

Schaltungssammlung Mess- und Prüftechnik

von
Frank Sichla

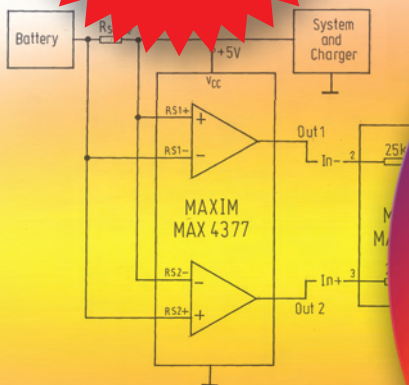
1. Auflage

Franzis Verlag, Poing 2009

Verlag C.H. Beck im Internet:
www.beck.de

ISBN 978 3 7723 4086 4

**Sonder-
ausgabe**
49,95 €



- 552 Seiten Umfang
- Über 550 neue Schaltungen
- 580 Schaltpläne und Zeichnungen
- Unentbehrlich in der Elektronik

Frank Sichla

Schaltungssammlung Mess- und Prüftechnik

Über 550 erprobte Schaltungen für Labor, Entwicklung und Anwendung

Schaltungen für

- Messungen an elektrischen Gleichgrößen
- Messungen von niederfrequenten Spannungen
- Messungen von hochfrequenten Spannungen
- Messungen von Leistungen, Impedanzen und Frequenzen
- Messungen weiterer elektrischer Größen
- Messungen nicht elektrischer Größen
- Messverstärker, Filter, Wandler, Generatoren
- Allgemeine Schaltungen für die Messtechnik
- Zusatzschaltungen für Messgeräte
- Schaltungen für die Prüftechnik

Inhalt

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Messung elektrischer Gleichgrößen | 19 |
| 1.1 | Gleichspannungsmessung mit dem ICL7136 | 19 |
| 1.2 | Leistungsarme Strommessung mit Zeigerinstrument | 21 |
| 1.3 | Strommessung mit Instrumentationsverstärkern | 22 |
| 1.4 | Interface zur Gleichspannungsmessung mit dem PC | 25 |
| 1.5 | A/D-Wandler misst Spannungen bis 1000 V | 26 |
| 1.6 | Schutzschaltungen für Strommess-ICs | 28 |
| 1.7 | Strommess-ICs an hoher Betriebsspannung | 29 |
| 1.8 | Bidirektionale Motorstrommessung | 30 |
| 1.9 | Kurzschlusschutz für Strommess-ICs | 31 |
| 1.10 | Strommess-IC-Überstromschutz mit Latching | 32 |
| 1.11 | High-Side-Strommess-IC an hoher Spannung | 33 |
| 1.12 | Bidirektionale Strommessschaltung | 34 |
| 1.13 | Einfache Stromanzeige-Schaltung | 35 |
| 1.14 | Einfacher bidirektionaler Strommonitor | 36 |
| 1.15 | Strommessschaltung für 100 pA bis 100 μ A | 37 |
| 1.16 | High-Side-Strommessung mit Speisespannung als Referenz | 37 |
| 1.17 | Präzise Low-Side-Strommessung | 39 |
| 1.18 | Messung des Stroms aus Quelle mit negativer Spannung | 40 |
| 1.19 | Strommesser mit Digitalanzeige | 41 |
| 1.20 | Strommess-IC versorgt sich selbst aus Stromschleife | 42 |
| 1.21 | Low-Cost-Strommessschaltung | 42 |
| 1.22 | Strommessungen mit LTC1392 | 42 |
| 1.23 | Gleichspannungsmessung mit UTI | 44 |
| 1.24 | Strommessung an Spannungen bis 1 kV | 44 |
| 1.25 | High-Side-Strommessung an hoher Spannung | 47 |
| 1.26 | Einfaches zweistelliges Voltmeter | 48 |
| 1.27 | Messung kleiner Ströme | 49 |
| 1.28 | Pikoamperemeter | 49 |
| 1.29 | Voltmeter mit extrem hohem Eingangswiderstand | 50 |
| 2 | Messung niederfrequenter Spannungen | 52 |
| 2.1 | Driftarmer Spitzendetektor | 52 |
| 2.2 | Präzise arbeitender Vollwellen-Gleichrichter | 53 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2.3 | RMS-zu-DC-Konverter | 53 |
| 2.4 | Präziser Spitzendetektor | 55 |
| 2.5 | Einfacher 80-dB-Verstärker | 55 |
| 2.6 | Ausgangsverstärker für hochauflösende D/A-Wandler | 56 |
| 2.7 | Messung von Audiosignalen | 57 |
| 2.8 | Lautstärke-Anzeige | 58 |
| 2.9 | Aktive Vollwellen-Gleichrichter | 58 |
| 2.10 | Diodenloser Vollwellen-Gleichrichter | 58 |
| 2.11 | Verbesserter passiver Gleichrichter | 61 |
| 2.12 | Messung des echten Effektivwerts der Netzspannung | 62 |
| 2.13 | Messung des echten Effektivwerts sehr kleiner Spannungen | 65 |
| 3 | Messung hochfrequenter Spannungen | 67 |
| | Vorbemerkung | 67 |
| 3.1 | Messung des echten Effektivwerts mit LTC12968 | 68 |
| 3.2 | Messung des echten Effektivwerts mit AD636 | 70 |
| 3.3 | Messschaltungen mit AD813x und ADC | 74 |
| 3.4 | Präziser Gleichrichter für HF | 75 |
| 3.5 | Spannungsmessung mit TruPwr Detection IC | 77 |
| 3.6 | HF-Tastkopf bis 2,5 GHz | 78 |
| 3.7 | Weitbereichs-RMS-Spannungsmesser | 79 |
| 3.8 | Empfindliches HF-Voltmeter | 79 |
| 4 | Messung von Leistungen | 82 |
| 4.1 | Quadrierer | 82 |
| 4.2 | Leistungsmessung im Gigahertzbereich | 83 |
| 4.3 | Leistungsmessung mit Log Amp/Detector | 83 |
| 4.4 | RMS-Leistungsmesser mit hohem Dynamikbereich | 87 |
| 4.5 | HF-Pegelmessung mit Demodulating Logarithmic Amplifiers | 87 |
| 4.6 | NF-Pegelmessung mit Demodulating Logarithmic Amplifiers | 92 |
| 4.7 | Spitzenleistungsmessung im Gigahertzbereich | 96 |
| 4.8 | Pegelmessung im Gigahertzbereich | 98 |
| 4.9 | RMS-Leistungsmessung im Gigahertzbereich | 99 |
| 4.10 | Genauer linearer Leistungsmesser | 101 |
| 4.11 | Selektiver Leistungsmesser mit 120 dB Dynamik | 101 |
| 4.12 | Pegelmessung -70 bis +20 dBm bis 500 MHz | 104 |
| 4.13 | Pegelmessung -30 bis +60 dBm bis 500 MHz | 104 |
| 4.14 | Leistungsmessung in 50 Ohm | 104 |
| 4.15 | Leistungsmessung durch Spannungsmessung an 50 Ohm | 107 |
| 4.16 | Thermischer Leistungsmesser | 108 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.17 | Nanowatt und Mikrowatt messen | 108 |
| 4.18 | Mikrowatt und Milliwatt messen | 111 |
| 4.19 | Leistungsanzeige mit LEDs | 112 |
| 4.20 | Leistungsmesser für 1 kW | 113 |
| 4.21 | Leistungsmesser mit Optokoppler | 114 |
| 4.22 | HF-Leistungsanzeige durch Kompensationsverfahren | 114 |
| 4.23 | Wattmeter für kleine Sender | 115 |
| 4.24 | Einfaches linear anzeigendes HF-Wattmeter | 117 |
| 4.25 | Laser-Leistungsmesser | 118 |
| 5 | Messung von Frequenzen | 120 |
| 5.1 | Einfacher 1-GHz-Zähler | 120 |
| 5.2 | Alternatives Frequenzmessverfahren | 121 |
| 5.3 | Mini-Zähler mit Offset | 122 |
| 5.4 | Frequenzzähler bis 200 MHz | 123 |
| 5.5 | 2,5-GHz-Zähler | 124 |
| 5.6 | Drei-Digit-Zähler | 126 |
| 5.7 | Messung einer Frequenzdifferenz | 127 |
| 5.8 | Frequenzmessung mit Frequenz-Spannungs-Wandler-IC | 128 |
| 5.9 | Kostengünstiger 2,8-GHz-Prescaler | 129 |
| 5.10 | Einfacher zweistelliger Zähler | 129 |
| 5.11 | 50-MHz-Zähler | 129 |
| 5.12 | Zählerschaltung mit Zusatzfunktionen | 131 |
| 5.13 | Sechsstelliger 6-MHz-Zähler | 131 |
| 5.14 | Zwei-Dekaden-Teiler für Frequenzmesser | 135 |
| 5.15 | Über Tastenfeld programmierbarer Teiler | 135 |
| 5.16 | Digital programmierbarer Teiler | 137 |
| 5.17 | Achtstelliger Zähler mit drei ICs | 137 |
| 5.18 | Zeitbasis für 1,2-GHz-Zähler | 139 |
| 5.19 | Dipper mit Stromspar-Oszillator | 140 |
| 5.20 | Akustisch signalisierendes Dipmeter | 141 |
| 5.21 | Ein VHF-Dipper | 143 |
| 5.22 | Dipmeter mit fünf Transistoren | 144 |
| 5.23 | Vierstellige Zählerschaltung | 145 |
| 5.24 | Dipper mit Modulationszusatz | 146 |
| 5.25 | Frequenzvergleich | 147 |
| 6 | Messung von Impedanzen | 149 |
| | Vorbemerkungen | 149 |
| 6.1 | Universelle Impedanzmessbrücke | 150 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 6.2 | Einfache Impedanzmessung | 151 |
| 6.3 | Impedanzmessbrücke für 2...30 MHz | 153 |
| 6.4 | Antennen-Messbrücke | 153 |
| 6.5 | Impedanz-Messbox | 154 |
| 6.6 | Aktive Antennen-Messbrücke | 155 |
| 6.7 | Antennen-Netzwerk-Analyzer | 156 |
| 6.8 | Messanordnung für Impedanzen | 158 |
| 7 | Messung weiterer elektrischer Größen | 160 |
| 7.1 | Messung des Innenwiderstands einer Batterie | 160 |
| 7.2 | Messung des Stroms eines Quarzes | 162 |
| 7.3 | Messung des echten Effektivwerts eines Stroms | 162 |
| 7.4 | Einfacher Phasenmesser für Frequenzen bis 10 MHz | 164 |
| 7.5 | Crest-Faktor-Bestimmung im Gigahertzbereich | 166 |
| 7.6 | Verstärkungs- und Phasenmessung | 167 |
| 7.7 | Messung des Reflexionskoeffizienten | 167 |
| 7.8 | Audio-Klirrfaktormesser | 169 |
| 7.9 | Reflexionsfaktor-Messbrücke bis 1 GHz | 171 |
| 7.10 | Ermittlung der Center-Frequenz bei FM | 171 |
| 7.11 | Messung sehr kleiner Kapazitäten | 172 |
| 7.12 | Messung des Verlustwiderstands von Elkos | 172 |
| 7.13 | Messung großer Kapazitäten | 174 |
| 7.14 | Bestimmung von Induktivitäten | 176 |
| 7.15 | Hochohmiges Rail-to-Rail-Messsystem | 176 |
| 7.16 | 230-V-Phasenwinkelmessung | 178 |
| 7.17 | LC-Messgerät | 179 |
| 7.18 | Messbrücke für kleine Kapazitäten | 180 |
| 8 | Messung nichtelektrischer Größen | 182 |
| 8.1 | Einfache Messanordnung für die Batterielebensdauer | 182 |
| 8.2 | Betriebsmöglichkeiten für Widerstands-Temperatur Sensoren | 183 |
| 8.3 | Präzise Temperaturmessung mit Mikroprozessor | 184 |
| 8.4 | Temperaturmessung im Bereich -200 bis 600 °C | 187 |
| 8.5 | Luftstrommessung mit Mikrocontroller | 187 |
| 8.6 | Temperaturmessung mit Widerstandssensor und A/D-Wandler .. | 190 |
| 8.7 | Temperaturmessung mit Diodenstrecken | 192 |
| 8.8 | Brückenmessschaltung mit einfacher Versorgung | 196 |
| 8.9 | Programmierbare Lichtstärkemessung | 198 |
| 8.10 | Programmierbare Druckmessung | 199 |
| 8.11 | Programmierbare Temperaturmessung mit PTC | 200 |

| | | |
|------|--|-----|
| 8.12 | Programmierbare Temperaturmessung mit NTC | 202 |
| 8.13 | Programmierbare Temperaturmessung mit Halbleitersensor | 202 |
| 8.14 | Programmierbare Lichtstärkemessung | 205 |
| 8.15 | Driftarme Lichtmessschaltung | 205 |
| 8.16 | Temperatur-Fernmessung mit Quarz und PIC | 207 |
| 8.17 | Messung des Sauerstoffgehalts | 207 |
| 8.18 | Thermometer mit Analog- und Digitalausgang | 209 |
| 8.19 | Verstärker für piezoelektrischen Wandler | 210 |
| 8.20 | Einfache Temperatur-Messschaltung | 211 |
| 8.21 | Lichtmessung in weitem Bereich | 212 |
| 8.22 | Temperaturmessung mit Cold-Junction-Kompensation | 212 |
| 8.23 | Multikanal-Temperaturmessung | 213 |
| 8.24 | Temperatur-Strom-Wandler für Fernmessung | 214 |
| 8.25 | Temperaturmessung über 4...20-mA-Loop | 214 |
| 8.26 | Beschleunigungsmesser mit ADXL05 | 214 |
| 8.27 | Neigungsmesser mit Frequenzausgang | 220 |
| 8.28 | Messschaltung 0...500 °C mit Cold-Junction Compensation | 220 |
| 8.29 | Drehzahlmessung mit magnetoresistivem Sensor | 220 |
| 8.30 | Dreidimensionale Magnetfeld-Erfassung | 225 |
| 8.31 | Druckmessung mit A/D-Wandler | 225 |
| 8.32 | Temperaturmessung mit A/D-Wandler | 225 |
| 8.33 | Einfache und genaue Temperatur-Fernmessung | 225 |
| 8.34 | Einfache und genaue Temperatur-Messschaltung | 229 |
| 8.35 | Luftfeuchtigkeits-Messung | 230 |
| 8.36 | Temperaturmessung mit UTI | 230 |
| 8.37 | UTI mit Widerstands-Messbrücke | 231 |
| 8.38 | UTI mit potentiometrischen Gebern | 231 |
| 8.39 | Kapazitätsmessung mit dem UTI | 231 |
| 8.40 | Mehrkanal-Messsystem mit UTIs | 237 |
| 8.41 | Lichtleitfaser-Messkopf | 237 |
| 8.42 | Tachometer mit Bargraph-Anzeige | 240 |
| 8.43 | Messung der Batterie-Lebensdauer | 241 |
| 8.44 | Luftfeuchtigkeits-Sensor ohne Batterie | 241 |
| 8.45 | TTL-Signal informiert über Luftfeuchtigkeit und Temperatur | 241 |
| 8.46 | Umschaltendes Anemometer | 244 |
| 8.47 | Piezoelektrischer Beschleunigungsmesser | 245 |
| 8.48 | Druckmesser mit Digitalanzeige | 245 |
| 8.49 | Simpler Tastverhältnis-Messer | 248 |
| 8.50 | Drehzahl- und Drehrichtungsanzeige | 248 |
| 8.51 | Pulsbreiten-Messgerät | 249 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 8.52 | Differenzlicht-Detektor | 250 |
| 8.53 | Hochauflösender Drehzahlmesser | 251 |
| 8.54 | Höhenmessgerät mit LC-Panelmeter | 253 |
| 9 | Schaltungen für Messverstärker | 254 |
| 9.1 | Instrumentationsverstärker mit Operationsverstärker-ICs | 254 |
| 9.2 | Hohe Spannung und Last für chopperstabilisierte Operationsverstärker | 255 |
| 9.3 | Rauscharmer und temperaturstabiler Messverstärker | 257 |
| 9.4 | Breitbandiger chopperstabilisierter FET-Verstärker | 259 |
| 9.5 | Empfindlicher und stabiler Transimpedanzverstärker | 259 |
| 9.6 | Instrumentationsverstärker für hohe Frequenzen | 262 |
| 9.7 | Laststromverdopplung mit Dual-Operationsverstärker | 263 |
| 9.8 | Einfachst-Impedanzwandler mit Operationsverstärker | 265 |
| 9.9 | Spannungsgesteuerter Messverstärker | 265 |
| 9.10 | Differenzverstärker mit einfacher Betriebsspannung | 267 |
| 9.11 | Chopper-Verstärker mit sehr geringem Stromverbrauch | 268 |
| 9.12 | Impedanzwandler mit sehr hochohmigem Eingang | 269 |
| 9.13 | Rauscharmer Messverstärker | 269 |
| 9.14 | High-Performance-Instrumentationsverstärker | 271 |
| 9.15 | Instrumentationsverstärker mit Spannungsfolger-ICs | 273 |
| 9.16 | Instrumentationsverstärker mit einfach einstellbarer Verstärkung | 274 |
| 9.17 | Einfacher Instrumentationsverstärker | 274 |
| 9.18 | Invertierender Verstärker mit hochohmigem Eingang | 274 |
| 9.19 | Elektronisch schaltbare Verstärkung | 277 |
| 9.20 | Instrumentationsverstärker mit zwei Operationsverstärkern | 278 |
| 9.21 | Digital programmierbarer Präzisionsverstärker | 278 |
| 9.22 | Micropower-Instrumentationsverstärker | 280 |
| 9.23 | Messverstärker mit Opto-Isolation | 280 |
| 9.24 | Differenzausgang für Instrumentationsverstärker | 282 |
| 9.25 | Präzise 20-dB-Verstärker ohne externe Komponenten | 283 |
| 9.26 | Instrumentationsverstärker mit einem Operationsverstärker | 285 |
| 9.27 | Einfacher breitbandiger Messverstärker | 285 |
| 9.28 | Instrumentationsverstärker aus Stromquelle und Operationsverstärker | 287 |
| 9.29 | Differenzverstärker mit digitalen Potentiometern | 289 |
| 9.30 | Operationsverstärker verarbeitet große Messsignale | 290 |
| 9.31 | Instrumentationsverstärker mit hoher Eingangsimpedanz und geringer Drift | 290 |
| 9.32 | Rauscharmer Verstärker zur Messung des Phasenrauschens | 292 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 9.33 | Digital einstellbarer Messverstärker | 292 |
| 9.34 | Auto-Zero-Breitbandverstärker | 294 |
| 9.35 | Verstärker für 40 dB/100 MHz | 294 |
| 9.36 | Verstärker für 20 dB/100 MHz | 297 |
| 9.37 | Instrumentationsverstärker mit aktivem Filter | 297 |
| 9.38 | ECG-Frontend mit einfacher Versorgung | 299 |
| 9.39 | Instrumentationsverstärker mit uni- und bipolarem Ausgang ... | 300 |
| 9.40 | Einfachst-Verstärker mit Verstärkungsfaktor 3 | 301 |
| 9.41 | Programmierbarer Chopper-Verstärker | 302 |
| 9.42 | Zwei-IC-Verstärker ohne externe Beschaltung | 303 |
| 9.43 | Präziser Instrumentationsverstärker | 303 |
| 9.44 | Präzisionsverstärker mit Booster | 304 |
| 9.45 | Schneller Präzisionsverstärker | 304 |
| 9.46 | Einfache Messverstärker mit Mikro-Power-IC | 306 |
| 9.47 | Instrumentationsverstärker mit Dual-Operationsverstärker | 307 |
| 9.48 | Sehr verzerrungsarmer Verstärker | 308 |
| 9.49 | Breitband-FET-Verstärker | 309 |
| 10 | Schaltungen für Filter | 310 |
| 10.1 | Gute Filter – ganz einfach | 310 |
| 10.2 | Qualifiziertes Antialiasing-Filter | 311 |
| 10.3 | Filter mit Fixed-Gain-Operationsverstärkern | 313 |
| 10.4 | Kerbfiler mit einstellbarer Güte | 315 |
| 10.5 | Einfaches Kerbfiler | 315 |
| 10.6 | Tiefpassfilter mit minimalem Aufwand | 317 |
| 10.7 | Bandpass mit hoher Güte | 317 |
| 10.8 | Einfaches Notchfilter mit hoher Güte | 319 |
| 10.9 | Fliege-Notchfilter | 320 |
| 10.10 | Einfaches 20-kHz-Filter dritter Ordnung | 321 |
| 10.11 | Aktives 20-MHz-Filter | 322 |
| 11 | Schaltungen für Wandler | 323 |
| 11.1 | Spannungs-Frequenz-Konverter für 1 Hz bis 100 MHz | 323 |
| 11.2 | Einfacher Temperatur-Pulsweiten-Wandler | 326 |
| 11.3 | Frequenz-Spannungs-Wandler mit VCO-IC | 326 |
| 11.4 | Stromarmer Spannungs-Frequenz-Wandler | 332 |
| 11.5 | Hochlinearer Spannungs-Frequenz-Wandler | 332 |
| 11.6 | Einfacher Spannungs-Pulsweiten-Wandler | 332 |
| 11.7 | D/A-Wandler mit 0...10-V-Ausgang | 335 |
| 11.8 | Low-Cost-Spannungs-Frequenz-Wandler | 336 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 11.9 | Frequenz-Spannungs-Wandler 10 Hz bis 10 kHz | 337 |
| 11.10 | Spannungs-Frequenz-Wandler für schwankende Betriebs- spannung | 338 |
| 11.11 | Spannungs-Frequenz-Wandler für stabile Betriebsspannung .. | 339 |
| 11.12 | Spannungs-Frequenz-Wandler für positive und negative Spannungen | 340 |
| 11.13 | Pulsbreiten-Spannungs-Wandler | 340 |
| 11.14 | CMOS-Pegel für HF-Signale | 341 |
| 11.15 | A/D-Wandler mit LC-Display | 343 |
| 11.16 | Ansteuerschaltung für Fluoreszenz-Display | 343 |
| 11.17 | Ansteuerschaltung für ein achtstelliges Display | 346 |
| 11.18 | Einfache Analog-Digital-Wandlerschaltungen | 346 |
| 12 | Schaltungen für Generatoren | 350 |
| 12.1 | Breitbandiger Rauschgenerator | 350 |
| 12.2 | Preiswerter Generator für weißes Rauschen | 352 |
| 12.3 | Quarz formt reines Sinussignal | 354 |
| 12.4 | Vierfach-Quadratursignal-Generator | 355 |
| 12.5 | Rechteck-Sinus-Wandlung mit SC-Filter | 355 |
| 12.6 | Einfacher, aber stabiler Rechteck-/Dreieckgenerator | 357 |
| 12.7 | Rechteck- und Sägezahngenerator mit hoher Linearität | 358 |
| 12.8 | Negative-Resistance-Oszillator | 359 |
| 12.9 | Hochstabiler 100-kHz-Oszillator | 361 |
| 12.10 | Hochwertiger einstellbarer Sinusgenerator | 361 |
| 12.11 | Spannungsgesteuerter Sinusoszillator für 1 Hz bis 30 kHz | 364 |
| 12.12 | Quarzoszillator mit hoher Leistung | 364 |
| 12.13 | Impulsgenerator mit Triggerausgang | 367 |
| 12.14 | Low-Power-Oszillator mit weitem Betriebsspannungsbereich | 369 |
| 12.15 | 1-kHz-Sinusgenerator mit Mikrocontroller | 369 |
| 12.16 | Einfacher und stabiler Tieffrequenz-Sinus-/Cosinusoszillator | 371 |
| 12.17 | NF-Sinus-/Cosinusgenerator | 372 |
| 12.18 | NF-Wienbrückenoszillator mit FET-Stabilisator | 373 |
| 12.19 | Vielseitiger Dreieck-/Rechteckgenerator | 375 |
| 12.20 | Micropower-Wienbrücken-Generator | 376 |
| 12.21 | Einfacher Rechteckgenerator | 376 |
| 12.22 | Wienbrücken-Generator mit einfachem Potentiometer | 377 |
| 12.23 | Präziser Rampengenerator | 378 |
| 12.24 | Sinusgenerator mit quarzgenauer Frequenz | 379 |
| 12.25 | Drei-Dekaden-VFO | 380 |
| 12.26 | Präziser HF-Generator | 381 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 12.27 | Erzeugung von HF-Rechtecksignalen | 382 |
| 12.28 | Frei einstellbarer Sägezahn-generator | 382 |
| 12.29 | Mini-Audio-Oszillator | 382 |
| 12.30 | Generator für rosa Rauschen | 386 |
| 12.31 | Mikrofonschaltungs-Testoszillator | 386 |
| 12.32 | Einfacher Phasenschieber-Oszillator | 386 |
| 12.33 | Sinusoszillator mit entkoppelten RC-Gliedern | 389 |
| 12.34 | Quadraturoszillator mit zwei Operationsverstärkern | 389 |
| 12.35 | Bubba-Oszillator | 390 |
| 12.36 | Impuls-generator mit weitem Frequenzbereich | 391 |
| 12.37 | Audio-Rausch-generator | 391 |
| 12.38 | Programmierbarer Sinus-generator | 393 |
| 12.39 | Impuls- und Pausenzeit getrennt einstellbar | 393 |
| 12.40 | Funktions-generator mit weitem Frequenzbereich | 393 |
| 12.41 | Wienbrückenoszillator mit Diodenarray | 396 |
| 12.42 | Funktions- und Sweeping-Generator | 397 |
| 12.43 | Quarzoszillatoren mit ungepufferten Invertern | 402 |
| 12.44 | High-Speed-Funktions-generator | 403 |
| 12.45 | Random-Noise-Generator | 403 |
| 12.46 | FM-Messsender | 405 |
| 12.47 | Dreiton-Oszillator | 405 |
| 13 | Weitere Schaltungen für die Messtechnik | 407 |
| 13.1 | Schaltungen mit S&H-Verstärker-ICs | 407 |
| 13.2 | Langlebige portable Referenzquelle | 411 |
| 13.3 | Schneller Spannungsfolger | 412 |
| 13.4 | Quellen für negative Referenzspannung | 412 |
| 13.5 | Präzisions-Stromquelle und -Stromsenke | 413 |
| 13.6 | Logarithmierer mit 100 dB Dynamikbereich | 414 |
| 13.7 | Schneller Logarithmierer | 415 |
| 13.8 | Anti-Logarithmierer | 416 |
| 13.9 | Mathematische Verarbeitung mit minimaler Drift | 417 |
| 13.10 | Multiplizierer/Dividierer | 420 |
| 13.11 | Schneller Integrierer | 421 |
| 13.12 | Schaltung eliminiert Gleichtaktspannung | 422 |
| 13.13 | Abgleichbarer Logarithmierer | 423 |
| 13.14 | Digitaler Nullabgleich von Präzisions-Operationsverstärkers .. | 424 |
| 13.15 | Präzise Betragsbildung | 425 |
| 13.16 | Präziser Multiplizierer/Dividierer | 425 |
| 13.17 | Hochstabile Spannungsreferenz | 425 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 13.18 | Präzise duale Spannungsreferenz | 428 |
| 13.19 | Micropower-Referenzspannungsquelle für 1,23 V | 429 |
| 13.20 | Bilaterale Spannungs-Strom-Umsetzer | 430 |
| 13.21 | Instrumentationsverstärker als Operationsverstärker | 431 |
| 13.22 | Ansteuerschaltung für Differential-ADC | 432 |
| 13.23 | Programmierbare Stromquelle | 432 |
| 13.24 | Dämpfender aktiver Desymmetrierer | 433 |
| 13.25 | Vierquadranten-Multiplizierer | 435 |
| 13.26 | Schnelle S&H-Schaltung | 435 |
| 13.27 | Stromquelle mit Schaltregler | 437 |
| 13.28 | Spannungsreferenz mit Driftabgleich | 437 |
| 13.29 | Hochgenaue S&H-Schaltung | 438 |
| 13.30 | Vollwellen-Gleichrichter ohne Dioden | 439 |
| 13.31 | Diodenloser Gleichrichter | 440 |
| 13.32 | Lineare Gleichrichtung ohne Diode | 441 |
| 13.33 | Breitbandiger Gleichrichter | 441 |
| 13.34 | Leistungsfähiger Transistorprüfer | 442 |
| 13.35 | Präzise -10-V-Referenz | 444 |
| 13.36 | Störsichere Datenübertragung | 445 |
| 13.37 | Einfacher Frequenzmultiplizierer | 446 |
| 13.38 | Frequenzmultiplizierer mit D/A-Wandler | 446 |
| 13.39 | Messwertübertragung auf der Stromversorgungs-Leitung | 448 |
| 13.40 | Spannungsgesteuerte Konstantstromquelle | 448 |
| 13.41 | Stabile exponentielle Stromquelle | 450 |
| 13.42 | Qualifizierte 1-A-Injektorschaltung | 451 |
| 13.43 | Einfacher breitbandiger Frequenzverdoppler | 451 |
| 13.44 | Bargraph-Anzeige mit PIC | 451 |
| 13.45 | Konstantleistungs-Quelle | 455 |
| 13.46 | Referenz-IC mit Stromverstärker | 455 |
| 13.47 | Verbesserte Stromquelle | 457 |
| 13.48 | Low-Cost-Dividierer | 457 |
| 13.49 | 9-Bit-Digital-Analog-Konverter | 459 |
| 13.50 | Einfaches S&H-System | 459 |
| 13.51 | Symmetrische Messwert-Übertragung | 461 |
| 13.52 | Stromsenke mit Fehlerkorrektur | 461 |
| 13.53 | Fünfstelliger Ereigniszähler mit Voreinstellung | 463 |
| 13.54 | Kaskadischer Abwärts-Ereigniszähler | 463 |
| 13.55 | Ereigniszähler zählt auf- oder abwärts | 463 |
| 13.56 | Zweifach-Fernanzeige | 466 |
| 13.57 | Digitale Einstellung des Übertragungsfaktors | 466 |
| 13.58 | LED-Zeile am Mikrocontroller | 466 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 13.59 | Kompakter Oszilloskoptester | 468 |
| 13.60 | Logikpegel-Tester | 471 |
| 14 | Zusatzschaltungen für Messgeräte | 472 |
| 14.1 | Induktivitätsmess-Vorsatz für Multimeter | 472 |
| 14.2 | Vorteiler und -verstärker für Frequenzmesser | 473 |
| 14.3 | Präziser Audio-Spitzenspannungs-Messvorsatz | 474 |
| 14.4 | Millivoltmeter-Adapter für Multimeter | 475 |
| 14.5 | Schaltung zur Verbesserung der Klirrfaktor-Messung | 477 |
| 14.6 | Messschaltung für die Settling Time | 478 |
| 14.7 | Goniometer – der bessere Phasenmesser | 479 |
| 14.8 | HF-Tastkopf mit Log Amp/Detector | 480 |
| 14.9 | Phasenwinkel bis 360 Grad messen | 481 |
| 14.10 | Einfacher Kabelbruchdetektor | 483 |
| 14.11 | Differenzielle Frequenzmessung | 484 |
| 14.12 | Phasenmesser | 485 |
| 14.13 | Vorteiler 0,1...3,5 GHz | 485 |
| 14.14 | Vorverstärker und Vorteiler | 487 |
| 14.15 | Einfache Messung der Settling Time | 487 |
| 14.16 | Einfache aktive Tastkopfschaltungen | 489 |
| 14.17 | Audiofilter-Wobbler | 491 |
| 14.18 | Vielseitiger NF-Wobbler | 492 |
| 14.19 | Low-Cost-HF-Wobbler | 493 |
| 14.20 | Bargraph-Anzeige für Oszilloskop | 494 |
| 14.21 | Tastkopf für Frequenzzähler | 496 |
| 14.22 | Universeller aktiver Tastkopf | 496 |
| 14.23 | Modulationsmonitor-Zusatz | 497 |
| 14.24 | LC-Generator als Frequenzzähler-Zusatz | 499 |
| 14.25 | Tester für Leistungstransistoren | 499 |
| 14.26 | Einfaches Milliohmometer | 501 |
| 14.27 | Einfacher Spectrum Analyzer | 502 |
| 14.28 | HF-Wobbler mit großem Frequenzbereich | 503 |
| 14.29 | Ein VHF-Wobbler | 505 |
| 14.30 | Kapazitäts-/Induktivitäts-Messvorsatz | 506 |
| 14.31 | Einfache Magnetfeldmessung | 506 |
| 14.32 | Instrumentationsverstärker als Oszilloskop-Vorsatz | 508 |
| 14.33 | Einfache Induktivitätsmessung | 510 |
| 14.34 | Kennlinienschreiber für FETs | 510 |
| 14.35 | Vorteiler zur Frequenzmessung mit Multimeter | 511 |
| 14.36 | Achtkanal-Chopper | 513 |
| 14.37 | Vorverstärker für Zähler | 513 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 15 | Schaltungen für die Prüftechnik | 515 |
| 15.1 | Einfacher Negative-Resistance-Oszillator | 515 |
| 15.2 | Leistungsstarker Audio-Prüfgenerator | 516 |
| 15.3 | Einstellbarer Batteriesimulator | 517 |
| 15.4 | Einfacher Feldstärke-Indikator | 518 |
| 15.5 | Testoszillator für HF bis UHF | 519 |
| 15.6 | Batterie-Checker | 521 |
| 15.7 | Einfacher Dreibereichs-KW-Prüfgenerator | 522 |
| 15.8 | Einfacher KW-Generator mit MC1648 | 523 |
| 15.9 | Mehrbereichsgenerator mit MC1648 | 524 |
| 15.10 | Stereo-Prüfsender mit SMD-IC | 525 |
| 15.11 | Verlustfaktor-Vergleichsschaltung | 526 |
| 15.12 | Testoszillator zur Induktivitätsermittlung | 527 |
| 15.13 | Magnetfeld-Detektor | 527 |
| 15.14 | Mehrdraht-Kabeltester | 528 |
| 15.15 | CMOS-Logiktester | 528 |
| 15.16 | Transistorprüfer und Testgenerator | 530 |
| 15.17 | Praktisches Kabelprüfgerät | 531 |
| 15.18 | Tester für 6-V-NiCd/MiMH-Akkus | 532 |
| 15.19 | Ladestromindikator | 532 |
| 15.20 | Batteriespannungs-Tester | 534 |
| 15.21 | Aufspürgeräte für 2,4-GHz-Quellen | 534 |
| 15.22 | Überwachung optischer Signale | 536 |
| 15.23 | Logikpegel-Test-Set | 536 |
| 15.24 | Logikanalysator | 537 |
| 15.25 | Einfacher NF-Frequenzanalysator | 538 |
| 15.26 | Tönender Durchgangsprüfer | 539 |
| 15.27 | Einfacher High/Low-Tester | 540 |
| 15.28 | Schonender Batterietester | 541 |
| 15.29 | Akustischer Widerstandstester | 541 |
| 15.30 | Breitbandiger Testgenerator | 542 |
| 15.31 | RFID-Sendefelddetektor | 542 |
| 15.32 | Leitungsfinder | 545 |
| 15.33 | Magnetpol-Indikator | 546 |
| 15.34 | Nulldurchgangs-Detektor | 546 |
| 15.35 | Pegel- und Impulsrichtungs-Indikator | 547 |
| 15.36 | Infrarot-Detektor | 547 |
| 15.37 | Dreistufiger Spannungsdetektor | 548 |
| | Stichwortverzeichnis | 549 |

1 Messung elektrischer Gleichgrößen

1.1 Gleichspannungsmessung mit dem ICL7136

Der ICL7106 war der erste IC, welcher alle aktiven Komponenten zur qualifizierten Gleichspannungsmessung mit digitaler Anzeige auf einem LC-Display enthielt. Neben dem LCD waren nur vier Widerstände, vier Kondensatoren sowie ein Eingang-RC-Filter als Außenbeschaltung erforderlich.

Der ICL7136 ist die Ultra-Low-Power-Version des ICL7106. Nach *Abb. 1.1* ist auch die Außenbeschaltung identisch. Sie gilt für maximal 1999 mV Eingangsspannung. Für 1,999 V müssen folgende Bauelementeänderungen erfolgen: R1 150 kOhm,

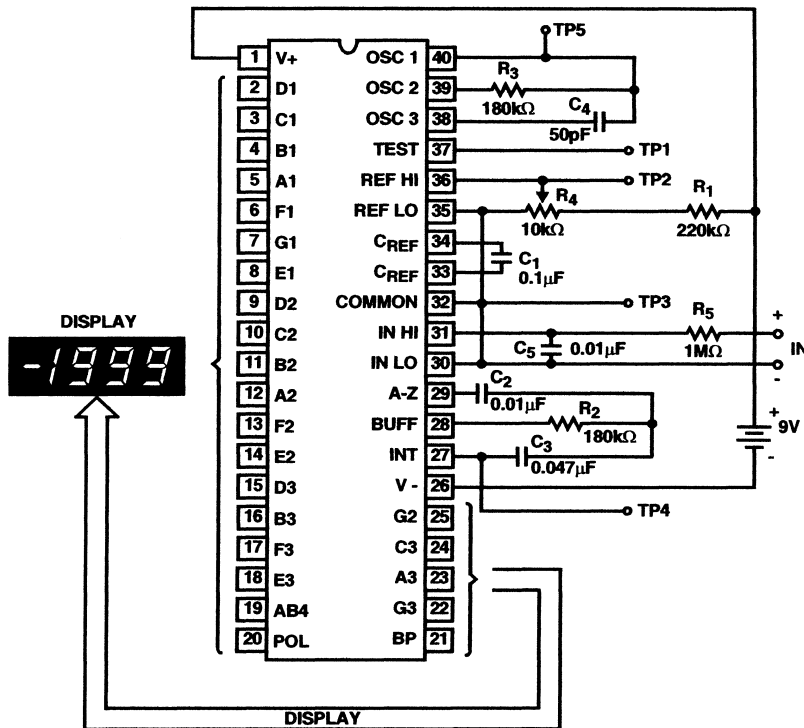


Abb. 1.1

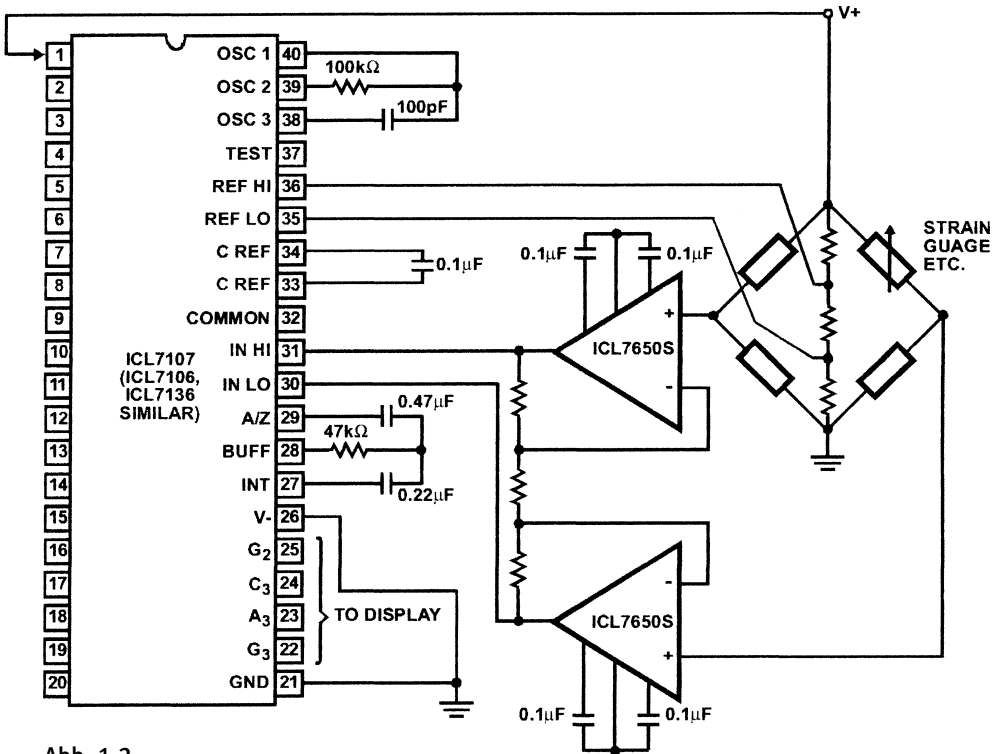


Abb. 1.2

Intersil Application Note 023

R2 1,8 MOhm, R4 100 kOhm, C2 22 nF. Außerdem sollte der Dezimalpunkt gesetzt werden.

Abb. 1.2 zeigt eine Anwendung der Bausteine einschließlich des ICL7136 im Zusammenwirken mit einer Messbrücke. Der Eingang ist massebezogen, somit ist ein direkter Anschluss an die Brücke nicht möglich. Zwei Operationsverstärker bilden daher einen Differenzverstärker; auch ein einfacher Differenzverstärker (mit unsymmetrischem Ausgang) scheint möglich, wenn die Brücke genügend niederohmig ist. Man sollte natürlich auch dabei einen Operationsverstärker mit geringer Drift bevorzugen.

1.2 Leistungsarme Strommessung mit Zeigerinstrument

Schaltet man ein Zeigerinstrument direkt in eine Leitung, um den darin fließenden Strom zu messen, hat das Nachteile. Zunächst verursacht der Innenwiderstand des Instruments einen gewissen Spannungsabfall. Dann muss das Instrument eventuell gegen Überlastung geschützt werden, üblicherweise mit zwei antiparallelen Si-Leistungsdioden. Schließlich kann eine Leitungsumverlegung erforderlich sein, denn das Instrument muss in der Regel an einem bestimmten Ort zwecks guter Ablesbarkeit angeordnet werden.

Hat man eine Hilfsspannung von z. B. 5 V zur Verfügung, kann man diese Probleme mit der Schaltung nach *Abb. 1.3* umgehen. Der in die Leitung einzufügende Widerstand ist mit 1 Ohm recht klein. Ein Strom von 100 mA verursacht daran einen Spannungsabfall von 100 mV. Der Differenzeingang des MAX4172 erhält den Spannungsabfall und wandelt ihn in einen Strom um. Bei 100 mV zwischen den Pins 1 und 2 fließt 1 mA aus Pin 6. Das bedeutet 1 V an 1 kOhm. Die Eingangsspannung wurde verzehnfacht. Ein Einstellwiderstand an dieser Stelle erlaubt den Abgleich der Schaltung. Der einfache Spannungs-Strom-Wandler mit dem Operationsverstärker MAX495 erzeugt im Kollektorkreis des Transistors bei 1 V Eingangsspannung einen Strom von etwa 15 mA ($1\text{ V}/66\text{ Ohm}$). Man sollte besser ein Instrument mit 10 oder 100 mA Endausschlag benutzen. Der Widerstand muss dann 100 Ohm bzw. 10 Ohm haben.

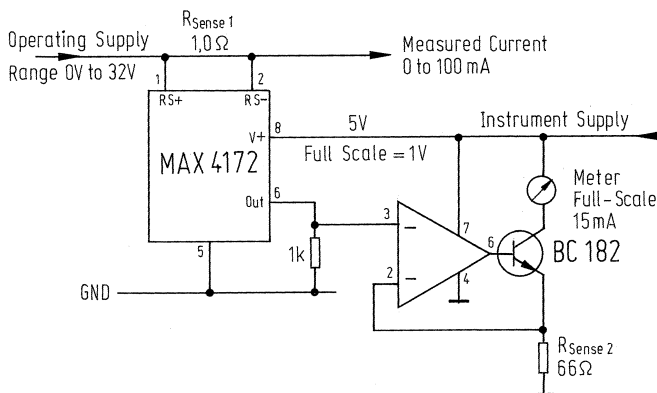


Abb. 1.3

1.3 Strommessung mit Instrumentationsverstärkern

Ein Instrumentationsverstärker zeichnet sich durch einen hochohmigen Differenzeingang mit hoher Gleichtaktunterdrückung aus. Somit sind qualifizierte, nicht massebezogene Spannungsmessungen möglich. Der typische Anwendungsfall ist die indirekte Strommessung durch Messung des Spannungsabfalls an einem möglichst niedrigen Widerstand in der Stromleitung.

In *Abb. 1.4* beträgt dieser Widerstand nur 5 Milliohm. Der maximale Strom von 10 A verursacht daran einen Spannungsabfall von 50 mV. Dennoch ist es für den Stabilisierungsschaltkreis wichtig, dass die Vergleichsspannung direkt an der Last abgenommen wird. Die Eingänge des Instrumentationsverstärkers sind mit Widerständen von 10 kOhm geschützt. Gleichzeitig ergeben sich mit den Kapazitäten Tiefpassfilter. Die Kondensatoren sind für wenige Hertz Grenzfrequenz zu bemessen. Die Verstärkung von 50 wird mit den Widerständen an Pin 5 bestimmt. Das ergibt eine Ausgangsspannungsänderung von 250 mV pro Ampere.

In *Abb. 1.5* beträgt der Shuntwiderstand 10 Milliohm, und der IC-Eingang wird durch Widerstände und antiparallel geschaltete Dioden geschützt. Dies deshalb, weil Strom in beide Richtungen fließen und erfasst werden kann. Die Gegenkopplungsbeschaltung muss daher beide Feedback-Pins betreffen. Beim Strom null soll bereits eine Ausgangsspannung von 2 V vorliegen. Das bedeutet 20 mV Versatz an Pin 8 gegenüber Pin 5. Denn die Widerstände sind für eine Verstärkung von 100 ausgelegt. Somit bedeuten $-2 \text{ A } 0 \text{ V}$ Ausgangsspannung und $2 \text{ A } 4 \text{ V}$ Ausgangsspannung. Durch die einfache Versorgung kann diese nicht negativ werden. Mit der Schaltung kann man Lade- und Entladeströme von Akkus messen.

In *Abb. 1.6* ist eine weitere interessante Anwendung zu sehen. Es kommen drei moderne Instrumentationsverstärker zum Einsatz. Dieser Aufwand erlaubt die Messung von positiven und negativen Strömen mit Anzeige der Polarität. Auch hier ist der Shuntwiderstand sehr klein. Bei einem Ampere entsteht ein Spannungsabfall von 10 mV. Der obere Verstärker misst positive, der mittlere negative Ströme. Die Eingänge liegen parallel, die Pins sind aber vertauscht. Der untere Verstärker wertet die Polarität aus. Die Kondensatoren bilden mit den Widerständen Tiefpassfilter und sind nur bei Anwendungen erforderlich, wo eine Filterwirkung erzielt werden muss (z. B. Überwachung von Pulsbreitensteuerungen). Die Verstärkung beträgt 100, somit gilt am Ausgang 1 V/A .

In *Abb. 1.7* ist der Einsatz einer bidirektionalen Strommessschaltung in einer Motorsteuer-Brückenschaltung gezeigt.

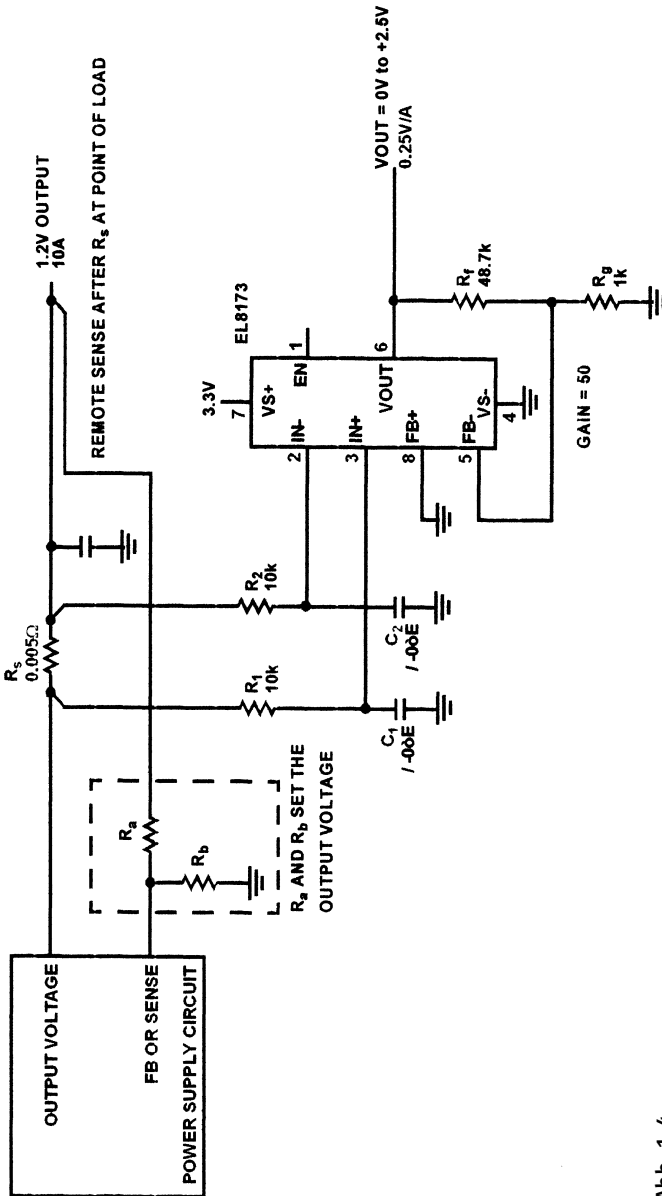


Abb. 1.4

LOAD CURRENT = 2A, MAX
X1 AND X2 MUST BE 0V TO +5V

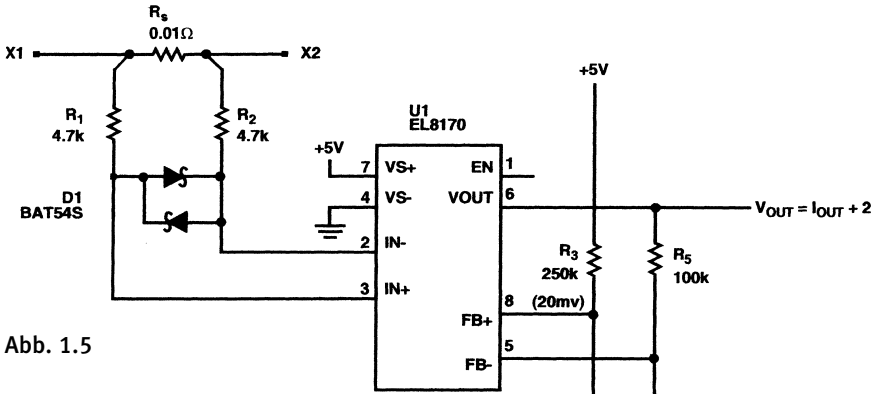


Abb. 1.5

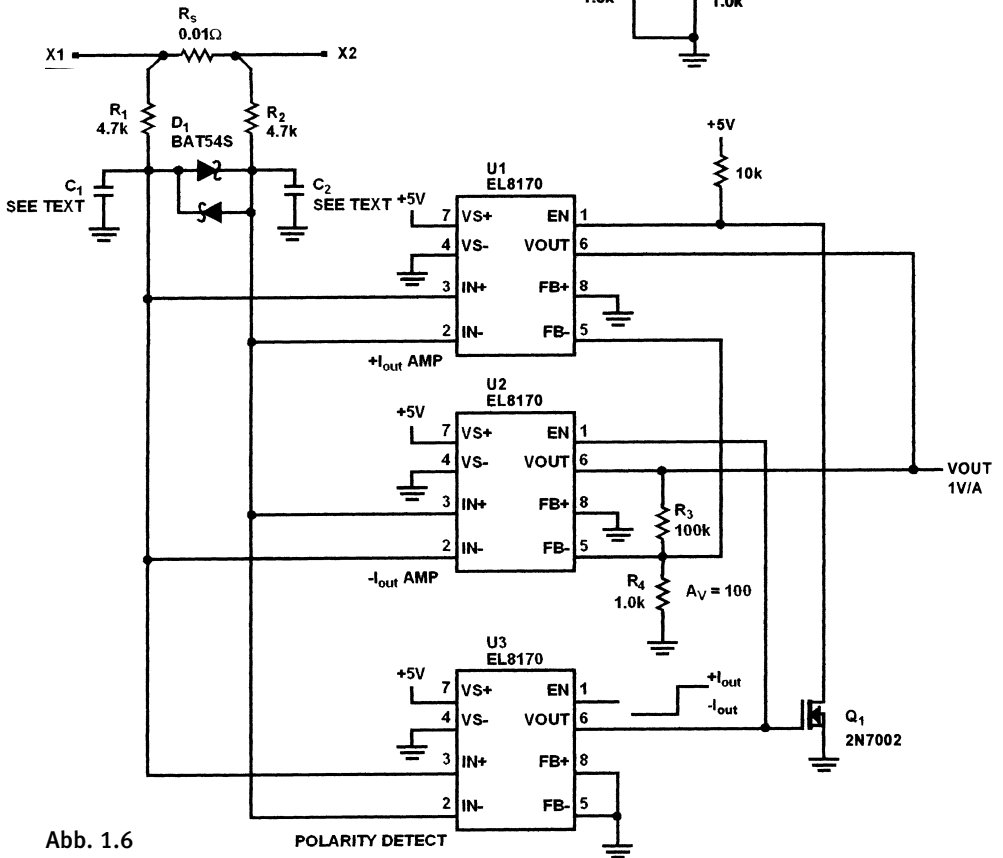


Abb. 1.6

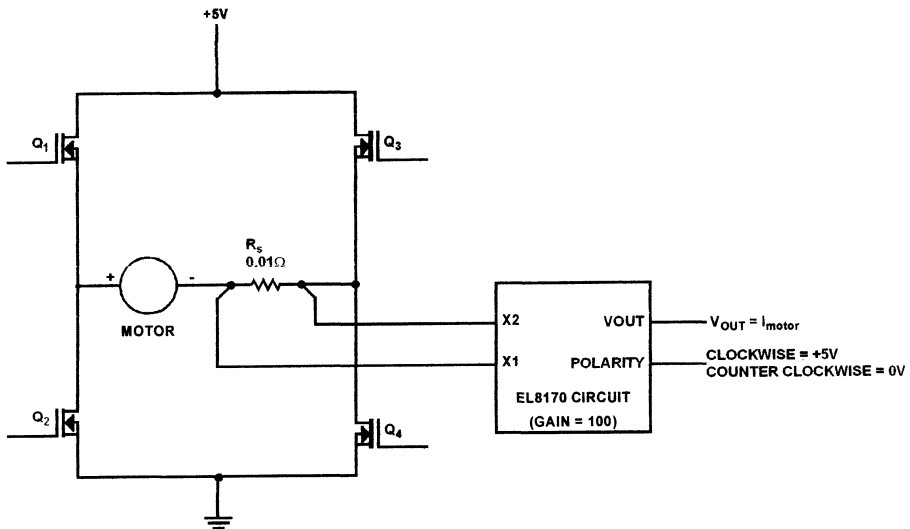


Abb. 1.7

Intersil Application Note 1298

1.4 Interface zur Gleichspannungsmessung mit dem PC

Die 25-polige Sub-D-Buchse zum Druckeranschluss ist auch heute noch an vielen PCs vorhanden. Stattet man einen solchen PC mit der Schaltung nach *Abb. 1.8* aus, kann man vier Gleichspannungen erfassen. Für hohe Werte kann man an den Eingängen die angedeuteten Spannungsteiler anordnen. Die Kondensatoren bewirken zusammen mit den Längswiderständen eine Signalfilterung. Der MAX4164 enthält vier Operationsverstärker, die jeweils als Spannungsfollower geschaltet sind. Der MAX1248 ist ein 10-bit-A/D-Wandler.

Die Betriebsspannung erhält das Interface von der Sub-D-Buchse. Sie wird in der Regel 5 V betragen. Notebooks bieten oft nur etwa 3 V – auch dann arbeitet die Schaltung einwandfrei. Die Stromaufnahme ist hier mit etwa 1 mA sehr gering. Liegt die Quellimpedanz unter 3 kOhm, können die Operationsverstärker entfallen. Andernfalls wird der Vierfach-Operationsverstärker vorgesehen. Er arbeitet auch noch mit 2,7 V, hat Rail-to-Rail-Eingänge und verbraucht nur etwa 100 μ A.

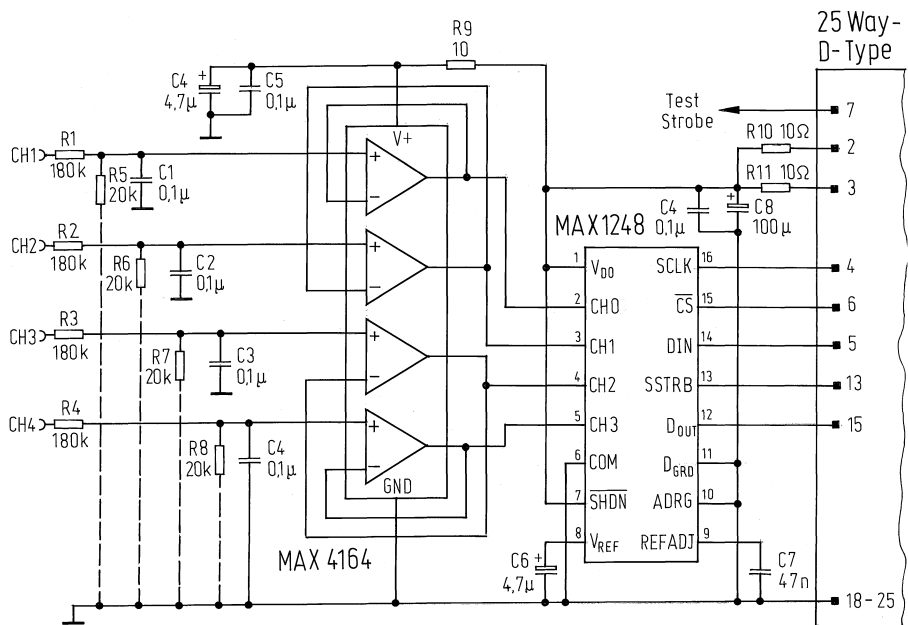


Abb. 1.8

Maxim Application Note 1988

1.5 A/D-Wandler misst Spannungen bis 1000 V

Die Analog-Digital-Wandler CD5521/23, CS5522/24/28 und CS5525/26 besitzen einen chopperstabilisierten programmierbaren Instrumentationsverstärker mit maximal 300 pA Eingangsstrom. Eine Ladungspumpenschaltung ist ebenfalls integriert, um eine negative Versorgungsspannung zu erzeugen. Das macht die Messung massebezogener Spannungen möglich (Abb. 1.9). Der Instrumentationsverstärker (PGIA, programmable gain instrumentation amplifier) hat die Low-Level-Eingangsbereiche: ± 25 , ± 55 und ± 100 mV. Der Eingangsstrom ist von Sampling-Kondensator und Sampling-Frequenz abhängig. Hält man diese Größen klein, ist auch er gering. Dann ist das Vorschalten eines hochohmigen Spannungsteilers bei geringem Fehler möglich. So kann ein Eingangsspannungsbereich von ± 10 V gemäß Abb. 1.10 bei nur 0,03 % Fehler erreicht werden. Senkt man den Widerstand gegen Masse, sinkt der Fehler entsprechend. In Abb. 1.11 wurde der Widerstand auf 1 kOhm vermindert. Mit fünf Widerständen 2 MOhm können nun Spannungen bis zu ± 1000 V gemessen werden, wobei über jedem Widerstand maximal 200 V abfallen.

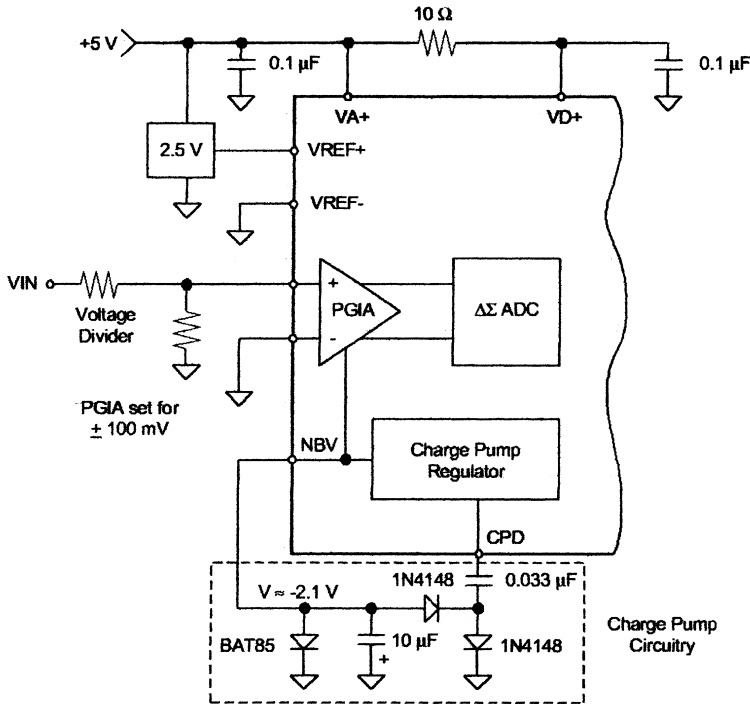


Abb. 1.9

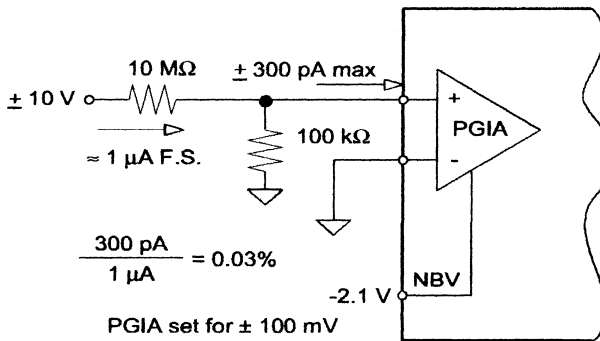


Abb. 1.10

Mit 32,768 kHz Eingangstaktfrequenz ergibt sich eine niedrige Chopperfrequenz von 256 Hz. Das bedeutet nur etwa 100 pA Eingangsstrom bei Zimmertemperatur und maximal 300 pA im industriellen Standardtemperaturbereich.

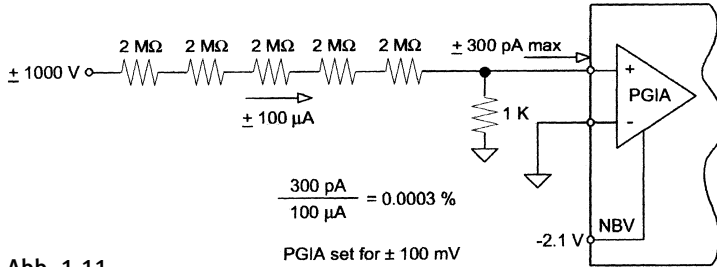


Abb. 1.11

Crystal Application Note 158, Keith Coffey/Jerome Johnston

1.6 Schutzschaltungen für Strommess-ICs

Zur permanenten Strommessung in der Industrie werden oft sogenannte High-Side-Transimpedance-ICs eingesetzt, die es in in einem breiten Typenspektrum gibt. Sie messen den Spannungsabfall über einem Shuntwiderstand zwischen Last und Betriebsspannung. Daher erfassen sie auch einen eventuellen Kurzschlussstrom infolge fehlerhafter Verbindung der Leitung zwischen Shuntwiderstand und Last mit Masse. Bei einer Low-Side-Messung (Shuntwiderstand zwischen Last und Masse) wäre das nicht möglich.

Diese High-Side-Wandler sollten oder müssen in vielen Fällen gegen Überspannung geschützt werden. Weiterhin wird oft ein Schutz der nachfolgenden Schaltung gefordert. In Abb. 1.12 links ist der Schutz des Strommess-ICs mit einer Z-Diode gezeigt, in der Mitte der Schutz der Last mit Z-Diode und Vorwiderstand. Beide Methoden lassen sich, wie rechts gezeigt, problemlos kombinieren.

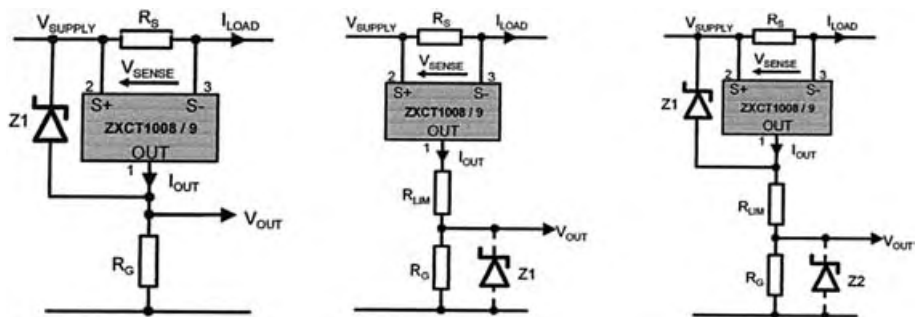


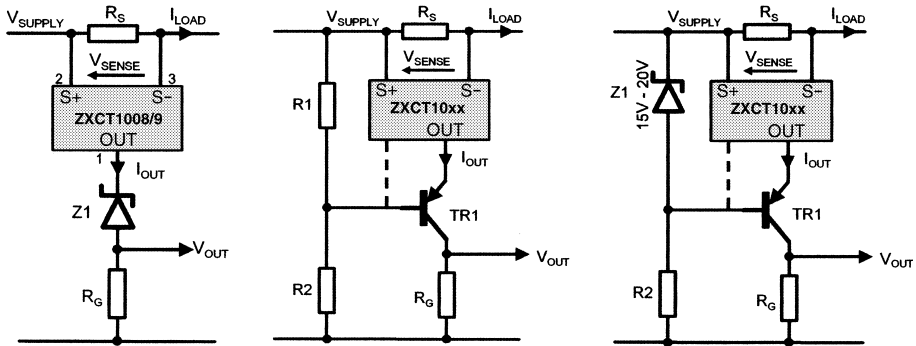
Abb. 1.12

Zentex Application Note 39

1.7 Strommess-ICs an hoher Betriebsspannung

Zentex-Strommess-ICs können eine separate Betriebsspannung benötigen, die mindestens 2 V höher als die Betriebsspannung im Messstromkreis ist. Bei kleinem Strom und hoher Betriebsspannung können sie aber auch ohne diese überlastet werden. Über dem Widerstand, welcher den Ausgangsstrom in eine Spannung wandelt, liegt dann nur eine geringe Spannung; fast die volle Betriebsspannung fällt am IC ab.

In einem solchen Fall kann man nach *Abb. 1.13* vorgehen. Die linke Schaltung ist am einfachsten, die mittlere schützt auch vor transienten Überspannungen. Die Designregeln gelten für diese mittlere Schaltung. Die rechte Schaltung arbeitet sehr präzise.



1. Ausgangsstrom I_{OUT} bestimmen oder annehmen (hohe Genauigkeit nicht erforderlich)
2. minimale Betriebsspannung $V_{SUPPLY(min)}$ bestimmen
3. maximale Arbeitsspannung V_{MAX} bestimmen

4. Transistor-Basisstrom I_B berechnen:
$$I_B = \frac{I_{OUT}}{h_{FE(min)}}$$

5. Basiswiderstand R_B berechnen:

$$R_B = \frac{(V_{SUPPLY(min)} - V_{DO} - V_{cb})}{I_B} = \frac{(V_{SUPPLY(min)} - V_{DO} - V_{cb}) \cdot h_{FE(min)}}{I_{OUT}} = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}$$

6. R1 berechnen:
$$R1 = \left(\frac{V_{SUPPLY(max)}}{V_{SUPPLY(max)} - V_{MAX}} \right) \cdot R_B$$

7. R2 berechnen:
$$R2 = \left(\frac{V_{SUPPLY(max)}}{V_{MAX}} \right) \cdot R_B$$

Abb. 1.13

1.8 Bidirektionale Motorstrommessung

In Abb. 1.14 ist links eine H-Brücke zur Ansteuerung eines Motors zu sehen, wobei Rechts- und Linkslauf möglich ist. Zur Erfassung dieser Ströme sind zwei Shuntwiderstände und zwei High-Side-Strommess-ICs eingefügt. Diese Konfiguration ist einfach, kommt mit den verbreiteten High-Side-ICs aus, benötigt aber zwei Shunts im Motorstromkreis. Das lässt sich gemäß Abb. 1.15 vermeiden. Die eingesetzten

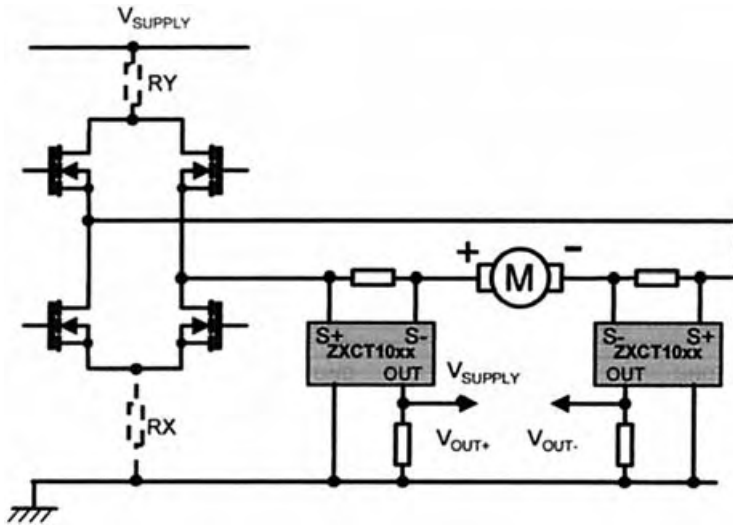


Abb. 1.14

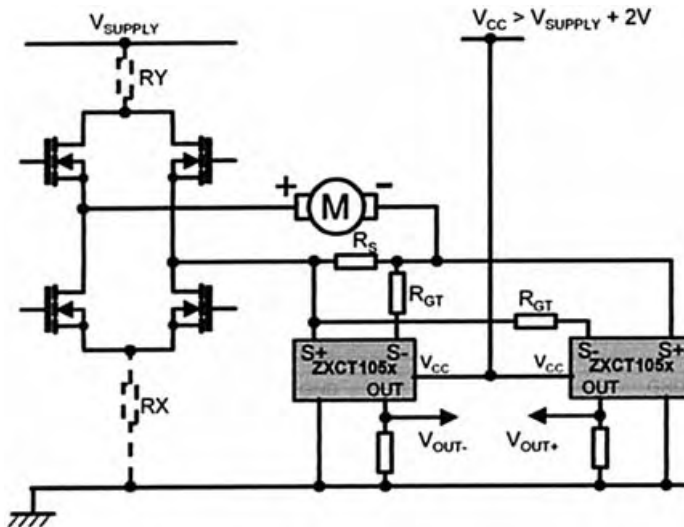


Abb. 1.15

Zentex Application Note 39

ICs ZXCT1050 und ZXCT1051 arbeiten auch im Low-Side-Betrieb und können daher für Antiparallelbetrieb konfiguriert werden. Das erfordert nur einige Zusatzwiderstände. Nun ist allerdings auch eine separate Versorgungsspannung erforderlich.

1.9 Kurzschlusschutz für Strommess-ICs

In Abb. 1.16 dient der Transistor Q1 dazu, die Spannung an U1 zu reduzieren. Er arbeitet wie eine Z-Diode im Durchbruchbereich. Q1 ist nicht erforderlich, wenn die Betriebsspannung an U1 unter dessen maximaler Betriebsspannung I_t Datenblatt liegt. Die an R3 abfallende Spannung speist U2, eine einstellbare Spannungsreferenz. Wenn die Spannung am Pin V_{Ref} dieses Bauelements 1,24 V übersteigt, leitet die Referenzquelle und zieht den Open-Collector-Ausgang gegen Masse. Der erforderliche Pull-up-Widerstand kann an Spannungen bis 20 V gelegt werden. Der Vorteil der Nutzung des Bausteins ZR431L als Pegeldetektor gegenüber einem Transistor liegt darin, dass der Schaltpegel unabhängig von Temperaturänderungen und Exemplarstreuungen ist.

Die Empfindlichkeit der Strombegrenzungsschaltung kann über R3 beeinflusst werden. Der Strom, welcher zur Auslösung führt, lässt sich I_t Formel berechnen. In

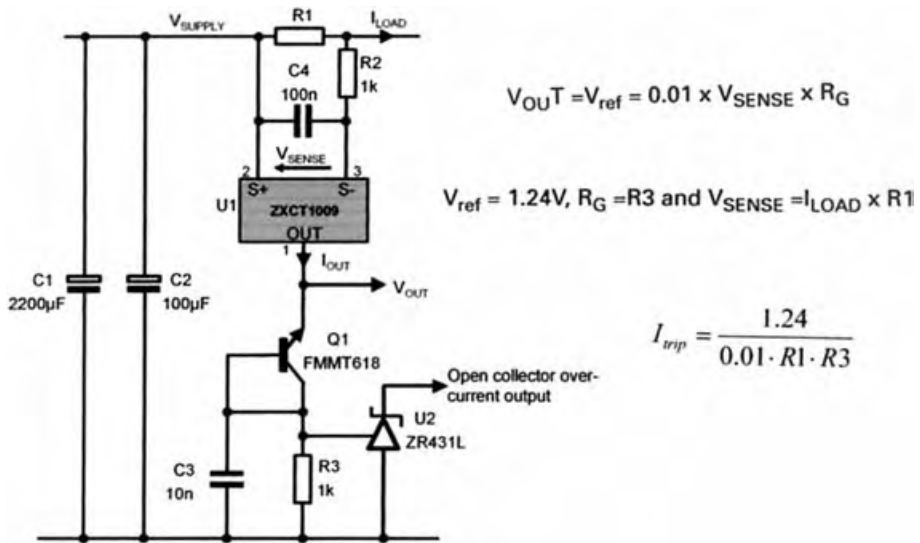


Abb. 1.16

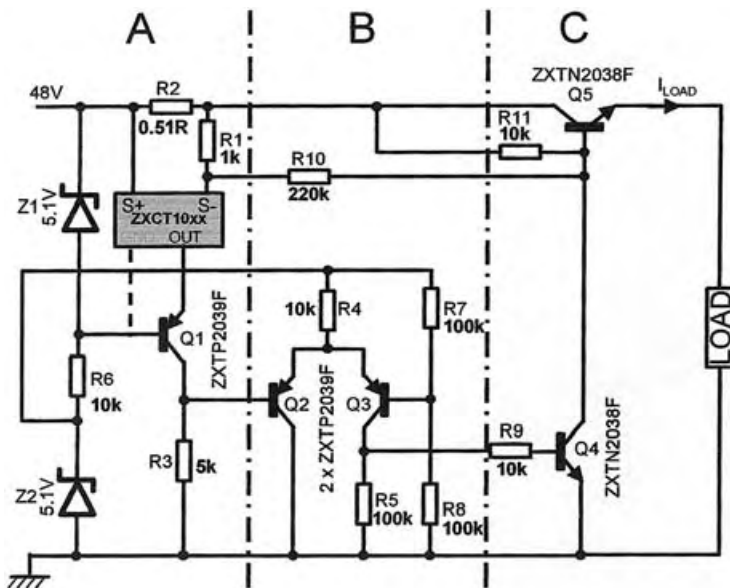
der angegebenen Schaltung beträgt er 5,6 A. C3 bewirkt eine Zeitverzögerung, um Fehlschaltungen vorzubeugen. R2 und C4 sind ein besonders bei induktiven Lasten nützliches Filter.

1.10 Strommess-IC-Überstromschutz mit Latching

Der Strommess-IC-Überstromschutz mit Latching nach *Abb. 1.17* teilt sich in drei Stufen. Er ist besonders für Anwendungen mit niedrigen Leistungen geeignet, kann aber leicht für hohe Leistungen ausgelegt werden, indem man für Q5 einen kräftigeren Transistor einsetzt.

Stufe A stellt einen abhängig geboosteten Stromindikator (COCM, compliance-boostered current monitor) dar. Die Z-Diode stellt dabei eine Referenzspannung bereit.

Stufe B ist ein Komparator. Er vergleicht den COMC-Ausgang mit der halben Referenzspannung. Wenn der Ausgang diese überschreitet, steht an R5 nur noch eine sehr geringe Spannung an.



$$I_{\text{trip}} = \frac{V_{Z2}}{G_T} \left(\frac{R8}{R2 \cdot R3(R7 + R8)} \right) = 100 \cdot V_{Z2} \left(\frac{R8}{R2 \cdot R3(R7 + R8)} \right)$$

Abb. 1.17

Stufe C ist die Schaltstufe. Bei geringer Spannung an R5 werden Q4 und der Längstransistor Q5 gesperrt. Hierbei ergibt sich eine Verriegelung durch R10. Der Stromindikator kommt in einen Overdrive-Modus. Erst nachdem die Last abgetrennt oder vermindert wurde, ist ein normaler Betrieb wieder möglich. Der zulässige Maximalstrom errechnet sich gemäß der angegebenen Gleichung.

1.11 High-Side-Strommess-IC an hoher Spannung

Ein High-Side Current Sense Amplifier misst den Spannungsabfall an einem Widerstand in einer Stromversorgungsleitung zwischen Betriebsspannung und Last, daher der Name. (Eine Low-Side-Messung bedeutet Anschluss des Shuntwiderstands und Strommess-ICs zwischen Last und Masse.) Es gibt praktische Fälle, wo die Spannung am Shuntwiderstand im dreistelligen Voltbereich liegt. Dann müssen besondere Maßnahmen ergriffen werden, um den Einsatz üblicher Strommess-ICs zu ermöglichen.

Eine dieser Maßnahmen zeigt *Abb. 1.18*. Die Schaltung ermöglicht es einem üblichen 32-V-High-Side-Strommess-IC, einen Strom zu messen, der von einer Spannung von 100 bis 250 V getrieben wird. Dieser Strom kann maximal 4 A betra-

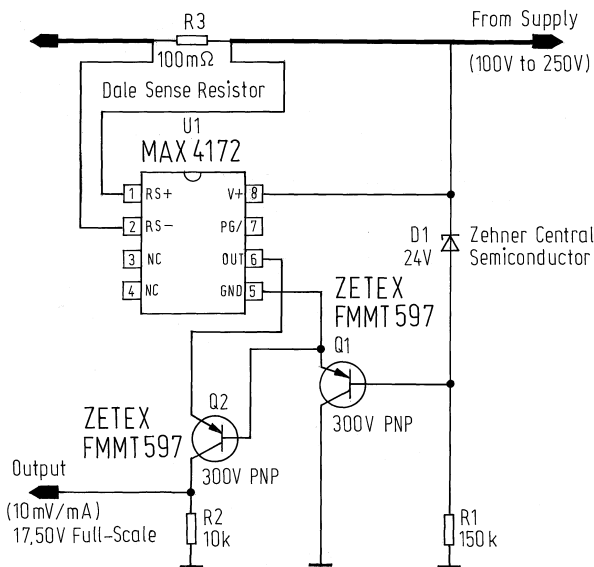


Abb. 1.18

gen. Die spannungsfesten externen Bauelemente fangen die hohe Differenz zwischen der Spannung im Messstromkreis und der Betriebsspannung des ICs ab. Diese beträgt etwa 23,3 V. Der Strom durch die Z-Diode sollte etwa 500 μA betragen und wird durch R_1 bestimmt. Ein Maximalwert von 220 k Ω ist möglich.

Die Transistoren bilden eine Stromspiegelschaltung, welche das Ausgangssignal des ICs gegen Masse zur Verfügung stellt. Ab 30 mA Laststrom kann eine Toleranz von 1 % erreicht werden.

1.12 Bidirektionale Strommessschaltung

Der MAX4377 ist ein dualer Strommess-IC für kleine Ströme. Legt man die Eingänge der internen Verstärker über Kreuz an den Shuntwiderstand im Messstromkreis, wird der Strom in jeder Richtung (z. B. Lade- und Entladestrom) erfasst. Ein Ausgang liefert dann eine zum positiven Strom proportionale Spannung, während der andere nahe Masse liegt und umgekehrt. Ein Zweikanal-Analog/Digital-Wandler wird daher für die exakte Auswertung per Mikrocomputer benötigt.

Abb. 1.19 zeigt das. Die Verstärkung jedes internen Operationsverstärkers ist 20. Somit gilt für den Betrag der jeweiligen Ausgangsspannung $20 \times \text{Stromstärke} \times \text{Shuntwiderstand}$. Beispielhaft ergibt sich bei 0,1 A und 1 Ω eine Ausgangsspannung von 2 V.

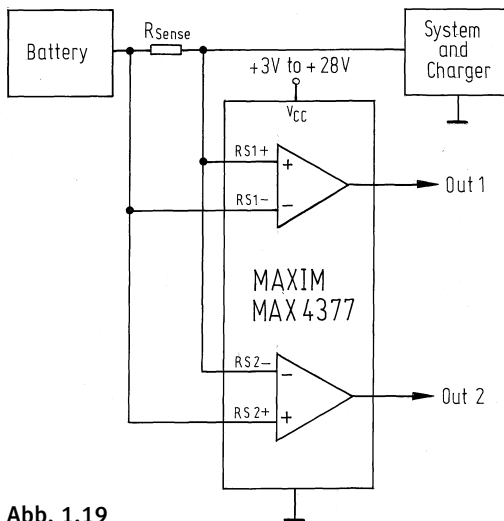


Abb. 1.19

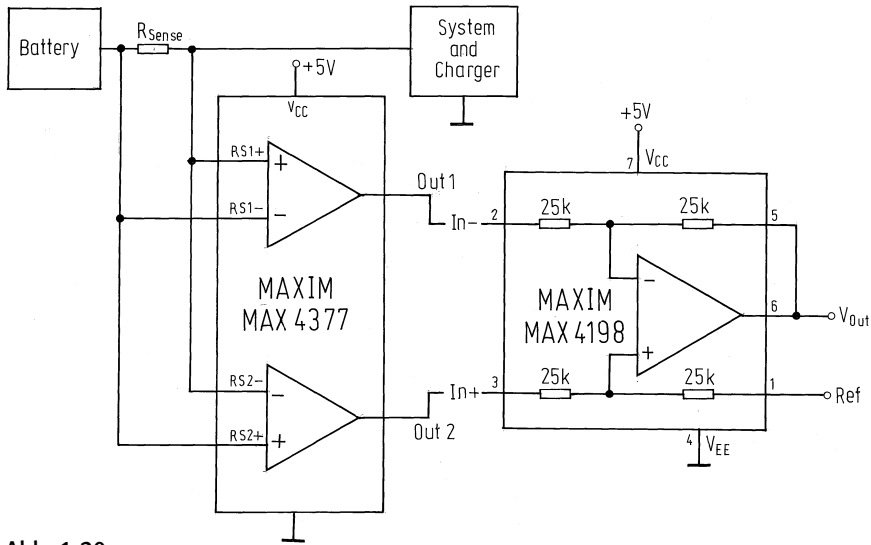


Abb. 1.20

Maxim Application Note 1949

Die Schaltung in *Abb. 1.20* geht einen Schritt weiter. Ein konventioneller Differenzverstärker fasst nun die beiden Ausgangssignale zusammen. Da auch er an einfacher Betriebsspannung arbeitet, ist eine direkte Differenzbildung nicht möglich, denn dazu müsste er in den negativen Spannungsbereich steuern können. Daher wird eine Referenzspannung z. B. in Höhe der halben Betriebsspannung zugeführt. Dieses Niveau gilt als null. Der MAX4070 enthält diese Differenzstufe bereits.

1.13 Einfache Stromanzeige-Schaltung

Die Schaltung nach *Abb. 1.21* wandelt einen geringen bis hohen Strom in eine proportionale Spannung, welche gegen Masse auftritt. Der Strom fließt durch $R1$. Bei 1 A entsteht dort ein Spannungsabfall von 100 mV. Die Spannung am Pluseingang sinkt entsprechend. Um diesen Betrag regelt der FET die Spannung am Minuseingang nach, denn im linearen Betrieb ist die Differenzeingangs-Spannung eines Operationsverstärkers immer vernachlässigbar klein. Dies ist mit einem stromproportionalen Anstieg der Spannung an $R3$ verbunden.

Das Umsetzverhalten ist von allen drei Widerständen abhängig. Man kann also leicht für den jeweils vorliegenden speziellen Anwendungsfall dimensionieren.

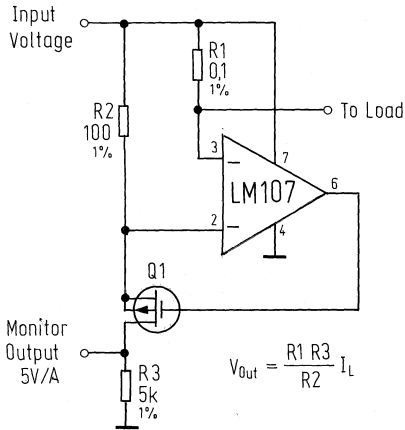


Abb. 1.21

National Semiconductor Application Note 31

1.14 Einfacher bidirektionaler Strommonitor

Die Schaltung nach *Abb. 1.22* stellt einen High-Side-Strommonitor dar – allerdings nicht mit Spezial-IC, sondern mit Operationsverstärker. Der Operationsverstärker ist als Differenzverstärker beschaltet. Wenige Widerstände genügen dazu. Dennoch ist die Schaltung vielseitig nutzbar. Die Spannung V_1 muss allerdings innerhalb der Betriebsspannungsgrenzen des Operationsverstärkers liegen. Je nach Stromrichtung wird die Ausgangsspannung positiv oder negativ.

Die sehr hohe Betriebsspannungs-Unterdrückung (120 dB) des OP-77 macht eine Stabilisierung meist überflüssig.

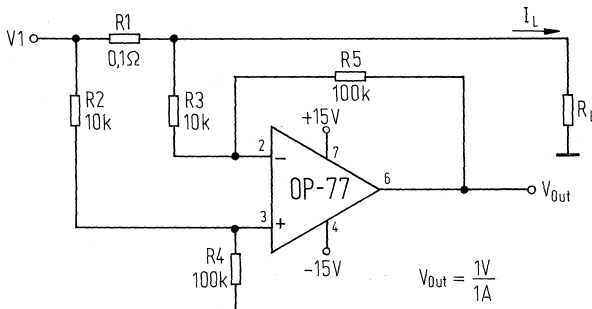


Abb. 1.22

Analog Devices Application Note 106, James Wong

1.15 Strommessschaltung für 100 pA bis 100 μ A

Zur Ermittlung von Halbleiter-Sperrströmen oder Elektrolytkondensator-Leckströmen kann die Schaltung nach *Abb. 1.23* eingesetzt werden. Sie verzichtet auf hochohmige Widerstände, sodass die Gefahr der Verfälschung des Messergebnisses durch Verschmutzung oder Feuchtebeschlag nicht besteht. Eine Messtoleranz von 1 % ist möglich.

Der Schlüssel zu hoher Genauigkeit und Temperaturstabilität ist der Operationsverstärker OP-41 mit nur 5 μ A Biasstrom. Weiterhin zur Temperaturstabilität trägt das integrierte Transistorpaar MAT-02 bei. Der Operationsverstärker arbeitet in invertierender Grundschaltung. Der Spannungsabfall am Eingang für Vollausschlag liegt bei maximal 500 μ V.

Die Kalibrierung ist einfach und beschränkt sich auf die Einstellung des Skalenfaktors mit R4. Dies sollte bei 1 μ A Eingangsstrom im entsprechenden Bereich geschehen.

Ein 100- μ A-Instrument ist relativ leicht erhältlich, nicht so ein siebenstelliger Drehwähler, weshalb man eventuell auf den größten Bereich verzichten wird.

1.16 High-Side-Strommessung mit Speisespannung als Referenz

Der High-Side-Strom-Spannungs-Wandler AD8210 besitzt zwei Referenzspannungseingänge. Mit einer Referenzspannung kann man sein Ausgangspotenzial für den Nullwert des Stroms auf einen bestimmten Wert vorbestimmen, sodass bidirektionales Messen möglich ist. Man kann die Referenzspannungsquelle sparen, wenn man die Betriebsspannung des nachgeschalteten A/D-Wandlers von 3,3 V nutzt.

In der in *Abb. 1.24* oben gezeigten Beschaltung ist die Ausgangsspannung ohne Strom halb so groß wie die Spannung an Pin 7, also 1,65 V. Die Ausgangsspannung kann sich im Bereich 0,05 bis 4,9 V ändern. D1 hat Schutzfunktion. Falls der Hin- oder Rückstrom kleiner oder größer als der Rückstrom ist, kann diese Schaltung besonders von Vorteil sein. Man legt dann die Eingänge entsprechend an den Shunt.

In der Schaltung unten liegen beide Referenzeingänge an 3,3 V. Dies bedeutet gleiche „Nullspannung“ am Ausgang. Allerdings ist nun ein bidirektionaler Betrieb nicht möglich, obwohl der Ausgang dies erlauben würde. Der Strom sollte nur in der eingezeichneten Richtung fließen.

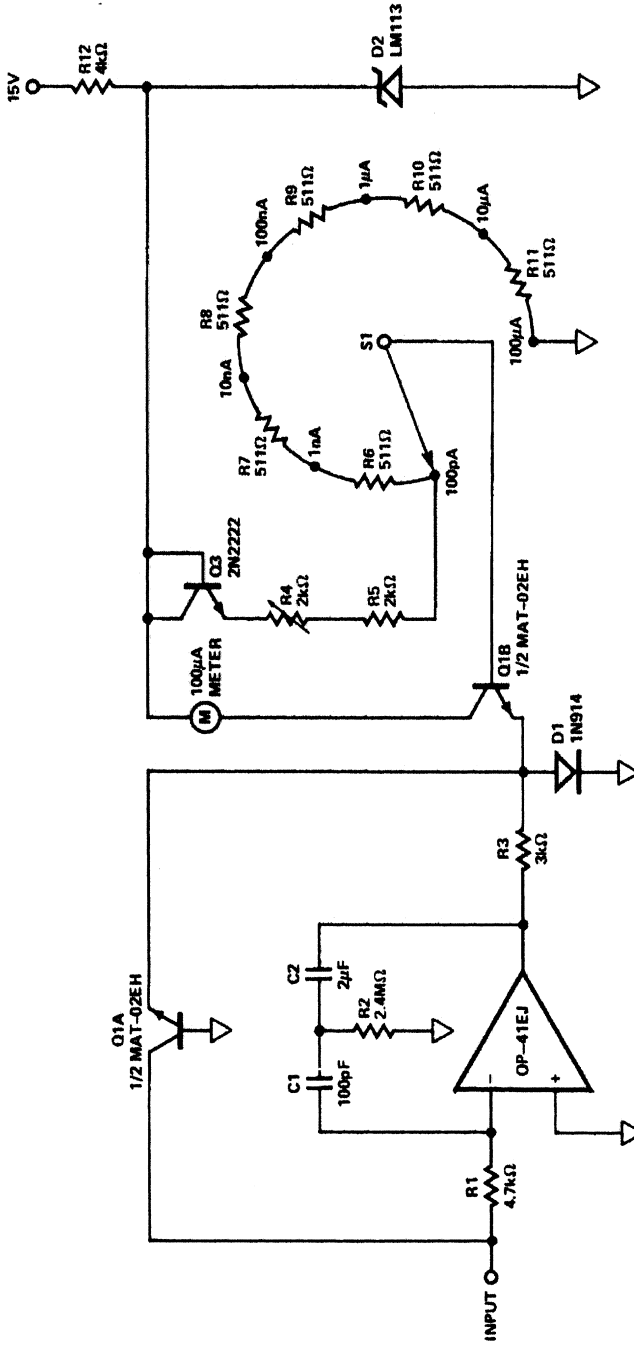


Abb. 1.23

Analog Devices Application Note 106, James Wong

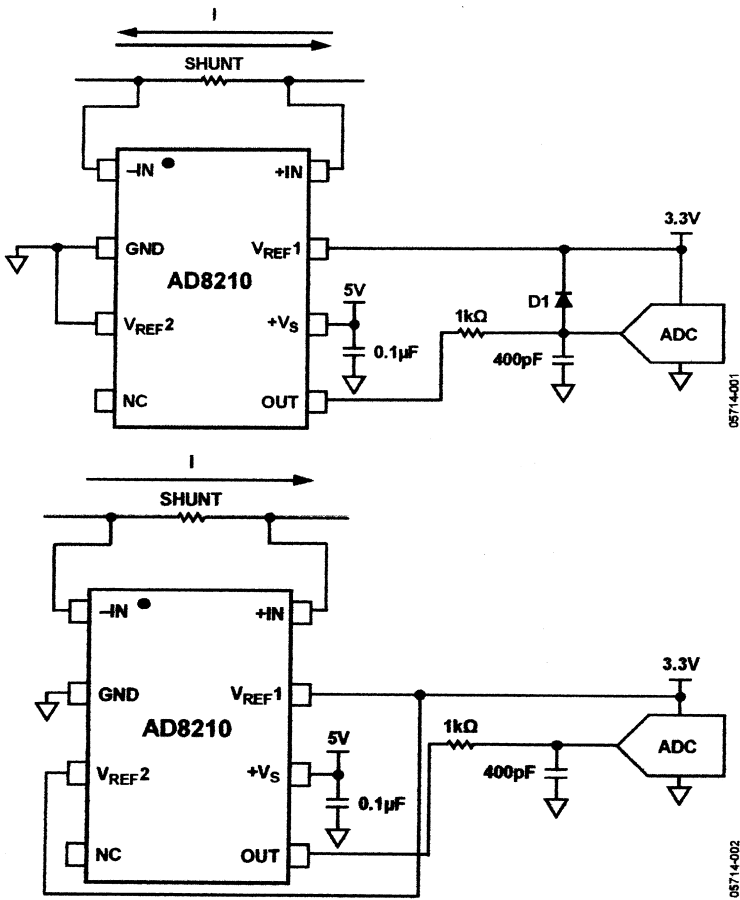


Abb. 1.24

Analog Devices Application Note 815, Henri Sino

1.17 Präzise Low-Side-Strommessung

Die Operationsverstärker AD8638 und AD8639 sind Auto-Zero-Verstärker, regeln also ihre Offsetdrift selbständig aus. Nach *Abb. 1.25* kann man damit beispielsweise eine sehr genaue Strommessschaltung realisieren. Um den empfindlichen Verstärker nicht zu überlasten, wurde der Shunt auf der geerdeten Seite der Last angeordnet. Er arbeitet als normaler Differenzverstärker. Durch die hohe Verstärkung von 1000 ergibt sich eine Ausgangsspannungs-Änderung von 100 mV/mA im Lastkreis.

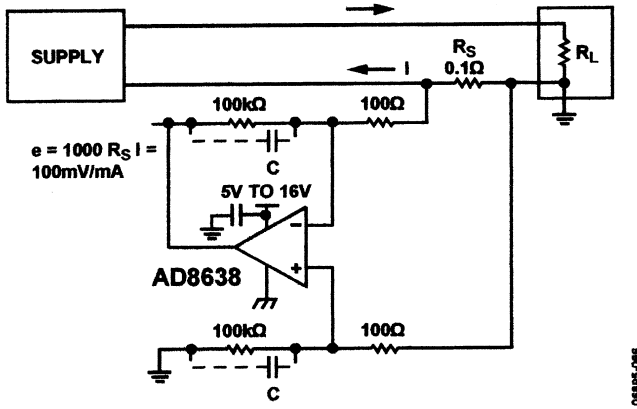


Abb. 1.25

Analog Devices Data Sheet AD8638/AD8639

Eine solch empfindliche und präzise Strommessmöglichkeit hat in der modernen Elektronik vielfältige Anwendungsmöglichkeiten.

1.18 Messung des Stroms aus Quelle mit negativer Spannung

Beispielsweise mit dem High-Side-Strommess-IC MAX4172, welcher eigentlich für die Messung von Strömen aus Quellen mit positiver Spannung entwickelt wurde, kann man auch den Stroms aus einer Quelle mit negativer Spannung messen. Diese Quelle ist links oben in *Abb. 1.26* eingezeichnet.

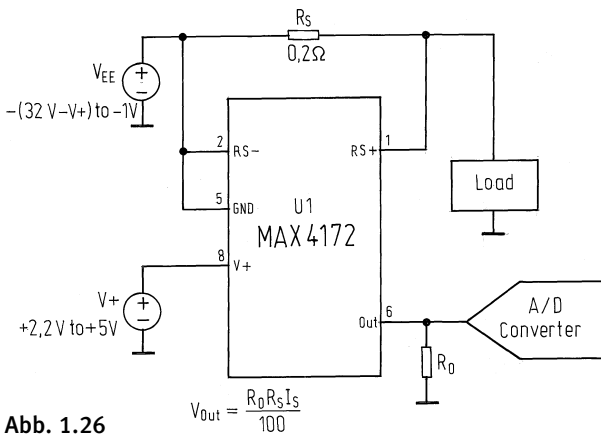


Abb. 1.26

Der MAX4172 erhält eine positive Betriebsspannung von 2,2 bis 5 V. Obwohl ein negativer Strom gemessen wird, erscheint an Pin 6 eine Ausgangsspannung von 1 % der Spannung $R_O \times R_S \times I_S$. Die maximale Ausgangsspannung muss 1,2 V unter der Betriebsspannung an Pin 8 liegen.

1.19 Strommesser mit Digitalanzeige

Der A/D-Wandler-IC ICL7107 gestattet den Anschluss von LED-Siebensegment-Anzeigen. Die Zusatzbeschaltung zum Aufbau einer Strommessschaltung ist – wie Abb. 1.27 beweist – gering. Die Anzeige ist 3,5-stellig. Man muss auf die Shuntwiderstände achten. Der Widerstand 0,01 Ohm kann ein Stück Kupferdraht mit 1,5 mm Durchmesser und 5 cm Länge sein. Die Widerstände 0,1 und 1 Ohm sollten mit 5 W belastbar sein. Man hat hier natürlich Gestaltungsmöglichkeiten.

Die Schaltung verbraucht etwa 25 mA.

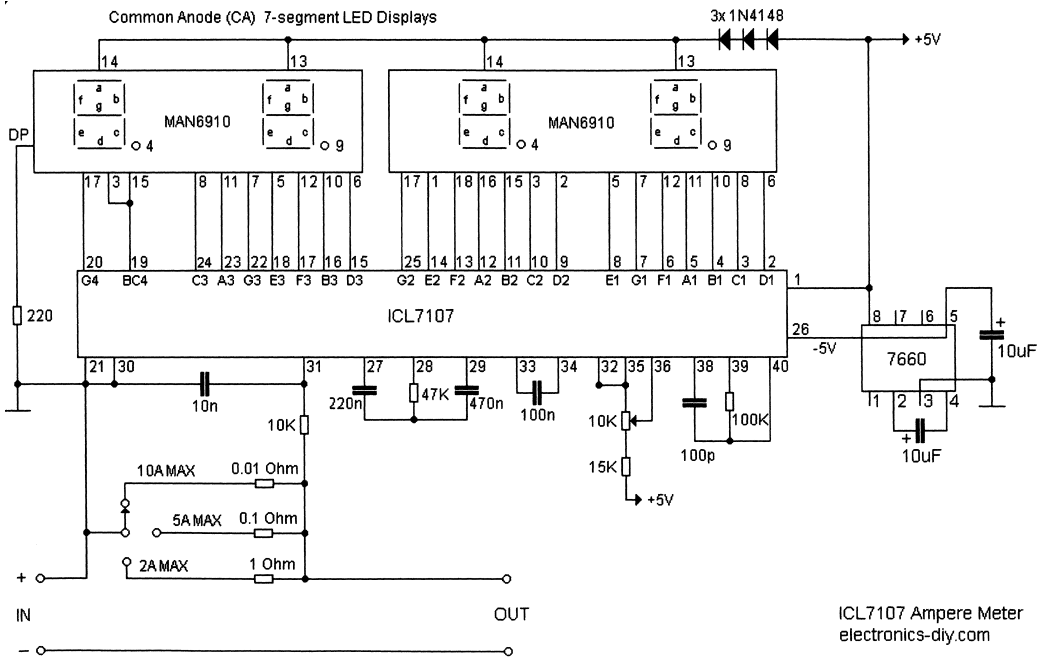


Abb. 1.27

1.20 Strommess-IC versorgt sich selbst aus Stromschleife

Die einfache Schaltung in *Abb. 1.28* nutzt einen Low-Current-Drain-Verstärker MAX4073H, um ohne eigene Versorgungsspannung den Strom in einer 4...20-mA-Stromschleife zu messen. Fließen beispielsweise 10 mA durch den 1-Ohm-Shuntwiderstand, so beträgt die Ausgangsspannung 1 V, denn die Verstärkung ist 100. Der IC benötigt selbst nur 500 μA an Versorgungsstrom. Dieser ist nicht Teil des gemessenen Stroms. Daher werden 500 μA zu wenig angezeigt. Damit dieser Fehler recht konstant bleibt und sich also bei Bedarf möglichst vollständig kompensieren lässt, sorgen die Dioden für eine konstante Betriebsspannung.

Die Ausgangsspannung ist mit -50 mV Fehler linear zwischen 350 und 1950 mV.

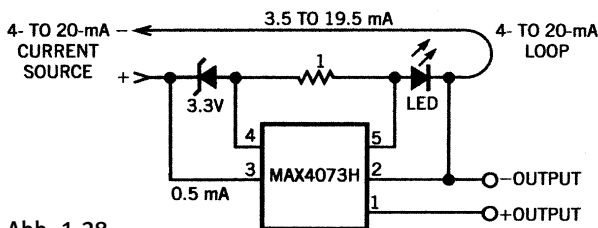


Abb. 1.28

Shyam Tiwari: A 4- to 20-mA loop needs no external power source, EDN, September 13, 2001

1.21 Low-Cost-Strommessschaltung

In der Schaltung nach *Abb. 1.29* kommt ein moderner Strommess-IC aus der Familie INA19x zur Anwendung. Die maximale Spannung von 100 mV über dem Shunt resultiert in einer Spannung von 2 V am Pin OUT. Die Stromquelle mit dem Operationsverstärker und dem MOSFET liefert dann 15 mA ($2 \text{ V} / 133 \text{ Ohm} = 15 \text{ mA}$).

1.22 Strommessungen mit LTC1392

Der LTC1392 ist ein Mess-IC für Temperatur oder Spannung und benötigt keine oder nur minimale Außenbeschriftung. Es ist ein 10-bit-A/D-Wandler integriert. Mit diesem beträgt der Stromverbrauch 350 μA , ohne den Wandler nur 1 μA .

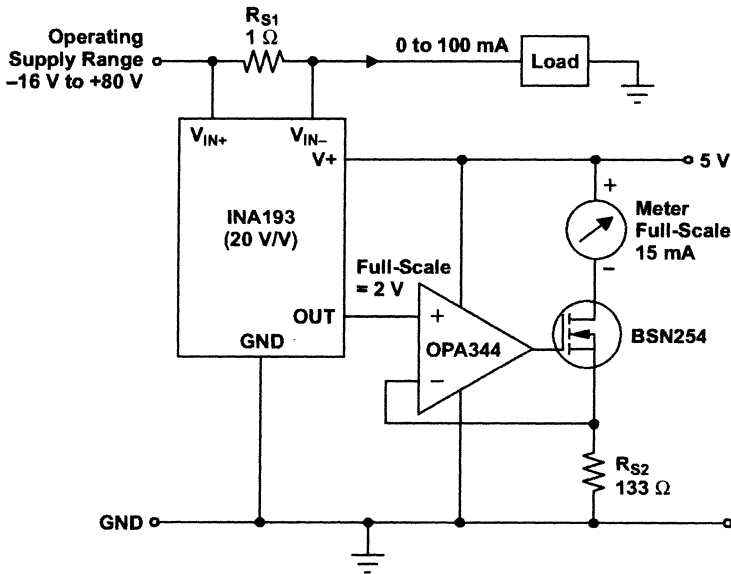


Abb. 1.29

Thomas Kugelstadt: Low-cost current-shunt monitor IC revived moving-coil meter design, Analog Application Journal, 2Q 2006

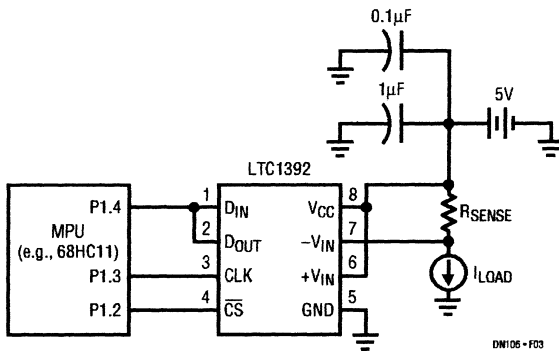


Abb. 1.30

Linear Technology Design Note 106

Abb. 1.30 zeigt eine Beschaltung zur Strommessung. Außer Abblockkondensatoren und dem Shuntwiderstand sind keine externen Komponenten erforderlich.

1.23 Gleichspannungsmessung mit UTI

Der UTI (universal transducer interface) von Smartec ist ein analoger Messwert-Umformer für Signale mit niedriger Änderungsrate. Der UTI-IC arbeitet auf Basis eines pulsbreitenmodulierten Oszillators. Die Sensoren werden direkt angeschlossen, die Messsignal-Auswertung erfolgt mit einem Mikroprozessor. Es genügt eine einzige Signalleitung.

In einer Drei-Zyklen-Technik erfolgt im UTI eine automatische Korrektur des Offsets und der Verstärkung; außerdem wird die Netzfrequenz unterdrückt.

Das UTI kennt je nach Messgröße verschiedene Betriebsarten (Modi). Es ist zwar nicht direkt für die Gleichspannungsmessung vorgesehen, kann aber in der Kapazitätsmessfunktion Gleichspannungen messen. In der Schaltung nach *Abb. 1.31* wird die Betriebsart C23 dafür genutzt. V_X ist die unbekannte Spannung. Eine Referenzspannung V_{Ref} ist erforderlich.

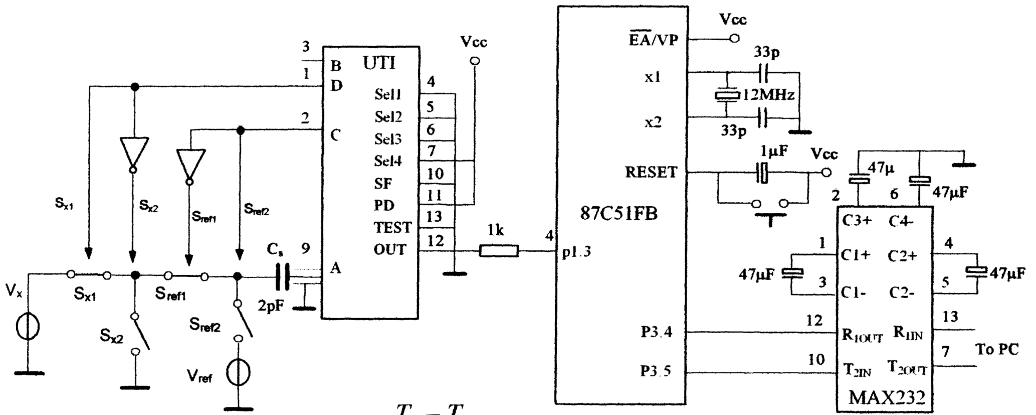
Der Kondensator C_S und die elektronischen Schalter bilden Signalproben (samples) von beiden Größen. Die entsprechenden Ladungen wandelt der UTI in Perioden seiner Ausgangsspannung um.

1.24 Strommessung an Spannungen bis 1 kV

Bei der High-Side-Strommessung mit Direktanschluss des Strommess-ICs erhält dieser (etwa) die Spannung im Messstromkreis als Gleichtaktspannung an seinen Eingängen. Damit ist die Spannung im Messstromkreis in der Regel auf einige 10 V begrenzt.

Man kann in Kreisen mit wesentlich höherer Spannung messen, wenn man in die Messanordnung einen entsprechend spannungsfesten Optokoppler einbringt. *Abb. 1.32* gibt ein Schaltungsbeispiel. Hierbei erfolgt eine separate Versorgung der Schaltkreise IC1 und IC2 vor dem Optokoppler mit 9 V. Der Optokoppler IC3 besitzt zwei Fotodioden und weist hohe Linearität auf. Die Fotodiode auf der „floating“ Seite kompensiert die Nichtlinearität der internen LED. Auf der „grounded“ Seite arbeitet IC4 als Transimpedanzverstärker.

IC1 liefert 10 mA/V am Shunt. Die Ausgangsspannung ist fünf mal höher als die Spannung am Shunt: $U_{\text{OUT}} = I_{\text{SHUNT}} \times 0,01 \times R1 \times R2$.



$$V_x = \frac{T_x - T_{off}}{T_{ref} - T_{off}} V_{ref}$$

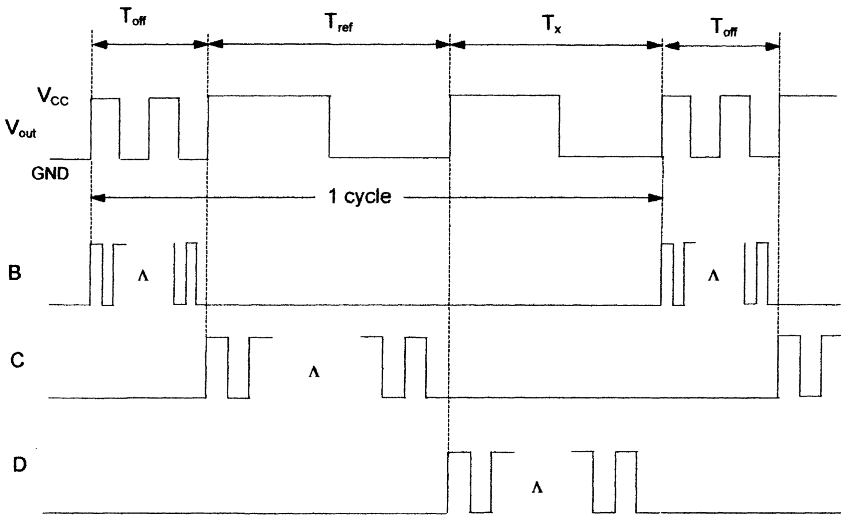


Abb. 1.31

Application Note of UTI

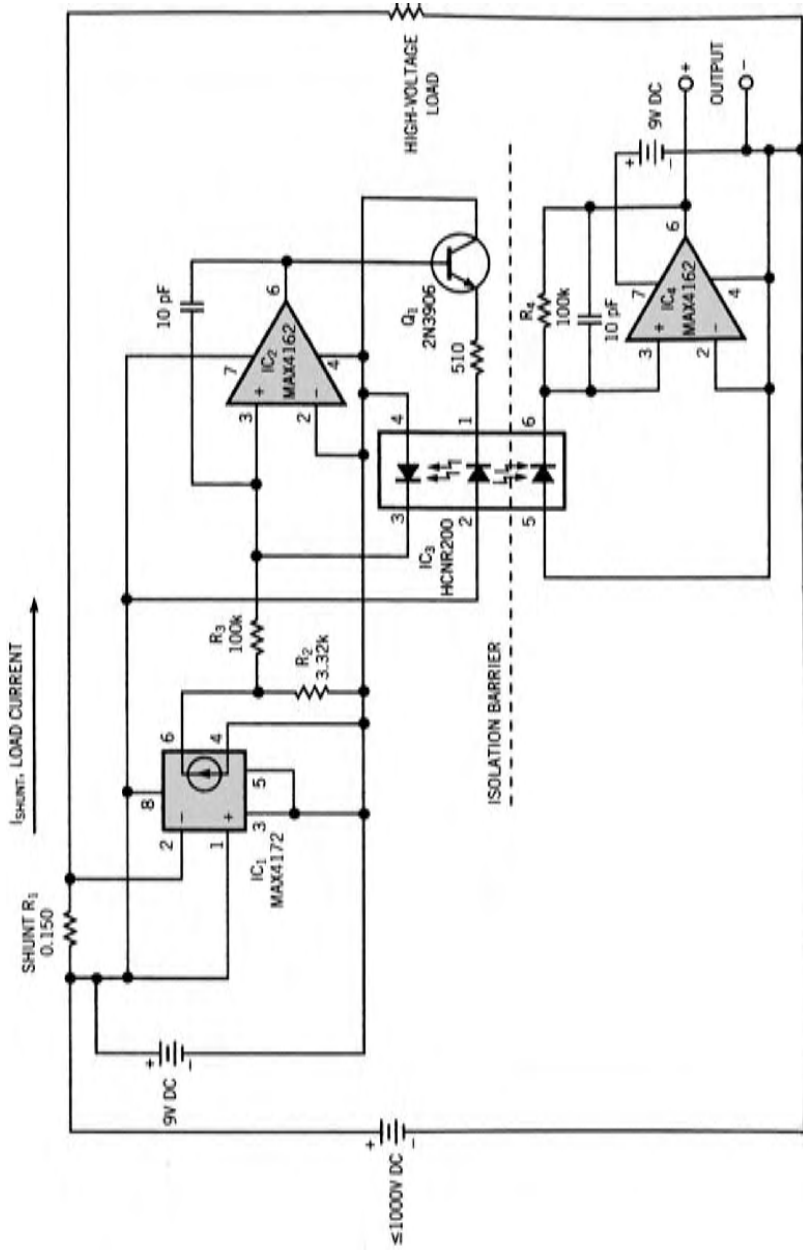


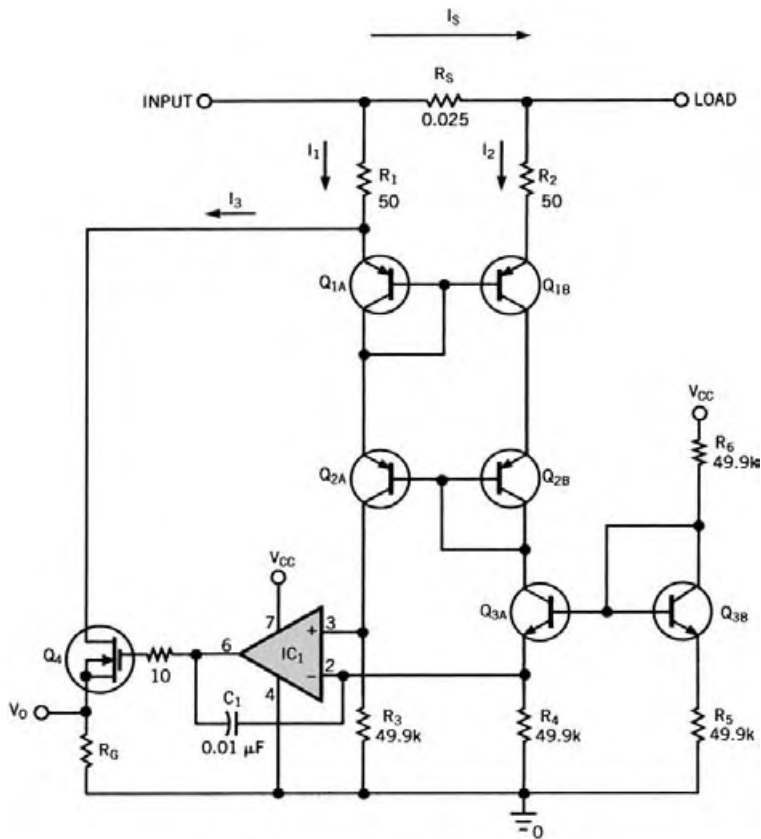
Abb. 1.32

Roger Griswold: Optocoupler extends high-side current sensor to 1 kV, EDN, March 1, 2001

1.25 High-Side-Strommessung an hoher Spannung

Die Strommessschaltung nach Abb. 1.33 benötigt außer V_{CC} keine (isolierte) Versorgungsspannung. Der Gleichtaktbereich wird nur durch die ausgewählten Transistoren begrenzt.

Q1 und Q2 bilden eine Stromspiegelschaltung. Die Kollektorströme dieser Transistoren sind immer gleich. Diese Ströme werden von der zusätzlichen Stromspiegelschaltung mit Q3 bestimmt. Es gilt $V_O = I_S \times R_S \times R_G / R_1$.



NOTES: IC₁ IS AN MC33202 RAIL-TO-RAIL OP AMP.
 Q₁ AND Q₂ ARE SC-88 MBT3906 DUAL PNPs.
 Q₃ COMPRISES MBT3904 SC-88 DUAL NPNs.
 Q₄ IS A 2N7002 SOT-23 FET.

Abb. 1.33

Bob Bell/Jim Hill: Circuit senses high-side current, EDN, March 1, 2001

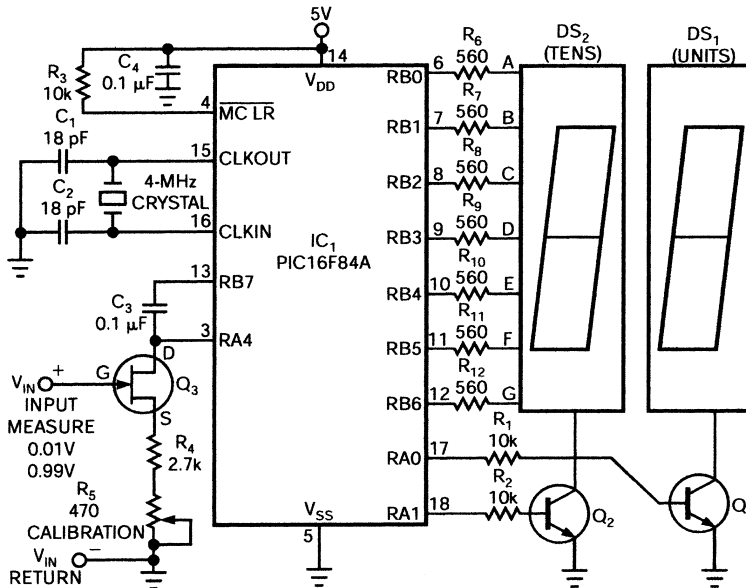
1.26 Einfaches zweistelliges Voltmeter

Die in Abb. 1.34 gezeigte Schaltung ist modern und preiswert. Sie zeigt Spannungen zwischen 10 und 990 mV an. Der PIC16F84A besitzt keinen internen Analog-Digital-Wandler. Daher wird eine klassische RC-Zeitverzögerungs-Beschaltung für die Analog-Digital-Wandlung vorgesehen. Für Q₃ ist wegen des bestimmten On-Widerstands die Spezifikation A erforderlich.

C₁ und C₂ haben lt. PIC-Datenblatt 15...33 pF.

Mit einem 20-MHz-Quarz ist eine dreistellige Anzeige möglich.

Die Firmware ist über www.edn.com/060622di1 zugänglich.



NOTES: Q₂=Q₁=BC237/BC337/BC546 ... 550.

Q₃=BF245A. (USE "A" GRADE ONLY.)

C₁, C₂=SEE TEXT.

DS₁, DS₂=COMMON-CATHODE, SEVEN-SEGMENT LED DISPLAY.

Abb. 1.34

Noureddine Benabadji: Microcontroller, JFET form low-cost, two-digit millivoltmeter, EDN, June 22, 2006

1.27 Messung kleiner Ströme

Die Messung kleiner Ströme gestaltet sich oft schwierig. Die Schaltung nach *Abb. 1.35* ist kein Verstärker, sondern ein aktiver Stromreduzierer. Die Reduktion erfolgt mit dem Faktor R_2/R_1 . Wenn das Instrument an der Spannungsquelle also beispielsweise $100\ \mu\text{A}$ anzeigt, fließt durch den Lastwiderstand ein Strom von $100\ \text{nA}$. Die am Laborgerät eingestellte Spannung und die Spannung über dem Lastwiderstand sind gleich, es handelt sich also nicht um eine Stromquelle. Die Last bestimmt den Strom.

Die gestrichelt eingezeichneten Bauelemente sind bei großer Lastkapazität vorteilhafter.

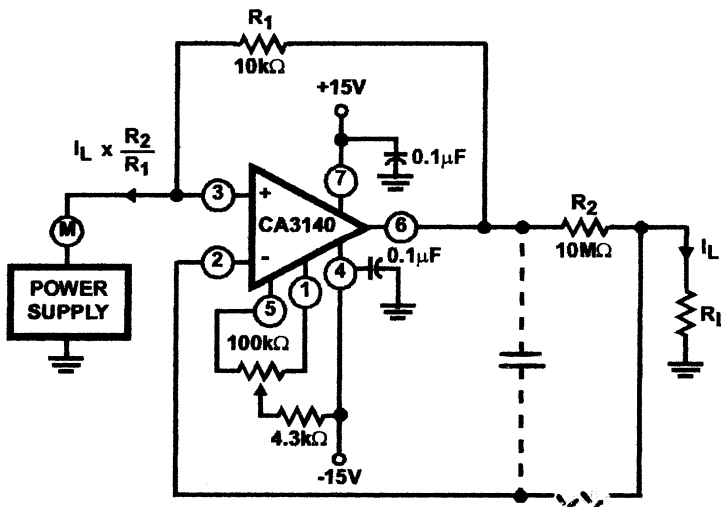


Abb. 1.35

Intersil Data Sheet CA3240, CA3240A

1.28 Pikoamperemeter

Zur Messung von Leckströmen an Kondensatoren oder Sperrströmen an Halbleitern kann die Schaltung nach *Abb. 1.36* dienen. Der besonders niedrige Eingangsruhestrom des modernen Operationsverstärkers CA3420 von typisch $200\ \text{fA}$ ($0,2\ \text{pA}$) macht sie möglich. Man muss sich allerdings einen $10\text{-G}\Omega$ -Widerstand besorgen und die Schaltung äußerst sauber aufbauen, um Kriechströme zu vermeiden.

Der 1-MOhm-Widerstand schützt den Eingang. Der 10-MOhm-Widerstand hält die Eingangskapazität des ICs vom Eingang der Schaltung fern und verhindert Selbstoszillation.

Nullpunkt und Skalierung lassen sich abgleichen.

Statt des CA3420 lässt sich auch der CA5420A einsetzen.

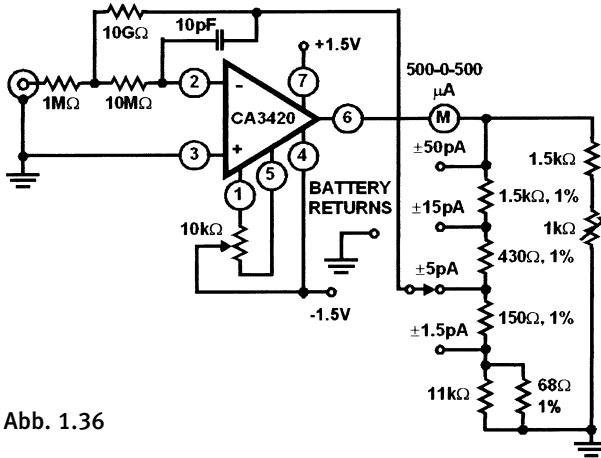


Abb. 1.36

Intersil Data Sheet CA3420

1.29 Voltmeter mit extrem hohem Eingangswiderstand

In der Voltmeterschaltung nach *Abb. 1.37* addieren sich die Widerstände 22 MOhm und 10 MOhm mit dem Differenzeingangswiderstand des Operationsverstärkers zum Eingangswiderstand der Schaltung. Da der IC-Eingangswiderstand extrem hoch ist, kann man die Widerstände vernachlässigen und von einem Eingangswiderstand über 1000 GOhm ausgehen.

Der Stromverbrauch in Nullstellung liegt bei 300 μA . Nullpunkt und Skalierung sind einstellbar.

Die Schaltung lässt sich auch mit dem CA5420A realisieren.

Stichwortverzeichnis

Numerisch

- 4...20-mA-Stromschleife 42
- 4-Bit-Aufwärts-/Abwärtszähler 137
- 8-Bit-Speicher-Flip-flop 537
- 16-bit-Analog-Digital-Wandler 190

A

- Admittanz 150
- AM-Demodulator 497
- Analog-Digital-Wandler 48
- Antennen-Analyzer 155
- Antennenimpedanz 150
- Antialiasing-Filter 311
- Anti-Logarithmierer 416
- Antiparallelbetrieb 31
- Audio-Testgenerator 530
- Automatisierte Messungen 265
- Auto-Ranging 129
- Auto-Zero-Verstärker 39, 55

B

- Balun 171
- Bandgap-Prinzip 429
- Batteriekontrolle 541
- Batteriesimulator 517
- Beschleunigungssensor-IC 220
- Biegewandler 210
- BiMOS-Operationsverstärker 250, 303, 399, 459
- Biosignal-Verstärker 287
- Blindanteil 149
- Bootstrap-Schaltung 269
- Breitband-Operationsverstärker 322

- Brückenmessschaltung 196
- Brückennull 156
- Brückenschaltung 176
- Bubba Oscillator 390

C

- Charakteristische Impedanz 149
- Chopperstabilisierter Operationsverstärker 254, 255, 323
- CMRR 262
- COCM 32
- Codier-Baustein 135
- Cold-Junction Compensation 220
- Colpitts-Schaltung 519
- Core Oscillator 323
- CPLD 123
- Crest Factor Detector 166
- Crest-Faktor 53
- Current Probe 162

D

- dBu 67
- dBm 67
- Delta-Sigma-Prinzip 176
- Dezibel-Modus 79
- Digitaler Spannungsteiler 466
- Diodendetektor 111
- Doppel-VCO 503
- Dreileitertechnik 184
- Drei-Zyklen-Technik 44, 231
- Druckmesssensor 199
- DSO 468
- Dünnschicht-Platinium-Technik 187
- DUT 477

E

- ECG-Verstärker 299
- E-Feldmessung 518
- Einfachst-Digital-Analog-Wandler 369
- Einfachst-Instrumentationsverstärker 253
- Einfachst-Logikpegel-Anzeige 536
- Elastomer-Membran 253
- Energie-Bandgap-Spannung 429
- Ersatzwiderstand 172
- ESR 172, 174

F

- Faltungseffekt 311
- Fast-Settling-Präzisionsverstärker 304
- FDNR 311, 312
- Feed-Through-Übertragungsschalter 459
- Fixed-Gain Amplifier 297
- Fixed-Gain-Operationsverstärker 313
- FM 171
- Frequenzgang 61
- Frequenz-Spannungs-Wandler 328
- Frequenzunterschied 147
- Fünf-Dekaden-Zähler 139
- Funkelrauschen 56
- F/U-Wandler 127

G

- Glockenkurve 492
- Goniometer 479
- Go/No-Go-Tester 527
- Good-Battery Checker 521
- Großsignalbetrieb 290

H

Hallsensor 546
 Hallsensor-IC 506
 H-Brücke 30
 H-Feldmessung 518
 High-Performance-Instrumentationsverstärker 200
 High-Performance-Operationsverstärker 459
 High-Precision-Operationsverstärker 176
 High-Side Current Sense Amplifier 33
 High-Side-Strommess-IC 30, 40
 High-Side-Strommessung 44
 High-Side-Strommonitor 36
 High-Side-Strom-Spannungswandler 37
 High-Side-Transimpedance-ICs 28
 High-Side-Wandler 28
 High-Speed-Komparator 58, 341
 High-Speed-Operationsverstärker 55, 294
 Hochfrequenzzähler 139
 Howland Current Pump 431
 Hub 171
 Hüllkurven-Detektor 166
 Hybridschaltung 115

I

Impedanzwandler 256, 265
 Instrumentationsverstärker 254, 262, 282, 287, 297, 302, 303, 508
 ISM-Band 534
 IVGA 87

J

Jittereffekt 367

K

Kabelprüfgerät 531
 Kaskadierung 409
 Kaskodeschaltung 496
 Kennlinienschreiber 510
 Kerbfilter 315
 Kleinsignalbetrieb 290
 Klirrfaktormessung 169
 Komplexer Widerstand 149
 Konstantleistungsquelle 455
 Kreisendämpfung 146

L

Ladungspumpe 323
 Ladungspumpen-Schaltung 26, 147
 Lastspannung 160
 Latch-Schaltung 328
 LC-Messgerät 179
 LED-Multiplexanzeige 145
 Leerlaufspannung 160
 Leistungsmessadapter 107
 Leistungsmesser mit Thermosensor 108
 Linearisierungsschaltung 158
 Lissajous-Figuren 479
 LNA 352
 Log Amp/Detector 87, 90, 98, 101, 480, 481
 Logarithmic Intercept 481
 Loop 543
 Low-Battery Checker 521
 Low-Bias-Current-Operationsverstärker 341
 Low-Cost-A/D-Wandler-schaltung 346
 Low-Cost-Beschleunigungssensor 214
 Low-Cost-Mikrocontroller 129
 Low-Cost-Temperatursensor 225
 Low-Current-Drain-Verstärker 42

Low-Drift-Operationsverstärker 194

Low-Drop-Linearregler 214

Low-Power-Operationsverstärkern 332

Low-Side-Betrieb 31

Low-Side-Messung 28

Luftfeuchte-Sensor 230

Luftstrommessung 187

M

Magnetfeld-Erfassung 225

Magneto-resistiver Sensor 220

Markenmischer 503, 504

Matched Pair 113, 249

Micropower-Instrumentationsverstärker 280

Mikro-Power-Operationsverstärker 207, 306

Mittenfrequenz 171

Monitor-Ausgang 169

Motorsteuer-Brückenschaltung 22

MSOP 77

Multikanal-Messsystem 237

Multiplexer 494

N

Negative-Resistance-Oszillator 515

Neigungsmesser 220

Nordpol/Südpol-Indikator 546

NTC 108, 202

O

Oberwellen 169

On-Chip-Temperaturkompensation 96

One Quadrant 420

One-Time-Programmable-Mikrocontroller 451

Opto-Isolation 280, 282

- OTA 393
 Overdrive-Modus 33
 OVGA 87
- P**
 Panelmeter 253
 PAR 99
 Parallelresonanz 162
 Peak-Hold-Modus 167
 Pegeldetektor 31
 Pegelmesser 83, 87, 92
 PGA 205, 292
 Phasendetektor 167
 Phasennmesser 164
 Phasenrauschen 292
 Phasenschieber-Netzwerk 516
 Phasenschieber-Oszillator 389, 390
 Phasenversatz 166
 Phasenwinkel 149
 Phasenwinkelmessung 178
 Piezoelektrischer Effekt 210
 Piezoelektrischer Wandler 210
 Piezosummer 547
 Platinum-RTD 209
 Platin-Widerstandssensoren 209
 Power-Down-Funktion 237
 PPM 57, 121
 Präzisionsgleichrichter 441
 Präzisions-Operationsverstärker 429
 Precision Gain Block 433
 Progressive-Compression-Technik 89
 PRTD 200
 PSMC 187, 190
 PTC 200
- Q**
 Quad-Operationsverstärker 240
 Quadraturosszillator 389
- Quarzgenerator-Modul 176
- R**
 Rail-to-Rail-Fähigkeit 225, 257
 Rail-to-Rail-Operationsverstärker 225, 267, 321, 439
 Reflexionskoeffizient 167, 158
 RFID 542
 RMS to DC Converter 68, 77
 RMS to Voltage Converter 62, 65, 403
 RMS 53, 83, 162, 166
 RMS/DC-Konverter 162
 RSSI-Ausgang 534
 RTD 176, 187, 190, 192, 209, 210
 Rückkopplungs-Netzwerk 61
- S**
 Sägezahngenerator 503, 506
 Sample-and-Hold-Schaltung 438, 459
 Sample-and-Hold-Stufe 435
 Sample-and-Hold-Verstärker 407
 SC 355
 Schaltmodus-Mikrocontroller 187
 Scheinwiderstand 149, 150
 SC-Tiefpassfilter 355
 Selbststart-Block 337
 Serienresonanz 162
 Settling Time 478
 S&H-Schaltung 409
 Signalkonditionierer 300
 Silizium-Piezo-Brücke 199
 Silizium-Temperatursensoren 202
 Single-Supply-Operationsverstärker 220, 440
- Sinus-Rechteck-Wandler 355
 Sinus-Rechteck-Wandlung 164
 Slew Rate 164
 Smith-Diagramm 158
 SOT-23 77
 Spannungsdetektor 548
 Spannungs-Frequenz-Wandler 210, 214, 391
 Spannungs-Frequenz-Wandlung 340
 Spannungs-Strom-Umsetzung 214
 Spannungs-Strom-Wandler 21
 Spitzendetektor 474
 Spitzenspannungs-Messschaltung 55
 Spitzenwert-Detektor 96
 Spitzenwert-Gleichrichtung 441
 SPPT 199
 Stehwellen-Messgerät 155
 Stepper-Motor 183
 Strombalun 171
 Strombegrenzungsschaltung 31
 Stromindikator 32
 Stromschleife 214
 Stromwandler 101
 Summationspunkt 487
 Supermatch Pair 271, 417, 419
 Sweeping-Generator 397, 399
 Synchron-Demodulation 160
- T**
 Temperatur-Frequenz-Umsetzung 326
 Temperatur-Frequenz-Wandlung 207
 Temperaturmessschaltung 192

- Temperaturmonitor 213
 Temperatur-Pulsbreiten-
 Wandlung 326
 Temperatursensor 184
 Temperatur-Spannungs-
 Wandlung 326
 Temperaturstabilität 162
 Terminationswider-
 stand 207
 Thermokoppler 176, 213
 Thermokoppler-Verstär-
 ker 212
 Torzeitgenerator 121
 Track-and-Hold-Schal-
 tung 408
 Transconductance-Verstär-
 ker 350
 Transducer-IC 340
 Transienten 178
 Transimpedanz 261
 Transimpedanzverstär-
 ker 44, 198, 259, 287
 Transistorprüfer 530
 Transistor-Temperatursenso-
 ren 214
 Transmit-Mode 207
 TruPwr Detection RFIC 77

U
 U/F-Wandler 127

 Ugly Construction 519
 UKW-Sender 525
 Unity-Gain-Operationsver-
 stärker 463
 UTI 44, 230, 231

V
 Vakuum-Fluoreszenz-Dis-
 play 343
 Variable-Gain Amplifier 87
 VCO 220, 326, 364
 VCO-Modul 505
 Vektorieller Reflektome-
 ter 168
 Verformer 397
 Verlustwiderstand 172
 Vierfach-Current-Feedback-
 Operationsverstär-
 ker 382
 Vierfach-Präzisions-Opera-
 tionsverstärker 225
 Vierleitertechnik 183, 190,
 231
 Vierquadranten-Multiplizie-
 rer 101, 112
 Virtuelle Masse 274
 Vollwellen-Gleichrich-
 tung 58, 439
 Vollwellen-Präzisionsgleich-
 richter 52, 53

 Voltage-Controlled Oscilla-
 tor 523
 Vorteilerschaltung 135
 VU 57

W
 Wechsellspannungs-Messvor-
 satz 475
 Wellenwiderstand 149
 WFGA 297
 Widerstandsoperator 149
 Widerstandssensor 184
 Widerstands-Temperatur-
 fühler 220
 Widerstands-Temperatur-
 sensoren 183
 Wienbrücke 373
 Wireless-Anwendungen 83
 Wobbel-Zusatzschal-
 tung 493

Z
 Zähler-IC 137, 145
 Zehnsegment-Bar-
 graph 190
 Zerhacker-Stabilisator 257
 Zweikanal-Analog/Digital-
 Wandler 34

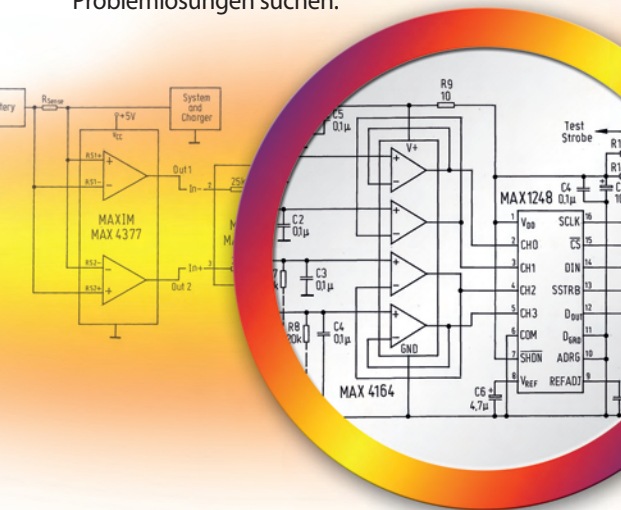
Frank Sichla

Schaltungssammlung

Mess- und Prüftechnik

Das Buch stellt über 550 ausgewählte Schaltungen aus der Mess- und Prüftechnik vor. Viele moderne und anspruchsvolle, aber auch einfache und bewährte Schaltungen sind in diesem Buch enthalten. Damit spart man nicht nur eine Menge Zeit, Arbeit und Geduld, sondern auch Geld für Eigenentwicklungen. So macht sich die Anschaffung dieser wichtigen Sammlung schon nach kurzer Zeit bezahlt.

Eine unentbehrliche Fundgrube für alle, die in ihrer täglichen Praxis Anregungen für schnelle Problemlösungen suchen.



Diese neue Schaltungssammlung enthält Schaltungen aus folgenden Bereichen:

- Strommessungen
- Gleichspannungsmessungen mit dem PC
- Spannungsmessungen
- Schutzschaltungen
- Voltmeter
- Pikoamperemeter
- Spitzendetektor
- Verstärker
- Messung von Audiosignalen
- Lautstärkeanzeige
- Gleichrichter
- Messschaltungen
- HF-Tastkopf
- HF-Voltmeter
- Leistungsmessungen
- Pegelmessungen
- Leistungsanzeige mit LEDs
- Wattmeter
- Laser-Leistungsmesser
- Frequenzzähler
- Zählerschaltung mit Zusatzfunktionen
- Dipper
- Dipmeter
- Frequenzvergleich
- Impedanzmessbrücke
- Antennenmessbrücke
- Antennen-Netzwerk-Analyser
- Messung des Innenwiderstands einer Batterie
- Messung des Stroms eines Quarzes
- Phasemesser
- Verstärkungs- und Phasenmessung
- Messung des Reflexionskoeffizienten
- Messung von Kapazitäten
- Bestimmung von Induktivitäten
- LC-Messgerät
- Temperaturmessungen
- Luftstrommessungen
- Brückenmessschaltung
- Programmierbare Lichtstärkemessung
- Programmierbare Temperaturmessung
- Driftarme Lichtmessschaltung
- Programmierbare Druckmessung
- Temperaturfernmessung
- Messung des Sauerstoffgehalts
- Thermometer mit Analog- und Digitalausgang
- Verstärker für piezoelektrischen Wandler
- Temperaturmessschaltung
- Beschleunigungsmesser
- Neigungsmesser
- Drehzahlmessung
- Magnetfelderfassung
- Druckmessung
- Temperaturschaltungen
- Luftfeuchtigkeitsmessung
- Widerstandsmessbrücke
- Tachometer
- Beschleunigungsmesser
- LC-Panelmeter
- Tastverhältnismesser
- Drehzahlmesser und Drehrichtungsanzeige
- Pulsbreitenmessgerät
- Differenzlicht-Detektor
- Höhenmessgerät
- Instrumentationsverstärker
- Messverstärker
- FET-Verstärker
- Transimpedanzverstärker
- Instrumentationsverstärker
- Impedanzwandler
- Messverstärker
- Differenzverstärker
- Chopper-Verstärker
- Invertierender Verstärker
- Micropower-Instrumentationsverstärker
- Operationsverstärker
- Breitbandverstärker
- Zwei-IC-Verstärker
- Filterschaltungen: Tiefpass, Bandpass, Notchfilter u. v. m.
- Schaltungen für Wandler
- Schaltungen für Generatoren
- Breitbandiger Rauschgenerator
- Rechteck-/Dreieckgenerator
- Oszillatoren
- Sinusgenerator
- Spannungsgesteuerter Sinusoszillator
- Quarzoszillator
- Impulsgenerator
- Low-Power-Oszillator
- Wienbrückenoszillator
- Audio-Oszillator
- Audio-Rauschgenerator
- Funktions- und Sweeping-Generator
- High-Speed-Funktionsgenerator
- Random-Noise-Generator
- FM-Messender
- Dreitonoszillator
- Schaltungen mit S&H-Verstärker-ICs
- Schneller Spannungsfolger
- Logarithmierer
- Multiplizierer/Dividierer
- Schneller Integrierer
- Schaltung eliminiert Gleichtaktspannung
- Hochstabile Spannungsreferenz
- Instrumentationsverstärker als Operationsverstärker
- u. v. m.

ISBN 978-3-7723-4086-4



Euro 49,95 [D]