

# Ausrastverhalten von Synchronisationsschaltungen zweiter Ordnung für pseudozufällige Sequenzen

**Author(s):**
Welti, Arnold L.

**Publication Date:**
1992

**Permanent Link:**
https://doi.org/10.3929/ethz-a-000647782

Diss. ETH Nr. 9770

# AUSRASTVERHALTEN VON SYNCHRONISATIONSSCHALTUNGEN ZWEITER ORDNUNG FÜR PSEUDOZUFÄLLIGE SEQUENZEN

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von
ARNOLD L. WELTI
M.Sc. (El.-Eng.), Syracuse University, USA
geboren am 13. März 1958
von Berikon (AG)

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. P. E. Leuthold, Referent
Prof. Dr. L. Guzzella, Korreferent

Zürich 1992

# ABSTRACT


Spread spectrum systems are going more and more commercial during the last few years. Synchronization of the transmitted and received code sequence is necessary in order to despread the received signal and to be able to reconstruct the data. Usually, it will be done in two steps: code acquisition and code tracking. In this work only tracking is considered.

Code tracking can be accomplished by a delay-locked loop (DLL) which represents a nonlinear closed loop system. The failure of tracking is called *loss of lock*. *In this dissertation, for the first time the coherent* second-order DLL with passive and active loop filter is analyzed by evaluating the mean time to lose lock (MTLL) and by identifying the geometric location in the state plane where exits will occur (exit points). This location can be described by the probability density function $p_{\text{exit}}$ of the exit points. The exact computation of MTLL and $p_{\text{exit}}$ of a second-order system is not possible. Applying the singular perturbation method an approximation has been obtained. Monte-Carlo simulations show a very satisfactory agreement with the approximation from this singular perturbation theory.

Under the presumption of the DLL having a piecewise linear discriminator characteristic (S-curve) an analytic expression for the dominating term of the relationship describing the MTLL is found. Hence, for the first time it is possible to optimize analytically the free loop parameters of the DLL with the loop filters mentioned above such that the MTLL achieves a maximum.

Furthermore, it is shown that the additional information about the probability density function $p_{\text{exit}}$ allows a modification of the DLL which results in a substantially larger MTLL.

# Kapitel 6

# SCHLUSSFOLGERUNGEN

## 6.1 Zusammenfassung

Die Bandspreiztechnik (spread spectrum techniques) benützt zur Übertragung von Information eine pseudozufällige Codesequenz mit viel grösserer Bandbreite als diejenige des Informationssignals. Damit verhält sich ein Bandspreizsystem im allgemeinen robuster als ein System ohne Bandspreizung. Allerdings lässt sich diese Eigenschaft nur dann erreichen, wenn die im Empfänger erzeugte Codesequenz "optimal" auf diejenige im Empfangssignal synchronisiert werden kann. Der Delay-Locked Loop (DLL) stellt einen nichtlinearen Regelkreis dar, der diese Aufgabe übernimmt. Aufgrund seines nichtlinearen Verhaltens können Störungen zum Phänomen des Ausrastens führen. Die mittlere Ausrastzeit (mean time to lose lock, MTLL) stellt ein Kriterium dar, das dieses Phänomen sehr gut beschreibt.

In der vorliegenden Arbeit erfolgt die Behandlung zweier Problemkreise im Hinblick auf das Ausrastphänomen des DLL zweiter Ordnung. Einerseits wird die MTLL untersucht und maximiert, so dass das Ausrastereignis möglichst selten auftritt. Andererseits geht es um die Berechnung des geometrischen Orts der Austrittspunkte in der Zustandsebene. Dieser Ort wird durch die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $p_{\text{exit}}$ der Austrittspunkte beschrieben. Beide Problemkreise werden erstmals für den DLL mit passivem und aktivem Kreisfilter untersucht; die erstere Konfiguration bezeichnet man in der Regelungstechnik als $PT_1$-Kompensator, die letztere als PI-Regler.

Die Berechnung der MTLL für den DLL mit passivem Kreisfilter erfolgt entsprechend dem Lösungsweg für das "Kramers-Problem" [36] und findet erstmals Anwendung auf den DLL zweiter Ordnung. Als Resultat ergibt sich der überraschend einfache analytische Ausdruck (2.80). Damit ist es auch leicht möglich, die MTLL analytisch zu maximieren (2.85) und dementsprechend die optimalen Parameterwerte für den Dämpfungsfaktor $\zeta$ und die natürliche Kreisfrequenz $\omega_n$ anzugeben. Man erhält die Werte $\zeta^{\text{opt}} = 0.707$ und $(\omega_n/\zeta)^{\text{opt}} = 12|v_0|R_c/c$. Dabei ist es interessant festzustellen, dass $\zeta^{\text{opt}}$ von keinen Parametern abhängig ist. Hingegen ergibt sich $\omega_n^{\text{opt}}$ proportional der Coderate $R_c$ und dem Absolutwert der relativen Geschwindigkeit $|v_0|$ zwischen Sender und Empfänger. Die Grösse $c$ bezeichnet die Lichtgeschwindigkeit. Diese optimalen Parameterwerte können direkt für die Schaltungsdimensionierung Verwendung finden.

Die Berechnung der MTLL für den DLL mit aktivem Kreisfilter kann nicht mehr auf das "Kramers-Problem" zurückgeführt werden. In diesem Fall lässt sich die MTLL, beschrieben durch die Dynkin-Gleichung (3.29), durch Anwendung der singulären Störungsrechnung approximieren. Diese Methode führt für die stückweise lineare Diskriminatorcharakteristik (S-Kurve) auf ein analytisches Resultat für den Exponentialterm der MTLL (3.81). Hingegen lässt sich der Prä-Exponent in (3.95) nur numerisch berechnen. Durch entsprechende Untersuchungen (Tabelle 3.1 und 3.2) konnte allerdings für den Prä-Exponenten ein einfacher Ausdruck (3.175) gefunden werden. Monte-Carlo-Simulationen bestätigen dieses Resultat auf eindrückliche Weise. Wiederum führen entsprechend optimale Parameter $\zeta^{\text{opt}}$ und $\omega_n^{\text{opt}}$ auf einen maximalen Exponentialterm der MTLL, welcher bekanntlich den dominanten Term darstellt. Neu ist die Erkenntnis, dass $\zeta^{\text{opt}} = 0.6$, $\omega_n^{\text{opt}} = \sqrt{\alpha_1 R_c |a_v|/(0.2c)}$ und der optimale Wert für das Quasi-Potential $\hat{\Psi} = 0.194$ die maximale MTLL (3.184) ergeben. Im Gegensatz zum Dämpfungsfaktor $\zeta^{\text{opt}}$, der auch bei aktivem Kreisfilter eine Konstante darstellt, ist $\omega_n^{\text{opt}}$ von der Coderate $R_c$, der Steigung der S-Kurve $\alpha_1$ und vom Betrag der relativen Beschleunigung $|a_v|$ zwischen Sender und Empfänger bestimmt. Diese einfachen Ergebnisse kann man wiederum direkt zur optimalen Schaltungsdimensionierung verwenden. Weiterhin lassen sich mit einem intuitiven Approximationsverfahren, welches mathematisch bedeutend weniger aufwendig ist als die singuläre Störungsrechnung, die optimalen Parameterwerte näherungsweise ermitteln (3.199). Allerdings kann dieses Verfahren nicht zur approximativen Berechnung der MTLL beigezogen werden, da der Fehler, verglichen mit dem Resultat der singulären Störungsrechnung, zu gross ausfällt.

Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $p_{\text{exit}}$ lässt sich mittels eines assoziierten Systems (4.31) über die Berechnung der Austrittszeit erhalten (4.38), was dieses Problem dank deren Kenntnis bedeutend vereinfacht. Monte-Carlo-Simulationen zeigen in den Figuren 4.2 und 4.5 für den DLL