

White Paper No. 6

Mehr Spannung und Strom

1 Mehrfach-Verstärker-Systeme

Mit den Verstärkern der A1110-X-X Familie können Mehrfach-Verstärker-Systeme für höhere Ausgangsspannungen und Ausgangsströme aufgebaut werden. Erreicht wird diese Leistungssteigerung durch den parallelen und / oder seriellen Betrieb mehrerer adäquater Verstärkermodelle.

| Model | parallel | seriell | U_{out_max} | I_{out_max} | Slew rate | $I_{out_pulse}^*$ |
|------------|----------|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|
| A1110-5-X | 2 | | 75 V _{peak} | 21 A _{peak} | 100 V/μs | |
| A1110-5-X | 3 | | 75 V _{peak} | 30 A _{peak} | 100 V/μs | |
| A1110-5-X | 4 | | 75 V _{peak} | 40 A _{peak} | 100 V/μs | |
| A1110-5-X | | 2 ¹ | 150 V _{peak} | 10 A _{peak} | 175 V/μs | |
| A1110-5-X | | 2 | 150 V _{peak} | 10 A _{peak} | 175 V/μs | |
| A1110-5-X | | 3 | 225 V _{peak} | 10 A _{peak} | 250 V/μs | |
| A1110-5-X | 2 | 2 | 150 V _{peak} | 21 A _{peak} | 175 V/μs | |
| A1110-16-X | 2 | | 75 V _{peak} | 55 A _{peak} | 100 V/μs | 105 A _{peak} |
| A1110-16-X | 3 | | 75 V _{peak} | 81 A _{peak} | 100 V/μs | 160 A _{peak} |
| A1110-16-X | 4 | | 75 V _{peak} | 105 A _{peak} | 100 V/μs | 200 A _{peak} |
| A1110-16-X | | 2 ¹ | 150 V _{peak} | 26 A _{peak} | 175 V/μs | 55 A _{peak} |
| A1110-16-X | | 2 | 150 V _{peak} | 26 A _{peak} | 175 V/μs | 55 A _{peak} |
| A1110-16-X | | 3 | 225 V _{peak} | 26 A _{peak} | 250 V/μs | 55 A _{peak} |
| A1110-16-X | 2 | 2 | 150 V _{peak} | 55 A _{peak} | 175 V/μs | 105 A _{peak} |

Tabelle 1: Combinations of A1110-X-X Amplifiers
 (2¹: differential configuration; pulse=500 ms/DT=5%, only at 16-E and 16-QE models)

Die Tabelle 1 zeigt mögliche Kombination und die jeweils erreichbaren Ausgangsspannungen und Ströme. Weitere Kombinationen prüfen wir gerne auf Anfrage.

Für den sicheren Betrieb sind zu beachten:

- nur gleiche Verstärkermodelle benutzen
- Verkabelungshinweise und Kabelspezifikationen für eine stabile Signalverarbeitung
- ausreichende Netzversorgung sicherstellen
- Berührungsschutz an den Leistungsausgängen, es können lebensgefährliche Spannungen auftreten

Die folgenden Abschnitte erläutern prinzipiell den Aufbau und die nötigen Anpassungen von Verstärker-Systemen in der Betriebsart „Spannungsverstärker“. Grundsätzlich sind auch Mehrfach-Verstärker-Systeme in dem Modus „Stromverstärker“ möglich. Dies erfordert jedoch eine, entsprechend der konkreten Applikation, individuelle Konfiguration der einzelnen Verstärker und ist somit nicht Teil der folgenden Ausführungen. Bitte kontaktieren Sie uns im Bedarfsfall. Gerne sind wir Ihnen bei der Realisierung eines Mehrfach-Verstärkersystems für Ihre spezifischen Anforderungen behilflich.

2 Strom erhöhen: Parallelbetrieb

Durch die Parallelschaltung zweier identischer Spannungsquellen, wie z.B. Batterien in der Abbildung 1, verdoppelt sich der verfügbare Strom. Die maximal erreichbare Ausgangsspannung entspricht dabei dem Wert der einzelnen Spannungsquelle.

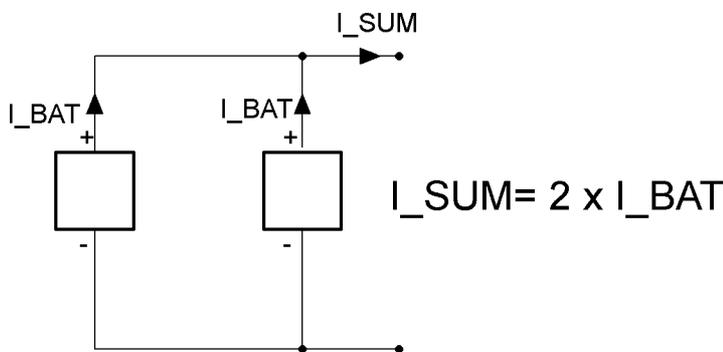


Abbildung 1: Two Batteries in Parallel Operation

Nach diesem Prinzip können auch die A1110-X-X Verstärker parallel geschaltet werden um den Ausgangsstrom zu erhöhen. Welche Schritte dazu nötig sind, wird nachfolgend am Aufbau eines 2-Verstärker-Parallel-Systems erläutert. Da zwei Verstärker sich naturgemäß nicht exakt gleichen, sind die Ausgangsspannungen auch unterschiedlich. Die Quelle mit der höheren Spannung liefert mehr Strom als die Quelle mit der niedrigeren Spannung. Mit sogenannten Symmetriewiderständen in den Leistungsausgängen wird diese Asymmetrie gedämpft und eine „gerechte“ Stromaufteilung gewährleistet. Weiterhin müssen die Verstärkerparameter DC-Offset und Gain auf Übereinstimmung geprüft und gegebenenfalls justiert werden (eine Kalibrieranweisung für das entsprechende Verstärkermodell ist auf Anfrage erhältlich).

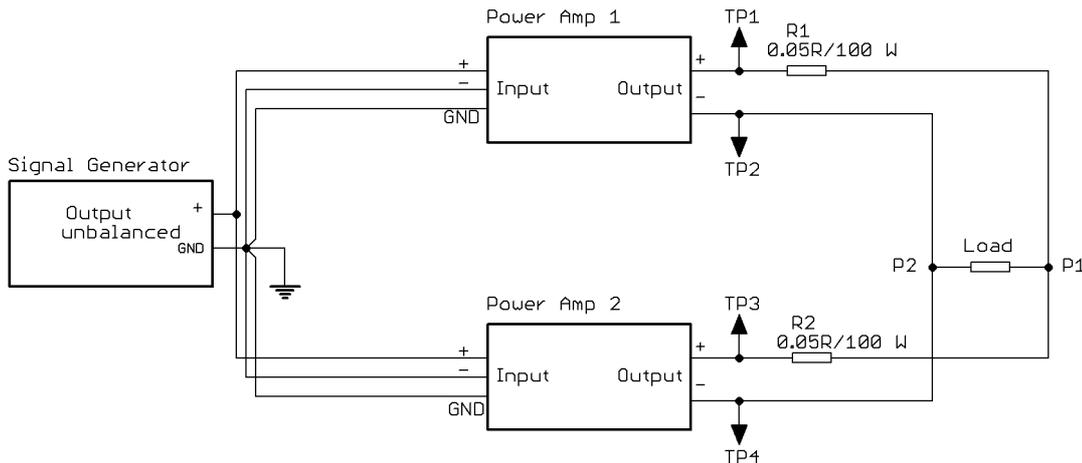


Abbildung 2: Amplifier System in Parallel Operation

Die Abbildung 2 zeigt den Aufbau eines 2-Verstärker-Parallel-Systems. Die folgende Prozedur beschreibt die nötigen Anpassungen für einen stabilen Betrieb des Systems:

- a) Verstärker an das Stromnetz anschließen; Eingänge und Ausgänge nicht beschalten.
- b) DC-Offset prüfen:
 Verstärker einschalten (amplifier on); 15 min warm laufen lassen; mit einem Multimeter die DC-Offset Spannungen an den Verstärkerausgängen zwischen den Punkten TP1 und TP2 bzw. TP3 und TP4 messen. Die Spannung sollte $< 1 \text{ mV}$ bei jedem Verstärker sein. Im anderen Fall muss kalibriert werden.
- c) Gain prüfen:
 Verstärker „muten“; einen Signalgenerator mit beiden Verstärkereingängen verbinden (wie in Abbildung 2); DC-Signal mit einer Amplitude von 1 V_{DC} einstellen; Verstärker „unmuten“; mit dem Multimeter 10 V_{dc} zwischen den Punkten TP1 und TP2 bzw. TP3 und TP4 messen. Bei einer Abweichung größer $\pm 10 \text{ mV}$ muss kalibriert werden.
- d) Verifizierung der Stromaufteilung:
 Verstärker „muten“; die Symmetriewiderstände R1 und R2 mit den Verstärkern und der Last entsprechend Abbildung 1 verbinden (die nötigen Kabeldurchmesser beachten; minimale und gleiche Kabellängen verwenden); Multimeter an die Punkte TP1 und TP3 anschließen; Verstärker „unmuten“; die DC-Amplitude am Signalgenerator von 0 Volt langsam bis zum, der Applikation entsprechend, maximalen Pegel hoch regeln. Dabei die Spannung am Millivoltmeter beobachten. Bei korrektem DC-Offset und Gain sollte die Spannung nicht größer als 100 mV sein. Im anderen Fall die Schritte b) und c) nochmal prüfen bzw. die Verstärker kalibrieren.

Nach erfolgreicher Anpassung ist nun das 2-Verstärker-Parallel-System betriebsbereit. Entsprechend ist die Vorgehensweise bei größeren Systemen.

3 Spannung erhöhen: Serienbetrieb

Das Pendant zur Parallelschaltung ist die Reihenschaltung zweier identischer Spannungsquellen, siehe Abbildung 3. Die Spannung verdoppelt sich und der maximal erreichbare Ausgangsstrom entspricht dabei dem Wert der einzelnen Spannungsquelle.

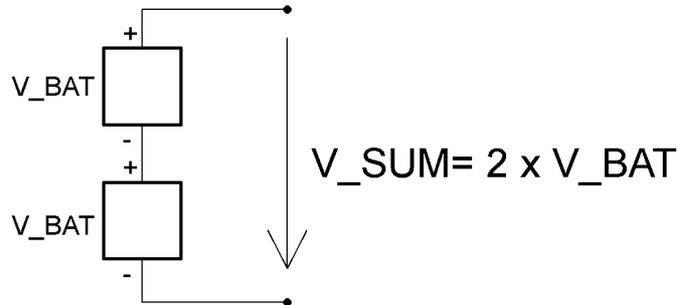


Abbildung 3: Two Batteries in Serial Configuration

Bei einem System mit 2 Verstärkern gibt es unterschiedliche Betriebsarten.

3.1 „Differential“-Betrieb

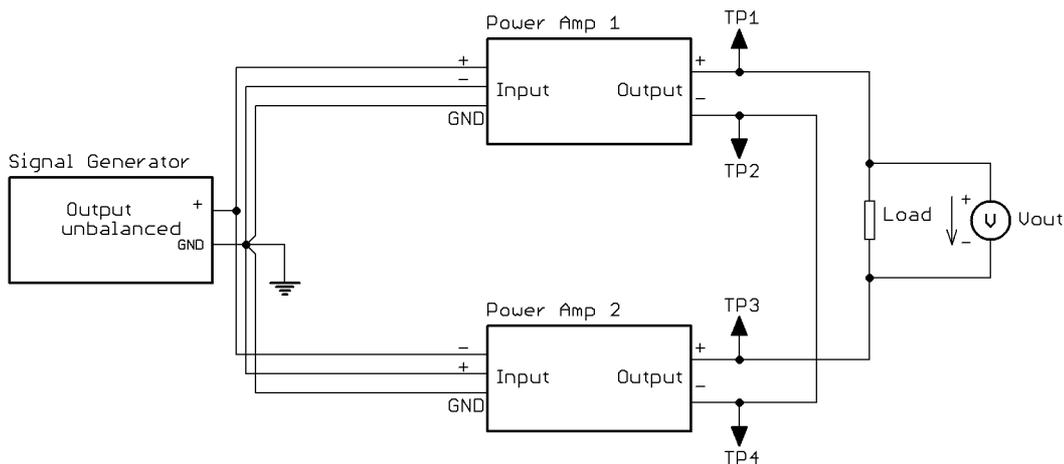


Abbildung 4: Differential Operation

Die Abbildung 4 illustriert den „Differential“ Betrieb zweier Verstärker, auch „Brückenbetrieb“ genannt. Die Last hat keinen Bezug zur Signalmasse; sie „schwebt“ zwischen den (+) Ausgängen der Verstärker. Diese Konfiguration ist ohne weiteres Zubehör mit jedem Modell aus der A1110-X-X Familie schnell und betriebssicher aufzubauen.

Für einen stabilen Betrieb sind die Verstärkerparameter Gain und DC-Offset bei den beteiligten Geräten zu prüfen:

- a) Verstärker an das Stromnetz anschließen; Eingänge und Ausgänge nicht beschalten.
- b) DC-Offset prüfen:

Verstärker einschalten; 15 min warm laufen lassen; mit einem Multimeter die DC-Offset Spannungen zwischen den Punkten TP1 und TP2 bzw. TP3

und TP4 messen. Die Spannung sollte $< 2 \text{ mV}$ bei jedem Verstärker sein. Weichen die Werte zu stark ab, muss kalibriert werden.

c) Gain prüfen:

Verstärker „muten“; einen Signalgenerator mit beiden Verstärkereingängen verbinden; DC-Signal mit einer Amplitude von 1 V_{DC} einstellen; Verstärker „unmuten“; mit dem Multimeter 10 V_{DC} zwischen den Punkten TP1 und TP2 bzw. TP3 und TP4 messen. Bei einer Abweichung größer $\pm 10 \text{ mV}$ muss kalibriert werden.

3.2 „Single Ended“-Betrieb

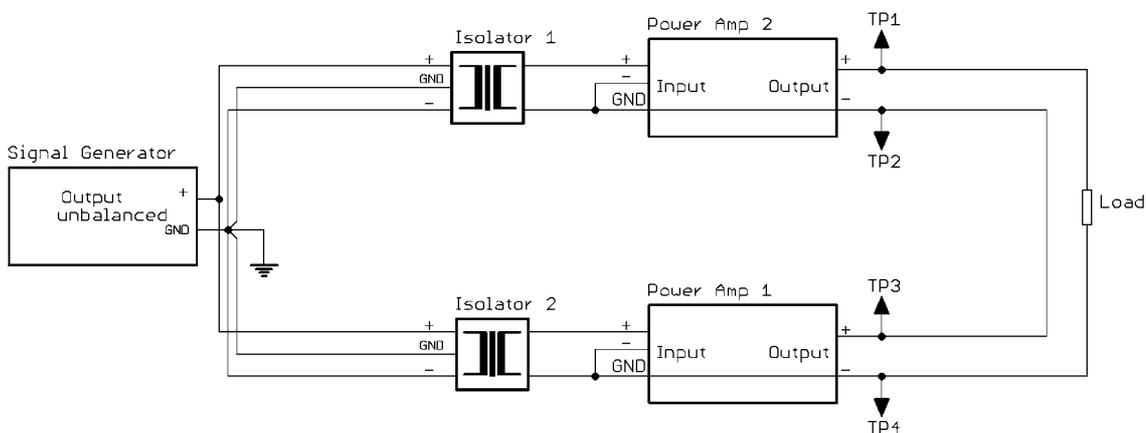


Abbildung 5: Single Ended Operation

Die Abbildung 5 zeigt den „Single-Ended“-Betrieb mit zwei Verstärkern. Hier ist die Last mit der Signalmasse über den (-)- Ausgang von Verstärker 1 verbunden: die Ausgangsspannung ist damit „massebezogen“. Da der (-)-Ausgang von Verstärker 2, also seine Signalmasse, mit dem (+)-Ausgang von Verstärker 1 verbunden ist, müssen die unterschiedlichen Signalmassen bzw. Bezugspotentiale mit einem Isolationsverstärker (Isolator) getrennt werden. Das gilt auch für alle anderen Ausgänge (z.B. Voltage Monitor Out)!

Bei dieser Betriebsart „schwebt“ nicht die Last, wie beim „Differential“-Betrieb, sondern der Verstärker 2. Aus Gründen des geforderten identischen Übertragungsverhalten aller beteiligten Verstärker, ist für den Verstärker 1 auch ein Isolationsverstärker vorgesehen.

Systeme mit mehr als zwei Verstärkern müssen immer im „Single-Ended“-Betrieb aufgebaut werden.

Auch hier sind Gain und DC-Offset vor der finalen Inbetriebnahme wie unter 3.1 zu prüfen.

4 Strom und Spannung erhöhen: Parallel- und Serienbetrieb

Die Kombination von jeweils zwei parallel und seriell geschalteter identischer Spannungsquellen, wie beispielhaft in Abbildung 6 skizziert, ergibt den doppelten Ausgangsstrom bei doppelter Ausgangsspannung.

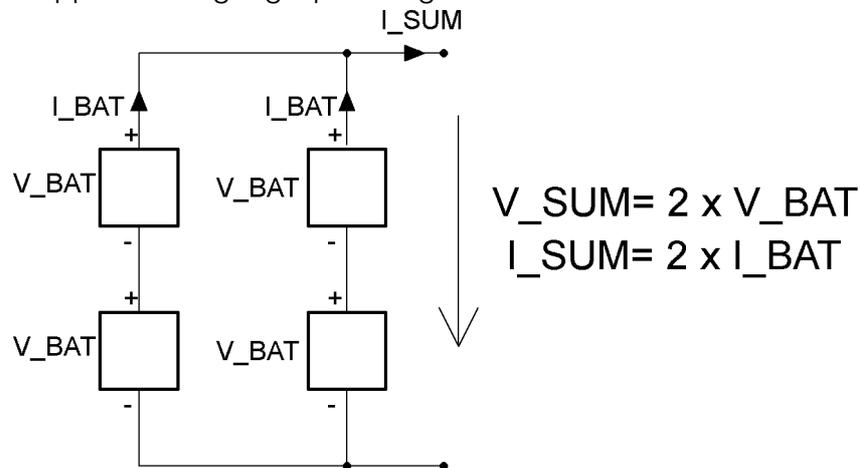


Abbildung 6: Serial und Parallel Operation

Die Abbildung 6 zeigt ein System mit 4 Leistungs- und 4 Isolations-Verstärkern im kombinierten Seriell- und Parallelbetrieb.

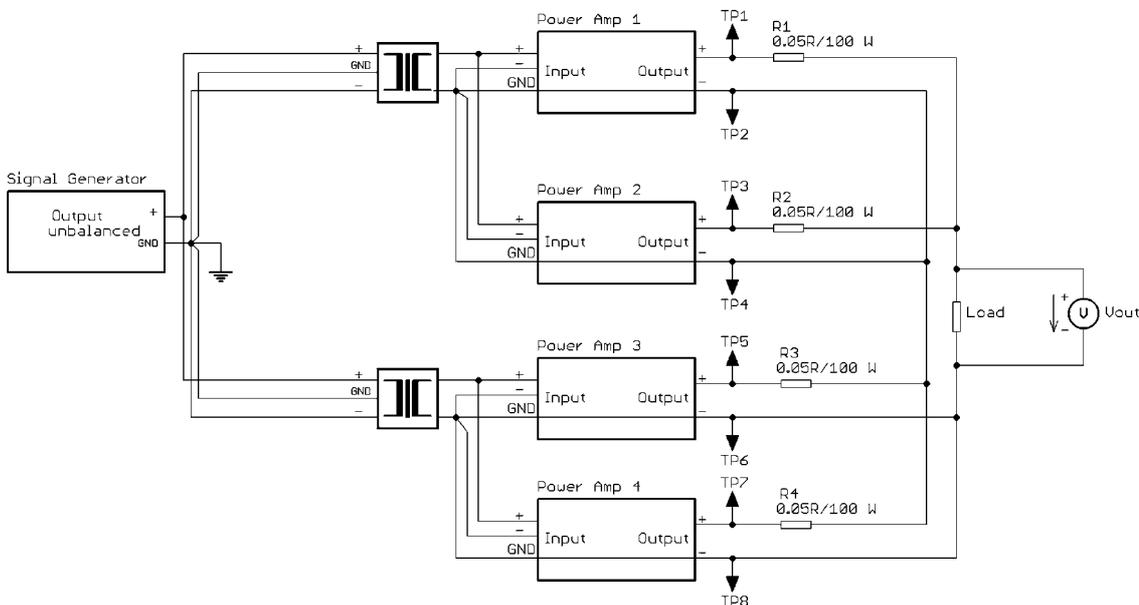


Abbildung 7: Two-Parallel / Two Series Single Ended Amplifier System

Die für den stabilen Betrieb wichtigen Größen DC-Offset und Gain sind, wie in den Kapiteln 2 und 3.2 beschrieben, bei jedem „Teilnehmer“ zu überprüfen. Die Inbetriebnahme sollte nach sorgfältiger Verkabelung mit kleinen Signalpegeln (z.B. 100 mV/1 kHz) beginnen. Eine visuelle Qualitätsprüfung der Ausgangsspannung wäre hilfreich, um mögliche, ungewollte Schwingneigung des Systems zu erkennen.

Es können an dieser Stelle sicherlich nicht alle möglichen Probleme beim Betrieb der Vielfach-Verstärkersysteme angesprochen werden.

Aber: Unsere Unterstützung ist nicht weiter entfernt als Ihr Telefon!

5 Kabel und mehr

5.1 Ausgangsverdrahtung

Ein wichtiger Aspekt beim Aufbau, und letztlich für den stabilen Betrieb, eines Mehrfach-Verstärker-Systeme sind die benötigten Kabel. Sie müssen bezüglich Durchmesser, Länge und Isolation den zu erwartenden Strömen und Spannungen entsprechen.

| Continuous Current | Area | AWG |
|--------------------|----------------------|-----|
| 21 A | 1,5 mm ² | 16 |
| 29 A | 2,5 mm ² | 14 |
| 38 A | 4,0 mm ² | 12 |
| 49 A | 6,0 mm ² | 10 |
| 67 A | 10,0 mm ² | 8 |
| 90 A | 16,0 mm ² | 6 |
| 119 A | 25,0 mm ² | 3 |

Tabelle 2: Copper Wire Current Carrying Capacity in Free Air @ 25°C AT

In der Tabelle 2 sind einige Kabelquerschnitte mit ihrer maximalen Strombelastbarkeit für zweiadrige, frei verlegte Leitungen (z.B. auf Wänden/Decken oder in Kabelwannen) mit PVC-Isolierung aufgelistet. Bei Verwendung einadriger Kabel sollten diese bestmöglich verdrillt werden (Induktivität minimieren).

Die Kabel in allen Fällen so kurz wie möglich mit gleicher Länge wählen; ein wichtiger Aspekt bei dem Mehrfach-Verstärker-Parallel-System, in dem hohe Ströme von den Summenpunkten der Symmetriewiderstände zur Last fließen können (siehe Abbildung 2: Leitung von P1 bzw. P2 zur Last).

Auch die zulässige Spannungsfestigkeit ist bei der Kabelauswahl von Bedeutung. Besonders bei dem Mehrfach-Verstärker-Seriell-System müssen die Kabelisolierungen den zu erwartenden Spannungen Rechnung tragen.

5.2 Eingangsverdrahtung

Zur Verkabelung der Signaleingänge sind abgeschirmte Leitungen mit niedriger Kapazität (<60 pF/m) eine gute Wahl. Wir empfehlen eine symmetrische Signalführung sternförmig von der Signalquelle zur Reduzierung von möglichen eingestrahnten Störungen (siehe auch White Paper Nr. 4: Balanced Input). Alle Modelle der A1110-X-X Familie verfügen über die notwendigen Eingänge.

5.3 Zubehör

5.3.1 Helfer für die Eingänge

Für den Aufbau eines „Single-Ended“-Verstärker-Systems werden Isolationsverstärker benötigt. Diese sind in folgenden Ausführungen verfügbar:

- A1340-C1; 1-Kanal Isolations-Verstärker für den externen Gebrauch
- Option_05; 1-Kanal Isolations-Verstärker, Nachrüstsatz für den Einbau in die A1110-X-X Familie

5.3.2 Helfer für die Ausgänge

- A1110-16-PX; Anschlussbox für Verstärker-Parallel-Systeme incl. Anschlusskabel und Symmetriewiderstände



Dr. Hubert GmbH
Universitätsstraße 142
44799 BOCHUM
GERMANY
Tel. +49 234 970569-0
Fax. +49 234 970569-29
sales@drhubert.de
www.drhubert.de