

Es geht nichts über ein Zeigerinstrument

Jeder weiß, daß analoge Instrumente nicht so genau sind wie digitale Instrumente. Aber... Sie können DVMs mit einer Genauigkeit von 0,8% kaufen. Es gibt bessere analoge Instrumente. Lassen Sie uns einige Probleme mit analogen Instrumenten genauer behandeln.

Selbst wenn ein analoges Instrument bei Vollausschlag genau geeicht ist, kann es bei kleineren Signalen weniger genau sein wegen der Nichtlinearität, die durch die Imperfektionen des magnetischen Kreises im Instrument entsteht. Dies Problem können Sie beseitigen, indem Sie Ihre eigene Skala mit Korrekturen dieser Nichtlinearitäten anfertigen. Dann gibt es das Problem von Reibung und Hysterese. Die besseren Instrumente haben eine Spannbandaufhängung, die eine vernachlässigbare Reibung hat, aber die meisten billigen Instrumente haben sie nicht. Nun können Sie, wie wir alle gelernt haben, die meisten Effekte der Reibung dadurch vermeiden, daß Sie leicht ans Instrument klopfen oder es vibrieren. Es macht Mühe, aber wenn Sie verzweifelt sind, ist es gut zu wissen.

Selbst wenn Sie Ihre Instrumente nicht durchschütteln, sollten Sie wissen, daß sie lageabhängig sind, und unterschiedliche Anzeigen geben, ob sie nun flach liegen, aufrecht oder seitwärts gedreht sind. Das Schlechteste an analogen Instrumenten ist, daß jede dieser Imperfektionen sehr stark zunehmen kann, wenn das Instrument hinfällt, so daß das Instrument fast nutzlos oder defekt ist. Das ist Lageabhängigkeit im Extrem. Idealerweise würden digitale Instrumente für jeden Zweck verwendet. Aber analoge Instrumente haben Vorteile, zum Beispiel wenn Sie auf einen Trend, eine Ableitung oder eine Spitzenamplitude sehen wollen. Besonders gilt das in der Gegenwart von Störungen, die die Anzeige digitaler Voltmeter durcheinanderbringen. Deswegen wird es noch lange analoge Instrumente geben, besonders da sie keine gesonderte Stromversorgung brauchen, ihrer Isolation und ihrer niedrigen Kosten wegen. Achten Sie auf die Impedanzen der Instrumente. Sie sehen wie ein abgebremster Motor aus, vielleicht einige Hundert Millihenry bei hohen Frequenzen. Wenn jedoch die Nadel sich zu bewegen anfängt, bekommen Sie einen induktiven Schlag von vielen Henry. Wenn Sie deshalb ein analoges Instrument in den Rückkopplungszweig eines Operationsverstärkers setzen, brauchen Sie einen kleinen Rückkopplungskondensator über dem Instrument.

Digitale Meßinstrumente – Nicht so schlecht und manchmal besser als das

Wie vorher erwähnt, sind digitale Instrumente immer genauer als analoge, außer wenn sie es nicht sind. Vor kurzem entschied sich ein Hersteller von Stromversorgungen seine Laborversorgungen mit dem Ersatz der alten Analoginstrumente durch digitale Instrumente zu modernisieren. Un-

glücklicherweise hatten diese Instrumente eine Genauigkeit von $\pm 5\%$. Es ist wirklich dämlich, ein digitales Frontplatteninstrument (DPM) mit 2 1/2 Stellen und einer Auflösung von einem Teil in 200, aber einer Genauigkeit von einem Teil in 20 zu haben. Unnötig zu sagen, daß ich aufhörte Stromversorgungen von diesem Hersteller zu kaufen.

Die Dauerhaftigkeit und Unabweisbarkeit dieser glühenden Digits ist psychologisch schwer zu rückzuweisen. Ich rechne die Anzeigen von DVM oder DPM zu anderen Computerausgaben: Sie müssen lernen, einem Computer oder Instrument zu trauen, wenn es die Wahrheit sagt und Alarm zu schlagen, wenn es Ihnen etwas anderes als die Wahrheit erzählt.

Zum Beispiel haben die meisten langsamen DVMs eine Art von Zweiflanken- (dual slope) oder integrierender Wandlung, die von sich aus recht linear sind, vielleicht auf eine oder zwei Stellen. Andere DVMs behaupten den Vorzug schnellerer Wandlung zu haben. Diese höhere Geschwindigkeit mag dem Laboringenieur nichts nützen, sie ist aber nützlich, wenn das DVM Teil eines automatisierten Datenerfassungssystems ist. Diese schnellen Instrumente benutzen üblicherweise ein Wägeverfahren, das nicht inhärent linear, sondern ist auf gut abgestimmte Bauteile für Linearität angewiesen ist. Ich habe mehrere DVMs gesehen, die mehr als 1.000 \$ kosteten und eine Abneigung gegen bestimmte Anzeigen hatten. Eins mochte nicht 15 Millivolt wandeln; es zog vor, 14 oder 16 anzuzeigen. Einmal bekam ich einen Anruf von einem Ingenieur einer der größeren Instrumentenfirmen. Er fragte sich, warum der Spannungs-/Frequenz-Wandler, den er mit einem NSC LM331 gebaut hatte, eine so schlechte Linearität zeigte, schlechter als die garantierte Spezifikation von 0,01%. Ich sagte ihm, das sei seltsam, denn wenn es stimmte, wäre das der erste LM331 aus der ersten Million, die wir hergestellt hätten, der eine schlechte Linearität aufwies. Ich riet ihm, die Kondensatoren und Signalformen des Operationsverstärkers zu überprüfen und zurückzurufen. Wenn wir nämlich ein Teil hatten, das den Daten nicht entsprach, wollte ich es in die Hände bekommen. Am nächsten Tag rief er zurück, fühlte sich recht betroffen. Er gab zu, daß er ein Prototyp-DVM benutzt hatte, das seine Firma entwickelte und als Prototyp war es nicht genau geeicht. Es war sein DVM, das nicht linear war, *nicht* der LM331.

Normalerweise hasse ich es, ein DVM mit automatischer Bereichswahl zu benutzen. Ich habe mindestens zwei (sonst sehr leistungsfähige) DVMs gesehen, bei denen die automatische Bereichswahl nicht abschaltbar war. Der schlechteste Aspekt dieser Instrumente war, daß ich nicht sagen kann, wo sie von einem Bereich in den anderen umschalteten und ich so nicht auf ihre Nichtlinearität achten konnte. Trotzdem wußte ich, daß es dort irgendwo Nichtlinearität gab. Nach einer Stunde Suche fand ich einige fehlende Codes an so seltsamen Stellen wie 10,18577 V. Und das bei einem DVM für 4.000 \$, von dem der Hersteller behauptete, daß es so einen Fehler nicht haben könnte, es könnte nicht mehr als 1 ppm Nichtlinearität haben.

Ein anderes, schickes DVM hatte die Fähigkeit seinen eigenen garantierten Maximalfehler anzuzeigen und sagte, daß sein eigener Fehler nicht mehr als $\pm 0,0040\%$ wäre, wenn es einen 1 M Ω Widerstand mißt. Aber dann zeigte es einem meiner besseren 1,000000 M Ω Widerstände als 0,99980 M Ω an. Wie konnte ich beweisen, daß es mich anlog? Ganz einfach, ich benutzte Jiu-jitsu.

Ich benutzte seine eigene Kraft gegen es selbst. Ich nahm 10 Widerstände von je genau 100,00 k Ω , die schicke Maschine und alle anderen DVMs im Labor stimmten recht gut bei diesen Widerstandswerten überein. Dann schaltete ich alle 10 Widerstände in Reihe und alle anderen Instrumente im Labor stimmten überein, daß sie zusammen 1,00000 M Ω ergeben. Das schicke, aber irrende Instrument sagte 0,99998 M Ω . Es ging zurück zum Hersteller.

Wenn Sie deshalb in Streit mit einem digitalen Instrument geraten, denken Sie nicht, daß notwendigerweise *Sie* nicht recht haben. Sie können meistens eine Meinung von einem anderen Instrument bekommen, um zu beweisen, wo die Wahrheit liegt. Glauben Sie nicht automatisch, daß „Daten“ richtig sein *müssen*, *bloß* weil sie digital sind.

Und heben Sie das Benutzerhandbuch auf, das mit dem Instrument geliefert wird. Es kann Ihnen sagen, wo der garantierte Fehlerbereich des DVMs wirklich schlecht wird, wie bei niedrigen Widerständen, für sehr hohe Widerstände, für niedrige Wechselspannungen und für hohe und tiefe Frequenzen...

Die meisten Digitalvoltmeter haben eine für kleine Signale sehr hohe Eingangsimpedanz (10.000 M Ω typisch). Wenn Sie jedoch das DVM automatisch umschalten lassen, wechselt das Instrument bei irgendeinem Pegel automatisch in einen höheren Bereich, wo die Eingangsimpedanz 10 M Ω wird. Manche DVMs wechseln bei ± 2 oder 3 V, andere bei 10, 12 oder 15 V und wieder andere bei ± 20 V. Wie ich im Kapitel über Geräte erwähnte, schätze ich es mit DVMs zu arbeiten, die bis mindestens 15 V bei hoher Impedanz bleiben. Die wichtigste Sache ist aber zu wissen, bei welcher Spannung die Impedanz wechselt. Ein Freund erinnerte mich vor kurzem, daß sein Techniker eine Woche lang Daten aufgenommen hatte, und das wiederholen mußte, weil er vergessen hatte, die Änderung in der Impedanz zu berücksichtigen. Ich glaube, ich werde durch unser Labor gehen und Schildchen auf jedes DVM kleben.

Trotzdem, DVMs sind sehr leistungsfähige und nützliche Instrumente, oft mit hervorragender Genauigkeit und großartiger Linearität und Auflösung, manchmal so gut wie 1 ppm. Ich habe einige dieser ultralineaen Instrumente für viele Jahre zu meinen Freunden gezählt. Ich schätze wirklich Maschinen wie das HP3455, das HP3456 und das HP3457, die inhärent wiederholbar linear sind, weil einige dieser DVMs absolut erstklassig sind.

Eine kleine Einzelheit: Selbst das beste DVM unterliegt dem Spruch: Hitze ist der Feind der Präzision. Zum Beispiel haben einige DVMs einige Mikrovolt Anwärm drift, aber *nur* wenn Sie den Kasten auf die Rückwand oder die Seite stellen. Einige haben einige Mikrovolt thermisches Wackeln und Wandern, wenn Sie es mit einem Null-Volt-Signal (kurzgeschlossene Drähte) speisen, aber nur, wenn Sie Bananenstecker oder dicken Draht nehmen, nicht wenn Sie dünnen Draht benutzen. Die dünnen Drähte ziehen offensichtlich nicht so viel Wärme aus den Front-Anschlußklemmen. Selbst der beste automatische Nullungsschaltkreis kann nicht die Driften außerhalb seines Bereichs korrigieren.

Die meisten Ingenieure wissen, daß DVMs eine resistive (10 M Ω) Last und eine kapazitive (50...1.000 pF) Last zu ihrer Schaltung hinzufügen, die sie zum Schwingen bringen kann. Nicht so gut bekannt ist, daß selbst die besseren DVMs über ihre Eingangsklemmen Störungen herausbringen können und ein wenig Störung in Ihrem Labor verteilen. Wenn Sie also eine empfindliche Schaltung haben, die von irgendwoher Störungen aufnimmt, schalten Sie Ihr DVM einige Sekunden aus, um zu sehen, ob es der Schuldige ist. Wenn nicht, schalten Sie den Funktionsgenerator oder den LötKolben aus. Wenn es die Schuld des DVMs ist, können Sie RC-Filter, RLC-Filter oder aktive Filter-Puffer mit Präzisionsoperationsverstärker anschließen, um die Störungen zu hindern, in Ihre Schaltung einzudringen. In Bild 2.4. wird ein kleines RC-Filter gezeigt, das nützlich zur Zurückhaltung von Störungen aus dem DVM ist. Oder Sie könnten ein analoges Instrument nehmen, das, wie vorher besprochen, keine Tendenz zum Schwingen oder der Erzeugung von Störungen hat. Ein analoges Instrument mit einem batteriebetriebenen Vorverstärker erzeugt nicht sehr viele Störungen im Vergleich zu einem DVM...

Signalquellen

Wenn wir beim Thema Instrumente sind, macht es mir wirklich Freude, einen guten Funktionsgenerator für Sinus-, Dreieck- und Rechtecksignale und -pulse zu benutzen. Ich liebe meinen alten Wavetek 191. Aber ich erwarte sicher keine vollkommen unverzerrten Signale. Alle diese Kurvenformen sind etwas verzerrt, besonders bei hohen Frequenzen. Wenn ich deshalb von meinem Funktionsgenerator eine saubere Sinuswelle will, leite ich seinen Ausgang durch ein aktives Filter bei niedrigen Frequenzen oder bei hohen durch ein LC-Filter. Wenn ich ein sauberes, klares Rechtecksignal will, schicke ich das Signal durch einen Begrenzerverstärker oder einen diodenbegrenzten Abschwächer (Bild 11.3). Wenn ich eine saubereres Dreieck brauche, als es der Funktionsgenerator mir liefert, baue ich mir einen Dreieck-Generator aus Bauteilen.

Aber ein Funktionsgenerator läßt mich im Stich, wenn irgendeine geistesabwesende Person einen Knopf zuviel drückt und plötzlich kein Ausgangssignal mehr da ist (meistens bin ich diese geistesabwesende Person...). Es kann mich fünf Minuten kosten, um herauszufinden, was das Problem ist. Ich liebe alle diese leistungsfähigen vielseitigen Funktionen, wenn ich sie brauche, aber sie machen mich verrückt, wenn der falsche Knopf gedrückt wird.

Ebenso kann die Spur eines Oszilloskops verloren gehen, sich in einer Ecke verstecken und viele Minuten lang schmollen, wenn Sie nicht wissen, daß irgend jemand (vielleicht der eigene verirrte fette Finger) den verräterischen Knopf gedrückt hat. Wenn digitale Oszilloskope mit ihren vielfachen Ebenen von Menüs und Submenüs anfangen dieses Spielchen zu spielen, brauche ich ein Kumpel-System, jemanden, der kommt und mich rauhaut, wenn ich hoffnungslos feststecke. Auf welchem Menü ist der verdammte Strahlfinder (beam finder) überhaupt?