



Diodenlaser IRL 78

Dieser Artikel stellt einen im Infrarotbereich arbeitenden Puls laser mit hoher Wiederhol frequenz und einer mittleren Ausgangsleistung von 6 mW vor. Aufgrund der offenen Konstruktion eignet er sich für zahlreiche experimentelle Anwendungen, von Lichtleitfasertechnik über verschiedene optische Experimente bis hin zu unsichtbaren Lichtschranken über sehr große Distanzen.

Allgemeines

Der IRL 78 arbeitet mit einer hochwertigen IR-Puls laserdiode vom Typ LD 78-15, die bei einer Spitzenleistung von 15 W auf einer Wellenlänge von 904 nm emittiert (nahes Infrarot). Die maximal zulässige Einschalt dauer pro Puls beträgt 200 ns, der hierbei zulässige Strom 40 A (!), bei einer Durchlaßspannung von 13,4 V. Je besser diese Werte von der Ansteuerschaltung erreicht werden, desto höher ist der Wirkungsgrad der Diode und folglich auch die erreichbare Ausgangsleistung.

Der Hersteller der Diode (die US-Firma Laser Diode Incorporated) gibt ein maximal zulässiges Tastverhältnis von 1 : 2000 an. Bei voller Ausnutzung der Einzelpulsbreite errechnet sich daraus eine zulässige Pulsfrequenz von 2,5 kHz und eine theoretische mittlere Ausgangsleistung von 7,5 mW. Dies wiederum läßt auf einen Wirkungsgrad von immerhin fast 3 % schließen, gegenüber weniger als 0,4 Promille bei typischen HeNe-Lasern.

Der vergleichsweise hohe Wirkungsgrad, zusammen mit der winzigen Baugröße, ist einer der wesentlichen Vorzüge von Halbleiterlasern. Eindrucksvoll wird dies auch

durch unser Titelfoto illustriert, auf dem zum Größenvergleich neben dem IRL 78 auch eine ELV-HeNe-Laserröhre von 2 mW mit entfernter Kapselung abgebildet ist.

Die LD 78-15 besitzt 2 in Reihe geschaltete, optisch unmittelbar nebeneinander angeordnete Laserchips, die mit dem bloßen Auge noch gerade eben erkennbar sind und in denen sich der gesamte Laserprozeß vollzieht. Durch die Reihenschaltung der Chips verdoppelt sich die Ausgangsleistung, wogegen der nicht eben bescheidene erforderliche Diodenstrom von 40 A weiterhin beibehalten werden kann.

Der IRL 78 verwendet eine quarzstabile Pulsfrequenz von 2048 Hz, bei weitgehender Ausnutzung der zulässigen Einzelpulsdauer und des Durchlaßstroms. Er arbeitet damit bei einem Tastverhältnis von etwa 1 : 2400, entsprechend einer mittleren Ausgangsleistung von 6,2 mW. Dieser geringe Sicherheitsabstand zur theoretischen Maximalleistung ist unbedingt sinnvoll, denn bereits geringfügige, selbst einmalige Überschreitung der Grenzwerte führt unweigerlich zur Zerstörung der Laserkristalle oder zumindest zu rascher Alterung. Mit der gegebenen Schaltung dagegen besitzt der Laser eine Lebensdauer mehr als 10.000 Stunden.

Grundlagen

Laser - die Neulinge seien nochmals daran erinnert, daß es sich um ein Kunstwort aus den Anfangsbuchstaben von „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“, übersetzt „Lichtverstärkung durch angeregte Aussendung von Strahlen“, handelt - Laser also konnten trotz frühzeitiger Erarbeitung der theoretischen Grundlagen durch Einstein und andere erst Anfang der '60er Jahre auch praktisch realisiert werden. Kurioserweise muß dazu angemerkt werden, daß die wissenschaftliche Welt damals zwar einerseits voller Begeisterung diesen technischen Erfolg feierte, andererseits aber über viele Jahre danach noch keine nennenswerten praktischen Anwendungsfelder fand. Diese wurden mit verbissener Anstrengung gesucht, derweil in den wissenschaftlichen Laboratorien aus reinem Forscherdrang immer neue Lasertypen das Licht der Welt erblickten. Hält man sich dies, angesichts des heute überwältigenden Einsatzspektrums von Lasern in so ziemlich sämtlichen Bereichen der Technik, vor Augen, so wird man etwas vorsichtiger bei der pauschalen Aburteilung heutiger Grundlagenforschun-

gen auf anderen, scheinbar noch so exotischen Gebieten.

Die extreme Vielfalt heutiger Lasertypen hat eigentlich nur noch eine Gemeinsamkeit; und das ist das physikalische Arbeitsprinzip, wie es die nicht gerade allgemeinverständliche obige Wortreihe umschreibt. Wir gehen an dieser Stelle nochmals kurz darauf ein.

Licht, das einen mehr oder minder durchsichtigen Körper durchstrahlt, tritt mit dessen Atomen oder Molekülen zu einem gewissen Teil in Wechselwirkung und wird „verschluckt“. Physikalisch wird dabei das jeweils von einem Lichtteilchen (Photon) getroffene Atom oder Molekül in einen höheren, „angeregten“ Energiezustand gehoben, indem es die Energie des Photons absorbiert. Einige Zeit später wird diese Energie dann wieder abgegeben: meist in anderer Form oder zumindest eine andere Richtung, als sie aufgenommen wurde, also z. B. als Schwingungsenergie (Wärme), elektrische Energie (Fotозellen!) oder chemische Energie, die irgendwo eine Bindung zerstört. Von außen betrachtet, schwächt das durchstrahlte Medium also den Lichtstrahl.

Es ist jedoch auch der umgekehrte Prozeß möglich, indem einem Medium von außen eine bestimmte Energieart zugeführt wird und dann zu Lichtaussendung in diesem Stoff führt. Dies ist beispielsweise in den hinlänglich bekannten Leuchtdioden der Fall, passiert im Prinzip aber auch in jeder Kerzenflamme oder Glühbirne.

Gelingt es, ein Atom oder Molekül durch Energiezuführung in einen Zustand zu bringen, der demjenigen nach der oben beschriebenen Photonenkollision entspricht, so kann ein hinreichend nah „vorbeifliegendes“ Lichtteilchen diese Energie auch als weiteres Lichtteilchen abrufen, d. h. es wird verstärkt. Die Besonderheit dabei ist die absolute Synchronität, d. h. das zusätzliche Teilchen ist hinsichtlich Energie und Richtung vom auslösenden Photon nicht zu unterscheiden.

Dieser „Verdopplungsprozeß“ ist statistisch normalerweise außerordentlich selten, und doch fußt genau darauf die gesamte Lasertechnik. Sorgt man nämlich durch geeignete Energiezufuhr und sinnreiche Verfahren dafür, daß sich mehr Atome (oder Moleküle) im angeregten Zustand befinden als im normalen Grundzustand, so kann ein einfallender Lichtstrahl geeigneter Wellenlänge insgesamt verstärkt werden. Diese Grundbedingung bezeichnet man als „Besetzungsinversion“, und die hinzukommenden Lichtteilchen bewegen sich dabei genau in derselben Richtung wie der auslösende Strahl, was ganz wesentlich für die praktische Verwertbarkeit ist.

Versieht man ein derartig „aufgeladenes“ Medium an beiden Enden mit Spie-

geln, so kann sich die innere Lichtwelle nur in einer einzigen Richtung ausbilden und verstärken. Einen dieser Spiegel macht man teildurchlässig und koppelt dadurch ständig einen gewissen Prozentsatz des erzeugten Lichts als Laser-Nutzstrahlung aus, während ein Großteil der Strahlung zwischen den Spiegeln hin- und herläuft, dabei immer wieder „aufgeladene“ Atome/Moleküle trifft und dadurch neue Photonen freisetzt. Dies ist, grob gesagt, schon alles.

Wesentlich ist, daß die Verluste durch Spiegelabsorption und Auskopplungsgrad nicht höher sein dürfen als die Lichtverstärkung während des Durchlaufens des Mediums, denn sonst wird der Laser nicht anschwingen. Je niedriger also der Verstärkungsgrad des Laser-Mediums, desto länger muß die optische Anordnung werden, desto höher die optischen Anforderungen an die Spiegel und desto geringer der zulässige Auskopplungsgrad. Die Energiezufuhr zum Lasermedium wird sinnfällig als „Pumpen“ bezeichnet.

Der Diodenlaser

Eine der einfachsten Methoden, durch „Pumpen“ eine Besetzungsinversion herzustellen, ist vom Prinzip her ein PN-Halbleiterübergang. Nach Anlegen einer geeigneten hohen Spannung werden auf der N-Seite Elektronen injiziert, auf der P-Seite dagegen Löcher (aus diesem Grund werden Halbleiterlaser in der Literatur vielfach auch als „Injektionslaser“ bezeichnet). Die Elektron-Loch-Paare rekombinieren an der Grenzschicht zwischen beiden Materialien und setzen dabei jeweils Bindungsenergie frei. Diese Energie tritt in vielen Fällen als Wärme in Erscheinung (Gitterschwingungen des Kristalls), kann jedoch bei geeigneter Wahl der Halbleiterkristallmaterialien auch als Lichtteilchen freierwerden. Nichts anderes geschieht in den Leuchtdioden, wobei durch die Höhe des Energieabstands zwischen P- und N-Niveau die Lichtfarbe eingestellt werden kann.

Durch geeignete Erhöhung des Stromes ist es theoretisch möglich, an der Grenzschicht sogar eine Besetzungsinversion zu schaffen und damit die erste, entscheidende Voraussetzung für den Lasereffekt herzustellen. Besonders bestechend dabei ist, daß es nicht, wie bei den meisten anderen Lasertypen, eine prinzipielle Beschränkung des Wirkungsgrades auf zumeist nur wenige Prozent gibt, sondern daß zumindest theoretisch Wirkungsgrade der Umsetzung bis 100 % möglich sein sollten.

Dies war lange Zeit bekannt, doch stieß die technische Umsetzung des Wissens auf unerwartete und große Schwierigkeiten. Die Probleme, geeignet beständige Halbleiterstrukturen und -materialien für die extremen erforderlichen Stromdichten (um 100

kA/cm²) zu finden, waren erheblich. Und als dies schließlich gelang, stellte sich dann heraus, daß die freierwerdende Verlustwärme zu einer derartigen thermischen „Verschmutzung“ der Kristallstruktur führten, daß der Lasereffekt sogleich wieder unmöglich wurde, kaum daß die lokalen atomaren Voraussetzungen herbeigeführt waren. So fristeten Diodenlaser denn ihr Dasein lange Zeit nur in wissenschaftlichen Versuchsaufbauten, unter flüssigem Stickstoff, Argon oder Helium, was die einzig hinreichende Kühlmethode war.

Zu den allmählichen Fortschritten bei der Halbleitererzeugung für Laserdioden kamen als wesentliche weitere Voraussetzung dann die mikrooptischen Erfolge und Erkenntnisse hinzu, die man allmählich sammeln konnte. Schließlich reicht es ja keineswegs, nur ein im Prinzip laser-taugliches Halbleitermedium bereitzustellen, sondern dieses muß intern auch die optischen Strukturen eines Lasers erhalten. Innerhalb des PN-Überganges muß sich Licht möglichst verlustarm fortleiten lassen, beidseitig müssen Planflächen ange-schliffen werden u.s.w.

Es stellte sich heraus, daß mit Verbesserung der optischen Effizienz die elektrischen Anforderungen an die Halbleitermaterialien schrittweise deutlich reduziert werden konnten. So verwendet man heute gezielte Sprünge im Halbleiter-Brechungsindex, um das Laserlicht genau dort, wo es gebraucht wird, ähnlich wie in einem Lichtleiter zu führen, und hat dadurch den eigentlichen Laserbereich räumlich extrem einengen und konzentrieren können. War es zunächst eine Sensation, erstmals eine Laserdiode zu besitzen, die ohne Flüssig-gaskühlung betrieben werden konnte (Stromdichte etwa 10 kA/cm²), kamen als nächstes Puls Laserdioden im sichtbaren Bereich, hernach Dauerstrich-IR-Laserdioden (normalerweise sind die gewaltigen Ströme immer nur pulsartig zu verkraften) auf den Markt. Inzwischen gibt es sogar Dauerstrich-Laserdioden, die innerhalb des sichtbaren Lichtspektrums arbeiten, wenn auch bislang noch an dessen unterstem Ende. Die erforderliche Stromdichte beträgt dabei nur noch 475 A/cm², d. h. konnte gegenüber den Anfängen auf weniger als 1/200 gesenkt werden.

Alle frühen Laserdioden strahlten dagegen im Infrarotbereich, doch für zahlreiche technische Anwendungen sind kürzere Wellenlängen wünschenswert, da sie optisch besser gehandhabt, fokussiert und ausgewertet werden können (z. B. auch für Justier-Anwendungen). So ist etwa der minimal erreichbare Brennpunkt-Durchmesser eines Laserstrahls direkt abhängig von dessen Wellenlänge, was weitreichende Auswirkungen auf die mögliche Speicherdichte optisch ausgelesener Datenträger besitzt.

Bei CDs beispielsweise wird zum Auslesen eine Wellenlänge um 750 nm benutzt. Gelänge es, Laserdioden im blauen Frequenzbereich herzustellen, wie es die Industrie inzwischen angekündigt hat, so wäre die Speicherkapazität pro Flächeneinheit nochmals um etwa 150 % zu steigern.

Für zahlreiche technische Anwendungen sind aber nach wie vor Infrarot-Laserdioden optimal geeignet und zeichnen sich durch Robustheit, hohe Wirkungsgrade, große Pulsleistungen sowie im Einzelfall auch durch die Unsichtbarkeit ihrer Strahlung aus.

Strahleigenschaften von Laserdioden

Die Entwicklung von Bildplattenspielern auf der Basis von HeNe-Lasern endete für die Industrie mit einem Fiasko; und zwar deshalb, weil gerade nach Abschluß der Entwicklung die wesentlich kleineren und für diese Anwendung deutlich besser geeigneten Laserdioden auf dem Markt erschienen. Ohne sie wären Entwicklungen wie CD-Player, inzwischen in der Portable-Version kaum voluminöser als eine VHS-Videocassette, auch gar nicht denkbar gewesen.

Dennoch werden Laserdioden nach allem, was absehbar ist, die HeNe- und andere vergleichsweise aufwendigen Laser langfristig nicht ersetzen können; und das liegt hauptsächlich in der Strahlqualität begründet.

Aus den extrem kleinen Abmessungen der Laserdiodenkristalle kann man nach dem bisher Gesagten bereits auf einen ganz besonders hohen Verstärkungs- und Wirkungsgrad des Lasermediums schließen. Die Verstärkung ist sogar so hoch, daß man im allgemeinen auf eine Verspiegelung der Kristall-Austrittsflächen ganz verzichten kann und lediglich auf die unvermeidbare Reflexion aufgrund des Brechungsindexsprunges zurückgreift (ca. 30%).

Eine Folge der hohen Verstärkung ist jedoch die große Bandbreite des verantwortlichen Laser-Übergangs, so daß innerhalb des Laserkristalles sehr viele eng benachbarte Laserwellenlängen anschwingen können, die alle die Resonanzbedingung erfüllen und somit einen Frequenzabstand von $c/2L$ besitzen (c = Lichtgeschwindigkeit, L = optische Kristall-Länge). So emittiert ein Diodenlaser daher an die 10 Laserlinien gleichzeitig, bei einem Frequenzabstand von immerhin etwa 0,5 nm. Die Einfarbigkeit des Lichts bleibt dadurch um 3 - 4 Größenordnungen etwa hinter einem ganz normalen HeNe-Laser zurück, ebenso wie auch die daraus direkt ableitbare Kohärenzlänge. Diodenlaser können aus diesem Grunde für Interferometrie oder Holografie ebensowenig eingesetzt werden wie für zahlreiche andere Anwendungen,

bei denen die Kohärenzlänge größer als Millimeterbruchteile sein muß. Auch die Verarbeitung durch Linsen und Prismen ist wegen der bereits einzukalkulierenden Farb-Dispersion bereits komplizierter als beim extrem einfarbigen HeNe-Laserlicht.

Weiterhin strahlen Diodenlaser normalerweise auch nicht mehr im transversalen Grundmode, sondern es bilden sich über den Querschnitt des Lasermaterials mehrere separate Wellenfronten aus - ebenfalls zu Lasten der Strahlqualität. Dies ist für viele praktische Laseranwendungen zwar völlig unbedeutend, für wichtige physikalisch-technische Einsatzfälle dagegen absolut indiskutabel.

Einer der echten „Pferdefüße“ von Laserdioden ist deren hohe Strahldivergenz. Bedingt durch die Winzigkeit der Austrittsfläche (ca. $100 \times 2 \mu\text{m}$) besitzen Laserdioden immense Strahlöffnungswinkel, was direkt auf die Beugungstheorie zurückzuführen ist (vgl. hierzu den Grundlagenteil des Artikels „Laser-Interferograph LI 90“ in ELVjournal 1/91). Der Öffnungswinkel eines Dioden-Laserstrahls liegt zwischen 10 und 50° und ist überdies in horizontaler und vertikaler Richtung unterschiedlich (asymmetrische Abstrahlkeule). Zur Parallelisierung eines Dioden-Laserstrahls auf Güten ähnlich eines HeNe-Lasers sind daher grundsätzlich astigmatische Linsenkombinationen erforderlich, welche hochpräzise justiert und zentriert sein müssen. Hierdurch wird der Preisvorteil von Laserdioden gegenüber HeNe-Lasern dann wieder so gut wie ausgeglichen, so daß die Technik nach wie vor gern auf letztere zurückgreift, wo dies platz- und energieversorgungsmäßig möglich ist.

Doch wie schon gesagt: in vielen Bereichen sind Laserdioden trotz der genannten Nachteile die „ideale Besetzung“ - vor allem aufgrund ihrer sehr geringen Baugröße, des hohen Wirkungsgrades und der vergleichsweise einfachen Ansteuerschaltung. Dies gilt nicht etwa nur für „Hi-Tech“ a la CD-Player.

Wenn es darum geht, eine Lichtschranke über größere Entfernung zu realisieren, sind IR-Diodenlaser eindeutig besser geeignet als die im Sichtbaren arbeitenden HeNe-Laser, und zwar nicht etwa nur aufgrund der besseren Versteckbarkeit oder ihrer Kleinheit, sondern vor allem auch aufgrund der geringeren Strahlabsorption durch Nebel- oder Dunstpartikel. Mit einer normalen Sammellinse von etwa 50 mm Durchmesser (vorzugsweise einer Plankonvexlinse) kann ein IR-Diodenlaserstrahl bereits sehr weitgehend parallelisiert werden und dadurch mühelos Lichtschrankenweiten von ca. 100 m ermöglichen. Als Empfänger sind dabei dieselben Einheiten verwendbar, die auch für normale IR-Lichtschranken zum Einsatz kommen.

In diesem Falle muß die einmalige Justierung des Systems allerdings von der Empfängerseite aus mit einem HeNe-Hilfs-laser erfolgen, dessen Strahl genau vom geplanten Ort des Empfängers ausgeht und von der Sammellinse des IR-Lasers exakt auf dessen Chip gebündelt wird. Ist dies erreicht, so funktioniert der Strahlengang dann natürlich auch umgekehrt, wenn auch mit keiner gar so hohen Stahlqualität wie beim HeNe-Laser. Doch diese ist hier auch nicht erforderlich und sollte besser anderen Einsatzfällen zugutekommen, wo sie unabdingbar ist (z. B. Lightshow, Vermessung oder Optik-Justierung).

Elektrische Besonderheiten von Puls laserdioden

Puls laserdioden benötigen wie bereits beschrieben Stromdichten von etwa 10 kA/cm^2 und dürfen daher nur mit relativ geringen Puls-Pausen-Verhältnissen betrieben werden. Man kann getrost sagen, daß sie die ganz überwiegende Zeit ausgeschaltet sind. Dies wird durch die hohen Einzelpulsleistungen im zeitlichen Mittel jedoch wieder wettgemacht.

Die Länge jedes Einzelpulses am Laserkristall muß in der Weise begrenzt sein, daß die dabei auftretende lokale Erwärmung durch die Wärmekapazität der unmittelbar beteiligten Halbleitermaterialien noch gut abgefangen werden kann; die sich anschließende Pause dient dann zur Weitergabe dieser Wärme an das Gehäuse. Typische zulässige Pulsdauern liegen bei 200 ns, typische Tastverhältnisse bei 1 : 500 bis 1 : 5000. Eine auch nur einmalige Überschreitung der zulässigen Pulsdauer kann für den Laserkristall bereits verhängnisvolle Folgen haben.

Laserdioden verhalten sich unterhalb ihres Laser-Schwellstroms wie normale LEDs, d. h. sie emittieren ein inkohärentes Lichtgemisch in der Größenordnung der Laserfrequenz. Diese Betriebsart ist mit relativ hohen Verlusten verbunden. Nach Überschreiten der Laserschwelle steigt die Ausgangsleistung steil an, bei gleichzeitiger Reduzierung der inneren Verluste.

Aus diesem Grunde müssen an die Netzteile zur Pulsstromversorgung außergewöhnliche Anforderungen gestellt werden:

- extrem hohe Stromanstiegsgeschwindigkeiten in der Größenordnung von bis zu 1 GA/s , damit der verlustreiche Betriebsbereich unterhalb der Laserschwelle möglichst rasch durchfahren wird,
- sehr kurze Strompulse wohldefinierter Länge,
- „glatter“ Kurvenverlauf ohne Stromspitzen,
- definierter Maximalstrom, der möglichst genau erreicht werden sollte, aber niemals überschritten werden darf.

Laserdioden reagieren außerordentlich sensibel auf Temperaturschwankungen, da der Laser-Schwellstrom einen positiven Temperaturkoeffizienten von ca. $1,5 \text{ } \mu\text{C}$ besitzt. Dies bedeutet, daß sich der erforderliche Laser-Schwellstrom bereits um 15 % erhöht, wenn die Temperatur um $10 \text{ } ^\circ\text{C}$ steigt. Bezogen auf die Ausgangsleistung ist der Effekt teilweise sogar noch ausgeprägter: bei einem Schwellenstrom I_s von 30 A und einem Spitzenstrom von 40 A würde die 15prozentige Steigerung von I_s bereits eine 45prozentige Reduzierung des für den Lasereffekt nutzbaren Strombereichs bewirken. Dies macht sich dann direkt in der Ausgangsleistung bemerkbar.

Mit einem Schwellenstrom von 10 A und einem Spitzenstrom von 40 A verhält sich die von ELV eingesetzte Laserdiode LD 78-15 in diesem Punkte jedoch ausgesprochen gut: Eine Temperaturerhöhung um 10° senkt die Ausgangsleistung um lediglich 5 %. Bei der Konstruktion des IRL 78 wurde dennoch ein Kühlkörper vorgesehen, so daß sich die Laserdiode bei Nennbelastung nur um maximal 2° erwärmt. Hierdurch ist eine hervorragende Stabilität der Ausgangsleistung gewährleistet.

Zur Schaltung

Die Erzeugung der Grundfrequenz von 2048 Hz erfolgt durch einen Quarzoszillator mit nachgeschaltetem schnellem Teiler. Zwar spielt die Einhaltung der Taktfrequenz keine dominierende Rolle, weshalb grundsätzlich auch ein RC-Oszillator eingesetzt werden könnte, jedoch wäre hierfür ein separater Abgleich erforderlich, und die eingesparten Kosten bewegen sich nicht einmal bei 1,- DM, so daß wir uns für die hier vorliegende hochwertige Lösung entschieden haben. Zu bedenken ist in diesem Zusammenhang auch, daß das Tastverhältnis nicht beliebig verschoben werden darf, damit die in der Laser-Diode freigesetzte Energie nicht über den zulässigen Wert ansteigen kann. Mit einer Erhöhung der Oszillatorfrequenz steigt aber die der Laser-Diode zugeführte Leistung, sofern die Ansteuerimpulsdauer (wie hier vorliegend) konstant bleibt. Wir haben uns bei der

Bild 1: Schaltung des IRL 78. Oben ist das Netzteil, unten die eigentliche Laser-Ansteuerschaltung abgebildet.

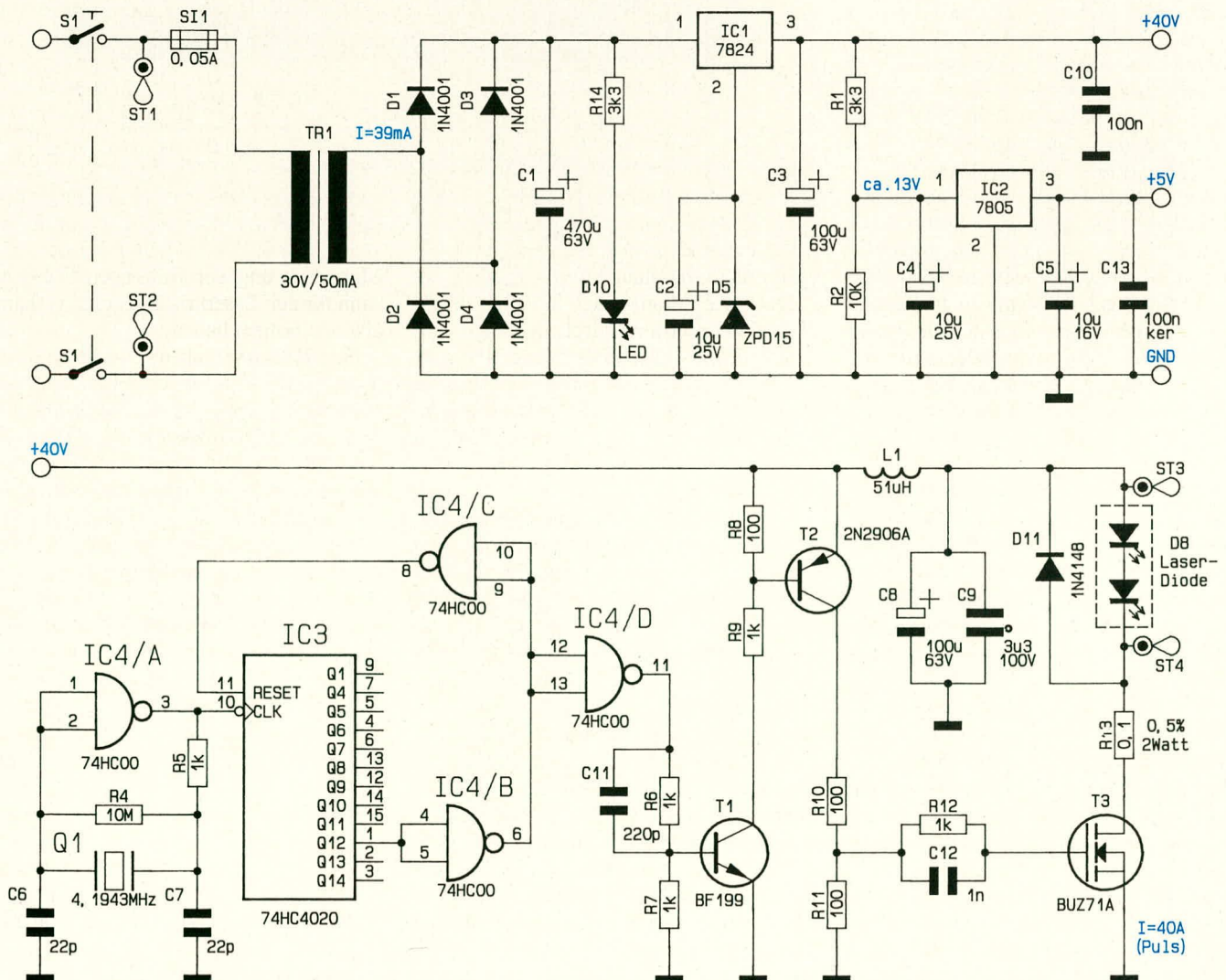
Dimensionierung dieser Schaltung von vornherein für eine hohe Abstrahlleistung entschieden, ohne daß dabei die Laser-Diode besonders strapaziert wird.

Der mit dem IC 4 A und Zusatzbeschaltung aufgebaute Quarzoszillator gibt seine Frequenz von 4,194303 MHz auf den Takteingang (Pin 10) des nachgeschalteten Zählers. An Pin 1 würde ohne zusätzliche Maßnahmen eine Frequenz von 1,024 kHz anstehen, mit einem Tastverhältnis von 1 : 1.

Sobald der Ausgang (Pin 1) von Low nach High wechselt, erhält der Reset-Eingang (Pin 11) des IC 3 über die Gatter IC 4 B, C einen Rücksetzimpuls, und die Zählerkette wird zurückgesetzt. Dies bewirkt eine Verdopplung der Ausgangsfrequenz, da nur eine halbe Periode zum Einsatz kommt.

Der auf diese Weise erzeugte, extrem kurze Nadelimpuls besitzt nur eine Breite von ca. 50 ns, woraus sich ein extremes Tastverhältnis von rund 1 : 10.000 ergibt.

Am Ausgang (Pin 11) des vierten Gatters IC 4 D steht dieser Nadelimpuls zur Ansteuerung der nachfolgenden Schaltstufen an. Über R 6, C 11 wird T 1 angesteuert, der seinerseits über R 9 den schnellen Schalttransistor T 2 treibt. Der nachfolgen-



de Spannungsteiler R 10, R 11 begrenzt die Gate-Spannung für den schnellen Leistungs-FET auf 20 V. Mit Hilfe von R 12, C 12 wird die Impulsform optimiert, so daß T 3 die zur Ansteuerung der Laser-Diode benötigten schmalen Stromimpulse mit einer Länge von 200 ns bereitstellt.

Der Begrenzungswiderstand R 13 sorgt für eine saubere Stromeinprägung, so daß die Stromimpulse recht genau bei den erforderlichen 40 A (!) liegen. Dies ist wichtig, damit der Lasereffekt optimal ausgeprägt ist und die Diode im wirtschaftlichsten Bereich arbeitet. Zu geringe Stromhöhe senkt die Laserleistung erheblich, bei gleichzeitiger Erhöhung der freiwerdenden Verlustwärme; zu hohe Impulse führen dagegen zu dauerhaften Schäden der Kristallstruktur. R 13 muß aufgrund der Genauigkeitsanforderung sowie der Stoßbelastung von 160 W unbedingt als Metallfilmwiderstand von 1 W, Toleranz 0,5 %, ausgeführt sein. D 11 begrenzt inverse Spannungen, die durch Ausschwingphänomene an der abfallenden Impulsflanke auftreten können.

Die extremen Stromimpulse werden nicht vom Netzteil direkt abgefangen, sondern die eigentliche Speisung erfolgt aus dem Folienkondensator C 9 mit dem dazu parallel liegenden Elko C 8. Die Verbindungsleitungen dieser Kondensatoren müssen daher hinreichend stark und kurz sein, was den Stromkreis über die Laser-Diode, den Strombegrenzungswiderstand R 13 sowie den Leistungs-FET T 3 angeht.

Alle weiteren in dieser Schaltung fließenden Ströme bewegen sich unterhalb 50 mA, bedingt durch das extreme Tastverhältnis von 1 : 2500. L 1 dient zur zusätzlichen hochfrequenten Entkopplung des Leistungsteils zur eigentlichen Elektronik.

Die Betriebsspannung der Schaltung wird über einen kleinen 1,5VA-Netztrafo erzeugt, der aus der Netzwechsellspannung über den Netzschalter S 1 sowie die Schmelzsicherung SI 1 gespeist wird. Die Sekundärwicklung von 30 V/50 mA wird mit lediglich 40 mA belastet. Es folgt die Brückengleichrichtung mit D 1 bis D 4 sowie eine Pufferung über C 1.

Mit D 10 und dem Vorwiderstand R 14 wird die Betriebsbereitschaft signalisiert.

Die Stabilisierung der erforderlichen Betriebsspannung von 40 V geschieht durch den Festspannungsregler IC 1 vom Typ 7824. In dessen Ground-Leitung ist die Z-Diode D 5 mit dem parallelgeschalteten Pufferkondensator C 2 eingefügt, zur Erhöhung der Ausgangsspannung von 24 V auf ca. 40 V. Diese Spannung dient zum Betrieb der Leistungsschaltstufe, die ihrerseits die Laser-Diode ansteuert.

Die Ansteuerfrequenz sowie die Impulsformerstufen werden mit einer Spannung von 5 V betrieben, stabilisiert durch IC 2 des Typs 7805. Damit dieses IC keine

unnötig hohe Eingangsspannung erhält, ist der Spannungsteiler R 1, R 2 vorgeschaltet. Die Kondensatoren C 3, C 4, C 5 sowie C 10 dienen der allgemeinen Stabilisierung und Schwingneigungsunterdrückung beider Festspannungsregler.

Zum Nachbau

Wir weisen darauf hin, daß die Schaltung aufgrund der darin frei geführten Netzspannung nur von Personen ausgebaut werden darf, die hierzu aufgrund ihrer Ausbildung befugt sind. Die einschlägigen VDE-Vorschriften sind zu beachten.

Die Schaltung wird in gewohnter Weise aufgebaut, wobei zunächst die niedrigen und anschließend die höheren Bauteile einzulöten sind. Hierbei ist folgendes zu berücksichtigen:

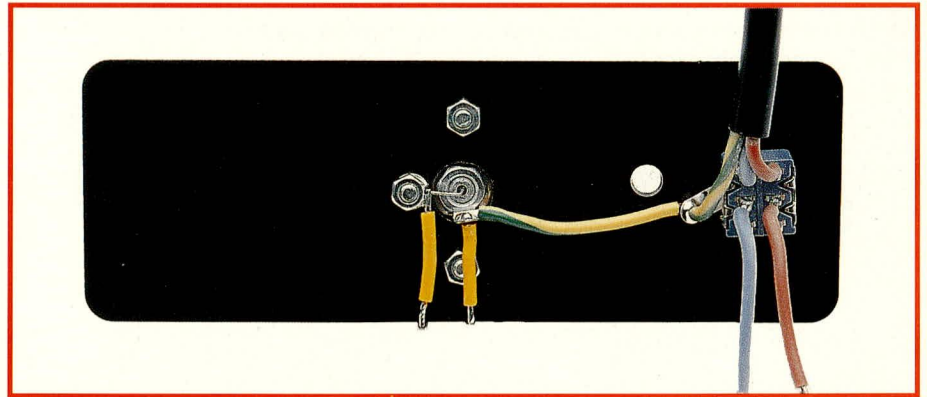


Bild 2: Komplett vorbereitete Frontplatte des IRL 78 in Rückansicht.

- Die beiden Spannungsregler IC 1 und IC 2 sowie der Leistungstransistor T 3 werden stehend eingelötet.
- R 13 muß in ganzer Länge flach an der Platine anliegen.
- Die Beinchen der LED werden 3 mm hinter dem Gehäuseaustritt rechtwinklig abgelenkt (Polarität beachten!) und so eingelötet, daß zwischen Platinenfläche und Unterkante des LED-Gehäuses ein Abstand von 15 mm verbleibt.
- Für ST 3 und ST 4 werden keine Lötstifte eingesetzt, sondern isolierte Litzenstücke von 0,8 mm² und 25 bzw. 20 mm Gesamtlänge. Beidseitig sind etwa 5 mm abzuisolieren und vorzuzerzinnen.

Als nächstes wenden wir uns der Bestückung des Kühlkörpers zu. Hier wird zunächst die Laserdiode eingesetzt und unter Zwischenlage der Lötöse fest (!) angeschraubt. Von vorne betrachtet, soll die Sockelfläche des Laserchipträgers im Inneren der Diode dabei mit bestmöglicher Näherung parallel zu den Schnittkanten des Kühlkörpers verlaufen.

Stellt man den Kühlkörper so auf, daß der Laserchip oberhalb seiner Sockelfläche liegt, so muß die Lötöse auf der Kühlkörperrückseite genau nach unten weisen. Die Fahne wird nach dem Anzie-

hen der Mutter rechtwinklig nach hinten abgelenkt und soll unmittelbar an einer der 6 Außenflächen der Mutter anliegen.

Jetzt werden von der Diodenseite her 2 Schrauben M 3 x 10 mm in den Kühlkörper eingesteckt und auf der Rückseite mit einer Mutter M 3 fest gekontert.

In die Bohrung unmittelbar neben der großen, zentralen Öffnung der Frontplatte wird von außen eine Schraube M 3 x 5 mm eingesteckt, auf der Innenseite mit einer Lötöse versehen und mit einer Mutter verschraubt. Die Lötöse soll dabei genau zur Mitte der Zentralbohrung weisen und wird nach Anziehen der Mutter rechtwinklig abgelenkt, so daß sie ebenfalls an einer der Mutter-Flächen anliegt.

Der Kühlkörper mit Laserdiode wird mit seinen Schrauben von außen durch die beiden Montagebohrungen der Frontplatte geführt,

wobei die Lötöse hinter der Laserdiode zur Unterkante der Platte weisen muß. Danach werden beide Schraubenenden mit Muttern versehen und festgeschraubt. Durch seitlichen Einblick in den Spalt zwischen Kühlkörper und Frontplatte überzeuge man sich dann, daß zwischen dem Kopf der Schraube M 3 x 5 mm und der Rückfläche des Kühlkörpers ein schmaler, isolierender Spalt (ca. 0,3 - 0,5 mm) freigeblieben ist. Beide Teile dürfen sich keinesfalls direkt berühren, da sonst später die Laser-LED kurzgeschlossen würde. Im Zweifelsfall ist der Schraubenkopf etwas abzufeilen und/oder der Kühlkörper an der betreffenden Stelle durch ein Stück Klebeband zu isolieren.

Der Anodendraht der Laserdiode wird etwa 4 mm hinter dem Gehäuseaustritt vorsichtig im rechten Winkel abgelenkt, passend abgelenkt, stumpf gegen die Lötöse geführt und angelötet. Hier wird später die von ST 3 kommende Anodenleitung angelötet.

Der Netzschalter wird unter Zwischenlage einer Lötöse in die Frontplatte eingesetzt und festgeschraubt. Die Lötöse soll schräg nach unten in Richtung Laserdiode weisen und wird durch ein etwa 50 mm langes Stück gelbgrünen Schutzleiters direkt mit der Katode der Laserdiode

verbunden. Bild 2 zeigt die fertig bestückte Frontplatte in der Rückansicht.

Die Zugentlastung des Netzkabels wird in das micro-line-Gehäuse eingeschraubt, die Netzleitung durchgesteckt und an die oberen beiden Lötpins des Schalters angelötet. Der Schutzleiter ist mit der am Schalter befindlichen Lötöse zu verbinden.

Mit 2 etwa 30 mm langen Litzestücken schließt man danach die beiden Bockpole des Schalters an die Platinenpunkte ST 1 und ST 2 an, nachdem man sich zuvor genau vom in allen Punkten ordnungsgemäßen Schaltungsaufbau überzeugt hat. Sämtliche Bauteile sind nochmals hinsichtlich Wert, Polarität und auf einwandfreie Lötstellen zu überprüfen.

Nun wird der von ST 4 ausgehende, etwa 15 mm lange Draht mit der Kathode der Laserdiode verbunden (= Lötöse am Gehäuse), die von ST 3 ausgehende, ca. 20 mm lange Leitung entsprechend mit der Anode.

Es folgt der Einbau ins Gehäuse, indem die Platine unter Zurückziehen der Netzleitung in die untere Gehäusenut eingeschoben wird. Die Frontplatte setzt man zunächst an der linken Seite ins Gehäuse ein und drückt sie dann über die Mitte hinaus immer weiter bis zum endgültigen Einrasten ein. Hierbei ist ein gewisser Widerstand zu überwinden, da die leicht nach innen durchgebogenen Gehäuseflä-

chen die Frontplatte später durch Klemmung sicher in ihrer Position festhalten. Die LED weist dabei durch die zugehörige Gehäusebohrung, wo sie später durch ein Tröpfchen dünnflüssigen Sekundenklebers gegen Eindrücken gesichert werden kann. Nun ist die Zugentlastung durch Anziehen der Tüllenmutter zu aktivieren, und damit ist der Nachbau des IRL abgeschlossen.

Betrieb des IRL 78

ACHTUNG! Die von der Laserdiode ausgehende Laserstrahlung kann für das Auge eine ernsthafte Gefahr darstellen, wenn bei Betrieb des Gerätes, signalisiert durch die LED, ein Betrachtungsabstand von weniger als 1 m gewählt wird. Es muß auf jeden Fall gewährleistet werden, daß dieser Abstand nicht, etwa durch Außenstehende, unterschritten werden kann!

Stückliste:

Experimentier-Diodenlaser IRL

Widerstände:

0,1Ω/0,5%	.....	R 13
100Ω	.....	R 8, R 10, R 11
1kΩ	.....	R 5-R 7, R 9, R 12
3,3kΩ	.....	R 1, R 14
10kΩ	.....	R 2
10MΩ	.....	R 4

Kondensatoren:

22pF	.....	C 6, C 7
220pF	.....	C 11
1nF	.....	C 12
100nF	.....	C 10
100nF/ker	.....	C 13
3,3µF/100V	.....	C 9
10µF/25V	.....	C 2, C 4, C 5
100µF/63V	.....	C 3, C 8
470µF/63V	.....	C 1

Halbleiter:

74HC4020	.....	IC 3
74HC00	.....	IC 4
7805	.....	IC 2
7824	.....	IC 1
BF199	.....	T 1
BUZ71	.....	T 3
2N2906	.....	T 2
ZPD15V	.....	D 5
LD78-15	.....	D 8
1N4001	.....	D 1-D 4
1N4148	.....	D 11
LED, 5 mm, rot	.....	D 10

Sonstiges:

Quarz, 4,1943MHz	.....	Q 1
Spule, 51µH	.....	L 1
Trafo, 3130-1	.....	TR 1
Sicherung, 50 mA	.....	SI 1
1 Schalter, 2 x um	.....	S 1
1 Sicherungshalter	.....
2 Lötstifte 1,3 mm	.....
14 cm flexible Leitung 1 mm ²	.....
5 cm Schutzleiter, gelbgrün	.....
5 cm Schaldraht, blank, versilbert	.....
1 Kühlkörper SK 09, 37,5 mm	.....
2 Schrauben M 3 x 10 mm	.....
1 Schraube M 3 x 6 mm	.....
3 Muttern M 3	.....
1 Lötöse für M 3	.....
2 Lötösen für M 6	.....

Während des Betriebs emittiert die Laserdiode keinerlei wahrnehmbare Lichtanteile, d. h. die Gefahr einer Schädigung der Netzhaut wird auch nicht durch Blendwirkung, Iris- und Lidschlußreflex gemindert!

In 1 m Abstand besitzt der Laserstrahl bereits Ausmaße von etwa 50 x 20 cm (H x B) und ist daher auf eine für das Auge nicht mehr gefährliche Lichtstärke abgesunken. Die vertikale Strahldivergenz beträgt 30°, die horizontale etwa 10°.

Wird die Reichweite des Lasers in der weiter oben beschriebenen Weise durch Linsen erhöht, so sollte auf jeden Fall sichergestellt sein, daß der Strahlengang nicht in Augenhöhe verläuft. Aufgrund des astigmatischen Strahlprofils wird der Strahl aber von einer normalen Linse nicht perfekt parallelisiert, sondern behält eine Rest-Divergenz. Ab 10 m Entfernung kann ein direktes Blicken in den von Linsen gebündelten Strahl deshalb als gefahrlos angesehen werden.

Als Hilfsmittel zur Visualisierung des Strahls eignen sich hervorragend handelsübliche elektronische Videokameras, da diese auch im nahen Infrarot noch einwandfrei empfangen können. Einfachere Hilfsmittel sind Fotowiderstände oder Fotozellen.

Abschließend wünschen wir Ihnen bei Ihren Laserexperimenten Erfolg und eine ruhige Hand. **ELV**

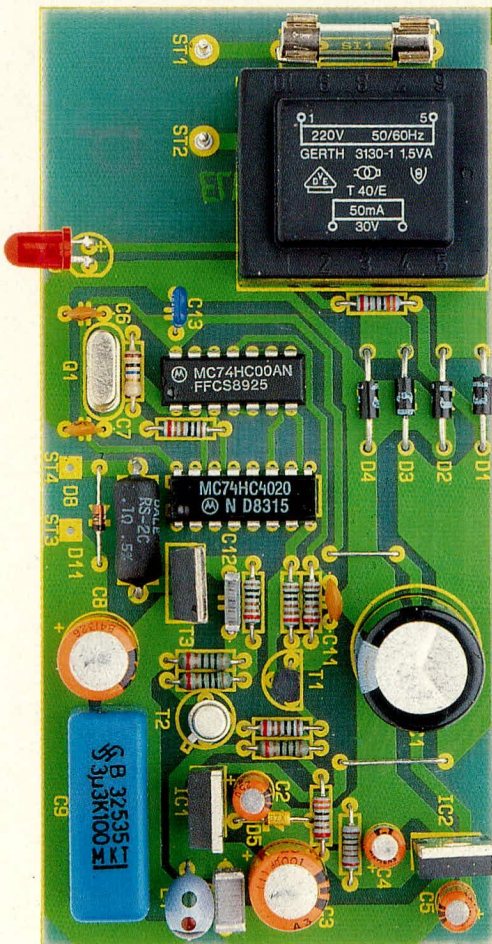


Bild 3: Platinenfoto des IRL 78

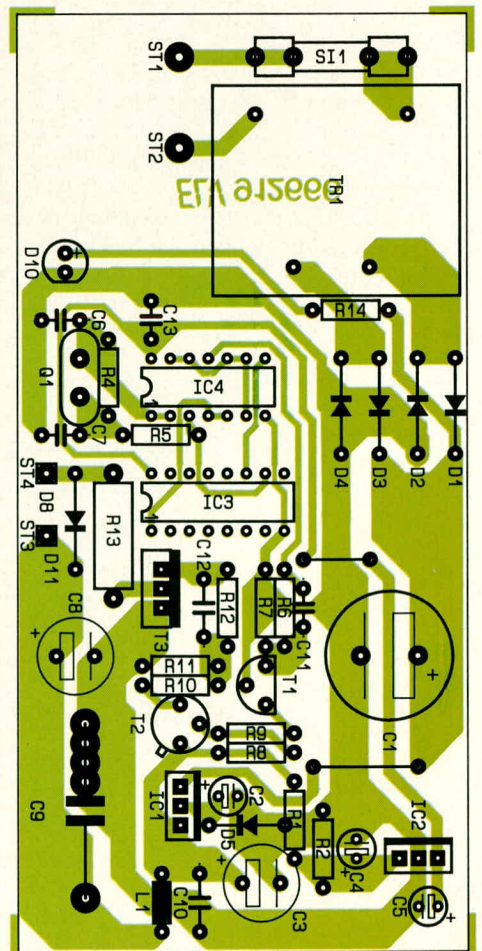


Bild 4: Bestückungsplan des IRL 78