



# HF-Dämpfungsglied SA 7000

## 63 dB/1dB-Einstellschritte/1 GHz

## Teil 1

**Mit dem HF-Dämpfungsglied lassen sich definierte Dämpfungswerte im Bereich von 0 dB bis 63 dB einstellen. Mit 1dB-Einstellschritten, einem weiten Frequenzbereich von DC bis in den GHz-Bereich und einer komfortablen Mikrocontroller-Steuerung ist dieses Gerät überall dort einsetzbar, wo eine einfache und präzise Einstellung eines HF-Pegels notwendig ist.**

### Allgemeines

Die Signalverstärkung und -dämpfung gehört zu den grundlegenden Bearbeitungen analoger Signale. Vor allem in der Hochfrequenz-Meßtechnik ist ein Dämpfungsglied ein oft benötigtes Hilfsmittel. So beruht z. B. die Einstellung von HF-Pegeln in der Regel auf der präzise einstellbaren Dämpfung eines konstanten HF-Pegels. HF-Verstärker und HF-Dämpfungsglied werden so kombiniert, daß mittels Verstärker der maximal benötigte Ausgangspegel erzeugt wird. Eine Pegelregelung hält diesen Wert über der Frequenz konstant. Der variable Ausgangspegel wird dann mit einem Präzisionsdämpfungsglied erzeugt. Diese Vorgehensweise findet man in nahezu allen HF-Generatoren wieder.

Da im HF-Bereich im allgemeinen nur im logarithmischen Maß gearbeitet wird, ist auch ein Dämpfungsglied in dieser Einheit geeicht. Pegelinstellungen in 1dB-Schritten sind dabei üblich.

Die präzise Einstellung von HF-Signalpegeln wird in der HF-Meßtechnik oft benötigt. So ist ein variabler Pegel z. B. beim Ausmessen von Verstärkerdaten unumgänglich. Von der Überprüfung der Verstärkungs-

linearität bis hin zur Ermittlung des 1dB-Kompressionspunktes ist der Einsatz eines solchen Step-Attenuators erforderlich. Auch das bei HF-Verstärkern übliche Ausmessen des Intercept-Punktes 3. Ordnung erfordert eine Variation des HF-Eingangspiegels.

Neben dem Ausmessen von HF-Komponenten, wie z. B. Mischer und HF-Verstärker, kann das ELV-HF-Dämpfungsglied auch zur pegelgenauen Ansteuerung von HF-Endstufen eingesetzt werden. Ein weiterer Einsatzbereich ist das Ausmessen der Empfindlichkeit von HF-Empfängern. Durch die präzise Verringerung des Sendepiegels mit Hilfe eines Dämpfungsgliedes, kann die Eingangsempfindlichkeit des Empfängers bestimmt werden. Neben diesen vorgestellten Anwendungsgebieten sind weitere mögliche Einsatzbereiche denkbar. Das ELV-HF-Dämpfungsglied findet überall dort Anwendung, wo eine einfache und präzise Veränderung eines Signalpegels über einen weiten Frequenzbereich notwendig ist.

Die Installation des SA 7000 ist sehr einfach: Das Gerät wird direkt in die HF-Signalleitung eingeschleift. Die Abschwächung des Eingangssignals um den eingestellten Dämpfungswert erfolgt mit Hilfe angepaßter  $\pi$ -Glieder. Diese einzelnen, spe-

ziell ausgelegten Dämpfungsstufen sorgen dafür, daß die am Eingang angeschlossene Signalquelle immer den für Leistungsanpassung notwendigen 50 $\Omega$ -Lastwiderstand „sieht“. Neben dieser Eingangsanpassung ist auch die ausgangsseitige Anpassung eine wichtige Voraussetzung für die optimierte Wirkung. Für die am Dämpfungsglied angeschlossene Last besitzt die Quelle, die in diesem Fall das SA 7000 einschließt, weiterhin einen 50 $\Omega$ -Innenwiderstand. Somit ist, unabhängig von der eingestellten Dämpfung, immer Leistungsanpassung gewährleistet. Diese Anpassung der Schaltung auf den in der Hochfrequenztechnik üblichen 50 $\Omega$ -System-Wellenwiderstand gewährleistet die exakte Dämpfungseinstellung über den gesamten Frequenzbereich.

Da eine Signaldämpfung im Prinzip eine Umwandlung der eingespeisten HF-Energie in Wärme ist, ergibt sich auch ein maximaler Eingangspegel für das Gerät, der nicht überschritten werden darf. Dieser liegt bei +25 dBm, entsprechend 316 mW (4,87 V an 50  $\Omega$ ). Dieser Wert reicht in der Regel aus, um nahezu alle Anwendungen abzudecken.

Auch der realisierte Frequenzbereich gewährleistet die universelle Einsetzbar-

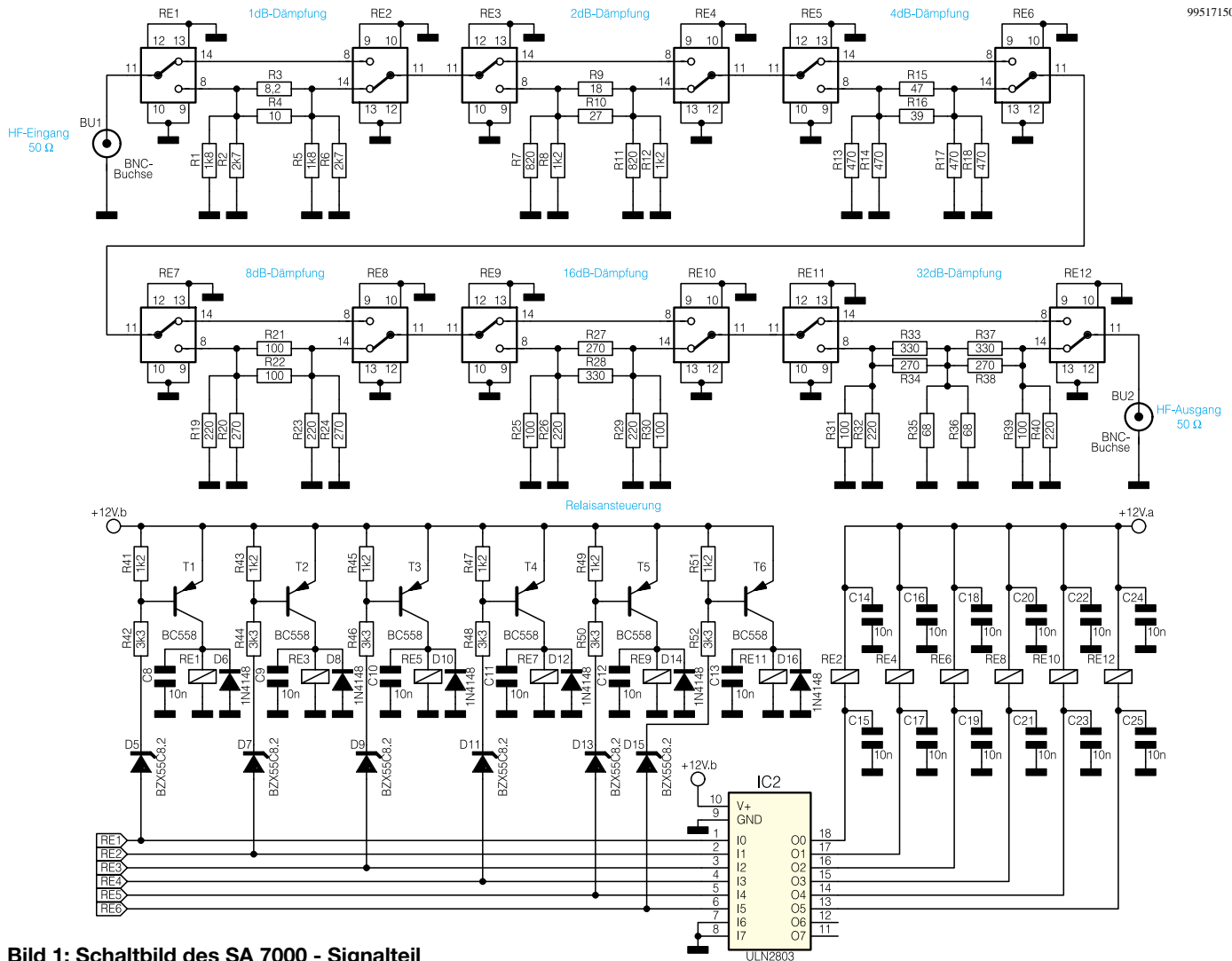


Bild 1: Schaltbild des SA 7000 - Signalteil

keit des SA 7000. Aufgrund der Auslegung als passives Dämpfungsglied und den Verzicht auf Koppelkondensatoren beginnt der Arbeitsbereich bereits bei Gleichspannung (DC) und erstreckt sich durch die Verwendung spezieller HF-Relais bis in den GHz-Bereich.

Um die Bedienung so komfortabel wie möglich zu gestalten, erfolgt die Steuerung des Dämpfungsgliedes mittels Mikrocontroller. Bei der Einstellung der Dämpfung lassen sich die 10er- und die 1er-Stelle mittels „Up“- und „Down“-Tasten getrennt ändern. So kann die gewünschte Dämpfung innerhalb des weiten Bereiches von 0dB bis 63 dB mit einer minimalen Schrittweite von 1 dB schnell und unproblematisch eingestellt werden.

### Schaltung

Die Schaltung des ELV-HF-Dämpfungsgliedes ist in den beiden Abbildungen 1 und 2 dargestellt. Der in Bild 1 gezeigte Signalteil beinhaltet alle Bauteile, die zur Signaldämpfung beitragen, während in Bild 2 die Steuerung mit dem Mikrocontroller und das Netzteil zu sehen sind.

Das an der HF-Eingangsbuchse BU 1 eingespeiste HF-Signal gelangt auf die in Reihe geschalteten einzelnen Dämpfungsglieder. Je nachdem ob das Dämpfungsglied ein- oder ausgeschaltet ist, erfolgt mit den HF-Relais RE 1 bis RE 12 die Auswahl des Signalweges. Nachdem das HF-Signal alle erforderlichen Dämpfungsstufen durchlaufen hat, steht es am HF-Ausgang BU 2 entsprechend pegelreduziert zur Verfügung.

Bei nicht aktiver Dämpfung sind die Relais so geschaltet, daß der obere Signalweg zwischen den Relais aktiv ist. Die beiden für das Schalten des jeweiligen  $\pi$ -Dämpfungsgliedes verantwortlichen Relais sind in diesem Fall über eine 50 $\Omega$ -Leiterbahn miteinander verbunden, es wirkt nur die Einfügungsdämpfung der Relais. Aufgrund der Verwendung hochwertiger HF-Relais, kann dieser Wert klein gehalten werden.

Die jeweilige Dämpfung wird mit den jeweils im unteren Zweig zwischen den Relais gezeichneten Widerständen realisiert. Bei der Dimensionierung der Widerstände sind zwei Parameter zu berücksichtigen. Zum einen muß bei gegebener Schal-

tungsauslegung der Dämpfungswert erzeugt werden, zum anderen ist der Systemwellenwiderstand einzuhalten. Für die Widerstandsdimensionierung ergeben sich so folgende Bestimmungsgleichungen:

$$R1 = \frac{Z_w}{\tanh\left(\frac{a}{2}\right)} \quad (\text{Gl. 1})$$

$$R2 = Z_w \cdot \sinh(a) \quad (\text{Gl. 2})$$

Dabei ist der Systemwellenwiderstand  $Z_w = 50 \Omega$  und  $a$  die Dämpfung in Neper, die wie folgt aus dem dB-Wert berechnet wird:

$$a \approx \frac{a_{dB} / dB}{8,686} \quad (\text{Gl. 3})$$

Die für die Erzeugung eines bestimmten Dämpfungswertes benötigten Widerstandswerte sind keine Standardwerte aus der E24-Reihe. Um dennoch mit Standardbauteilen die richtige Dämpfung erzeugen zu können, ist durch die Parallelschaltung von je zwei Widerständen der korrekte Wert realisiert. Weiterhin bringt die Zusammenschaltung von Widerständen den Vorteil der höheren Verlustleistung dieser Kombi-

**Bild 2:**  
Schaltbild des  
SA 7000 - Digital- und  
Netzteil

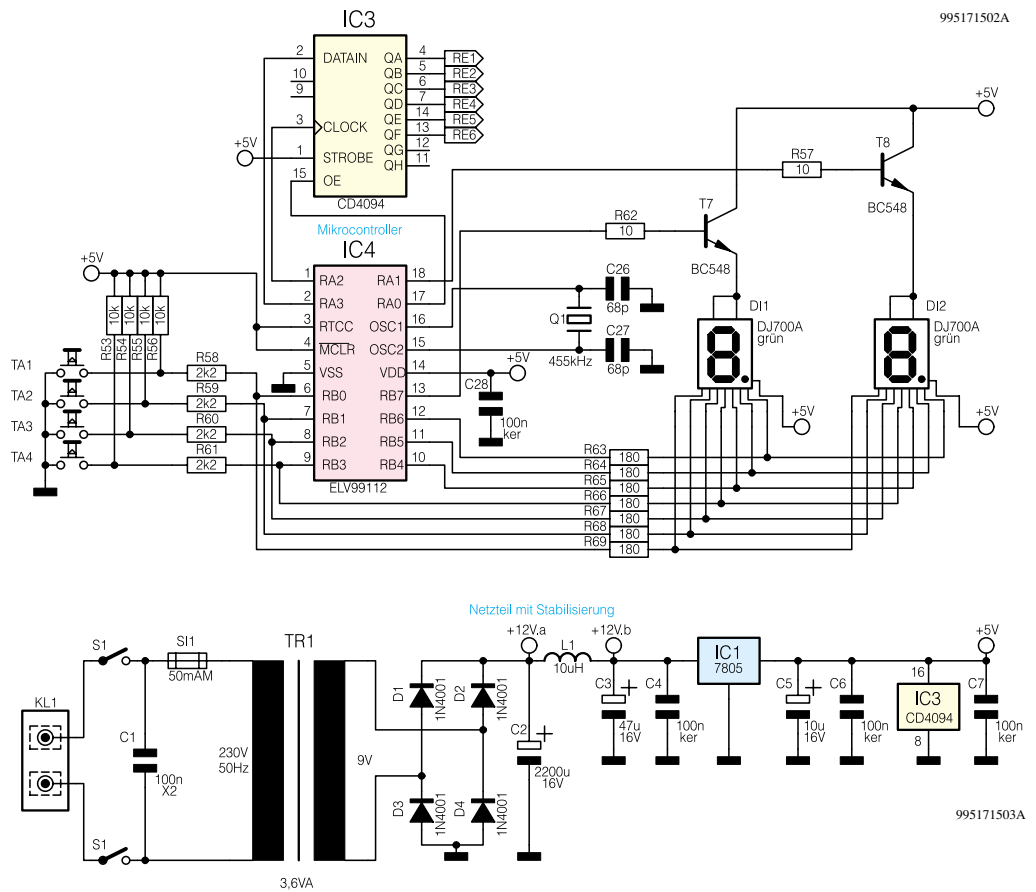
nationen. Nur so kann auch der hohe maximale HF-Signaleingangspegel von +25 dBm gewährleistet werden.

Die sich aus obiger Berechnung ergebenden Bauteilwerte gelten strenggenommen nur für Gleichspannung. Aber auch bis hin zu einigen MHz kann mit diesen Werten gearbeitet werden. Bei höheren Frequenzen kommen dann die parasitären Effekte der Bauteile zum Tragen. Die hier eingesetzte Dimensionierung weicht daher in geringem Maße von den theoretischen Werten ab, um diesen parasitären Bauteileigenschaften Rechnung zu tragen.

Die Dämpfung von 63 dB wird mit Hilfe von 6 Dämpfungsgliedern erzeugt. Da 1dB-Einstellschritte gefordert sind, ist dies auch die minimale Anzahl an Dämpfungsstufen mit denen dieser Wert erreichbar ist. Diese Tatsache legt dann auch automatisch den Dämpfungswert für jede  $\pi$ -Schaltung fest. Die resultierende binäre Abstufung beinhaltet folgende Werte 1 dB, 2 dB, 4 dB, 8 dB, 16 dB und 32 dB. Durch die Kombination dieser Stufen lassen sich dann alle Dämpfungswerte von 0 dB bis 63 dB in 1dB-Schritten einstellen.

Die Realisierung der Dämpfungswerte von 1 dB bis 31 dB ist mit einfachen  $\pi$ -Gliedern möglich. Bei höheren Dämpfungswerten wird die 32dB-Dämpfungsstufe eingeschaltet. Um hier den Dämpfungswert über den Frequenzbereich gewährleisten zu können, ist diese in einer Doppel- $\pi$ -Schaltung mit je 16 dB aufgebaut. Zur Verbesserung der Dämpfungswerte im oberen Frequenzbereich sind die beiden Teildämpfungsglieder noch durch ein Abschirmblech voneinander getrennt, um so die Kopplung vom Eingang auf den Ausgang zu minimieren.

Einen wesentlichen Einfluß auf die Dämpfungseigenschaften haben die Umschaltelemente. Daher kommen hier hochwertige HF-Relais zum Einsatz, die sich durch eine kleine Einfügungsdämpfung und eine große Übersprechdämpfung auszeichnen. So ist ein ebener Frequenzgang im ein- und ausgeschalteten Zustand des Dämpfungsgliedes gewährleistet. Bei der Realisierung der gewünschten Dämpfung



stellen die Versorgungs- und Schaltspannungen der Relais eine kritische Verbindung der Dämpfungsglieder untereinander dar. Diese Leitungen sind mit einer zusätzlichen Blockung versehen, damit hier keine undefinierten Signalwege für das hochfrequente Signal entstehen.

Um die Bedienung komfortabel gestalten zu können, erfolgt die Ansteuerung der Relais mit Hilfe eines Mikrocontrollers. Dazu dienen die Transistorschaltungen mit T1 bis T6 und der integrierte Baustein IC2 als Treiberstufe. Aus layouttechnischen Gründen werden die Relais RE1, RE3, RE5, RE7, RE9 und RE11 über die High-Side-Schalter T1 bis T6 geschaltet, während die übrigen Relais über die Low-Side-Treiber in IC2 angesteuert werden. Um mit den TTL-Pegel kompatiblen Steuerspannungen „RE1“ bis „RE6“ die 12V-Relais schalten zu können, ist mit den Z-Dioden D5, D7, D9, D11, D13 und D15 eine Anpassung implementiert. Die Verbindung zum steuernden Mikrocontroller erfolgt über das Schieberegister IC3 (Abbildung 2).

Die Bedienung des ELV-HF-Dämpfungsgliedes gestaltet sich sehr einfach. Die Tasten TA1 bis TA4 sind direkt unter den zugehörigen 7-Segment-Anzeigen angeordnet. Mit ihnen wird der gewünschte Dämpfungswert mittels der Funktionen „Up“ und „Down“ für jede Stelle getrennt gewählt. Die Tastenbetätigung wird über

die Portpins RB0 bis RB3 abgefragt. Wird ein Tastendruck registriert, berechnet der Controller die einzustellende Dämpfung und schiebt anschließend diesen Wert in das 8-Bit-Schieberegister IC3.

Gleichzeitig mit der Änderung des Dämpfungswertes erhält auch die Anzeige die veränderte Information. Der aktuelle Wert wird dabei auf den beiden 7-Segment-Anzeigen dargestellt. Die Ansteuerung dieser Anzeigen erfolgt im Multiplexbetrieb. Mit den Transistoren T7 und T8 erfolgt die Auswahl der 7-Segment-Anzeige, die Portpins RB0 bis RB6 steuern dann die Segmente entsprechend an.

Zur Spannungsversorgung besitzt das HF-Dämpfungsglied ein integriertes Netzteil. Die 230V-Netzspannung wird über den Transformator reduziert und mittels Gleichrichter und Elektrolyt-Kondensator zu einer 12V-Gleichspannung konvertiert. Mit dieser Spannung werden die HF-Relais angesteuert.

Anschließend erfolgt mit dem Spannungsregler IC1 die Stabilisierung für das Digitalteil auf +5 V. Ohne anliegende Betriebsspannung befinden sich die Relais in ihrer eingezeichneten Stellung, d. h. die Schaltposition der Relais entspricht keinem definierten Dämpfungswert. Damit ist die Schaltungsbeschreibung abgeschlossen und es folgen im nächsten Artikel die Erläuterungen zum Nachbau des ELV-HF-Dämpfungsgliedes. **ELV**