

Abstract, Zusammenfassung
Ratemeter
Logisches Ratemeter
Verfahren
Digitales Ratemeter
Erweiterung des Dynamikbereichs
Schlüsselwörter

Digitales Ratemeter

D.E. Groening

IPP III/68

März 1981



MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK

8046 GARCHING BEI MÜNCHEN

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK
GARCHING BEI MÜNCHEN

Digitales Ratemeter

D.E. Groening

IPP III/68

März 1981

Die nachstehende Arbeit wurde im Rahmen des Vertrages zwischen dem Max-Planck-Institut für Plasmaphysik und der Europäischen Atomgemeinschaft über die Zusammenarbeit auf dem Gebiete der Plasmaphysik durchgeführt.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Abstract, Zusammenfassung	
Ratemeter	1
Analoges Ratemeter	1
Zählverfahren	2
Digitales Ratemeter	4
Vergrößerung des Dynamikbereichs	6
Beschreibung	7
<u>Anhang:</u>	
Herleitung der Formeln	8
Zeichnungen und Bilder	13

Abstract

This report shows the problems in measuring pulserates. A comparison is made of the analog ratemeter and the counter connected as a ratemeter and the advantages and disadvantages of both systems are shown. Afterwards the function of a new digital ratemeter for linear and log scale is explained which includes the advantages of both systems. For this kind of ratemeter a patent is applied.

Zusammenfassung

Dieser Bericht befaßt sich mit der Problematik der Pulsratenmessung. Er gibt eine Gegenüberstellung von analogen Ratemeter und Zählverfahren und zeigt deren Vor- und Nachteile. Im Anschluß wird die Wirkungsweise eines neuen digitalen Ratemeters für linearen und logarithmischen Betrieb erklärt, das die Vorteile beider vorherigen Systeme in sich vereinigt. Für dieses Verfahren ist ein Patent angemeldet.

Ratemeter

Bei der Zählratenmessung gilt es festzustellen, wie hoch die Impulshäufigkeit pro Zeiteinheit ist. Dies geschah früher im analogen Verfahren, indem pro Impuls ein Stromstoß konstanter Stärke und Dauer auf ein RC Glied gegeben wurde und die Zeitkonstante so gewählt wurde, daß die mittlere Spannung an diesem RC Glied der einkommenden Zählrate entsprach. Bei den heutigen, billigen integrierten Zählern liegt es natürlich nahe, einen solchen zu nehmen und die Zählrate durch Zählen zu ermitteln. Das geschieht dadurch, daß man den Zähler zu Null setzt, dann eine bestimmte Zeit zählen läßt, diesen Zählerstand abspeichert, um dann wieder auf Null zu setzen. Daß dieses an sich naheliegende Verfahren seine Tücken hat und zu Fehlinterpretationen führen kann, soll nachfolgend gezeigt werden. Um die Unterschiede zeigen zu können, soll zuerst noch einmal das analoge Ratemeter behandelt werden.

Analoges Ratemeter

Herkömmliche analoge Ratemeter arbeiten nach dem vorher kurz skizzierten Verfahren (siehe Bild 1). Die einkommenden Impulse gehen über einen Pulsformer. Dieser erzeugt Impulse konstanter Dauer und Höhe. Sie müssen kurz sein gegen die Zeitkonstante. Der Transistor T_1 soll eine Stromquelle andeuten. Dadurch daß der Emitterwiderstand R_e umschaltbar ist, läßt sich der Meßbereich verändern, indem die Stromstärke, mit der der Kondensator C aufgeladen wird, umgeschaltet wird. Durch Umschalten des Kondensators läßt sich bei gleichbleibendem Bereich die Zeitkonstante und damit die Geschwindigkeit, mit der das System auf eine Änderung reagiert, beeinflussen. Eine lange Zeitkonstante bedeutet gute Glättung und damit genauere Ermittlung der mittleren Zählrate des Ausgangssignals. Der Pufferverstärker sorgt für belastungsfreies

Messen an dem RC Glied. Bei sich rasch verändernden Zählraten ist man auf kurze Zeitkonstanten angewiesen. Dann aber tritt die sägezahnförmige Restwelligkeit besonders in Erscheinung. Diese hat einen höheren Oberwellengehalt als die später beschriebene Anordnung mit Treppenkurve und ist daher für die Digitalisierung schlechter geeignet. Das gleiche gilt für die Cross-Korrelationsmessungen (siehe Bild 2). Es zeigt ein Oszillogramm. Die obere Spur stellt die Spannung dar, mit der ein Pulsgenerator frequenzmoduliert wurde. Bei $U_m = 1 \text{ V}$ Modulationsspannung war die Pulsfrequenz 2,3 kHz und bei $U_m = 5 \text{ V}$ stieg sie auf 8 kHz. Die untere Spur zeigt das Ausgangssignal des analogen Rate-meters bei einer Zeitkonstante von 0,3 ms, damit dieser Aspekt deutlich herauskommt. Da die Stromquelle in diesem Verfahren nicht beliebig schnell zu machen ist, sind der Zählrate nach oben Grenzen gesetzt. Das gleiche gilt für sehr niedrige Zählraten. Die Kapazität kann nicht beliebig groß werden und die Effekte von Leck- und Restströmen verfälschen das Ergebnis. Außerdem muß ein jeder Bereich einzeln geeicht werden. Der Vorteil dieser Messung ist aber, daß die Messung bezüglich der Zählraten eindeutige Ergebnisse liefert und Fehlinterpretationen ausgeschlossen sind. Als Nachteil muß man die Restwelligkeit ansehen, die Genauigkeit über der Temperatur und über der Zeit; ebenso den begrenzten Meßbereich sowohl zu hohen Zählraten (Doppelpulsauflösung) als auch zu ganz niedrigen Zählraten. Außerdem liegt das Ergebnis nicht in digitalisierter Form vor für Rechnererfassung, sondern muß in einem nachgeschalteten ADC erst digitalisiert werden.

Zählverfahren

Bei ebenfalls auf dem Markt erhältlichen digitalen Ratemeter, die Pulsraten in einem festen Zeitintervall zu bestimmten Torzeiten zählen, liefern nur dann ein brauchbares Ergebnis, wenn die Zählrate rein statistisch ist. Auch hierbei ist

das Ergebnis nicht gleich dem des analogen Verfahrens, denn das bildet einen Mittelwert (Gl. 1), während das digitale Verfahren nur den Mittelwert (Gl. 2) bildet

$$N_m = \int_0^{t=t_i} g(t)n(t)dt \quad \text{wobei bedeuten} \quad (1)$$

N_m = mittlere Zählrate
 t_i = Meßzeitpunkt

$$N_m = \int_{t=t_{i-1}}^{t=t_i} n(t)dt \quad \begin{array}{l} g(t) = \text{Gewichtsfunktion} \\ n(t) = \text{Eingangszählrate} \end{array} \quad (2)$$

Das analoge Verfahren berücksichtigt mit einer Gewichtsfunktion, der Vergessenskurve, die gesamte Vorgeschichte der Zählratenentwicklung bis zum Zeitpunkt $t = t_i$. Das digitale Verfahren nimmt einen ungewichteten Ausschnitt der Zählrate von Zeitintervall $t = t_{i-1}$ bis zum Zeitpunkt $t = t_i$. Das äußert sich bei statistisch schwankender Zählrate in einer größeren Streuung des digitalen Signals gegenüber dem analogen. Der Ausgang wirkt unruhiger, auch wenn man die Meßzeit gleich 5τ des analogen macht.

Weit größer ist der Unterschied bei modulierten Zählraten. Schwankt die Eingangszählrate periodisch, so zeigen die Bilder 3 bis 5 sehr anschaulich die Entwicklung der Fehlinformation beim Zähler. Die obere Spur bedeutet immer die Modulationsspannung der Zählrate, die mittlere Spur den Zählerausgang und die untere den Ausgang des analogen Ratemeters. Wie man sieht, kann es bei Unkenntnis der Eingangsgröße zu beachtlichen Fehlinformationen kommen. Da das Zählverfahren keine Bandbreitenbegrenzung der Zählrate enthält, treten Schwebungen mit allen höheren Harmonischen des Zeittaktes und der Zählrate auf, ähnlich dem aliasing Effekt beim Sampling eines analogen Signals ohne vorgeschaltetes Filter.

Ein weiterer Nachteil entsteht bei kleinen Zahlen im Zähler, wenn eine hohe Zeitauflösung und damit kurze Torzeiten gewünscht werden durch die Quantisierungssprünge. Es ist ein Unterschied, ob der Zähler das Ergebnis 10 ± 1 angezeigt oder wie in dem später beschriebenen Verfahren 99 ± 1 bei gleicher konstanter Eingangszählrate (siehe Bild 6).

Digitales Ratemeter

Die Nachteile des analogen und des Zählverfahrens umgeht das digitale Ratemeter, das hier beschrieben werden soll. Es hat genau wie das analoge Verfahren eine zeitliche Gewichtung, die Information liegt aber computergerecht als digitale Ziffer vor. Die funktionelle Wirkungsweise geht aus Bild 7 hervor. Die einkommende Zählrate geht in einen Zähler. Der Zählerstand steuert einen digital einstellbaren Referenzoszillator, dessen Zählrate von der einkommenden subtrahiert wird. Der Zählerstand $N(t)$ ergibt sich dann nach Gleichung 3.

$$N(t) = (2^n - 1) \frac{\dot{n}_1}{\dot{n}_R} \left(1 - e^{-\frac{\dot{n}_R}{2^n - 1} t}\right) \quad \begin{array}{l} \dot{n}_1 = \text{Eingangszählrate} \\ \dot{n}_R = \text{Referenzzählrate} \end{array} \quad (3)$$

für $t \rightarrow \infty$ ist

$$N(t) = (2^n - 1) \frac{\dot{n}_1}{\dot{n}_R} \quad \begin{array}{l} N(t) = \text{der Zählrate} \\ \text{äquivalente} \\ \text{Zahl} \end{array} \quad (4)$$

Für den eingeschwungenen Zustand ist die Zahl $N(t)$ proportional dem Produkt aus Skalierungsfaktor und der einkommenden Zählrate (genaue Herleitung der Formel im Anhang). Der Skalierungsfaktor wird bestimmt durch die für die Digitalisierung zur Verfügung stehenden Bits und die Referenzzählrate. Der Bereich läßt sich durch Ändern der zur Verfügung

stehenden Anzahl der Bits und durch die Höhe der Referenzzählrate verändern. Die Meßzeitkonstante ist ebenfalls mit beiden Termen gekoppelt. Legt man den 66 % Wert zugrunde, so ergibt sich für die Zeitkonstante der Wert aus Gleichung (5).

$$\tau = \frac{2^n - 1}{\dot{n}_R} \quad (5)$$

Für $n = 8$ Bits und \dot{n}_R von $1 \cdot 10^6$ ist die Zeitkonstante $\tau = 0,255$ ms.

Eine genauere Beschreibung der Arbeitsweise zeigt die Prinzipschaltung Bild 8. Die ankommende Zählrate veranlaßt über eine Entscheidungslogik (G 1) einen Vor-Rückwärts-Zähler (Z 1) zum Vorwärtzzählen. Der Zähler hat n - bits. In einem getakteten Addierer wird nun die sich ergebende Zahl $0 \leq N(t) \leq 2^n - 1$ vom Zeitpunkt t zu der Summe der Zahlen vom Zeitpunkt $t - 1$ dazuaddiert. Der Addierer hat $n + 1$ bits. Das höchstwertigste bit wird zur Erzeugung eines Pulses benutzt (M 1). Dieser Puls veranlaßt den Zähler (Z 1) über die Entscheidungslogik (G 1) zum Rückwärtzzählen. Im eingeschwungenen Zustand ist die ankommende Zählrate gleich der aus dem Addierer erzeugten. Damit ist die im Zähler stehende Zahl $N(t)$ äquivalent der einkommenden Zählrate. Ein analoger Ausgang zur Kontrolle an einem Oszillografen läßt sich leicht mit Hilfe des Digital-Analog-Konverters (D 1) schaffen.

Ein weiterer Vorteil dieser Anordnung ist, daß nur der Zähler die höchste vorkommende Zeitauflösung haben muß (Puls Paar), während der Addierer nur die mittlere Zählrate verarbeiten muß. Die Zeitauflösung ist nach oben also nur durch den Zähler begrenzt und der kann in Schottky TTL

$5 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$ und in ECL noch weit höhere Pulsraten bewältigen. Das Problem großer Zeitkonstanten entfällt ebenfalls, da man für extrem niedrige Zählraten nur durch Frequenzteiler die Referenzzählrate niedrig zu machen braucht.

Vergrößerung des Dynamik-Bereiches

Bei stark schwankenden Zählraten ist es oft erwünscht, einen Meßbereich über mehrere Zehnerpotenzen zu haben. Beim analogen Ratemeter behilft man sich mit einer quasi logarithmischen Anzeige, wobei aber abweichend vom Logarithmus der Zählrate Null ein endlicher Wert zugeordnet wird. Die Zeitkonstante ist dann allerdings eine Funktion der Zählrate, und zwar derselben umgekehrt proportional. Damit ist zwar die Erfassungswahrscheinlichkeit über den ganzen Meßbereich konstant, bedingt aber bei niedrigen Zählraten lange Erfassungszeiten, was nicht immer erwünscht ist, da man oft niedrige Zählraten nicht mit der gleichen Genauigkeit zu messen wünscht wie hohe.

Beim Zählsystem sind aufwendige numerische Logarithmierungsschaltungen bekannt. Mit dem hier beschriebenen digitalen Ratemeter ergibt sich auf einfache Weise eine Kompromierung, die einen guten Kompromiß zwischen Dynamik und Geschwindigkeit darstellt (das Wurzelratemeter siehe Bild 9). Hierbei ist abweichend vom digitalen Ratemeter die Referenzzählrate (\dot{n}_R) wiederum abhängig gemacht worden vom Zählerstand $N(t)$. Damit folgt der Zählerstand für konstante Eingangszählrate der Beziehung

$$N(t) = \sqrt{\frac{(2^n - 1)}{K} \frac{\dot{n}_1}{\dot{n}_0}} \tanh \left(\sqrt{\frac{K \cdot \dot{n}_0 \cdot \dot{n}_1}{2^{n-1}}} t \right) \quad (6)$$

und für $t \rightarrow \infty$

$$N(t) = \sqrt{\frac{(2^n - 1)}{K}} \sqrt{\frac{\dot{n}_1}{\dot{n}_0}}$$

im Bereich

$$0 \leq N(t) \leq 2^n - 1$$

wobei bedeuten

$$\begin{aligned} \dot{n}_1 &= \text{Eingangszählrate} \\ \dot{n}_0 &= \text{Referenzzählrate} \end{aligned} \quad (7)$$

n = Anzahl der bits

t = Zeit

$N(t)$ = Zählrate äquivalente Zahl

Im eingeschwungenen Zustand entspricht die Zahl im Zähler dem Produkt aus Skalierungsfaktor und der Wurzel des Verhältnisses von Eingangszählrate zu Referenzzählrate.

Der 63 % Wert der Zeitkonstante ergibt sich gemäß Gleichung

$$t_k = 0,745 \sqrt{\frac{2^n - 1}{k \cdot f_0 \cdot f_1}}$$

$$t_k = \text{Ersatzzeitkonstante} \quad (8)$$

$$t_k \sim k \cdot \frac{1}{\sqrt{\dot{n}_1}}$$

Die Zeitkonstante ist proportional dem Reziprokwert der Wurzel der Eingangszählrate.

Beschreibung

Nach Bild (9) ist die Schaltung des digitalen Ratemeters so verändert worden, daß die Referenzzählrate auch abhängig ist von der der Zählrate äquivalenten Zahl $N(t)$. Dies ist geschehen über den Digital-Analog-Wandler (D 1), dessen Spannung auf den Eingang eines (VCO) spannungsgesteuerten Oszillators (R 1) gegeben wird, der die Taktfrequenz des Addierers (A 1) erzeugt. Dann bekommt man die vorher gezeigte Abhängigkeit der Wurzelfunktion. Selbstverständlich ist es auch möglich, diese Abhängigkeit durch ein Funktionsmodul (F 1) zu beeinflussen und eine andere

Anhang

Herleitung der Formel für das lineare digitale Ratemeter.
Statt der Pulsraten sind für die Herleitung die Momentanfrequenzen genommen.

nach Bild 7 ist

$$N(t) = \int [f_1(t) - f_2(t)] dt \quad (9)$$

bei $f_1 = \text{const}$ ergibt sich

$$N(t) = f_1 \int dt - \int f_2(t) dt$$

mit $f_2(t) = \frac{f_R}{2^{n-1}} N(t)$ ist dann (10)

$$N(t) = f_1 \cdot t - \frac{f_R}{2^{n-1}} \int N(t) dt$$

oder

$$\frac{d}{dt} N(t) + \frac{f_R}{2^{n-1}} N(t) = f_1 \quad (11)$$

Der Zählerstand $N(t)$ wird beschrieben durch die inhomogene lineare Differentialgleichung erster Ordnung.

Die homogene Differentialgleichung lautet:

$$\frac{d}{dt} N(t) + \frac{f_R}{2^{n-1}} N(t) = 0$$

$$\frac{d}{dt} N(t) = - \frac{f_R}{2^{n-1}} N(t)$$

durch Trennung der Variablen

$$\frac{dN(t)}{N(t)} = - \int \frac{f_R}{2^{n-1}} dt$$

$$\ln N(t) = - \frac{f_R}{2^{n-1}} dt$$

$$\ln N(t) = - \frac{f_R}{2^{n-1}} t + C$$

$$N(t) = K e^{- \frac{f_R}{2^{n-1}} t}$$

durch Variation der Konstanten

$$N(t) = K(t) e^{- \frac{f_R}{2^{n-1}} t} \quad (12)$$

$$\frac{d}{dt} N(t) = \dot{K}(t) e^{- \frac{f_R}{2^{n-1}} t} - \frac{f_R}{2^{n-1}} K(t) e^{- \frac{f_R}{2^{n-1}} t}$$

durch Einsetzen in die inhomogene Dgl. 11

$$\dot{K}(t) e^{- \frac{f_R}{2^{n-1}} t} - \frac{f_R}{2^{n-1}} K(t) e^{- \frac{f_R}{2^{n-1}} t} + \frac{f_R}{2^{n-1}} K(t) e^{- \frac{f_R}{2^{n-1}} t} = f_1$$

$$\dot{K}(t) e^{- \frac{f_R}{2^{n-1}} t} = f_1$$

$$\dot{K}(t) = f_1 e^{\frac{f_R}{2^{n-1}} t}$$

$$K(t) = \frac{2^{n-1}}{f_R} \cdot f_1 e^{\frac{f_R}{2^{n-1}} t} + C \quad (13)$$

das eingesetzt in Gleichung 12

$$N(t) = (2^{n-1}) \frac{f_1}{f_R} + C e^{- \frac{f_R}{2^{n-1}} t}$$

mit der Bedingung $t = 0 \quad N(t) = 0$

$$(2^{n-1}) \frac{f_1}{f_R} = -C$$

ergibt sich

$$N(t) = (2^{n-1}) \frac{f_1}{f_R} \left(1 - e^{-\frac{f_R}{2^{n-1}} t}\right) \quad (14)$$

die Lösung der Gleichung

Die Zahl $N(t)$, die im Zähler enthalten ist, wächst bei konstanter Eingangsfrequenz f_1 nach einer Exponentialfunktion an, deren Zeitkonstante sich ergibt zu

$$\tau = \frac{2^{n-1}}{f_R} \quad (15)$$

Herleitung der Formel für das digitale Wurzelratemeter
nach Bild 9 ist

$$N(t) = \int [f_1(t) - f_2(t)] dt \quad (16)$$

bei $f_1 = \text{const}$ ergibt sich

$$N(t) = f_1 \int dt - \int f_2(t) dt$$

$$f_2(t) = \frac{f_R}{2^{n-1}} N(t) \quad (17)$$

die Referenzfrequenz ist wieder abhängig von $N(t)$

$$f_R = K \cdot f_0 N(t) \quad (18)$$

$$N(t) = f_1 \cdot t - \frac{K \cdot f_0}{2^{n-1}} \int N^2(t) dt$$

$$\frac{d}{dt} N(t) = -\frac{K \cdot f_0}{2^{n-1}} N^2(t) + f_1 \quad (19)$$

ergibt sich

$$y' = -ay^2 + b$$

$$\frac{dy}{-ay^2+b} = dx$$

mit folgenden Substitutionen

$$N(t) = y$$

$$\frac{K \cdot f_0}{2^{n-1}} = a$$

$$f_1 = b$$

$$-\frac{1}{a} \frac{dy}{y^2 - \frac{b}{a}} = dx$$

$$\frac{1}{a} \frac{1}{\sqrt{\frac{b}{a}}} \operatorname{Arth} \frac{y}{\sqrt{\frac{b}{a}}} = x$$

$$\frac{1}{\sqrt{a \cdot b}} \operatorname{Arth} \frac{y}{\sqrt{\frac{b}{a}}} = x$$

$$\operatorname{Arth} \sqrt{\frac{a}{b}} y = \sqrt{a \cdot b} x$$

$$\sqrt{\frac{a}{b}} y = \tanh \sqrt{a \cdot b} x$$

$$y = \sqrt{\frac{b}{a}} \tanh \sqrt{a \cdot b} x$$

bei rück- Substitution ergibt sich

$$\underline{\underline{N(t) = \sqrt{\frac{(2^n-1)}{K} \frac{f_1}{f_0}} \tanh\left(\sqrt{\frac{K \cdot f_0 \cdot f_1}{(2^n-1)}}\right) \cdot t}} \quad (20)$$

Berechnung der Ersatzzeitkonstanten

damit $N(t)$ 63 % des Endwertes erreicht, muß der \tanh
= 0,63 sein

$$\left(1 - \frac{1}{e}\right) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

$$e^x + e^{-x} - \frac{e^x}{e} - \frac{e^{-x}}{e} = e^x - e^{-x}$$

$$2e^{-x} = \frac{e^x}{e} + \frac{e^{-x}}{e}$$

$$2e = \frac{e^x}{e^{-x}} + 1$$

$$2e = e^{2x} + 1$$

$$e^{2x} = 2e - 1$$

$$2x = \ln(2e-1)$$

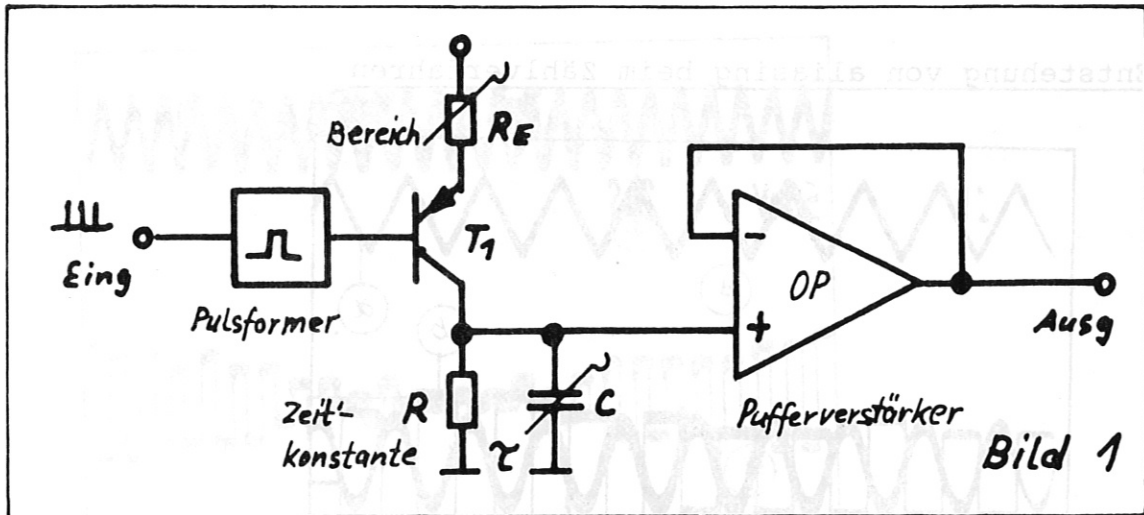
$$\underline{\underline{x = \frac{1}{2} \ln(2e-1)}} \quad (21)$$

$$x = 0,745$$

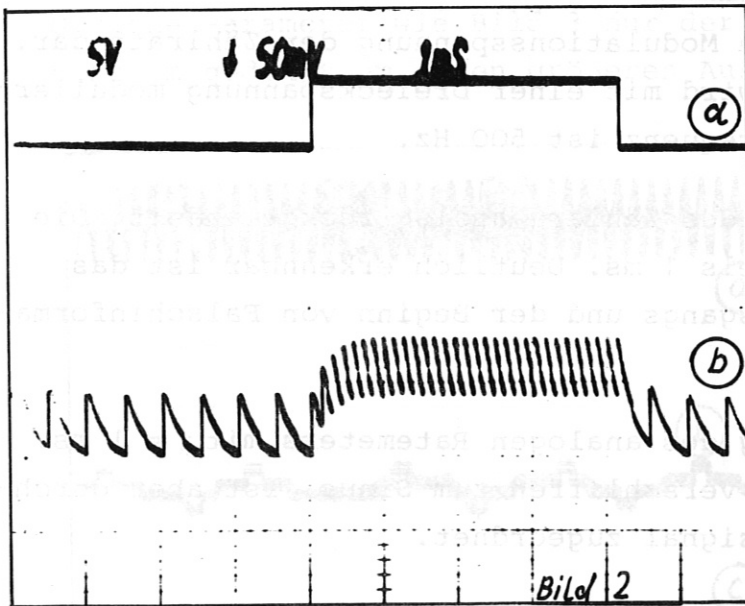
$t_k =$ Ersatzzeitkonstante

$$\sqrt{\frac{K \cdot f_0 \cdot f_1}{2^{n-1}}} \cdot t_k = 0,745$$

$$\underline{\underline{t_k = \sqrt{\frac{2^{n-1}}{k \cdot f_0 \cdot f_1}} \cdot 0,745}} \quad (22)$$



Blockschaltbild analoges Ratemeter



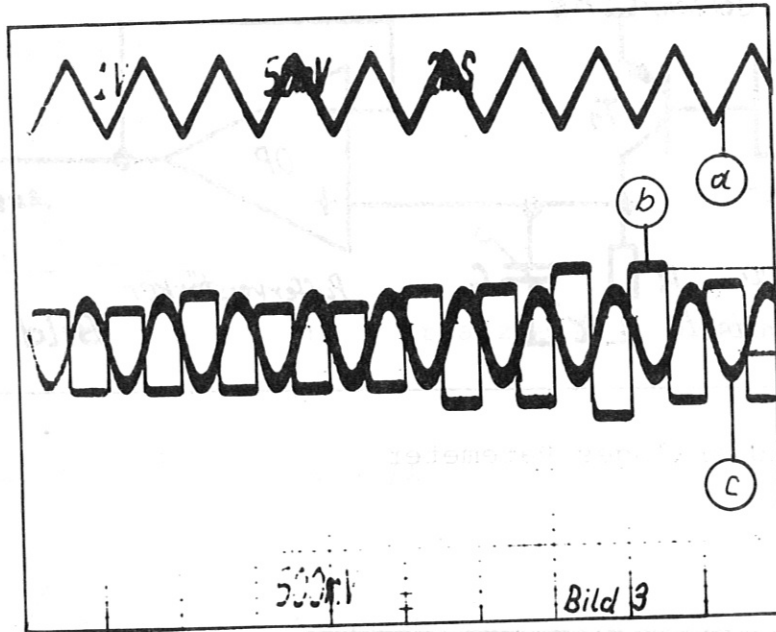
Ausgangssignal analoges Ratemeter

Signal (a) 5 V/cm stellt die Modulationsspannung für die Eingangspulsrate dar. Der niedere Spannungswert entspricht einer Rate von $2,3 \cdot 10^3$ pps und der höhere Wert $8 \cdot 10^3$ pps

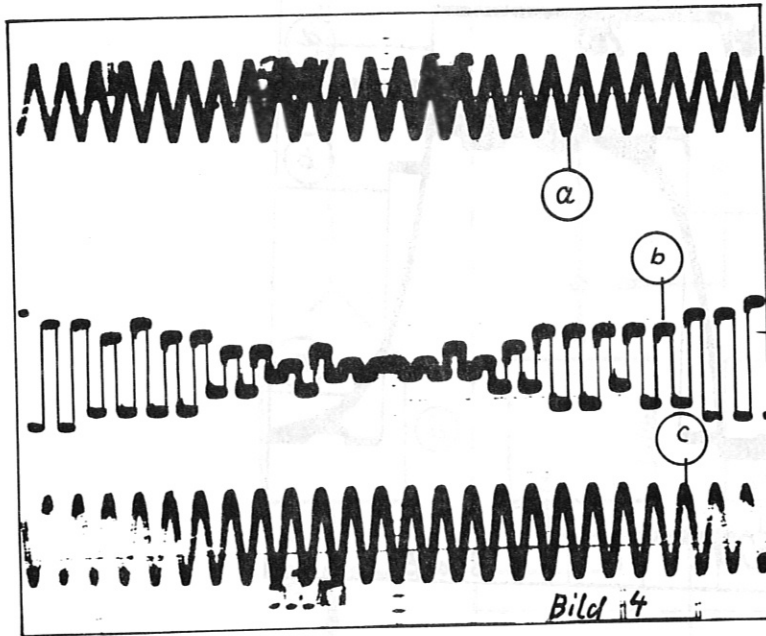
Signal (b) 50 mV/cm stellt das Ausgangssignal des Ratemeters dar bei $\tau = 1$ ms. Es fällt der hohe Oberwellengehalt des Signals auf.

Zeitmaßstab 1 ms/cm

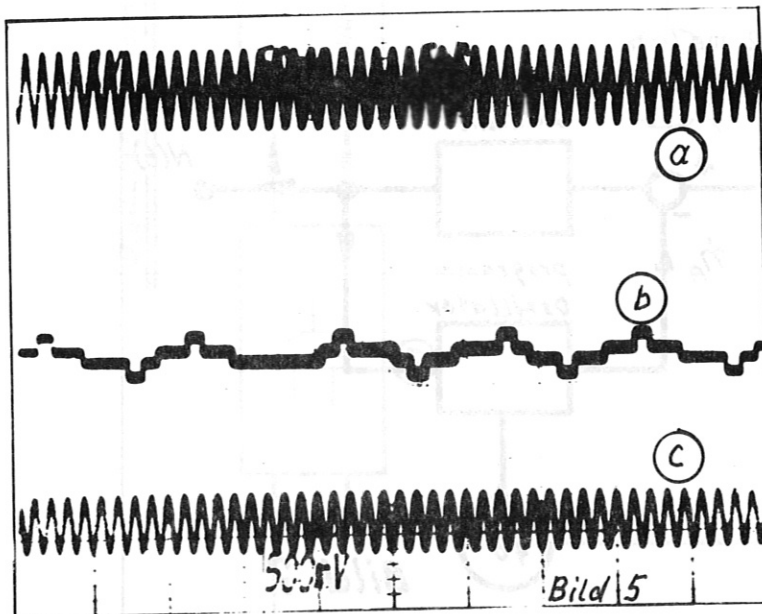
Entstehung von aliasing beim Zählverfahren



- Ⓐ 1 V/cm stellt die Modulationsspannung der Zählrate dar. In diesem Falle wird mit einer Dreiecksspannung moduliert. Die Modulationsfrequenz ist 500 Hz.
 - Ⓑ 50 mV/cm Ausgang des Zählers analog rückgewandelt. Die Torzeit ist jeweils 1 ms. Deutlich erkennbar ist das Anwachsen des Ausgangs und der Beginn von Falschinformation.
 - Ⓒ 500 mV/cm Ausgang des analogen Ratemeters mit $\tau = 1$ ms. Das Dreieck wird verschliffen zum Sinus, ist aber durchaus dem Eingangssignal zugeordnet.
- 2 ms/cm ist der Zeitmaßstab.

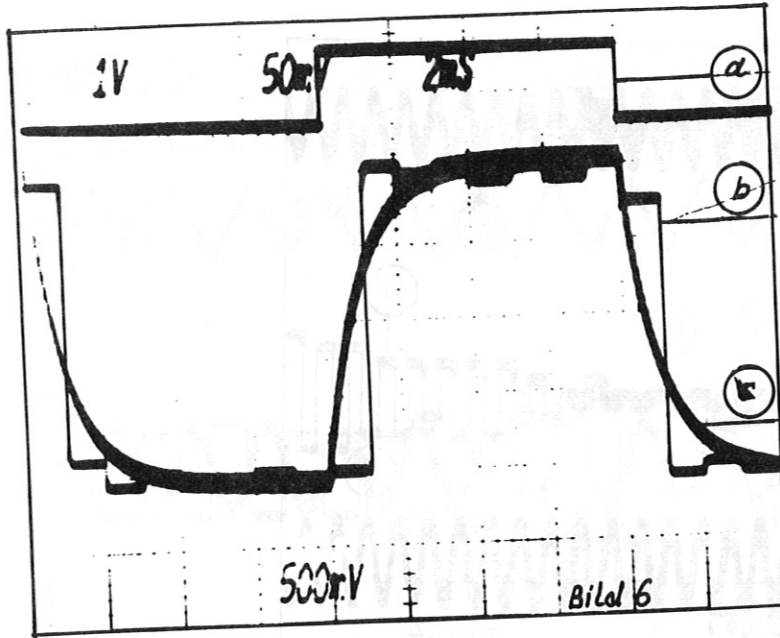


Gleiche Parameter wie Bild 3 nur der Zeitmaßstab ist auf 5 ms/cm gedehnt um einen größeren Ausschnitt zu zeigen.



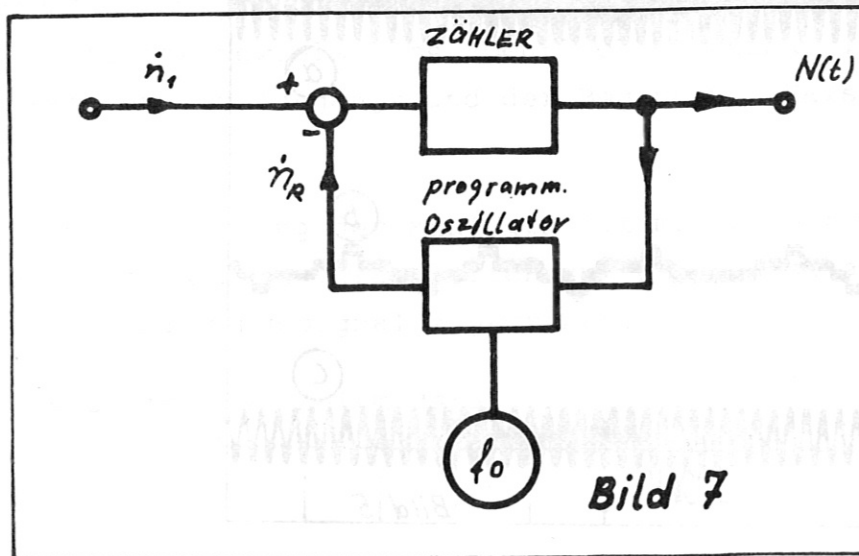
Gleiche Parameter wie Bild 4 nur ist die Modulationsfrequenz auf 900 Hz erhöht worden.

Der digitale Ausgang läßt keinen Zusammenhang mit dem Eingangssignal mehr erkennen. Dieser Effekt tritt bei allen höheren Harmonischen auf.



- (a) 1 V/cm 100 Hz Modulationssignal
- (b) Zählerausgang 50 mV/cm. Deutlich erkennbar die Sprünge ± 1 digit und der Zeitversatz bis zu 1ms.
- (c) analoger Ratemeter Ausgang 500 mV/cm

Zeitmaßstab 2 ms/cm



Vereinfachtes Blockschaltbild digitales Ratemeter

Digitales Rotemeter linear

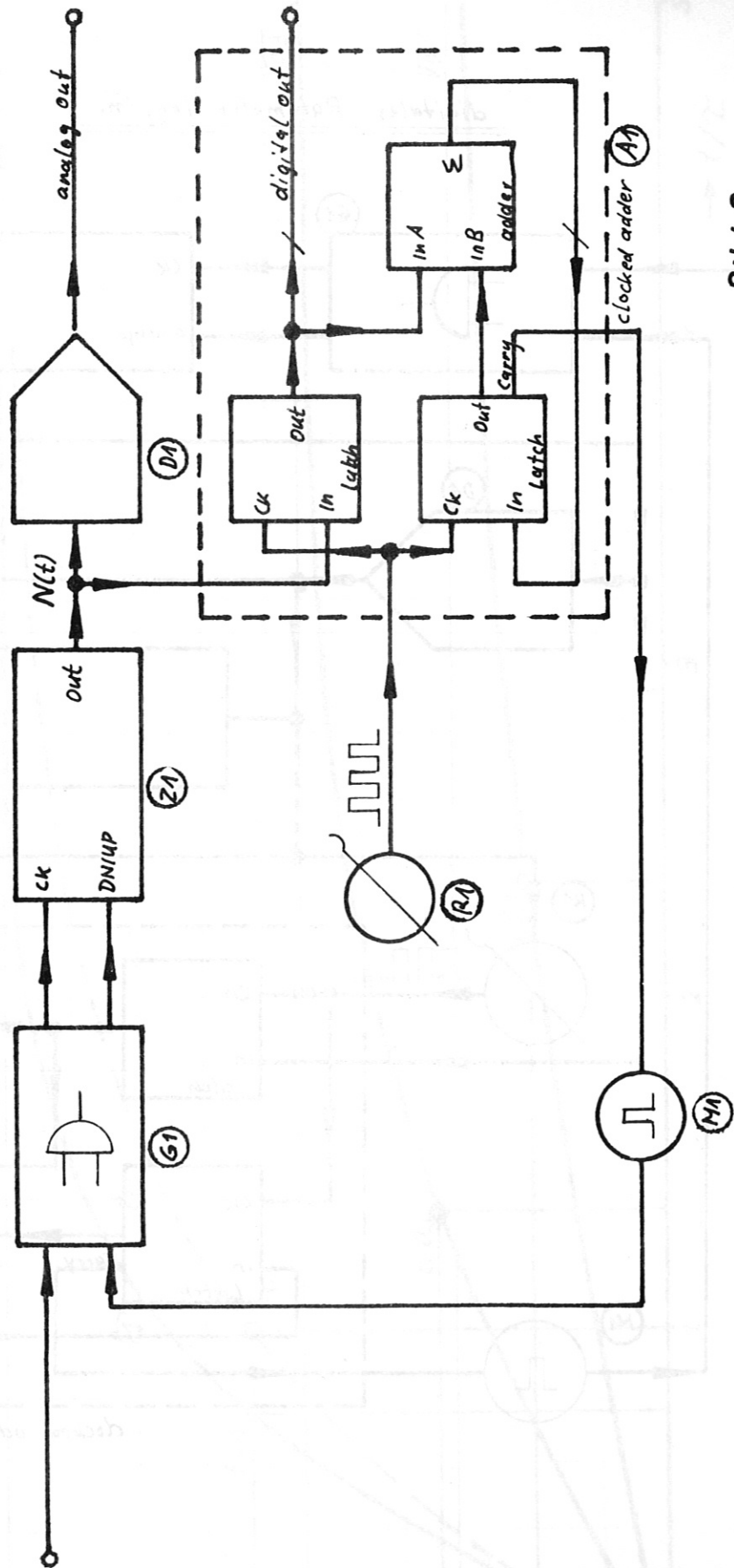


Bild 8

digitales Ratemeter log, $\sqrt{n_1}$

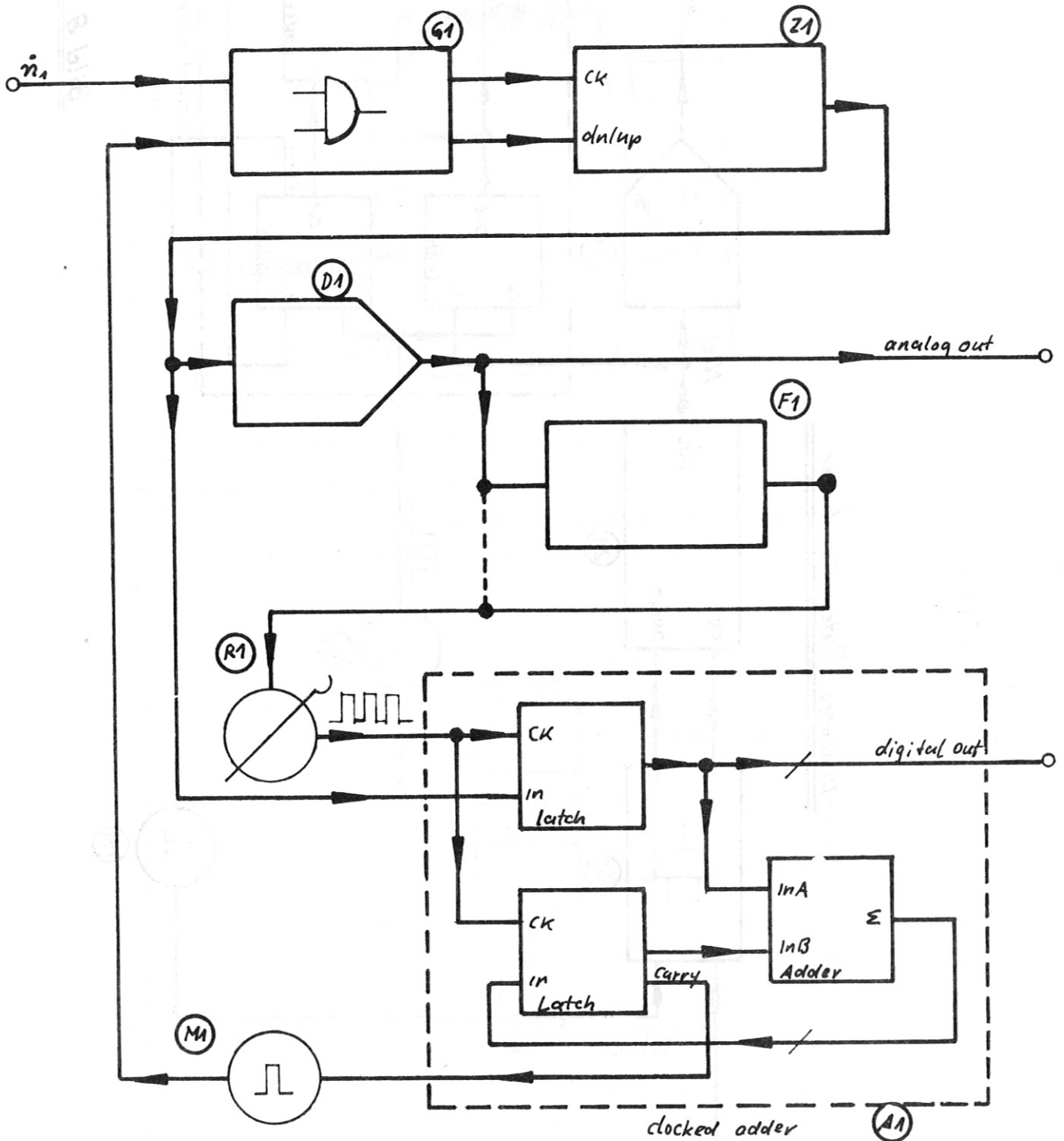


Bild 9

normierter Zeitverlauf bei Eingangssprung für lin und Wurzelratemeter

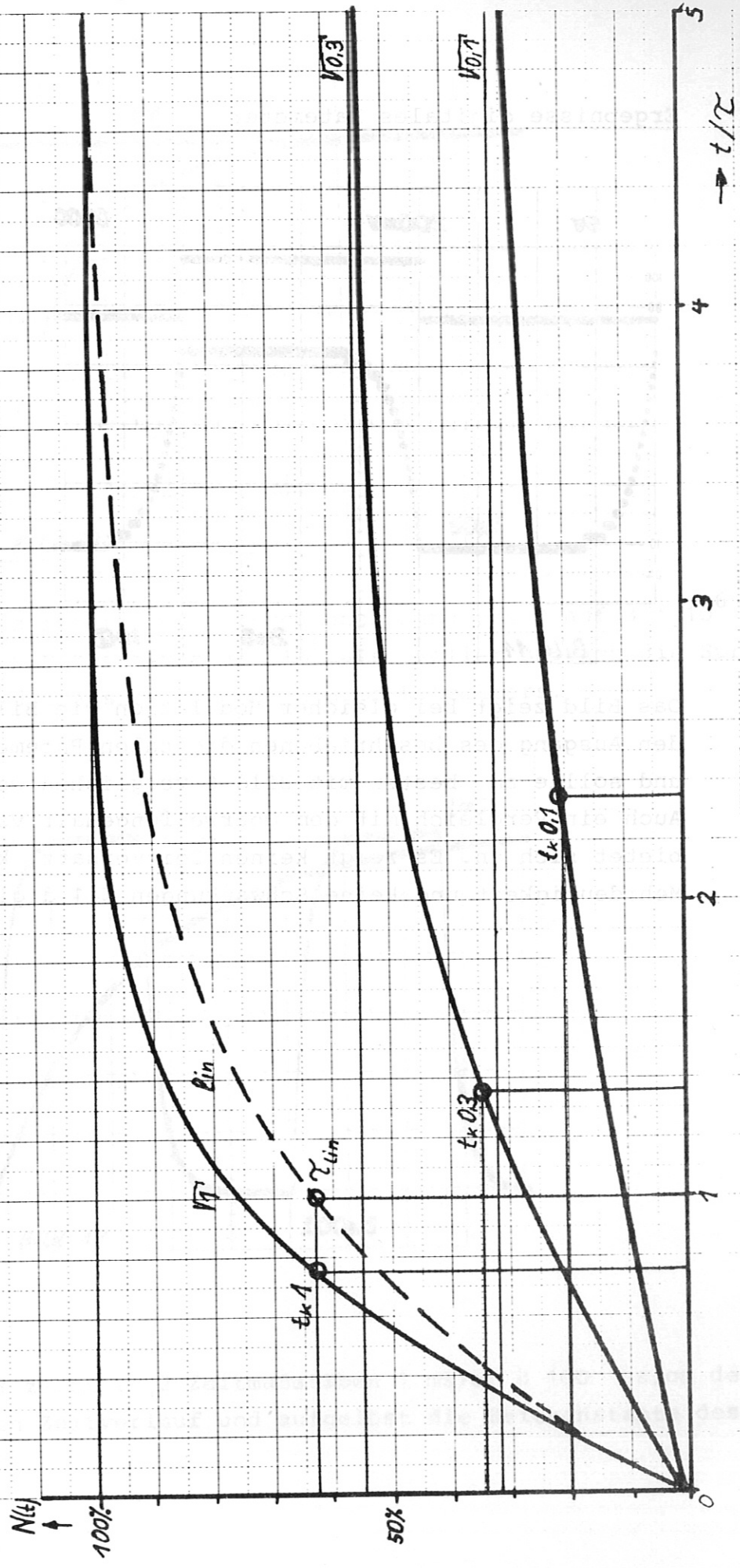
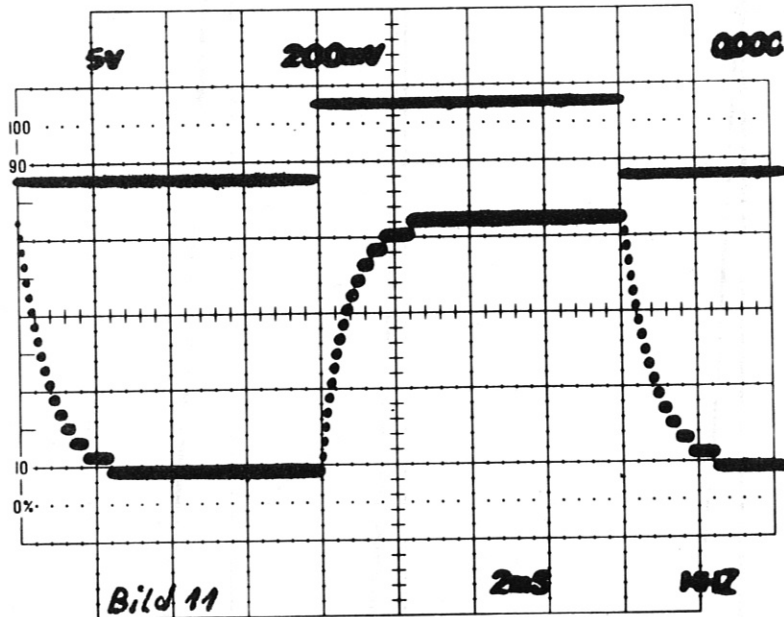


Bild 10

Ergebnisse digitales Ratemeter



Das Bild zeigt bei gleicher Modulation wie Bild 6 den Ausgang des beschriebenen digitalen Ratemeters und sollte am besten mit Bild 6 verglichen werden. Auch ein Vergleich mit dem Oberwellengehalt von Bild 3 bietet sich an. Es zeigt keinen Zeitversatz, keine Mehrdeutigkeit und keine Schwankungen ± 1 digit.

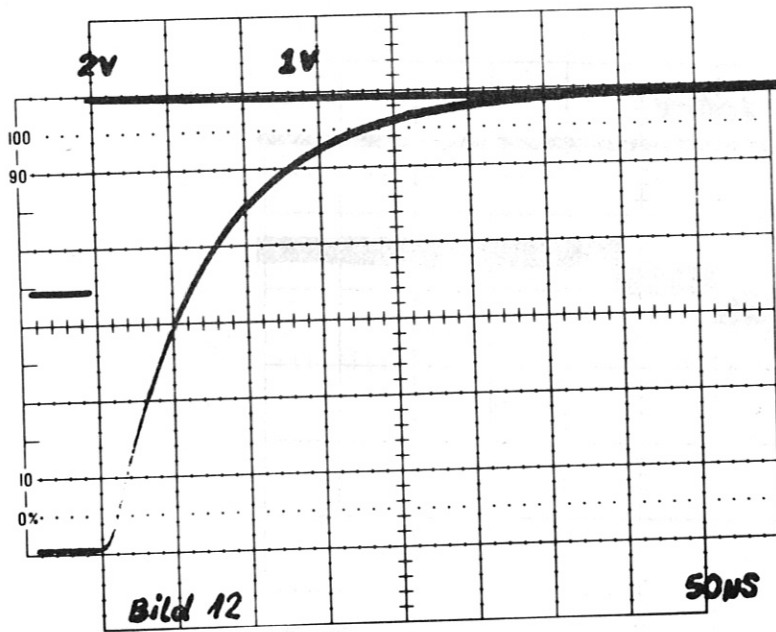


Bild 12 zeigt für einen Frequenzsprung von 0 auf $3 \cdot 10^6$ pps bei einem Bereich von $3 \cdot 10^6$ also voller Bereich die Sprungantwort des Ausgang des digitalen Ratemeters.

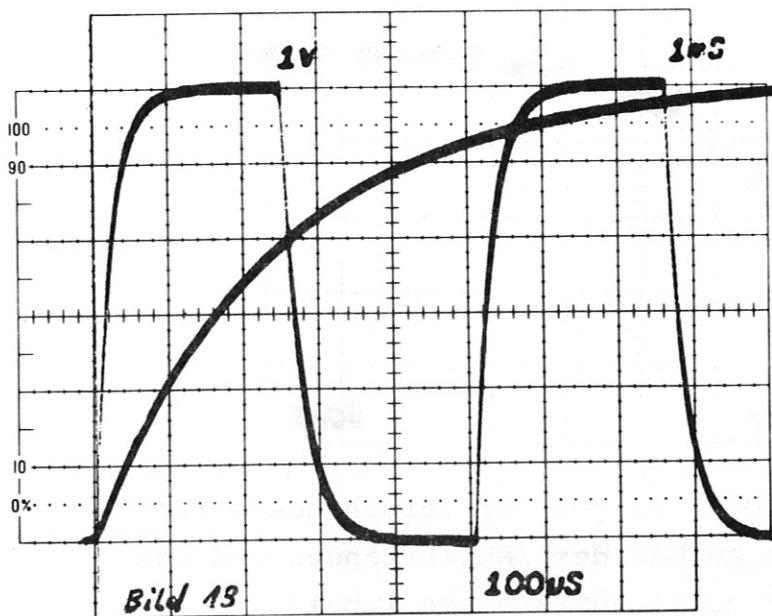


Bild 13 zeigt in 2 Zeitmaßstäben 1 ms/cm ü 100 μ s/cm den gleichen Zeitverlauf und aufgelöst die Zeitkonstante des Systems.

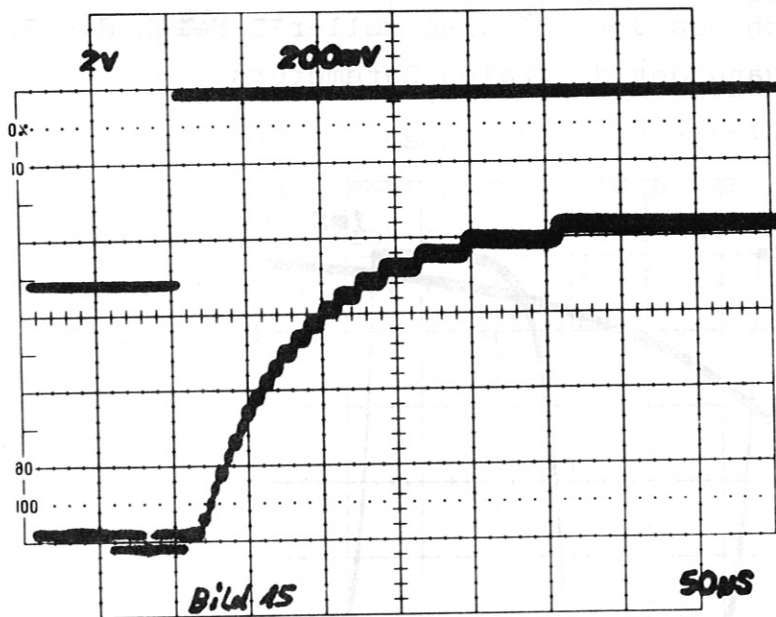
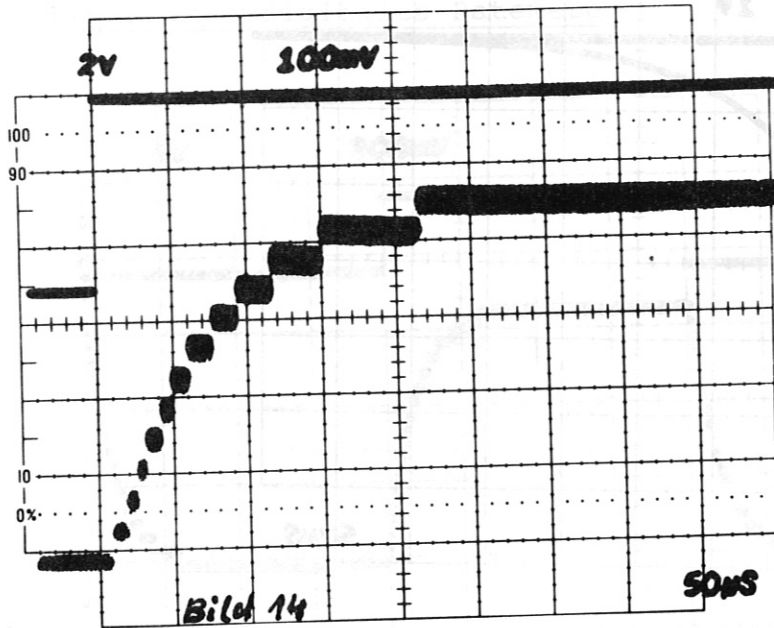


Bild 14 und Bild 15 zeigen für verschiedene Frequenzhöbe sehr anschaulich den Aufbau des Zählerstandes und das Anwachsen der Verweilzeit für jeweils einen Impuls.