

SIGNAL-RAUSCH-VERBESSERUNG

Ausarbeitung von Erik Brambrink

Betreuer: Ekkehard Reibold

Ziel des Versuches

Da in der Praxis Meßsignale immer von Rauschen begleitet sind, müssen Techniken gefunden werden, aus verrauschten Signalen brauchbare Ergebnisse zu filtern, also das Signal gegenüber dem Rauschen zu verstärken. Dies nennt man dann Signal-Rausch-Verbesserung.

Theoretische Grundlagen

Rauschen nennt man unregelmäßige Signale, die aus vielen schwankenden Fourier-Komponenten bestehen. Die Ursachen von Rauschen sind verschieden, z.B. die thermische Bewegung der Elektronen oder die statistische Schwankung von Ereignissen (Schrot-Rauschen). Allen Arten von Rauschen ist jedoch gemein, daß sie weder mit dem Signal noch mit sich selbst korreliert sind. Deshalb heben sich die Rauschsignale bei einer Mittelung über viele Messungen teilweise auf. Das Rauschsignal fällt dabei mit $\frac{1}{\sqrt{n}}$ gegenüber dem Signal ab.

In dem Versuch werden der Lock-In Detektor und der Boxcar Detektor untersucht. Beide basieren darauf, daß das Signal periodisch auf ein RC-Glied gegeben wird und damit gemittelt wird.

Der Lock-In Detektor übermittelt jeweils eine halbe Periode auf das RC-Glied. Damit eignet er sich gut zum Messen von Wechselfspannungen. Ziel ist es dabei, die Amplitude der Wechselfspannung zu bestimmen. Entscheidend hierbei ist, das Signal und Trigger möglichst in Phase sind. Die RC Kombination ist so zu wählen, daß τ etwas ist als ϖ , da die Mittelung über $n \cdot \varpi$ Perioden stattfindet.

Ist das Signal zwar periodisch, aber nicht sinusförmig, muß man zu einer anderen Art, nämlich den Boxcar-Detektor, greifen. bei diesem ist die Länge (Torzeit Δt) und Phasenlage (Verzögerungszeit t_v) des Zeitraums, in dem das Signal auf das RC-Glied gegeben wird, frei einstellbar. Die Länge dieses Zeitraums ist gewöhnlich sehr kurz gegen die Periode des Signals. Der Ausgang liefert also den gemittelten Spannungswert zu einer bestimmten Phase des Signals im Zeitraum Δt . Wenn man nun die Phasenlage automatisch durchfährt, so erhält man eine komplette Periode des Signals, nur eben rauschfreier.

Versuchsaufbau und Durchführung

Die Untersuchung des Lock-In Detektors wurde mit einem Signal der Frequenz 1 kHz durchgeführt. Dieses wurde zum triggern des Oszillographen und zur Steuerung des Tors des Detektors verwendet. Ein Phasenschieber wurde vor die Torsteuerung geschaltet, um das richtige Einstellen der Torphase zu ermöglichen. Anschließend wurde die Abhängigkeit des Signals von τ auf dem Oszillograph betrachtet. Anschließend wurde ein zweiter Funktionsgenerator benutzt, um das Verhalten der Schaltung bei den Vielfachen von 1 kHz zu untersuchen. Als Maß für die Durchlässigkeit der Schaltung für höherfrequente Signale wurde die Amplitude der Schwebungsfrequenz genommen. Anschließend wurde auch noch die Abhängigkeit von τ untersucht. Zu diesem Zweck wurde für unterschiedliche Werte von τ die Schwebungsamplitude in Abhängigkeit von der Frequenz auf der Flanke unterhalb der Triggerfrequenz gemessen.

Zur Untersuchung des Boxcar Detektors wurde ein von einem Funktionsgenerator erzeugtes periodisches Signal verwendet. Eine Skizze davon befindet sich im Protokoll. Die Verzögerungszeit des Boxcars wurde in diesem Fall automatisch durch eine Kippspannung

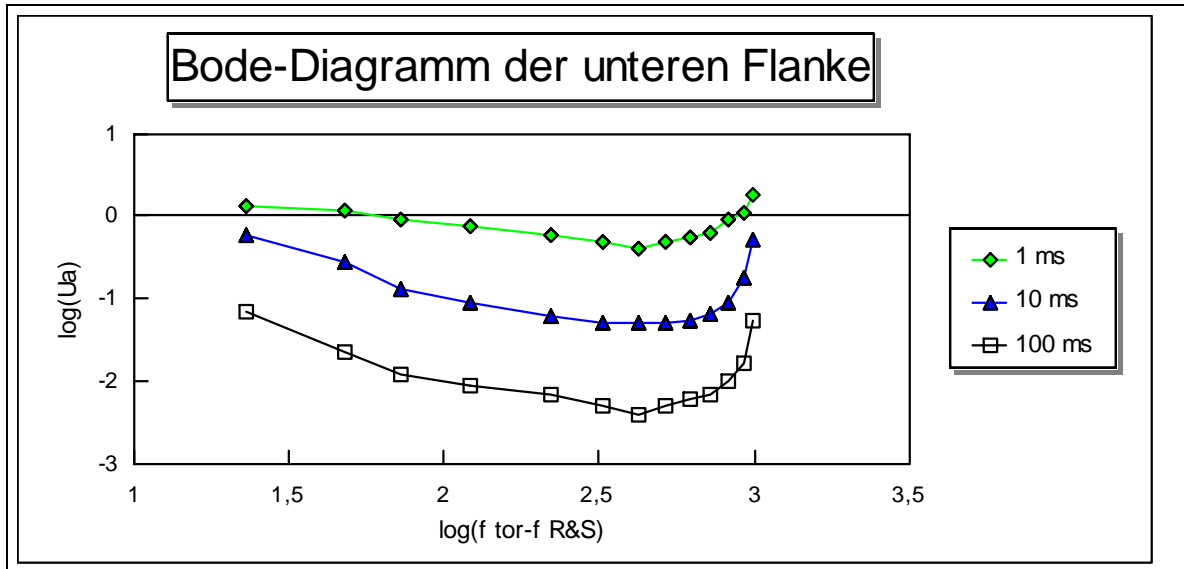
gefahren. Die Wiederholzeit wurde auf 15 ms eingestellt, da das Signal diese Periodizität hatte. Betrachtungen des Signals auf dem Oszillographen lieferten eine Signallänge von 7 ms. Torzeit, Meßzeit und Zeitkonstante wurden variiert und deren Auswirkungen qualitativ am Oszillographen betrachtet. Mit dem x-y-Schreiber wurde dann das Signal aufgenommen. Abschließend wurde das Signal mit einem Rauschen überlagert, und zwar so, daß die Signal-Struktur nicht mehr erkennbar war. Dieses Signal wurde dann mit dem Boxcar entauscht, wobei wir zwei verschiedene Torzeit/Zeitkonstanten-Verhältnisse benutzten.

Auswertung

Im Zusammenhang mit dem Lock-In wurde der Phasenschieber untersucht, mit dem dann hinterher die Phasenlage des Torsignals verändert werden kann. Dieser überstreicht einen Bereich von knapp 180° . Damit sollte es immer möglich sein, die Phase des torsignals so zu wählen, daß eine Halbwelle exakt überstrichen wird.

Dann wurde das Verhalten des Lock-In in Abhängigkeit von der Phasenlage und von τ untersucht. Erwartungsgemäß wurde das Signal bei wachsendem τ geglättet, jedoch wurde das Signal erst geglättet, sobald τ größer als die Periodendauer des Signals wurde. Dies ist auch klar, da der Integrator erst dann seine Funktion erfüllen kann, wenn er mehrere Signale aufaddieren kann. Das Ausgangssignal des Lock-In ist auch Phasenabhängig, da ja das Ausgangssignal $U_A = \frac{2}{\pi} \hat{U} \cos(\varphi)$ offensichtlich von der Phasenlage abhängt. Dies zeigte sich auch deutlich im Versuch, denn das Ausgangssignal hatte bei gleicher Phase sein Maximum, während es bei verschobener Phase absank. Dies ermöglicht auch den Einsatz des Lock-In in Regelschaltungen, um Signale in gleiche Phase zu bringen. Ein Signal steuert das Tor, das andere durchläuft den Lock-In. Die beiden Signale befinden sich in Phase, wenn das Ausgangssignal maximal ist.

Anschließend wurde Durchlässigkeit des Lock-In bei Vielfachen der Torfrequenz untersucht. Das RC-Glied wurde auf $\tau = 10$ ms eingestellt. Es wurde dann die Schwebungsamplitude und der Frequenzbereich, in dem diese Schwebung auftritt, ermittelt. Dabei zeigte sich, daß nennenswerte Schwebungen nur bei ungeradzahligem Vielfachen der Torfrequenz auftraten. Das läßt sich damit erklären, daß bei gradzahligem Vielfachen sich jeweils eine positive und eine negative Halbwelle während einer Torzeit wegheben. Bei ungeradzahligem Vielfachen wurde das Signal geschwächt, da sich positive und negative Halbwellen teilweise aufheben. Das führt zu einem $1/n$ -Abfall. Dann wurde mit verschiedenen τ die untere Frequenz-Flanke auf ihre Durchlässigkeit untersucht. Das Ganze wurde dann in einem Bode-Diagramm veranschaulicht.



Es zeigt sich deutlich, daß mit wachsendem τ die Trennschärfe zunimmt und andere Frequenzen stärker gedämpft werden. Insgesamt zeigt sich das typische Bild eines Bandpassfilters. Da man die Bandbreite über τ einstellen kann, ist der Lock-In praktisch ein Bandpassfilter mit variabler Bandbreite. Ist das Eingangssignal nun eine (niederfrequente oder konstante) Spannung, die mit einer kleinen Wechselfrequenz moduliert wird, so muß man diese kleine Spannung erst von der großen mit einem Hochpass abtrennen (im einfachsten Fall Kondensator dazwischenklemmen). So ist es dann auch möglich, Signale zu filtern, die nicht symmetrisch um die Null-Achse schwingen.

Für den Boxcar Detektor wurde ein periodisches Signal eines Signalgenerators untersucht. Bei der Untersuchung mit dem Oszilloskop konnten Signallänge und Maximalwerte für die 'Torzeit' bestimmt werden. Die Torzeit muß so kurz sein, daß das eigentliche Signal noch gut aufgelöst werden kann. Macht man die Torzeit zu lang, sieht man die Wellenstruktur des Signals nicht mehr. Die Zeitkonstante des RC-Glieds ist mit der Zahl der Messungen über $n = \frac{\tau}{\Delta t}$ verknüpft. Deshalb bringen größere Zeitkonstanten auch höhere Signal-Rausch-Abstände. Wählt man jedoch zu groß, so wird auch das Signal geglättet, es bleibt die Ladekurve des Kondensators. Die Gesamtmeßzeit ergibt sich dann zu: $T_M = 3 n \frac{T_S}{\Delta t} T_T$

T_T ist dabei die Zeit, nach der sich das Signal wiederholt, T_S die Signallänge. Man führt also 3 n Messungen durch, damit der Kondensator des RC-Glieds genug aufgeladen wird. Der zweite Term gibt an, wieviele Messungen man braucht, um das ganze Signal abzutasten. Diese Gesamtzahl der Messungen wird dann mit der Wiederholzeit des Signals multipliziert. So ergibt sich dann diese Meßzeit. Setzt man die Meßzeit zu kurz an, erhält man aufgrund der zu wenigen Messungen ein stark verrauschtes Signal.

Zuerst wurde das Signal unverrauscht vermessen. Auf der Zeitskala entsprachen dabei 33 cm einer Zeit von 10 ns. Die Periodendauer des Signals war im Plot 2,8 cm lang was einer Zeit von 0,85 ns entspricht. Die Zeitkonstante, also die Zeit, nach der das Signal auf 1/e abgefallen ist, ergibt sich nach der Formel $\tau = \frac{-t}{\ln\left(\frac{A_1}{A_2}\right)}$ (A_1, A_2 sind zwei beliebige Amplituden, die die

Zeit t auseinanderliegen) zu 7,64 ns.

Abschließend wurde das verrauschte Signal untersucht. Die Einstellungen für die Plots 2 und 3 sind im Protokoll angegeben. Plot 2 liefert bei großer Amplitude ein Signal-Rausch-Verhältnis von 1,72 und bei kleiner Amplitude von 1,28. Plot 3 liefert für

große Amplituden ein Signal-Rausch-Verhältnis von 7,6 und für kleine Amplituden von 6,8. Da bei Plot 3 drei mal so viele Messungen durchgeführt wurden müßte sich theoretisch das Signal-Rausch-Verhältnis um den Faktor 1,7 gegenüber dem Plot 2 verbessern. Warum in diesem Fall die Werte so viel besser ausfallen, kann ich mir nicht erklären. Ich vermute, daß bei Plot 2 aufgrund der wenigen Messungen (20) das Ergebnis nicht der $\frac{1}{\sqrt{n}}$ -Verringerung des Rauschens folgt, da statistische Theorien eine große Zahl von Messungen voraussetzen. Wären in dem Signal noch periodische Signale anderer Frequenz beigemischt, so kann man diese herausfiltern, indem man die Torbreite auf ein ganzzahliges Vielfaches der Periodendauer einstellt. Dann heben sich wieder positive und negative Halbwellen weg und das Signal verschwindet.