجات و مقترحات العمل المستقبلي	الفصل الرابع
٦٣	الاستنتاجات	١-٤
٦٤	مقترحات العمل المستقبلي	٢-٤
٦٥	المصادر References	

## قائمة المخططات

رقم الصفحة	رقم المخطط	
٩	(١-١)	خطوات توليد هولوغرام حاسوبي باستخدام شعاع مرجعي
١٣	(٢-١)	المخطط الانسيابي لتشكيل هولوغرام بتقنية الطور الشفاف
١٥	(٣-١)	خطوات توليد هولوغرام حاسوبي باستخدام تقنية التفاف الطور
٢٠	(٤-١)	خطوات توليد هولوغرام حاسوبي نوع لي
٢٢	(٥-١)	المخطط الانسيابي لتشكيل هولوغرام نوع Sawehuk and Hsuch
٢٦	(٦-١)	المخطط الانسيابي لتشكيل المحرز الهولوجرافي لأنتاج جبهة الموجة (الكروية ، المخروطية ، الحلزونية)
٤٠	(١-٢)	المخطط الانسيابي لتوليد هولوغرام حاسوبي باستخدام Off - axis technique

## قائمة الأشكال

الصفحة	رقم الشكل	
٣	(١-١)	تقنية تحريك النموذج باستخدام (X-Y table)
١٠	(٢-١)	نظام بصري يستخدم (CGH) لإعادة بناء جبهة الموجة الأصلية . حيث $L_1, L_2$ تمثل العدسات ، (CGH) تمثل الهولوجرام الحاسوبي ، (mask) يمثل حاجز (مرشح فضائي) .
١٦	(٣-١)	مستوي الهولوجرام مع وحدة مكبرة فيه أ-تمثيل مستوي الهولوجرام ب-مقطع الخلية مكبرة
١٩	(٤-١)	تحلل قيمة تحويل فورييه في المستوي العقدي
٢١	(٥-١)	اشكال الترميزات العائدة الى تقنية التفاف الطور
٢٤	(٦-١)	يمثل المحدد المثالي لتوليد الهولوجرام الثنائي، المعلم (c) يساوي $\cos(q \pi)$ وأعظم قيمة لـ $A(x,y)$ هي تتغير للقيم (١)
٢٨-٢٧	(٧-١)	الماسح الهولوجرافي البصري أ- هندسة بناء الماسح الهولوجرافي ب-هندسة تسجيل الهولوجرام و إعادة البناء ج- ماسح هولوجرافي بصري .
٣١	(٨-١)	اسلوب حركة المحرز نسبة الى الحزمة الليزرية الساقطة
٣٣	(٩-١)	ماسح هولوجرافي حاسوبي يستخدم هولوجرام صفائح فريزل الحاسوبية (CGH) .
٣٦	(١٠-١)	ماسح هولوجرافي حاسوبي يستخدم هولوجرام دائري (CCH)
٤٢	(١-٢)	نمط ترتيب الهولوجرامات بنفس الاتجاه
٤٣	(٢-٢)	نمط ترتيب الهولوجرامات الواحدة عكس الاخرى .
٤٤	(٣-٢)	الماسح الهولوجرافي ذو الشكل الاسطواني أ- التصميم الميكانيكي للمنظومة ب- صورة فوتوغرافية للمنظومة
٤٥	(٤-٢)	السرعة الزاوية دالة للفولتية

٤٦	مناطق الهولوجرام المختارة (a,b,c)	(٥-٢)
٤٦	أ- وضع الهولوجرامات في الاتجاه نفسه ب- نمط المسح المتذبذب (حيث المسح في اتجاه واحد)	(٦-٢)
٤٧	أ- وضع الهولوجرامات الواحدة عكس الأخرى ب- نمط المسح المستمر ذهاباً وإياباً	(٧-٢)
٤٩	الماسح الهولوجرافي ذو الشكل الدائري أ- التصميم الميكانيكي للمنظومة ب- صورة فوتوغرافية للمنظومة	(٨-٢)
٥١	الهولوجرام الحاسوبي المصنوع بطريقة Off axis – technique	(١-٣)
٥٢	انماط الحيود من الهولوجرام : أ- نمط الحيود من المنطقة a ب- نمط الحيود من المنطقة b ج- نمط الحيود من المنطقة c	(٢-٣)
٥٦	الهولوجرامين (A,B) مع تأثير المناطق التابعة لهما	(٣-٣)
٥٧	شكل خط المسح عند دوران الهولوجرام	(٤-٣)
٥٨	سرعة المسح دالة للفولتية المسلطة	(٥-٣)
٦١	الهولوجرام الحاسوبي المصنوع بطريقة (CCH-technique)	(٦-٣)
٦٢-٦١	أنماط الحيود الناتجة من الهولوجرام الدائري أ- نمط الحيود من المنطقة a ب- نمط الحيود من المنطقة b ج- نمط الحيود من المنطقة c	(٧-٣)

# الفصل الاول

## المقدمة Introduction

### ١-١ مقدمة عامة General Introduction

تعرف عملية المسح الضوئي على أنها امرار بقعة ضوئية بشكل دوري منتظم على ما يعرف بمساحة المعلومات (Area of information) ، التي يمكن أن تكون صورة ثنائية الأبعاد أو جسماً ثلاثي الأبعاد ، وتستهلك الإشارة المنعكسة نتيجة لهذه العملية بواسطة كواشف ضوئية ، وعليه يمكن عد عملية المسح (Scanning) تجزئة منتظمة لمساحة المعلومات إلى عينات بشكل إشارات كهربائية متسلمة من الكاشف<sup>(١)</sup> . كذلك يمكن الحصول على مساحة المعلومات عن طريق المسح الضوئي و عندئذ تقوم البقعة بمسح ما يعرف بوسط الخزن (Storage medium) الذي يكون على أشكال مختلفة ذات حساسية عالية للتأثيرات الضوئية أو قد تقوم البقعة الضوئية بمسح شاشة العرض لغرض عرض الصورة لمساحة المعلومات<sup>(٢،٣)</sup> . تقاس الدقة في عمليات المسح الضوئي من خلال ما يعرف بدرجة التحليل (Resolution) أي إن درجة التحليل تكون عالية لمنظومة المسح كلما كانت العينات المأخوذة أكثر قرباً من بعضها<sup>(٤)</sup> .

تكمن وظيفة منظومات المسح في قدرة المنظومات البصرية ذات مجالات الرؤية الصغيرة (Small Fields of View) على تغطية مساحات ذات مجالات رؤية أكبر من تلك بكثير عن طريق حرف مسار الأشعة الماسحة بالأسلوب الذي يؤمن عملية المسح للمنطقة المطلوبة<sup>(٥)</sup> .

وعلى وفق ما ذكر يمكن تصنيف المسح الضوئي الى صنفين : "المسح الداخلى" (Input Scanning) و"المسح الخارجى" (Output Scanning)<sup>(٤)</sup> . وبسبب محدودية القدرة الاشعاعية التي توفرها مصادر الضوء الحرارية كانت تطبيقات المسح الضوئي قبل ظهور الليزر محدودة ، و إن اكتشاف اشعة الليزر ادى الى تطور تقنيات المسح الليزري بشكل كبير جداً واستخدام هذه التقنيات في مجالات عدة مثل التتبع (Tracking) ، و الرادارات الليزرية ، و توجيه القذائف<sup>(٦،٧)</sup> ، وعمليات مسح حزمة الليزر في كاميرات الفيديو<sup>(٨)</sup> ، وفي الطباعة الليزرية<sup>(٩،١٠)</sup> . أما في الجانب الطبي فتستخدم في بناء ماسح حزمة الالياف البصرية (Fiber bundle Scanner) لعلاج امراض التجلط ضوئياً (Photocoagulation)<sup>(١١)</sup> .

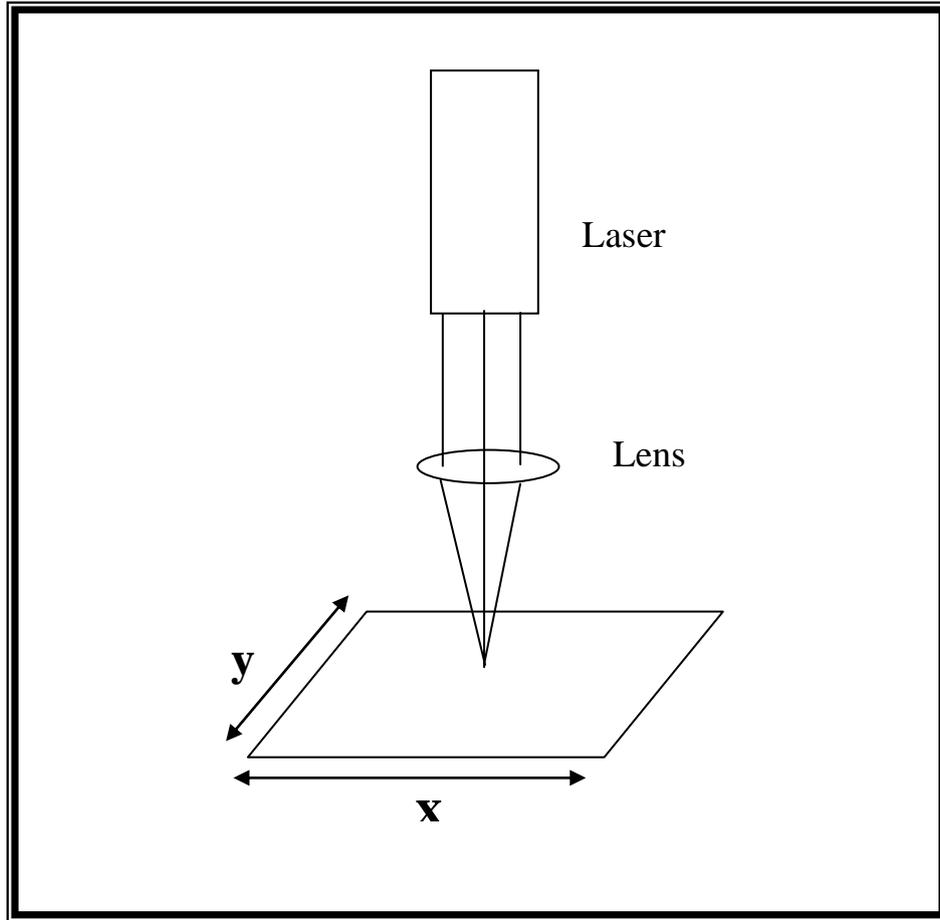
و يمكن تحديد المركبات الأساسية للماسح الليزري كما يأتي :-  
مصدر ليزري ، حارفات الأشعة (Deflectors) و تعد من أهم المكونات التي تميز المواسح (Scanners) عن بعضها البعض ، وسائل الخزن ، عرض الإشارات الكهربائية الخارجة من الكواشف و نقلها إضافة الى وسائل تضمين الأشعة الليزرية ولا يشترط وجود كل من هذه المكونات في انواع المواسح جميعها .

### ٢-١ طرق المسح Scanning Methods

إن التقنيات المتبعة لحرف الحزمة الضوئية هي التي تميز طرق المسح بعضها عن بعض و عليه تحدد تلك التقنيات محاسن كل طريقة و مساوئها إضافة الى المدى الذي تعمل ضمنه (سرعة المسح ودرجة التحليل وزاوية الانحراف) وبذلك يحدد مجال التطبيق لكل طريقة ، أي بمعنى أنه يتم اختيار طريقة المسح التي تلائم طبيعة التطبيق المطلوب ، و بصورة عامة هناك تقنيتان أساسيتان للمسح الليزري<sup>(١٢)</sup> .

### ١-٢-١ تقنية النمذج المتحرك *Moving Sample Technique*

في هذه التقنية يتم استخدام لوح ذي بعدين  $(x,y)$  وبإمكانه التحرك باتجاه الإحداثي  $(x)$  والاحداثي  $(y)$ . وإن النمذج (Sample) يثبت على اللوح في حين تبقى اشعة الليزر ثابتة ومثبتة بصورة عمودية على اللوح ( $x-y$  Plate) ويتم استخدام عدسة لامة بحيث تكون حركة النمذج ضمن البعد البؤري للعدسة المستخدمة كما هو موضح في الشكل (١-١).



شكل (١-١) تقنية تحريك النمذج بأستخدام ( $x-y$  table).

### ١-٢-٢ تقنية مسح الحزمة *Beam Scanning Technique*

في هذه التقنية يكون النموذج ثابتاً وحزمة الليزر هي التي تمسح النموذج وضمن هذه التقنية يمكن تصنيف تقنيات المسح الى صنفين رئيسيين:

### ١ : الماسح الميكانيكية الخالية من الهولوجرام:-

#### *Mechanical Scanners Without Hologram*

وهذه بدورها تشمل :

#### *Rotating Mechanical Scanners* - الماسح الميكانيكية الدوارة

تتصف هذه الماسح بأحتوائها على أجزاء ميكانيكية متحركة بإزاحات واسعة (غالباً ما تكون دورانية) بسرعة عالية وبذلك يكون لهذه الأجزاء الميكانيكية عزم قصور ذاتي عالٍ (High Inertia) في أثناء حركتها<sup>(١٠)</sup>. ونتيجة للقصور الذاتي العالي الملازم لتلك الماسح فإن أجزاءها الميكانيكية تتعرض الى إجهاد ميكانيكي، خاصة المرايا و عليه يجب اختيار مواد ملائمة تتصف بمقاومة عالية للتشوهات الميكانيكية.

تمتاز هذه الماسح بعدم اعتمادها على الطول الموجي للحزمة الليزرية<sup>(١١، ١٢)</sup> ولها قدرة تحليل عالية (High Resolution) مع تحقيق زاوية انحراف (Deflection Angle) كبيرة للحزمة الضوئية وإن الخسارة التي يعانيتها الشعاع الخارج صغيرة وتحتاج الى طاقة تشغيل بسيطة<sup>(١٣)</sup>.

وخلاصة القول إن حرف حزمة الليزر في هذا النوع من الماسح تتم بالانعكاس أو الإنكسار أو الحيود. أما مساوئ (Disadvantage) هذه الماسح الميكانيكية فهي تتعلق بسرعة المسح (Scan Velocity) غير العالية بسبب كبر كتل أجزائها الميكانيكية . ومن الماسح التي تدرج ضمن هذا التصنيف :-

- ١- المرايا المضلعة ثمانية الأوجه<sup>(١٤)</sup> ( Polygon Mirrors )
- ٢- المرآة المائلة الدوارة<sup>(١٥)</sup> ( Rotating Inclined Mirror )
- ٣- المرآة الهرمية الدوارة<sup>(١٥)</sup> ( Pyramidal Spinner )
- ٤- الماسح الكلفانومتري<sup>(١٦)</sup> ( Galvanometer Scanner )
- ٥- مواشير الانكسار الدوارة<sup>(١٧)</sup> ( Rotating Refractive Prisms )
- ٦- ماسح ثنائي الموشور الدوار<sup>(١٨)</sup> ( Rotating Prisms- Pair Scanner )
- ٧- الحارفات الاهتزازية المغناطيسية<sup>(١٩)</sup> ( Magnetic Vibrational Deflectors )

#### *Constant Mechanical Scanners* - ب- الماسح الميكانيكية الثابتة

إن كلمة ميكانيكية هي كلمة نسبية أي قد تكون على هيئة اهتزاز موجات صوتية (موجات طولية) أو تشوه ميكانيكي بسيط لبعض المواد الخاصة، وقد تنعدم الحركة الميكانيكية نهائياً في طرائق أخرى ضمن هذه التقنيات .

وتتميز هذه الماسح عن الماسح الميكانيكية الدوارة بسهولة السيطرة الديناميكية على موقع البقعة الضوئية الماسحة بدرجات تحليل متوسطة (Moderate Resolution) وتسمى بحارفات معامل الانكسار المتغير<sup>(١)</sup> (Gradient Deflector) وإن المواد التي تتكون منها هذه الحارفات تكون ذات معامل إنكسار متغير. وإن تغير معامل الانكسار يؤدي الى تغير زاوية الانحراف للحزمة الخارجة وبذلك يمكن الاستفادة من هذه الخاصية لأغراض المسح وتقسّم الى:-

- ١- الماسح الموشوري الكهرو بصري<sup>(١)</sup> ( Electro-Optic Prism Scanner )
- ٢- ماسح الخلية الكهرو بصري<sup>(١)</sup> ( Electro-Optic Cell Scanner )
- ٣- الحارفات الاهتزازية الكهروضغية<sup>(١٠)</sup> ( Piezoelectric – Vibrational Deflectors )
- ٤- حارفات بصرية – صوتية<sup>(٢٠)</sup> ( Acoustooptic Deflectors )
- ٥- الحارفات الرقمية<sup>(٢١)</sup> ( Digital Deflectors )

## ٢ : المواسح الميكانيكية الحاوية على الهولوغرام

### *Mechanical Scanner with Hologram*

في هذا النوع من المواسح يعمل الهولوغرام المصنوع بالطريقة البصرية (Optical Hologram) أو بأستخدام الحاسوب (Computer-Generated Hologram) (CGH) على عمل محرز حيود (Grating) إذ انه يتسبب في حرف حزمة الليزر بزواوية معينه بواسطة حركة الهولوغرام الدورانية (Rotating Motion) أو الانتقالية (Translation Motion) و قبل الدخول في تفاصيل هذا النوع من المواسح سوف يتم التطرق الى الاسس النظرية لتوليد هولوغرام حاسوبي .

## ١-٣ الأسس النظرية لتوليد هولوغرام حاسوبي

من المعروف أن نموذج التداخل (Interference pattern) لموجة المرجع (Reference Beam) وموجة الجسم (Object Wave) على لوح التسجيل تمثل الهولوغرام وأن صفيحة التصوير المسجل عليها الهولوغرام تتضمن تغيرات في الاسوداد. ومن هذا المنطلق كان الاقتراح بعمل مثل هذه التغيرات اصطناعياً بأستخدام العالم لومان (Lohmann) للحاسوب لما يتميز به الحاسوب من مرونة في الحصول على نتائج دقيقة.

إن انتاج الهولوغرام بأستخدام الحاسوب له تطبيقات واسعة من بينها إستخدام الهولوغرام الحاسوبي (CGH) في عرض الجسم بثلاثة ابعاد (D-3) (٢٢) ، وكذلك يمكن استخدام هولوغرامات متعددة المستويات لتحويل شكل الموجة الكاوسي (Gaussian Wave) الى موجة مربعة (Rectangular Wave) منتظمة الشدة لاستخدامها في تطبيقات بصرية عدة (٢٣). و استخدام (CGH) في تحويل الشعاع الكاوسي الى حزمة بيسل (Bessel Beam) (٢٤،٢٥).

يتميز الهولوجرام الحاسوبي عن الهولوجرام البصري (الاعتيادي) (Conventional Hologram) بعدد من النقاط أهمها :

١- عدم الحاجة الى وجود الجسم فيزيائياً ، أي يمكن تمثيله بمعادلة رياضية على خلاف ما هو موجود في الهولوجرام البصري.

٢- إن استخدام الهولوجرام الحاسوبي قد ألغى التقيد ، بجعل فرق المسار بين موجة الجسم والمرجع ضمن طول التشاكة لمصدر الليزر المستخدم والتقيد بتوفير رقائق ذات حساسية عالية كما هو موجود في الهولوجرام البصري.

٣- التخلص من الاهتزاز واضطراب الهواء الذي له تأثير كبير في إظهار الصورة، كذلك التخلص من الاضطرابات البصرية مثل اضطراب البقعة والتداخل غير المرغوب فيه<sup>(٢٦)</sup> كما هو موجود في الهولوجرام البصري.

٤- التخلص من الزيغ ( Aberration ) الموجود في المرايا والمواشير والعدسات ( Lenses ) في أثناء عملية البناء ( Construction ) و إعادة البناء ( Reconstruction ) .

٥- إن سهولة استخدام الحاسوب يعطينا مرونة أكبر في الحصول على أفضل النتائج التي يفاد منها في توليد الهولوجرام.

إن الهولوجرامات الحاسوبية تحتاج الى حاسبات ذات كفاءة وسرعة عالية وأجهزة اخراج ذات قدرة تحليل عالية لغرض انتاجها . قد تم استخدام الحاسبات الكبيرة في بادئ الامر لانتاج الهولوجرام ثم تبع ذلك استخدام الراسم ( x - y Plotter )<sup>(٢٧)</sup> . وفي عام ( ١٩٨٩ ) استخدم الحاسبات الشخصية ( CHIA, GOH and LAI ) في توليد الهولوجرام الحاسوبي<sup>(٢٨)</sup> . إن ما تتميز به الحاسبات الشخصية هي السرعة والكفاءة العاليتان وهاتان الصفتان من المتطلبات الاساسية لانتاج الهولوجرام الحاسوبي مع استخدام طابعة ليزرية ذات كفاءة وقدرة تحليل عاليتين لغرض عرض النتائج من الحاسوب.

## ١- ٤ توليد الهولوجرام الحاسوبي

### Generating of the Computer Hologram

هناك مراحل عدة لتوليد الهولوجرام الحاسوبي هي :

- ١- كتابة المعادلات الرياضية التي تمثل الموجة الضوئية الحائدة عن الجسم المراد عمل الهولوجرام له ، ومن ثم يتم حساب السعة المعقدة ( Complex Amplitude ) عند مستوي الهولوجرام
- ٢- ترمز ( Coded ) السعة المعقدة في مستوي الهولوجرام بوساطة الحاسوب بحيث تتحول الى دالة حقيقية موجبة يعاد استرجاعها بطريقة بصرية لاحقة . إن عملية الترميز للسعة المعقدة هي التي تحدد انواع التقنيات المتبعة في توليد الهولوجرام الحاسوبي.
- ٣- استخدام طابعة ليزرية من اجل اخراج المعلومات من الحاسوب .
- ٤- بعد الحصول على الشكل من الطابعة الليزرية يتم تصغيره ضوئياً ( photoreduction ) وصولاً الى الحجم المطلوب الذي يؤمن عملية الحيود للضوء الساقط عليه.

## ٥-١ تقنيات إنتاج الهولوغرام الحاسوبي

### Techniques To Produce Computer Hologram

هناك تقنيات عدة لتوليد الهولوغرام هي:

#### ١-٥-١ التقنية المطورة لهولوغرامات الحزمة المرجعية غير المحورية

#### Modified Off-Axis Reference Beam Holograms Technique

تتمثل هذه التقنية بإضافة (جمع) موجة مرجعية الى موجة الجسم (object wave) الممثلة رياضياً، وتجري الحسابات باستخدام الحاسوب إذ يربع ناتج الجمع للحصول على الشدة لخط التداخل المتكون نتيجة جمع الموجتين. و بذلك يمكن الحصول على دالة حقيقية غير سالبة إن هذه التقنية مشابهة لتقنية الهولوغرام البصري ودالة الشدة فيها  $I(x,y)$  تكون ممثلة بالمعادلة<sup>(٢٩)</sup>.

$$I(x, y) = \left| O(x, y) + R(x, y) \right|^2 \quad (1-1)$$

حيث  $O(x,y)$  تمثل موجة الجسم وتعطى بالعلاقة:

$$O(x, y) = A(x, y)e^{i\phi(x,y)} \quad (2-1)$$

حيث  $\phi(x,y)$  تمثل الطور (phase) لموجة الجسم و  $A(x,y)$  تمثل السعة (amplitude) لموجة الجسم و أن  $R(x,y)$  تمثل موجة المرجع وتعطى:

$$R(x, y) = Be^{i\psi(x,y)} \quad (3-1)$$

حيث  $\Psi(x,y)$  تمثل الطور لموجة المرجع و  $B$  تمثل السعة لموجة المرجع. و عليه تكون معادلة الشدة على النحو الآتي :

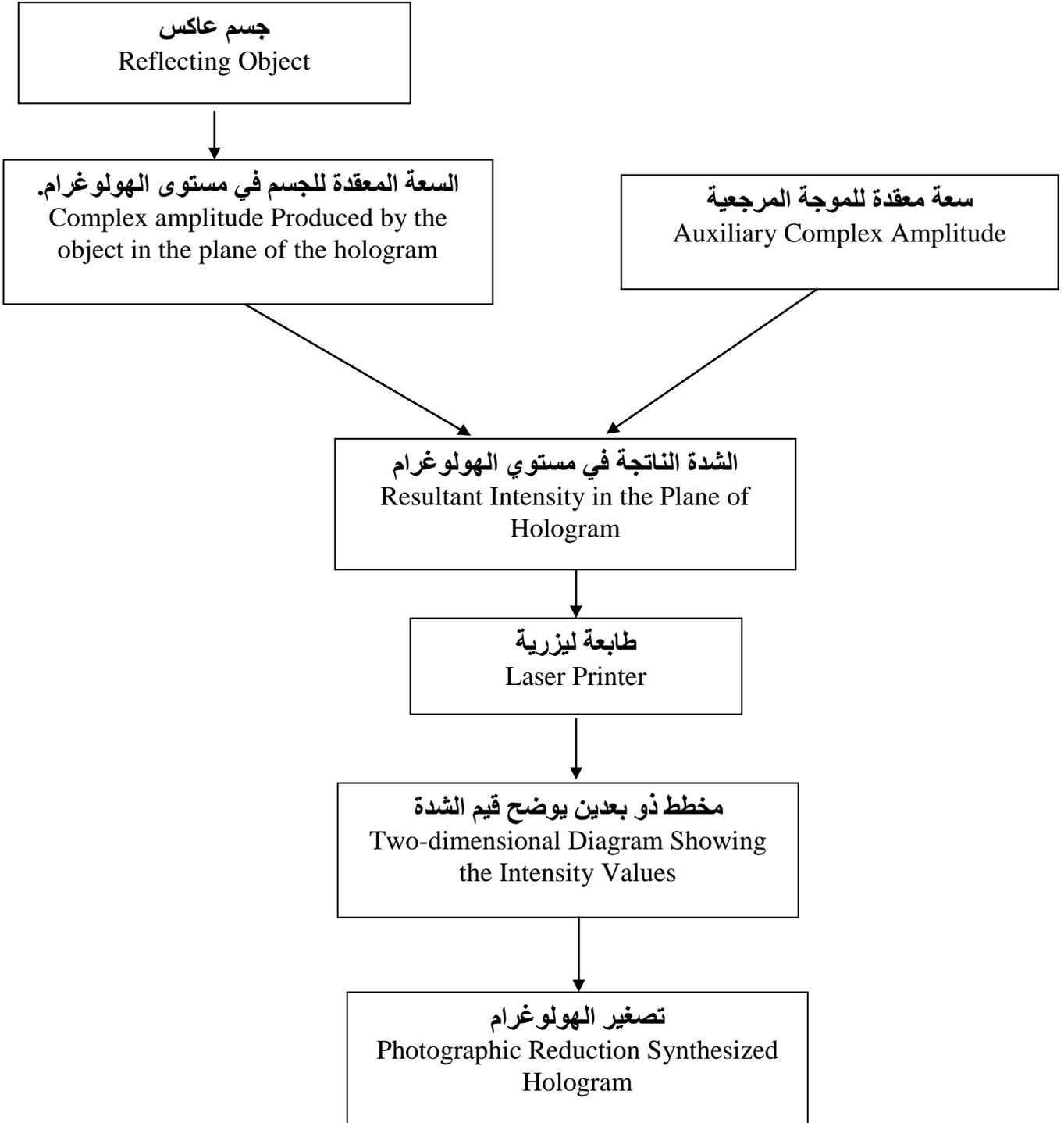
$$I(x, y) = A^2(x, y) + B^2 + 2BA(x, y)\cos(\psi(x, y) + \phi(x, y)) \quad (4-1)$$

إن المعادلة أعلاه تعطي السعة والطور لنموذج التداخل (interference pattern) اللازم لتوليد هولوغرام. و إن مواقع الأهداب تحقق العلاقة:

$$Y(x, y) + \phi(x, y) = 2n\pi \quad (5-1)$$

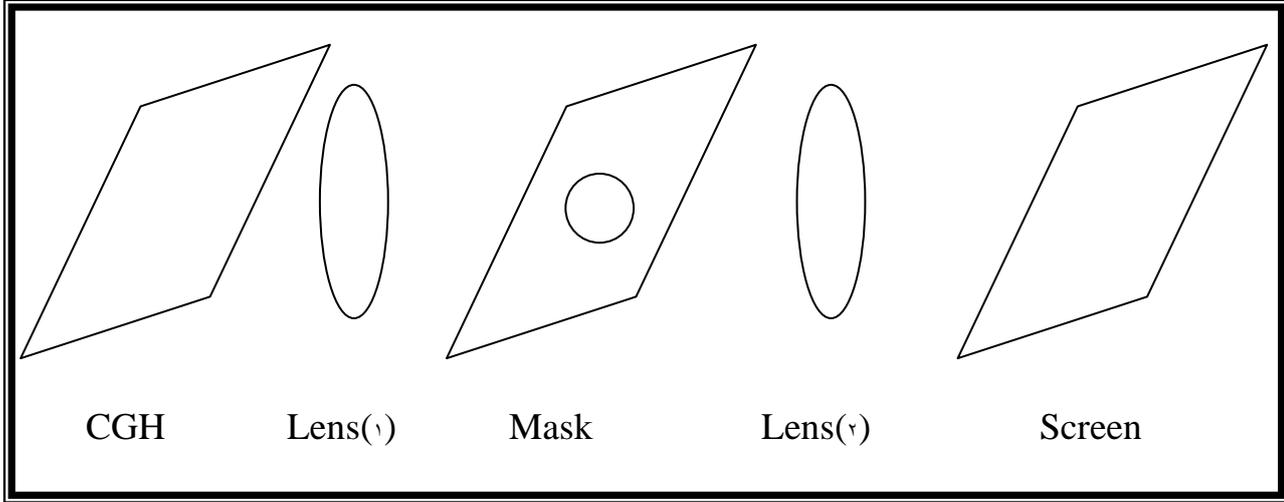
حيث  $n$  تمثل عدداً صحيحاً.

من معادلة الشدة (٤-١) يمكن أن نحصل على خرج مرسوم على ورقة بوساطة طابعة ليزيرية والرسم الخارج يمثل تغيرات الشدة و من ثم تصور النتيجة و تصغر ضوئياً (photoreduction) للحصول على الهولوغرام كما موضح في المخطط (١-١).



مخطط (١-١) خطوات توليد الهولوجرام الحاسوبي باستخدام شعاع مرجعي<sup>(٢٩)</sup>.

يعاد بناء جبهة الموجة الاصلية للجسم بصرياً بوضع الهولوجرام الحاسوبي في نظام بصري كما مبين في الشكل (٢-١)



شكل (٢-١) نظام بصري يستخدم (CGH) لاعادة بناء جبهة الموجة الاصلية .

ادخل الباحث (Burch) في عام ١٩٦٧ تحسيناً لهذه التقنية من خلال عد ان الحد  $A(x,y)$  ثابت حيث إن هذا الحد غير مرغوب فيه عند اعادة التكوين عندئذ تصبح الشدة على النحو الاتي<sup>(٣٠)</sup>.

$$I(x, y) = K + 2AB \cos(\psi(x, y) + \phi(x, y)) \quad (٦-١)$$

$$K = A^2 + B^2 \quad \text{حيث}$$

وتؤخذ قيمة (k) كبيرة لجعل قيمة الدالة  $I(x,y)$  موجبة، إن فائدة هولوغرام (Burch) تكمن في إمكان جعل الضوضاء ناتجة عن الموجة المستوية فقط. كذلك تمكن جماعة من الباحثين باستخدام طريقة جديدة لتوليد الهولوجرام الحاسوبي<sup>(٣١)</sup> إذ جعلوا الجسم مكوناً من (N) من النقاط وكل نقطة تعد مصدراً نقطياً متشاكهاً، عندئذ يكون مجموع (N) من الموجات

المتشاكهة الخارجة من الجسم متداخلاً مع الحزمة المتوازية المتشاكهة التي تعد موجة مرجعية على فرض إن السعات والمواقع لـ (N) من المصادر المتشاكهة و ان حزمة المرجع تتمثل بالرموز

الآتية على التوالي:-

$$\left[ \begin{array}{l} A_1, A_2, A_3, \dots, A_n, A \\ r_1, r_2, r_3, r_4, \dots, r_n, r \end{array} \right] \quad (٧-١)$$

عندئذ تكون الشدة (I) عند مستوي الهولوجرام (X,Y) على اعتبار أن  $Z=0$  تكون ممثلة بالمعادلة:-

$$\begin{aligned}
I(x, y) = & (A_1^2 + A_2^2 + \dots + A_n^2 + A^2) \\
& + 2[A_2 \cos k(r_1 - r_2) \\
& + A_1 A_3 \cos k(r_1 - r_3) \dots A_1 A_n \cos k(r_1 - r_n) \\
& + A_2 A_3 \cos k(r_2 - r_3) + A_2 A_4 \cos k(r_2 - r_4) + \dots \\
& + A_2 A_n \cos k(r_2 - r_n) + A_3 A_4 \cos k(r_3 - r_4) \\
& + A_3 A_5 \cos k(r_3 - r_5) + A_3 A_n \cos k(r_3 - r_n) \\
& + \dots + A_{n-1} A_n \cos k(r_{n-1} - r_n)] \\
& + A(A_1 \cos kr_1 + A_2 \cos kr_2 + \dots + A_n \cos kr_n) \quad (٨-١)
\end{aligned}$$

حيث ان :

$$k = \frac{\pi}{\lambda}$$

$$r_1 = [(X - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + z_1^2]^{1/2}$$

$$r_2 = [(X - x_2)^2 + (Y - y_2)^2 + z_2^2]^{1/2}$$

- للحصول على الهولوجرام الحاسوبي بهذه الطريقة يتطلب ادخال ماياتي :-
- ١- المسافة الفاصلة بين مستوى الهولوجرام و مستوى الجسم .
  - ٢- ادخال حجم الهولوجرام .
  - ٣- سعة موجة المرجع A.
  - ٤- عدد نقاط الجسم (N).
  - ٥- احداثيات وسعات التقاط (N) وهي :-

$$x_1, y_1, z_1, a_1, x_2, y_2, z_2, a_2, \dots, x_n, y_n, z_n, a_n.$$

بعد تنفيذ البرنامج الخاص بالشدة I نحصل على الهولوجرام الحاسوبي من الطباعة وبعد ذلك يتم تصغيره لكي يعمل على حيود الضوء بفاعلية .

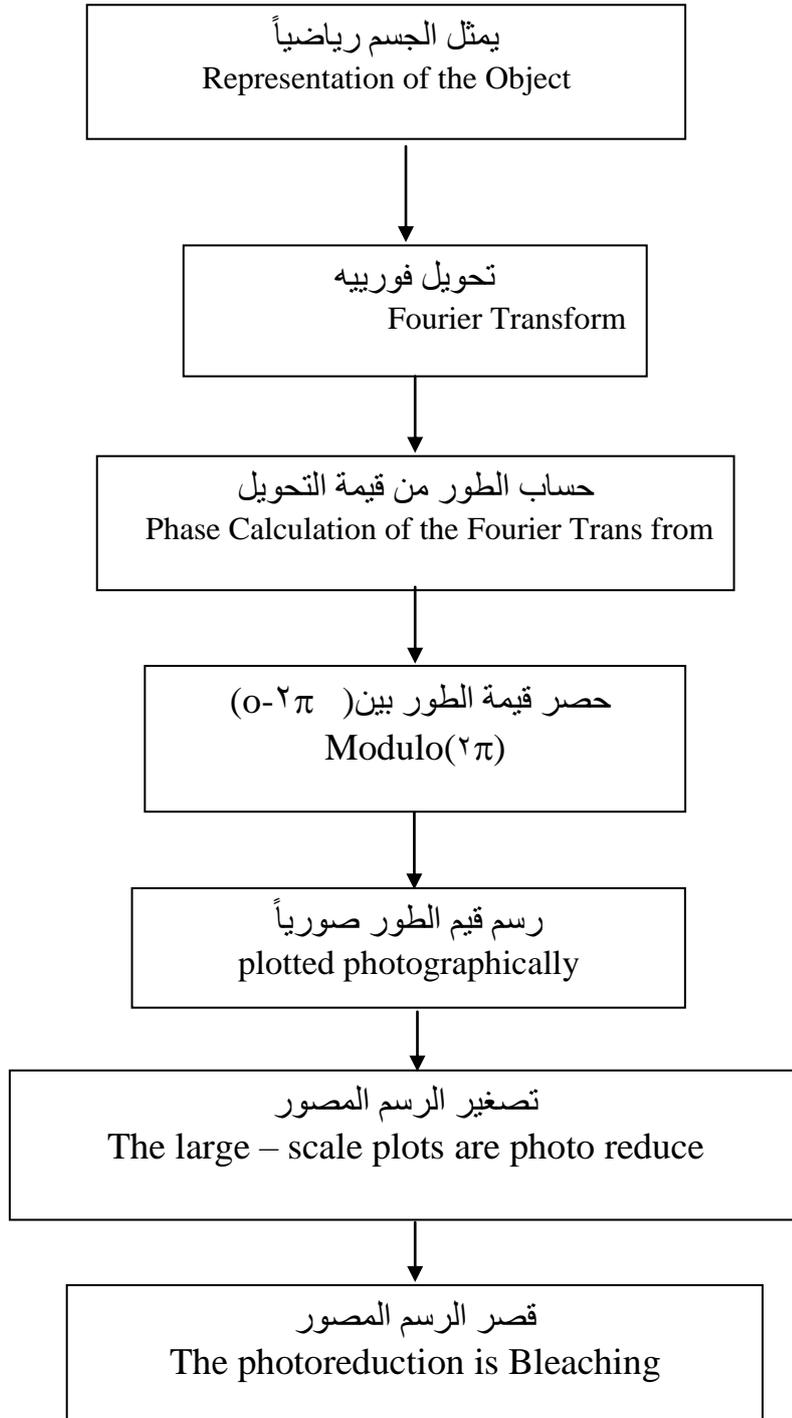
### ١-٥-٢ هولوجرام الطور الشفاف Kinofom

ان ما يميز تقنية الطور الشفاف عن بقية تقنيات انتاج الهولوجرام الحاسوبي هو تثبيت قيمة السعة وذلك بجعل قيمتها مساوية الى واحد في جميع العينات التي تم تشكيلها في مستوي الهولوجرام . إن الفكرة الأساسية لتقنية (Kinofom) تتم من خلال حساب تحويل فورييه للجسم وتجزئه التحويل الى هيئة عينات (sampling) في مستوي الهولوجرام . وهذه التقنية تعد من التقنيات الأساسية لإنتاج الهولوجرام الحاسوبي إذ تمكّن الباحثون . (Jordan, Hirsch, Lesem) من ابتكارها عام (١٩٦٩) (٣٢)، وهذا يعني أن المعلومات بخصوص الجسم تتمثل بطور موجة الجسم فقط كما يتضح من العلاقة الآتية :

$$O(x, y) = Ae^{i\phi(x, y)} \quad (٩-١)$$

إذ إن  $\phi(x, y)$  تمثل الطور لموجه الجسم و  $A$  تمثل السعة ومقدارها واحد و  $O(x, y)$  تمثل السعة المعقدة لموجة الجسم .

تتخصر قيمة الطور في مستوى الهولوجرام بين  $(0, 2\pi)$  و ترمز قيمة الطور والخرج البياني المسجل من الحاسوب يتم تصغيره الى حجم مناسب و بعدها تجرى عملية القصر (Bleaching) ، والمخطط (٢-١) يوضح خطوات توليد الهولوجرام الحاسوبي ، وفي عملية اعادة البناء يتم وضع الهولوجرام في الشكل (٢-١) و إضاءته بضوء متشاكه فينتج صورة واحدة في المستوي الخلفي للعدسة (  $L_2$  ) . و يتميز الهولوجرام المنتج بهذه الطريقة بكفاءة حيود عالية غير أن لهذه التقنية عيباً يتمثل في الاهتمام الكبير بعملية القصر.



مخطط (٢-١) : توليد هولوغرام حاسوبي باستخدام تقنية الطور الشفاف

### ٣-٥-١ تقنية التفاف الطور *Detour phase Technique*

ان الهولوغرامات المنتجة بهذه التقنية تدعى بالهولوغرامات الثنائية وتقسّم الى:-

#### ١-٣-٥-١ هولوغرامات لومان *Lohmann Holograms*

لقد تمكن الباحث لومان من ابتكار طريقة لتمثيل دالة السعة المعقدة الحائدة عن الجسم المراد عمل الهولوجرام له بأستخدام الحاسوب ذلك أن موجة الجسم تعطى بالعلاقة [ exp (jφ (x,y)) وأن موقع الأهداب يعطى بالعلاقة الاتية :

$$X = m\Delta x + \Delta x \phi (m\Delta x, n\Delta y) / 2\pi \quad (10-1)$$

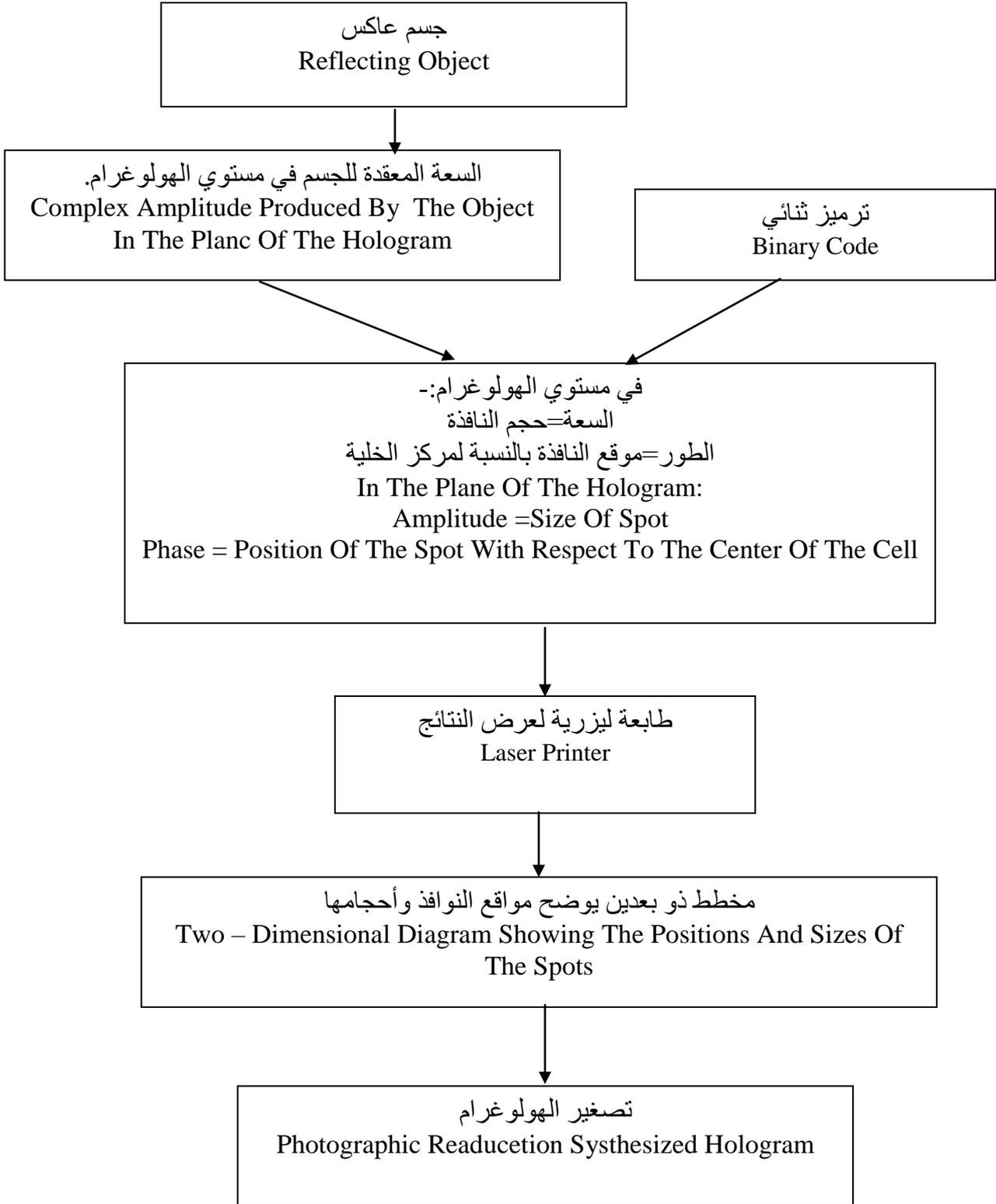
إذ ( n Δx ) تمثل موقع المراكز لكل خلية بالاتجاه (x) ، والمقدار (Δxφ(nΔx, mΔy)/2π) يعطي انحراف النوافذ (Spots) من مراكز الخلايا إذ إن هذه النوافذ تكون ذات نفاذيه كامله مسجلة على خلفيه معتمه او بالعكس ، ومن ثم فإن نفاذية الهولوجرام تكون مساويه الى (٠) او (١) لذلك يدعى بالهولوجرام الثنائي .

إن توزيع النوافذ في مستوى الهولوجرام يتم استناداً الى نظرية العينات التي تنص على: (إن إعادة بناء دالة مستمرة مثل دالة تحويل فورييه يكون ممكناً شرط أن تمتلك هذه الدالة قيماً أكبر من الصفر على مدى حزم محدودة من الترددات وأن المسافات بين وحدة واخرى يجب أن تكون متساوية) . إن عملية توليد الهولوجرام بإستخدام تقنية لومان يمكن توضيحها بالمخطط (٣-١) أما الشكل (٣-١) يوضح تخطيطاً لمستوي الهولوجرام<sup>(٣٣)</sup> مع وحدة مكبرة فيه مركزها (mΔk<sub>x</sub>, nΔk<sub>y</sub>) و ترسم داخل هذه الوحدة نافذة تحدد بأربعة علامات:-

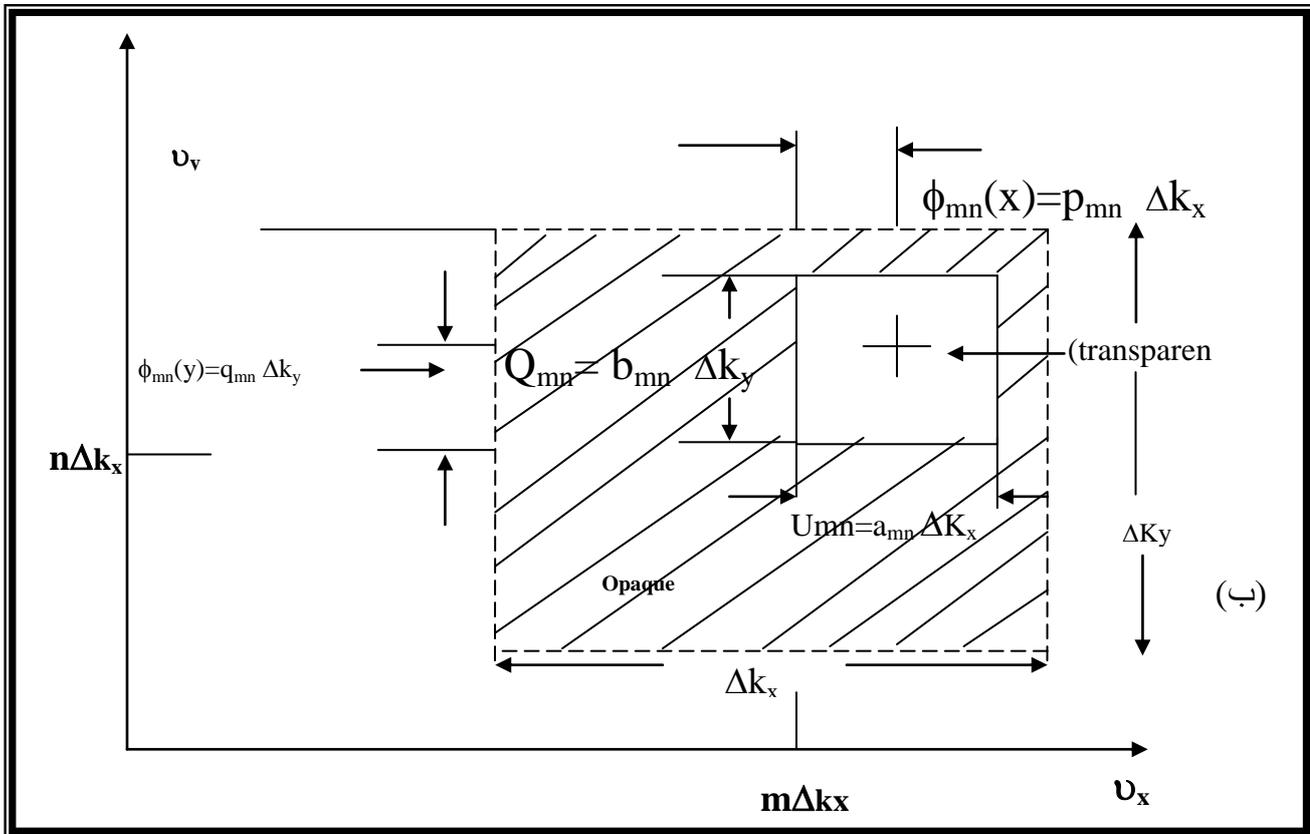
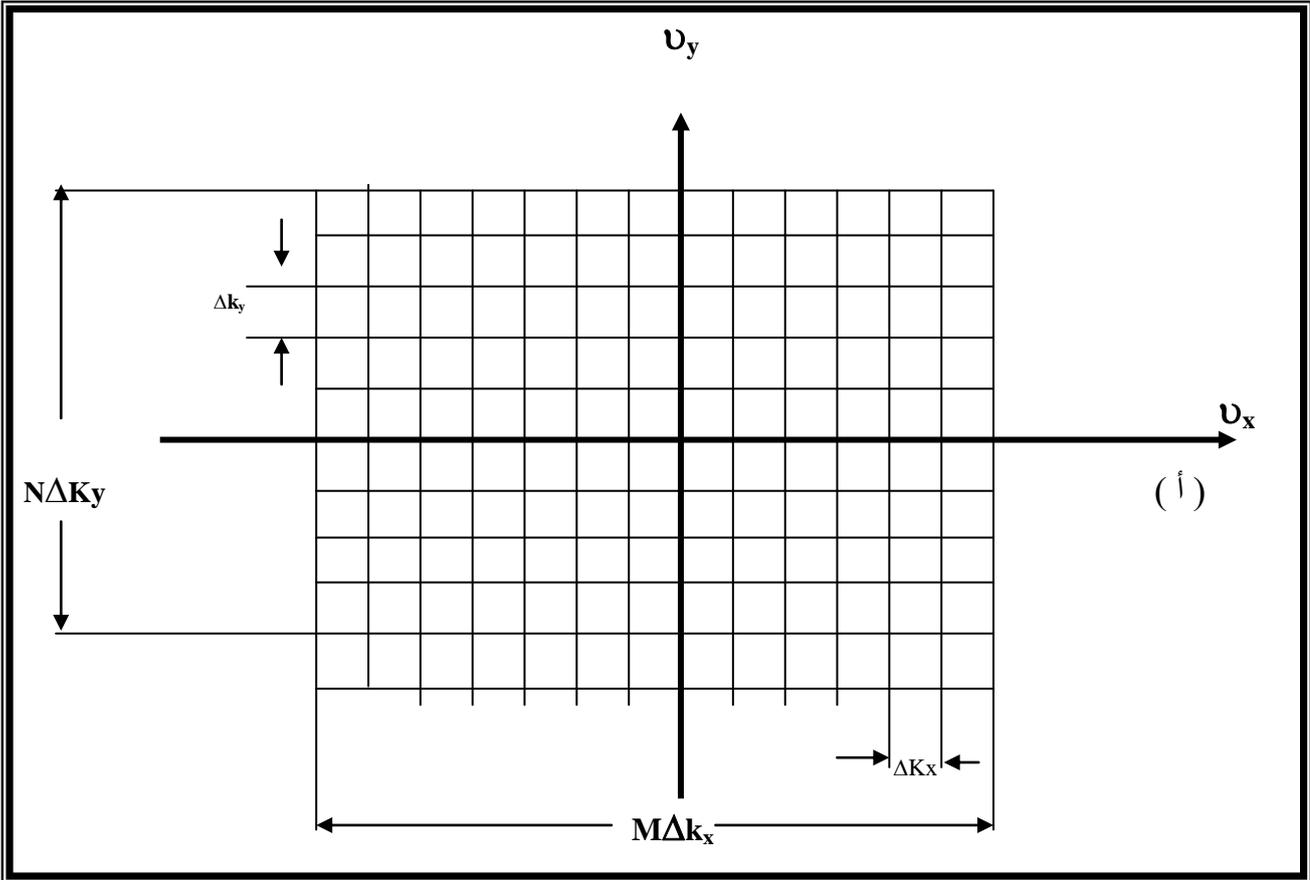
السعة وتساوي إرتفاع النافذة (Q<sub>mn</sub> = b<sub>mn</sub> Δk<sub>y</sub>) والعرض للنافذة يساوي (a<sub>mn</sub> Δk<sub>x</sub>) ويزاح مركز النافذة عن مركز الوحدة بمقدار (φ<sub>mn</sub> = p<sub>mn</sub> Δk<sub>x</sub>) وهو يمثل الطور بإتجاه المحور (x) ، ويزاح مركز النافذة عن مركز الوحدة بمقدار (q<sub>mn</sub> Δk<sub>y</sub>) وهو يمثل الطور بإتجاه المحور (y) . تمثل (m,n) الموقع النسبي للنافذة في مستوي الخلية اما (M,N) (تمثل الموقع النسبي للخلية في مستوي الهولوجرام الكلي (أي مركز الهولوجرام الكلي) . و أن التردد الفضائي بإتجاه المحورين يعطى بالعلاقة الاتية :-

$$\left. \begin{aligned} v_x(x) &= m\Delta k_x && \text{in } x - \text{direction} \\ v_y(y) &= n\Delta k_y && \text{in } y - \text{direction} \end{aligned} \right] \quad (11-1)$$

Δ k<sub>x</sub> و Δ k<sub>y</sub> هو طول الخلية بإتجاه المحورين x,y على الترتيب.



مخطط (٣-١) : خطوات توليد هولوجرام حاسوبي باستخدام تقنية ألتفاف الطور .



شكل (١-٣) : مستوى الهولوجرام مع وحدة مكبرة فية :  
 (أ) : تمثيل مستوى الهولوجرام (ب) : مقطع لخلية مكبرة .

يتم تجزئة مجال الجسم  $[O(x,y) = A_{mn} \exp(j \phi_{mn})]$  الى الهولوجرام بمسافات منتظمة تعطى بالعلاقة :

$$\left. \begin{array}{l} \Delta x = 1/M\Delta k_x \quad \text{in } x\text{-direction} \\ \Delta y = 1/N\Delta k_y \quad \text{in } y\text{-direction} \end{array} \right\} (12-1)$$

(n,m,M,N) تمثل أعداداً صحيحة.

أما دالة تحويل فورييه  $\bar{Q}(K_x, K_y)$  تكون مجزئة على الخلايا (M,N) بفواصل منتظمة تعطى (أ)

بـ  $(\Delta k_x, \Delta k_y)$  باتجاه  $(K_x, K_y)$  حيث ان دالة تحويل فورييه تعطى بالعلاقة:

$$\bar{Q}(K_x, K_y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} O(x, y) \exp[2\pi j(K_x x + K_y y)] dx dy \quad (13-1)$$

أما نفاذية الهولوجرام تعطى بالعلاقة الاتية (٣٤) :

$$H(x, y) = \left[ \sum_m \sum_n \text{rect}[(x - m\Delta x - \phi_{mn}(x))/U_{mn}] \right] \text{rect}[(y - n\Delta y - \phi_{mn}(y))/Q_{mn}] \quad (14-1)$$

$$\text{where } \text{rect}(x) = \begin{cases} 1 & |x| \leq 0.5 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (15-1)$$

$$\text{and } |\phi_{mn}(x)| \leq \frac{\Delta x}{2}, \quad |\phi_{mn}(y)| \leq \frac{\Delta y}{2}$$

إن قيمة  $(\Delta x)$  يمكن حسابها من القيمة الحرجة  $(\Delta x_c)$  التي تساوي:

$$\Delta X_c = (2\pi / X_{\max} - X_{\min}) \quad (16-1)$$

حيث  $(X_{\max}, X_{\min})$  تمثل القيمة العظمى و الصغرى للخط المستقيم المكون للجسم .

و إن هولوجرام لومان يشكل بطريقتين:

**أولاً: تمثيل الطور والسعة (Type I)**

### ثانيا : تمثيل الطور وتثبيت السعة على حالتين :

- ١- تمثيل الطور و تثبيت السعة على طول ارتفاع الخلية (Type II) .
- ٢- تمثيل الطور و تثبيت السعة على مقدار نصف ارتفاع الخلية (Type III)

وقد وجد أن حجم النافذة في الاقل يجب أن يساوي نصف حجم الوحدة (cell) التي تحويها ، وأن تكون المسافة الفاصلة  $(\Delta x)$  بين العينات أقل من المسافة الفاصلة الحرجه  $(\Delta x_c)$  حيث تبدو الصورة التي اعيد بناؤها ذات قدرة ايضاح عالية <sup>(٣٥)</sup> وأن التوزيع الفضائي الأمثل للسعة والطور في مستوي الهولوجرام يتم من خلال معايرة زوايا الطور بحيث لا تزيد على  $(2\pi)$  ومعايرة قيم السعة بحيث لا تزيد على الواحد <sup>(٣٦)</sup>. وقد تمكن الباحث (James) من إيجاد مقدار الخطأ في هولوجرام لومان الذي يساوي <sup>(٣٧،٣٨)</sup> .

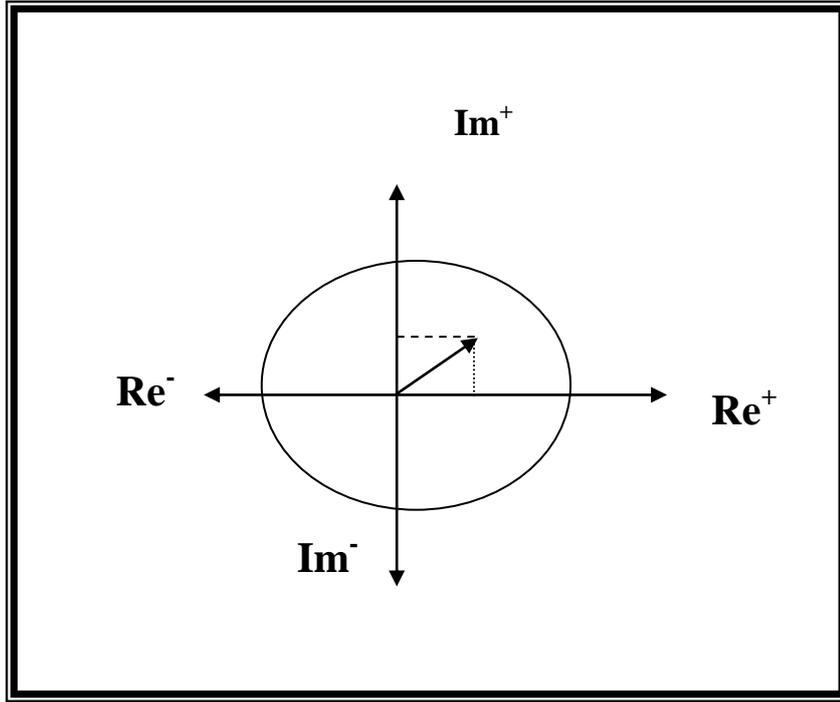
$$\Delta w = (\Delta x / \lambda)^2 W(m\Delta x) \partial w(m\Delta x) / \partial x \quad (١٧-١)$$

حيث  $\Delta W$  تمثل مقدار الخطأ في جبهة الموجة في هولوجرام لومان .  
 $W(m\Delta x)$  تمثل جبهة الموجة الاصلية لهولوجرام لومان .  
 $\partial w(m\Delta x) / \partial x$  تمثل مقدار تغير جبهة الموجة مع الإحداثي  $x$ .

### ١-٥-٣-٢ هولوجرامات لي (Type IV) Lee Holograms

ان السعة المعقدة الناتجة عن تحويل فورييه يتم تقسيمها الى قيمتين حقيقتين على طول المحاور الأربعة في المستوى العقدي الممثل بمستوى الهولوجرام، حيث كلتا القيمتين تنفذ في الهولوجرام شرائح عمودية وهذه الشرائح لها طول يتناسب مع مقدار الجزء الحقيقي (Real part) والخيالي (Imaginary part) الموجب والسالب <sup>(٣٩)</sup> .

إن الخلايا المجزأة تختلف في الطور بمقدار  $\frac{\pi}{2}$  ، ولتشكيل الهولوجرام تقسم الخلية الى أربع شرائح. وفي هذه الخلية المجزأة إما ان تكون فيها نافذة أو نافذتان أو لا يكون فيها أية نافذة وهذه ناتجة عن تحليل المستوى العقدي الى أربعة محاور ممثلة بالجزء الحقيقي والخيالي الموجب والسالب كما هو مبين في الشكل (٤-١) .



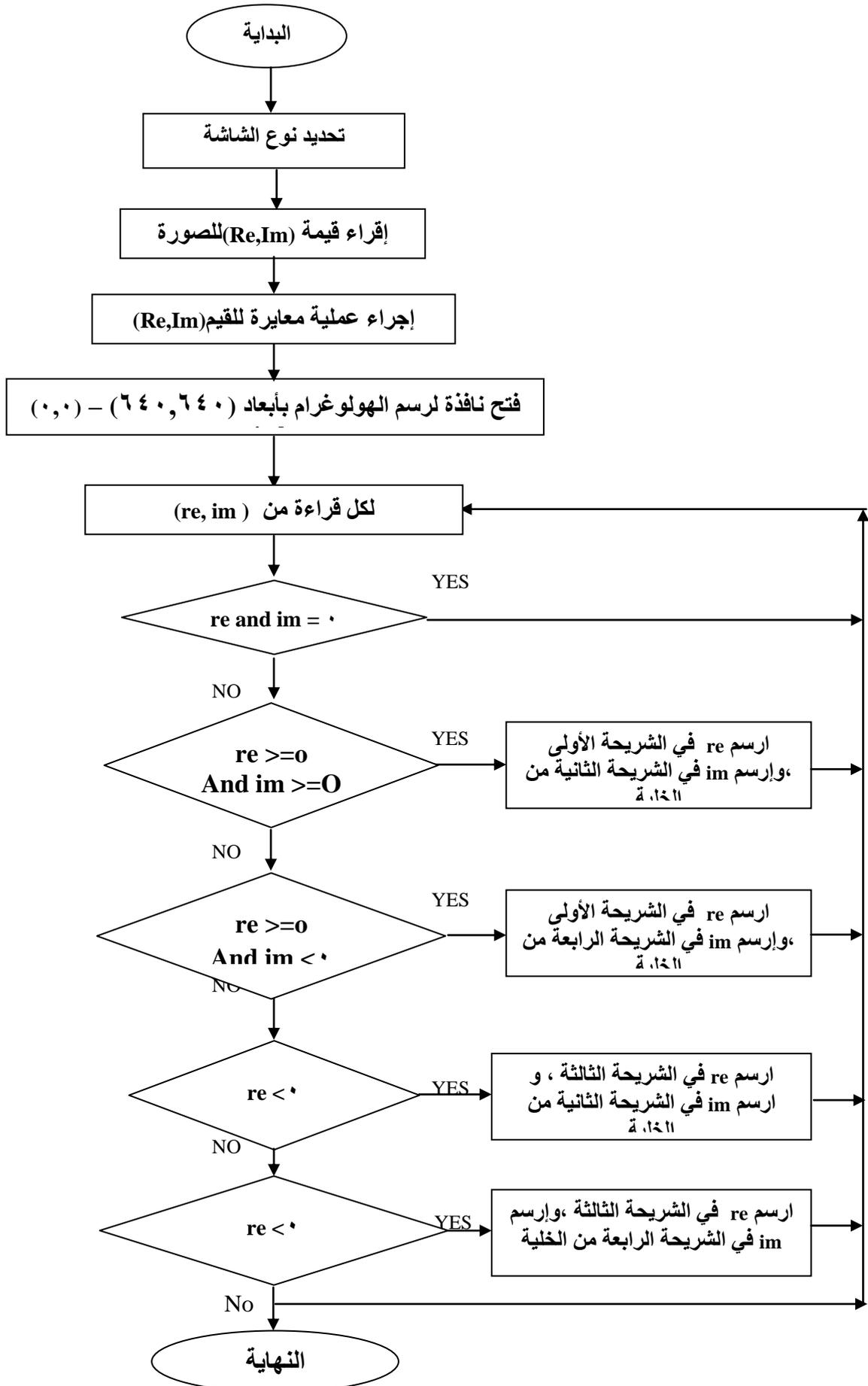
شكل (٤-١) : تحليل قيمة تحويل فورييه في المستوى العقدي

بعد قراءة الملف الحاوي على الجزء الحقيقي (Re) و الخيالي (Im) للصورة تتم معايرتها لحصر قيمها بين (١-٠) و من خلال المعادلتين الاتيتين:

$$re = \frac{Re - \min}{\max - \min} \quad (١٨-١)$$

$$im = \frac{Im - \min_1}{\max_1 - \min_1} \quad (١٩-١)$$

إذ إن  $re$  ,  $im$  تمثل القيم الجديدة للجزئين الحقيقي و الخيالي على الترتيب وتكون محصورة بين (١-٠) وان  $\min, \max$  تمثل اقل قيمه و اعظمها للجزء الحقيقي, وان  $\max_1, \min_1$  تمثل اعظم قيمه و اقلها للجزء الخيالي ويوضح المخطط (٤-١) خطوات توليد الهولوجرام الحاسوبي نوع لي (Lee hologram) .



مخطط (٤-١) : خطوات توليد هولوغرام حاسوبي نوع لي

### ٣-٣-٥-١ الهولوجرام الحاسوبي نوع (Type V) Sawchuk and Hsueh:

في هذا النوع من الهولوجرام الحاسوبي يتم تقسيم قيمة السعة المعقدة الممثلة بتحويل فورييه إلى مقدارين للطور. إذ إن الخلية التابعة للهولوجرام تقسم إلى نافذتين و إزاحة كل نافذة تمثل قيم الطورين . والعرض ( $W_s$ ) لكل نافذة هو بالضبط نصف عرض الخلية الواحدة أي إن ( $W_s = W/2$ ).

$$H_2 = H_1 = H \quad (٢٠-١)$$

حيث إن  $H_1$  و  $H_2$  تمثل ارتفاع كل من النافذة الأولى والثانية على الترتيب . أما بالنسبة إلى ارتفاع الخلية فإنه يساوي:

$$d_c = H_1 + H_2 \quad (٢١-١)$$

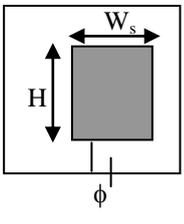
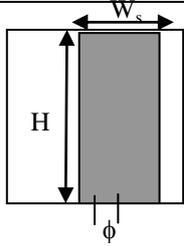
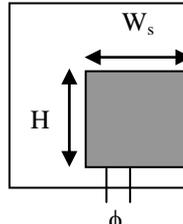
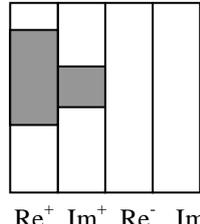
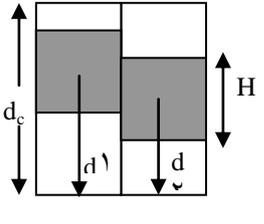
تسمى هذه التقنية بهولوجرام ثنائي الطور المولد حاسوبياً (Computer Generated Double phase Hologram) ويرمز لها (DPH) إذ أن هذه العملية مبنية على اساس أن أية قيمة للنفاذية العقدية ( $A_m \cdot \exp(i\phi)$  أي إن  $0 \leq A_m \leq 1$ ) يمكن تحليلها إلى حاصل جمع متجهين ثابتين ويعبر عنها:

$$F = A_m e^{i\phi} = \frac{1}{2} e^{i(\phi+c)} + \frac{1}{2} e^{i(\phi-c)} \quad (٢٢-١)$$

حيث إن قيمة  $c$  تمثل بالعلاقة:

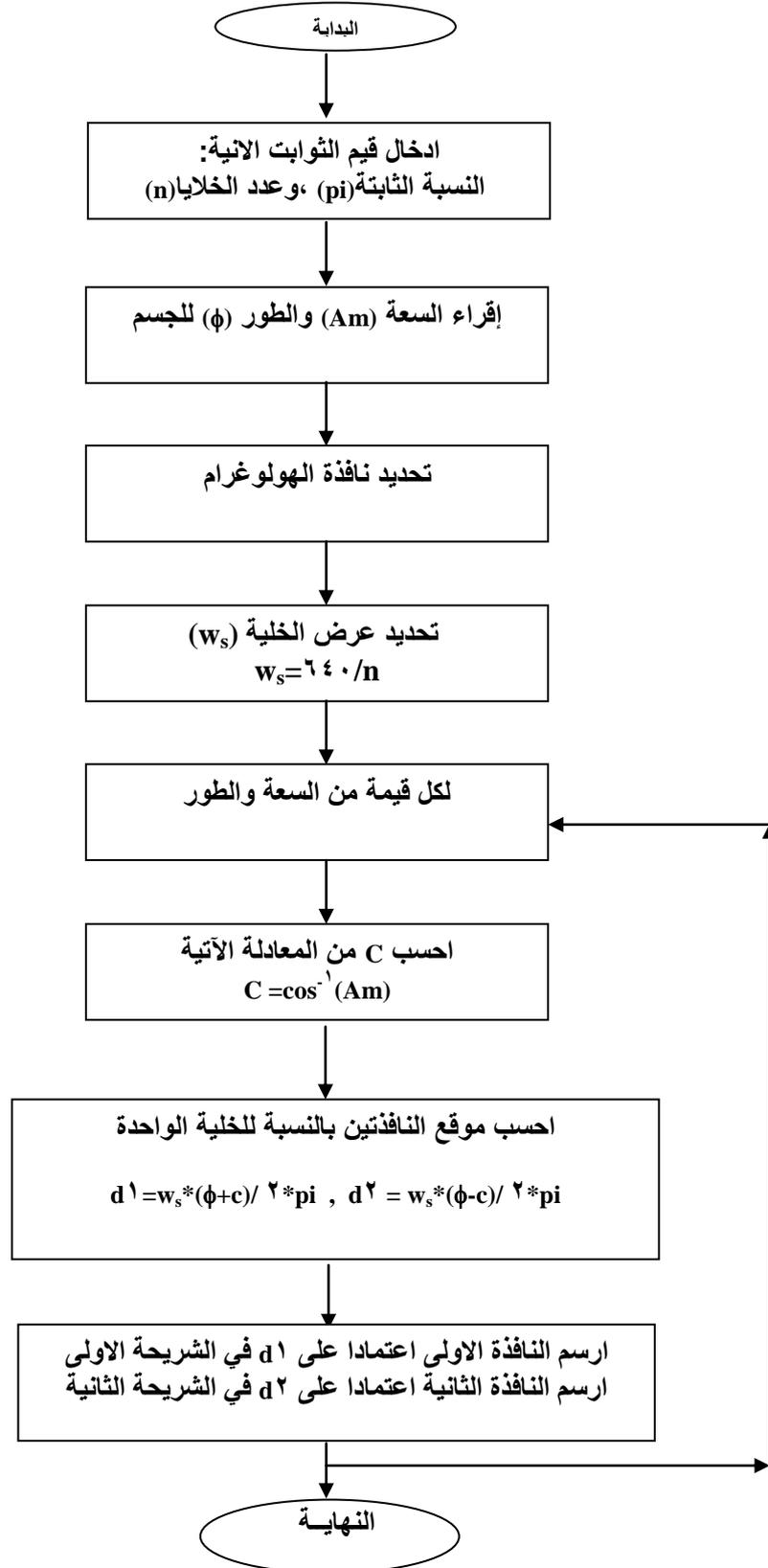
$$C = \cos^{-1} A_m, 0 \leq c \leq \frac{\pi}{2} \quad (٢٣-١)$$

ويوضح الشكل (٥-١) الطرق الأكثر شيوعاً في تمثيل هولوجرامات التفاضل الطور :

TYPE I	TYPE II	TYPE III	TYPE IV	TYPE V
				
(H, $\phi$ ) Variable ( $W_s$ ) fixed	( $\phi$ ) Variable (H, $W_s$ ) fixed $H=1$	( $\phi$ ) Variable (H, $W_s$ ) fixed $H=1/2$	$H^1, H^2, H^3, H^4$ Variable	$H^1 = H^2 = H$ $H^1 + H^2 = d_c$

شكل (٥-١) : اشكال الترميزات العائدة الى تقنية التفاضل الطور .

ويوضح المخطط (٥-١) خطوات توليد هولوغرام حاسوبي نوع Sawchuk and Huseh مخطط (٥-١) : يمثل المخطط الانسيابي لتشكيل هولوغرام نوع



Sawchuk and Hsueh (Type V)

٤-٥-١ الهولوغرامات الحاسوبية الدائرية : circular computer Holograms (٤١)

يرمز لهذه الهولوجرامات بالرمز (CCH) و إن هذه التقنية تنتج من جمع موجة الجسم مع موجة مخروطية (Conical wave) كموجة مرجع (References Wave) و إن التردد الناقل (carrier frequency) يكون بالاتجاه الشعاعي (Radial Direction) . وبسبب التماثل (Symmetry) للموجة المخروطية نجد أن الاهداب للهولوجرام الحاسوبي تمتلك تناظراً دائرياً، وان موجة المخروط توصف بالعلاقة الآتية :

$$\exp[j2\pi r / r_0] \quad (٢٤-١)$$

إذ تمثل (r) نصف القطر، وتمثل  $\left(\frac{1}{r_0}\right)$  الميل (slope) في جبهة الموجة في الاتجاه الشعاعي و إن الشدة [I (r,θ)] لموجة الجسم  $\exp[j\phi(r,\theta)]$  A(r,θ) والموجة المخروطية توصف بالمعادلة الآتية :

$$\begin{aligned} I(r,\theta) &= |A(r,\theta)\exp[j\phi(r,\theta)] + B\exp[j2\pi r / r_0]|^2 \\ &= A^2(r,\theta) + B^2 + BA(r,\theta)\exp\{-j[2\pi r / r_0 - \phi(r,\theta)]\} \\ &+ BA(r,\theta)\exp\{j[2\pi r / r_0 - \phi(r,\theta)]\} \end{aligned} \quad (٢٥-١)$$

و في إعادة البناء يتم اضاءة الهولوجرام بموجة مخروطية عندئذ تعطى نفاذية الضوء خلال الهولوجرام بالعلاقة الآتية :

$$\begin{aligned} \exp[j2\pi r / r_0]I(r,\theta) &= [A^2(r,\theta) + B^2]\exp[j2\pi r / r_0] \\ &+ BA(r,\theta)\exp[j\phi(r,\theta)] \\ &+ AB(r,\theta)\exp[j4r / r_0 - j\phi(r,\theta)] \end{aligned} \quad (٢٦-١)$$

ان عرض (Width) ومواقع (positions) الاهداب في (Computer-Generated CCH) تعطى بالعلاقة الآتية :

$$-q(r,\theta) \leq \phi(r,\theta) / 2\pi + r / r_0 + n \leq q(r,\theta) / 2 \quad (٢٧-١)$$

إذ أن :  $[q(r,\theta) = \sin^{-1} \frac{A(r,\theta)}{\pi}]$  و إن n تمثل عدداً صحيحاً ، و إن اعظم قيمة لـ [A(r,θ)]

هي واحد . إن معادلة المحرز الهولوجرافي العامة (general Holographic grating equation) تعطى بالعلاقة الآتية :

$$\phi(r,\theta) / 2\pi + r / r_0 = n \quad (٢٨-١)$$

## ١-٥-٥ الهولوجرامات الحاسوبية المحورية (٤٢-٤٣)

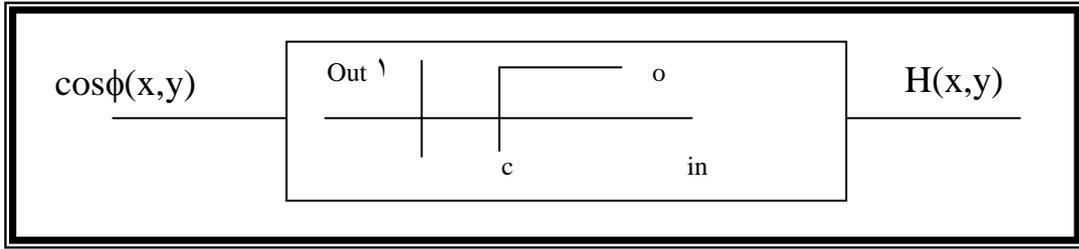
### *In-Line Computer Holograms*

إن الميزة الأساسية لهذه الهولوجرامات هي أن فرق الطور للجبهات الموجية المتداخلة يساوي صفراً. ومن أهم المحرزات الهولوجرافية المصنعة بهذه الطريقة هو محرز الجيب تمام (cosine grating) أو ما يدعى بالهولوجرام الثنائي المتناوب (Alternative Binary Hologram) . وللحصول على جبهة الموجة  $\exp[i\phi(x,y)]$  يتم مرور الدالة  $[\cos \phi(x,y)]$  خلال محدد غير خطي (Nonlinear Limiter) وهو المبين في

الشكل (٦-١) و بشكل واضح فأنا نجد أن الدالة الخارجة  $H(x,y)$  لهذا المحدد هي ثنائية، ويمكن ان نعبر عنها بالمعادلة الآتية :

$$H(x, y) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \frac{\sin(m\pi q)}{m\pi} e^{[im\phi(x,y)]} \quad (٢٩-١)$$

إذ أن  $(q)$  تعطى بالعلاقة  $[\sin^{-1} \frac{A(x,y)}{\pi}]$  وتكون محصورة بين  $(0 \leq q \leq \frac{1}{2})$  ، وبهذا فإن دالة الهولوجرام الثنائي بواسطة هذا المحدد يمكنها انتاج اية جبهة موجية مرغوبة.



شكل (٦-١) يمثل المحدد المثالي لتوليد الهولوجرام الثنائي، المعلم  $(c)$  يساوي  $\cos(q\pi)$ ، وأعظم قيمة لـ  $A(x,y)$  فهي تتغير للقيمة (١).

ومن الشكل (٦-١) نرى أن دالة الهولوجرام  $H(x,y)$  لها قيم غير صفرية اذا حققت الشرط  $[\cos\phi(x,y) \geq \cos q\pi]$  التي يمكن كتابتها بالشكل الآتي :-

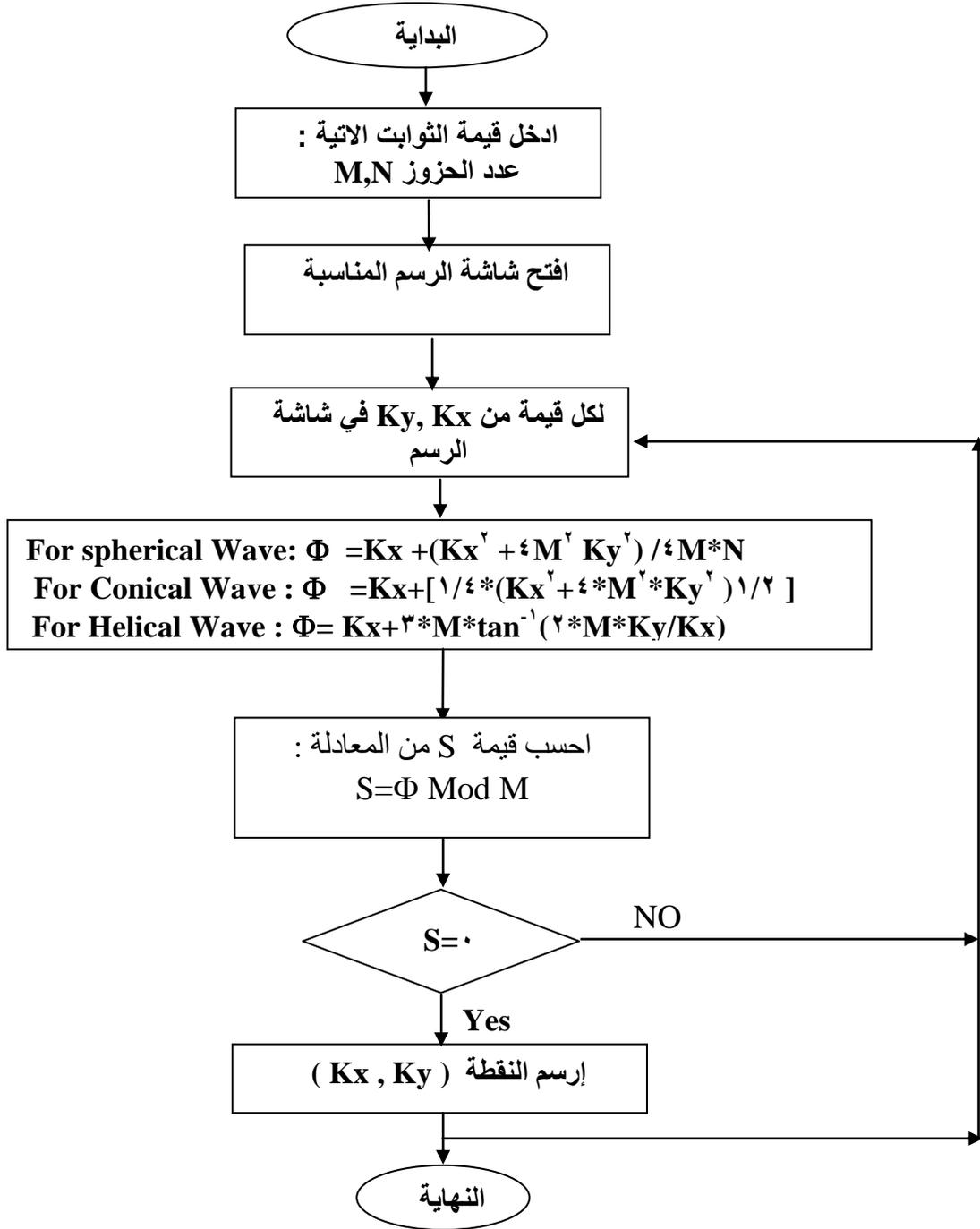
$$-q/2 \leq \phi(x,y)/2\pi + n \leq q/2 \quad (٣٠-١)$$

حيث  $n$  هو عدد صحيح ويمثل مرتبة الهدب ، هذه المعادلة تعطي الصيغة العامة لتوليد الهولوجرام الثنائي. وعندئذ فإن التعبير العام لتوليد الهولوجرام الذي سوف يعيد بناء جبهة الموجة تعطى بالعلاقة الآتية :

$$-q/2 \leq x/d + \phi(x,y)/2\pi + n \leq q/2 \quad (٣١-١)$$

فاذا كان الطور  $\phi(x,y)$  هو مقداراً ثابتاً فالمحزز الثنائي (Binary Grating) المصنوع باستخدام معادلة (٣١-١) هو محزز دوري مع حز له عرض  $(d)$  .

يوضح المخطط (٦-١) خطوات بناء المحرز الهولوجرافي لانتاج جبهة الموجة الكروية والمخروطية والحلزونية<sup>(٤٢)</sup>.



المخطط (٦-١) : المخطط الانسيابي لتشكيل المحرز الهولوجرافي لإنتاج جبهة الموجة (الكروية ، المخروطية ، الحلزونية) .

٦-٥-١ الهولوجرامات الحاسوبية اللامحورية (٤) :

*Off-axis Computer Holograms*

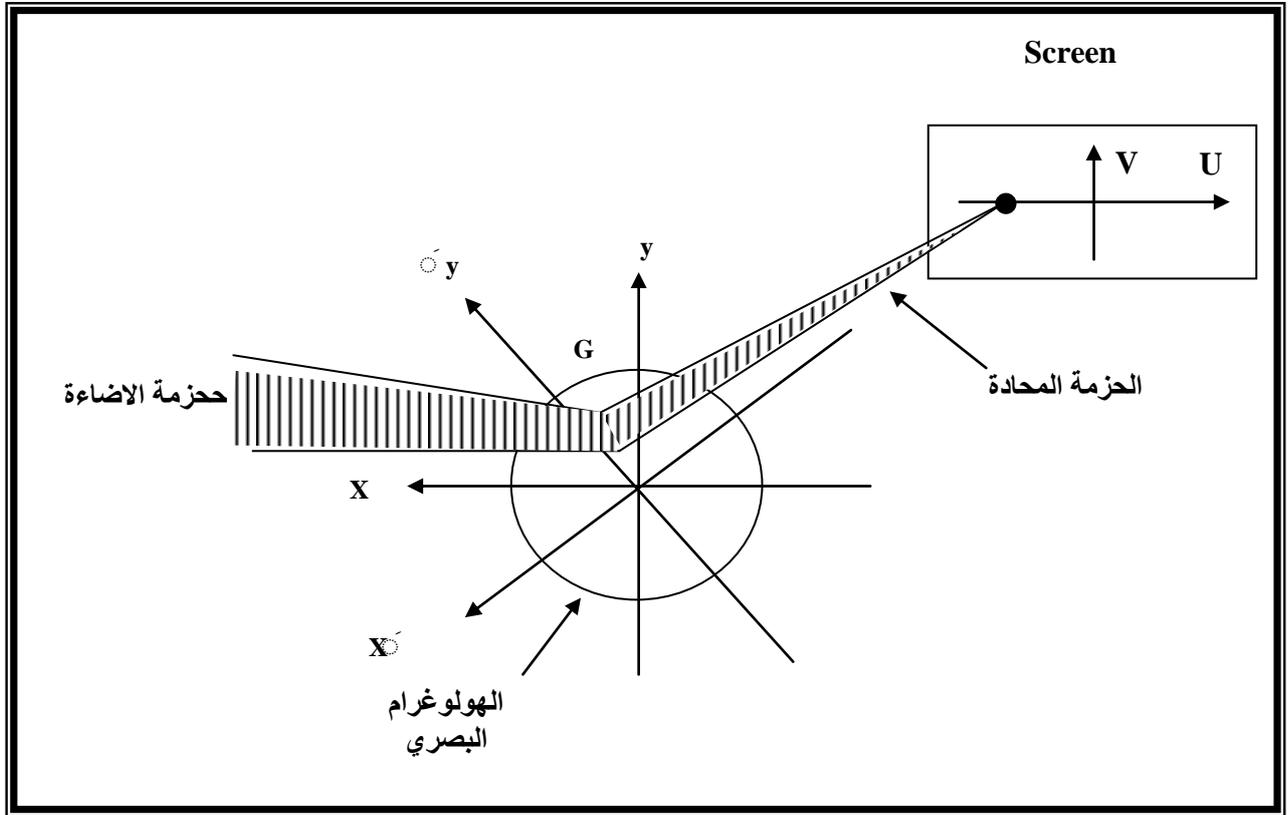
ان هذه الطريقة تعد من اسهل الطرق لإنتاج الهولوجرام الحاسوبي ، وان فرق الطور بين الجبهات الموجية المتداخلة لا يساوي صفراً . وهذه الطريقة تتمثل بتداخل الموجة المستوية (plane Wave) مع الموجة الكروية (spherical Wave) . ويطلق عليها ايضاً بـ (هولوجرامات مناطق فرينيل غير المحورية) (Off-axis Fresnel Zone Plates Holograms).

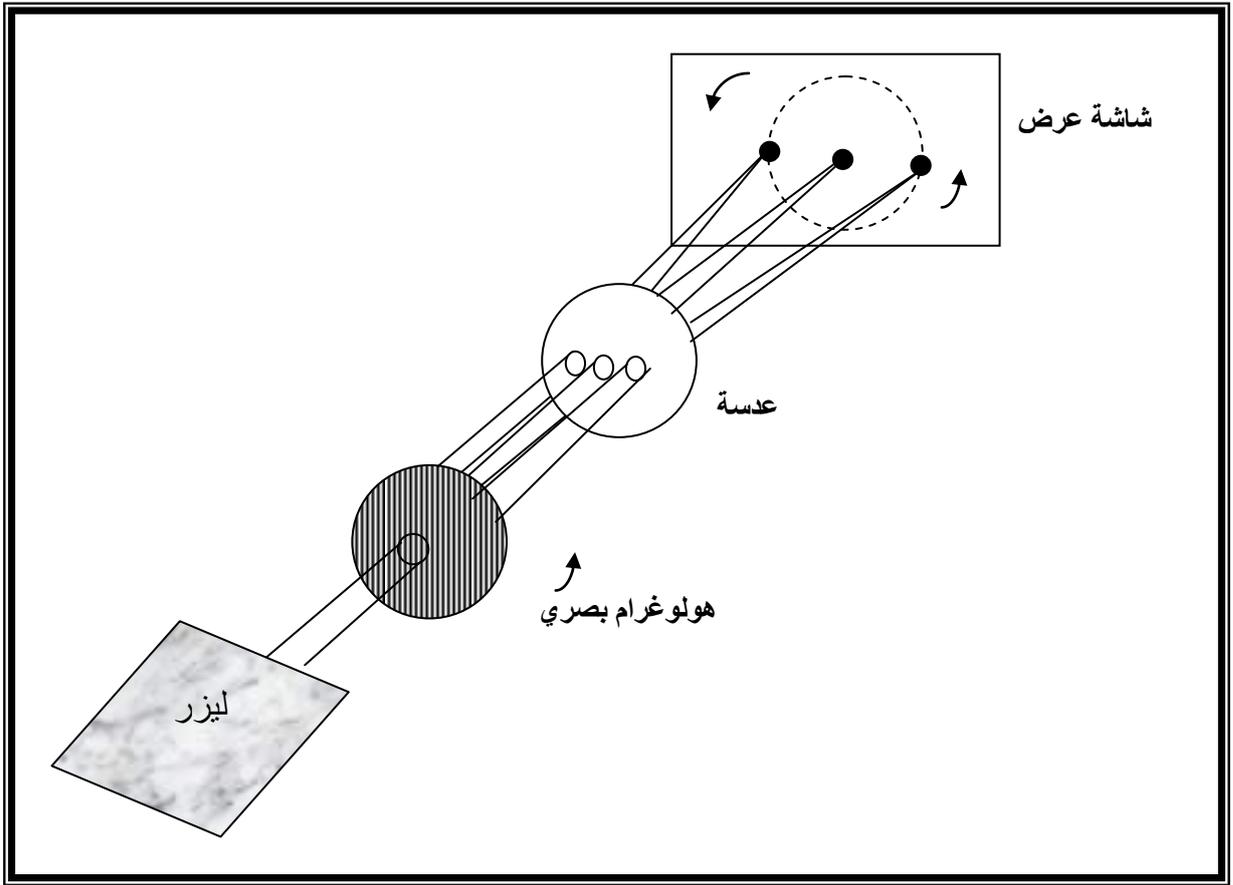
### ٦-١ المماسح الهولوجرافية البصرية (٤٤، ٤٥، ٤٦)

#### Optical Holographic Scanners

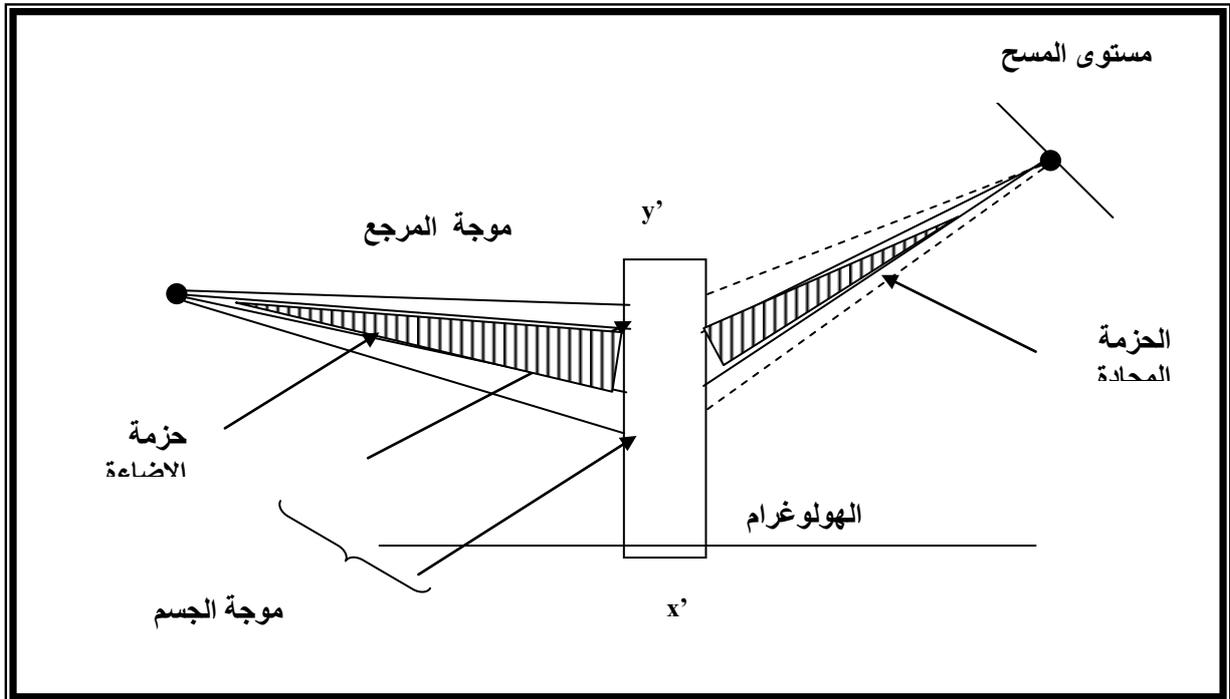
تتصف هذه المماسح بأن لها هولوجرامات (حارفات) ذات تردد فضائي ثابت ( Constant Spatial Frequency ) ومتغيرة الاتجاه الزاوي نتيجة لدورانها حول محور ثابت يمر بمركزها . أي إن حركة هذه الهولوجرامات هي حركة دورانية ( Rotation Motion ). ويوضح الشكل (٧-١) الماسح الهولوجرافي البصري .

-أ-





-ب-



-ج-

شكل (٧-١) الماسح الهولوجرافي البصري

أ- هندسة بناء الماسح الهولوجرافي ب- هندسة تسجيل الهولوجرام و إعادة البناء

ج- ماسح هولوجرافي بصري

حيث يتضمن الشكل (٧-١) (أ- ب) هندسة بناء الماسح الهولوجرافي بشكل عام و ان :

- ◆  $x, y$  تمثل احداثيات الهولوغرام قبل الدوران.
- ◆  $\bar{x}$  و  $\bar{y}$  تمثل احداثيات الهولوغرام بعد الدوران.
- ◆  $G$  تمثل الزاوية التي يدور بها الهولوغرام البصري .
- ◆  $U, V$  تمثل احداثيات الشاشة لعرض خطوط المسح بالاتجاه  $x, y$  على الترتيب.

إذ أن الهولوغرام البصري المصنع عبارة عن محرز ( Grating ) يعمل على حيود حزمة الاضاءة عند دورانه بزاوية (G) .

أما الشكل (٧-١-ب) فيتضمن هندسة تسجيل الهولوغرام البصري وعملية إعادة البناء، حيث إن حزمة الجسم وحزمة المرجع تتداخل أولاً على اللوح الفوتوغرافي لتكوين الهولوغرام ثم تجري عمليتا الإنماء (Development) والقصر (Bleaching) ليعمل على تحسين كفاءة الحيود للهولوغرام . بعد ذلك يتم توجيه حزمة المرجع (حزمة الاضاءة) على الهولوغرام البصري الذي سيعمل بدوره على حرف حزمة الليزر وتكوين خطوط المسح.

و يوضح الشكل (٧-١-ج) الماسح الهولوغرافي مع وجود هولوغرام بصري يشكل من حزمة ليزر كروية متباعدة (حزمة الجسم) مع حزمة ليزر مرجع كروية متقاربة . لنفرض ان الاحداثيين (U, V) هي احداثيات الشاشة بإتجاه المحور (x) والمحور (y) على التوالي . من الشكل (٧-١-ج) تلاحظ أن الشاشة تقع في البعد البؤري للعدسة (f) ، وأن الفاصلة بين اهداب المحرز هي (d) (Grating Spacing) وقد تم إضاءة هذا المحرز بحزمة ليزرية متقاربة (Convergent) في الوقت الذي يكون فيه خطوط المحرز في وضع يوازي المحور (V) ، فإن حزمتي الحيود للمرتبة الاولى على جانبي المرتبة الصفرية الخارجة من المحرز سوف تتركز على الاتجاهين الموجب والسالب للمحور (U) في المستوي البؤري الخلفي للعدسة حسب العلاقة الآتية :

$$U = \pm \frac{\lambda f}{d} \quad (٣٢-١)$$

إذ تمثل :-

$\lambda$  الطول الموجي لحزمة الليزر المستخدمة .

f البعد البؤري للعدسة المستخدمة

d فاصلة الاهداب

عند تدوير هذا الهولوغرام فإن البقع المركزية تتحرك طبقاً للمعادلة الآتية :

$$U = \pm R \cos G \quad (٣٣-١)$$

$$V = \pm R \sin G$$

حيث R تمثل بعد الحزمة المحادة ذات المرتبة الاولى عن الحزمة المركزية غير المحادة و تعطى بالعلاقة :

$$R = \frac{\lambda f}{d} \quad (٣٤-١)$$

ان البقع التي تظهر على الشاشة تكون في شكل دائرتين لهما نفس نصف القطر (R) في المستوى الترددي ، لذلك تكون خطوط المسح في شكل قوس دائرة . ولغرض تصحيح هذه الاقواس يلجأ الى حشر هولوغرام اخر له نفس السرعة و نفس التردد و لكنه يدور بعكس الاتجاه.

و لأجل ايجاد عدد النقاط المنفصلة (resolution) ( $N_s$ ) نفرض ان (D) هو قطر الحزمة و ( $\theta$ ) هي زاوية المسح عندئذ تكون :

$$N_s = \frac{R\theta D}{\lambda f} \quad (٣٥-١)$$

وبالتعويض عن  $R = \frac{\lambda f}{d}$  في معادلة (٣٥-١) نحصل على :

$$N_s = \theta \left( \frac{D}{d} \right) \quad (٣٦-١)$$

إذ أن النسبة  $\left( \frac{D}{d} \right)$  تمثل عدد الاهداب .

يلاحظ من المعادلة (٣٦-١) أن (Resolution) لا تعتمد على الطول الموجي .

عند توليد الهولوجرامات البصرية يجب تطبيق شرط براغ ( Bragg Condition) الذي ينص على أن :- (زاوية السقوط لأي أشعة في حزمة الاضاءة يجب أن تساوي زاوية السقوط للأشعة المقابلة في حزمة المرجع أثناء التسجيل) ، أي إن شرط براغ متحقق فقط عندما تكون زاوية الدوران مساوية للصفر ( $G=0$ ) وفي هذه الحالة يجب الاخذ بنظر الاعتبار العلاقة بين حزمة المرجع وحزمة الجسم التي تعطي بالعلاقة<sup>(٤٧)</sup> .

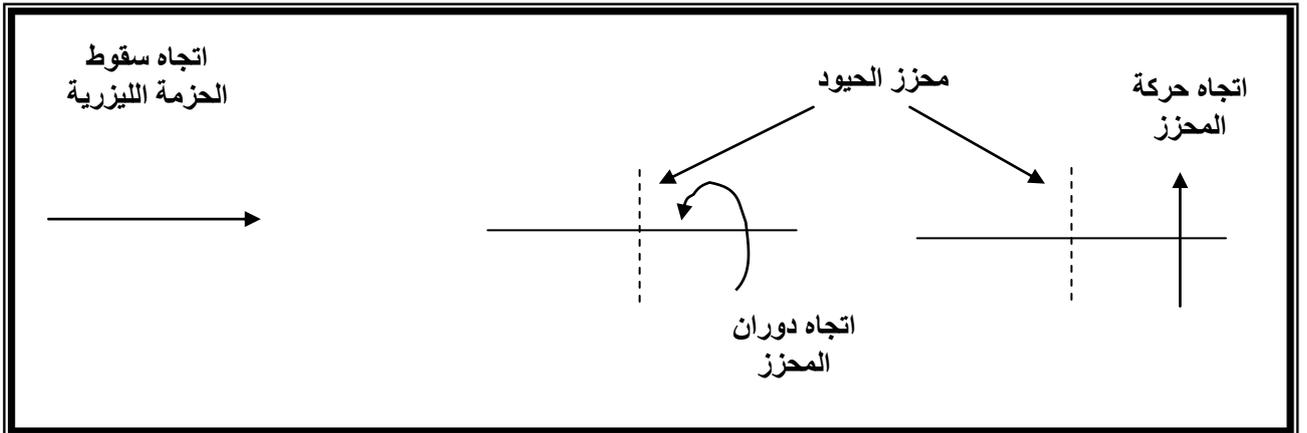
$$d = \frac{\lambda}{\sin \delta} \quad (٣٧-١)$$

حيث تمثل  $\delta$  الزاوية بين حزمة المرجع وحزمة الجسم .

## ٧-١ الماسح الهولوجرافي الحاسوبي<sup>(٤٥،٤٦)</sup>

### Computer Holographic scanner

تتصف الهولوجرامات الحاسوبية المكونة لهذه الماسح بأن لها تردداً فضائياً متغيراً ( Variant Spatial Frequency) بين نقطة وأخرى ضمن الهولوجرام . حيث تتم عملية الحرف ( Deflection) للحزمة الليزرية عن طريق الحيود وذلك عند سقوطها على محرز حيود ( Diffraction Grating) معد لهذا الغرض ، حيث يعمل على حرف اتجاه الحزمة بزاوية تتناسب مع كثافة الخطوط (الحزوز) في المحرز ، وكذلك مع الطول الموجي للشعاع الليزري الساقط . ويتم تحقيق حركة المسح أي حركة البقعة الماسحة (Scanning Spot) عن طريق حركة المحرز الانتقالية (Translation) عبر حزمة الليزر ، يسمى هذا المحرز ايضاً بالعنصر البصري (optical element) . هناك اسلوبان لحركة العنصر البصري في الماسح الهولوجرافي ، إذ يمكن ان تكون الحركة دورانية (Rotational) أو انتقالية (Translation) كما هو مبين في الشكل (٨-١) .



شكل (١-٨) اسلوب حركة المحرز نسبة الى الحزمة الليزرية الساقطة  
أ- حركة انتقالية ب- حركة دورانية

ان الهولوجرامات الحاسوبية (Computer Hologram) المصنعة لأغراض المسح يتم تشكيلها على شكل اسطوانة (Drum) أو على شكل قرص (Disk) إذ يتم تدويرها للحصول على الحركة المطلوبة للبقعة الماسحة. يتبين من ذلك بأن للماسح الهولوجرافي الحاسوبي صفات مشتركة مع ماسح المرآة المضلعة الدوارة (Rotating Polygon Mirror) حيث لا بد من الحركة الميكانيكية لأجل تحقيق انحراف للشعاع الخارج من الماسح وهذا الانحراف يتم عن طريق الحيود بالنسبة للماسح الهولوجرافي الحاسوبي بدلاً من الأنعكاس بالنسبة لماسح المرآة المضلعة. يمكن الحصول على درجات تحليل (Resolution) متقاربة بالنسبة لكل من الماسح الهولوجرافي الحاسوبي وماسح المرآة المضلعة. ومع هذا فإن الماسح الهولوجرافي الحاسوبي يتميز بكونه أكثر جاذبية (Attractive) مقارنة بماسح المرآة المضلعة، إذ يتصف الماسح الهولوجرافي بمرونة (Flexibility) أكثر من حيث الاستخدام وعلى سبيل المثال يمكن اختيار هندسة السطح للمحزر الهولوجرافي بحيث تؤمن استقرارية ميكانيكية للماسح عند العمل ضمن السرعات العالية، وذلك لعدم وجود محددات (قيود) (Restrictions) في ما يتعلق بالشكل الهندسي لسطح المحرز كما هو الحال بالنسبة لماسح المرآة المضلعة. كذلك فإن متطلبات عملية الترصيف (Aligning) (أو ضبط خط التنظيم) التي تعد حيوية جداً بالنسبة لماسح المرآة المضلعة، يمكن أن تختزل بشكل كبير في الماسح الهولوجرافي الحاسوبي. وعلى وفق ما ذكر فإن الماسح الهولوجرافي الحاسوبي يصنف الى صنفين أساسيين :

### ١-٧-١ الماسح الهولوجرافي ذو الشكل الاسطواني<sup>(٦)</sup>

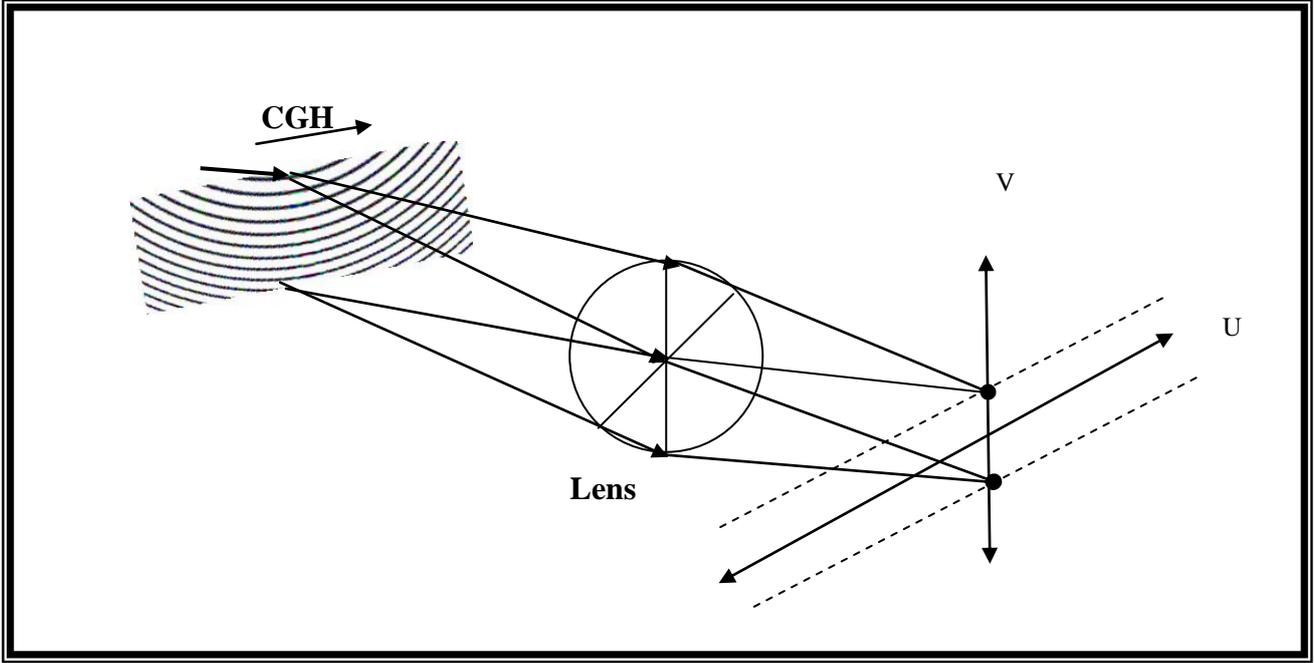
#### *Holographic scanner for Drum configuration*

ان الهولوجرامات الحاسوبية المستخدمة في هذا النوع من الماسح هي هولوجرامات مناطق فرينيل الحاسوبية (Computer Fresnel Zone Plates) كما هو موضح في الشكل (٩-١). إذ أن فرق الطور لمثل هذا الهولوجرام يعطى بالعلاقة :

$$\Phi(x, y) = \frac{2\pi y}{d} + \phi(x, y) \quad (٣٨-١)$$

حيث  $\phi(x, y)$  هي دالة الطور (Phase Function) المسجلة في الهولوجرام. و  $d$  تمثل فاصلة الاهداب و يمثل الحد الاول التردد الناقل (Carrier Frequency) باتجاه المحور  $(y)$ ، و إن التردد الفضائي باتجاه المحور  $(x)$ . هو :

$$v_x(x, y) = (2\pi)^{-1} \frac{\partial \phi(x, y)}{\partial x} \quad (٣٩-١)$$



شكل (٩-١) : ماسح هولوغرافي حاسوبي يستخدم هولوغرام صفائح فرينل الحاسوبية (CGH) .

عندما يبدأ الهولوغرام بالحركة عبر حزمة الليزر الشكل (٩-١) فإن زاوية الحيود تعطى بالعلاقة الاتية :

$$\theta = \sin^{-1}[\lambda v_x(x, y)] \quad (٤٠-١)$$

ان تغير دالة الطور المسجلة في الهولوغرام باتجاه الإحداثي (x) يجب ان تحقق العلاقة الآتية :

$$\frac{\partial \phi(x, y)}{\partial x} = \frac{2\pi x}{w dx} \quad (٤١-١)$$

إذ تمثل (w) عرض الهولوغرام ، وتمثل (dx) المسافة الفاصلة بين نقطة تحليل و اخرى على طول خط المسح وبتكامل المعادلة (٤١-١) نحصل على :

$$\phi(x, y) = \frac{\pi x^2}{w dx} + g(y) \quad (٤٢-١)$$

$$\text{و عند التعويض عن } \phi(x, y) = \frac{\pi(x^2 + y^2)}{w dx} \text{ ، } g(y) = \frac{\pi y^2}{w dx} \text{ فإن معادلة (٤٢-١) تصبح :-} \quad (٤٣-١)$$

وبتعويض معادلة (٤٣-١) في معادلة (٣٨-١) نحصل على فرق الطور النهائي :

$$\phi(x, y) = \frac{2\pi y}{d} + \frac{\pi(x^2 + y^2)}{w dx} \quad (٤٤-١)$$

ان المعادلة (٤٤-١) تمثل نموذج التداخل لموجة مستوية مائلة (Tilted Plane Wave)

النقاط المنفصلة (Resolution) تساوي :  
 $\exp\left[\frac{j2\pi y}{d}\right]$  وموجة كروية  $\exp\left[\frac{j\pi(x^2 + y^2)}{wdx}\right]$  (Spherical Wave). كذلك نجد ان عدد

$$N_s = \frac{L}{dx} \quad (٤٥-١)$$

إذ تمثل  $L$  طول الهولوجرام ، وإن أعظم تردد فضائي  $(v_x)_{\text{Max}}$  نحصل عليه عندما  $(x = \pm \frac{L}{2})$  و بمعنى آخر أن :

$$v_x(x, y) = \frac{x}{wdx}$$

أذا  $x = \pm \frac{L}{2}$  عندئذ نحصل على :-

$$(v_x)_{\text{max}} = \frac{L}{2wdx} \quad (٤٦-١)$$

وبجعل  $(v_x)_{\text{Max}}$  مساوياً الى ثابت مضروب في التردد الناقل  $\left(\frac{1}{d}\right)$  نجد أن :

$$(v_x)_{\text{max}} = \frac{L}{2wdx} = \frac{Q}{d} \quad (٤٧-١)$$

حيث  $(Q)$  ثابت .  
من معادلة (٤٧-١) تستخرج قيمة  $(L)$  وتعوض في (٤٥-١) للحصول على قيمة  $(N_s)$  :

$$N_s = 2Q\left(\frac{w}{d}\right) = 2QN_F \quad (٤٨-١)$$

حيث  $(N_F = \frac{w}{d})$  تمثل عدد الأهداب . وإن التردد الفضائي باتجاه المحور  $(Y)$  يساوي :

$$v_y = \frac{1}{d} + \frac{y}{wdx} \quad (٤٩-١)$$

لكي نتجنب تداخل المرتبة الحائدة الأولى عن بقية المراتب العليا الخارجة من الهولوجرام يجب أن نطبق الشرط الآتي :

$$(v_y)_{\text{max}} \leq \frac{2}{d} \quad (٥٠-١)$$

و ان زاوية الانحراف للشعاع الخارج من الهولوجرام تعطى بالعلاقة الآتية :

$$\tan \theta = \frac{x_0}{F} \quad (٥١-١)$$

إذ تمثل  $X$  أقصى إزاحة للشعاع المنحرف من الهولوجرام و تمثل  $(F)$  البعد البؤري للهولوجرام.  
و إن زمن الإطار  $(t_f)$  (Fram Time) الذي يعرف على أنه الزمن الذي تتغير فيه الزاوية  $(\theta)$  من

الصفر الى اعلى قيمة (X.) ، يمكن الحصول عليه بإشتقاق معادلة (١-٥١) بالنسبة للزمن ، عندئذ  
( $t_f$ ) تساوي :

$$t_f = \frac{x_0}{v_s} \quad (٥٢-١)$$

( $V_s$ ) تمثل سرعة المسح . وأن زمن مرور خط مسح كامل يعطي بالعلاقة الاتية :-

$$T_{(one\ line)} = 2 t_f \quad (٥٣-١)$$

وأن ( $V_s$ ) يمكن الحصول عليها بدلالة تغير الزاوية ( $\theta$ ) مع الزمن حسب العلاقة الاتية :

$$V_s = (F^2 + X_0^2) \dot{\theta} / F \quad (٥٤-١)$$

كذلك يمكن ايجاد تشوه سرعة المسح (Scan Velocity Distortion) التي تعطي حجم البقعة  
بالأتجاه الافقي حسب العلاقة الاتية<sup>(١)</sup> :

$$D_s = \left( \frac{1}{\cos^2 \theta} - 1 \right) * 100\% \quad (٥٥-١)$$

و ان قطر الحزمة التي تعطي حجم البقعة بالأتجاه العمودي يعطي بالعلاقة<sup>(١)</sup> :

$$B_d = \left( \frac{F}{F + Z} \right) * D * \left( \frac{1}{\cos \theta} - 1 \right) \quad (٥٦-١)$$

إذ تمثل :-

(D) قطر الحزمة الساقطة .

(Z) بعد العدسة المستخدمة عن الحاراف (Deflector)

(F) البعد البؤري للهولو غرام

( $\theta$ ) زاوية الحيود .

كذلك يمكن ايجاد كفاءة المسح للماسح الليزري (والتي هي مقدار الضوء الساقط الظاهر في مرتبة  
الحيود و المستخدمة في عملية المسح ) وتعطي بالعلاقة الاتية<sup>(٤٦،٤٨،٤٩)</sup>

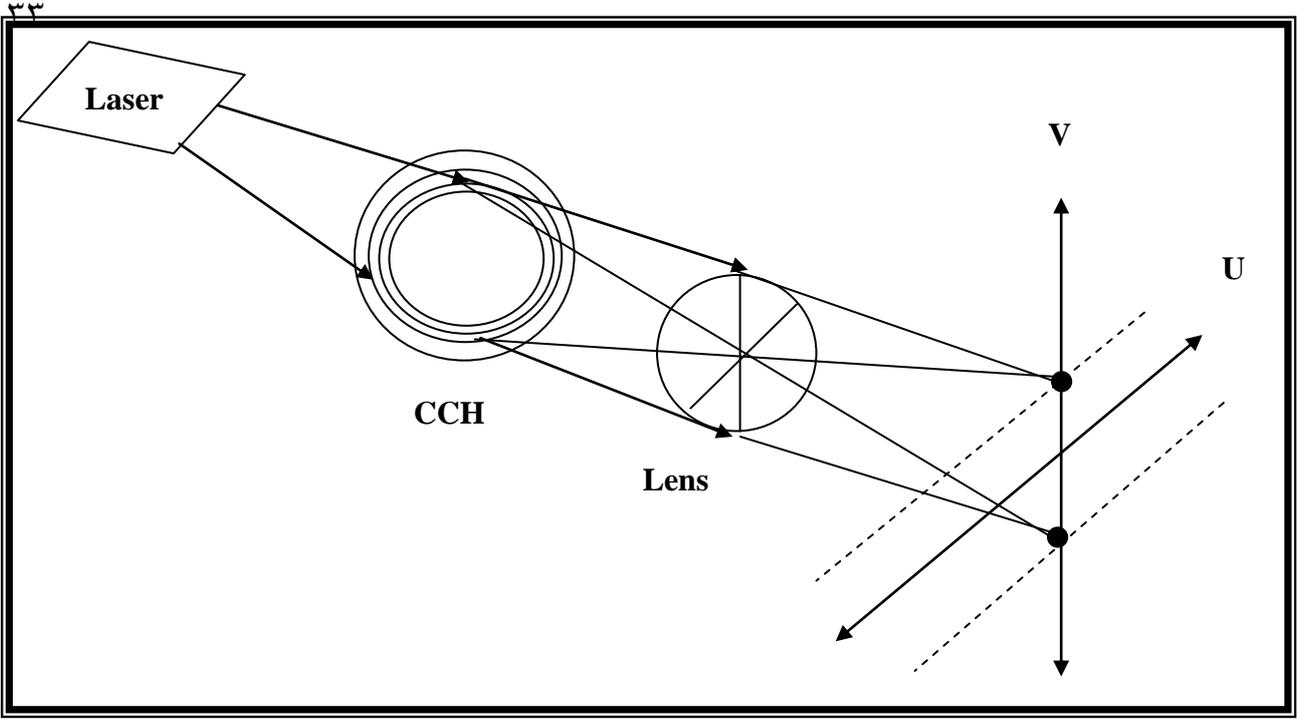
$$E_s = (L - D) / L \quad (٥٧-١)$$

١-٧-٢ الماسح الهولو غرافي ذو الشكل الدائري<sup>(٤٦،٤١)</sup>

### Holographic Scanner for disk configuration

ان الهولو غرامات الحاسوبية المستخدمة في هذا النوع من المواضع هي الهولو غرامات

الدائرية (Circular – Carrier Hologram) كما هو موضح في الشكل (١-١٠) .



شكل (١٠-١) : ماسح هولوغرافي حاسوبي يستخدم هولوغرام دائري (CCH) .

و للحصول على فرق الطور و بالصيغة القطبية نستبدل المتغيرات ( x,y ) في معادلة (١-٥٦) بـ ( r\_n, φ, r ) على الترتيب .

$$\Phi(r, \varphi) = \frac{2\pi r}{d} + \frac{\pi(r_n^2 \varphi^2 + r^2)}{w dx} \quad (٥٨-١)$$

إذ أن r\_n تمثل معدل نصف القطر للهولوغرام و يساوي :

$$r_n = KNd \left[ -1 + (2n \setminus KN + 1)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (٥٩-١)$$

حيث  $K = \lambda F / Rd$  و ان R تمثل نصف قطر الموجة الكروية و قيمة (N) تساوي  $N=R/d$  والقيم التي تحقق المعادلة اعلاه هي:

$$Nd = ٠.٢٥ \text{ cm} , N = ٥٠ , K = ٤$$

و التردد الفضائي بالاتجاه r هو :

$$v_r = \frac{1}{d} \quad (٦٠-١)$$

اما بالاتجاه φ فيعطى بالعلاقة :

$$v_\varphi = \frac{r_n^2 \varphi}{w dx} \quad (٦١-١)$$

ان العلاقات الرياضية المستخدمة في الماسح الهولوغرافي الحاسوبي ذي الشكل الاسطواني تطبق نفسها في الماسح الهولوغرافي ذي الشكل الدائري .

## ١-٨ الدراسات السابقة

١- في الفترة الممتدة من (١٩٦٤ - ١٩٦٧) (٤٦) كان للباحث (L.Beiser) الاثر الكبير في تطوير عملية المسح الليزري. و في سنة ١٩٦٧ قام الباحث (I.Cindrich) باستخدام الهولوغرام البصري لأول مرة في عملية المسح الليزري .

- ٢- في سنة (١٩٦٩)<sup>(٥٠)</sup> تمكنت شركة (IBM) الامريكية وشركة (Nippon Electric) اليابانية من تطوير الماسح الهولوجرافي و بناء ما يعرف بماسح قارئ المبيعات (Point-Of- Sale Scanner) .
- ٣- و خلال الفترة (١٩٧٣-١٩٧٤)<sup>(٥١)</sup> تمكن عدد من الباحثين و منهم (L.Beiser) و (C.S.Ih) و (J.Flamand) من استخدام الهولوجرام في عملية المسح الليزري في بعدين حيث استخدموا عدداً من هذه الهولوجرامات على قرص دوار و كانت طبيعة الحركة لهذه الهولوجرامات دورانية .
- ٤- في سنة (١٩٧٥)<sup>(٥١)</sup> اقترح الباحثان (Pole And Wollenmann) الحركة الانتقالية بدلا من الحركة الدورانية .
- ٥- و في سنة (١٩٧٧)<sup>(٥٢)</sup> تمكن الباحثان (H.Ikeda And L.M.Ando) من بناء (IZP-Hologram) ما يعرف بهولوجرام صفائح فريزل (Interferometric Zone Plate) و هذا الهولوجرام هو لوح التداخل للموجة المستوية (Plane Wave) و موجة كروية (Spherical Wave) و استخدم هذا الهولوجرام محرز حيود في بناء ماسح ليزري .
- ٦- في سنة (١٩٧٧)<sup>(٥٨)</sup> تمكن الباحث (Lee) من تصحيح الزيغ الموجود في (IZP-Hologram) باستخدام الهولوجرام الحاسوبي .
- ٧- في سنة (١٩٧٨)<sup>(٥٣)</sup> قام الباحث (C.S.Ih) من استخدام عاكس مساعد (Auxiliary Reflector) في الماسح الهولوجرافي ذات القرص الدوار للحصول على سقوط عمودي للأشعة الخارجة من الهولوجرام .
- ٨- في سنة (١٩٧٩)<sup>(٥٤)</sup> قام الباحث (H.Ikeda) من تطوير (IZP-Hologram) بجعل الموجة المستوية تسقط بزواوية على اللوح الفوتوغرافي بدلا من السقوط العمودي .
- ٩- في سنة (١٩٦٧) تمكن الباحث لومان من توليد الهولوجرام الحاسوبي باستخدام طريقة (Detour phase) في توليد الصور في بعدين و ثلاثة ابعاد .
- ١٠- و في سنة (١٩٨١)<sup>(٥٥)</sup> قام الباحث (V.Gerbig) بتوليد (CIH-Hologram) و هو ما يعرف (Computer Interferometric Hologram) و هو هولوجرام حتمي ، و استخدم هذا الهولوجرام محزراً في بناء ماسح ليزري .
- ١١- و في سنة (٢٠٠٠)<sup>(٥٥)</sup> تمكن الباحث (Hart and Wolf) من استخدام الهولوجرام الحاسوبي في حيود اشعة X-ray لما في ذلك من تطبيقات عدة .

## ١-٩ هدف البحث *The Aim of Present Work*

يهدف البحث الى تصميم و بناء ماسح ليزري باستخدام الهولوجرامات حاسوبية، اذ في البدا يتم توليد الهولوجرامات الحاسوبية باستخدام طريقتين ، الأولى تتمثل باستخدام التقنية غير المحورية (Off-Axis Technique) و الثانية تتمثل بتقنية الهولوجرامات الدائرية (CCH-Technique) و من ثم البحث في امكانية تصميم الماسح الهولوجرافي ذو الشكل الاسطواني و بناءه باستخدام الهولوجرام غير المحوري و تصميم الماسح الهولوجرافي ذو الشكل الدائري و بناءه باستخدام الهولوجرام الدائري ، و من ثم دراسة معاملات هذا الماسح الليزري من تردد فضائي و قدرة تحليل و زاوية انحراف و سرعة مسح و تشوه سرعة المسح و قطر الحزمة و زمن الاطار و كفاءة المسح و كلفة الانتاج .

تكمن اهمية هذا البحث في استخدام هذا الماسح الليزري في الطابعات الليزرية و تتبع الاهداف ، و في ماسح قارئ المبيعات (Point of sale Scanner) و في خزن المعلومات و استرجاعها.

## الفصل الثاني الجزء العملي

تناول هذا الفصل الطريقة التي تم فيها توليد هولوغرام حاسوبي بوساطة التقنية غير المحورية (Off-axis Technique) (أي توليد CGH بالأحداثيات الديكارتية) ، وطريقة توليد هولوغرام حاسوبي دائري باستخدام (CCH-Tech.) (أي توليد CGH بالأحداثيات القطبية) ، وطريقة تصميم المسحيق الهولوجرافي ذي الشكل الاسطواني و الشكل الدائري و بناءهما باستخدام هذه الهولوجرامات الحاسوبية المصنعة على التوالي .

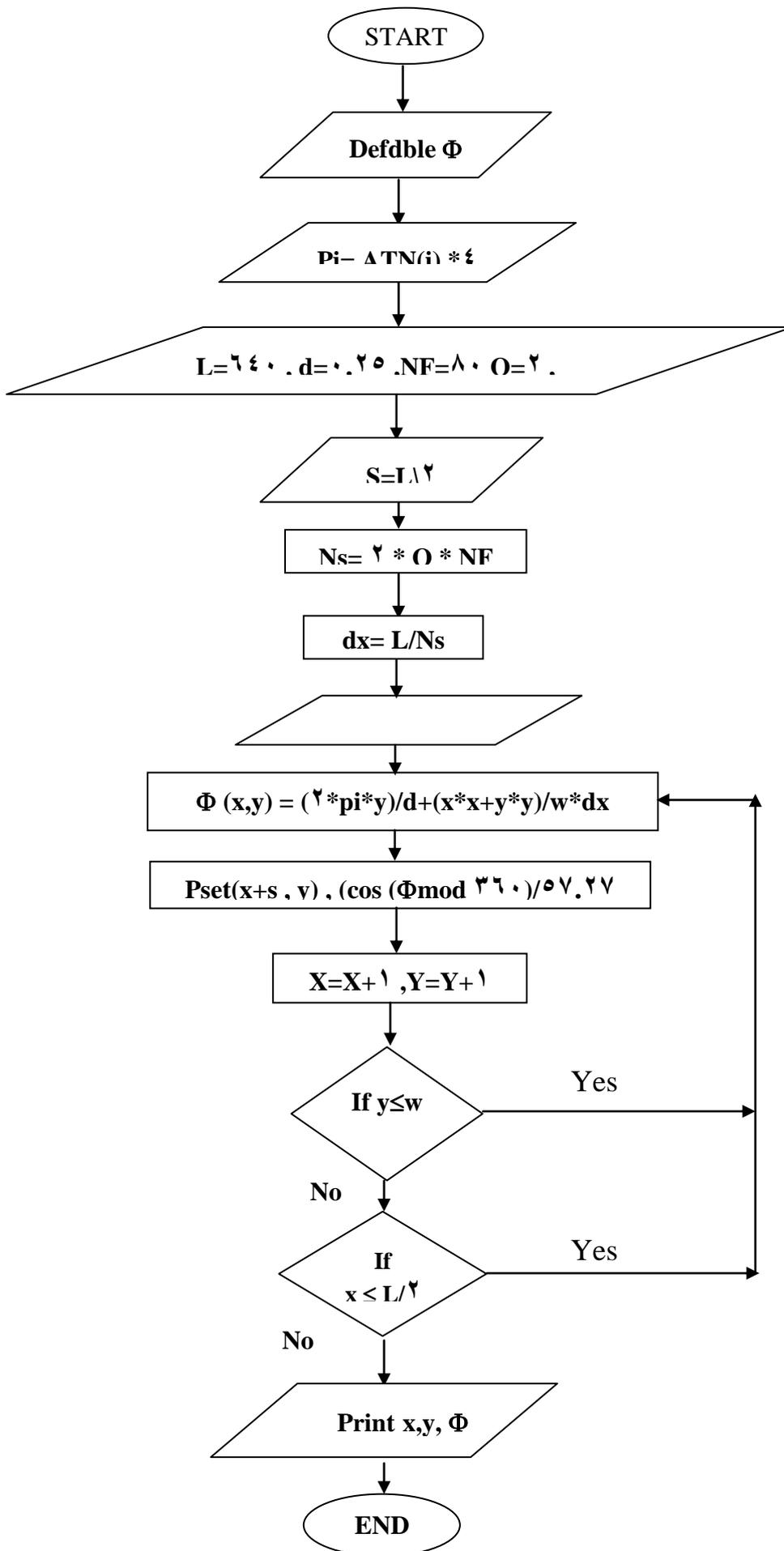
### ٢-١ تصميم و بناء المسحيق الهولوجرافي ذي الشكل الاسطواني

#### ١ : الاجزاء الاساسية للمسحيق تتضمن :

أ: الهولوجرام و يشمل :

أولاً: توليد الهولوجرام :

لقد تم توليد الهولوجرام الحاسوبي باستخدام (Off-axis Tech.) ، إذ أن هذه التقنية تنتج مناطق فرينيل ( Fresnel Zones plate ) ، و تتضمن فرق الطور بين جبهة الموجة المستوية و جبهة الموجة الكروية الممثل بالمعادلة (١-٤٤) . و قد استخدم برنامج خاص بلغة البيسك ( Quick Basic ) لبناء هذا الهولوجرام . كما هو موضح في المخطط (١-٢) الذي يحتوي على ٨٠ هدباً (Nf=٨٠ fingers) .



المخطط (١-٢) المخطط الانسيابي لتوليد هولوغرام حاسوبي باستخدام  
 (Off - axis Technique)

ثانيا : تم الحصول على النتائج المطبوعة على ورقة (A٤) باستخدام طابعة ليزيرية نوع (Okipage ١٢٠٠x٦٠٠ dpi resolution).

ثالثا : تم تصغير الهولوجرام باستخدام آلة تصوير نوع (Microfilm Canon (Canon CF ١٠٠R Recorder A) و رقيقة تصوير نوع (Developer) ، بعد معدل (٤٠) مرة . و من ثم يظهر الفلم باستخدام المحلول المظهر ( Developer) ، بعد ذلك يتم تثبيت الفلم باستخدام محلول (Fixir) و كذلك بالأماكن استخدام تقنية القصر (Bleaching) لزيادة كفاءة الحيود للهولوجرام و إن الهولوجرامات الحاسوبية تتفرد بعملية القصر حيث تكون ابعاد الهولوجرام (W=٠.٥ cm , L=١ cm) و عندئذ يعد هذا الهولوجرام جاهزا لحرف حزمة الليزر و استخدامه في منظومة المسح الليزري .

### ب: مصدر الاضاءة (الليزر)

قد استخدم ليزر (Nd-YAG) عند التوافقي الثاني الذي يعمل عند الطول الموجي ٥٣١ نانومتر و القدرة ٥ ملي واط يضخ بليزر شبه موصل عند الطول الموجي ٨١٠ نانومتر .  
بعد الحصول على الطول الموجي ١.٠٦ مايكرومتر يتم مضاعفته للحصول على اللون الاخضر عند الطول الموجي ٥٣١ نانومتر .

### ج: المحرك

تم استخدام (D.C motor) الذي يعمل بفولتية تتراوح بين (٢٤-٠) فولت و يعطي سرعات دوران عالية تصل الى (٢٠٠٠٠) دورة في الدقيقة.

### د: منظومة قياس السرعة

استخدم جهاز (Takometer) لقياس سرعة دوران المحرك و ذلك بتغطية الاسطوانة بشريط اسود ما عدا منطقة صغيرة تغطي بشريط ابيض و عند دوران المحرك يتم تسليط الشعاع على الاسطوانة من جهاز (Takometer) و من ثم يتم تسلم الاشعة المنعكسة من الجهاز نفسه و هكذا فإن الجهاز يسجل عدد الدورات في الدقيقة الواحدة (R.P.M).

### ه: الاسطوانة الزجاجية

استخدمت اسطوانة زجاجية بقطر ٤ سم و طول ٧ سم و تم تثبيت الهولوجرامات الحاسوبية على السطح الخارجي للأسطوانة .

### و: المرآة المستوية

استخدمت مرآة مستوية لغرض ادخال حزمة الليزر الى داخل الاسطوانة الزجاجية الحاملة للهولوجرامات و تسقيط الحزمة على سطح الهولوجرام وبالزاوية المطلوبة . إذ تم تثبيتها على حامل معدني (Holder) .

### ي: مجهز القدرة

استخدم مجهز قدرة يعطي فولتية تتراوح بين (٢٤-٠) فولت و تياراً في حدود ١ أمبير و يمكن التحكم بقيمة الفولتية لتجهيز المحرك بفولتيات التشغيل المطلوبة .

## ٢ : تكامل المنظومة

ان عملية تكامل المنظومة تشمل ما يأتي :

أ- فصل اللقطات للهولوغرام بعضها عن بعض .

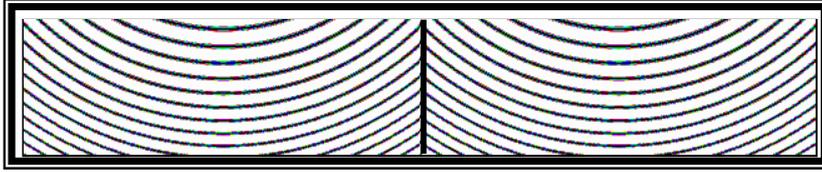
ب- ازالة حافات الهولوغرام الخالية من الخطوط .

ج- تثبيت الهولوغرام على سطح الاسطوانة بأستخدام مادة لاصقة شفافة للطول الموجي المستخدم .

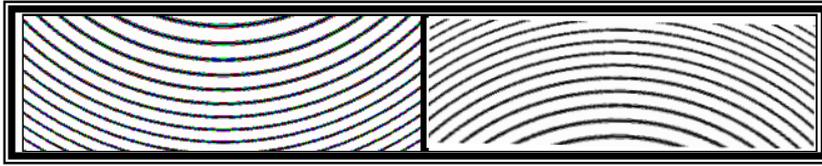
و هناك حالتان لترتيب الهولوغرامات بالنسبة لبعضها لبعض و هي :

أولاً : تم تثبيت (٩) هولوغرامات على سطح الاسطوانة بحيث لا توجد فاصلة بين هولوغرام واخر واتجاه خطوط الهولوغرامات باتجاه واحد ، كما هو موضح بالشكل (٢-٢) . (١)

شكل (١-٢) : نمط ترتيب الهولوغرامات بالاتجاه نفسه .



ثانياً : تم تثبيت العدد نفسه من الهولوغرامات على سطح الاسطوانة بحيث ان اتجاه خطوط احدهما يكون عكس اتجاه خطوط الهولوغرام الذي يليه و ذلك للحصول على نمط مسح تتحرك فيه الحزمة ذهاباً و اياباً ، و كما هو موضح بالشكل (٢-٢) .

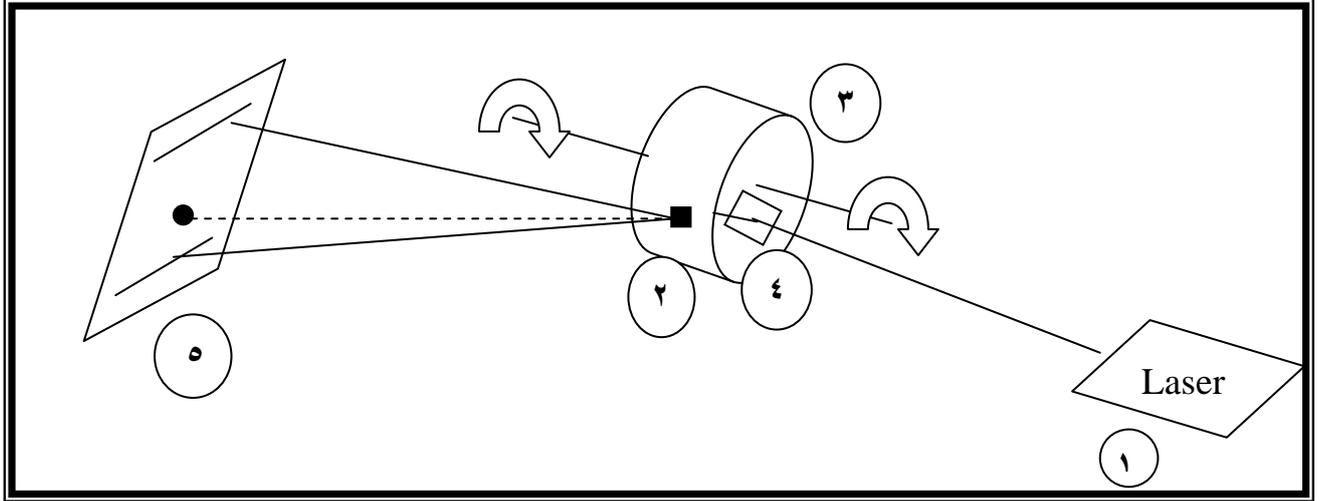


شكل (٢-٢) : نمط ترتيب الهولوغرامات الواحدة عكس الاخرى

ج- تثبيت الاسطوانة التي تحمل الهولوغرامات على المحور الدوار للمحرك .

## ٣ : ترصيف المنظومة

يتم ترصيف المنظومة بجمع الاجزاء السابقة و تصميم الماسح الليزري كما في الشكل (٢-٣) و توضع شاشة على بعد مناسب لعرض خطوط المسح عند الدوران . (٣)



-أ-

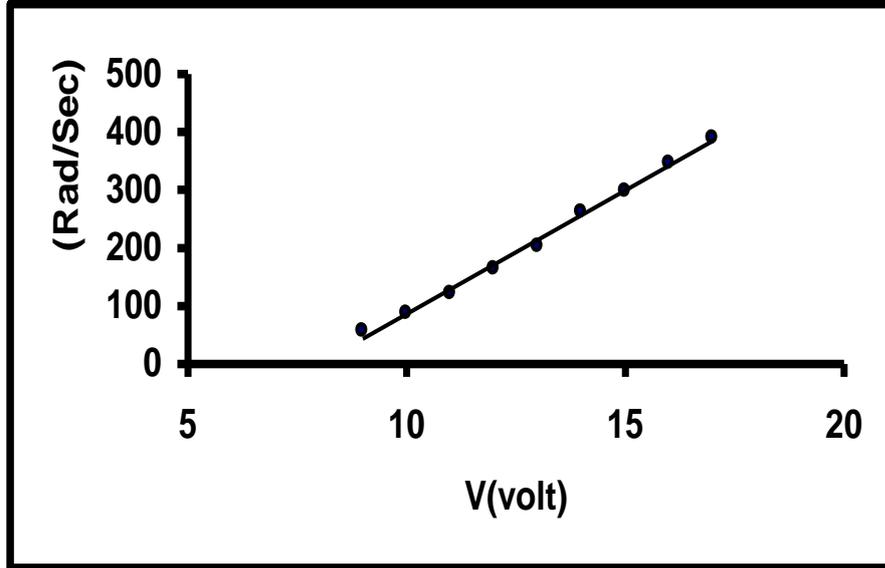


-ب-

- شكل (٢-٣) : الماسح الهولوجرافي ذو الشكل الاسطواني
- أ- التصميم الميكانيكي للمنظومة
- ١- مصدر ليزري
  - ٢- هولوغرام حاسوبي (محزز)
  - ٣- اسطوانة زجاجية
  - ٤- مرآة (mirror)
  - ٥- شاشة (screen)
- ب- صورة فوتوغرافية للمنظومة
- ٦- مجهز قدرة
  - ٧- D.C motor
  - ٨- Holder

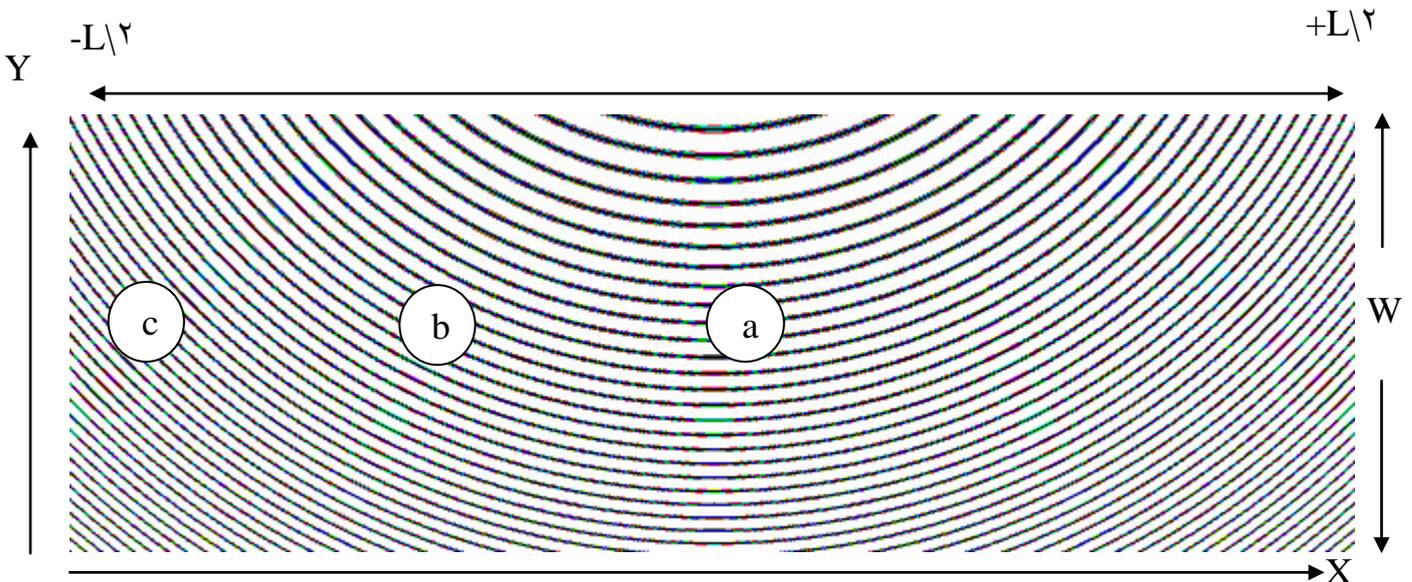
### ٤ : فحص المنظومة

أ-تم تسليط فولتية تتراوح بين (٩-١٧) فولت وقياس السرعات الزاوية للمحرك عند هذه الفولتيات .  
و يوضح الشكل (٤-٢) العلاقة الخطية بين السرعات الزاوية للمحرك و الفولتية .



شكل (٤-٢) : السرعات الزاوية دالة للفولتية.

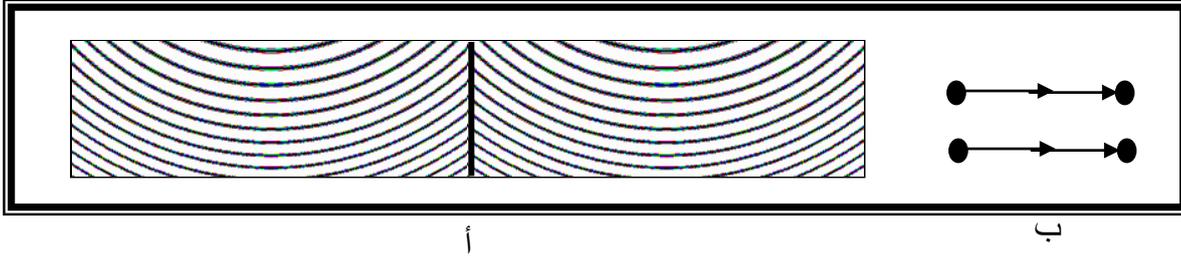
ب- تم تأشير ثلاث مناطق على الهولوجرام (a,b,c) إذ تمثل (a) منطقة المركز وتمثل (c) نهاية الهولوجرام كما هو في الشكل (٥-٢) و ذلك لغرض التأكد من امكان الهولوجرام على حرف حزمة الليزر . و إن الانحراف يتناسب مع كثافة الخطوط في كل منطقة من المناطق الثلاث.  
شكل (٥-٢) : مناطق الهولوجرام المختارة (a,b,c)



### ج- فحص اتجاه المسح

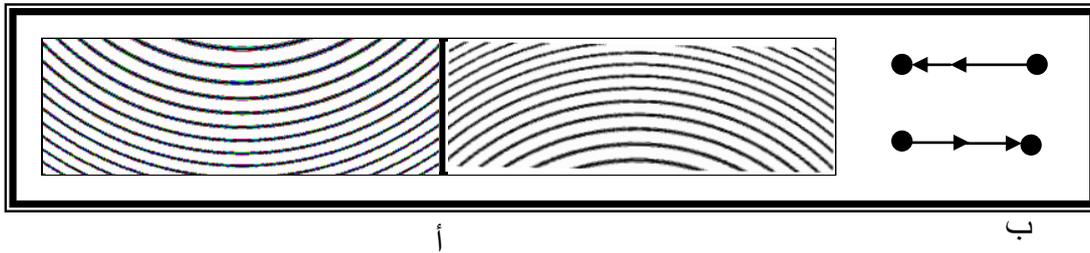
لغرض معرفة اتجاه خطوط المسح يتم تسليط فولتية بحدود (٩ فولت) إذ انه عند هذه الفولتية يكون عمل المحرك احسن ما يمكن و هناك حالتان :-  
أولا: نمط تذبذب الخط عند وضع الهولوجرامات في اتجاه واحد :

في هذا النوع من الترتيب يلاحظ ان خط المسح على الشاشة يبدأ من نقطة و يستمر في النمو الى أن يصل الى اخر نقطة في الخط المستقيم ، و من ثم يختفي و يبدأ في الظهور من النقطة الاولى نفسها . و ذلك عند وصول حزمة الليزر الى الهولوجرام التالي و هكذا يستمر في التذبذب على هذه الكيفية كما هو موضح في الشكل (٦-٢) .



شكل (٦-٢) : أ- وضع الهولوجرامات في اتجاه واحد .  
ب- نمط المسح المتذبذب في اتجاه واحد .

ثانيا : نمط تذبذب الخط عند وضع الهولوجرامات الواحدة عكس الاخرى :  
في هذه الحالة نجد ان خط المسح يبدأ من نقطة و يستمر في النمو الى ان يصل الى اخر نقطة في الخط المستقيم ، و من ثم ينعكس من هذه النقطة في اتجاه النقطة الاولى و هكذا يستمر في التذبذب ذهاباً و اياباً ، كما هو مبين في الشكل (٧-٢) .



شكل (٧-٢) : أ- وضع الهولوجرامات الواحدة عكس الاخرى  
ب-المسح المستمر ذهاباً و اياباً .

## ٢-٢ :تصميم و بناء الماسح الهولوجرافي ذي الشكل الدائري

تم بناء ماسح هولوغرافي باستخدام الهولوجرام الدائري على النحو الآتي :

### ١ - : الاجزاء الاساسية للماسح تتضمن :

أ: الهولوجرام و يشمل ما يأتي :

أولاً: توليد الهولوجرام

تم توليد هولوغرام حاسوبي باستخدام (CCH-Technique) إذ أن هذه التقنية تتضمن فرق الطور بين جبهة موجة مخروطية و جبهة موجة كروية ، و ذلك باستخدام برنامج خاص يدعى (Picture Publisher) للحصول على هذه الهولوجرامات . هذا البرنامج يعمل على تحويل الهولوجرام الناتج من المخطط (١-٢) الى هولوغرام دائري بصورة مباشرة للحصول على تقنية (CCH-Technique) بصورة سهلة و سريعة .

ثانيا : تم الحصول على النتائج مرسومة على ورقة (A٤) بأستخدام طابعة ليزيرية نوع (Okipage)  
 ثالثا: تم تصغير الهولوغرام الدائري بالطريقة نفسها التي تم فيها تصغير الهولوغرام المصنع بطريقة (Off axis Technique) .

ت- تم استخدام مصدر الاضاءة الليزري و المحرك و منظومة قياس السرعة و مجهز القدرة نفسها التي استخدمت في الماسح الاسطواني .

ج- المرآة المستوية :

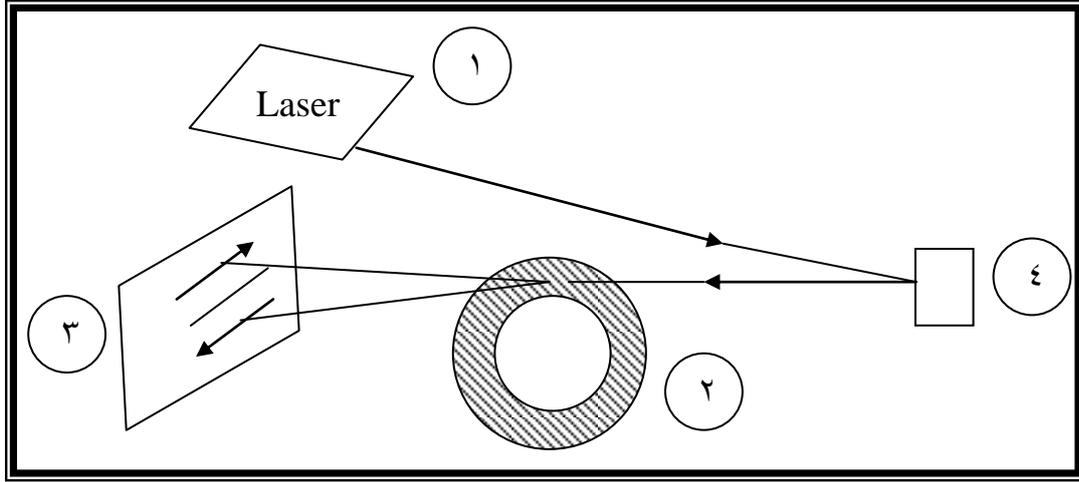
تم استخدام مرآة مستوية لغرض عكس الاشعة الخارجة من المصغر و اسقاطها بصورة عمودية على الهولوغرام الدائري عند تثبيتها على حامل معدني ( Holder ) .

## ٢ : تكامل المنظومة

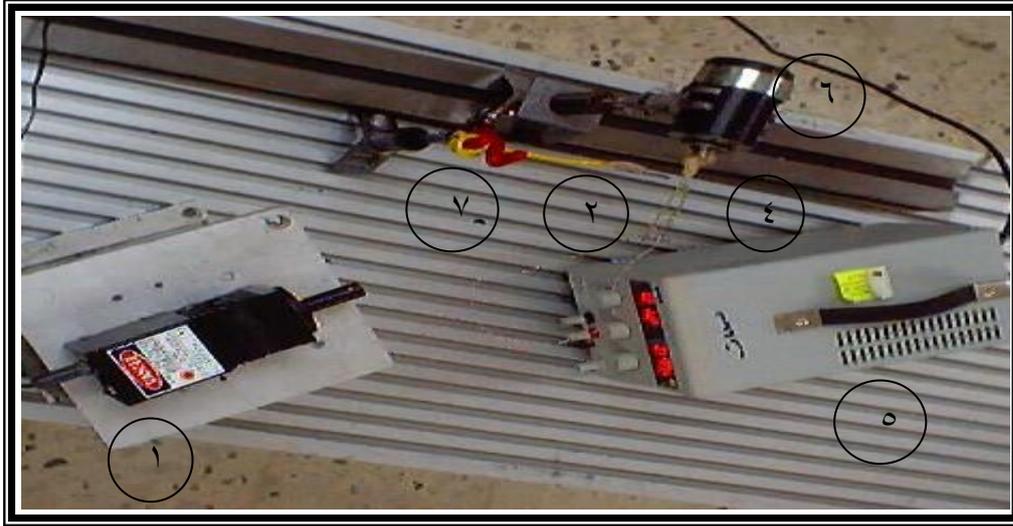
إن عملية تكامل المنظومة تقتصر على تثبيت الهولوغرام الدائري المصغر على محور المحرك مباشرة .

## ٣ : ترصيف المنظومة

يتم ترصيف المنظومة بجمع الاجزاء السابقة و تصميم الماسح الليزري كما في الشكل (٨-٢) و توضع شاشة على بعد مناسب لعرض خطوط المسح عند الدوران .



-أ-



-ب-

شكل (٢-١) : الماسح الهولوجرافي ذو الشكل الدائري.

- أ- التصميم الميكانيكي للمنظومة ب- صورة فوتوغرافية للماسح الهولوجرافي ذو الشكل الدائري
- ١- مصدر الليزر  
٢- هولوغرام حاسوبي  
٣- شاشة  
٤- مرآة مستوية
- ٥- مجهز قدرة  
٦- D.C. motor  
٧- حامل holder

### ٤ : فحص المنظومة

أ- تم تسليط فولتية ضمن المدى (٩-١٧) فولت أذ ان هذا المدى من الفولتيات هو لغرض الاختبار . وقياس السرعات الزاوية للمحرك و قد كانت العلاقة بين الفولتية و السرعة الزاوية خطية مشابهة لتلك العلاقة المبينة في الشكل (٢-٤) .

ب- تم تأشير ثلاث مناطق ( a,b,c ) على الهولوجرام الدائري و بالطريقة نفسها وذلك لغرض التأكد من إمكانية الهولوجرام على حرف حزمة الليزر و ان يكون الانحراف متناسباً مع كثافة خطوط الهولوجرام .

**ج : فحص اتجاه المسح**

تم تسليط فولتية بحدود ( ٩ ) فولت و قد وجد أن هناك حالة واحدة فقط لنمط التذبذب ، و هذه الحالة مشابهة لنمط تذبذب الخط عند وضع الهولوجرامات الحاسوبية في اتجاه واحد في الماسح الهولوجرافي ذي الشكل الاسطواني ، وقد استخدم هولوغرام واحد فقط .

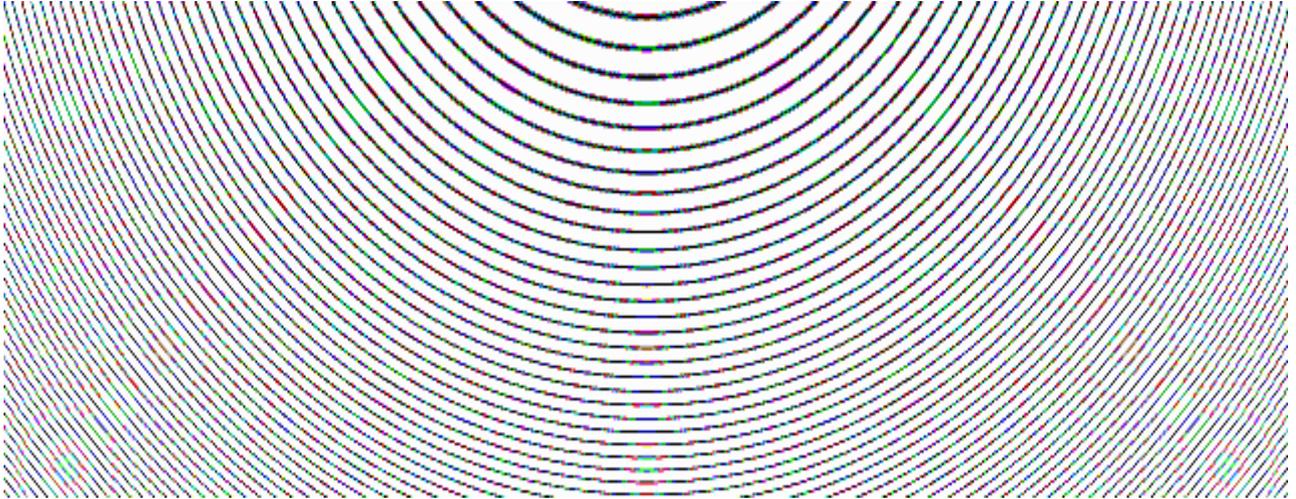
## الفصل الثالث النتائج و المناقشة

يتضمن هذا الفصل عرضاً و تحليلاً للنتائج العملية التي تم الحصول عليها باستخدام الماسح الهولوجرافي الحاسوبي وإن عملية بناء ماسح ليزري هولوجرافي حاسوبي تتطلب تحقيق ما يأتي:

- ١- زاوية انحراف جيدة
- ٢- قدرة تحليل عالية
- ٣- تردد فضائي متغير (للحصول على خطوط مسح مستقيمة )
- ٤- سرعة مسح عالية
- ٥- تشوة سرعة مسح قليل
- ٦- قطر حزمة صغير
- ٧- زمن اطار قليل
- ٨- كفاءة مسح عالية
- ٩- الكلفة القليلة

### ١-٣ : الماسح الهولوجرافي ذو الشكل الاسطواني

بعد تنفيذ البرنامج الممثل بالمخطط (١-٢) يتم الحصول على الهولوجرام الذي يوضحه الشكل (١-٣) .



شكل (١-٣) : الهولوجرام الحاسوبي المصنع بطريقة (Off-axis-Technique).  
و كان بالأبعاد التالية :

$$L = 28 \text{ cm} , W = 20 \text{ cm} , d = 0.25 \text{ cm} , Nf = 80$$

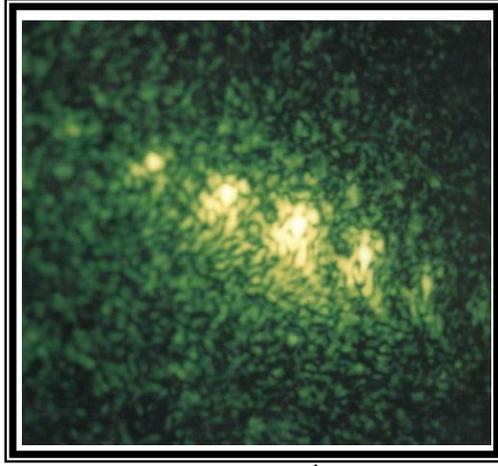
و بعد التصغير اصبحت ابعاده على النحو الآتي :

$$L = 1 \text{ cm} , W = 0.5 \text{ cm} , d = 625 * 10^{-6} \text{ cm} , Nf = 80$$

و سوف يتم مناقشة المعاملات كما يأتي :

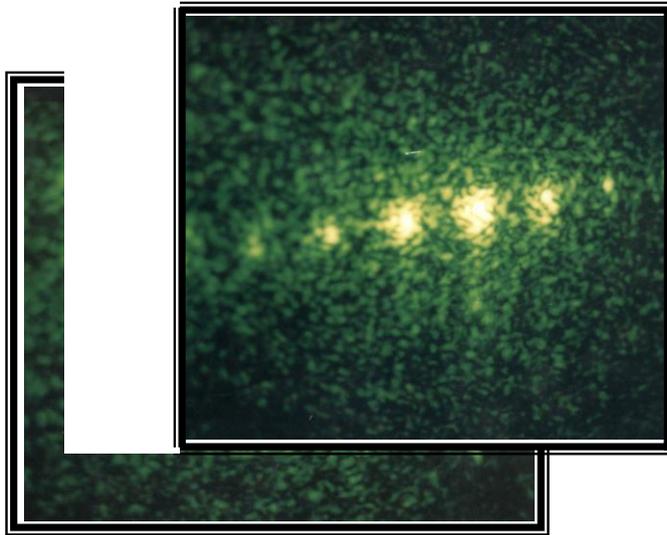
### ١- زاوية الانحراف Diffraction Angle ( $\theta$ )

ان مبدأ عمل الماسح يعتمد اساساً على حرف الحزمة الضوئية و ان نمط الحيود الناتج من مناطق الهواو غرام (a,b,c) تكون موضحة بالشكل (٢-٣) :



-أ-

-ب-



-ج-

شكل (٣-٢) : انماط الحيود من الهولوجرام :

أ- نمط الحيود من منطقة (a)

ب- نمط الحيود من منطقة (b)

ج- نمط الحيود من منطقة (c)

و قد تم استخدام معادلة (١-٥١) في قياس زاوية الحيود للمناطق حيث كانت ( $F=100$  cm) و ( $X_c=1.7$  cm ,  $X_b=1.5$  cm ,  $X_a=1.3$  cm) كما يأتي :

للمنطقة (a) كانت زاوية الحيود ( $0.74^\circ$ )

للمنطقة (b) كانت زاوية الحيود ( $0.85^\circ$ )

للمنطقة (c) كانت زاوية الحيود ( $0.97^\circ$ )

و يلاحظ ان زاوية الحيود في المنطقة (c) اعلى من المنطقتين (a,b) و هذا دليل على أن زاوية الحيود تزداد بزيادة التردد الفضائي و هو مطابق للمعادلة (٤٠-١).

## ٢- درجة التحليل $N_s$ Resolution

يمكن استخراج قيمة  $N_s$  للماسح الهولوجرافي بأستخدام المعادلة (٤٨-١) على النحو الآتي :

$$N_s = 2QN_f = 2 * 2 * 80$$

$$N_s = 320 \quad \text{where } Q = 2$$

ويتضح من المعادلة اعلاه ان  $N_s$  تزداد بزيادة عدد الاهداب فقط و لا تعتمد على طول الهولوجرام  $L$  او عرضه  $W$  ، و منها يستنتج ان الشكل الهندسي للهولوجرام لا يؤثر على  $N_s$  كذلك يمكن ايجاد  $N_s$  من العلاقة الاتية :

$$N_s = 2(v_x)_{\max} W$$

يتضح من المعادلة اعلاه ان  $N_s$  تزداد بزيادة التردد الفضائي فقط . يستنتج مما سبق ان  $N_s$  تعتمد بالدرجة الاساس على فاصلة الاهداب  $d$  التي بتقليلها سوف يزداد عدد الاهداب و يزداد التردد الفضائي ، و أخيرا تزداد قيمة  $N_s$  و لكن عملية الزيادة هذه تكون ضمن حدود معينة و ليست عشوائية وان قيمة  $N_s$  التي تم تحقيقها للماسح الهولوجرافي مقاربة لما جاء في المصدر <sup>(١)</sup> و البالغة ١٠ نقطة /ملم .

## ٣- التردد الفضائي : $(v_x)$ Spatial Frequency

من ملاحظة الشكل (٥-٢) للنقطة C بعد معرفة قيمة  $N_s$  من الممكن استخراج قيمة  $dx$  و التي تمثل المسافة الفاصلة بين نقطة تحليل و اخرى على طول خط المسح ( من المعادلة (٤٥-١) على النحو الاتي :

$$dx = \frac{L}{N_s} = \frac{1cm}{320}$$

$$dx = 3125 * 10^{-6} cm$$

وان التردد الفضائي يكون في قيمته العظمى و يساوي :

$$v_c = (v_x)_{\max} = \frac{L}{2Wdx}$$

حيث  $x = \pm \frac{L}{2}$  عندئذ تكون:

$$v_c = 320cm^{-1}$$

ان المعادلة اعلاه تشير الى أن التردد الفضائي يعتمد على الطول  $L$  فقط و بعبارة اخرى يعتمد على موقع الاهداب في الهولوجرام بالاتجاه  $x$  و هو يتوافق مع المعادلة (٣٩-١) و إن قيمة التردد الفضائي المتحققة كبيرة و تحقق افضل نمط للحيود .

## ٤- سرعة المسح ( $V_s$ ) Scan Velocity

أ: تغيير سرعة المسح من خلال تغيير اتجاه الهولوجرام

أولاً - عند وضع الهولوجرامات الواحدة عكس الأخرى :

قد تم تثبيت الفولتية المسلطة و كانت تساوي ١٧ فولت و كانت السرعة الزاوية للمحرك ( $W_{dc}$ ) تساوي (٣٧٢٠) دورة في الدقيقة ، هذا يعني انها تساوي (٦٢) دورة في الثانية . و ان عدد الهولوجرامات الموجودة على الاسطوانة تساوي (٩) ، إذ وجد أن :  
 سرعة المسح = ٦٢ (دورة / ثانية) \* ٩ (خط/دورة) .  
 سرعة المسح = ٥٥٨ (خط / ثانية)  
 و ان طول خط المسح ( $L_s$ ) يساوي :

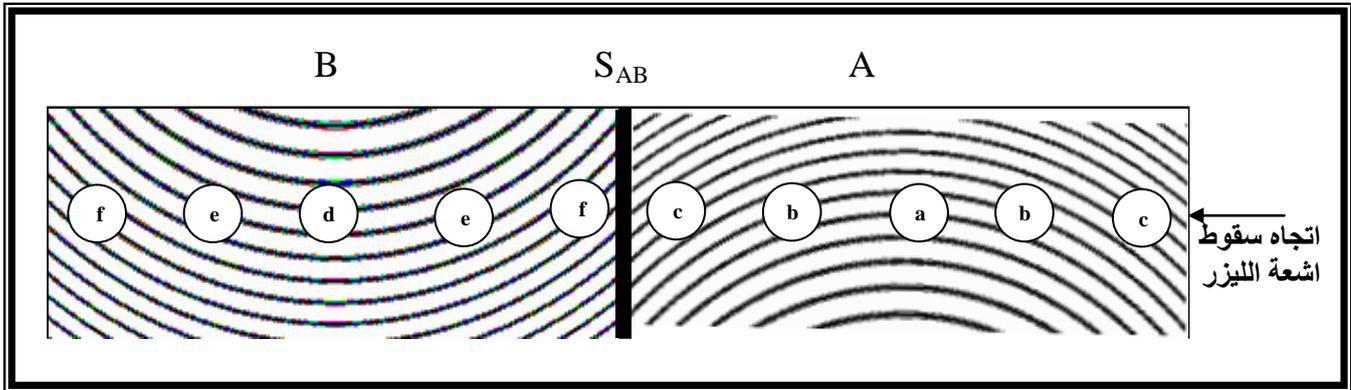
$$L_s = 2X_0 = 2X_c = 2 * 1.7 = 3.4cm$$

إذ ان  $X_c$  تمثل اقصى انحراف للشعاع الخارج من النقطة (c) التابعة للهولوجرام لذا فأن سرعة المسح تساوي :-

$$V_s = 1897.2 \text{ (سم / ثانية)}$$

إن سرعة المسح المتحققة هي اعلى مما جاء في المصدر (١٨) ، ونجد من المعادلة العملية أن سرعة المسح تزداد بزيادة عدد الهولوجرامات .  
 و يمكن تفسير تأثير الهولوجرامات المرتبة في شكل متعكس على سرعات المسح على النحو الآتي :

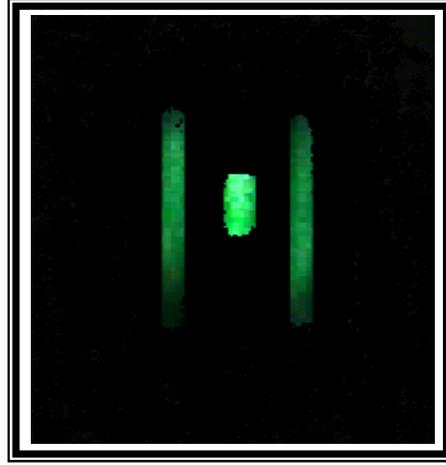
عند أخذ هولوغرامين من الهولوجرامات المتناظرة (المتشابهة) المرتبة في شكل متعكس مثل الهولوجرام (A) و الهولوجرام (B) و تأشير مناطق الهولوجرامين بحيث إن المناطق a,b,c تابعة للهولوجرام (A) و المناطق (d,e,f) تابعة للهولوجرام (B) مع وجود فاصلة صغيرة جدا بين الهولوجرامين ( $S_{AB}$ ) كما هو موضح في الشكل (٣-٣) .



شكل (٣-٣) : الهولوجرامان A و B مع تأشير المناطق التابعة لهما .

حيث يلاحظ عند سقوط اشعة الليزر على الهولوجرام (A) عند منطقة (c) التي يكون لها اعلى تردد فضائي وبمعنى اخر سوف نحصل على اعلى زاوية انحراف و عندها سوف يتم رسم بداية خط المسح . و عند وصول الشعاع الليزري للمنطقة (b) فأن خط المسح سيبدأ بالزحف باتجاه البقعة المركزية و عند وصوله الى المنطقة (a) التي يكون لها اقل تردد فضائي وجد أن خط المسح قد وصل الى البقعة المركزية . و عندما يصل الشعاع الى المنطقة (b) من الجهة الاخرى المناظرة للهولوجرام فإن خط المسح يبدأ في النمو خارجاً من البقعة المركزية و عند وصول هذا الشعاع الى المنطقة (c) فانه سيحقق اعلى زاوية انحراف أي ان خط المسح يكون في نهايته . و هذا يعني أن كل هولوغرام سيرسم خط مسح كاملاً و عند وصول الشعاع الى المنطقة الفاصلة ( $S_{AB}$ ) فإن خط المسح سوف يختفي . لكن عند وصول الشعاع الى الهولوجرام (B) فإنه سوف يواجه المنطقة (f) التي لها تردد

فضائي مساوي للمنطقة (c) التابعة للهولوجرام (A) ولكن المنطقة (f) تكون في موقع معاكس للمنطقة (c) التي واجهها الشعاع في الهولوجرام (A) ، و على هذا الاساس فإن خط المسح سوف يبدأ من نقطة معاكسة لبداية خط المسح للهولوجرام (A) أي إن خط المسح للهولوجرام (B) ، سوف يبدأ من نقطة اختفاء خط المسح التابع للهولوجرام (A) . و هكذا يستمر خط المسح في التذبذب ذهاباً و إياباً في هذه الكيفية كما هو موضح في الشكل (٤-٣) .



شكل (٤-٣) : شكل خط المسح عند دوران الهولوجرام.

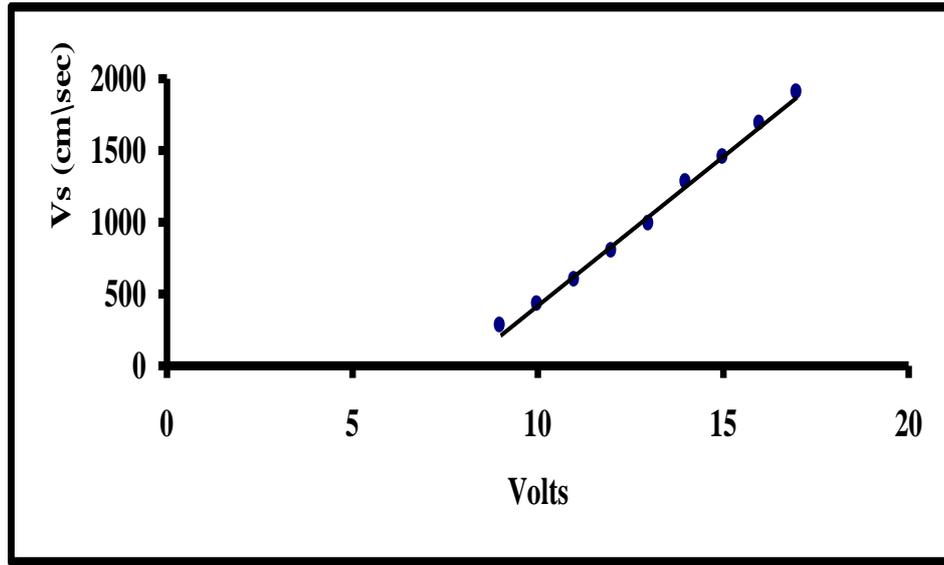
#### ثانياً : عند وضع الهولوجرامات في اتجاه واحد .

في هذه الحالة نجد ان خطوط المسح لها الشكل (٤-٣) نفسه ، و لكن في السرعات البطيئة يلاحظ أن خط المسح له اتجاه واحد ثابت أي إن شعاع الليزر عندما يصل الى نهاية الهولوجرام (A) (المنطقة c) قد حقق اعلى زاوية انحراف و هذا يعني أن الشعاع يكون في نهاية خط المسح و عند وصوله الى المنطقة الفاصلة ( $S_{AB}$ ) فإنه يختفي و لكن عند وصوله الى الهولوجرام (B) فإنه يواجه المنطقة (f) التي يكون لها التردد الفضائي نفسه للمنطقة (c) و يكونان في اتجاه واحد . أي إن الشعاع يواجه هولوغراماً له مواصفات الهولوجرام الذي قبله نفسها و عندئذ فإن خط المسح سوف يبدأ من نقطة بداية خط المسح للهولوجرام (A) نفسها و هكذا تتكرر هذه العملية عند كل هولوغرام. من الناحية العملية ، و لغرض تصميم ماسح ليزري (على سبيل المثال طابعة ليزرية) يتطلب الامر توليد حركة ميكانيكية تنقل شعاع الليزر الى بداية السطر بعد نهاية كل خط ، و هذه العملية يجب ان تكون متوافق زمنياً مع الفترة الزمنية التي يجب ان تترك بين هولوغرام و اخر ، هذا في حالة استخدام هولوغرامات في اتجاه واحد. اما في حالة وضع الهولوجرامات الواحدة عكس الاخرى فإنه يتطلب جعل الفترة الزمنية بين هولوغرام و اخر مساوية للفترة الزمنية التي يحتاجها الشعاع للانتقال من نهاية خط مسح الى بداية خط مسح جديد ، أي ان هذه العملية تقلل من زمن المسح و عليه تزيد من سرعة المسح و هذه

النتيجة متوافقة مع المعادلة (٥٢-١) و من هذا يستنتج ان الحالة (a) هي الفضلى لكونها تحقق سرعة مسح اعلى .

### ب : تغيير سرعة المسح من تغيير سرعة المحرك

عند تغيير سرعة المحرك من ٥٥.٩٩ (نقية / ثانية ) الى ٣٨٩.٣٦ (نقية / ثانية) و ذلك من خلال تغيير الفولتية (٩-١٧) فولت حيث تغيرت سرعة المسح من ٢٧٢.٥٨ (سم/ثانية) الى ١٨٩٧.٢ (سم/ثانية) على الترتيب كما موضح في الشكل (٥-٣) حيث يتضح من الشكل ان العلاقة بين سرعة المسح و فولتية التشغيل هي خطية وفقاً للظروف التي تم العمل بها .



شكل (٥-٣) : سرعات المسح دالة للفولتية المسطرة.

### ٥- تشوه سرعة المسح (D<sub>s</sub>) Scan Velocity distortion

قد تم استخدام معادلة (٥٥-١) للحصول على قيمة (D<sub>s</sub>) للنقاط الثلاث (a,b,c)

كما يأتي :

عند النقطة (a) فإن :

$$D_s = 0.016\%$$

عند النقطة (b) فإن :

$$D_s = 0.022\%$$

عند النقطة (c) فإن :

$$D_s = 0.028\%$$

و يلاحظ من القيم ان العلاقة بين تشوه سرعة المسح ( $D_s$ ) و قيم زاوية الحيود ( $\theta$ ) هي خطية .

و منها نستنتج انه كلما زادت زاوية الحيود تزداد ( $D_s$ ) و هذا غير مرغوب فيه ، لذلك يتوجب عند بناء ماسح ليزري وضع عملية موازنة بين الحصول على زاوية انحراف كبيرة و العمل على جعل قيمة  $D_s$  قليلة جدا . و قد وجد أن قيمة  $D_s$  المرافقة للماسح الهولوجرافي هي ضمن المدى المسموح به و الوارد في المصدر<sup>(١)</sup> .

## ٦- قطر الحزمة ( $B_d$ ) Beam Diameter

تم استخدام معادلة (٥٦-١) في ايجاد قيمة ( $B_d$ ) و للمناطق الثلاث بعد اهمال تأثير العدسة كما يأتي :

كانت للنقطة (a)

$$B_d = 16 * 10^{-4} \text{ cm}$$

كانت للنقطة (b)

$$B_d = 0.21 * 10^{-4} \text{ cm}$$

كانت للنقطة (c)

$$B_d = 0.28 * 10^{-4} \text{ cm}$$

و يلاحظ من القيم أن العلاقة بين ( $B_d, \theta$ ) هي خطية و يستنتج منها انه كلما زادت الزاوية زادت قيمة ( $B_d$ ) ، و هذا غير مرغوب فيه ايضا لذا وجد عند بناء ماسح ليزري يتطلب ان تكون قيمة ( $B_d$ ) قليلة جداً .

## ٧- زمن الاطار ( $t_f$ ) Frame Time

بعد معرفة السرعة الزاوية للمحرك و البالغة (Rev.\Sec) ٦٢ اصبح من الممكن معرفة زمن الدورة الواحدة على النحو الآتي :

زمن الدورة الواحدة ( $T_{\text{one Rev.}}$ ) = ١ (دورة) / ٦٢ (دورة / ثانية) = ٠.٠١٦١ ثانية .

و بما ان الدورة الواحدة تحتوي على تسعة هولوغرامات ، بمعنى انه كل دورة تنتج تسعة خطوط فإن زمن مرور الخط الواحد يساوي :

$$\text{زمن مرور الخط الواحد } (T_{\text{one line}}) = 9 / 0.0161 = 0.0017 \text{ ثانية .}$$

و بتطبيق العلاقة (٥٣-١) نجد ان زمن الاطار يساوي :

$$\text{زمن الاطار } = 2 / (T_{\text{one line}}) = 0.0008 \text{ ثانية}$$

و أن زمن المسح الكلي  $T_s$  يمكن ايجاده من العلاقة الآتية:

$$\text{زمن المسح الكلي} = 2\pi \text{ (نقطة) } / W_{DC} = 3.14 * 2 = 389.36 \text{ (نقطة / ثانية)}$$

$$= 0.0161 \text{ ثانية}$$

و ان زمن الاطار المتحقق هو اقل مما جاء في المصدر<sup>(١٨)</sup> و البالغ ٠.١٠٤ ثانية.

## ٨- كفاءة المسح ( $E_s$ ) Scan Efficiency

بتطبيق العلاقة (٥٧-١) وجد ان :

$$\text{كفاءة المسح} = (1 \text{ سم} - 0.2 \text{ سم}) / 1 \text{ سم}$$

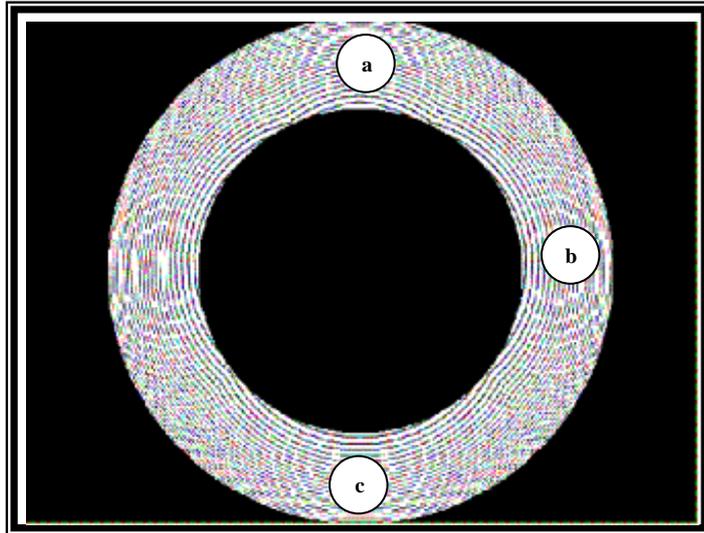
$$\text{كفاءة المسح} = 0.80$$

هذا يعني ان الهولوجرام المكون للماسح الليزري يضاء بحزمة الليزر بالكامل لمدة ٨٠% من زمن المسح أي بمعنى اخر الزمن الفعلي المستخدم في عملية المسح اما النسبة الباقية و البالغة ٢٠% يمكن تفسيرها على انها فترة الانقطاع (Retrace interval) في عملية المسح الناتجة من مرور حزمة الليزر على المسافات الفاصلة بين الهولوجرامات الحاسوبية و الخسارة الناتجة عن مرور اشعة الليزر من الزجاج و الهولوجرامات . ان قيمة  $E_s$  المتحققة هي اعلى من ما جاء في المصدر<sup>(٤٦)</sup> و البالغة ٤١% .

و من الجدير بالملاحظة أنه لا توجد كلفة في بناء الماسح الليزري حيث ان الهولوجرامات انتجت باستخدام برنامج بسيط بلغة (quick basic) و برنامج (picture publisher) و إن عملية البناء هذه اقتصرت على توفير ماطور (D.C) و مرآة و مجهز قدرة و اسطوانة زجاجية و جهاز ليزر و حوامل .

### ٢-٣: الماسح الهولوجرافي ذو الشكل الدائري .

على وفق ما ذكر فإنه تم استخدام برنامج (Picture Publisher) للحصول على الهولوجرام الحاسوبي بطريقة (CCH-Technique) ، كما هو موضح في الشكل (٦-٣) .



شكل (٦-٣) : الهولوجرام الدائري المصنوع بـ (CCH)-technique و يوضح الشكل (٧-٣) نمط الحيود الناتج من الهولوجرام الدائري لثلاث مناطق .





-ج-

الشكل (٣-٧) انماط الحيود الناتج من الهولوجرام الدائري .

أ- نمط الحيود من المنطقة a -ب- نمط الحيود من المنطقة b

- ج- نمط الحيود من المنطقة c

عند دوران الهولوجرام سوف نحصل على خط المسح و هذا الخط هو نفسه الناتج من الماسح الهولوجرافي ذي الشكل الاسطواني و لكن يوجد فرق في سرعة المسح نظراً لأستخدامنا هولوغراماً واحداً فقط و كانت :

سرعة المسح = ٦٢ (دورة / ثانية) \* ١ (خط / دورة) .

سرعة المسح = ٦٢ (خط / ثانية)

سرعة المسح = ٢١٠.٨ (سم / ثانية) .

ان عملية المسح تكون في اتجاه واحد اما بقية المعاملات مثل زاوية الحيود و القدرة التحليلية و تشوه سرعة المسح و قطر الحزمة و كفاءة المسح فكانت مطابقة لما هو عليه في حالة الماسح الاسطواني لأنهما يعتمدان على الاساس النظري نفسه .

وان الميزة الاساسية لهذا الماسح هي بساطة تثبيت الهولوجرام على المحور الدوار للمحرك إضافة الى عدم الحاجة الى مكونات بصرية مساعدة كما هي الحالة في الماسح الاسطواني.

## الفصل الرابع الاستنتاجات ومقترحات العمل المستقبلي

### ٤-١- الاستنتاجات

من خلال نتائج البحث يمكن التوصل الى الاستنتاجات الآتية:-

(١)- تيسر بناء ماسح ليزري بإمكانيات محلية بسيطة ، ولا توجد كلفة في انتاج الهولوجرامات الحاسوبية (محزرات الحيود) . إذ تم انتاج هذه المحزرات بأستخدام برنامج ( Quik Basic ) وبرنامج ( Picture Publisher ) .

(٢)-يعطي الماسح الهولوجرافي ذو الشكل الاسطواني سرعة مسح عالية تصل الى ١٨٩٧.٢ سم/ثانية ويمكن زيادتها عن طريق زيادة عدد الهولوجرامات او عن طريق ترتيب الهولوجرام الواحد عكس الاخر ، او عن طريق زيادة الفولتية المسلطة . أما الماسح الهولوجرافي ذو الشكل الدائري ، فإنه يعطي سرعة مسح أقل تصل الى ٢١٠.٨ سم / ثانية نظراً لاستخدامنا هولوجراماً واحداً ، ويمكن زيادة سرعة المسح بزيادة الفولتية فقط لذلك يعد الماسح الاول هو الافضل لأنه يحقق سرعة مسح عليا .

(٣)- امكان الحصول على زاوية انحراف مقبولة تصل الى ٠.٩٧ ° ، ويمكن زيادة هذه الزاوية بعد استخدام عدسة خاصة مصممة لهذا الغرض بحيث يكون لها (  $f_n=10$  ) وكذلك نجد ان زاوية الانحراف تعتمد على التردد الفضائي ولا تعتمد على عدد السطوح الهولوجرامية.

(٤)- في الماسح الهولوجرافي الحاسوبي نجد ان زيادة سرعة المسح لا تقلل من زاوية الانحراف ، كما هو الحال في المواسح الليزرية السابقة إذ وجد أن العلاقة بين سرعة المسح وزاوية الانحراف تكون علاقة عكسية .

(٥)-إن المواسح الهولوجرافية الحاسوبية تعطي خطوط مسح مستقيمة ، أي ان الهولوجرامات تعمل على تصحيح تحذب المجال لحزمة المسح بسبب التردد الفضائي المتغير .

(٦)-امكان الاشتغال عند السرعات العالية جداً على خلاف ما هو موجود في المواسح الميكانيكية (التي تستخدم المواشير المرايا ، العدسات ) حيث لا تستطيع ذلك بسبب كبر أجزائها الميكانيكية .

(٧)الحصول على قدرة تحليل عالية تصل الى ( ٣٢٠ ) ، وأن هذه القدرة تعتمد على التردد الفضائي للهولوجرام وعلى عدد الاهداب . وأن تشوه سرعة المسح وقطر الحزمة الخارجة من الهولوجرام تكون صغيرة وتزداد بزيادة زاوية الحيود.

(٨)ان الترتيب الهندسي لشكل الهولوجرام لا يؤثر على شكل خط المسح ، والدليل على هذا فقد تم الحصول على خط المسح نفسه من الماسح الهولوجرافي الحاسوبي ذي الشكل الاسطواني والماسح الهولوجرافي ذي الشكل الدائري.

### ٤-٢ مقترحات الاعمال المستقبلية

١-بناء منظومة متكاملة لأغراض تتبع الاهداف الجوية بأستخدام الماسح الهولوجرافي ذي الشكل الاسطواني .

- ٢- استخدام الهولوجرامات الحاسوبية في تحويل شكل الحزم الكاوسية (Gaussian Beam) إلى حزمة بيسل (Bessel Beam) .
- ٣- استخدام تقنية الطور الشفاف في بناء هولوجرام لأحد العناصر البصرية حاسوبيا .

## References

- ١-L.Beiser , *Jorn . of The Opti . Soci .of Amer .*, ٥٧ ,٧٩ ,٩٢٣ (١٩٦٧)
- ٢-L. Beiser , *Laser Focus/Elect .-Opti.*, ٢١,٢٩,٨٨ (١٩٨٥).
- ٣-M.Holter and W.wolfe , *proc . of the IRE*, ٤٧,٩,١٥٤٦(١٩٥٩).
- ٤-J.Urbach and et al , *proc . of the IEEE*, ٧٠,٦, ٥٩٧(١٩٨٢).
- ٥-C.Wang and R.Bow,*Opti . and Laser Tech.*, ٢٤٧(١٩٨٤).
- ٦-T. Masesuda, F.Abe and H. Takahashi,*Appl.Opti.*, ١٧,٦,٨٧٨(١٩٧٨)
- ٧- صالح محمود الراوي، أدوات التكنولوجيا الحديثة ، الشروق - عمان ٢٠٠٠
- ٨-H . Fujll,T.Asakura,T.Matsumoto and M.Saikawa,*opti.and Laser Tech. ,*  
٣٩ (١٩٨٢)
- ٩-H.Heidry,Dbegley and L.Coror,*opti.andLaserTech.*,٢٦٥. (١٩٨١)
- ١٠-M. Ross , *Laser Application* ,Academic press,١٩٧٤.
- ١١-N.Kimio,N.Terumi and Yoshiga.*proc.of the IEEE* ,٧٤ ,٩, ١٢٨٠ ,  
(١٩٨٦) .
- ١٢-N.Kimio,N.Terumi and Yoshiga.*proc.of theIEEE*,٧٠,٨,٨٧٠(١٩٨٢)
- ١٣- خالد عبد الحميد الخطيب، ضوئيات الكم والليزر، مطبعة التعليم العالي والبحث العلمي ،  
مطبعة بغداد ١٩٨٩ .
- ١٤-T.Fisil,*opti. and LaserTech.*,٩٨(١٩٨٢)
- ١٥-S.Wilison,*SPIE Proc.*, ٢٩,٤٠(١٩٨١)
- ١٦-M.Mond,*Opti.Revi.*, ٢ , ٢,١٣٢(١٩٩٥)
- ١٧-L.Michaeil, *Laser Application* , plenum press,London,١٩٩٥.
- ١٨- حليلة ثجيل حلبوس، تصميم و بناء ماسح ليزري ،رسالة ماجستير ،قسم العلوم التطبيقية –  
الجامعة التكنولوجية ٢٠٠٠
- ١٩-R.Stan,*SPIE Proc.*,٨٤,٤٧(١٩٧٦).
- ٢٠-N.bka . and K.Venkata krishnan, *opti. Engi.*,٣٩,١١,٢٩٩٥ (٢٠٠٠).

- ٢١-J.Hammer,*Appl.phys.lett.*, ١٨, ٤, ١٤٧(١٩٧١).
- ٢٢-D.Leseberge,*Appl.Opti.* , ٣١, ٢, ٢٢٣ ,(١٩٩٢).
- ٢٣-N.Roberts,*Appl.Opti.* , ٣١, ١٧, ٣١٩٨(١٩٩٢)
- ٢٤-J.Salo,J.Meltaus,E.Nojonen,J.Westholm and M.Saloman,*Eleco lett.*,  
٣٧, ١٣, (٢٠٠١).
- ٢٥-J.Saily and A.letho,*Elec.Lett.*, ٣٦, ٢, ١١١(٢٠٠٠).
- ٢٦-M.kato and K.Skuda,*Appl.opti.*, ٣١, ٦٣٠(١٩٩٢).
- ٢٧-K.Nagashi and T.Asknera,*Opti and Laser Tech.*, ١٥, ٣ (١٩٨٣).
- ٢٨-T.Chia, Y. lai and A.Goh,*Opti and Laser Tech.*, ٢١, ١, (١٩٨٩)
- ٢٩-T.Huang,*proc.of the IEEE*, ٥٩, ٩(١٩٧١)
- ٣٠-J.Burch, *proc.of the IEEE*, ٥٥, ٥٩٩(١٩٦٧).
- ٣١-X.chen , J . Huany and E.Loh,*Amer.Jorn.phys.* , ٥٥, ١٢, ١١٢٩,(١٩٨٧)
- ٣٢-L.Lesem,p.Hirsch and J.Jordan IBM.publ. , ١٣, ٢(١٩٦٩)
- ٣٣-W.Freude,k.Gerhard,Wliebleroad B.Wupperinann,*Appl.Opti.* , ٢٧  
١, ١٣٨ (١٩٨٨).
- ٣٤-T.Yatagai,*Opti.Acta* , ٢٦, ٨, ٩٨٥,(١٩٧٩).
- ٣٥-هيثم علي كامل ، استخدام طريقة لومان لبناء هولوجرام حاسوبي ، رسالة ماجستير جامعة  
بغداد ٢٠٠٠
- ٣٦-هناء محمد ياسين ، بناء الهولوجرامات الحاسوبية ، رسالة ماجستير ، جامعة بغداد . ١٩٩٧
- ٣٧-J.Bucklew and N.Gallaghei,*Appl.Opti.*, ١٨, ٣, ٣٢١(١٩٧٩).
- ٣٨-T.Yatagal and H.Saito,*Appl. Opti.*, ١٧, ٤, ٥٥٨(١٩٧٨).
- ٣٩-A.Lohmann and S. Sinzinger ,*Appl. Opti.* ٣٤ , ١٧, ٣١٧٢ (١٩٩٥).
- ٤٠-C.Hsuch and A.Sawchulc,*Appl.opti.*, ١٧, ٢٤, ٣٨٧٤(١٩٧٨).
- ٤١-W.Lee,*Jorl.of the opti.soci. Amer.*, ٦٥, ٥, ٥٢٤ (١٩٧٥).
- ٤٢-رائد كمال المفرجي ، بناء عناصر هولوجرافية ضوئية باستخدام الحاسوب ، رسالة ماجستير ،  
جامعة بغداد ٢٠٠١

٤٣-W.Lee,*Appl.opti.* ,١٣,٧,١٦٧٧(١٩٧٤).  
 ٤٤-T.Shiozawa and H/Iwaoka,*Appl.Opti.* ,٢٧,٧,١١٠(١٩٨٨)  
 ٤٥-V.Grebig,*Opti.Commu.*,٣٦,٢,٩٠(١٩٨١).  
 ٤٦-O.Bryngdahl and W.Lee,*Appl.opti.* ,١٥,١,١٨٣(١٩٧٦).  
 ٤٧- I.Satoh and M.Kato,*Appl.opti.* ,٢٧,١٤,٢٩٨٧(١٩٨٨).  
 ٤٨- W.Lee,*Appl.opti.* ,١٦,٥,١٣٩٢ (١٩٧٧).  
 ٤٩- J.Goodman, Academic Press , ١٩٨٠  
 ٥٠- C.Kramer and J.wilson,*Laser Focus* (١٩٨١).  
 ٥١-R.Pole and H.Wollenmann,*Appl.opti.* ,١٤,٤,٩٧٦ (١٩٧٥).  
 ٥٢-H.Ikeda,M.Ando and T.Inagakig , *Journ. Of Appl. Phys.* ,١٥,٢٤,٢٤٦٧  
 (١٩٧٦).  
 ٥٣-C.Ih,N.Kong ,*Appl.opti.* ,١٧,٥,٧٤٨ (١٩٧٨).  
 ٥٤- H.Ikeda and M,Ando , *Appl. Opti.* ١٨,١٣,٢١٦٦ (١٩٧٩) .  
 ٥٥-A.Hart and T.wolfe , *SPIE-the Inte. soci. fore opti. Engi.* ,١٥, ١٥٨٢  
 (٢٠٠٠).