

Elektronischer Muskelstimulator

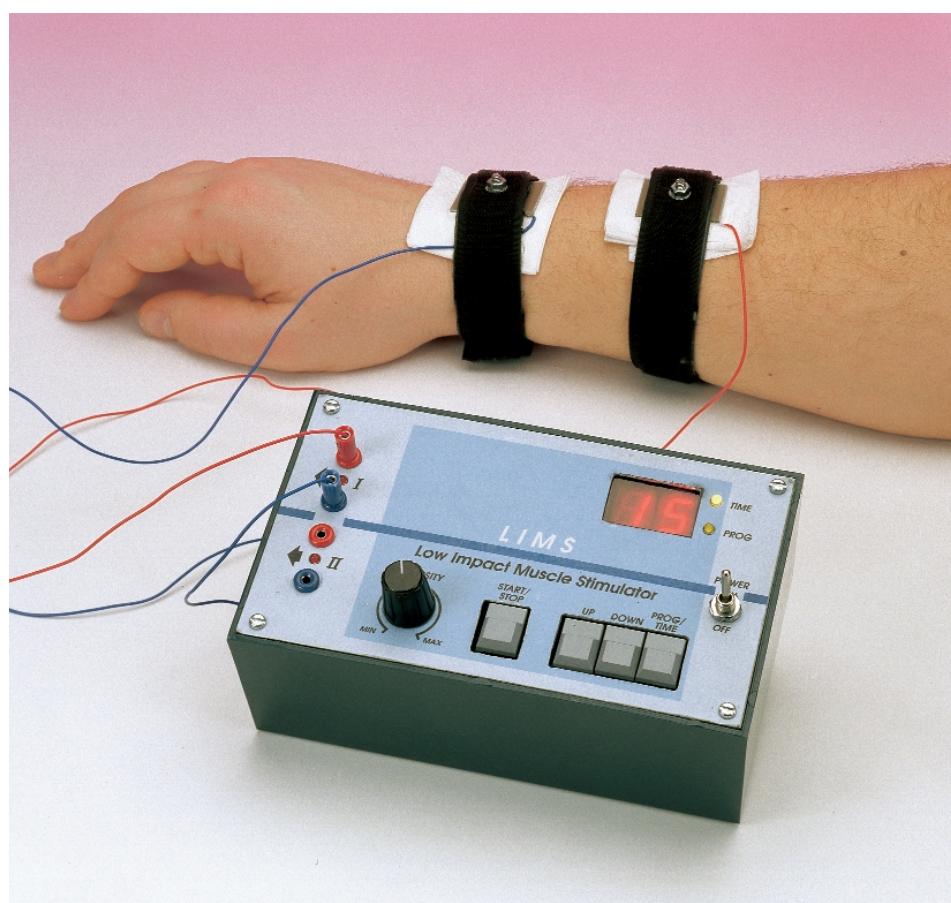
EMS-Gerät mit mehreren Behandlungsprogrammen

Der Konzeption dieses Projekts wurden die Eigenschaften zugrunde gelegt, die professionelle Geräte aufweisen, die in der Physiotherapie und in Massageinstituten verwendet werden. Diese Geräte erzeugen elektrische Signale mit definierter Kurvenform, Amplitude und Dauer, die Muskelpartien stimulieren und auch schmerzlindernd wirken können. Intensität und Dauer der Signale sind dabei einstellbar. Besonders wichtig ist natürlich die Sicherheit des Geräts, um Risiken bei der Anwendung auszuschließen.

Sicherheitshinweise:

- Die Schaltung darf nur und ausschließlich mit Batterien betrieben werden
- Die Anwendung soll sich möglichst nur auf Gliedmaßen (Arme und Beine) beschränken, Brust- und Kopfbereich sind unbedingt zu meiden!
- Vor Beginn der Behandlung die Reizstromstärke immer auf Minimum einstellen.

So genannte Reizstromgeräte sind heute in der Physiotherapie und auch im kosmetischen Anwendungsbereich weit verbreitet. Sehr häufig ist die Verwendung derartiger Geräte für die Muskelstimulation. Auch wenn es sehr unterschiedliche Ausführungen und Bezeichnungen gibt, besteht das Prinzip immer in der Anbringung von Elektroden im Bereich der zu stimulierenden Muskelpartie auf der Hautoberfläche und dem Anlegen einer Spannung, um einen Strom in diesem Bereich durch das Körpergewebe fließen zu lassen. Um verspannte Muskeln zu lockern und die Durchblutung zu fö-



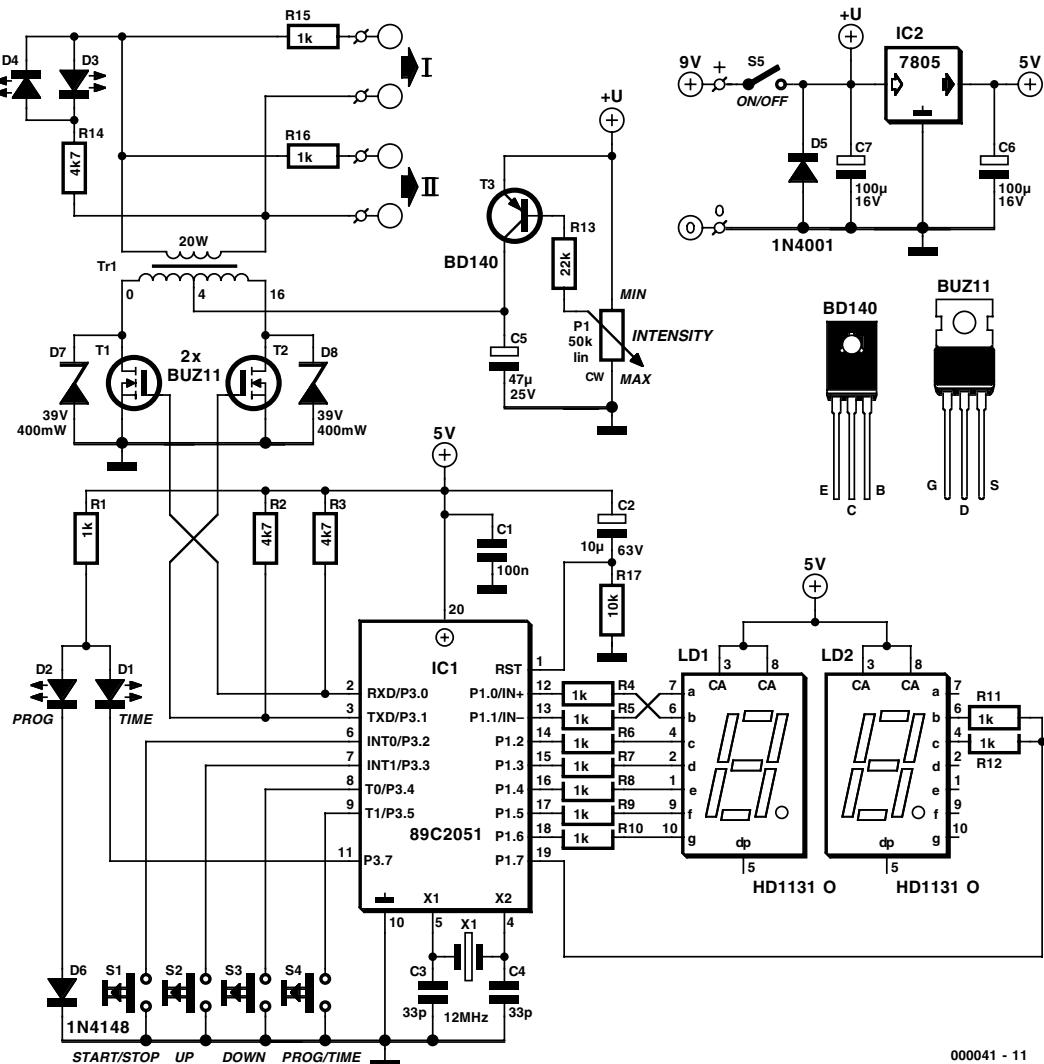


Bild 1. Durch Verwendung eines Mikrocontrollers kommt die Schaltung trotz zahlreicher Funktionen mit wenigen Bauteilen aus.

dern, genügen in der Regel Stromimpulse geringer Intensität. Zur Förderung des allgemeinen Wohlbefindens genügen noch geringere Reizströme. Die Stimulation zum Zwecke der Muskelverstärkung erfordert hingegen offenbar stärkere Impulse. Allerdings dürfen diese allgemeinen Feststellungen auf keinen Fall als therapeutische Hinweise verstanden werden. Es geht hier ausschließlich um die Beschreibung einer Schaltung, die auf der Basis der Analyse verfügbarer technischer Informationen über derartige Geräte entwickelt wurde. Die technische Seite erfüllt somit die Voraussetzungen, die an die Zuverlässigkeit und Sicherheit eines derartigen Gerätes zu stellen sind. Die sichere Anwendung setzt aber auch voraus, dass man sich über die physiologischen Aspekte ausreichend informiert. Auch wenn das Gerät batteriebetrieben

ist, kann die mögliche Intensität bei unsachgemäßer Anwendung unter Umständen gefährlich werden. Abhängig vom Hautwiderstand kann an den Elektroden eine Spannung von bis zu 35 bis 45 V anliegen, an den unbelasteten Ausgängen der Schaltung sind es Werte bis über 50 V.

Schaltungskonzept

Die vollständige Schaltung ist in Bild 1 angegeben. Dabei kann man die Funktion in zwei Bereiche unterteilen: Zum einen in die eigentliche Erzeugung des Stimulationssignals und zum anderen in die Realisierung spezieller Funktionen für Bedienung und Anwendung.

Die Reizstromerzeugung ist vergleichsweise einfach: Mikroprozessor IC1 (ein 89C2051) ist so programmiert, dass er

nach Betätigen des Start-Stopp-Tasters S1 an seinem RxD- und TxD-Ausgang Impulse erzeugt, die die MOSFETs T1 und T2 ansteuern. Der Trafo Tr1 transformiert diese Impulse etwa um den Faktor 10, so dass an den Ausgängen für die Elektroden I und II entsprechend höhere Impulsintensitäten an liegen. Zur Einstellung der Impulsamplitude dient eine einfache Stromquelle mit T3, die sich mit P1 einstellen lässt. Die Stromquelle lädt den Kondensator C5 auf, der die Spannung für die Ausgangsimpulse liefert. Damit wird auch erreicht, dass die dem Trafo zugeführte Energie pro Zeiteinheit zuverlässig begrenzt ist - was für die Sicherheit wesentlich ist. Die LEDs D3 und D4 dienen als einfache Intensitätsanzeige für die Stärke der Ausgangsimpulse.

So weit die Beschreibung der Impulserzeugung, die noch nicht die Frage beantwortet, warum für die Impulserzeugung ein Mikrocontroller eingesetzt wird. Für die Erzeugung von Rechteckimpulsen würde schließlich auch ein einfacher astabiler Multivibrator (zum Beispiel mit einem 555) reichen. Der

Mikrocontroller ermöglicht es aber, den Ablauf der Impulserzeugung spezifisch zu steuern, um zum Beispiel die Behandlungszeit einzustellen und unterschiedliche Behandlungsprogramme auswählen zu können.

Für diese Funktionen gibt es ein simples Benutzeroberinterface, bestehend aus einem zweistelligen LED-Display (LD1, LD2), zwei Anzeige-LEDs (D1, D2) und vier Tastern (S1 bis S4).

Die Impulserzeugung beginnt nach Drücken des Starttasters nur dann, wenn zuvor ein Behandlungsprogramm und eine Behandlungszeit eingestellt wurde. Auch dies dient der Sicherheit, damit beim Ein- und Ausschalten des Geräts auf keinen Fall schon unbeabsichtigt Impulse erzeugt werden, auch eine zeitlich unbegrenzte Anwendung ist somit ausgeschlossen. Bevor es mit der Schaltungsbeschreibung weitergeht, soll die Art der erzeugten Impulse noch näher betrachtet werden.

Impulse

Die Auswertung der verfügbaren Unterlagen über verschiedene Geräte ergab eine deutliche Übereinstimmung bei der Festlegung der Impulsdauer und der Impulsfrequenz. Auf dieser Basis wurde das Gerät so konzipiert, dass positive und negative Impulse mit einer Breite von $256\ \mu\text{s}$ und einer Wiederholfrequenz von 109 Hz erzeugt werden. Der letzte Punkt bedeutet auch, dass die Impulspause 4,61 ms beträgt.

Die Impulse werden nicht kontinuierlich ausgegeben, sondern in Form von Impulspaketen (Bursts)

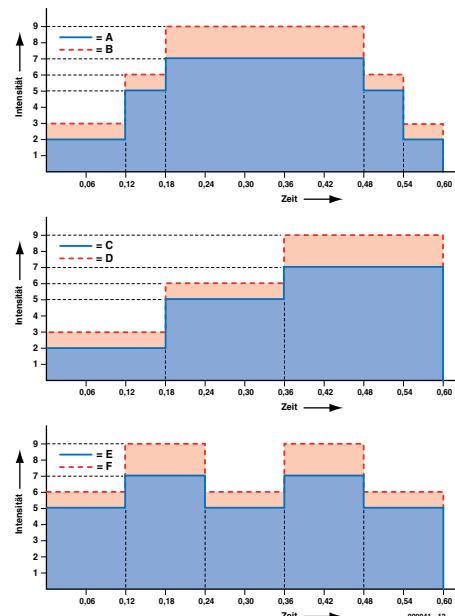


Bild 3. Bei den voreingestellten Behandlungsprogrammen handelt es sich um drei verschiedene Ablaufmuster in jeweils zwei unterschiedlich intensiven Versionen.

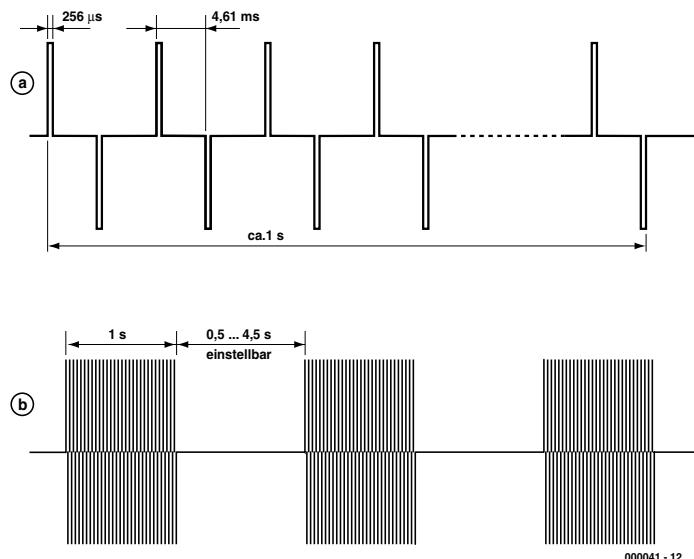


Bild 2. Hier sieht man die Zusammenstellung der verschiedenen Impulssignale.

von etwa 1 Sekunde Dauer. In Bild 2a ist dieses Prinzip dargestellt.

Auf jeden Burst folgt eine zwischen 0,5 und 4,5 Sekunden einstellbare Intervallzeit, so dass das an den Elektroden anliegende Signal schließlich so wie in Bild 2b angegeben aussieht. Für die Intensität der Stimulation ist die Wiederholrate beinahe ebenso bestimend wie die mit P1 eingestellte Amplitude. Das wurde bei der Auslegung der einzelnen Programme natürlich berücksichtigt.

Programme und Zeit

Es wurde bereits erwähnt, dass die Schaltung erst dann ein Impulssignal am Ausgang liefert, wenn man zuvor eine Behandlungszeit und ein Behandlungsprogramm eingestellt hat.

Zur Einstellung der Behandlungszeit wird mit S4 der Modus "time" ausgewählt, der durch Aufleuchten der Time-LED D1 angezeigt wird. Danach kann mit den Up/Down-Tasten S2 und S3 eine Zeit zwischen 1 und 19 Minuten eingestellt werden, die eingestellte Zeit ist auf dem Display zu sehen. Nach Ablauf dieser Zeit wird der Impulsausgang wieder gesperrt. Wenn mit Schalter S4 in den Programm-Modus umgeschaltet wird, leuchtet die Prog-LED D2 auf. Anschließend kann man mit den Up/Down-Tasten eines der 15 verfügbaren Programme auswählen, das Display zeigt die Programmnummer an. Die Programme 1 bis 9 sind einfach gehalten und arbeiten während des Ablaufs mit konstantem Intensitätsni-

veau, das durch die Burst-Intervallzeit eingestellt wird. Das Programm 9 hat mit einer Burst-Intervallzeit von 0,5 s die höchste Intensität, bei Programm 8 verlängert sich die Intervallzeit auf 1 s, bei 7 auf 1,5 s und so weiter.

Die Programme mit der Bezeichnung A...F sind insofern etwas aufwendiger, als während der Behandlung die Intensität der Stimulation variiert. Eigentlich sind es nur drei verschiedene Programme, einmal in einer schwachen und einmal in einer starken Ausführung.

Bild 3 zeigt, wie die Programme A bis F zusammengestellt sind. Die Abstufung der Intensität ist gleich wie bei den Programmen 1 bis 9 - bei 9 ist die Intervallzeit am kürzesten, bei 1 am längsten. Auf der horizontalen Achse ist die Behandlungszeit aufgetragen.

Bei den Programmen A und B wird die Intensität der Impulse in drei Schritten bis zum Maximum erhöht, bleibt dann eine Weile auf diesem Niveau und sinkt dann wieder in mehreren Schritten ab. A ist das schwächere, B das intensivere Programm. Bei den Programmen C und D ist die Behandlungszeit in drei gleich lange Abschnitte unterteilt, wobei die Intensität stets etwas erhöht wird. Auch hier gibt es eine weniger intensive (C) und eine intensivere Ausführung (D).

Bei den Programmen E und F ist die eingestellte Zeit in fünf Abschnitte unterteilt, bei denen die Intensität in zwei Stufen wechselt. F ist hier wieder die stärkere Variante.

Wie lange die einzelnen Abschnitte die-

ser Programme dauern, hängt von der eingestellten Gesamt-Behandlungszeit ab. Abhängig davon errechnet der Mikrocontroller den zeitlichen Ablauf der Behandlungsphasen.

Start und Stopp

Sobald nach der Einstellung von Behandlungszeit und Programmnummer der Taster S1 betätigt wird, startet der

Impulsgenerator. Der aktive Betrieb wird durch eine umlaufende auf dem Display angezeigt. Bei laufendem Programm ist nur noch der Start-Stopp-Taster aktiv. Das Betätigen eines anderen Tasters hat nur zur Folge, dass die Nummer des gerade laufenden Programms oder die noch verbleibende Behandlungszeit für 5 Sekunden angezeigt wird, das Programm selbst wird dadurch nicht beeinflusst.

Mit der Start-Stopp-Taste kann das Pro-

gramm jederzeit unterbrochen werden. Es handelt sich um eine Art Pausenfunktion, denn bei erneutem Drücken wird das Programm fortgesetzt, wobei die noch verbleibende Behandlungszeit durch die Unterbrechung nicht verändert wird. Während der Unterbrechung ist die verbleibende Zeit oder die Programmnummer auf dem Display zu sehen, während der Pause ist es auch möglich, diese Einstellungen zu ändern.

Nach Ablauf der eingestellten Behandlungszeit wird die Impulserzeugung beendet, das Display

Software

Das im Mikroprozessor gespeicherte Programm besteht aus einer Haupt- und einer Interruptroutine. In der Interrupt-Routine werden alle Echtzeitverarbeitungen ausgeführt, wie Zeiterfassung, die Pulserzeugung und die Tastaturabfrage (mit Entprellung). Sobald die Hauptroutine ein Flag setzt, werden Impulse erzeugt.

Umgekehrt setzt die Interrupt-Routine Flags, sobald ein gültiger Tastendruck festgestellt wird. Auch die Zeit steht der Hauptroutine in Form eines Halb-Sekunden-Zählers zur Verfügung. Die Hauptroutine reagiert auf die Tasten, steuert das Display und bestimmt über die Erzeugung von Ausgangsimpulsen.

Der Prozessor arbeitet mit einem 12-MHz-Quarz. Der interne Timer0 arbeitet im Mode 3, was bedeutet, dass er durch 256 teilt (8-bit-Zähler), und das bei einer Eingangsfrequenz von 12 MHz/12 bzw. 1 ms Periodendauer. Timer0 erzeugt so alle 256 μ s einen Interrupt. Die Anzahl Interrupts wird gezählt und für die Steuerung verwendet. So geht der Eingang P30 bei Interruptzählerstand 2 auf High und bei Zählerstand 3 wieder auf Low. Bei einem Zählerstand von 20 wird P31 High, bei 21 wird P31 wieder Low.

Beim Zählerstand 7 setzt der Zähler sich auf 1 zurück und es beginnt ein neuer Zyklus. Die Zeit zwischen den Impulsen ist daher 18 mal 256 ms = 4608 ms.

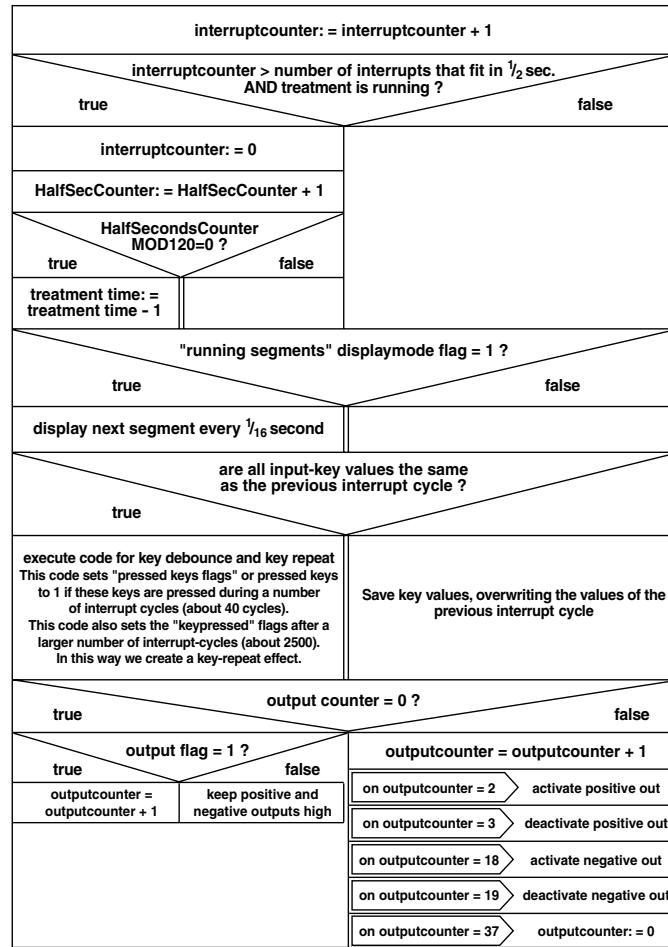
Ein Zyklus dauert 36×256 ms = 9216 ms. Ein einmal begonnener Zyklus wird immer beendet. Die Zeit wird durch das Zählen von 1954 Interrupts pro halber Sekunde erfasst. Eine so gezählte Sekunde ist daher nicht exakt 1 s, sondern 1,000448 s lang.

Das Hauptprogramm besteht eigentlich aus einer State-Maschine. Um zu verhindern, dass versehentlich Impulse erzeugt werden, besteht es aus zwei Teilen, nämlich einem Teil mit Impulsen und einem Teil ohne Impulse. Nur wenn alle Voraussetzungen erfüllt sind, kann in den Teil mit Impulsen übergegangen werden.

Im Ruhezustand wird kontrolliert, ob eine Taste gedrückt ist. Bis es so weit ist, durchläuft das Programm eine Endlosschleife. Sobald eine Taste gedrückt wird, erfolgt eine Aktion. Zum Programmteil mit Ausgangsimpulsen kann aber erst gewechselt werden, wenn ein Programm gewählt, eine Behandlungsdauer eingestellt und die Starttaste gedrückt wurde. Anhand der eingestellten Zeit und des eingestellten Programms wird nun periodisch ein Flag gesetzt, wodurch die Interruptroutine Impulse erzeugt. Wenn die Zeit verstrichen ist oder die Stopptaste gedrückt wird, erfolgt der Rücksprung in den anderen Programmteil.

Eine Ausnahme bildet die "laufende 8" auf dem Display. Diese wird nicht im Hauptprogramm, sondern in einer Interruptroutine erzeugt.

Interrupt routine of the Low Impact Muscle stimulator (LIMS)
This routine executes on every overflow of the 8 bit timer 0 (timer 0 is used in Mode 3)
The timer counts at CLOCKFREQ/12, so the interrupt routine executes every 256 μ s (@12 MHz crystal)



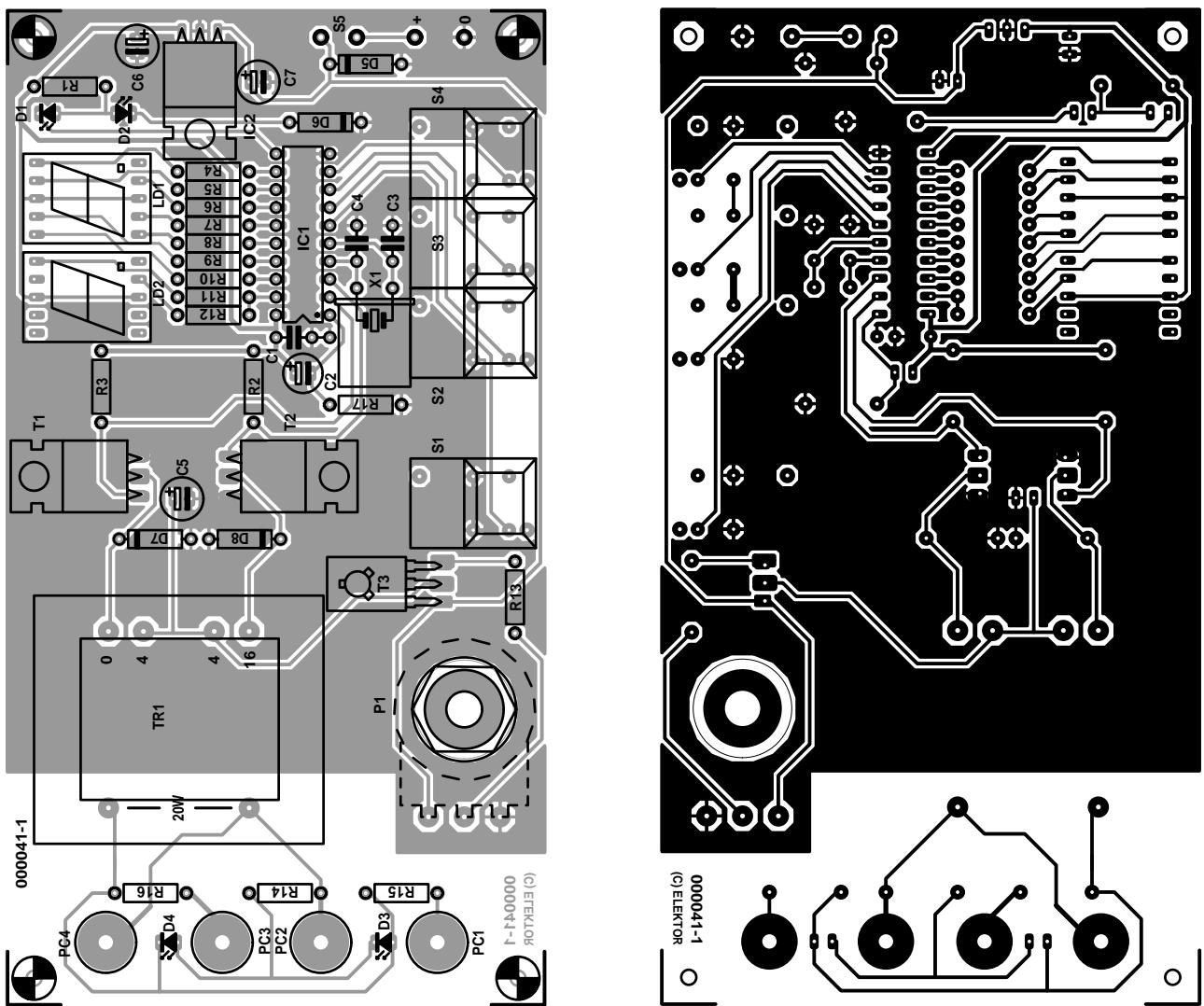


Bild 4. Die Bestückung der Platine besteht im Wesentlichen aus dem Prozessor, dem Trafo und dem Display.

zeigt wieder die Defaultwerte an, nämlich “-” für die Programmnummer und “0” für die Zeit.

Vor einem neuen Behandlungszyklus müssen wieder die Programmnummer und Behandlungszeit eingestellt werden.

Sicherheit und Stromversorgung

Bei Vorrichtungen, die Körperteile unter Strom setzen, ist natürlich ganz besonders auf die Sicherheit zu achten und die Schaltung entsprechend auszulegen.

Ein wichtiger Punkt ist dabei, dafür zu sorgen, dass das Impulssignal nicht unbeabsichtigt eingeschaltet werden kann. Aus diesem Grund wird der Starknopf erst freigegeben, wenn die beiden anderen Parameter (Programm, Zeit) vorher eingestellt werden.

Die Funktion der Stromquelle T3 zur Begrenzung

der dem Trafo zugeführten Energie wurde bereits erwähnt. Allerdings hat die Verwendung einer Stromquelle auch einen Nachteil: Ohne Ausgangsimpulse ist der Stromverbrauch Null, wodurch sich der Elko C5 auf den maximalen Spannungswert aufladen würde. Die ersten Impulse nach dem Programmstart würden dann eine zu hohe und unter Umständen gefährliche Intensität aufweisen. Dieses Problem wird dadurch behoben, dass der Mikrocontroller im Ruhezustand beide Transistoren, also sowohl T1 und T2 ansteuert. Dadurch wird C5 entladen, wodurch das Gegenteil der zuvor beschriebenen Situation erreicht wird: Die ersten Impuls nach dem Programmstart fallen schwächer aus - jeder Zyklus beginnt sozusagen mit einem Softstart. Bei der Wahl der Stromversorgung ver-

bietet sich die Verwendung einer Netzstromversorgung aus Sicherheitsgründen, weshalb Batterieversorgung ohne Netzteilanschlussmöglichkeit vorgesehen wurde. Natürlich kann man anstelle von Batterien auch Akkus verwenden, die aber nicht im Gerät, sondern in einem separaten Akkulader geladen werden sollen. Die Betriebsspannung von 9 V kann je nach Häufigkeit der Verwendung von einer 9-V-Blockbatterie oder von 6 Mignonzellen geliefert werden. Da der Stromverbrauch der Schaltung mit 50 mA vergleichsweise gering ist, lassen auch (Alkali-)9-V-Batterien eine akzeptable Verwendungsdauer (30 Anwendungen zu je 20 Minuten sind gut möglich). Ersetzt man IC2 durch eine Low-drop-Ausführung wie um Beispiel LM2940-5 oder 4805, dann kann die Batterie bis 6 V her-

Stückliste:

Widerstände:

R1,R4...R12,R15,R16 = 1 k

R2,R3,R14 = 4k7

R13 = 22 k

R17 = 10 k

P1 = 50 k lin.

Kondensatoren:

C1 = 100 n

C2 = 10 μ /63 V stehend

C3,C4 = 33 p

C5 = 47 μ /25 V stehend

C6,C7 = 100 μ /16 V stehend

Halbleiter:

D1...D4 = High-efficiency-LED rot (3 mm)

D5 = IN4001

D6 = IN4148

D7,D8 = Z-Diode 39 V/400 mW

T1,T2 = BUZ11 (BUZ10,BUZ100)

T3 = BD140

IC1 = 89C2051-12PC (programmiert, EPS 000041-41)

IC2 = 7805 (of LM2940T-5, 4805)

Außerdem:

S1...S4 = Digitast

S5 = einpoliger Schalter

TR1 = 100-V-Übertrager 0-4-16 Ω /20 W (Conrad/Monacor)

X1 = 12-MHz-Quarz

LD1,LD2 = HD1131 O

Gehäuse, z.B. TEKO 160x95x61 mm

PC1...PC4 = Mini-Bananenbuchsen

3,5-Diskette mit Source- und Hex-Kode (EPS000041-11, siehe Serviceseiten in der Heftmitte)

nicht gebraucht, dieser Trafo ist aber der einzige mit einem Übersetzungsverhältnis von 1:10.

Nach der Bestückung und Kontrolle der Platine kann sich dem Einbau in ein passendes Gehäuse widmen. Das in der Stückliste angegebene Teko-Gehäuse ist zwar sehr kompakt, passt aber nur, wenn der Trafo nicht zu groß ausfällt.

Wie im Bestückungsplan angegeben, werden einige Bauteile (z.B. Transistoren und Spannungsregler) liegend montiert, um die Bauhöhe der Platine gering zu halten. Die fertig bestückte Platine ist in Bild 5 zu sehen.

Die Platine wird mit vier Schrauben befestigt, die auf der Rückseite der Frontplatte des Gehäuses festgeklebt sind. Allerdings sollte man die Platine vorher testen, solange die Bauteile noch leicht zugänglich sind.

Für die Frontplatte des angegebenen Gehäuses ist in Bild 6 ein Gestaltungsvorschlag angegeben.

Elektroden

Bei praktischen Versuchen wurden selbst angefertigte Elektroden erfolgreich verwendet. Diese Elektroden bestehen einfach aus einem Stück Platinenmaterial mit den Abmessungen von etwa 2 cm x 3 cm und werden mit Gummibändern an den Armen oder Beinen befestigt. Für eine gute Leitfähigkeit legt man zwi-

schen Elektrode und Hautoberfläche noch ein Stück gut feuchtes Papiertuch. Zum Befeuchten ist destilliertes Wasser wegen mangelnder Leitfähigkeit ungeeignet, Leitungswasser oder leicht salzhaltiges Wasser ist daher vorzuziehen. Der günstigste Abstand zwischen den beiden Elektroden ist experimentell zu ermitteln, meist liegt er in einem Bereich zwischen 5 cm und 30 cm.

Bei regelmäßiger Verwendung sind professionelle Elektroden mit Klettbandbefestigung natürlich die bessere Wahl. Erhältlich sind solche Elektroden im medizinischen Fachhandel.

Für die Verbindung zwischen dem Stimulationsgerät und den Elektroden eignet sich ein nicht zu dünnes, flexibles Kabel von der Beschaffenheit einer üblichen Messstrippe mit Minibananensteckern (nicht abgeschirmte Messkabel aus flexibler, gut isolierter Litze).

Inbetriebnahme

- 9-V-Batterie anschließen, P1 ganz nach links drehen und Gerät mit S5 einschalten. Die Programm-LED D2 muss nun aufleuchten, auf dem Display ist "Lims" zu lesen (Abkürzung für "Low Impact Muscle Stimulator"), gefolgt von einem Bindestrich. Dieser Strich bedeutet, dass noch kein Programm gewählt wurde. Aus dieser Anzeige lässt sich bereits schließen, dass der Mikrocontroller richtig funktioniert.

- Up-Taste betätigen. Es erscheint nun eine "1" auf dem Display. Mit jedem folgenden Druck auf "Up" erhöht sich die Programmnummer um 1, mit der "Down"-Taste geht es ebenso runter.

- Taste "Prog-time" (S4) betätigen. Es erscheint eine

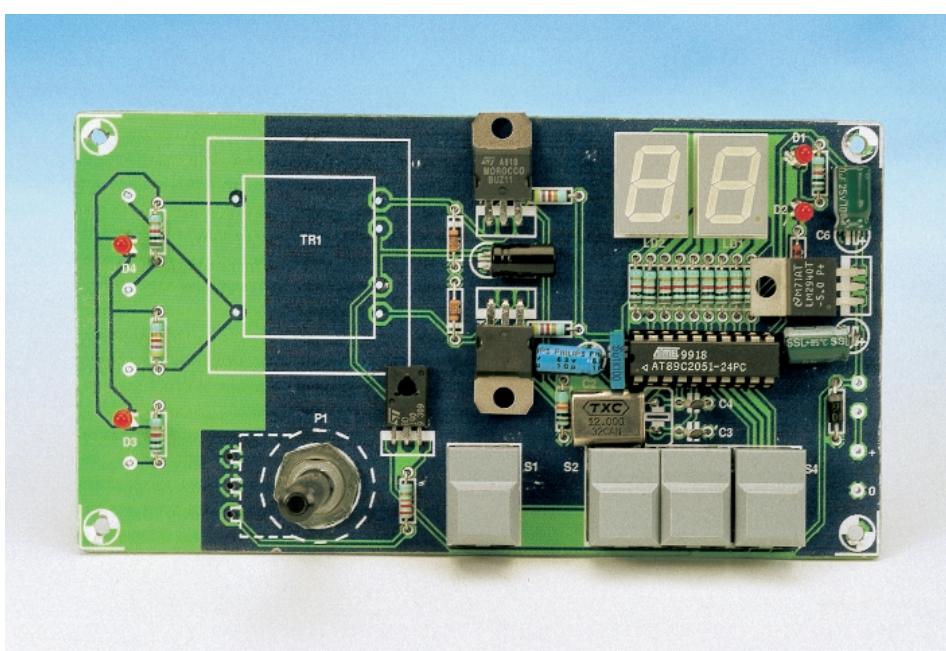


Bild 5. Die Transistoren und Spannungsregler werden liegend montiert, um die Einbauhöhe der Platine gering zu halten.

unter entladen werden, so dass sich die Batterieausnutzung verbessert.

Aufbau

Die Platine des Muskelstimulators ist in Bild 4 zu sehen. Da die Anzahl der Bauteile relativ gering ist, bedarf es zur Bestückung der Platine keiner großen Beschreibung. Der Trafo ist ein so genannter "100-V-Übertrager", das sind Audio-Ausgangstransformatoren für Verstärkeranlagen in 100-V-Technik. Wegen der Verbreitung in der Beschallungstechnik sind diese Übertrager im Elektronikhandel noch gut erhältlich, zum Beispiel über Conrad oder Monacor. Für unsere Zwecke eignet sich ein 20-W-Typ mit 0-4-16- Ω -Ausgängen. Die 20 W werden zwar

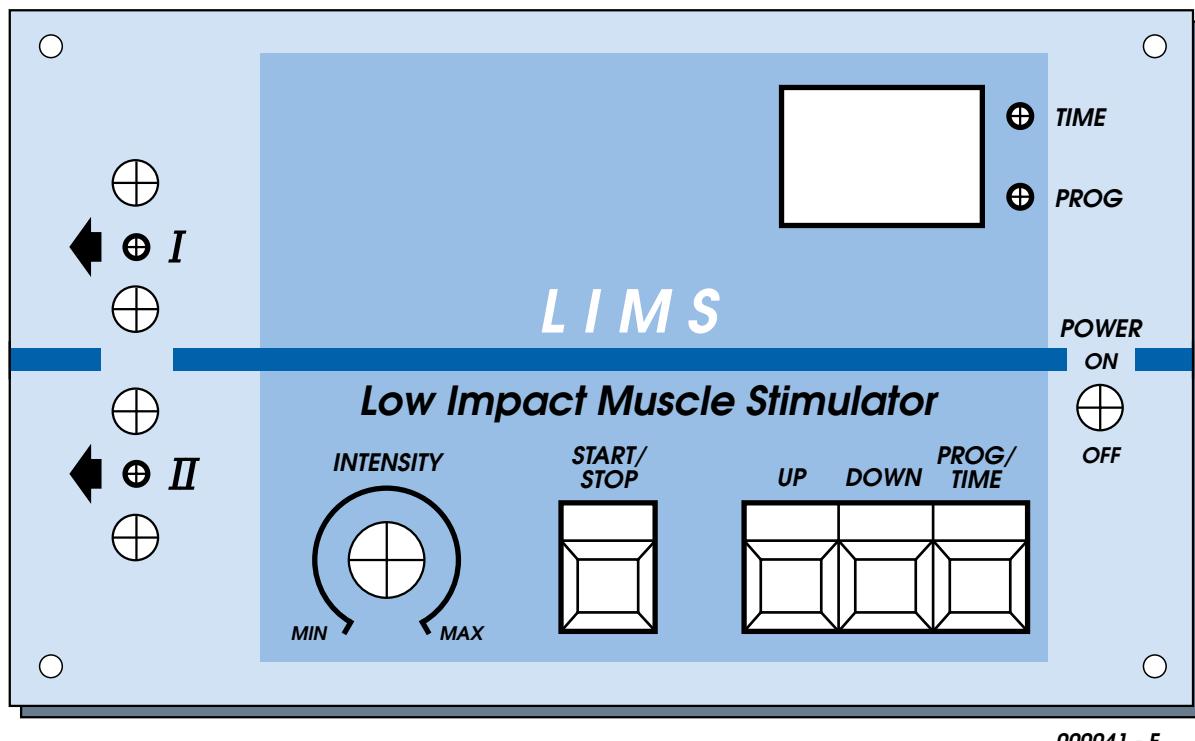


Bild 6. Der Frontplattenentwurf ist auf das in der Stückliste angegebene Gehäuse abgestimmt.

0 auf dem Display und die "Time"-LED D1 leuchtet auf. Mit der Up/Down-Tasten eine Zeit zwischen 1 und 19 wählen.

- Die Start-Stopp-Taste betätigen. Auf dem Display beginnt eine "8" horizontale umzulaufen als Zeichen dafür, dass die Schaltung aktiv ist.

- Intensitäts-Einsteller P1 langsam nach rechts drehen. Ab einem bestimmten Punkt leuchten D3 und D4 auf, wobei die Helligkeit mit dem Weiterdrehen von P1 zunimmt.

- Wenn alles so weit funktioniert, P1 wieder ganz nach links drehen und Gerät mit S5 ausschalten. Zwei Elektroden anschließen und zum Beispiel am Unterschenkel im Abstand von etwa 10 cm befestigen. Gerät einschalten, Programm 8 wählen und eine Zeit von 2 oder 3 Minuten einstellen.

- Sicherstellen, dass P1 am linken Anschlag steht, anschließend auf den Start-Stopp-Taster drücken.

Noch sollte keine Wirkung zu spüren sein.

- P1 langsam nach rechts drehen, bis allmählich ein leichter Reiz zu spüren ist. Langsam weiterdrehen, bis die gewünschte Reizstärke erreicht wird - aber zu hohe Intensität (Schmerzbereich) vermeiden.

Um die korrekte Funktion des Gerätes weiter zu überprüfen, kann man jetzt ein eingebautes Testprogramm aufrufen. Dazu wird während des Einschaltens mit S5 die Up/Down-Taster gedrückt gehalten. Wenn anschließend die Start/Stopp-Taste gedrückt wird, werden alle Segmente des Displays angesteuert, gleichzeitig blinken die LEDs D1 und D2. Durch einen Druck auf die Prog/time-Taste wird das Testprogramm beendet, es erscheint wieder die Nummer der Software auf dem Display.

(000041e)

Entwickler: K. Walraven
Text: S. van Rooij/ek

Inhalt der Diskette:

LIMS	LST	Listing
LIMS	HEX	Hex-Datei
LIMS	PRJ	Projektdatei
LIMS	M51	Assemblerdatei
LIMS	C	Sourcecode (Englisch)
LIMS	OBJ	Objektdatei
README	TXT	Hinweistext (Englisch)