

Demonstrations- Analogrechner

F. Vogel 06.05.2009

1. Überblick

Dieser Miniatur-Analogrechner dient zur Demonstration der elektronischen Analogrechen-technik, wie sie in der Zeit von ca. 1950 bis ca.1980 eingesetzt wurde und dann sehr rasch durch Digitalrechner verdrängt wurde. Das Gerät erlaubt die Lösung einfacher, typischer Beispiele aus dem Gebiet der Analog-Rechentechnik. Die Anzahl der im Gerät vorhandenen Rechen-Komponenten wurde auf diese Rechenbeispiele abgestimmt.



Der Demonstrations-Rechner wurde mit Standard-Operationsverstärkern in *BiFet-Technik* realisiert, mit einem Eingangswiderstand von 10^{12} Ohm, einer Open-loop-Verstärkung $> 3 \cdot 10^5$ und einer Offsetspannung von typisch $5mV$.

Die Rechen-Spannung bzw. die Maschinen-Einheit beträgt ± 10 Volt. Widerstände, die Einfluss auf die Rechengenauigkeit haben, sind auf $\pm 0,05\%$ Toleranz selektiert. Die Zeitkonstanten der Integrierer besitzen eine Toleranz von $\pm 1\%$.

Der Rechner ist in ein Aluminium-Gehäuse mit den Abmessungen $188 \times 120 \times 77$ mm eingebaut. An der Gehäuse-Frontseite befinden sich die Bedienungselemente und das Programmier-Feld. Zur Stromversorgung wird ein externes Stecker-Netzgerät $9V$ DC / $1200mA$ verwendet.

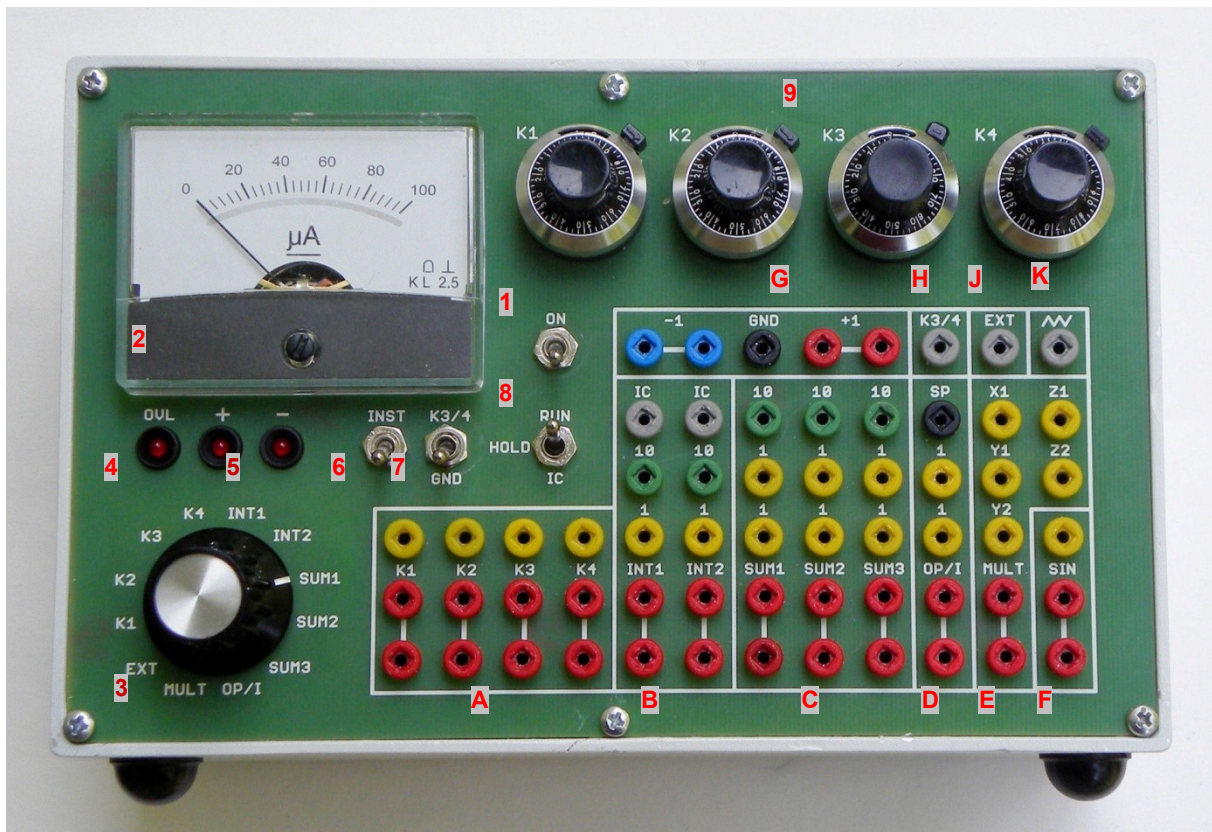
Folgende Rechen-Komponenten stehen zur Verfügung:

- 2 Integrierer
- 3 Summierer
- 1 Offener Verstärker bzw. Inverter
- 4 Koeffizienten-Potentiometer
- 1 Multiplizierer-Einheit
- 1 Dioden-Funktionsgeber für die Sinus-Funktion

Zusatzeinrichtungen:

- Referenzspannungs-Quellen für $+10,00V$ und $-10,00V$
- Anzeige-Instrument mit LED-Polaritätsanzeige
- 12-stelliger Adresswahlschalter
- Übersteuerungs-Anzeige
- Dreieckspannungs-Generator mit $\pm 10V_s$ Ausgangsspannung
- Stromversorgungseinheit $\pm 15V$

2. Bedienungselemente und Programmier-Feld



Bedienungselemente:

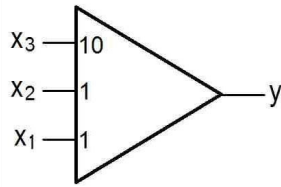
- 1...Netzschalter
- 2...Anzeige-Instrument
- 3...Adress-Wahlschalter
- 4...Übersteuerungs-Anzeige
- 5...Polaritäts-Anzeige
- 6...Schalter für Anzeige-Instrument
- 7...Umschalter für Potentiometer K3 / K4
- 8...Integrierer-Steuerung
- J...Externer Eingang für Anzeige-Instrument

Programmier-Feld:

- A...Koeffizienten-Potentiometer
- B...Integrierer
- C...Summierer
- D...Offener Verstärker / Inverter
- E...Multiplizierer-Einheit
- F...Funktionsgeber für Sinusfunktion
- G...Referenz-Spannungen
- H...Fußpunkt für Potentiometer K3 / K4

3. Rechner-Komponenten

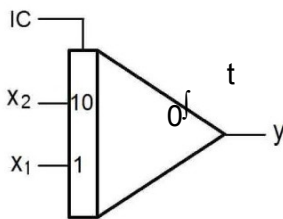
3.1 Summierer $y = -(x_1 + x_2 + 10 \cdot x_3)$



Die drei Summierer besitzen je zwei Variablen-Eingänge mit einem Gewichtungsfaktor 1 und einen Variablen-Eingang mit dem Gewichtungsfaktor 10.

Die erzielbare statische Rechenungenauigkeit liegt bei $\leq 0,1\%$ Fehler.

3.2 Integrierer $y = - \int_0^t (x_1 + 10 \cdot x_2) dt - IC$



Die beiden Integrierer besitzen je einen Variablen-Eingang mit einem Gewichtungsfaktor 1 (Zeitkonstante: 1“) und je einen Eingang mit einem Gewichtungsfaktor 10 (Zeitkonstante: 0,1“).

Ein weiterer Eingang IC dient zur Vorgabe einer Anfangs-bedingung.

Für die Integrierer können mit einem Umschalter drei Betriebszustände ausgewählt werden:

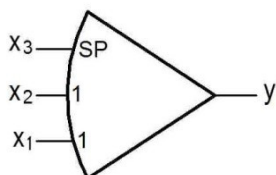
RUN: Die Eingangs-Signale werden integriert.

HOLD: Der Integrationsvorgang wird angehalten und die zuletzt erreichten Ausgangsspannungen werden gespeichert. (Der Spannungsabfall der Ausgangsspannungen durch die Entladung der Integrations-Kondensatoren liegt bei ca. 6mV / Minute).

IC: An den Integrierer-Ausgängen liegen die invertierten Spannungen der Eingänge IC an. Nach Umschalten der Betriebsfunktion von IC auf RUN beginnt der Integrationsvorgang ausgehend von diesen Anfangswerten.

Eine repetierende Integrierer-Steuerung ist für diesen einfachen Demonstrationsrechner nicht vorgesehen.

3.3 Offener Verstärker bzw. Inverter



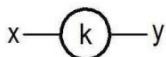
Der offene Verstärker besitzt eine nahezu unendlich hohe Verstärkung (> 300.000).

Zusätzlich zu den beiden Summier-Eingängen x_1 und x_2 ist auch der Summenpunkt des Verstärkers als eigener Eingang x_3 zugänglich.

Wird der Summier-Eingang x_2 mit dem Ausgang verbunden, arbeitet der Verstärker als normaler Inverter mit der Übertragungsfunktion:

$$y = -x_1.$$

3.4 Koeffizienten-Potentiometer



Die vier Koeffizienten-Potentiometer sind 10-Gang-Potentiometer mit feststellbarer Anzeigeskala.

Zur genauen Einstellung der Koeffizienten wird die Referenz-spannung $+10,00V$ und ein externes Digitalvoltmeter verwendet.

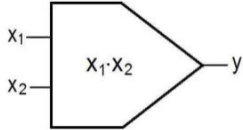
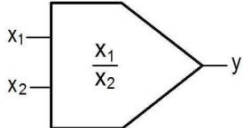
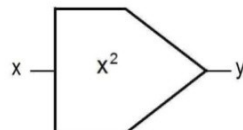
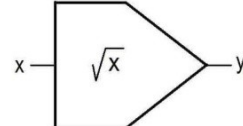
$$y = k \cdot x$$

$$0 \leq k \leq 1$$

3.5 Multiplizierer-Einheit

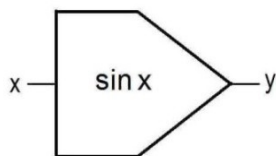
Die Multiplizierer-Einheit ist ausgelegt für bipolare Eingangs-Spannungen im Bereich $-10V$ bis $+10V$ (entsprechend einem Variablenbereich: $-1 \leq x_1, x_2 \leq +1$). Sie arbeitet nach dem Translinear-Prinzip und erreicht dadurch eine sehr hohe Rechengenauigkeit.

Durch entsprechende Beschaltung ihrer fünf Eingänge $X, Y1, Y2, Z1, Z2$ können vier Rechenfunktionen ausgewählt werden:

Funktion	Programmiersymbol	Variablen-Bereich	statische Rechengenauigkeit
Multiplikation		$-1 \leq x_1 \leq +1$ $-1 \leq x_2 \leq +1$	Fehler $\leq 0,2\%$
Division		$-1 \leq x_1 \leq +1$ $0 \leq x_2 \leq +1$	Fehler $\leq 0,3\%$
Quadrieren		$-1 \leq x \leq +1$	Fehler $\leq 0,2\%$
Radizieren		$0 \leq x \leq +1$	Fehler $\leq 0,2\%$

(Die Beschreibung der erforderlichen Beschaltungen zur Ausführung der vier Rechenfunktionen erfolgt in den Abschnitten 3.1 bis 3.4 der Rechenbeispiele).

3.6 Dioden-Funktionsgeber für die Sinusfunktion



Die Sinusfunktion wird mit einem Dioden-Funktionsgeber durch elf Geradenstücke angenähert. Die Knickpunkte werden durch selektierte Zenerdioden festgelegt.

Der Diodenfunktionsgeber ist für eine Eingangsvariable im Bereich $-1 \leq x \leq +1$ ausgelegt.

Die maximale Abweichung der angenäherten Kurve vom mathematischen Verlauf der Sinusfunktion liegt unter $0,5\%$.

3.7 Referenzspannungs-Quellen

Im Analogrechner sind zwei hochstabile Referenzspannungen integriert, die mit Einstellreglern auf $+10,00V$ und $-10,00V$ kalibriert werden können.

3.8 Anzeige-Instrument mit LED- Polaritätsanzeige

Der Anzeigebereich des Instrumentes beträgt $\pm 10V$ bzw. ± 1 *Maschinen-Einheit*. Es besitzt die Genauigkeitsklasse 2,5 und liegt daher weit unter der Genauigkeit der Rechenkomponenten. Für rein qualitative Demonstrationen oder für die Trend-Anzeige einer Variablen ist es aber sehr gut geeignet.

Für genaue statische Messungen besitzt der Analogrechner einen Parallelausgang für ein externes Digitalvoltmeter, das über Buchsen an der Gehäuse-Rückseite angeschlossen werden kann. Bei Messungen mit einem Digitalvoltmeter oder einem Oszillografen kann das eingebaute Anzeige-Instrument abgeschaltet werden.

3.9 Adresswahlschalter

mit einem 12-stufigen Adresswahlschalter werden die Ausgänge der Rechen- Komponenten und die Koeffizienten-Potentiometer direkt mit dem Anzeige-Instrument bzw. DVM verbunden. In Schalterstellung 12 wird das Anzeige-Instrument mit einer Eingangsbuchse am Programmierfeld verbunden.

3.10 Übersteuerungs-Anzeige

Kurzzeitige Übersteuerungen von Rechen-Komponenten können mit einem Digitalvoltmeter nicht erkannt werden. Der Analogrechner besitzt deshalb am Ausgang des Adresswahlschalters eine Übersteuerungsanzeige, mit der die jeweils ausgewählte Rechen-Komponente überwacht wird.

Die Schaltschwellen der Überwachungsschaltung sind auf $\pm 10,3V$ bzw. $\pm 1,03$ *Maschinen-einheiten* eingestellt. Überschreitet die überwachte Variable diese Grenzwerte, wird der Übersteuerungszustand durch eine rote LED signalisiert.

3.11 Dreieckspannungs-Generator 1,5 Hz bis 75Hz

Zur Vorgabe definierter, linear zeitabhängiger Variablen ist im Analogrechner ein Dreieckspannungs-Generator integriert. Der Generator liefert eine Ausgangsspannung von $\pm 10V_s$. Mit einem mehrgängigen Einstellregler kann die Generator-Frequenz im Bereich 1,5 Hz bis 75 Hz variiert werden. Der Einstellregler ist an der rechten Seite des Rechnergehäuses zugänglich.

3.12 Stromversorgungseinheit

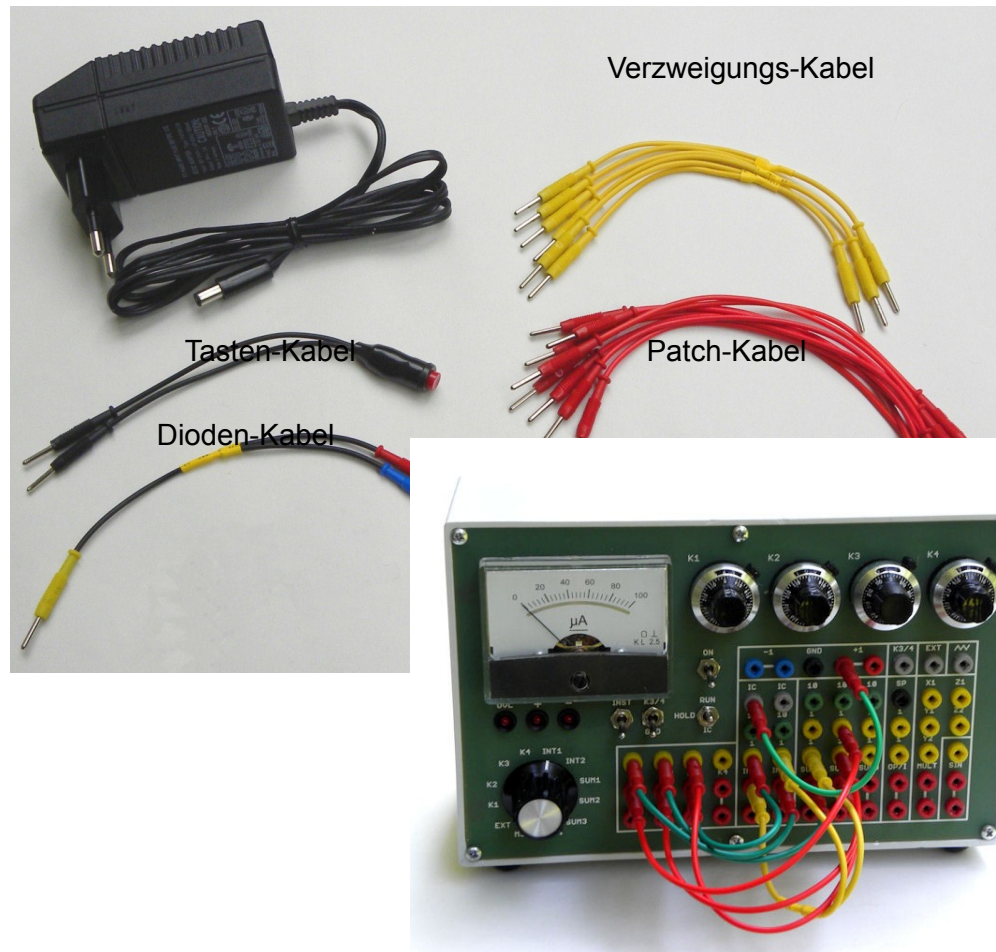
Der Analogrechner wird durch ein externes Gleichspannungs-Netzgerät mit 9V DC /1,2A versorgt. Der Gesamtleistungsbedarf des Rechners liegt bei ca. 1,8 W.

Die erforderlichen Betriebsspannungen von $\pm 15V$ für die Rechen-Komponenten werden mit einem DC/DC-Wandler erzeugt. Die Ausgangsspannungen des Wandlers sind auf $\pm 0,5\%$ stabilisiert.

3.13 Rechnerzubehör:

DC-Netzgerät
9V DC /1,2A

4.



Programmierung

Zur Programmierung des Rechners werden die einzelnen Komponenten mit Patch-Kabeln verbunden, die in zwei verschiedenen Längen zur Verfügung stehen.

Für Verzweigungen in Rechenschaltungen sind bei allen Ausgängen der Rechenkomponenten Doppelbuchsen vorgesehen. Zusätzlich sind auch einige Patch-Kabel als Verzweigungskabel ausgebildet.

Ein Sonderkabel besitzt eine Taste und dient für die Bildung einer Sprungfunktion.

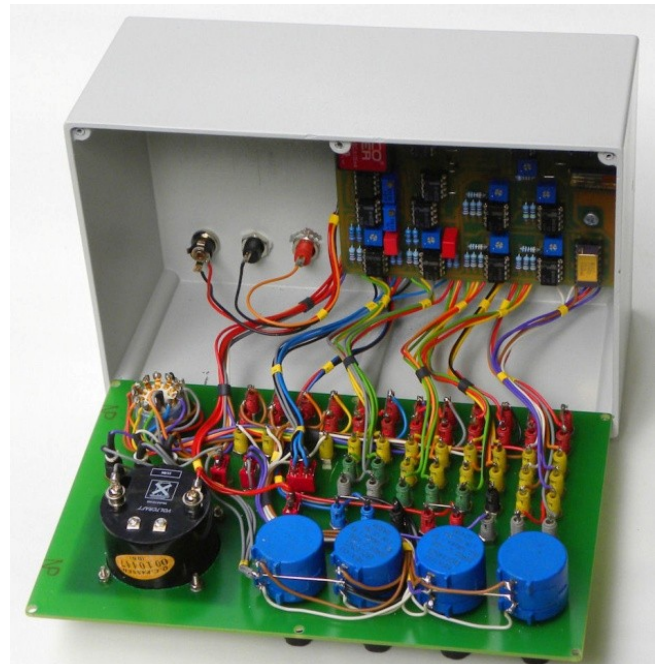
In ein weiteres Spezialkabel sind zwei in Serie geschaltete Dioden integriert. Der Verbindungspunkt der Dioden ist über einen eigenen Steckkontakt (gelb) zugänglich. Diese Dioden-Anordnung wird bei der Realisierung von diskontinuierlichen Rechenfunktionen benötigt.

5. Mechanischer Aufbau

Der Analogrechner ist in ein Aluminium-Gehäuse mit den Maßen 188 x 120 x 77 mm eingebaut.

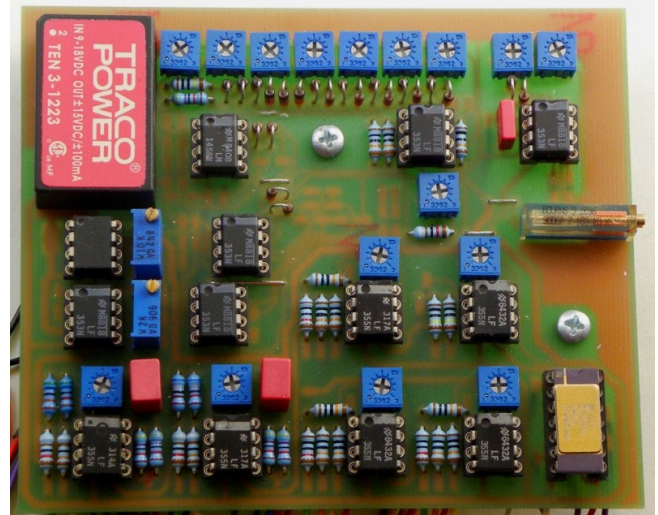
Alle Bauelemente und das Programmfeld befinden sich an der Frontseite.

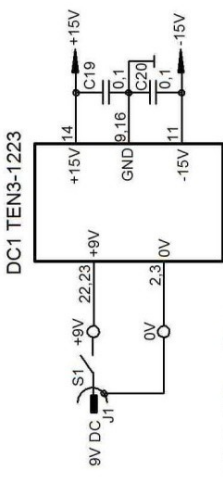
An der Gehäuse-Rückseite befinden sich Buchsen für das DC-Netzgerät und für ein externes Digitalvoltmeter.



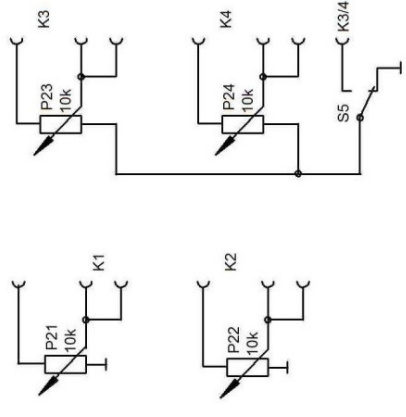
Alle Rechnerkomponenten inklusive der Stromversorgung sind auf einer gemeinsamen Platine untergebracht.

Die Rechner-Platine ist beidseitig bestückt und hat die Abmessungen 105 x 88 mm.

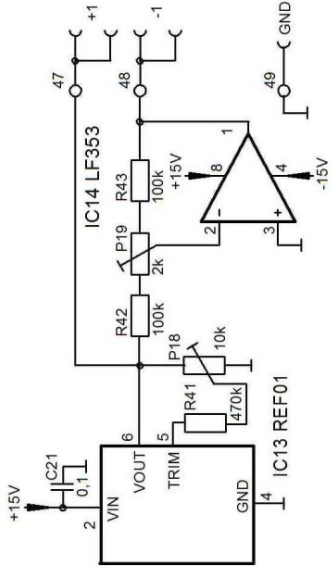




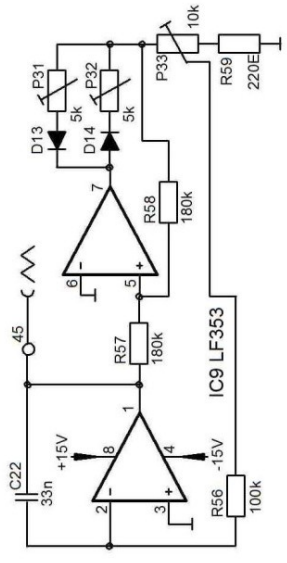
DC / DC-Wandler



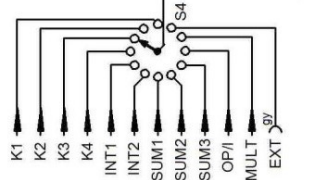
Koeffizienten-Potentiometer



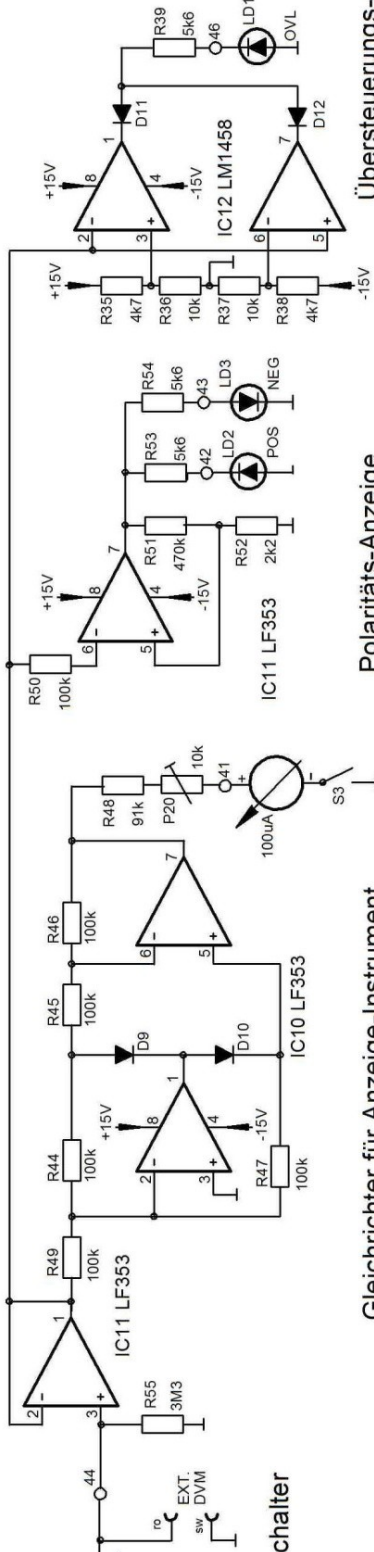
Referenzspannungen



Dreieckspannungs-Generator



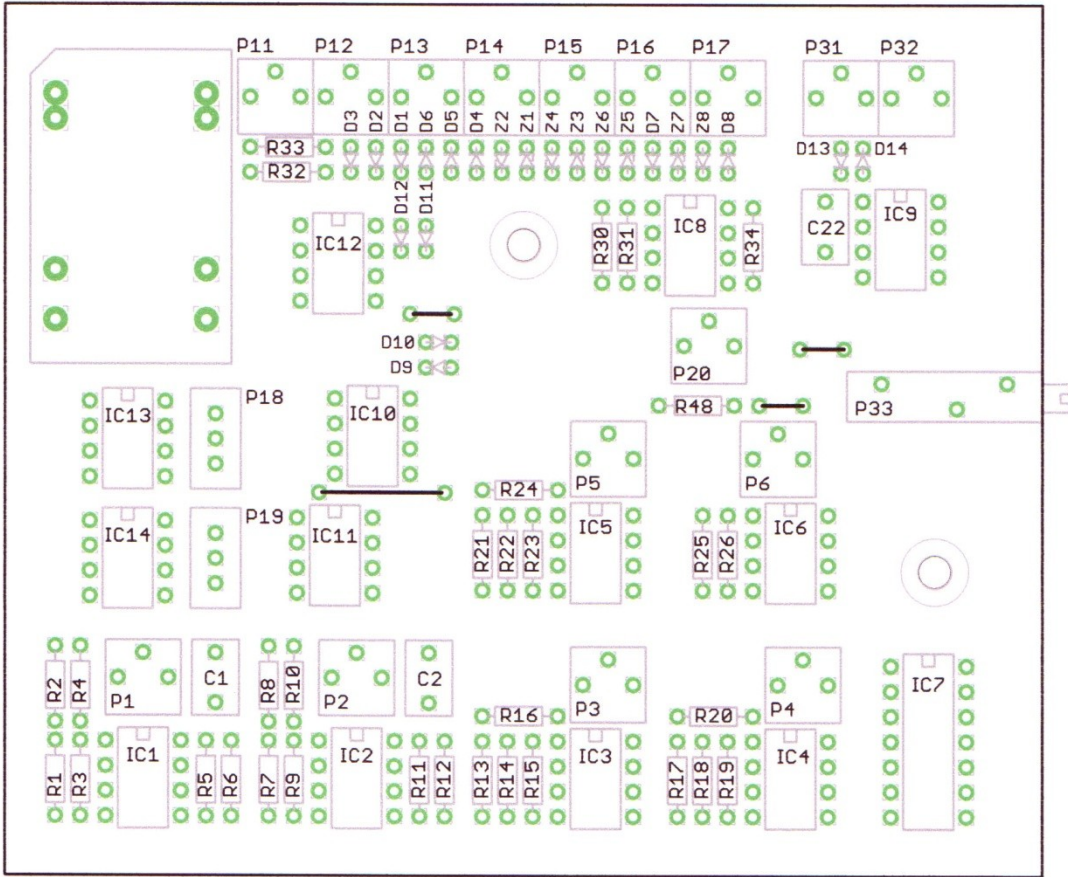
Adress-Wahlschalter



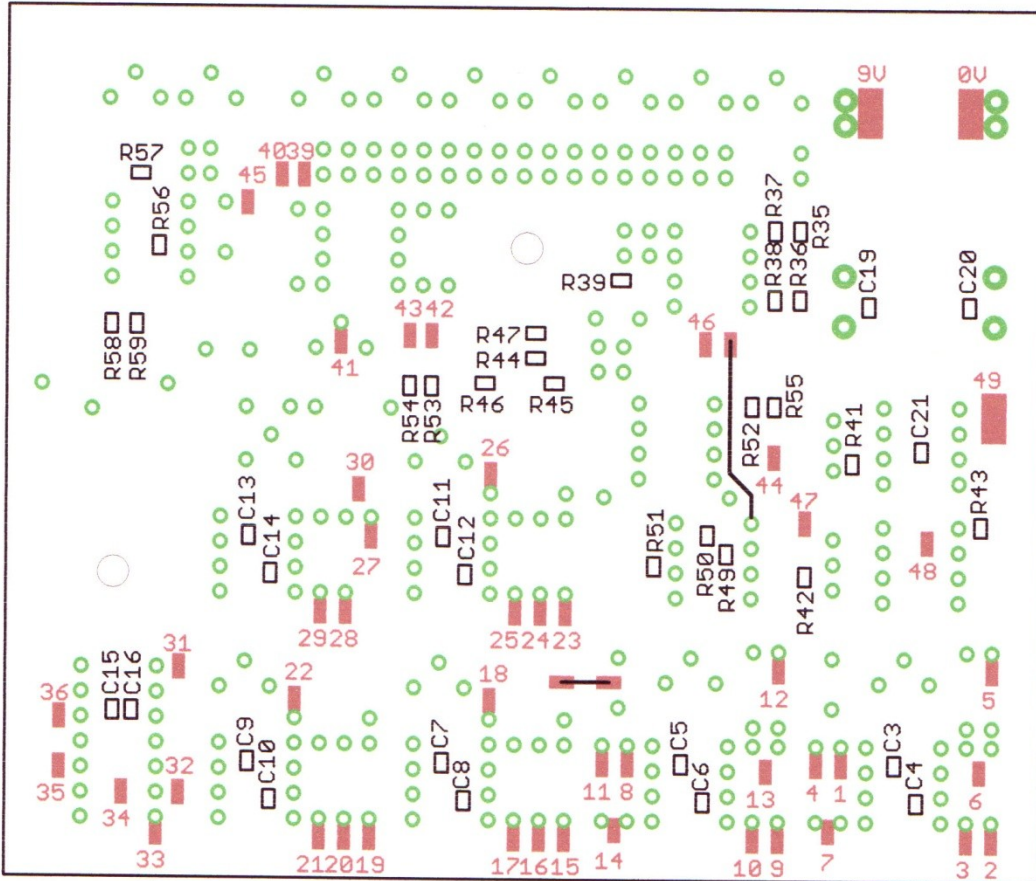
Gleichrichter für Anzeige-Instrument

Polaritäts-Anzeige

Übersteuerungs-Anzeige



LEITERPLATTE: BAUTEIL-SEITE



LEITERPLATTE: LÖT-SEITE