

Parallel statt seriell: ELV-Laser-Interferograph LI 90



Diese sinnreiche Vorrichtung erzeugt, verbunden etwa mit dem ELV-12V-Laser, vielseitige, flächenhafte Laser-Interferenzbilder von atemberaubender Schönheit. Ein ergänzendes Steuergerät ist nicht erforderlich!

Allgemeines

Als Pionier für einfallsreiche anflanschbare oder frei positionierte Showlaser-Ablenkssysteme hat ELV sich inzwischen einen großen Anwenderkreis erschlossen. Das hier vorgestellte System ergänzt dieses Angebot in einem wesentlichen Be-

reich der Lasergrafik, der durch die seriell arbeitenden Spiegel-Ablenkssysteme in keiner Weise abgedeckt werden kann.

Laser-Beugungs- und -Interferenzfiguren lassen sich, unter völligem Wegfall schnell bewegter Teile, bereits mit geringstem Aufwand erzeugen und bieten unvergleichliche Lichteffekte. Sie entstehen aufgrund bestimmter, einzigartiger Eigenschaften des Laserlichts und sind mit herkömmlichen Lichtquellen nicht realisierbar.

Ihr besonderes Plus liegt darin, daß es sich um ausgesprochen ruhige, stimmungs-volle, „schmeichelnde“ Lasereffekte handelt, die sich in diesem Punkte von der seriell erzeugten Laser-Liniengrafik etwa genauso unterscheiden wie ein Kerzenschein von einer harten Leuchtstofflampe. Laser-Beugungs- und -Interferenzbilder flackern oder flimmern nicht, können sich aber stetig

und gleichmäßig wandeln und umformen, sofern dies gewünscht ist. Nichts daran könnte den Betrachter „rappelig“ machen; im Gegenteil ist, eine geeignete Umgebung vorausgesetzt, die beruhigende Wirkung ganz außerordentlich. Man kann den Effekt somit auch, im besten Sinne des Wortes, als „psychedelisch“ bezeichnen, da eine fast meditative innere Lösung und Entspannung zustandekommen kann. Ungeachtet dessen verfehlt der Effekt aber auch in einer „wildern“ Partyatmosphäre mit z.B. lauter Rockmusik seine Wirkung nicht.

Der ELV-Laser-Interferograph LI 90

Den LI 90 kann man mit gutem Gewissen als feinmechanischen Leckerbissen bezeichnen, obschon der Nachbau auch für Ungeübte vollkommen unproblematisch ist.

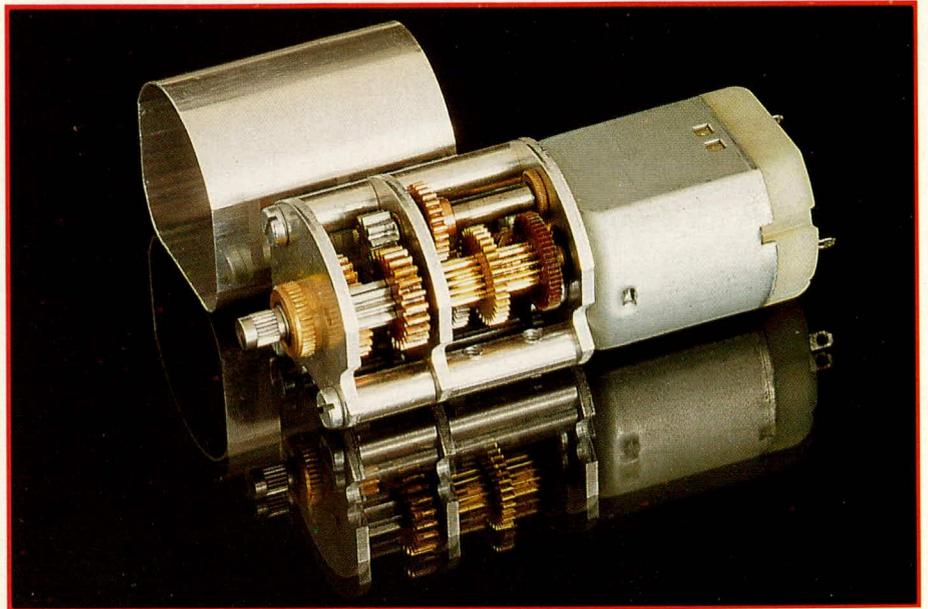
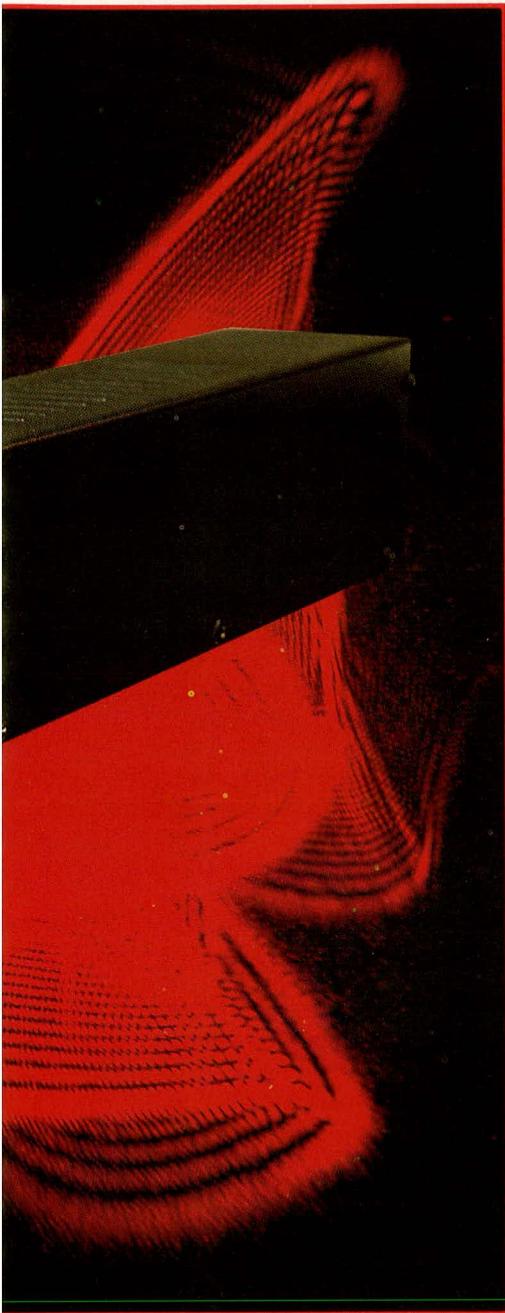


Bild 1:
Präzisions-Motor-Getriebe-Einheit,
das Herzstück des LI 90, mit abge-
nommenem Getriebegehäuse

herabregelbarer Geschwindigkeit langsam und extrem gleichmäßig im Strahlengang dreht. Da je nach Struktur der Scheibe sehr unterschiedliche Muster generiert werden, sind mehrere verschiedene Scheiben vorhanden, die sich durch einfaches Umstecken auswechseln lassen.

Die Regelung des Motors erfolgt wie gesagt elektronisch, bei einer Eingangsspannung von 12 V. Diese Spannung kann günstigerweise direkt von der Versorgung des 12V-Lasers abzweigbar werden, da die Stromaufnahme des Systems gegenüber diesem nahezu vernachlässigbar ist. Zur Einspeisung steht eine 3,5mm-Mono-Klinkenbuchse zur Verfügung sowie alternativ eine Bohrung, durch welche die Stromversorgungsleitungen unsichtbar direkt aus dem angeflanschten Laser übernommen werden können.

Die Regelungselektronik ist auf einer kleinen Platine untergebracht, welche am Boden der unteren Gehäusehälfte montiert wird und über 2 blanke Schaltdrahtabschnitte mit dem Motor zu verbinden ist. Sie trägt auch Regelpoti und, sofern benötigt, die Versorgungsbuchse. An der vorderen Gehäuse-Unterseite dienen zwei Gummifüßchen dem sicheren und kipsicheren Stand des gesamten Lasersystems.

Eng „belagert“ von den Einbauten, durch-eilt der Laserstrahl selbst das gesamte Gehäuse vollkommen ungestört und tritt unmittelbar hinter der Streuscheibe aus. Wird diese Scheibe abgenommen, kann der Laser also nach wie vor als ganz „normale“ Lichtquelle für alle möglichen anderen Laser-Anwendungen eingesetzt werden, nur eben 65 mm länger als zuvor; doch dieses Stück hat es in sich!

Das Gerät ist als hochkompakte Einheit ausgeführt, deren wesentliches Element ein elektronisch regelbarer Motor mit Präzisionsgetriebe darstellt (Bild 1). Insgesamt 14 Zahnräder greifen dort staubgeschützt hochgenau ineinander, und die gesamte Einheit mit allen Zusatzelementen findet in einem optimierten, mattschwarzen Stahlblechgehäuse Platz, dessen Kontur in Breite und Höhe exakt dem Gehäuse des ELV-12V-Lasers entspricht. An diesen wird es folglich nahezu fugenlos angeflanscht, wobei aber natürlich ohne weiteres auch andere Lasergeräte verwendbar sind, sofern dort die benötigten Montagebohrungen eingebracht werden.

Auf die vorne aus dem Gerät austretende Getriebe-Abtriebsachse wird eine Ablenkscheibe aus strukturiertem Plexiglas aufgesetzt, welche sich mit bis auf Null

Grundlagen

Laserlicht ist physikalisch nicht grundsätzlich anders aufgebaut als „gewöhnliches“ Licht, unterscheidet sich jedoch aufgrund einiger quantitativer Merkmale wesentlich von diesem. Die 3 wichtigsten Unterscheidungsmerkmale sind

- ein extrem hoher Einfarbigkeitsgrad des Lichts, d. h. sehr große Frequenzschärfe,
- eine im Laserbündel bestehende Synchronisation der Einzelwellen, d.h. die gegenseitige Verkopplung zu zusammenhängenden Wellenfronten,
- ein optisches Verhalten, das aufgrund des Erzeugungssystems dem einer beliebig kleinen oder aber unbegrenzt weit entfernten Strahlungsquelle entspricht, was bedeutende Konsequenzen für Fokussierbarkeit und Strahldivergenz nach sich zieht.

Kohärenz

Diese 3 Effekte, die nicht völlig isoliert voneinander zu sehen sind, werden durch den Begriff „Kohärenz“ ausgedrückt, der anschaulich nur recht schwierig zu fassen ist. Wörtlich übersetzt bedeutet er „Zusammenhang“ oder „Zusammenhängendheit“ und gibt, über die physikalische Größe der sog. Kohärenzlänge, den Grad der raumzeitlichen Gleichförmigkeit und Ordnung einer elektromagnetischen Strahlung an.

Anschaulich entspricht die Kohärenzlänge dabei der mittleren Länge eines einzelnen von der Lichtquelle ausgesandten, phasenstarr zusammenhängenden Wellenzuges. Dem Sonnen- oder Glühlicht beispielsweise, einem bunten Frequenzgemisch von fast ausschließlich zufallsbestimmter Momentan-Zusammensetzung, kommen Kohärenzlängen im Bereich einiger Mikrometer zu, HeNe-Laser erreichen dage-

gen auf Antrieb mindestens 30 cm und können durch entsprechende Maßnahmen auf mehrere zehntausend Kilometer Kohärenzlänge gebracht werden.

Aufgrund des eben Gesagten leuchtet ein, daß es keinen Sinn macht, zu sagen, die eine Lichtquelle strahle kohärent und die andere eben nicht - genauso, wie es unkorrekt wäre, zu sagen, ein Elefant besitze Gewicht, eine Mücke dagegen nicht. Letztlich ist es eben nur, wie eingangs gesagt, ein quantitativer und kein prinzipieller Unterschied hinsichtlich einiger Kenngrößen.

Interferenz

Wesentliches Merkmal „kohärenter“ Strahlung, d.h. von Strahlung mit besonders großer Kohärenzlänge, ist ihre Interferenzfähigkeit über räumlich ausgedehnte Bereiche.

Interferenz, zu deutsch: Überlagerung, bezeichnet das Zustandekommen additiver oder subtraktiver Mischung zweier Teil-Lichtwellen, die sich in einem Punkt treffen. Sollen hier längerfristig, d.h. für Auge oder Meßinstrumente wahrnehmbar, konstante Zustände herrschen, so ist hierzu eine feste Phasenbeziehung der beiden Teil-Wellen Voraussetzung. Beide Wellen könnten dann in dem gegebenen Punkt z. B. so ankommen, daß sich immer gerade der entstehende Wellenberg der einen mit dem entstehenden Wellental der anderen Welle aufhebt (beim Abklingen ebenso), so daß in der Summe an diesem Punkt dauerhaft keine Lichtenergie meßbar wäre. Das Ganze nennt man dann „destruktive Interferenz“.

Ebensogut könnte in dem genannten Punkt aber auch immer synchron Wellenberg auf Wellenberg, Wellental auf Wellental treffen, d.h. die elektromagnetische Amplitude wäre hier im zeitlichen Mittel besonders hoch (konstruktive Interferenz). Und wenn man so weit mitgedacht hat, leuchtet ein, daß genausogut auch alle Zwischenwerte auftreten können.

Damit die genannten Effekte zustandekommen, müssen die beteiligten Teilwellen wie gesagt demselben Wellenzug entsprungen sein, da sie nur dann dauerhaft dasselbe Zeit-Raster besitzen können. Welcher der beschriebenen Interferenzfälle in einem betrachteten Punkt letztlich auftritt, ist dann lediglich eine Frage des Phasenunterschiedes der beiden Teil-Wellen. Ist die Wegstrecke der Teilwelle A, die zu unserem Punkt gelangt, von der Wegstrecke der dort ankommenden Teilwelle B gerade um ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge unterschiedlich, so ergibt sich der Phasenunterschied Null, d.h. beide Wellen interferieren konstruktiv, als seien sie nie getrennt worden. Beträgt der Unterschied dagegen das $x,5$ -fache der Wellenlänge, so erhalten wir gerade

destruktive Interferenz.

Interferenz-Lasergrafik

Verlassen wir nun den betrachteten Auftreff-Punkt unseres Gedankenmodells und betrachten seine unmittelbare Nachbarschaft! Wenn wir annehmen, daß die Ausgangspunkte unserer Teilwellen eine räumlich gleichbleibende Lage zur Auftreffebene besitzen, und wenn wir weiterhin realistisch davon ausgehen, daß von diesen beiden Ausgangspunkten jeweils ein kompletter Lichtkegel ausgeht, so wird sich für jeden Punkt dieser Ebene ein Wegstreckenunterschied beider Teilwellen und damit eine Aussage über die Helligkeit dieses Punktes festmachen lassen. Unmittelbar an eine dunkle Stelle werden etwas hellere Stellen folgen (irgendwo muß die Energie schließlich ja auch bleiben), und man erhält somit ein Muster aus Sprenkeln, Streifen oder anderweitig uneinheitlicher Helligkeitsverteilung.

Genau das ist eine Interferenz-Lasergrafik; die erwähnte Kohärenzlänge gibt an, um welche Wegstrecke die interferierenden Teilstrahlen differieren dürfen, ohne daß die Phasenbeziehung dabei ins Wanken gerät. Wäre sie zeitlich nicht konstant, so könnte ein zeitlich feststehendes Interferenzbild natürlich nicht zustandekommen. (Auf das Beispiel unserer Sonne bezogen bedeutet dies, daß die Strahlung nur im Bereich weniger Mikrometer interferieren kann. Die extrem dünnen, schillernden Schichten von Öltropfen auf nasser Straße, nie dagegen aber im Benzintank, oder z.B. die sog. Newton-Ringe bei glasgerahmten Dias belegen dies. Letztere zeigen aber auch, wie ausgesprochen lästig Interferenzphänomene sein können, und veranschaulichen die z.T. extremen Präzisionsforderungen an Laseroptik-Komponenten.)

Wenn die genannten Teilstrahlen von relativ nah benachbarten Orten ausgehen, so bedeutet dies, bezogen auf die Projektionsfläche, daß helle und dunkle Stellen relativ weit auseinander liegen, da für das Zustandekommen der zugrundeliegenden, erforderlichen Wegstreckendifferenz von einer halben Wellenlänge große Winkelunterschiede Voraussetzung sind. Liegen die Ausgangspunkte der Teilstrahlen dagegen weit auseinander, so ergibt sich ein sehr feines Interferenzmuster, das dem bloßen Auge z.T. sogar schon wieder homogen erscheint. Ein solches Muster gäbe für Lasergrafik-Anwendungen natürlich wenig her, ist aber z. B. Grundlage der Holographie.

Eine wesentliche, wenn auch intuitiv nicht so ohne weiteres zu verdauende Tatsache ist nun, daß man das eben zum Verständnis der Interferenz skizzierte Gedankenmodell auch auf drei oder mehr Strahlaustrittspunkte, ja selbst auf größere, flächige Austritts-

bereiche ausdehnen kann, ohne daß sich am Zustandekommen selbst komplett dunkler Projektionsbereiche etwas ändert. Den Beweis können wir an dieser Stelle nicht liefern, da er weit über den Anspruch dieses Artikels hinausginge. Halten wir jedoch fest: Sofern nur das gesamte bild-erzeugende Laserbündel im Bereich der verschiedenen Ausgangsbereiche kohärent, d.h. phasenstarr zusammenhängend ist, erhalten wir Interferenzmuster, die sowohl komplett dunkle als auch besonders helle Bereiche aufweisen. Ein statistisches „Ausmitteln“ findet also nicht statt, eher sogar das Gegenteil. Dieser Umstand ist entscheidend für das Verständnis fast aller unter Realbedingungen auftretender Interferenzen und muß ausdrücklich betont werden. Zumal ohne ihn auch unser Laser-Interferograph nicht funktionieren könnte, und das wäre fürwahr bedauerlich.

Beugung

Ein Phänomen, das mit Kohärenz oder Interferenz nichts zu tun hat, aber ebenfalls wesentlichen Einfluß auf die Lichtausbreitung hinter Blenden oder anderen Störstellen und somit für die zustandekommenden Schirmbilder besitzt, ist die Beugung. Der Vollständigkeit halber soll auch sie hier kurz abgehandelt werden.

Beugung beschreibt das auf den ersten Blick nicht gerade einleuchtende Verhalten von Lichtbündeln, sich abweichend von den Gesetzen der klassischen Strahlenoptik auch in den geometrischen Schattenraum eines Strahlen-Hindernisses hinein auszubreiten. Die Gesetzmäßigkeiten der Beugung führen dazu, daß es nicht gelingen kann, Laserstrahlen z. B. auf beliebig kleine Brennpunkte zu fokussieren, wie es nach der klassischen Optik möglich sein sollte. Beugung ist ebenfalls verantwortlich für die geringe Rest-Divergenz der von Laserröhren ausgesandten Strahlen oder z. B. die Tatsache, daß das menschliche Auge selbst mit verzehnfacher Netzhaut-Auflösung nicht wesentlich schärfer sehen könnte.

Wieder einmal ist ein Physiker an allem schuld, denn Hintergrund der Beugung ist die sogenannte Heisenbergsche Unschärferelation, gemäß der es nicht möglich ist, gleichzeitig Ort und Richtung eines Lichtteilchens oder eines anderen Welle-Teilchen-Vorganges exakt anzugeben. Dies bedeutet: Je genauer man den Ausgangsort eines Lichtstrahles festlegt (z. B. durch eine winzige Blende), desto größer wird die Richtungsstreuung des von ihm ausgehenden Lichtbündels, welches sich kegelförmig in den dahinterliegenden Schattenraum ausbreitet. Es ist wie eine Widerspenstigkeit des Lichtes, sich „festnageln“ zu lassen, und der damit verbundene Schlupf durch's Hintertürchen.

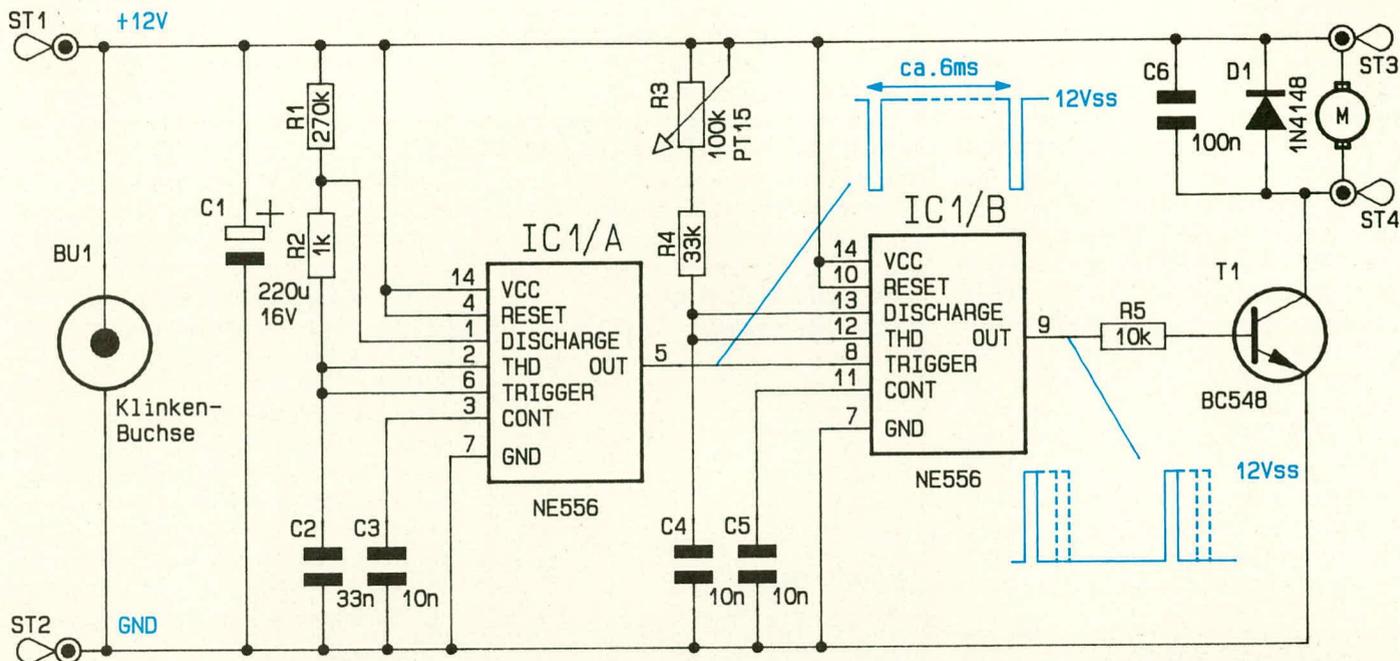


Bild 2: Schaltung zur elektronischen Drehzahlregelung des Getriebes zwischen 0 und 5 U/min. Die Versorgung erfolgt wahlweise über Klinkenbuchse oder intern über ST 1, ST 2.

sige Ähnlichkeit. Mikroskopisch kleine Lageänderungen des Hindernisses führen bereits zu deutlichen, nahezu unkalkulierbaren Veränderungen des Interferenzmusters. Deshalb sind gleichförmige, spielfreie Bewegungen für angenehme Musterübergänge unabdingbar.

Zur Schaltung

Abbildung 2 zeigt das Schaltbild zur Ansteuerung des DC-Motors des Laser-Interferographs LI 90. Damit der Antriebsmotor in einem weiten Drehzahlbereich einstellbar ist, bei zugleich leistungssparendem Betrieb, wurde eine Puls-Pausen-Ansteuerung entwickelt. Hierdurch wird auch bei sehr geringen Drehzahlen ein „sauberes“ und kontinuierliches Drehen des DC-Motors erreicht.

Das Prinzip besteht darin, daß dem Motor immer die volle Spannungshöhe angeboten wird, dies jedoch mit Unterbrechungen, und zwar in sehr schneller Folge. Eine optimierte Grundfrequenz vorausgesetzt, erhält der Motor für langsame Drehzahlen sehr schmale Impulse, und mit breiter werdenden Impulsen erhöht sich dann die Drehzahl.

Das IC 1 A ist als Multivibrator geschaltet und stellt sehr schmale, für die Triggerrung des IC 1 B benötigte Impulse mit einer Frequenz von ca. 160 Hz an Pin 5 zur Verfügung. IC 1 B arbeitet als Mono-Flop und wird über Pin 8 von den 160 Hz-Impulsen getriggert. Die hier nun am Aus-

gang (Pin 9) anstehenden Impulse sind in ihrer Breite über die RC-Kombination R 3, R 4/C 4 einstellbar. Der Bereich wurde so gewählt, daß sich in bezug auf die zu erzeugenden Lasergrafiken ein optimiertes Regelverhalten ergibt.

Da der verwendete hochwertige DC-Antriebsmotor mit dem vorgeschalteten Getriebe einen hohen Wirkungsgrad und damit sehr geringe Stromaufnahme besitzt, reicht zur Ansteuerung ein kleiner Transistor des Typs BC 548 aus, der seinerseits vom Ausgang (Pin 9) des IC 1 B angesteuert wird. D 1 und C 6 dienen zur Entstörung.

Zum Nachbau

Aufgrund der maßgenau mit sämtlichen erforderlichen Bohrungen und Durchbrüchen ausgestatteten Gehäusehälften gestaltet sich der Nachbau des LI 90 ausgesprochen einfach und befriedigend.

Zunächst hat man sich zu entscheiden, ob der LI 90 extern über die vorgesehene 12V-Klinkenbuchse oder intern/verdeckt direkt aus dem angeflanschten ELV-12V-Laser versorgt werden soll. Ist letzteres gewünscht, braucht die Klinkenbuchse nicht bestückt zu werden, jedoch ist an der vorgesehenen Übergabestelle eine Bohrung in die Front des Lasergehäuses erforderlich (genau mittig zwischen die beiden unteren Anflansch-Bohrungen, Durchmesser zwischen 3,5 und 5,0 mm; kann auch vor dem Öffnen des Lasergehäuses ausgeführt werden). Eine entsprechende, bereits vorhandene Öffnung des LI-90-Gehäuses kommt nach dessen Montage genau davor zu liegen, so daß sich im weiteren Verlauf der Arbeiten die erforderliche zweiadrige Leitung von den vorgesehenen Anschlußpins der Steuerplatine bis an die Klinken-Ein-

In dieser Weise wirken also kleine Störpartikel wie Staub- oder Rauchteilchen oder z.B. ein in den Strahlengang gebrachtes Haar als Ausgangs-„punkte“ weitgefächerter Lichtbündel, für deren Zustandekommen fast allein die Beugung verantwortlich ist und nicht etwa die geometrische Lichtreflexion am Störteilchen. Ein Nebeltröpfchen legt aufgrund seiner Winzigkeit den Ort des von ihm gestörten Lichtbereichs sehr stark fest, und die gesetzmäßige Folge ist die genannte starke Richtungsstreuung des beeinflussten Bündels.

Auf einem Bildschirm stellen sich die Folgen von beugungsabgelenkten Laserstrahlen zumeist als hochinteressante, regelmäßige Ring- oder Streifenmuster dar, wobei diese Strukturen eine Folge der bereits beschriebenen Interferenzfähigkeit des Laserlichts sind. Man kann nun, indem man gezielt beugende Strukturen in den Strahlengang bringt, auf die erzeugten Lichtmuster erheblichen Einfluß ausüben.

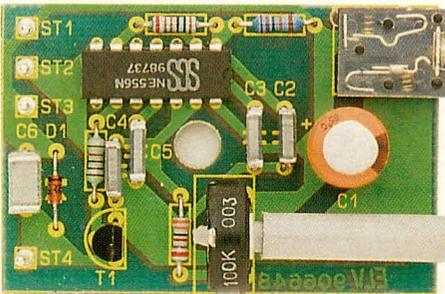
Erzeugung

Laser-Interferogramme (die gleichzeitig immer auch Beugungs-Bilder sind) entstehen im Prinzip sehr einfach, indem zwischen Lasergerät und Leinwand unregelmäßig geformte, durchsichtige Gegenstände wie z. B. Strukturglas in den Strahl gebracht werden. Hierdurch kommen über den Strahlquerschnitt gesehen ungleichförmige Verzögerungen, Brechungs-, Beugungs-, Bündelungs- und Divergenzeffekte zustande, die insgesamt dazu führen, daß auf der Leinwand eine mehr oder weniger ausgeprägte, hochkomplexe Interferenzfigur entsteht. Deren Form ist zwar ausschließlich bestimmt durch die Gestalt des relativ kleinen, vom Strahl durchsetzten Bereichs des brechenden Hindernisses, besitzt zu diesem jedoch keinerlei schlüs-

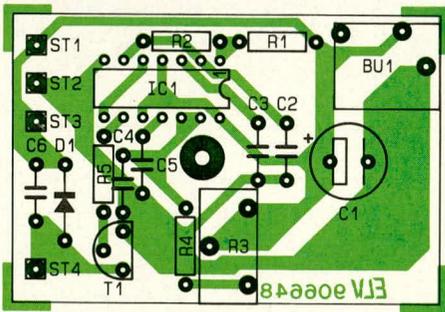
gangsbuchse des Lasers ziehen läßt.

Zunächst wird das unbestückte Unterteil des LI 90 mit dem Laser verschraubt. Hierzu muß dieser kurz geöffnet und die Laser- röhre nach oben aus ihren Klemmhalterungen gelöst werden (Schraubenzieher als Hebel verwenden). Dann werden von der Laser-Innenseite her 4 Schrauben M 3 x 5 mm durch die entsprechenden Flanschbohrungen von Laser und LI-90-Unterteil gesteckt. Die Bohrungen wurden für eine justier- und spielfreie Montage bewußt eng toleriert und sind zuvor evtl. von geringfügigen Lackresten zu befreien. Außerdem sollte man vor der Montage das Warnschild von der Laser-Vorderseite entfernen (muß wieder angebracht werden, wenn der Laser zu einem späteren Zeitpunkt wieder ohne Interferograph betrieben werden sollte).

Vor dem Anschrauben des LI-90-Unter-



Fertig aufgebauter Drehzahlregler für das LI 90



Bestückungsplan für die Ansteuerplatine des Getriebemotors

teils empfiehlt es sich außerdem, dessen herstellereitig z.T. noch nicht exakt auf 90° abgewinkelte Seitenflächen auf den vorgesehenen rechten Winkel gegenüber der Bodenfläche zu bringen.

Die 4 Schrauben werden auf der Innenseite des LI 90 mit den entsprechenden Muttern bestückt und fest (!) angezogen, danach der Laser wieder ordnungsgemäß zusammengebaut (Verlegen der Versorgungsleitung, sofern gewünscht, nicht vergessen!).

In die angebaute Gehäusehälfte werden die beiden Gummifüße eingezogen (der vordere Fuß des Lasers kann dann entfernt werden oder auch an seinem Platz verbleiben).

Wenden wir uns nun der Bestückung der Reglerplatine zu, die gemäß Stückliste und Bestückungsplan vorzunehmen ist, ohne

daß besondere Dinge zu beachten wären. Die Kontakte der eingelöteten Bauteile sollen relativ dicht an der Platinenunterseite abgekiffen werden, da die Schaltung später mit nur 3 mm Abstand zur Gehäusefläche befestigt wird.

Versuchsweise wird die Schaltung nun provisorisch über Klemmen mit dem Motor

Stückliste: Laser- Interferograph LI 90

Widerstände

1kΩ	R 2
10kΩ	R 5
33kΩ	R 4
270kΩ	R 1
Trimmer, PT15, stehend	R 3

Kondensatoren

10nF	C 3-C 5
33nF	C 2
100nF	C 6
220µF/16V	C 1

Halbleiter

NE556	IC 1
BC548	T 1
1N4148	D 1

Sonstiges

Gehäuse-Unterteil	
Gehäuse-Oberteil	
Motor-Getriebe-Einheit, komplett	
6 Knippingschrauben 2,9 x 6,5 mm, Kreuzschlitz, schwarz	
4 Schrauben M 3 x 5	
4 Muttern M 3	
1 Schraube M 4 x 10, schwarz	
1 Mutter M 4	
2 Polyamid-Scheiben Ø 10 x 1,5 mm	
1 Laser-Warnaufkleber	
2 Streuscheiben 50 x 50 mm	
10 cm Schaltdraht, blank, versilbert	
40 cm Lautsprecherleitung, 2adrig, rot/schwarz	
Klinkenbuchse, 3,5 mm, print, mono	BU 1
4 Lötstifte	

und einer Gleichspannung von 12 V verbunden und kurz getestet (Anschlußbelegung siehe Schaltplan/Bestückungsdruck!). Bei Betätigen des Potis muß sich die Getriebedrehzahl von etwa 5 U/min. bis auf Null herunterregeln lassen.

Als nächstes wird die Platine unter Zwischenlage von zwei 1,5 mm dicken Polyamidscheiben mit einer Schraube M 4 x 10 mm im Gehäuse befestigt. Die Schraube soll dabei von unten eingesteckt und festgehalten werden, dann folgen die Abstandsscheiben, und die Platine wird zunächst mit dem Schraubkragen der Klinkenbuchse (falls bestückt) durch die Gehäusebohrung gesteckt und dann über die Schraube heruntergekippt. Danach wird die Mutter lose aufgedreht, die Rändelmutter der Buchse angezogen und erst ganz zuletzt die M 4-Mutter. (Gegebenenfalls ist nun die interne Versorgungsleitung an die entsprechenden Lötstifte anzulöten.)

Der Getriebemotor wird durch 2 seiner 3 vorderen Montageschrauben am LI 90 befestigt. Diese befinden sich symmetrisch auf beiden Seiten der Austrittswelle und werden zunächst herausgedreht. Danach wird die Welle von innen/oben in das zugehörige 8-mm-Aufnahmeloch des Gehäuses geführt, wobei die gewölbte Getriebe Seite nach oben weisen muß. Die Montageschrauben werden in die zugehörigen Bohrungen gesteckt und abwechselnd stückweise wieder bis zum Anschlag eingedreht, wobei der Wellen-Lagerzylinder sich in die genau tolerierte Bohrung einpreßt.

Mit 2 blanken, geraden Schaltdrahtstücken wird nun der Motor mit den beiden zugehörigen Anschlußpins auf der Platine verbunden, womit der elektrische Aufbau des Gerätes abgeschlossen ist.

Jetzt muß nur noch das Gehäuse-Oberteil aufgesetzt und mit insgesamt 6 Knippingschrauben 2,9 x 6,5 mm befestigt werden, und nach Aufsetzen einer Streuscheibe steht selbst jahrelangem Dauereinsatz dieses außergewöhnlichen Lasergraphik-Gerätes nichts mehr im Wege. **ELV**

Bild 3: Blick in den komplett bestückten, an den Laser angeflanschten Laser- Interferographen LI 90.

