

# Der AT-11 und sein kleiner Bruder

Dipl.-Ing. MAX PERNER – DL7UMO

Hinter den Bezeichnungen AT-11 Automatic Antenna Tuner und QRP Automatic Antenna Tuner der Fa. LDG Electronics, USA, verbergen sich zwei Bausätze für den Funkamateur. Als komplettes Gerät sind sie in der Lage, Fehlanpassungen in unsymmetrischen Speiseleitungen automatisch und sehr schnell zu minimieren.

Der Beitrag zeigt, was beide Geräte vermögen, welche Probleme beim Zusammenbau auftreten können, wo ihre Grenzen liegen und was man als etwas technisch versierter OM noch damit machen kann.

Eigentlich interessierte mich der Bausatz des AT-11 schon lange, und so kam mir die Testmöglichkeit für diesen Bausatz sowie seinen kleinen Bruder, den QRP Automatic Antenna Tuner, sehr entgegen.

Beide reduzieren auf dem Kabel zwischen Tuner-Einsatz- oder Montageort und Senderausgang eine Fehlanpassung in die Nähe des Stehwellenverhältnisses  $s = 1$ . Als Antennentuner arbeiten sie nur unter der Bedingung, daß sie direkt am Fußpunkt einer unsymmetrischen Antenne betrieben werden – und das läßt ihr Gehäuse im Original eben nicht zu.

## ■ Konzept

Den QRP-Tuner habe ich als Bausatz mit Gehäuse, den AT-11 nur als Leiterplatte aufgebaut, obwohl er auch mit Gehäuse lieferbar ist. Sowohl vom Konzept, vom Stromlaufplan, der Wirkungsweise und der Aufbauereihenfolge sind beide Tuner identisch. Sie unterscheiden sich lediglich durch die Belastbarkeit der Spulen, Kapazitäten und Relais sowie in der Platinengröße.

Anhand von Bild 1 seien die Abläufe in den Tunern erläutert: Der SWR-Sensor ermittelt bei vorhandenem Sendesignal die Spannungswerte des Vor- und Rücklaufs. Der Mikroprozessor, ein HC 6811 A1FN, berechnet daraus das Stehwellenverhältnis. Ist es schlechter als 1,5, steuern seine Ports C0 bis C7 über Transistortreiber die Relais der Kondensatoren an. Nach jedem Abstimmschritt wird gerechnet, die Abstimmrichtung der Kapazitäten ermittelt und ent-

schieden, ob eine Induktivität einzufügen oder wieder zu trennen ist.

Die Ports B0 bis B7 steuern über Transistortreiber die Relais der Induktivitäten an. Die Ruhekontakte dieser Relais schließen die ihnen zugeordnete Spule kurz, bei den Relais für die Kapazitäten schaltet der Arbeitskontakt den Kondensator gegen Masse. Die binäre Staffelung der jeweils acht Kondensatoren und Spulen ermöglicht bei beiden Tunern 256 verschiedene Kapazitätswerte im Bereich 0 bis 2671 pF und 256 Kombinationen von 0 bis 20 µH. Ein 17. Relais schaltet den Kapazitätsblock entweder an die Ausgangsseite des Induktivitätsblockes (HI Z) oder an dessen Eingangsseite (LO Z).

Bild 2: Frontansicht der kompletten QRP-Variante



Bild 3: Rückseite des QRP-Tuners. Selbst die Betriebsspannungsbuchse ist eindeutig beschriftet.



Hinter der Bezeichnung User-Interface verbergen sich Bedienelemente und LEDs für Rückmeldungen. Beim QRP-Tuner sind das der Schalter Power für die Betriebsspannung, der Umschalter für Auto/Semi sowie zwei nichtrastende Schalter für das manuelle Abstimmen der Kondensatoren und Spulen (Cap dn, Cap up, Ind dn, Ind up). Beim AT-11 ersetzen vier Taster diese beiden Schalter.

Der Taster Tune erweckt im Modus Semi den Controller aus dem Schlafzustand, bei Auto braucht er nicht betätigt zu werden. Eine grüne LED signalisiert  $s > 1,5$ , eine gelbe  $s \approx 2$ , eine rote  $s \geq 3$  und eine weitere rote LED den Abstimmvorgang selbst.

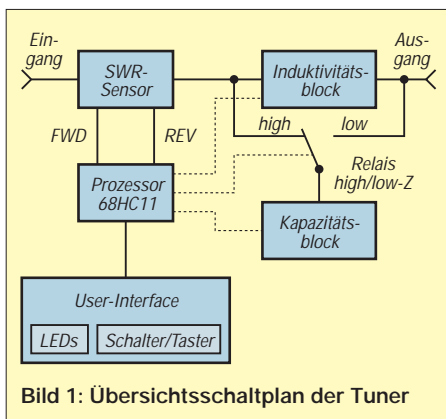


Bild 1: Übersichtsschaltplan der Tuner

## ■ Die Bausätze

Bei beiden Bausätzen waren, durchaus nicht selbstverständlich, sämtliche Bauelemente vorhanden, auch mit der benötigten Drahtlänge gab es keine Probleme.

Für den Aufbau beider Bausätze inklusive Gehäuse veranschlagt der Hersteller je einen oder zwei Abende oder sechs Stunden. Für den ersten Bausatz, die QRP-Variante mit Gehäuse, habe ich etwas länger gebraucht. Beim AT-11 ohne Gehäuse ging es dann aufgrund der Erfahrungen aber flott voran.

Neben den üblichen Werkzeugen wie Schraubendreher, Kopf- oder Seitenschneider usw. benötigen Sie in jedem Fall mindestens 1,5 m Lötdraht mit Kolophonium von 1 mm Durchmesser, etwas schnellhärtenden Zweikomponentenkleber und einen LötKolben mit einer dünnen Spitze. An Meßmitteln genügen ein hochohmiges Gleichspannungsvoltmeter, der Transceiver und ein 50-Ω-Abschlußwiderstand entsprechender Belastbarkeit.

Nutzen Sie das (englischsprachige) sehr ordentliche Manual. Geht man nach der dort vorgezeichneten Methode „step-by-step“ vor, kann (fast) nichts schiefgehen. Etwas technisches Amerikanisch sollten Sie beherrschen, andernfalls ist ein Wörterbuch zu empfehlen.

Wissen sollte man zudem, daß der Draht mit der Nummer 28 (#28) dünner ist als #24 usw. Und wenn Sie feststellen, daß durch die Montage der beiden SO-239-Buchsen die Beschriftung auf der Rückseite verdeckt wird, so montieren Sie sie doch von innen! Die Markierung am Widerstandsnetzwerk entspricht der Markierung auf der Platine, sonst liegen an den Ports des Schaltkreises U1 statt +5 V nur etwa +2,4 V!

Die im Manual angegebene Reihenfolge ist empfehlenswert, aber nicht unbedingt bindend. Die Wickelvorschrift des Übertragers im SWR-Sensor sollte unbedingt beachtet werden, sonst funktioniert das Ganze nicht. Und nochmals: Lesen Sie das Manual gründlich vor dem Zusammenbau.

## ■ Modi Auto und Semi

Der Prozessor benötigt bekanntlich eine Taktfrequenz, die er im QRP-Tuner in Verbindung mit einem Schwingquarz 4,5 MHz selbst erzeugt, beim AT-11 ist dafür ein ex-



**Bild 4:** Innenansicht der QRP-Variante V.I.n.r. auf der Leiterplatte die Ringkernspulen, die zugehörigen Relais, die Kondensatoren mit ihren Relais und die Relaisansteuerstufen; rechts der Prozessor. Unten links befindet sich die SWR-Meßschaltung, zwischen den Abstimmkondensatoren das 17. Relais für die high/low-Z-Umschaltung.

terner 8-MHz-DIL-Quarzoszillator zuständig. Durch die Rechteckform der Taktfrequenz sind Ober- und Nebenwellen nicht zu vermeiden. Solange der Prozessor arbeitet, stellt die Tunerelektronik also eine nicht zu unterschätzende Störquelle für den Empfänger dar.

Versetzt man den Prozessor dagegen in den Schlafzustand (sleep), eliminiert das die Störquelle im wesentlichen. Wird der Prozessor nur für den Anpaßvorgang eingeschaltet, hat man in der übrigen Zeit einen störfreien Empfang. Voraussetzung für den Anpaßvorgang ist, daß der Sender HF erzeugt. Dazu genügt etwa 1/10 der normalen Sendeleistung. Eine Leistungsreduzierung beim Abstimmen schont zudem die Relaiskontakte.

Die Tuner verfügen über zwei Abstimm-Modi. Der erste Modus ist Auto. Nach dem Einschalten des Tuners in Stellung Auto und einmaligem Betätigen der Tune-Taste mißt der Prozessor bei anliegender HF permanent das SWR. Steigt letzteres über  $s = 3$ , leitet er den Anpaßvorgang ein: Es rattert kurz im Tuner; danach leuchtet bei erfolgreicher Arbeit die LED  $s < 1,5$ . Bei CW und SSB geschieht das im Rhythmus der CW-Zeichen bzw. der Sprache.

Da der Prozessor ständig arbeitet, produziert er „wunderbare“ Störsignale. Innerhalb der Amateurbänder erzeugte der QRP-Tuner Störsignale bei (auszugsweise) 28293 kHz mit S 5, bei 28133 kHz mit S 5, bei 24917 kHz mit S 6, bei 10127 kHz mit S 7, bei 7078 kHz mit S 7, bei 7073 kHz mit S 9 + 12 dB und bei 3697 kHz mit S 9 + 6 dB. Beim AT-11 bekommt man im Mode Auto auf einigen Bändern wunderschöne Marken am Bandanfang. Die Störsignale im Band dagegen sind geringer, aber eben vorhanden.

Der zweite Modus heißt Semi. Zum Einleiten des Anpaßvorgangs braucht es grundsätzlich einen Druck auf die Taste Tune. Er erweckt den Prozessor aus dem Schlafzustand. Nach dem erfolgreichen Abstimmen schläft sich der Prozessor selbst wieder ein. Sowohl beim AT-11 als auch in der

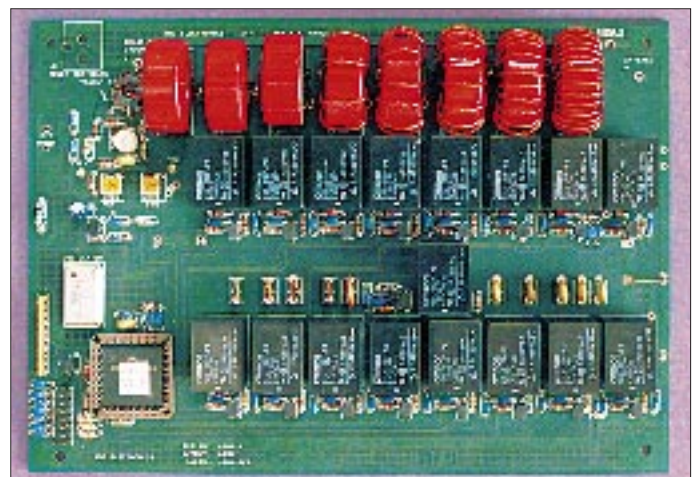
QRP-Variante sind die erwähnten Störsignale bei Semi nach dem Abstimmen verschwunden. Es gibt aber auch keine LED-Rückmeldungen mehr. In diesem Modus kann man durch Betätigen der Schalter „Cap dn“, „Cap up“, „Ind dn“ und „Ind up“ die Anpaßelemente manuell variieren. Diese Option habe ich probiert – aber prozessor-gesteuert läuft das schneller und exakter. Bei Verzicht auf Auto und auf die LED-Rückmeldungen lassen sich die Tuner abgesetzt betreiben. Eine Ader für Masse/GND, eine Ader für +12 V (ständig), eine Ader für Tune (L-aktiv) und los kann's gehen. Reduzierte HF anlegen (TX ein), Taste Tune kurz betätigen, und schon rattert es los. An der TX-internen SWR-Anzeige ist der Zustand „fertig“ leicht erkennbar.

### ■ Erfahrungen beim Aufbau; Tips und Tricks

Normalerweise kann nichts schiefgehen. Beachten Sie die Hinweise im Manual, insbesondere den, daß der Prozessor als letztes Bauelement eingesteckt wird.

Zunächst zum QRP-Tuner. Alle Bohrungen der Platine sind durchkontaktiert und dürfen demzufolge nicht etwa aufgebohrt werden. Der Router der QRP-Platine hat netterweise bei den Relais deren innere Brücke zwischen zwei Anschlüssen als Ersatz für Brücken

**Bild 5:** Blick auf die AT-11-Leiterplatte. V.o.n.u.: die acht Ringkerne, die Spulen-Relais mit ihren diskret aufgebauten Treiberstufen, die Kondensatoren und das high/low-Z-Relais, die Kapazitäten-Relais und ihre Treiberstufen. Links außen der TTL-Oszillator und der Prozessor. Deutlich sichtbar die gerasterte Massefläche der Platine, rechts außen eine von mir zusätzlich eingelötete Masse-Drahtbrücke.



auf der Platine verwendet. Diese unübliche Methode führt dazu, daß einige Relais keine Betriebsspannung erhalten, wenn nicht alle Anschlußstifte verlötet sind!

Drücken Sie die Widerstände, Kondensatoren, Dioden, Transistoren und vor allem den Quarz bzw. den Quarzoszillator nicht bis zum „Anschlag“ in die Lötäugen. Speziell beim Quarz produziert diese Methode schnell einen unsichtbaren Kurzschluß zwischen seinem Gehäuse und den Durchkontaktierungen auf der Bestückungsseite – ein häufiger Fehler mit fatalen Folgen.

Die angegebene Wickelvorschrift für die acht Ringkerne des Spulenblocks sollte eingehalten werden, denn dadurch lassen sich die fertigen Spulen besser auf der Platine plazieren und einlöten. Empfehlenswert ist auch die Fixierung der bewickelten Ringkerne mit etwas Epoxidkleber auf der Platine. Erfahrungsgemäß läßt sich der gestapelte Kern des QRP-Tuners für die größte Induktivität besser bewickeln, wenn beide Kerne vorher mit zwei kleinen Tropfen Kleber zusammengefügt wurden. Die Verbindung der Leiterplatte über die 14polige Leitung mit dem User Interface ist eine Geduldsfrage, aber lösbar.

Der Abgleich des SWR-Meßkopfes ist im Manual genau beschrieben und entspricht im wesentlichen dem in diversen Bauanleitungen beschriebenen Vorgehen. Sorgfalt ist dabei jedoch am Platze, denn nur ein genauer Abgleich sichert die exakte Arbeitsweise der Automatik.

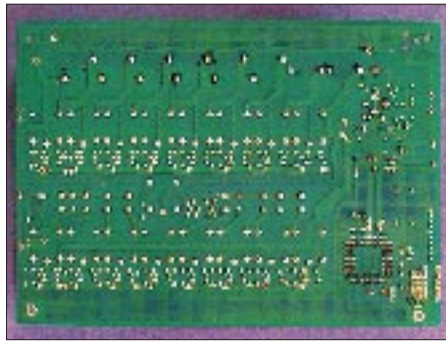
Beim QRP-Tuner ebenso wie beim AT-11 ließ sich auf 24 MHz ein Verhältnis Vorlauf/Rücklauf 2410 mV/1 mV erzielen. Das entspricht einem SWR von  $s = 1,0$ . Bei sorgfältigem Abgleich kann man dem SWR  $s = 1,0$  im ganzen Bereich 3,5 bis 28 MHz sehr nahekommen; auf 1,8 MHz ist es geringfügig schlechter. Hier lagen die beiden Spannungen bei 3832 mV/49 mV, d.h. einem SWR  $s = 1,03$ . Was will man mehr?

Erst jetzt wird der Prozessor eingesetzt. Sollten beim Abgleich eine oder auch beide Spannungen vom SWR-Meßkopf die 5-V-

Grenze überschreiten, ist eine irreparable Zerstörung zumindest der beiden ADC-Eingänge des Prozessors möglich. Nach dem Einschnappen des Schaltkreises in seine Fassung ist das Gerät komplett. Zum Entfernen des IC aus der Fassung benötigen Sie ein spezielles PLCC-Auszieh-Werkzeug. Mit dem bekannten einfachen Heraushebeln läßt sich der IC nicht überreden, seine Fassung zu verlassen. Denken Sie daran, daß Eile oder Neugier beim Bestücken nur von Nachteil sind.

Im Gegensatz zum QRP-Tuner hatte ich beim AT-11 anfänglich meine Probleme. Das lag nicht am Konzept, sondern am Platinenlayout, denn bei 100 W HF sollte man auf Masseflächen achten. Eine gerasterte Massefläche mit schmalen Stegen sieht möglicherweise gut aus, die Leitfähigkeitsverminderung schadet aber eher. Außerdem hätte man die zerstückelten Masseflächen vermeiden können.

Da ich die Leiterplatte des AT-11 in einem Kunststoffgehäuse im Freien betreiben wollte, habe ich ein 1,5 mm dickes U-Blech aus Aluminium angefertigt. Grundfläche 210 mm × 150 mm, mit zwei Schenkeln, je 50 mm hoch. Die beiden HF-Buchsen



**Bild 6:** Die Unterseite der Platine des AT-11, ebenfalls mit gerasterten Masseflächen

befinden sich in unmittelbarer Nähe von Tunerein- und -ausgang, was kurze Verbindungen sicherstellt. An den Ecken wurde die Leiterplatte mit vier Schrauben auf der Grundfläche des Bleches verschraubt. Es versteht sich, daß Abstandsstücke für einen sicheren Abstand sowie Zahnscheiben für einen guten Kontakt zwischen Platine und Blech sorgen. Durch diese Maßnahme kam dann eine einwandfreie Funktion des AT-11, speziell oberhalb 21 MHz, zustande – solch ein Blech ist also anscheinend ein Muß!

## ■ Praxis

Der Hersteller gibt einen möglichen Impedanzbereich auf der Tunerausgangsseite von 6 bis 800  $\Omega$  an. Die Simulation mit einem Computerprogramm ermöglichte frequenzabhängig sogar noch höhere Werte. Bezogen auf 50  $\Omega$  entsprechen 6  $\Omega$  einem SWR von etwa 6, 800  $\Omega$  ungefähr von 16! Das Manual führt auch Beispiele für die erfolgreiche Anpassung auf. Stimmt alles. So gelang es mir problemlos, einen 10-m-Strahler mit 30 m Koaxialkabel auf 10,1 MHz mit  $s = 2$  anzupassen. Im Normalfall habe ich hier ein SWR von über 20!

Fakt ist, daß die Tuner bei Installation im Shack eine von der Antenne herrührende Fehlanpassung eliminieren; der Sender bekommt seine 50  $\Omega$  angeboten. Auf der Speiseleitung und am Antennenfußpunkt bleibt die Fehlanpassung jedoch weiterhin bestehen. Obwohl wie im obigen Fall die LED  $s = 2$  bis 2,5 am Tuner leuchtet, wird Ihnen ein QSO wahrscheinlich nicht gelingen. Die Tuner gaukeln dem Senderausgang vor, sie wären ein für ihn optimaler Abschlußwiderstand. An den Verhältnissen auf dem Kabel, dem Übergang Kabel – Antenne und der Antenne selbst ändert sich dagegen nichts.

Anders bei Anpassung eines unsymmetrischen Strahlers direkt an seinem Fußpunkt. Für diese Variante hatte ich die Leiterplatte des AT-11 mit dem oben beschriebenen U-Blech in einem wasserdichten Kunststoffgehäuse installiert. Die Verbindung zum Transceiver erfolgte über ein 50- $\Omega$ -Koaxialkabel und ein dreiadriges Kabel, jeweils etwa 10 m lang. Die Antenne bestand aus

einem Stab von 5 m Länge. Den konnte ich im Bereich von 10,1 bis 28 MHz problemlos anpassen und auch Verbindungen tätigen! Der Tuner arbeitete im Semi-Modus; nach einem Tastendruck Tune im Shack war nach max. 4 s die Anpassung hergestellt. Versuchsweise habe ich noch eine 15- $\mu$ H-Verlängerungsspule zwischen Antenne und Tuner eingefügt und die geringste Kapazität (10 pF) durch eine parallele um 1500 pF erweitert. So gelangen dann auch Anpassung und QSOs auf 7 MHz. Für 80 m und 160 m habe ich dieses Prinzip ebenfalls getestet. Angepaßt werden konnten beide Bänder, Verbindungen gelangen aber nur auf 80 m. Am Senderausgang wurden mit dieser Antenne bei unverändertem Tuner mit einem Buschbeck-SWR/PWR-Meter am Ende des Anpaßvorgangs jeweils folgende Stehwellenverhältnisse ermittelt: 10,1 MHz  $s = 1,7$ ; 14 MHz  $s = 1,3$ ; 18,1 MHz  $s = 1,5$ ; 21 MHz  $s = 1,1$ ; 24,9 MHz  $s = 1,4$ ; 28 MHz  $s = 1,4$ . Durch provisorische externe Bauelemente ließen sich auf 7 MHz und 3,5 MHz  $s = 1,7$  sowie auf 1,8 MHz  $s = 2,1$  erreichen.

Auf 40 m mußte bei Frequenzänderungen von etwa 60 kHz nachgestimmt werden, auf 80 m bei ungefähr 30 kHz und auf 160 m bei 12 bis 15 kHz. Hier bietet sich also für den Portabelstandort ein Tuner mit veränderten Kapazitäts- und Induktivitätswerten an. Der finanzielle Aufwand für Leiterplatte, wetterfestes Gehäuse, zusätzliches Kabel und eventuell ein kleines Kästchen für den Tune-Schalter verbessern den Wirkungsgrad der Portabelanlage wesentlich. Gleiches gilt selbstverständlich für die QRP-Variante.

## ■ Zusammenfassung

Beide Bausätze halten das, was von ihnen verlangt wird. Sie können keine Wunder vollbringen, jedoch bei richtigem Einsatz und Positionierung den Wirkungsgrad Ihrer Anlage wesentlich erhöhen. Für den Home-made-Mann eine Möglichkeit, auch ungünstige Anpaßverhältnisse zu korrigieren. Die Probleme der Masseverbindungen und -flächen des AT-11 dürfte das zugehörige Gehäuse mit großer Wahrscheinlichkeit beseitigen.

Der Modus Auto ist entbehrlich. Vergleicht man kommerzielle Antennentuner (Fertigprodukte) mit dem AT-11 und addiert die zusätzlichen Kosten für Kabel und Gehäuse, kann man sich für bedeutend weniger Geld einen echten Antennentuner für seine speziellen Bedingungen aufbauen. Fertige ATUs können auch nur anpassen und das nicht unbedingt schneller und genauer.

Die LDG-ATU-Bausätze können u. a. über den Leserservice der Zeitschrift FUNK-AMATEUR bezogen werden.

### Eigenschaften der beiden Tuner

- automatische oder halbautomatische Anpassung im Bereich 1,8 bis 30 MHz
- 256 Kapazitätswerte, 256 Induktivitätswerte möglich
- insgesamt über 131 000 Abstimmvarianten
- umkehrbares L-Netzwerk für hohe oder niedrige Impedanzen
- Betriebsspannung +12 bis 14 V, Minus an Masse
- Betriebsspannung muß ständig anliegen
- keine Speicherung von Abstimmwerten
- Gehäuse nicht wetterfest
- Lieferung mit allen Teilen, auch für das User-Interface

#### AT-11, Version 2.4b

- Zeitdauer für einen automatischen Abstimmvorgang 0,1 ... 6,2 s, im Mittel bei  $s = 3$  etwa 1,5 s
- 2 bis 100 W HF für alle Betriebsarten
- Strom bei 12 V max. 550 mA
- Strom für ein Relais etwa 30 mA. Kontakte 5 A/250 V~ bzw. 2,5 A/250 V~ unter Last
- maximale Vor- und Rücklaufspannung am Meßpunkt je +4,8 V
- mechanische Abmessungen der Platine 202 mm × 142 mm × 35 mm
- DIL-Quarzoszillator 8,00 MHz
- über 200 Bauteile, etwa 500 Lötstellen
- Ringkerne T-106-2
- Gehäuse optional

#### QRP-AT, Version 2.0c

- Zeitdauer für einen automatischen Abstimmvorgang 0,1 ... 3 s, im Mittel bei  $s = 3$  etwa 1,5 s
- 0,1 bis 10 W HF, bei CW/SSB kurzzeitig 30 W HF
- Strom bei 12 V max. 300 mA
- Strom für ein Relais etwa 15 mA
- maximale Vor- und Rücklaufspannung am Meßpunkt je +2,5 V
- mechanische Abmessungen der Leiterplatte 112 mm × 109 mm × 22 mm
- Schwingquarz 4,5 MHz
- über 150 Bauteile, etwa 500 Lötstellen
- Ringkerne T-50-2