

## Ergänzung zum Beitrag in FA 6/17, S. 556 ff. „Hochleistungs-Linearendstufe mit Envelope-Tracking-Steuerung (2)“

Der Beitrag beschreibt Konzept und Aufbau einer 1-kW-Endstufe mit softwaregestützter Envelope-Tracking-Steuerung für Kurzwellen und 6 m.

Die Zusatzinformationen auf den folgenden Seiten dienen der inhaltlichen Ergänzung. Sie betreffen die ausführlichere Darstellung einiger Messergebnisse sowie die Bestückungspläne der Leiterplatten und sind im Zusammenhang mit dem Text des Beitrags zu betrachten.

Darüber hinaus wird die Sende-Empfangs-Umschaltung mit dazugehöriger Ablaufsteuerung (Sequenz) behandelt.

### ■ Messergebnisse

Nachstehend sind einige ergänzende Darstellungen der Messergebnisse bezüglich Treiber- und Endstufe aufgeführt.

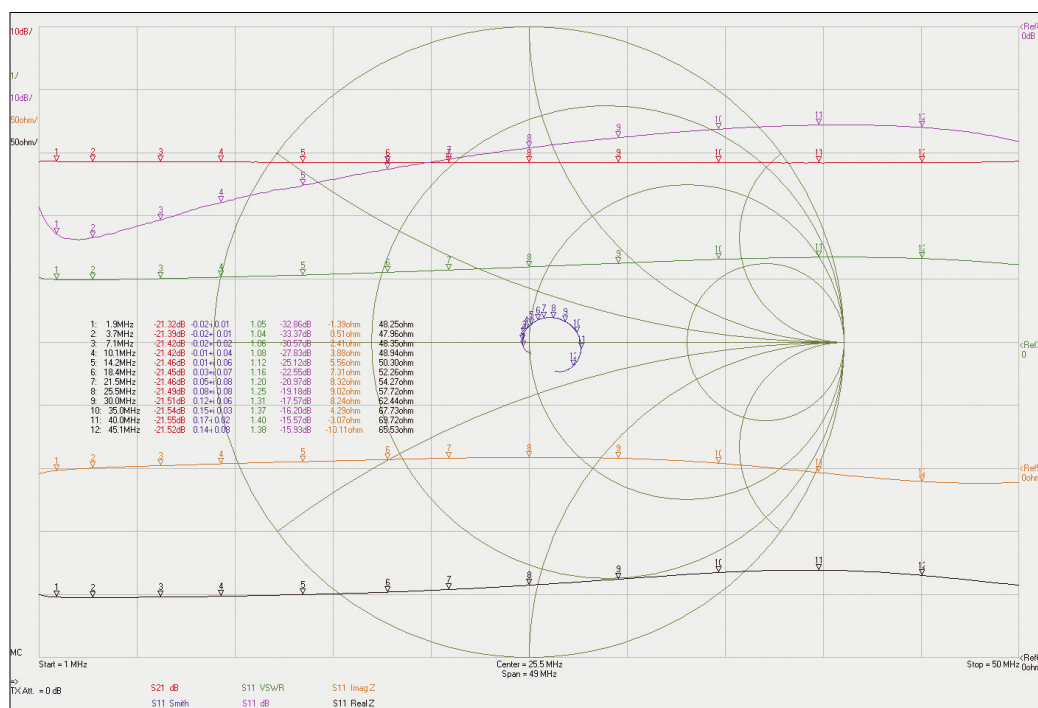
#### Treiberverstärker

In Bild 27 sind die Messwerte der Vorwärtstransmission und Eingangsreflexion der

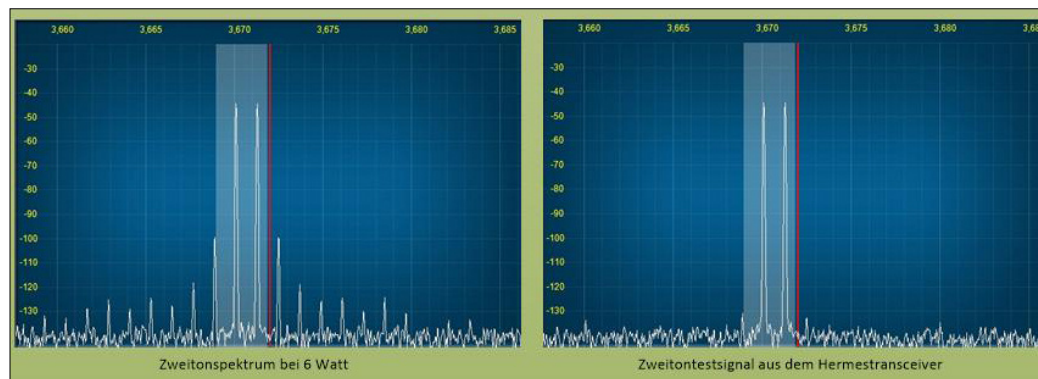
Treiberstufe zu sehen und in Bild 28 die IM-Spektren des Test- und des Ausgangssignals.

#### Endstufe

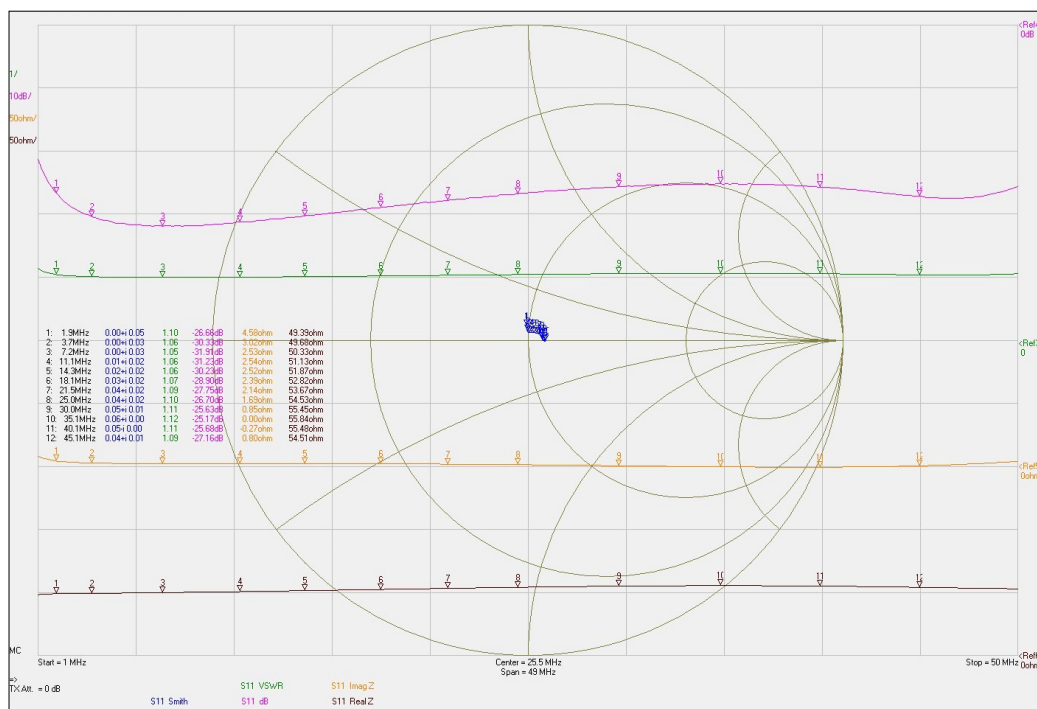
In Bild 29 ist die Eingangsanpassung in Abhängigkeit von der Frequenz dargestellt. Das Ergebnis dokumentiert, dass die Kompensation der Streuinduktivitäten recht gut gelungen ist. Bild 30 zeigt Vorwärtstransmission und der Eingangsreflexion vor der Linearisierung mittels C7 und C8.



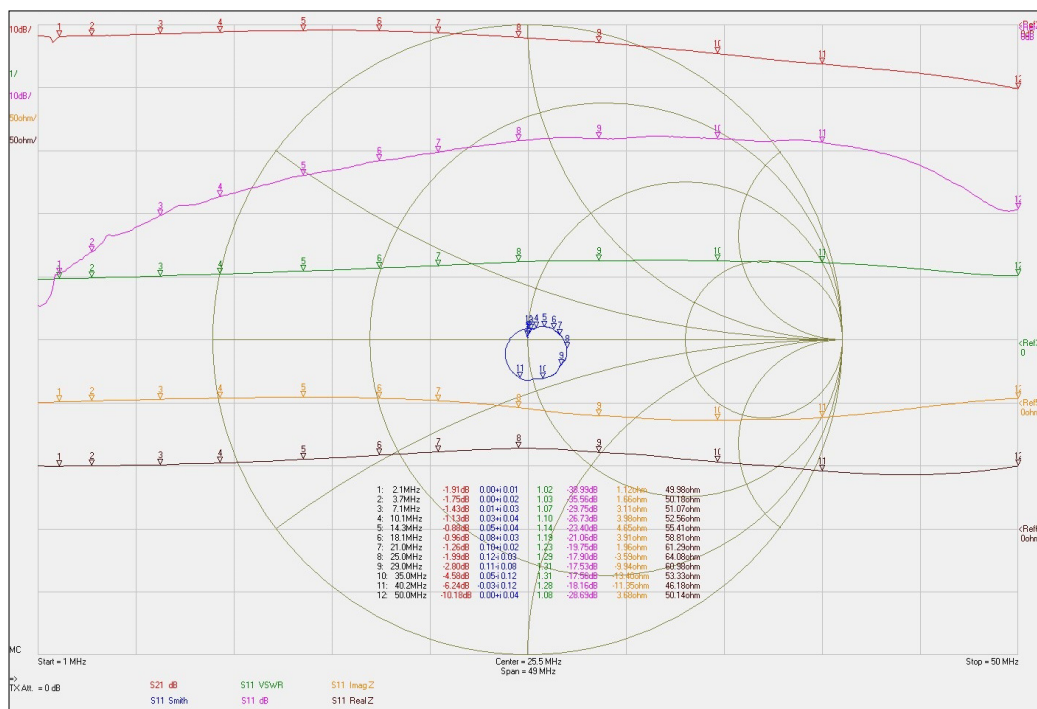
**Bild 27:**  
Frequenzgang und Eingangs-SWV der Treiberstufe; sie hat 18,5 dB Verstärkung ohne 3-dB-Dämpfungsglied, sonst 15,5 dB.



**Bild 28:**  
IMD<sub>3</sub>-Spektrum des Treiberverstärkers und das Testsignal im 80-Meter-Band

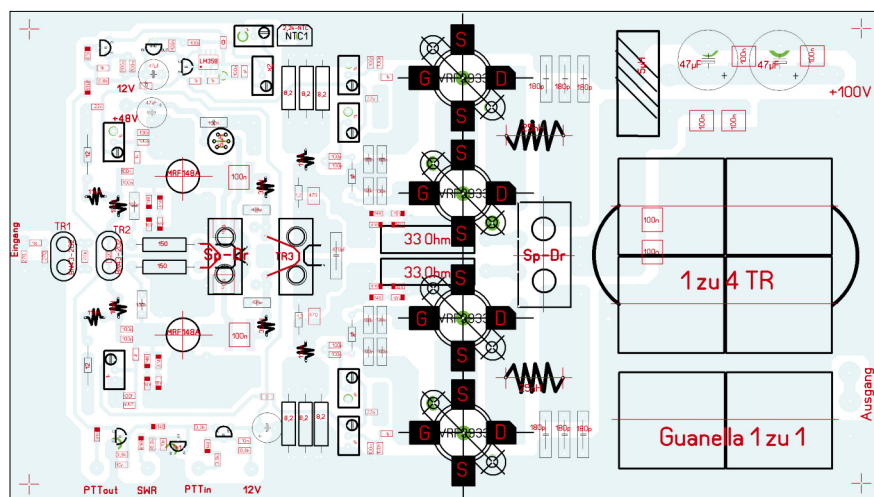


**Bild 29:**  
Messwerte mit kompensiertem  
9:1-Transformator am Eingang  
der Endstufe (27 pF primär und  
sekundär 5,6-Ω-Widerstand  
parallel zu 330 pF)

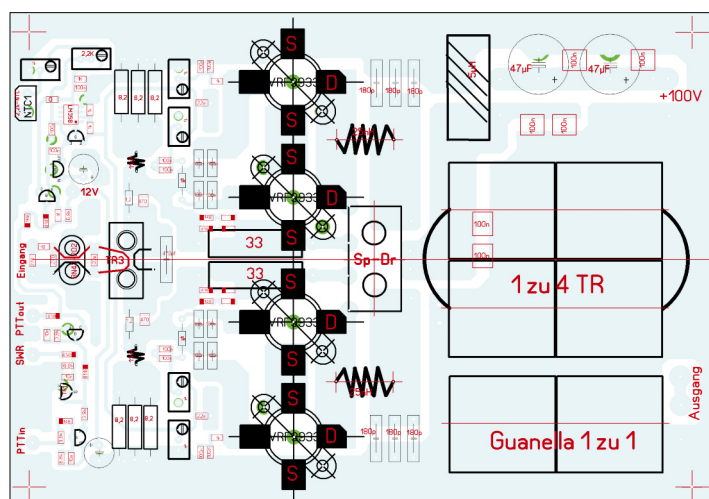


**Bild 30:**  
Transmission  $S_{21}$  und Reflexion  
 $S_{11}$  der kompletten Endstufe mit  
1:4-Faraday-Transformator und  
470 pF für C7 und C8

## ■ Bestückungspläne der Endstufenvarianten

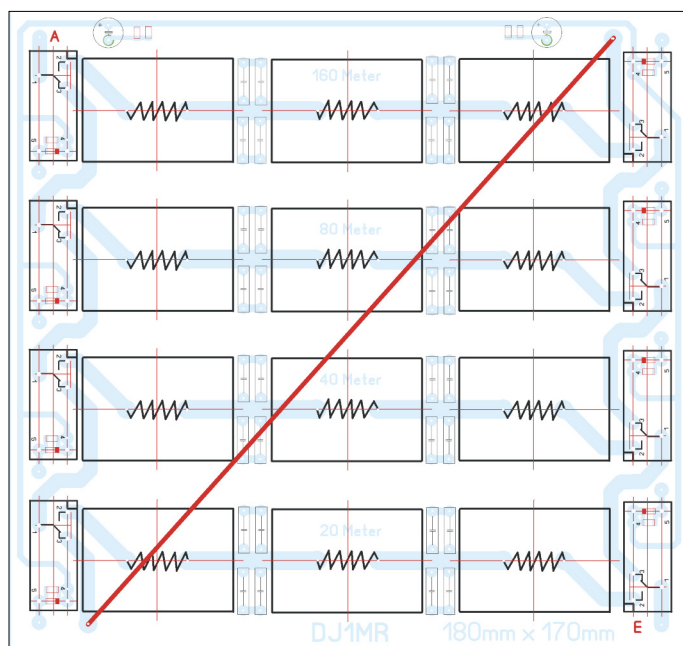


**Bild 31:**  
Layout und  
Bestückungsplan der zweistufigen PA, M 2:1



**Bild 32:**  
Layout und  
Bestückungsplan der einstufigen PA, M 2:1

# ■ Bestückungsplan des Tiefpassfilters



**Bild 33:**  
Bestückungsplan der Ausgangsfilterplatine, M 2:1



**Bild 34:**  
Fertig aufgebaute Ausgangs-  
filterplatine auf der Basis von  
T-130-Kernen für die Bänder  
160 m bis 40 m



## ■ Blockschaltbild und Sequenzdiagramm der Transceiver- und PA-Anordnung

Bild 35 zeigt die zeitlichen Verläufe der Transceiver- und PA-Anordnung. Es wurde Wert darauf gelegt, dass die PTT-Schaltung der PA (PTTin/BIAS-PA) erst nach dem Umschalten der Relais Rel1 bis Rel3 erfolgt. Die PTT-Schaltung muss aufgrund der Verstärkung der Endstufe von etwa 37 dB bis 40 dB eine hohe Übersprechdämpfung auf-

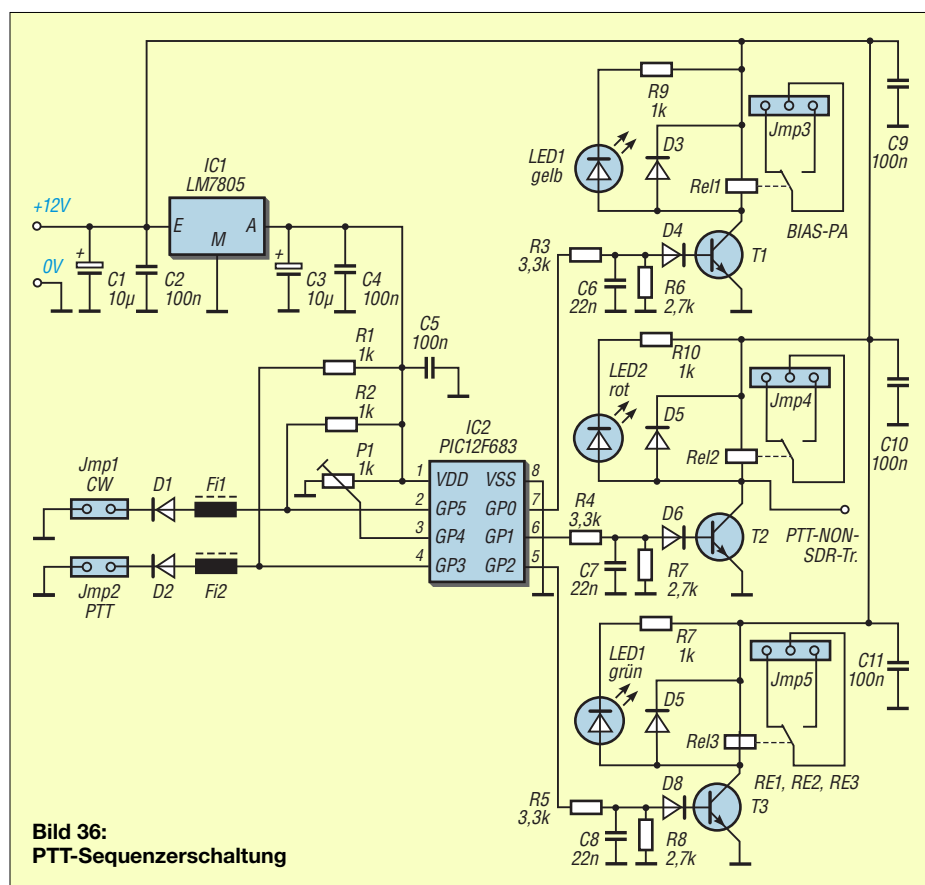
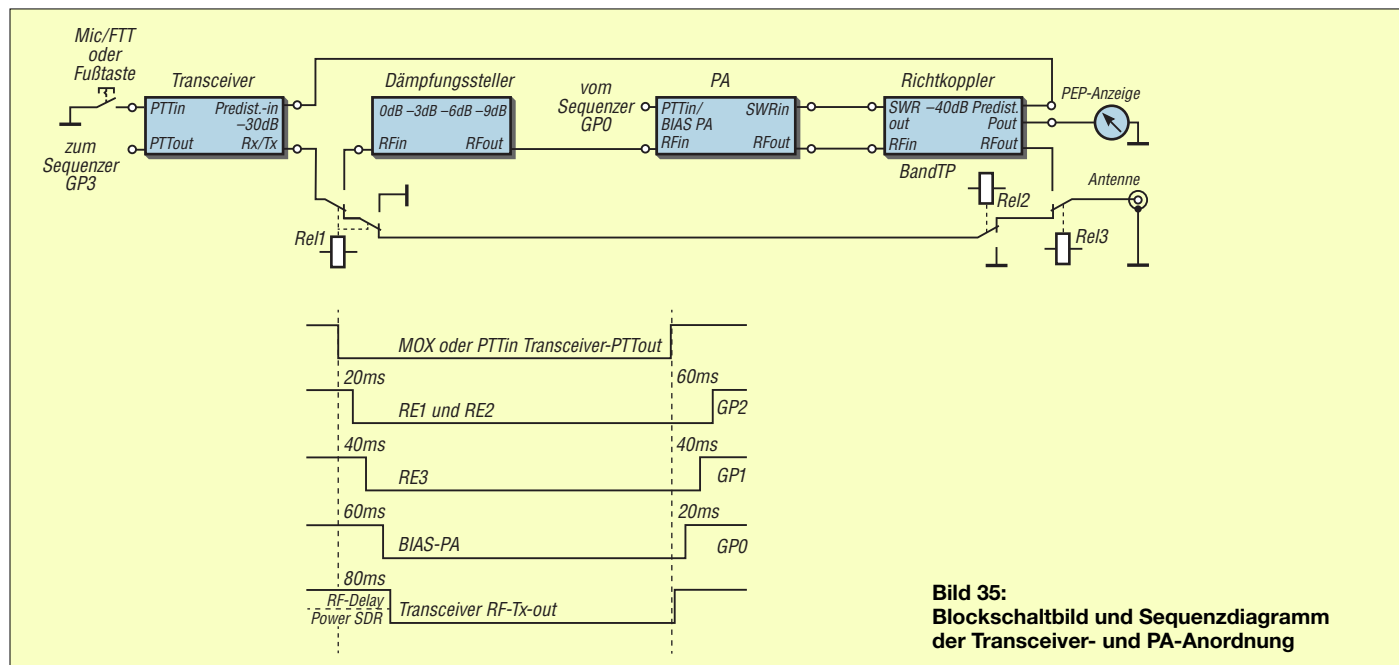
weisen. Deshalb wurden die Relais Rel1 bis Rel3 eingeführt und zusätzlich auf getrennten Platinen untergebracht. Beim Abschalten wird das PTT-Signal für die PA als Erstes wieder deaktiviert. Dies verhindert unzulässige Spannungsspitzen an den einzelnen Punkten der Schaltung.

## ■ Sequenzerschaltung

Da schon die Endstufe durch die *PowerSDR*-Software gesteuert wird, habe ich auch

für die Sequenzerschaltung eine auf Software basierende Lösung vorgesehen. Sie beruht auf der von Bernhard Hochstätter, DL6NBS, entwickelten Schaltung mit einem Mikrocontroller PIC12F683 [10]. Bernhard hat freundlicherweise der Nachnutzung und Veröffentlichung in diesem Beitrag zugestimmt.

An dieser Stelle geht daher mein besonderer Dank an ihn.



Die Schaltreihenfolge wurde dem vorliegenden Projekt angepasst und verhält sich wie folgt:

- Reihenfolge *Ein*:  
Rel1 bis Rel3 *ein*  
BIAS Endstufe *ein* (PA)  
Transceiver *ein* oder RF von HERMES *ein* (TX)
  - Reihenfolge *Aus*:  
Transceiver *aus* oder alternativ RF von HERMES *aus* (TX) (wahlweise)  
BIAS Endstufe *aus* (PA)  
RE1 bis RE3 *aus* (Empfang)
- Der Sequenzer nach DL6NBS weist folgende Eigenschaften auf:

- Die Verzögerung kann auch frei programmiert werden *default*-Wert 50 ms.
- Die CW-Haltezeit kann mit dem Potenziometer in einem weiten Bereich stufenlos eingestellt werden.
- Die Ausgänge sind mit schnell schaltenden Miniaturrelais galvanisch getrennt ausgeführt.
- Auf dem Platinenlayout befinden sich zusätzlich ein dreistufiger Abschwächer (*Attenuator*, 3 × 3 dB Stufen) und drei SMA-Buchsen auf der Rückseite der Platine für die HF-Ein- und -Ausgänge.
- Die Abmessungen der Platine betragen 50 mm × 110 mm.

## ■ Programmierung der Verzögerung

Werden die Eingänge *PTT* und *CW* beim Einschalten des Sequenzers gleichzeitig betätigt und gehalten, verbleibt der Sequenzer zunächst im Setup-Modus. Nun kann mit dem Potenziometer *P1* die Verzögerungszeit zwischen 10 ms und 250 ms eingestellt werden. Die Kontrolle kann mithilfe von LEDs an den einzelnen Ausgängen erfolgen. Werden nun die *PTT*- und/oder *CW*-Eingänge wieder freigegeben (*high*-Potenzial), dann übernimmt der Mikrocontroller den eingestellten Wert in seinen nichtflüchtigen Speicher (EEPROM) und der Sequenzer schaltet sofort in den normalen Betriebsmodus.

Die HEX-Datei mit der Firmware des Mikrocontrollers ist ebenfalls Bestandteil der Ergänzung zum Beitrag über die ET-Linearendstufe. Der Entwickler, DL6NBS, hat das kostenlose Herunterladen der Software in diesem Zusammenhang erlaubt. Es stehen zwei Varianten zur Auswahl. Der Unterschied besteht nur in der Negierung des

Ausgangssignals an GP2. Die Schaltung von DL6NBS wurde hinsichtlich der Ausgänge leicht modifiziert. Schaltelemente bilden in der hier verwendeten Variante schnelle Miniaturrelais vom Typ OMRON G6K-2F. Im Original nutzt DL6NBS Optokoppler zur galvanischen Potenzialtrennung.

Bild 36 zeigt den Schaltplan des Sequenzers und Bild 37 das Leiterplattenlayout. In Bild 39 ist die fertig bestückte Platine zu sehen.

## ■ Richtkoppler

Die Richtkopplerschaltung wurde nach dem in [11] von Josef Hisch, DJ7AW, vorgestellten Projekt ausgeführt. Es kommt hier eine „Ein-Transformator“-Lösung zum Einsatz, die etwa 23 dB Richtschärfe aufweist. Dieser Wert ist für ein Kreuzzeigerinstrument hinreichend. Ein zweiter Transformator auf dem Koaxialkabel des Richtkopplers mit 30 Windungen sowie ein zusätzliches 10-dB-Dämpfungsglied stellen das um insgesamt 40 dB gedämpfte Ausgangssig-

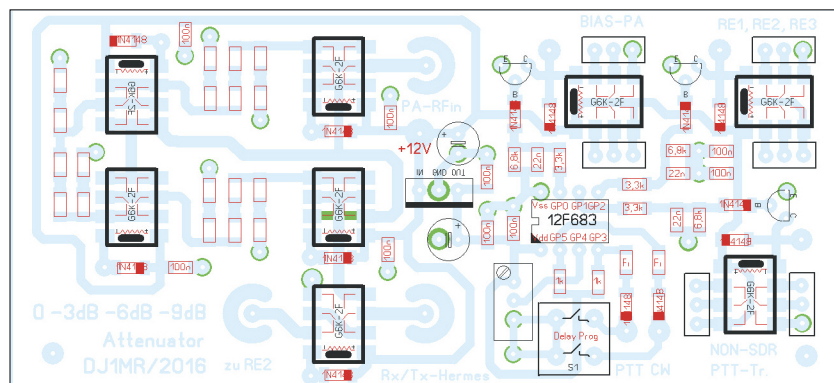
nal für die *Predistortion*-Funktionalität der *PowerSDR*-Software zur Verfügung. Dieses Signal wird im *Hermes*-Transceiver noch einmal um 30 dB gedämpft. Die mittels Schottky-Dioden BAT43 gleichgerichteten HF-Signale beider Flussrichtungen werden einem Vierfach-OPV LM324 zugeführt, der auch die Sample-and-Hold-Glieder für eine echte PEP- und SWR-Anzeige ansteuert.

Auf der Platine wurden auch die beiden Relais RE2 und RE3 (PA-Ausgangsrelais und Antennenrelais) untergebracht. HF-Ein- und -Ausgang sind jeweils mit einem Kondensator geringer Kapazität (2 ... 3 pF) bis 50 MHz kompensiert.

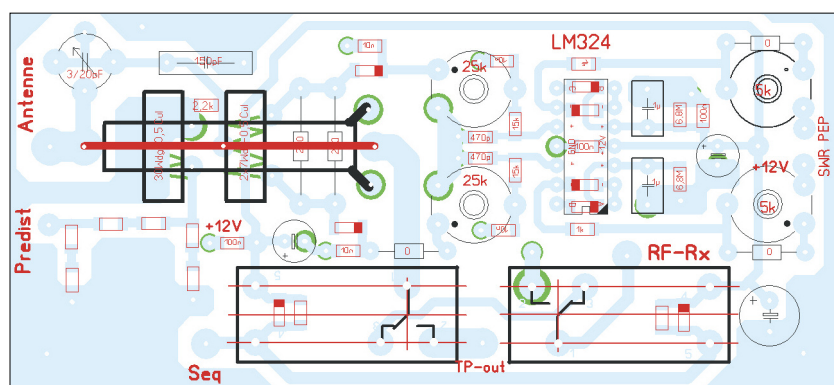
Bild 38 zeigt das Platinenlayout in den Abmaßen 50 mm × 110 mm und Bild 40 die fertig bestückte Platine. Die SMD-Bauelemente befinden sich auf der Unterseite.

## Literatur und Bezugsquellen

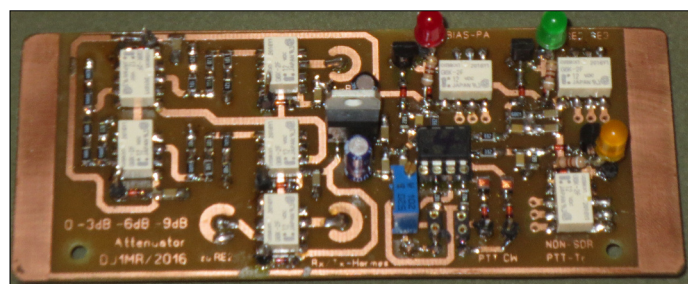
- [10] Hochstätter, B., DL6NBS: Sequenzer. <http://dl6nbs.homepage.t-online.de> → Sequenzer
- [11] Hisch, J., DJ7AW: Leistung ist nicht gleich Leistung. CQDL 76 (2004) H. 10, S. 712–715



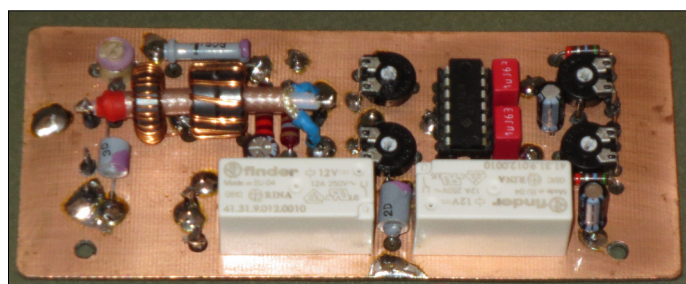
**Bild 37:**  
Bestückungsplan  
für den Sequenzer  
und das Eingangs-  
Dämpfungsglied  
der Endstufe



**Bild 38:**  
Platinenlayout des  
Richtkopplers und  
der PEP/SWR-  
Schaltung



**Bild 39:** Bestückte Platine mit Sequenzer und Eingangs-Dämpfungsglied



**Bild 40:** Richtkoppler und PEP/SWR-Schaltung nach DJ7AW [11]  
Fotos und Screenshots: DJ1MR