



Krankenhausradio Elmshorn

Analoge Pegelmessung von Audiosignalen



Über unbrauchbar zappelnde Zeigerinstrumente
und analoge Treiberschaltungen
sowie Selbstinduktion am Messwerk

Eine Abhandlung von Jens Kelting
Copyright 2006-2009 Alle Rechte vorbehalten
Nachdruck nur mit Zustimmung des Verfassers!
Krankenhausradio Elmshorn - Radio K.R.E.

V1.31 – Januar 2009

Wildes Zeigerspiel am Mischpult

Man kann schon wirklich einen Anfall bekommen und in die teppichbeklebte Tischplatte beißen, wenn man auf die Zappel-Anzeigen preiswerter Mischpulte sieht.

In völliger Verzweiflung versuchte der Techniker in einem Krankenhausradio einen optimalen Arbeitspunkt für die Sendung zu finden, denn die zahlreichen Beschwerden über ein zu lautes - oder zu leises Programm gingen so langsam auf die Nerven. So beobachtete man argwöhnisch die beiden Anzeigenadeln, die lustig und präzise zwischen -20 und +6dB zappelten und klar und deutlich auf die technische Tatsache verweisen, das hier ein Sendesignal vorhanden ist.

Wildes Zeigerspiel - warum?

Bei teuren Mischpulten, die schon vor langer Zeit (gemeint ist jene Zeit, als wir noch Knallgrüne und Orange-Farbige Tapeten an die Wände knallten und Schlaghosen trugen, bei denen sich das Hosenbein liebevoll um die gerade frisch gefettete Fahrradkette wickelte und die Hitparade im Fernsehen lief...) gefertigt wurden, folgendes die Zeigernadeln schnell und unerbärmlich dem Eingangssignal. Es wirkt, als würde ein unbekannte Hand den Zeiger führen und jedes Eigenleben unterdrücken. Diese Tatsache ist es auch, die mich verwundert lange auf diese Anzeigen starren lies. Die Installation LED Ketten war undenkbar - denn über Leuchtdioden sprach man gerade einmal, denn diese kamen gerade in Mode.

Der Hintergrund ist einfach - und auch erklärbar. Jede Spule - ob nun von einem Magneten im Relais - oder eines Transformators - erzeugt eine Gegeninduktion. Diese Spannung, die immer dann entsteht wenn man die Spule wieder in den stromlosen Zustand versetzt, wird auch Selbstinduktionsspannung genannt. Wird zum Beispiel eine Relaispule mit einem Transistor angesteuert, muss diese entstehende Selbstinduktionsspannung an der Relaispule mit einer Freilaufdiode beseitigt werden. Der Nebeneffekt, das dadurch eine geringfügige Abfallverzögerung erreicht wird, ist zu verlässigen.

Das gleiche Prinzip lässt sich auch an einem Drehspulmesswerk anwenden, wobei hier noch weitere, mechanische Eigenschaften mitspielen. Dabei spielen auch konstruktionstechnische Merkmale eine wesentliche Rolle, wie die Anzeigecharakteristik eines Instruments ist. So hatten spezielle Messwerke im inneren eine Luftkammer, durch die eine Art Flügel schwebte. Durch diese Luftmassenverdrängung konnte gezielt die Trägheit eingestellt werden, ohne das Instrument elektrisch zu bedämpfen. Gerade bei schwankenden Strommessungen ist es kaum möglich, ein Wechselstrominstrument mit direkter Spule (bis zu 50A durchaus möglich) durch einen Kondensator zu bedämpfen.

Gehen wir jedoch bei unseren Betrachtungen von den normalen Messwerken aus, die entweder in einem preiswerten Mischpult sitzen - oder aus der Grabbelkiste kommen. Tatsache ist, dass dies fast alles Drehspulinstrumente sind. Durch die empfindlichen Messwerke ist auch eine direkte Ansteuerung durch gleichgerichtete Audiosignale möglich. Diese Messwerke lassen sich durch schaltungstechnische Tricks soweit bedämpfen, dass die Anzeigenadeln dem Musiksignal stur folgen.

Wildes Zeigerspiel - Kondensator kontra Linearität am Messwerk

Das Messwerk mit einem Kondensator zu bedämpfen ist keine korrekte Lösung, denn durch dieses künstliche RC-Glied (obwohl es eigentlich die Komplexe Variante aus R,C und L ist) wird eine frequenzabhängige Darstellung erreicht. Außerdem stellt sich der Kondensator schnellen Änderungen in den Weg, da auch der Kondensator aufgeladen wird. Somit integriert er zwar schnelle Impulse, verlangsamt aber auch die Anzeige selbst. Es ist doch

Nachdruck sowie Weitergabe nur mit schriftlicher Genehmigung des Verfassers!

Firmennamen und Bezeichnungen können geschützt sein! Bei Nennung dienen diese ausschließlich der Beschreibung und Identifikation von Geräten und Verfahren in diesem Dokument.

zum würgen: Entweder schnell der Zeiger extrem schnell bis an das Ende der Skala - oder er braucht ewige Zeiten, bis wieder auf den Nullpunkt angekommen ist. Dies ist ein weiteres Problem, das zur Verschlechterung der Anzeigeeigenschaften führt: Die konstante Rücklaufzeit. wie schon aus der Ausbildung, Studium oder der praktischen Erfahrung (die in vielen Fällen die beste aller Ausbildungen ist) haben wir die Gesetzmäßigkeiten der RC-Glieder kennen gelernt. Dabei wurden wir vom Ausbilder mit den „Tau Werten“ und so weiter bis an die Zähne genervt. Wer da aufgepasst hat kennt das Problem: Ein Widerstand kann einen Kondensator durchaus entladen - aber der zeitliche Verlauf ist keineswegs linear! Zuerst geht es schnell mit den Entladung - der Zeiger schnellt schnell gegen die Minusmarke auf dem Instrument. Aber plötzlich, so ab -15dB wird er immer langsamer und verbleibt irgendwo kurz vor „Minus unendlich“ stehen. Nicht, das sich Kondensator und Widerstand in einem gewerkschaftlich organisierten Aufstand gegen die weitere Entladung stellen - nein, es ist die physikalische Eigenschaft der Entladekurve. Sehr wohl findet noch eine Entladung statt - aber langsam und immer langsamer.

Wildes Zeigerspiel - Des widerspenstigen Zeigers Zähmung

Aber Achtung: Nicht jedes Instrument lässt sich gleich gut bedämpfen und somit zähmen. Einstellungsarbeiten an dem DC-Level zum Instrument, dem Nebenschlusswiderstand R_s parallel zum Instrument und dem Zero-Offset bremsen häufig die Arbeit mit dem präzisen Aussteuerungsschaltungen aus. Temperaturproblem machen dann die größten Probleme, wenn die Arbeitspunkte - und somit der Nullpunkt - wegwandert.

Wildes Zeigerspiel - Abhilfe schafft der konstante Strom

Damit der Kondensator nun endlich seine verdiente Pause erhält, entladen wir diesen mit einem konstanten Strom. Hierfür bietet sich ein Transistor an, der dem Kondensator sprichwörtlich den Strom aus den Platten saugt. Eingestellte Werte und Parameter erfüllen dann auch die Rücklaufzeiten, nach denen sich die meisten Techniker sehen: Ein gleichmäßiger Rücklauf der Zeignadel in die Ruhestellung.

Damit der Zeiger bei einem anliegenden Impulssignal auch eine Anzeigeantwort erbringt, muss er schnell an die entsprechende Stelle der Skala gebracht werden. Wichtig ist das korrekte Ausbremsen, denn sonst saust der Zeiger über die Anzeigestelle hinweg und schwingt sich ein. Dieser Einschwingungsvorgang ist das Resultat einer mangelhaften Dämpfung, die extern über einen Shuntwiderstand realisiert werden kann. Dazu ist es erforderlich, einen sehr niederohmigen Nebenschluss für das Instrument zu bilden.

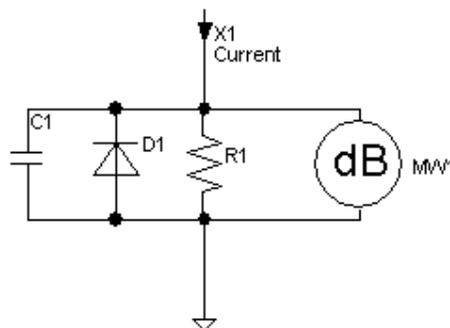


Bild: Strompfad – Nebenschlusswiderstand

Nachdruck sowie Weitergabe nur mit schriftlicher Genehmigung des Verfassers!

Firmennamen und Bezeichnungen können geschützt sein! Bei Nennung dienen diese ausschließlich der Beschreibung und Identifikation von Geräten und Verfahren in diesem Dokument.

Wildes Zeigerspiel - Selbstinduktion bremst Messwerk

Ein bekanntes Beispiel für diesen Effekt der Selbstinduktion ist der Transport und die Lieferung von hochwertigen Messwerken. Bei pflichtbewussten Herstellern von Drehspulmesswerken werden Anschlüsse mit einer Kurzschlussbrücke versehen. Dies erfolgt meistens mit einem Blankdraht, der um die beiden Anschlüsse gewickelt wird. Dadurch werden die Selbstinduktionsspannungen gegen sich selbst kurzgeschlossen und die Spule im Instrument als Wirbelstrombremse verwendet. Einen ähnlichen Effekt können Sie auch an einem Elektro- oder Schrittmotor beobachten. Werden die Anschlüsse alle gegeneinander kurzgeschlossen, lässt sich Motor wesentlich schwerer drehen - als bei offenen Anschlüssen. Jetzt wirken die Spulen als Induktionsbremse - was übrigens auch bei S- und U-Bahnen als Bremse verwendet wird. Durch die mit erheblicher Bewegungsenergie versehene Eisenbahn, entstehen massive Kräfte auf den kurzgeschlossenen Motoren. Die anliegende Induktionsspannung wird mit Widerständen verheizt - da sonst ein Kurzschluss innerhalb der Motospulen erfolgen würde und zu deren Beschädigung führt. Daher wird nach meinen Informationen die entstehende Bremsenergie in Form vom Strom zur Heizung der Fahrgasträume verwendet. Eine Rückspeisung in das Stromnetz ist aus wirtschaftlichen Gründen nicht möglich.

Das gleiche Prinzip wenden wir beim Instrument an - nur das wir nicht das Studio heizen können (es sei denn, wir verwenden tausende von Drehspulinstrumenten zum Heizen der Studioräumlichkeiten). Dies ist allerdings nur dann erforderlich, wenn es den Technikern bei den musikalischen Darbietungen eiskalt den Rücken runterläuft.

Wildes Zeigerspiel - Kurzschluss am Instrument dämpft die Nadel

Aus einer anfänglichen Spannung, die hochohmig durch das Messwerk gejagt wurde - wird nun ein harter Strom, der einen Spannungsabfall an einem niederohmigen Shuntwiderstand bewirkt. Dieser Spannungsabfall ist genau die Spannung, die für eine Anzeige benötigt wird. Kompliziert wird es, da der Shunt durch einen hohen Strom angesteuert werden sollte, um eine ausreichende Spannung für das Messwerk zu bringen. Der treibende Operationsverstärker muss in der Lage sein, diesen Strom zu liefern. Nicht jeder OP macht es sich an dieser Stelle leicht, sodass durchaus auch ein Leistungs-Operationsverstärker vom Typ TEA2025 oder LA6510 verwendet werden kann. Der typische Eiertanz ist es nun, den goldenen Mittelweg zwischen Strom, Shuntwiderstand und Überschwingen zu finden. Dabei sollte verständlich sein, dass ein Shuntstrom von 1000mA nicht mehr sinnvoll, um ein Messwerk von 100 μ A zu treiben. Größenordnungen von 10 bis 50mA sollten ausreichen.

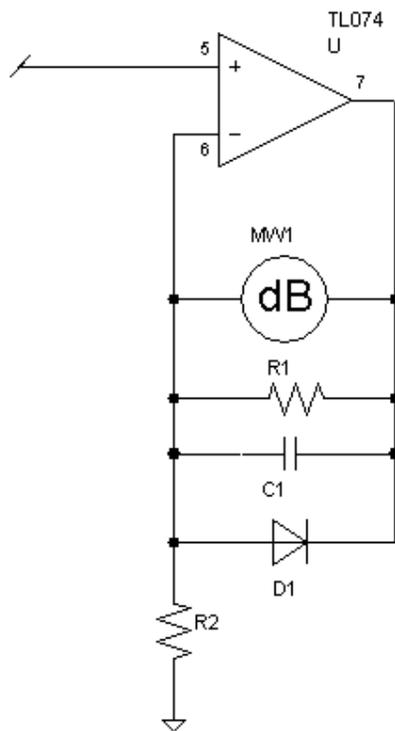


Bild: Operationsverstärker zum Treiben des Messwerkes

Je niederohmiger der Shuntwiderstand am Messwerk ist, desto größer ist die induktive Nebenschlussdämpfung (Induktionsbremse) und je geringer das Überschwingen. Zusätzlich bewirkt der Shunt eine Vergrößerung der Rücklaufzeit durch die Selbstinduktionsschleife. Mit einigen Experimenten und Versuchen könne die Widerstände am Messwerk und OP optimiert und den eigenen Wünschen angepasst werden.

Nachdruck sowie Weitergabe nur mit schriftlicher Genehmigung des Verfassers!

Firmennamen und Bezeichnungen können geschützt sein! Bei Nennung dienen diese ausschließlich der Beschreibung und Identifikation von Geräten und Verfahren in diesem Dokument.

Wildes Zeigerspiel - Überflüssiger Aufwand und der Umbau alter Instrumente

Nun kann schnell der Gedanke kommen, diese ganze Abhandlung gleicht dem Werk eines Wahnsinnigen. Das ist korrekt und auch so gewollt! Keine Schaltungslösung ist verrückt, wenn sie ein brauchbares Ergebnis liefert. Zwar ist der Aufwand verhältnismäßig hoch - aber der Nutzen auch erkennbar.

So können wir durch diese Umbaumaßnahme auch alte, nicht mehr benötigte Drehspulmesswerke (ich denke an Amperemeter mit externen Schuntwiderständen für Messbereiche ab 10 Ampere) wieder verwenden. Da die Empfindlichkeit des Drehspulmesswerkes erfahrungsgemäß zwischen 60 und 100mV (oder auch μA) liegt, ist ein Umeichen der Skala die einzige und aufwändigere Arbeit. Jedoch lassen sich mit den heutigen Grafikprogrammen so gute Skalen in dB anfertigen, das die dann verwendeten Instrumente ein absolutes Unikat sind.

Wildes Zeigerspiel - Die Mittelwertbildung einer Sinuswelle

Dabei kommt es auf die Arbeitsweise des Gleichrichters an. Sinnvoll ist es natürlich, beide Halbwellen zu verwenden und diese in einer Vollwellengleichrichtung zu verarbeiten. In dieser Funktion werden komplette RMS-Converter wie der AD536 oder AD636 verwendet. Nachteilig wirken sich diese IC's mit ihrem hohen Preis aus, wobei der AD636 bei ca. € 15,00 liegt. Dass es aber auch anders geht, zeigt der in diesem Artikel vorgestellte Schaltungsbeitrag. In dieser Lösung werden einzelne Dioden verwendet, die ebenfalls zu einer vernünftigen Gleichrichtung führen. Versuche in einem Vergleich haben gezeigt, dass die analoge Zeigervariante dem Peakmeter ebenbürtig ist.

Wildes Zeigerspiel - Schaltungstechnik in der Grobversion

Selbstverständlich kann man eine Schaltung auch bis in das letzte Detail verbessern und damit erreichen, dass der materielle Aufwand den Preis eines gebrauchten Peakmeters erreicht. Dies ist allerdings nicht das Ziel dieser Abhandlung, die eigentlich den Einsatz alter Messwerke wieder ermöglichen soll.

In den meisten billig Anwendungen werden vor die Drehspulmesswerke einfach Germanium Dioden (wenn überhaupt Germanium - und nicht Silizium) geschaltet, um das anliegende Wechselspannungssignal gleichzurichten. Die dann vorhandene Gleichspannung wird noch mit einem Elko geplättet, um einen brauchbaren Mittelwert zu erreichen. Da das Messwerk in der Regel sehr empfindlich ist - wir sprechen von durchschnittlich $100\mu\text{A}$ - reagiert es auch empfindlich auf kleinste Spannungsänderungen.

Diese entstehen auch, wenn die Spule im Instrument Bewegungen ausführt und durch die Rückstellfeder wieder in die Ausgangslage zurückkehrt. Dabei wird eine Gleichspannung an der Instrumentenspule induziert.

Wildes Zeigerspiel - Die Eingangsschaltung

Die Eingangsschaltung besteht aus einer symmetrisch aufgebauten Differenzverstärkerstufe, die aus einem Operationsverstärker besteht. Für die meisten Anzeigezwecke ist die Schaltung vollkommen ausreichend - es sei denn, es ist eine galvanische Trennung erforderlich. Dann sollte an diese Stelle ein Eingangsübertrager gesetzt werden - der allerdings die Kosten für die Schaltung wesentlich erhöht.

An die Eingangsstufe schließt sich der Vollwellengleichrichter, der beide Halbwellen aktiv in die Bearbeitung einbezieht. Eine anschließende Integration mit einem RC-Glied sorgt für die zeitliche und notwendige Aufarbeitung. Eine zugehörige Konstantstromquelle entlädt den Kondensator in einem festgelegten Zeitrahmen, der übrigens auch für eine lineare Rücklaufzeit der Zeiger verantwortlich ist. Der ästhetische Anblick eines gleichmäßig rücklaufenden Zeigers ist das Merkmal für eine hochwertige Pegelanzeige. Dieses Merkmal findet sich übrigens auch bei LED betriebenen Anzeigen.

Wildes Zeigerspiel - Die Gleichrichterschaltung

Um das Eingangssignal entsprechend gleichzurichten, wird das Signal mit der Phasendrehung von 0° und mit 180° aufbereitet. Dann erfolgt für jede Signalhälfte eine Gleichrichtung der jeweiligen Halbwelle. Anschließend werden die beiden Halbwellenteile, die durch die vorherige Phasenverschiebung von 180° wieder zur gesamten Periode zusammengefügt. Vorteil dieser Technik ist, dass beide Halbwellen absolut identisch behandelt werden. Nachteilig wirken sich exemplarische Streuungen der Dioden aus. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, einen Dioden Array zu verwenden, was zum Beispiel unter der Bezeichnung μ PA54HA erhältlich ist. Auch der Typ DAN401 oder DAN601 eignet sich für diese Anwendung. Für alle, die den Wahnsinn auf die Spitze treiben wollen, kann och einzusätzlicher Leistungstransistor vom Typ BD243 oder BD134 mechanisch mit dem Dioden-Array verbunden werden. Damit wird das Array vorgeheizt und hat immer eine konstante Chiptemperatur. Ob sich der Aufwand - der ursprünglich aus der Quarzoszillator/Quarzofenzeit stammt - überhaupt rechnet, möchte ich bezweifeln.

Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz eines Transistor Arrays, denn bekanntlich sind Transistoren die besseren Dioden, wenn es um die vorhandene Temperaturdrift geht. Nicht, dass der Transistor weniger Temperaturabhängig ist - sondern die Halbleiterstrecken befinden sich ebenfalls alle auf dem gleichen Substrat. Die Wahl fiel auf den Typ CA3096, der insgesamt 5 NPN-Transistoren beinhaltet.

Mit Sicherheit arbeitet die Schaltung auch mit handelsüblichen Siliziumdioden vom Typ 1N4148, 1N914, 1N4151, BAW75, BAW76 oder BAY80. Wer es vollkommen übertreiben möchte, kann auch Schottky-Dioden vom Typ BAT46, BAT85, BAT86 oder 1N5711 verwenden und den höheren Preis in Kauf nehmen. Die ganz verrückten nehmen Germaniumdioden vom Typ 1N270 - die allerdings in einer aktiven Schaltung kaum Verbesserungen bringen.

Wildes Zeigerspiel - Qualität von Drehspulmesswerken

Es ist normal und verständlich, das es große Qualitätsunterschiede zwischen unterschiedlichen Drehspulmesswerken gibt. Angefangen von den absoluten Billig-Instrumenten, die in preiswerten Mischpulven eingesetzt werden - bis hin zu den aufwändigen Edel-Instrumenten, die sich in Röhrenverstärkern und High-End Verstärkern im HiFi Bereich ansiedeln. Mittlerweile haben fast alle Mischpulverhersteller ihre Pegelanzeigen gegen preiswerte LED

Nachdruck sowie Weitergabe nur mit schriftlicher Genehmigung des Verfassers!

Firmennamen und Bezeichnungen können geschützt sein! Bei Nennung dienen diese ausschließlich der Beschreibung und Identifikation von Geräten und Verfahren in diesem Dokument.

Ketten ausgewechselt - was nicht unbedingt eine Garantie für eine präzisere Anzeige ist. Auch ein hochauflösendes Drehspulmesswerk zeigt - bei korrekter Bedämpfung und Rücklaufzeiten - den Pegel sehr genau an. Das meistens nur die Marke um 0dB eine Rolle spielt, ist dieser Bereich auch in der höchsten Auflösung vorhanden. Endwerte von +3dB stellen an die Ansteuerungsschaltung besondere Anforderungen, denn ein Überschwingen bedeutet gleich ein messtechnischer Anzeigefehler um eventuell 3dB höher.

Da die meisten Drehspulmesswerke schlechter sind, als die treibende Gleichrichterschaltung, macht es nicht viel Sinn, den Gleichrichter mit Edelbauteilen zu bestücken. Sollte jedoch hinter der Schaltung ein ausgedientes Edelinstrument von Studer oder SIFAM hängen, macht es schon Sinn, der Ansteuerung entsprechende Aufmerksamkeit zu widmen. Aber Achtung: Bei Mischpulten der Firma Studer gab es ein Instrument, das seine mechanische Nullstellung bei der 0dB Marke hatte. Normale Schaltungen arbeiten hier nicht, da bei Erreichen des Threshold-Wertes von 0dB eine Polaritätsänderung am Messwerk erfolgen muss. Die Ansteuerungsschaltung hierfür ist entsprechend komplex und aufwändig gestaltet. Da es sich hierbei um eine urheberrechtlich geschützte Unterlage handelt, kann diese im Rahmen dieser Dokumentation nicht veröffentlicht werden.

So macht es Sinn, sich vorher Gedanken zur Gleichrichterschaltung zu machen. Ist nur ein einfaches billig-Instrument vorhanden, sollte man den Aufwand in Grenzen halten. Hat man einige alte - optisch ansprechende Instrumente der Edelklasse vor sich, macht es auch Spaß, dafür eine vernünftige Anzeigeschaltung zu entwerfen. Wer dann noch eine 2HE Rackblende hat, baut sich aus den Anzeigen einen Pegelmessgerät auf analoger Art. Entsprechend beleuchtete Instrumente (nicht immer blaue Leuchtdioden verwenden - macht mittlerweile jeder Trottel) runden das Erscheinungsbild dann ab.

Eventuell verfügbare Schaltungsunterlagen zu den einzelnen Bauvorschlägen sind nur auf Anfrage erhältlich, wenn im Downloadbereich kein entsprechendes File eingestellt wurde.

Version 1.0 vom xx.xx.2005
Version 1,1 vom 02.08.2006
Version 1.2 vom 05.08.2006
Version 1.3 vom 07.08.2006
Version 1.31 vom 19.01.2009