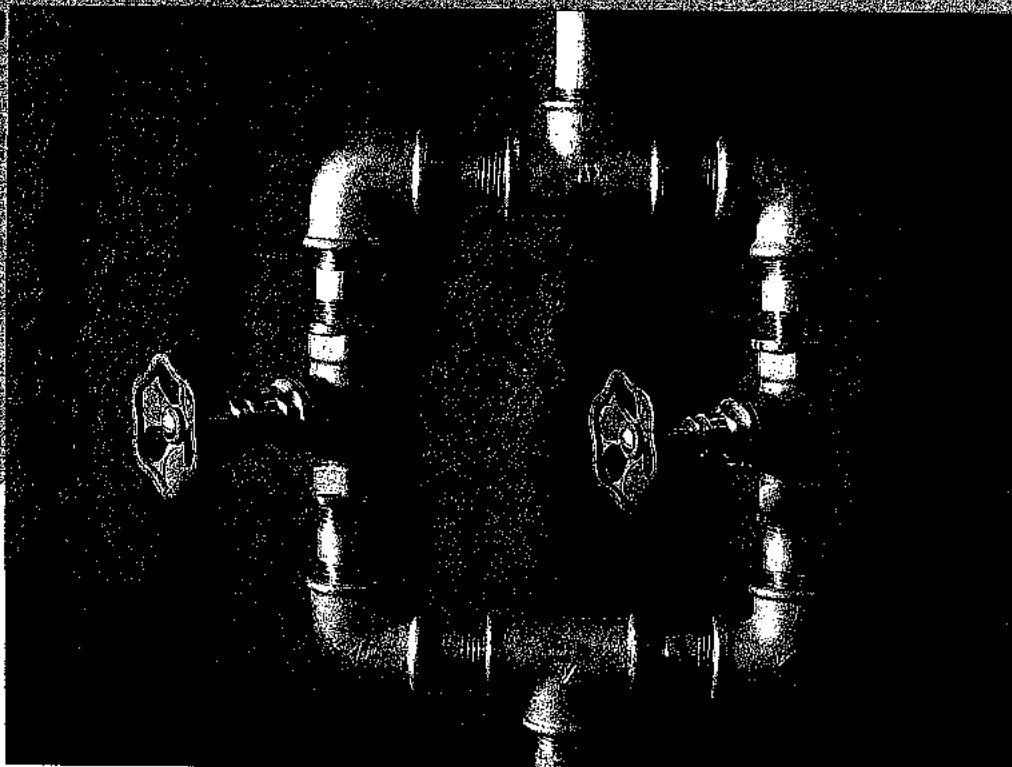


# Class-A-Stabilisation

## Stromversorgung mit Parallelreglern

Stromversorgung



Andreas Schubert

In diesem Beitrag soll eine ungewohnte Art von Spannungsreglern vorgestellt werden, die sogenannten Parallelregler. Sie werden in kommerziellen Geräten gewöhnlich nicht verwendet und tauchen auch nicht in den üblichen Lehrbüchern auf. Hauptgrund für den seltenen Einsatz dieses Reglertyps ist sein geringer Wirkungsgrad. In den letzten Jahren hat der Parallelregler jedoch für Audioanwendungen verstärkt Interesse gefunden, ein Bereich also, in dem eine etwas höhere Verlustleistung nicht so stark ins Gewicht fällt.

Das Blockschaltbild eines gewöhnlichen Serienreglers ist in Bild 1 wiedergegeben. Ein Netztransformator stellt zusammen mit Gleichrichterdiode und Ladekondensator die ungestabilisierte Eingangsspannung zur Verfügung. Sie schwankt im gleichen Maße wie die Netzspannung und ist zudem belastungsabhängig. Außerdem enthält sie einen Wechselspannungsanteil, der vom Ausgangsstrom und der Ladekapazität abhängig ist.

Die Aufgabe des Spannungsreglers besteht darin, eine belastungsunabhängige und brummfreie Gleichspannung für die angeschlossene Schaltung, den Verbraucher, bereitzustellen. Zu diesem Zweck arbeitet ein Serienregler mit einem gesteuerten Element, gewöhnlich dem Längstransistor, in Reihenschaltung mit dem Verbraucher. Hinzu kommen noch ein Regelverstärker und eine Referenzspannungsquelle.

Charakteristisch für Serienregler ist, daß die Lastströme im Verbraucher und die Ströme im Regelglied identisch sind. Signalströme, die im angeschlossenen Verstärker umgesetzt werden, müssen also vorher die Re-

gelschaltung durchlaufen. Der Grundgedanke beim Einsatz eines Parallelreglers ist nun, diese Signalströme vom Regelkreis der Spannungsversorgung zu entkoppeln. Man will auf diese Weise ausschließen, daß Rückwirkungen der hohen inneren Gegenkopplung im Längsregler auf das Signal auftreten.

Bild 2 zeigt das Funktionsprinzip. Der Regler liegt hier parallel zum Verbraucher und wird nicht vom Signalstrom durchflossen. Ein Vorwiderstand  $R$  sorgt für den notwendigen Spannungsabfall zwischen ungesteuerter Eingangsspannung und geregelter Ausgangsspannung. Diese Schaltung arbeitet im Grunde also wie eine Z-Diode. Sie hat die Eigenschaft, als Stromsenke zu wirken. Für eine einwandfreie Funktion muß der Parallelregler einen bestimmten eigenen Ruhestrom führen, der Serienregler hingegen liefert immer nur den vom Verbraucher vorgegebenen Laststrom und den ihm überlagerten Signalstrom. Der Parallelregler arbeitet also unwirtschaftlicher, denn in Vorwiderstand und Regelschaltung treten höhere Verluste auf als in der gewohnten Anordnung.

Die bekannte Schaltung einer Z-Diode mit vorgeschaltetem Widerstand stellt, wie bereits angedeutet, den einfachsten Parallelregler dar. Leider reichen Brummunterdrückung und Stromliefervermögen dieser Anordnung in der Praxis nicht aus, so daß man Regelverstärker einsetzen muß.

### Einfache Beispiele

Im einfachsten Falle erhält man zusammen mit nur einem Leistungstransistor bereits eine brauchbare Stabilisierung für Versuchszwecke und unkritische Anwendungen. Die in Bild 3 gezeigte Schaltung liefert an ihrem Ausgang die Summe aus Zenerspannung und Basis-Emitterspannung des Transistors. Der Vorwiderstand  $R1$  muß bei konstanter Ausgangsspannung  $U_a = U_z + U_{be}$  und minimaler Eingangsspannung  $U_{emin}$  den maximal erforderlichen Ausgangsstrom  $I_{amax}$  zusammen mit dem minimalen Zenerstrom  $I_{zmin}$  führen können:

$$R1 = (U_{emin} - U_z - U_{be}) / (I_{amax} + I_{zmin})$$

Als Wert für  $R2$  wählt man

$$R2 = U_{be} / I_{zmin}$$

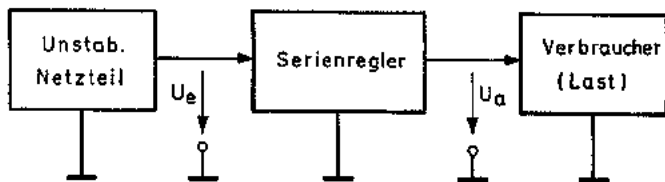


Bild 1. Prinzipschaltung eines Serienreglers.

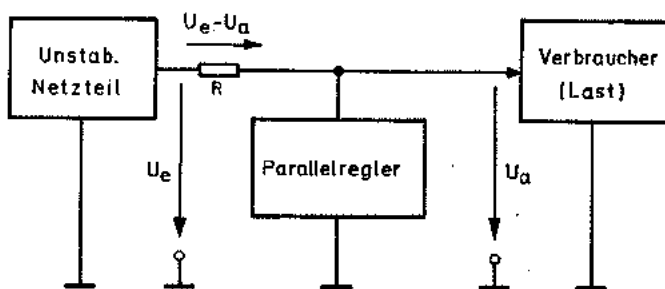


Bild 2. Prinzipschaltbild eines Parallelreglers.

denn über diesen Widerstand muß der Zenerstrom abfließen; dabei stellt sich die Basis-Emitterspannung für T1 ein, die im Falle bipolarer Transistoren etwa 0,6 V...0,7 V beträgt. Die Schaltung kann man entsprechend Bild 4 bei gleichen Eigenschaften mit einem PNP-Transistor aufbauen.

Ausgangswiderstand und Brummunterdrückung werden durch eine Darlington-Schaltung von Transistoren weiter verbessert. In den Bildern 5 und 6 sind zwei komplementäre Beispiele gezeigt, die untereinander gleiche Eigenschaften aufweisen. Der zusätzliche Widerstand R3 dient dazu, den Leistungstransistor T2 schneller sperren zu können, und kann in der Größenordnung von 1 kΩ gewählt werden. Natürlich braucht man hier für T1 keinen Leistungstransistor einzusetzen.

## Schaltungen mit Regelverstärker

Die von Serienreglern gewohnten Stabilisierungsschaltungen kann man mit geringen Änderungen oft auch für Parallelregler anwenden. Bild 7 zeigt ein Beispiel mit einem als Differenzverstärker betriebenen Transistorpaar T1 und T2. Die von der Z-Diode erzeugte Referenzspannung wird dem nichtinvertierenden Eingang der Regelschaltung zugeführt. Am invertierenden Eingang liegt die über R4 und R5 geteilte Ausgangsspannung U<sub>a</sub>. Diese nimmt den Wert

$$U_a = U_z \cdot (1 + R4/R5)$$

an. Die Zenerspannung muß natürlich niedriger als die Aus-

gangsspannung liegen. Durch R6 werden die Kollektorströme I<sub>c</sub> des Differenzverstärkers bestimmt:

$$R6 = (U_z - U_{be}) / 2 \cdot I_c$$

Der so eingestellte Ruhestrom muß hoch genug sein, um den Basisstrom des Regeltransistors T3 liefern zu können. Vorwiderstand R2 legt den Zenerstrom fest. In der Praxis sollte man R4 so groß wie R2 machen. Für R1 gilt immer die Formel aus dem ersten Beispiel, wobei jetzt der zusätzliche Ruhestrom der Regelschaltung hinzutritt:

$$R1 = (U_{emin} - U_a) / (I_{amax} + I_z + 2 \cdot I_c)$$

Bild 8 zeigt eine einfache, aber effektive Anordnung mit einem Operationsverstärker. Die Wirkungsweise entspricht der aus dem vorigen Beispiel, so daß die Formeln sinngemäß verwendet werden können. In der Basisleitung des Leistungstran-

sistors liegen mindestens zwei Dioden D1 und D2 oder eine Z-Diode geringer Spannung, damit der Operationsverstärker aus dem geregelten Ausgang versorgt werden kann. Für Ausgangsspannungen oberhalb von etwa 35 V fügt man in die negative Versorgungsleitung des OpAmps eine Z-Diode ein, um seine Betriebsspannung zu begrenzen. Diese Schaltung weist bei geringem Aufwand gute Regeleigenschaften auf.

## Verbesserte Referenzspannungsquelle

Bekanntlich weisen Leuchtdioden im Vergleich zu Z-Dioden verbesserte Rauscheigenschaften auf. In allen hier dargestellten Schaltungsbeispielen kann die Z-Diode durch eine oder mehrere LEDs in Reihenschaltung ersetzt werden.

Eine andere Möglichkeit zur Erzeugung der Referenzspannung besteht darin, einen Widerstand R von einem Konstantstrom I<sub>r</sub> durchfließen zu lassen, so daß sich eine feste Spannung einstellt. Als Konstantstromquelle kann eine einfache Transistorschaltung wie in Bild 9 dienen. Der durch diese Anordnung gelieferte Strom hat den Wert

$$I_r = (U_{led} - U_{be}) / R_e$$

so daß am Widerstand R die konstante Spannung

$$U_r = R \cdot (U_{led} - U_{be}) / R_e$$

anliegt. Ein solcher Referenzspannungsgeber kann zum Beispiel in der Regelschaltung aus Bild 8 verwendet werden, wo er die Kombination aus R2 und der Z-Diode ersetzt.

## Negative Ausgangsspannungen

Alle beschriebenen Schaltungsbeispiele können auch für negative Ein- und Ausgangsspannungen aufgebaut werden, wenn man NPN- gegen PNP-Transistoren und PNP- gegen NPN-Typen austauscht. Außerdem sind alle Dioden und Elektrolytkondensatoren umzupolen. Die angegebenen Formeln gelten sinngemäß auch für die so gewonnenen komplementären Schaltungen.

Bild 10 zeigt einen Negativregler, der auf diese Weise aus den Anordnungen 8 und 9 hervorgeht. Beim Aufbau muß man auf die richtige Polarität der Betriebsspannungsanschlüsse des OpAmps achten.

## Schaltungsbeispiel

Wenn man eine Stromversorgung mit symmetrischen Ausgängen aufbauen will, kann man eine der vorgestellten Schaltungen mit ihrer Komplementärversion kombinieren. Ein erprobtes Beispiel ist in Bild 11 dargestellt.

Dieser Aufbau liefert zwei mit dem Potentiometer P1 zwischen 10 V und 30 V einstellbare, symmetrische Ausgangsspannungen. Der Ausgangsstrom beträgt maximal 100 mA bei 30 V und 200 mA bei 15 V. Er kann erhöht werden, wenn man den Wert der Eingangswiderstände R1 verringert. Die Eingangsspannung kann verkleinert werden, wenn man keine hohen Ausgangsspannungen benötigt.

Eine Besonderheit der Schaltung liegt darin, daß der positive Ausgang als Referenz für die

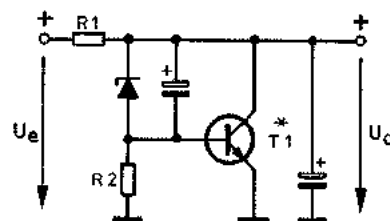


Bild 3. Einfacher Parallelregler mit NPN-Transistor.

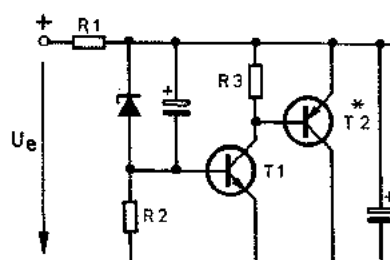


Bild 4. Einfacher Parallelregler mit PNP-Transistor.

Bild 5. Parallelregler mit Darlington-Kombination.

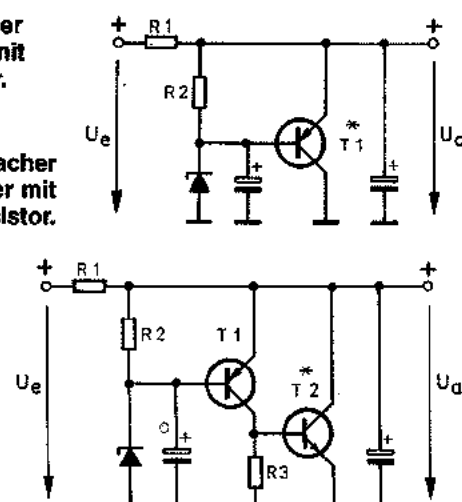


Bild 6. Komplementärversion zur Schaltung nach Bild 5.

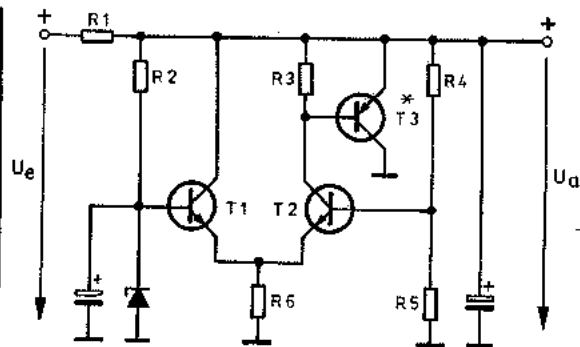


Bild 7. Regelschaltung mit einem Differenzverstärker.

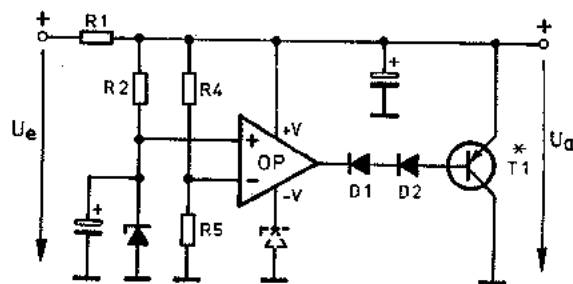


Bild 8. Regelschaltung mit einem Operationsverstärker.

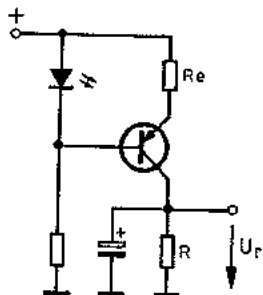


Bild 9. Referenzspannungsgeber mit Konstantstromquelle.

müssen gekühlt werden, benötigen jedoch normalerweise keine Isolierung, weil ihr Kollektor auf Masse liegt. Die Stückliste für diese Schaltung ist in der Tabelle angegeben.

### Zusammenfassung

Die hier vorgestellten Lösungen können mit Hilfe der angegebenen Formeln nachvollzogen und ohne großen Aufwand aufgebaut werden. Ein so hergestellter Spannungsregler eignet sich als Stromversorgung für ein Audiogerät mit geringer Stromaufnahme, wie es beispielsweise bei einem Vorverstärker oder CD-Spieler üblich ist. Unpraktisch

ist ein Parallelregler für Anwendungen mit hohem Verbraucherstrom, zum Beispiel bei einer stabilisierten Heizspannung für Röhrenschaltungen.

Im Gegensatz zu selbstgebauten Serienreglern neigen die vorgestellten Schaltungen nicht zu parasitären Schwingungen. Ein interessanter Gesichtspunkt ist, daß die für die Funktion entscheidende Referenzspannung im Gegensatz zu den meisten anderen üblichen Anordnungen aus der bereits stabilisierten Ausgangsspannung gewonnen werden kann.

Die Ausgänge sind kurzschlußfest, soweit Transformator und Gleichrichter den Kurzschlußstrom  $I_k = U_e/R_1$  liefern können. Die in R1 auftretende Ver-

negative Seite verwendet wird. Deshalb stellen sich im Normalbetrieb immer gleiche Ausgangsspannungen ein. Für OP2 muß man einen Schaltkreis verwenden, dessen zulässiger Eingangsspannungsbereich bis an seine positive Betriebsspannungsgrenze reicht, zum Beispiel den LF 356.

Die Dioden in den Basisleitungen der Leistungstransistoren können fortgelassen werden, wenn man Darlington-Typen mit ihrer doppelt so hohen Basis-Emitterspannung verwendet. Die Leistungshalbleiter

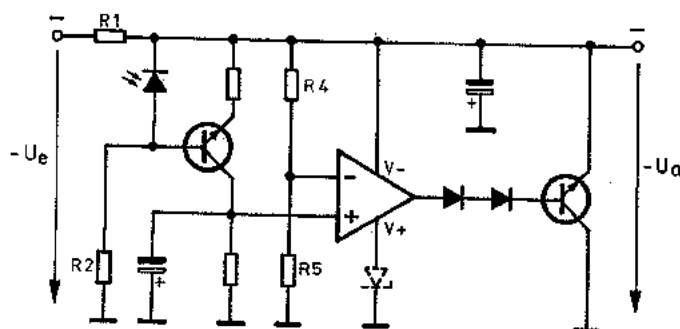


Bild 10. Parallelregler für negative Ausgangsspannungen.

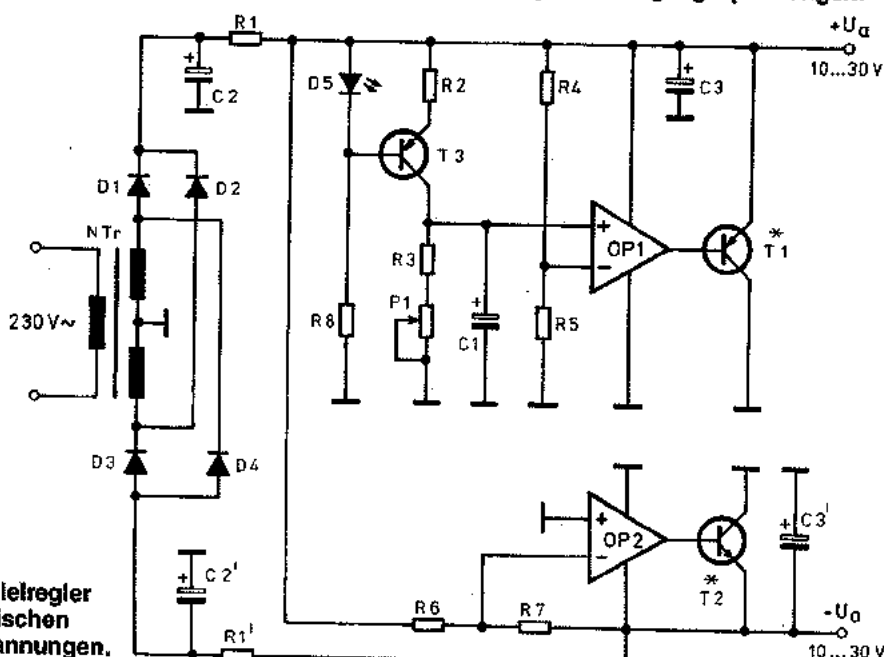


Bild 11. Parallelregler mit symmetrischen Ausgangsspannungen.

Stückliste

1	OP1	OP2	OP3	OP4	OP5	OP6	OP7	OP8	OP9	OP10	OP11	OP12	OP13	OP14	OP15	OP16	OP17	OP18	OP19	OP20	OP21	OP22	OP23	OP24	OP25	OP26	OP27	OP28	OP29	OP30	OP31	OP32	OP33	OP34	OP35	OP36	OP37	OP38	OP39	OP40	OP41	OP42	OP43	OP44	OP45	OP46	OP47	OP48	OP49	OP50	OP51	OP52	OP53	OP54	OP55	OP56	OP57	OP58	OP59	OP60	OP61	OP62	OP63	OP64	OP65	OP66	OP67	OP68	OP69	OP70	OP71	OP72	OP73	OP74	OP75	OP76	OP77	OP78	OP79	OP80	OP81	OP82	OP83	OP84	OP85	OP86	OP87	OP88	OP89	OP90	OP91	OP92	OP93	OP94	OP95	OP96	OP97	OP98	OP99	OP100
---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------

lustleistung P beträgt im Kurzschlußfall

$$P_k = U_e \cdot U_e/R_1$$

Unter Normalbedingungen wird in R1 die Leistung

$$P_1 = (U_e - U_a) \cdot (U_e - U_a)/R_1$$

umgesetzt, so daß man in vielen Fällen einen Hochlastwiderstand verwenden muß.

Beim Zusammenbau gelten hinsichtlich Verdrahtung und Masseführung dieselben Gesichtspunkte wie bei gewöhnlichen Reglern, freilich mit dem Hinweis, daß die Ströme in der Masseleitung wesentlich höher als gewöhnlich sind.

Der geringe Schaltungsaufwand macht die Anordnungen für die individuelle Versorgung einzelner Verstärkerstufen – wenn möglich beides auf gemeinsamer Leiterplatte – interessant. Zu diesem Zweck kann dabei ein gemeinsames unstabiliertes Netzteil verwendet werden.

### Literatur

- [1] Klaus Beuth, Wolfgang Schmusch, *Elektronik 3, Grundsichtungen*, Vogel-Buchverlag, Würzburg 1985, Seite 149 ff.