

29.05.69

Interner Bericht  
DESY F54-69/1  
Mai 1969

Eine Auswahl elektronischer Meßgeräte,  
deren Arbeitsprinzipien und technische Daten

- Eine Vortragsniederschrift -

DESY-Bibliothek  
29. MAI 1969

von

H. G. Beplat



## Eine Auswahl elektronischer Meßgeräte, deren Arbeits- prinzipien und technische Daten

- Eine Vortragsniederschrift -

Einleitung:

Von den über 500 unterschiedlichen Meßgerätetypen bei DESY soll hier über vier Gerätegruppen berichtet werden :

1. Oszillografen
2. Pulsgeneratoren
3. Digitalvoltmeter
4. Stromversorgungsgeräte

Das Angebot an Meßgeräten der Spitzenklasse ist in den letzten Jahren derart angestiegen, daß eine Auswahl der geeigneten Typen manchmal schwer-fällt. Um die Beurteilung der Geräte zu erleichtern, sollen hier einige Erläuterungen zu den technischen Spezifikationen und Arbeitsweisen der Meßgeräte gegeben werden. Es folgt dann eine tabellarische Zusammenstellung vergleichbarer Geräte. Es sei noch erwähnt, daß die technischen Daten allein für eine umfassende Beurteilung der Meßgeräte nicht ausreichen. Es müssen darüber hinaus die Zuverlässigkeit über längere Zeit, die Brauchbarkeit im Experiment und der fertigungstechnische Aufbau der Geräte begutachtet werden.

### 1. Oszillografen

#### 1.1 Vertikalablenkung

##### 1.11 Bandbreite

Die Bandbreite ist definiert als Differenz der oberen und der unteren Grenzfrequenz

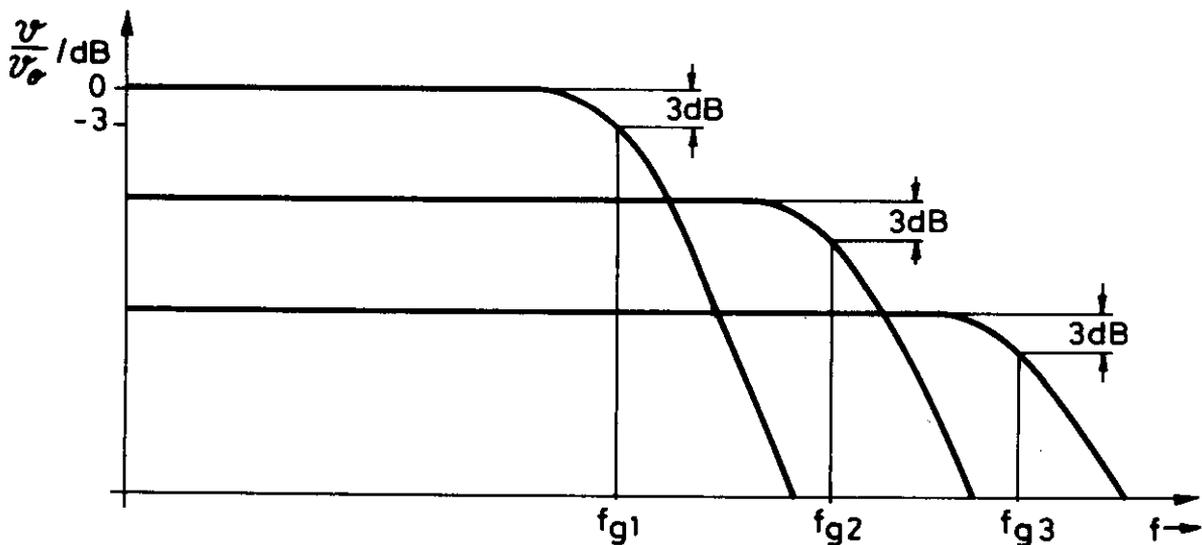
$$B = f_{go} - f_{gu}$$

Für Oszillografen, die auch Gleichspannungspegel messen, wird die untere Grenzfrequenz Null Hertz. Damit ist die Bandbreite gleich der oberen Grenzfrequenz. Die Grenzfrequenz ist diejenige Frequenz, bei der die Verstärkung des Systems (Eingangsspannungsteiler , Vertikalverstärker, Katodenstrahlröhre) um 3 dB abgefallen ist. Der

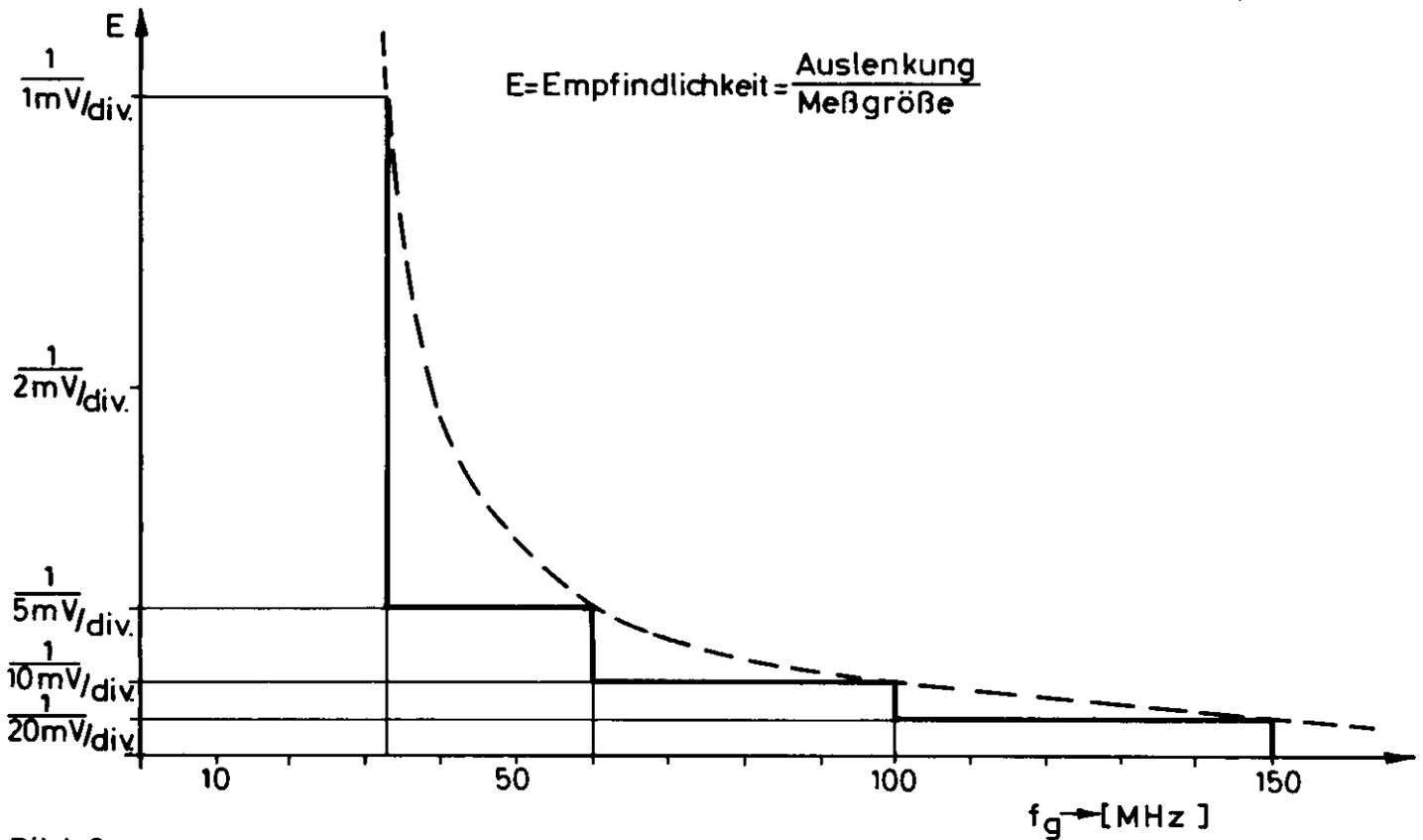
Wert der Grenzfrequenz ist stark abhängig von der Verstärkung bzw. von der Empfindlichkeitseinstellung des Oszillografen. Bei größerer Empfindlichkeit sinkt die Grenzfrequenz. Es läßt sich der Begriff des Bandbreitenproduktes einführen, der dann konstant ist, wenn die Verstärkungsregelung im aktiven Teil des Verstärkers vorgenommen wird (nicht im Abschwächer).

$$f_g \cdot v = \text{const.}$$

Bild 1 zeigt den Verlauf der Verstärkung in Abhängigkeit von der Frequenz. In Bild 2 ist die Verstärkung bzw. Empfindlichkeit in Abhängigkeit von der Grenzfrequenz aufgetragen mit typischen Werten für den Tektronix Oszillografen Type 454.



**Bild 1**  
Frequenzgang der Verstärkung



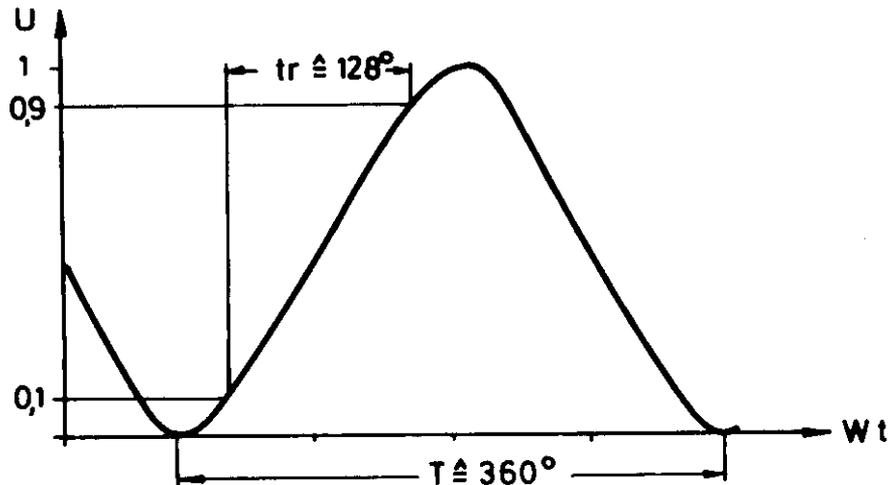
**Bild 2**  
Empfindlichkeit in Abhängigkeit von der Grenzfrequenz

Die Treppenkurve findet ihre Begründung in der stufenweisen Einstellung der Empfindlichkeit am Oszillografen. Im Bereich 10 V/div bis 20 mV/div ist keine Frequenzbeeinflussung vorhanden, da die Verstärkungseinstellung hier passiv über einen Spannungsteiler vorgenommen wird. In den empfindlicheren Bereichen jedoch wird auf Kosten der Grenzfrequenz die Verstärkung erhöht. Die gestrichelte Kurve wird angenähert, wenn die unkalibrierte Feineinstellung zur Empfindlichkeitswahl benutzt wird.

Von der Grenzfrequenz möchte man gern auf die Anstiegszeit schließen. Die Anstiegszeit ist bei Impulsen definiert als die Zeit, die der Impuls benötigt, um von 10 % seiner endgültigen Amplitude auf 90 % derselben anzusteigen. Mit dieser

Definition, auf einen sinusförmigen Spannungsverlauf angewandt, ergibt sich die Darstellung von Bild 3. Die Anstiegszeit errechnet sich daraus folgendermaßen:

$$\frac{T}{360} = \frac{tr}{128} \rightarrow tr = \frac{T}{2,8} = \frac{1}{2,8 \cdot fg}$$



**Bild 3**

**Beziehungen zwischen Anstiegszeit und Grenzfrequenz**

Die Schwierigkeit, die Bandbreite von direkt abbildenden Oszillografen noch zu erhöhen, liegt heutzutage nicht mehr im Verstärkerteil, sondern mehr in der Katodenstrahlröhre. Laufzeiteffekte machen sich störend bemerkbar. Mit einer hohen elektrischen Spannung für eine Nachbeschleunigung und durch konstruktive Maßnahmen an der Röhre, wie Anwendung des Prinzips der Wanderfeldröhren, werden heute noch Verbesserungen erreicht.

**1.12 Eingangsimpedanz**

Zur weiteren Kennzeichnung des Vertikalteiles des Oszillografen gehören Angaben über

- Eingangswiderstand,
- Eingangskapazität            und
- maximal zulässige Eingangsspannung

### 1.13 Betriebsarten

Der Vertikalverstärker kann entweder einen, zwei oder mehr Eingänge besitzen. Daraus ergeben sich die Möglichkeiten, beide Kanäle einzeln, alternierend, doppelt oder addiert zu betreiben. Meist hat auch der Horizontalverstärker einen eigenen Eingang, so daß x - y Darstellungen möglich sind. Es ist auf die oft unterschiedliche Empfindlichkeit und Bandbreite des Horizontalverstärkers zu achten.

## 1.2 Horizontalablenkung

### 1.21 Zeitablenkung

Von der Zeitbasis verlangen wir, daß sie schnell ist, und in einem vernünftigen Verhältnis zur Bandbreite des Oszillografen steht. Sie wird angegeben in sec/cm, msec/cm,  $\mu$ sec/cm oder nsec/cm. Eine Linearität der angegebenen Ablenkgeschwindigkeit über die volle Schreibbreite des Schirmes wird verlangt. Für manche Messungen sind zwei Zeitablenkstufen von Nutzen, wobei die zweite Zeitbasis sich gegenüber der ersten verzögern läßt. Durch eine Aufhellung des Strahles lassen sich so gewünschte Kurvenzüge vergrößern und aufblenden.

### 1.22 Triggerung

Heute werden fast ausschließlich triggerbare Oszillografen gebaut, im Gegensatz zur Synchronisation (freilaufend, gleichlaufend). Triggerung bedeutet, daß die Zeitablenkung immer nur dann ausgelöst wird, wenn auch ein Signal vorhanden ist. Auf diese Weise erhält man ein stehendes Bild auf dem Oszillografenschirm. Die Triggerung sollte natürlich über die volle Bandbreite des Oszillografen möglich sein. Mit einer stellbaren Triggerschwelle läßt sich auf das gewünschte Ereignis triggern. Oft ist zu wählen zwischen mehreren Triggerarten, wie: intern, extern, vom Netz, automatisch, manuell, AC- oder DC-gekoppelt.

### 1.3 Katodenstrahlröhre

Hier müssen beachtet werden, die Schirmbildgröße, die Strahlschärfe, die Helligkeit und unter Umständen Speichermöglichkeit.

### 1.4 Betriebsbedingungen

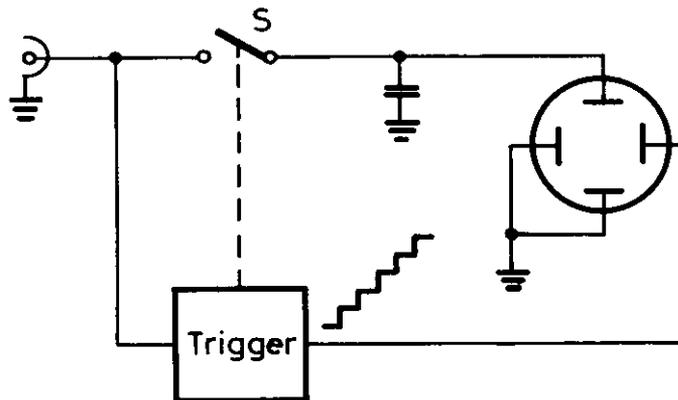
Die Betriebsbedingungen sollen angeben, unter welchen äußeren Einflüssen die angegebenen Daten noch gelten. Temperaturbereich, Vibrations- und Stoßempfindlichkeit, Einfluß von elektromagnetischen Störungen und Brummspannungen sind zu beachten.

### 1.5 Sampling Oszillografen

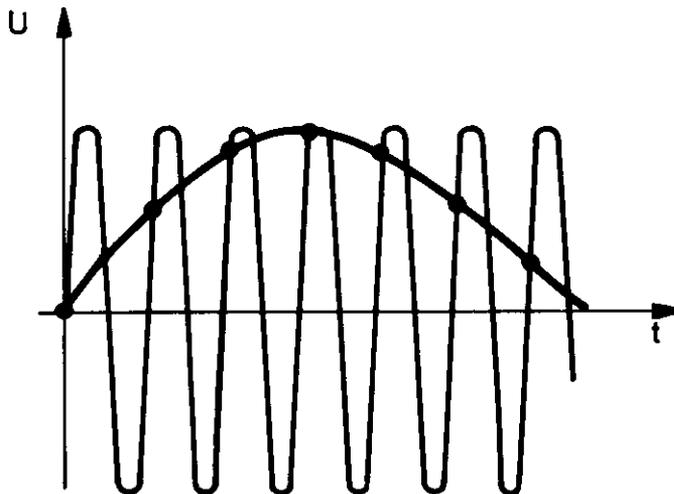
Beim Sampling Oszillografen wird die Abbildung einer schnellen Frequenz durch eine Art Abfragemethode auf eine langsame Darstellungstechnik zurückgeführt. Von jeder Periode der schnellen Schwingung wird jeweils nur ein Punkt (ein Zeitwert mit dem dazugehörigen Amplitudenwert) zur Abbildung benutzt. Von der darauffolgenden Periode wird dieser "Sample" Punkt zu einem späteren Zeitpunkt genommen und es ergibt sich entsprechend ein anderer Amplitudenwert. Je nach Einstellung des Sampling-Oszillografen (Samples/cm) wird die dargestellte Kurve aus Einzelwerten mehrerer Schwingungszüge zusammengesetzt. Man erreicht mit dieser Methode Zeitauflösungen im Pikosekundenbereich. Natürlich funktioniert dieses Prinzip nur bei periodischen Vorgängen.

Die Zeitablenkung ist nicht mehr abhängig von dem eingestellten Zeitmaßstab (nsec/cm), sondern errechnet sich zu

$$t/cm = \frac{\text{dots}}{cm} / \text{Eingangsfrequenz}$$



**Bild 4**  
Prinzipschaltbild eines Sampling-Oszilloskops



**Bild 5**  
Sampling Prinzip

Auf eines ist zu achten bei Sampling-Oszilloskops: Der Schalter "S" ist ein lineares Gate, das in der Praxis mit schnellen Dioden (GaAs) aufgebaut ist. Diese Dioden haben eine niedrige Durchbruchspannung (einige Volt). Um den Sampling-Oszilloskops nicht zu zerstören, sind für diesen Punkt die Herstellerangaben bezüglich maximaler Eingangsspannung besonders zu beachten.

## 1.6 Zusammenfassung der Oszillografendaten

Bandbreite

Empfindlichkeit

Eingangsimpedanz

Zeitbasis

Trigger

Schirmbildgröße

Betriebsarten

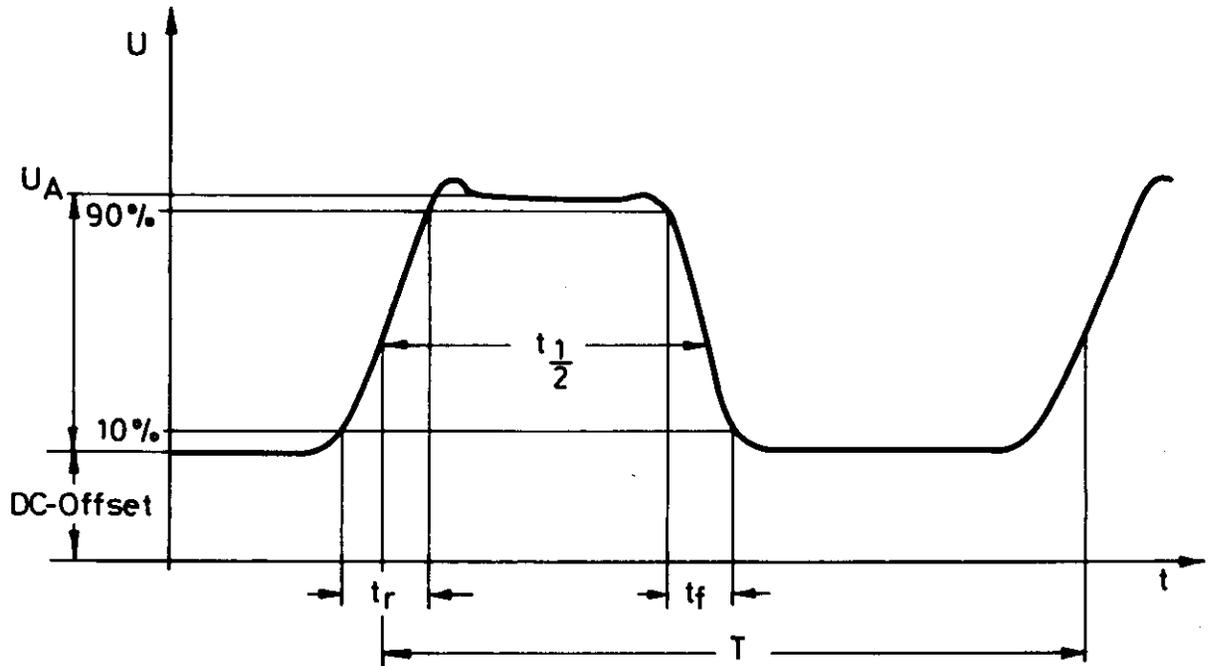
Betriebsbedingungen

### Oszillografen

Hersteller	Typ	Bandbreite	Risetime	max Empfindlichk.	Schirmbild 15kt = 0,8cm	Eingangsw.	Ausführungen	Preis	Bemerkungen
Tektronix	422	0 - 15 MHz	23 ns	10 mV/div	8 x 10 Skt	1 MΩ	Normal RM-Ausführung Batteriebetrieb	7.140,-	2 Kanäle
"	453	0 - 50 MHz	7 ns	5 mV/div	6 x 10 Skt	1 MΩ	Normal RM-Ausführung	9.773,-	2 Kanäle, Delay trigger
"	454	0 - 150 MHz	2,4 ns	5 mV/div	6 x 10 Skt	1 MΩ	Normal RM-Ausführung	12.385,-	2 Kanäle, Delay trigger
"	556	Mit entsprechendem Einschub 0 - 50 MHz			10 x 10 cm		Normal	15.047,-	2 Strahl
"	Einschub 454	0 - 1 GHz	350 ps	2 mV/cm		50 Ω	Möglicher Einschub zum 556	5.731,-	Sampling Einschub
"	561 A	Mit entsprechendem Einschub 0 - 15 MHz	Mit entsprechendem Einschub 23 ns		8 x 10 cm		Normal RM-Ausführung	2.559,-	
"	564	Mit entsprechendem Einschub 0 - 15 MHz	Mit entsprechendem Einschub 23 ns		8 x 10 cm		Normal RM-Ausführung	4.449,-	
"	Einschub 352	0 - 1 GHz od 0 - 7 GHz	350 ps od 50 ps	2 mV/div		50 Ω		3.805,-	Mit sampling Köpfen 5-1, 5-2
"	Samplingkopf 34	0 - 14 GHz	25 ps	2 mV/div		50 Ω		4.135,-	gehört zu 352
"	576								neu Curve-Tracer
Hewlett Packard	180 A	0 - 5 MHz	3 μs	0,1 V/cm	8 x 10 cm	1 MΩ	RM-Ausführung Normal	3.300,-	
"	181 A	0 - 5 MHz		0,1 V/cm	8 x 10 cm	1 MΩ	RM-Ausführung Normal	7.500,-	Storage
"	Einschub 1815 A	0 - 12,4 GHz	35 ps	5 mV/div		50 Ω	Möglicher Einschub zum 180 A 181 A	4.400,-	Samplingeinschub

## 2. Pulsgeneratoren

Die Qualität des Ausgangsimpulses und die Bedienmöglichkeiten sind entscheidend für einen Impulsgenerator. Die Ausgangsimpulsform soll möglichst der eines Rechtecks entsprechen, wobei Amplitude, Pulsbreite und Frequenz zu variieren sein sollen. Mit einigen technischen Angaben soll versucht werden, dieses Verhalten zu beschreiben.



**Bild 6**  
Beschreibung eines Impulses

$U_A$	= Amplitude (V)	Amplitude
	Gleichspannungsverschiebung (V)	DC offset
	Polarität (+ -)	Polarity
$Z$	= Impedanz ( $\Omega$ )	Impedance
$t_r$	= Anstiegszeit (sec, msec, $\mu$ sec, nsec)	Rise Time
$t_f$	= Abfallzeit (sec, msec, $\mu$ sec, nsec)	Fall Time
$t_{1/2}$	= Halbwertsbreite (sec, msec, $\mu$ sec, nsec)	Pulse width
$T$	= Periodendauer (sec, msec, $\mu$ sec, nsec)	Period
$f = \frac{1}{T}$	= Frequenz (Hz, kHz, MHz)	Repetition Rate
$\frac{t_{1/2}}{T}$	= Tastverhältnis (%)	Duty cycle
	zeitliche Schwankung (%)	Time Jitter
	Überschwingen (%)	Overshoot and ringing

Zu dieser Gegenüberstellung der technischen Daten gehört darüber hinaus eine Beschreibung der möglichen Betriebsarten, wie externe Triggerung, gatebar, voreilender Synchronisierimpuls, Doppelimpulsbetrieb.

Die Wahl des geeigneten Impulsgenerators richtet sich wesentlich nach der Anwendung.

Pulsgeneratoren

Hersteller	Type	Frequenzbereich	Pulsbreitenstellbereich	Anstiegszeit	Delay-Trig. Stellbereich	Ausgangsspannung	Kurvenform	Preis	Bemerkungen	Duty factor
E-H Research	120 D	100Hz-20MHz	10ns-100ns	1,2ns	fest 100ns	-7V (-15V)	neg. Impuls	6.268,-	2 Ausgänge	15%
"	122	1kHz-200MHz	2ns-100µs	<1ns	2ns-100µs	150mV-5V	pos. od. neg. Impuls	12.757,-	±100mV Offset	40%
"	137	10Hz-100MHz	5ns-1ms	2ns-0,2ms	5ns-1ms	150mV-5V	doppelt Impuls pos. od. neg. Impuls	8.746,-	Offset	100%
"	125 A	10Hz-1MHz	1ns-100µs	<300ps	30ns-100µs	10V	neg. Impulse	12.957,-		10%
Dala Pulse	110 A	4Hz-40MHz	10ns-5ms	5ns-0,5ms	10ns-5ms	5mV-10V	doppelt Impulse pos. + neg. Impuls	7.812,-	-2-+10V Offset ; +2V (-10V) Offset	40% - 85%
"	106 A	10Hz-12MHz	25ns-5ms	10ns-1ms	20ns-5ms	10mV-12V	pos. + neg. Impuls	5.733,-		50%
"	109	4Hz-40MHz	10ns-50ms	5ns	0-50ms	5mV-10V	pos. + neg. Impuls	5.031,-		40% - 85%
"	113	0,5Hz-250MHz	2,5ns-1ms	1,4ns	10ns-1ms	0,5V-5V	pos. + neg. Impuls	16.525,-	±2V Offset, Pulsgruppen	50% - 75%
Chronetics	PG-2	1Hz-16MHz	35ns-200ms	10ns-20ms	0-200ms	20mV-20V	pos. od. neg. Impuls	4.655,-	Offset stellbar ±5V	100%
"	PG-13	1Hz-25MHz	10ns-50ms	10ns-50ms	15ns-500ms	0,1V-100V	pos. od. neg. Impuls	9.050,-	±5V Offset	10% - 100%
"	PG-14	1Hz-50MHz	5ns-500ms	2ns-50ms	10ns-500ms	0,25V-20V	pos. od. neg. Impuls	6.465,-	±2V Offset	100%
"	PG-16	1Hz-100MHz	5ns-500ms	2ns-50ms	10ns-500ms	0,25V-20V	pos. od. neg. Impuls	9.305,-	±2V Offset	100%
"	PG-31	0,1Hz-10MHz	30ns-1s	10ns	50ns-1s	0,02V-20V	bipolare Impulse pos. + neg. Impuls	6.335,-	±10V	100%
"	PG-32	0,1Hz-10MHz	30ns-1s	10ns-1s	50ns-1s	0,02V-20V	bipolare Impulse pos. + neg. Impuls	7.160,-	±10V	100%
"	PG-33	0,1Hz-10MHz	30ns-1s	5ns-1s	50ns-1s	0,01V-10V	bipolare Impulse pos. + neg. Impuls	6.980,-	±10V	100%
Hewlett Packard	8002 A	0,3Hz-10MHz	30ns-3s	10ns-2s	fest 180ns	50mV-5V	pos. od. neg. Impuls	2.542,-		50% - 90%
"	8004 A	0,3Hz-10MHz	0-1ms	1,5ns	0-0,1ms	50mV-5V	doppelt Impulse pos. od. neg. Impuls	2.542,-		25% - 50%
"	214 A	10Hz-1MHz	50ns-10ms	10ns	fest 250ns	0,2V-100V	doppelt Impulse pos. od. neg. Impuls	3.590,-		10% - 50%
"	215 A	100Hz-1MHz	0-100ns	1ns	10ns-140ns	10V	pos. od. neg. Impuls	9.000,-	±5V Offset	
"	216 A	1Hz-100MHz	30ns-5ms	2,5ns	fest 140ns	0,4V-10V	pos. od. neg. Impuls	8.500,-		20% - 45%
"	222 A	10Hz-10MHz	30ns-5ms	4ns	100ns-5ms	0,1-10V	pos. od. neg. Imp.	2.830,-		50%
BNC	GL-3	statisch von 1Hz-1MHz	50ns-10ms	50ns-5µs	100ns-10ms	0-10V	pos. od. neg. Imp.	6.247,-	Sliding Pulsar	50%
Wave tek	112	1,5MHz-1MHz	fest	5ns	5µs	0-32,5V	MMN VV	3.265,-	Funktionsgenerator	

### 3. Digitalvoltmeter

Bei Digitalvoltmetern kommt es darauf an, einen analogen Spannungswert in einen Digitalwert umzuwandeln. Drei unterschiedliche Meßprinzipien der Analog-Digitalumsetzung kommen in Digitalvoltmetern zur Anwendung.

- 3.1 Komparatorverfahren
  - 3.11 Sägezahnkomparator
  - 3.12 Treppenspannungskomparator
- 3.2 Kompensationsverfahren
  - 3.21 Suggestive Annäherung
  - 3.22 Kontinuierliche Balance
- 3.3 Integrationsverfahren
  - 3.31 Spannungs-Frequenz-Wandler
  - 3.32 Doppelintegration (dual slope)
  - 3.33 Integration - Kompensation

#### 3.11 Sägezahnverfahren (Spannungs-Zeit-Konverter)

Bei diesem Verfahren wird die unbekannte Eingangsspannung mit einer intern im Gerät erzeugten sägezahnartig ansteigenden Spannung verglichen. Es wird die Zeit gemessen, die von Null Beginn des Sägezahns bis zum Erreichen von Spannungsgleichheit mit der zu messenden Spannung abläuft.

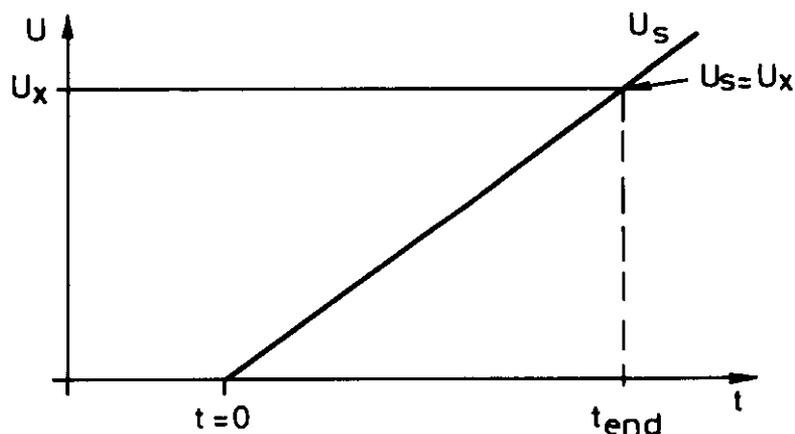
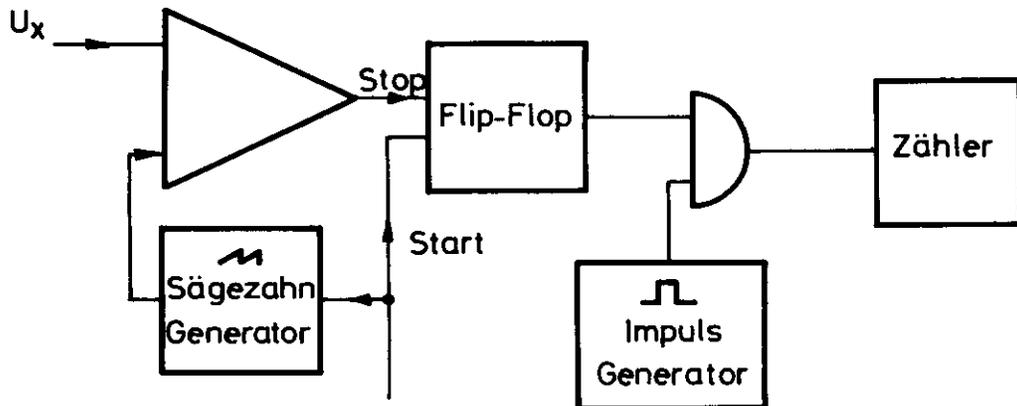


Bild 7  
Arbeitsprinzip des Sägezahnkomparators



**Bild 8**  
**Blockschaltbild: Sägezahnkomparator**

Die Zeitmessung erfolgt, indem Impulse einer konstanten Frequenz gezählt werden.

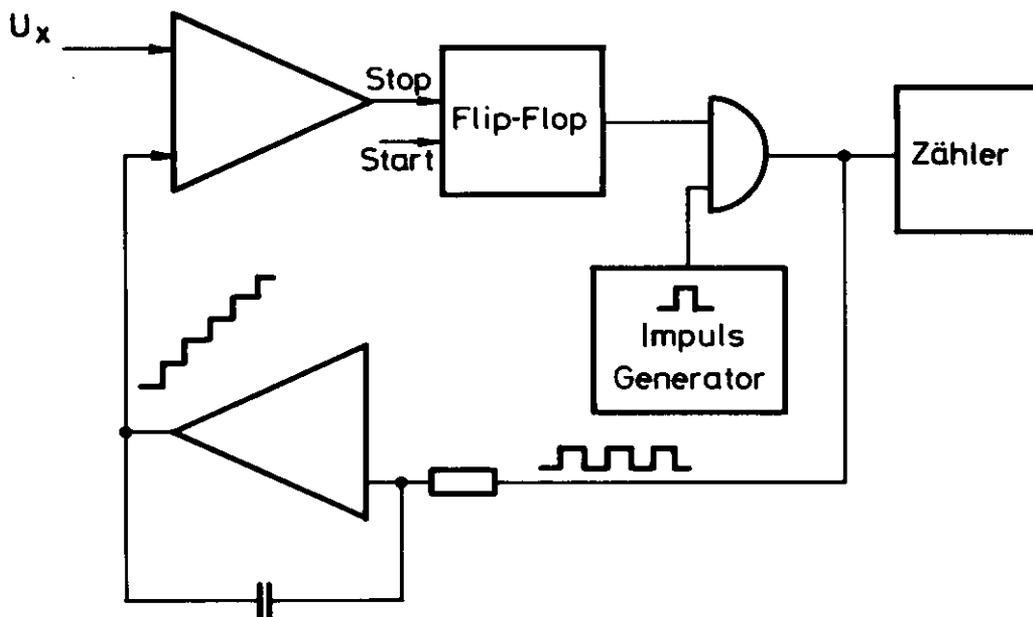
Die vom Oszillator abgegebenen Impulse sind ein Maß für die Zeit, die von Null-Beginn des Sägezahns bis zur Spannungsgleichheit mit der Meßspannung vergeht. Da die Steigung des Sägezahns konstant ist, besteht eine direkte Beziehung zwischen der unbekanntem Meßspannung und der Anzahl der gezählten Impulse.

Beispiel:  $U_s = 400 \text{ V/sec}$       $f = 400 \text{ kHz}$

$1 \text{ V} \equiv 1000 \text{ Impulse}$

### 3.12 Treppenspannungskomparator

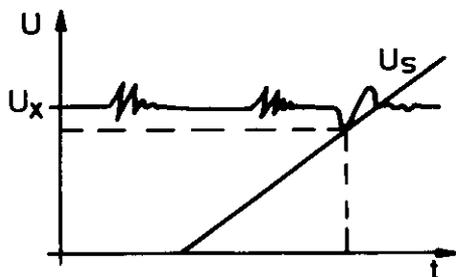
Die Probleme des Sägezahnverfahrens liegen darin, den Sägezahn genügend linear zu bekommen, den Beginn des Sägezahns und den Zeitpunkt der Spannungsgleichheit genau zu erfassen. Genauigkeiten von 0,1 % können so etwa erreicht werden. Eine geringe Verbesserung läßt sich erreichen, wenn anstatt des Sägezahns eine stufenförmig steigende Spannung genommen wird, wobei die Anzahl der Stufen gezählt wird.



**Bild 9**  
Blockschaltbild: Treppenspannungskomparator

### 3.13 Eigenschaften der Komparatormethode

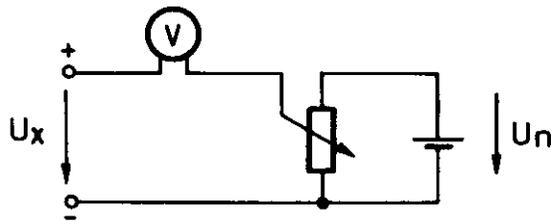
Ein Nachteil der nach diesem Prinzip arbeitenden Digitalvoltmeter ist der, daß nur Momentanwerte der Spannung gemessen werden, und zwar der Wert zum Zeitpunkt der Spannungsgleichheit. Sind der zu messenden Gleichspannung Störungen überlagert, so können diese das Meßergebnis erheblich verfälschen. Um solche Effekte zu vermeiden, empfiehlt es sich, dem Meßeingang einen Filter vorzuschalten, allerdings wird die Apparatur dadurch wieder langsamer.



**Bild 10**  
Einfluß von Störspannungen  
auf das Meßergebnis

### 3.2 Kompensationsverfahren

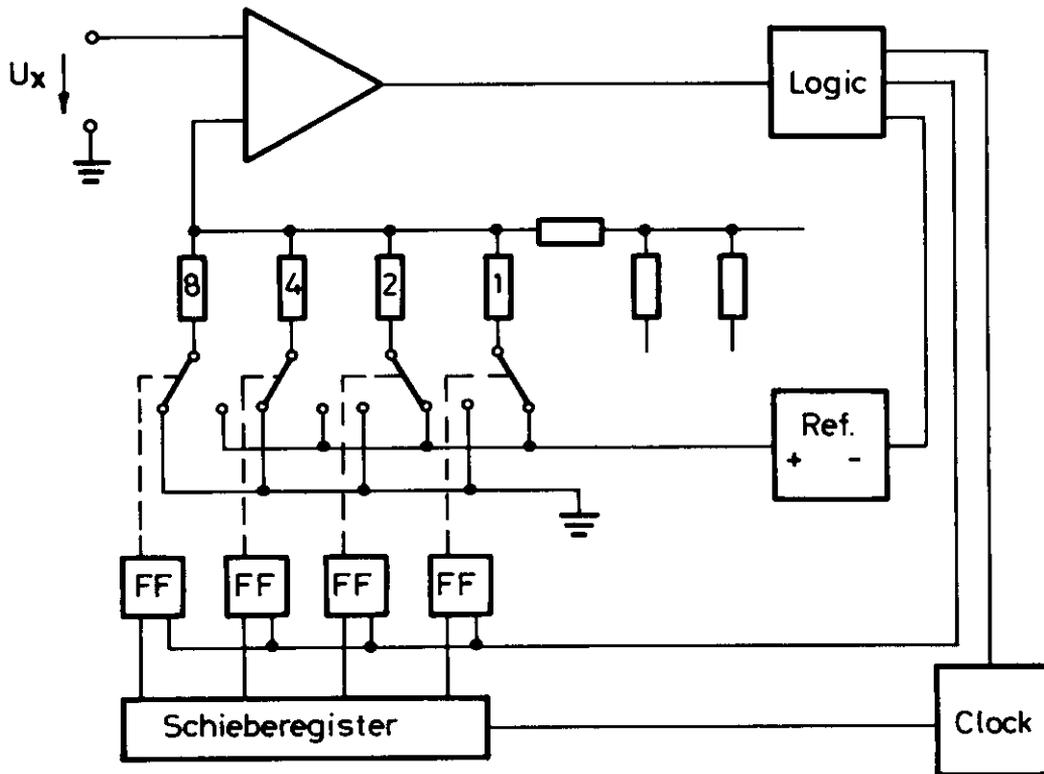
Das Kompensationsverfahren ist abgeleitet vom klassischen Meßverfahren, eine unbekannte Spannung dadurch zu bestimmen, daß eine bekannte Spannung entgegengeschaltet und solange über ein Potentiometer abgeglichen wird, bis Spannungsgleichheit besteht. Zum Kontrollieren dient ein empfindliches Galvanometer, das nicht geeicht zu sein braucht. Die Potentiometerstellung, bezogen auf die Vergleichsspannung, gibt die zu messende Spannung an.



**Bild 11**  
Schaltung zur Spannungskompensation

#### 3.21 Kompensation mit sukzessiver Annäherung

In der elektronischen Meßtechnik ist dieses Verfahren verfeinert und automatisiert worden. Als Galvanometer dient ein empfindlicher Gleichspannungsverstärker, das Potentiometer ist als digitales Potentiometer ausgebildet, das feste Spannungsschritte schaltet, und die Normalspannung ist eine mit einer Weston Zelle verglichene Referenzspannung einer strom- und temperaturstabilisierten Zenerdiode.



**Bild 12**  
**Blockschaltbild: Kompensierendes Digitalvoltmeter**

Beim automatischen Abgleich werden in schneller Folge alle Potentiometerstellungen durchprobiert. Die Logik entscheidet für jede Stellung, ob die unbekannte Spannung angenähert oder überschritten wird. Beim Überschreiten wird die entsprechende Stellung rückgängig gemacht. Beim Annähern wird die Stellung fixiert. Dann werden fortlaufend die nächsten Schritte probiert. Innerhalb der Dekaden werden die Spannungsschritte kodiert. Durch Kombination ist jeder Wert zwischen 0 und 9 erreichbar. Da jeder Schalterstellung ein Spannungswert entspricht, braucht lediglich die Stellung dieser Schalter für die Auslese zur Anzeige gebracht zu werden. Der Abgleichvorgang wird für jede neue Messung wiederholt. Der Abgleich beginnt stets bei den signifikanten Spannungsschritten (linkes Fenster des Digitalvoltmeters) und endet bei den weniger signifikanten Schritten (rechtes Fenster des Digitalvoltmeters). Daher wird das Verfahren auch als sukzessive Annäherung bezeichnet.

### 3.22 Kompensation mit kontinuierlicher Balance

Eine geringe Abweichung von diesem Prinzip liegt in dem Kompensationsverfahren, bei dem für eine kontinuierliche Balance gesorgt wird. Digitalvoltmeter dieser Art arbeiten mit einem Vorwärts-Rückwärts-Zähler anstelle des Schieberegisters. Der Eingangsbalanceverstärker im Zusammenwirken mit der Logik gibt dann Befehle zu "Mehr Kompensationsspannung" entsprechend aufwärts zählen oder "Weniger Kompensationsspannung" entsprechend abwärts zählen. Dieser Abgleichvorgang wird jedoch nur ausgelöst, wenn eine Spannungsänderung erfolgt ist, und dann wird auch nur diese Änderung erneut kompensiert.

### 3.23 Eigenschaften der Kompensationsmethode

Der Vorteil dieser Methode liegt in der hohen Meßgenauigkeit, die erreicht werden kann. Der Verstärker läßt sich als chopperstabilisierter Verstärker driftarm bauen, die Referenzspannung kann sehr konstant gehalten werden. Schwierig wird es bei den Widerständen, man verwendet gealterte, temperaturkompensierte Manganinwiderstände. Eine andere Schwierigkeit stellen die Schalter dar, durch ausgesuchte Komplementär-Transistoren lassen sich recht gute Werte erreichen. Für höhere Ansprüche werden spezielle Reedrelais verwendet. Hohe Eingangsimpedanzen werden durch Röhren ( $10\text{ G}\Omega$ ) in der Eingangsstufe erreicht.

Der Nachteil bei diesem Instrument liegt wieder darin, daß nur ein Momentanwert gemessen wird. Um Störungen und Brumm zu eliminieren muß ein Filter vorgeschaltet werden, das verlangsamt jedoch den Meßvorgang.

Besondere Beachtung gilt noch der digitalen Datenausgabe dieser Gerätetypen. Die Stellung des digitalen Potentiometers wird direkt für die Anzeige und für die Datenausgabe benutzt. Die Ausleseleitungen sind also galvanisch mit dem Bezugspunkt der Meßspannung verbunden. Ohne Zusatzgerät ist im allgemeinen keine erdfreie Messung und digitale Datenausgabe, die zwangsläufig ein anderes Bezugspotential benötigt, gleichzeitig möglich.

### 3.3 Integrationsverfahren

Integrierende Digitalvoltmeter messen den echten Durchschnittswert der Spannung über eine vorgegebene Zeit.

#### 3.31 Spannungs-Frequenzwandler (Miller Integrator)

Die zu messende Spannung wird als Spannungssprung auf einen Integrator gegeben (c gegengekoppelte Verstärker). Je größer die Eingangsspannung bzw. der Spannungssprung ist, desto steiler verläuft die Ausgangsspannung vom Integrator. Dem Integrator ist ein Diskriminator nachgeschaltet, der beim Erreichen einer Schwelle anspricht und 1. die Eingangsspannung kurzschließt und 2. einen Zählimpuls an den Zähler gibt. Danach beginnt der Ablauf erneut. Die Anzahl der vom Diskriminator abgegebenen Impulse innerhalb einer festen Meßzeit ist direkt proportional der angelegten Spannung.

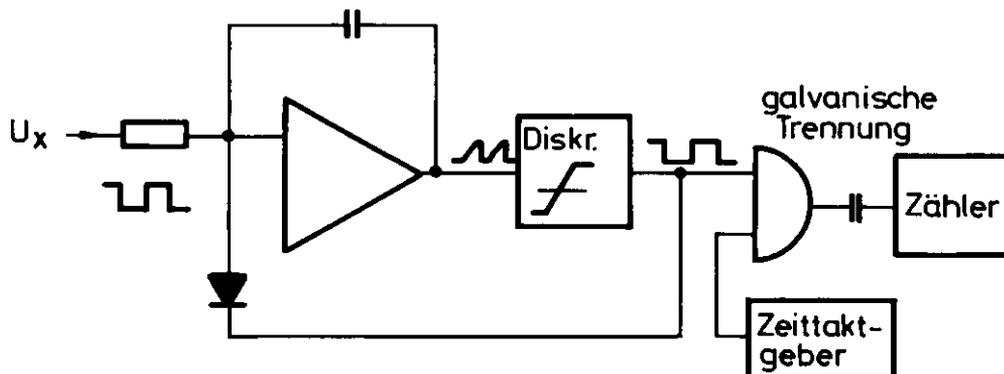


Bild 13

Blockschaltbild: Digitalvoltmeter mit Spannungs-Frequenzwandler

Bei Erweiterung des Zählers zum Vorwärts-Rückwärts-Zähler und einem Integrator für positive und einen für negative Spannung läßt sich mit diesem Meßprinzip auch eine Spannung noch messen bzw. integrieren, die sich sowohl im negativen wie im positiven Bereich ändert.

Sehr beliebt ist dieses Prinzip bei digitalen Universal-Meßinstrumenten. Der Miller-Integrator wird einem normalen Frequenzzähler vorgeschaltet und schon entsteht ein Digitalvoltmeter. Nachteil: Die Genauigkeit hängt von der Meßzeit ab (lange Meßzeit für hohe Auflösungen). Die Linearität ist von der Linearität des Integrators abhängig.

### 3.32 Zweifach-Integration

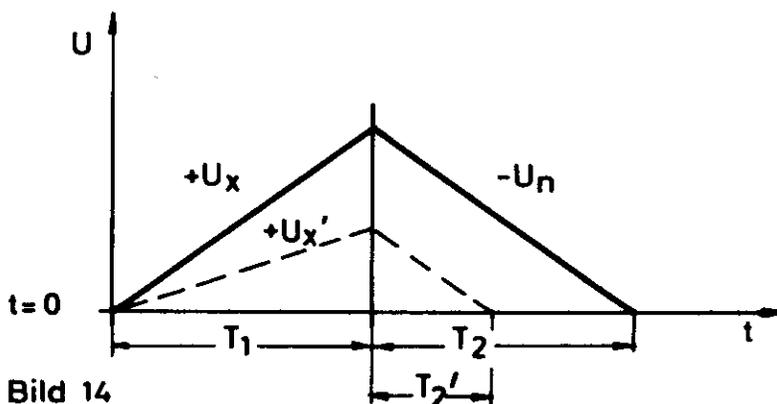
In der ersten Meßphase (20 ms) wird die unbekannte Meßspannung integriert. Es steht dann die Spannung  $U_{(+1)} = U_x \frac{T_1}{RC}$  zur Weiterverarbeitung bereit.

Im zweiten Zeitabschnitt wird an den Eingang eine Normalspannung mit zu  $U_x$  entgegengesetzter Polarität gelegt, und zwar solange, bis die Ausgangsspannung des Integrators wieder zu Null geworden ist. Es gilt:

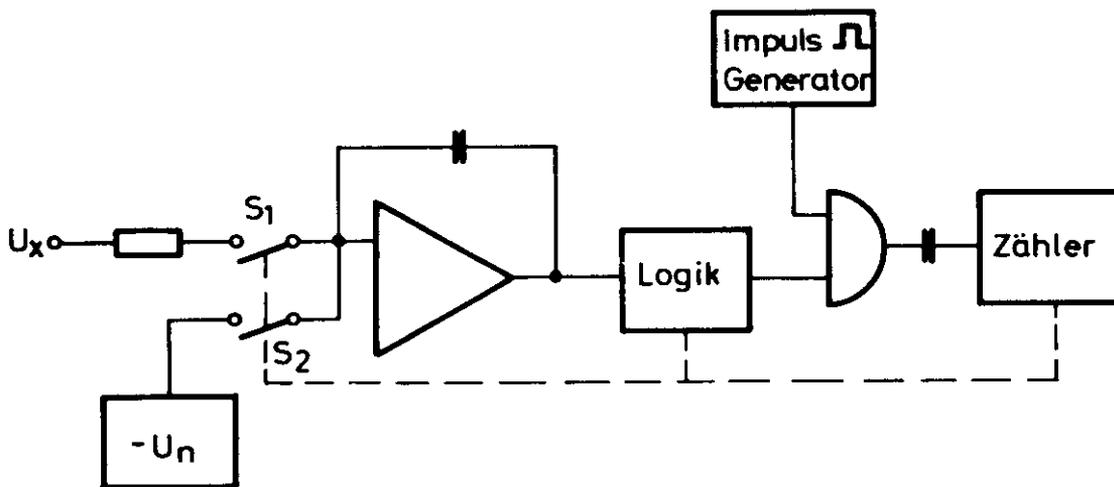
$$U_{(+2)} = U_{(+1)} - U_N \frac{T_2}{RC}$$

mit 
$$U_{(+2)} = 0 \rightarrow U_x = U_N \frac{T_2}{T_1}$$

Aus der Gleichung ist ersichtlich, daß die unbekannte Meßspannung direkt proportional  $\frac{T_2}{T_1}$  ist und unabhängig von der Integrationszeitkonstante.



**Bild 14**  
Prinzip der Doppelintegration



**Bild 15**

**Blockschaltbild: Digitalvoltmeter nach dem Prinzip der Doppelintegration**

Während der Integrationszeit  $T_1$  dient der Zähler als Zeitbasis, d.h. die Frequenz des Quarzoszillators wird untersetzt auf die Integrationszeit von 20 ms. Der Zähler wird so betrieben, daß er am Ende von  $T_1$  auf Null steht. Während der Zeit  $T_2$  dient er als Ergebniszähler. Auf diese Weise werden Fehler durch Drift des Oszillators weitgehend eliminiert. Verbesserungen ergeben sich, wenn der Oszillator mit 50 Hz Netz synchronisiert wird.

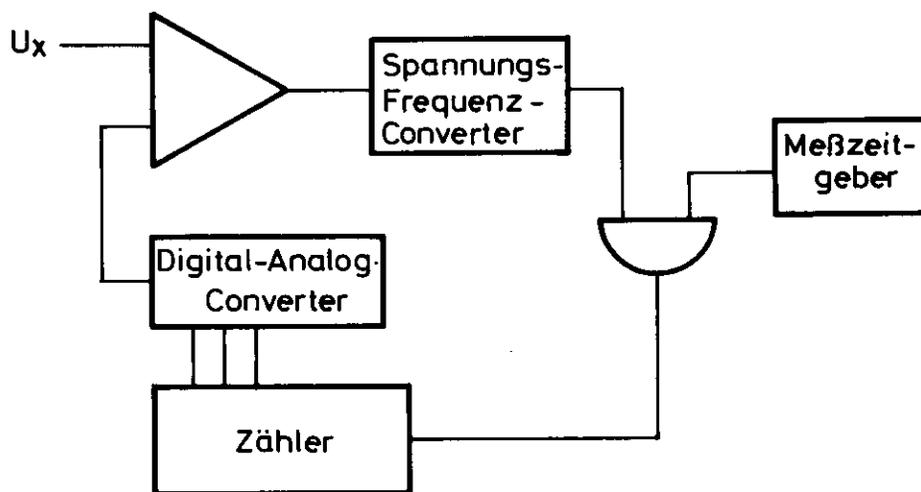
### 3.33 Integration-Kompensation

Digitalvoltmeter, die nach dem Integrations-Kompensations-Prinzip arbeiten, bestehen im wesentlichen aus drei Baugruppen.

1. Spannungs-Frequenzwandler
2. Zähler
3. Digital-Analog-Wandler

Der Spannungs-Frequenzwandler wird für eine vorgegebene Zeit betrieben (ca. 75 % der Meßzeit). Seine Ausgangsimpulse werden gezählt (noch nicht angezeigt). Der resultierende Zählerstand schaltet über den Digital-Analog-Konverter der unbekanntes Eingangsspannung eine sehr genaue, dem digitalen Zählerstand

entsprechende Analogspannung entgegen. Die unbekannte Spannung wird damit auf etwa 1 Prozent angenähert. Der Meßvorgang ist damit noch nicht abgeschlossen. In der zweiten Phase digitalisiert der Analog-Frequenzwandler die jetzt anstehende Differenzspannung, bis die vorgegebene Meßzeit abgeschlossen ist. Es können so mehrere Vorzüge ausgenutzt werden. Die Störspannungsunterdrückung der Integration, die hohe Genauigkeit des Potentiometerabgleichs und hohe Geschwindigkeit und Auflösung.

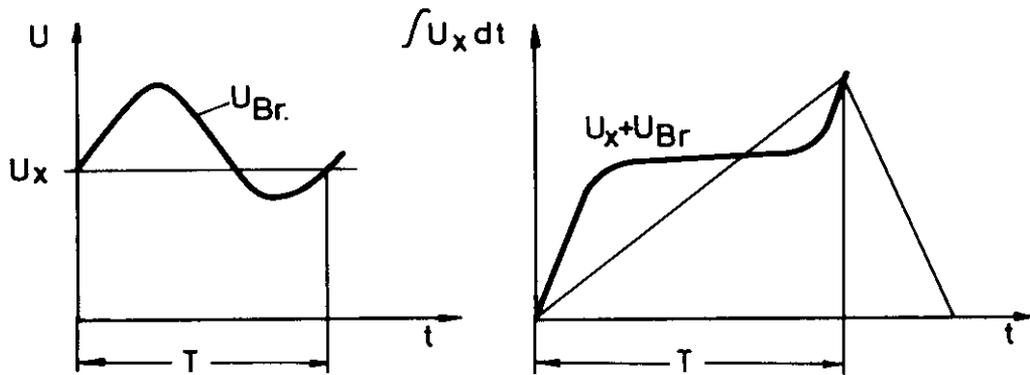


**Bild 16**  
**Blockschaltbild: Integrierendes-kompensierendes Digitalvoltmeter**

### 3.34 Eigenschaften der Integrationsmethode

Der Vorteil der Integrationsmethode liegt in der hohen Unterdrückung von Störspannungen. Durch eine geeignete Wahl der Integrationszeit (eine Periodendauer der Störspannung, 50 Hz oder 60 Hz) lassen sich Meßfehler, die ein der Meßspannung überlagerter Brumm verursachen würde, eliminieren. Daher eignen sich integrierende Digitalvoltmeter besonders für den Einsatz in Datenerfassungsanlagen. In einer größeren Anlage ist durch Erdschleifen eine Brummeinstreuung sehr leicht möglich. Ein weiterer Vorteil dieser Digitalvoltmetertypen in Datenerfassungsanlagen ist die einfache Auslesemöglichkeit, da wegen der

besonderen Schaltungstechnik der Meßeingang und der Datenausgang galvanisch getrennt sind.



**Bild 17**

**Brummspannungsunterdrückung beim Integrationsverfahren**

### 3.4 Technische Daten von Digitalvoltmetern

#### 3.41 Bereich

3.41.1 Zur Bereichsangabe gehört neben der maximal möglichen Anzeige die Angabe der maximal zulässigen Spannung im Bereich. Es gibt z.B. Digitalvoltmeter, deren maximale Anzeige ist 3999.9 V, die maximal zulässige Spannung in diesem Bereich liegt jedoch bei 2000 V. Außerdem interessiert der niedrigste Bereich und die möglichen Zwischenstufen.

#### 3.41.2 Auflösung

Eine wertvolle Angabe ist die der maximalen Auflösung pro Bereich, wobei die Auflösung im niedrigsten Bereich besonders interessieren dürfte. Es ist darauf zu achten, ob die Genauigkeitsangaben sich auf alle Bereiche beziehen.

### 3.41.3 Stellenzahl

Es wird die Anzahl der Stellen als Anzahl der Dekaden oder der Digit angegeben. Dabei gilt folgende Definition:

Zahl der Digits =  $\log_{10}$  der vollen Skala

Beispiel:

volle Skala	Digit
10000	4
12000	4,1
300000	5,5
500000	5,7

### 3.42 Genauigkeit

Eine Angabe, die eine besondere Beachtung verdient, ist die der Genauigkeit. Etwa entsprechend der Anzeige- und der Ablesegenauigkeit bei Zeigerinstrumenten sind auch bei Digitalvoltmetern zwei Fehlergrößen definiert.

#### 3.42.1

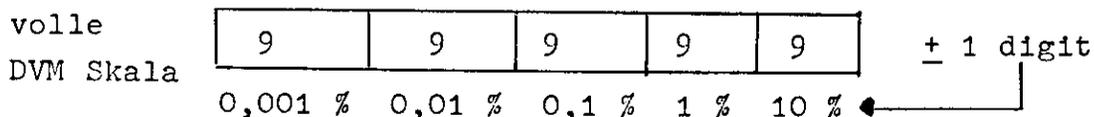
Fehler der Anzeige =  $\frac{\text{angezeigter Wert} - \text{echter Wert}}{\text{echter Wert}}$

Der Fehler wird in Prozenten angegeben und ist proportional zur Anzeige. In der englischen Literatur ist dieses der Begriff "error of reading". Diese Fehlerbeschreibung ist die aufschlußreichere von beiden.

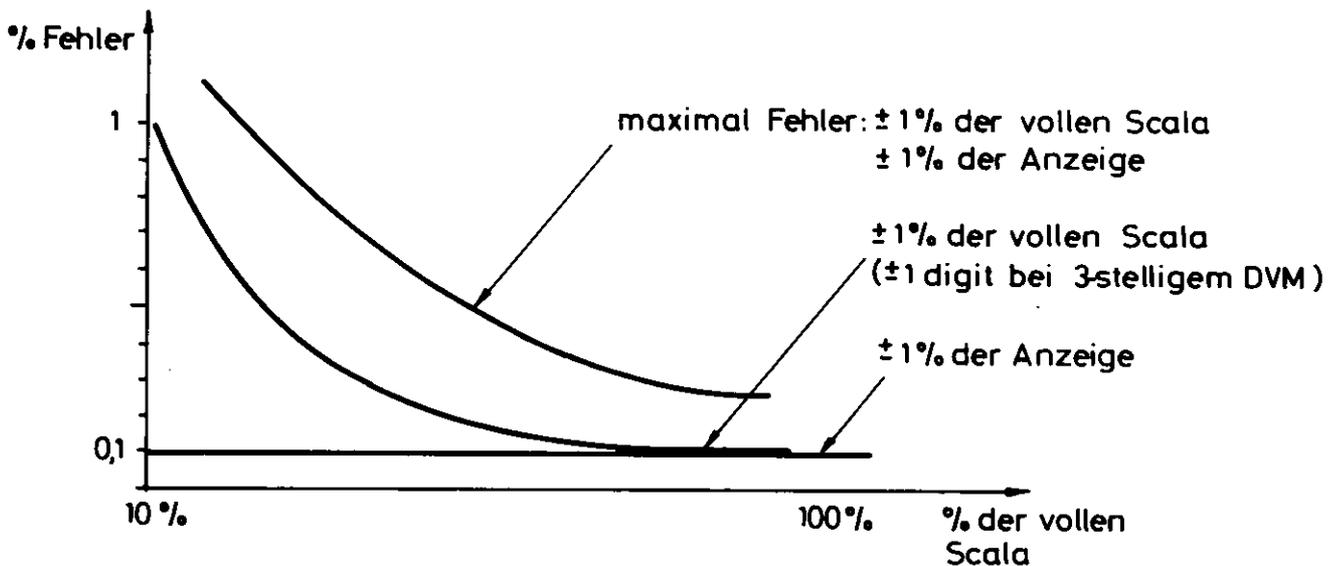
#### 3.42.2

Fehler der vollen Skala =  $\frac{\text{angezeigter Wert} - \text{echter Wert}}{\text{volle Skala}}$

Dieser Fehler ist proportional zur Skalenlänge, er wird in Prozenten oder aber in  $\pm 1$  digit angegeben. Man findet auch die Bezeichnung 0,001 % f.s.d., d.h. Fehler 0,001 % of full scale deflection. Für ein fünfstelliges Digitalvoltmeter würde diese Angabe lediglich bedeuten, daß in der letzten Stelle eine Abweichung von  $\pm 1$  digit zulässig ist.



Zur Beschreibung des maximal möglichen Fehlers müssen diese beiden Größen addiert werden (grafische Darstellung). Es ist noch zu bemerken, daß diese Fehler in einem vernünftigen Verhältnis zueinander stehen sollten (gleiche Größenordnung). Es wäre sinnlos, ein Digitalvoltmeter mit einer langen Skala zu bauen, um den Skalenfehler auf 0,0001 % zu bekommen, während der Anzeige- oder Meßfehler 0,1 % beträgt.



**Bild 18**

### Genauigkeit von Digitalvoltmetern

Es ist ersichtlich, daß der günstigste Arbeitspunkt in der Nähe der vollen Skala liegt.

#### 3.42.3 Linearität

Wenn ein zusätzlicher Linearitätsfehler zu beachten ist, muß diese Angabe gemacht werden, im Prinzip ist jedoch die Linearität in der Genauigkeit mit ausgedrückt.

#### 3.42.4 Stabilität

Die angegebene Genauigkeit gilt nur unter bestimmten Voraussetzungen (Temperatur, Netzspannung, Zeit). Um die zeitliche Konstanz zu erfassen, gibt es den Begriff der Stabilität, wobei die Kurzzeitstabilität (1 Tag) und die Langzeitstabilität (1 Monat oder 1 Jahr) gesondert angegeben werden.

### 3.42.5 Temperaturkoeffizient

Der Einfluß der Temperatur wird durch den Temperaturkoeffizienten beschrieben.

### 3.43 Eingangsimpedanz

3.43.1 Der Eingangswiderstand ändert sich normalerweise von Bereich zu Bereich (Spannungsteiler), die gültigen Werte sollen für jeden Bereich genannt werden. Falls innerhalb der Bereiche noch eine Änderung des Eingangswiderstandes stattfindet, müßte dieses vermerkt sein.

3.43.2 Die Zeitkonstante des Eingangs mit und ohne Filter beeinflußt die Meßzeit und soll in den Daten erscheinen.

### 3.44 Isolation (CMR)

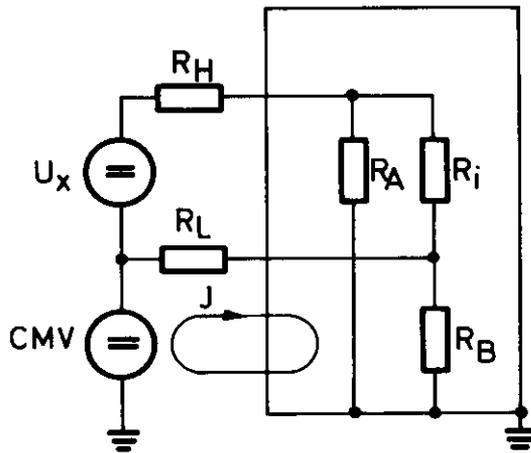
Die Isolation zwischen dem Meßeingang des Digitalvoltmeters und der Masse bzw. Gehäuse wird dann sehr wichtig, wenn erdfrei gemessen wird. Der Einfluß dieses Isolationswiderstandes auf das Meßergebnis wird ausgedrückt in der Gleichtaktunterdrückung (common mode rejection).

Zwei Definitionen der Gleichtaktunterdrückung sind möglich:

a) Gleichtaktunterdrückung =  $\frac{\text{Gleichtaktspannung}}{\text{resultierende Spannung am Eingang}}$

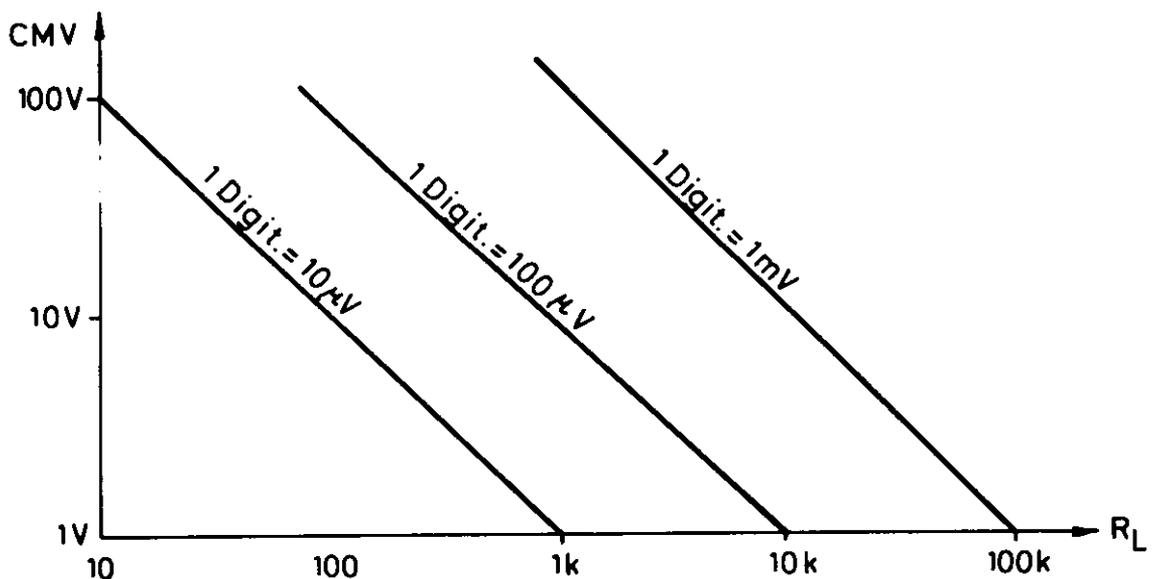
b) Gleichtaktunterdrückung =  $\frac{\text{Gleichtaktspannung}}{\text{resultierender Anzeigefehler}}$

Die Definition nach b) ist dabei die gebräuchliche. Die Gleichtaktspannung ist die Gleich- oder Wechselspannung, die zwischen der Meßspannung am Eingang und dem Gehäuse liegt. Die Gleichtaktunterdrückung hängt wesentlich vom Widerstand der Spannungsquelle und der Signalleitungen ab. Der Wert der Gleichtaktunterdrückung soll angegeben werden für einen Widerstand von 1 k $\Omega$  in der Meßleitung (z.B. bei 100  $\Omega$  wesentlich günstigerer Wert).



**Bild 19**  
Einwirkung einer Gleichtaktspannung  
auf die Eingangsschaltung vom  
Digitalvoltmeter

In der Praxis ist  $R_A \gg R_B$ . Es fließt, durch die Gleichtaktspannung hervorgerufen, ein Strom über  $R_L$  und  $R_B$ , der sich über Masse schließt. Die sich über  $R_L$  aufbauende Spannung erscheint in Serie zur Meßspannung und verursacht einen Fehler. Die folgende Kurve gibt für das Digitalvoltmeter Type 2022 der Firma Dynamco den durch eine Gleichtaktspannung hervorgerufenen Anzeigefehler an.



**Bild 20**  
Gleichtaktunterdrückung eines Digitalvoltmeters

Daraus folgt die Gleichtaktunterdrückung für  $R_L = 1k\Omega$  zu  $10^5 : 1 = 100$  dB für Gleichspannung. Mit einer besonderen Abschirmtechnik (Guard) in manchen Digitalvoltmetern kommt man zu wesentlich besseren Werten.

### 3.45 Meßzeit

Die Meßzeit, die das Digitalvoltmeter benötigt, um eine unbekannte Spannung zur Anzeige zu bringen, setzt sich zusammen aus den Zeiten für a) Bereichswahl, b) Polaritätswahl, c) Integration und d) Abgleich. Für Datenerfassung interessant noch die Zeit für die Datenausgabe.

### 3.46 Ausgangsgrößen

Für elektrische Datenauslese müssen die Angaben über a) Code, b) Pegel, c) galvanische Trennung vom Meßeingang beachtet werden.

### 3.47 Betriebsarten

Eine Vielzahl von Funktionsmöglichkeiten bestimmt die Zweckmäßigkeit für spezielle Meßprobleme

- a) Bereichswahl manuell oder automatisch
- b) Polaritätswahl manuell oder automatisch
- c) Art der Anzeige, Nixie, mit Anzeigespeicher
- d) Arbeitsweisen,

Eine Messung wird ausgeführt:

- 1. fortlaufend
- 2. bei externer Triggerung elektrisch oder manuell
- 3. bei Spannungsänderung (Schwelle einstellbar)
- e) Wechselspannungsmessung  
echter Effektivwert oder Mittelwert
- f) Widerstandsmessungen
- g) Spannungsverhältnismessung

### 3.48 Betriebsbedingungen

In den Betriebsbedingungen wird angegeben, unter welchen äußeren Einflüssen die vorher spezifizierten Daten gelten und bei Überschreiten welcher Grenzen mit einer Beeinträchtigung der Messungen, wenn nicht sogar mit einer Zerstörung des Gerätes zu rechnen ist.

- a) Temperaturbereich
- b) Störsicherheit gegen elektrische, magnetische oder Hochfrequenzstörungen. Die Störungen können als elektromagnetische Wellen in das Gerät einkoppeln oder über Zuleitungen der Netzversorgung in das Gerät gelangen.
- c) Vibrations- und Stoßempfindlichkeit
- d) Anheizzeit

### 3.49 Eichung

Die Eichung des Digitalvoltmeters muß mit einer bekannten Spannung vorgenommen werden. Dazu dient ein gesättigtes Weston-Element, das als Normalelement zu bezeichnen ist. Die elektromotorische Kraft des Weston-Elements wird bezogen auf die Temperatur angegeben und überprüft von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt.

Zum Überprüfen der Eichung im Betrieb reicht bei Digitalvoltmetern bis zu einer Genauigkeit von 0,005 % ein Referenz-Element (ungesättigte Zelle), das oft zur einfachen Kontrolle der Kallibrierung in das Gerät eingebaut ist. Die Angabe der Referenzspannung findet man in absoluten Volt und in internationalen Volt. Dabei ist es heute üblich, die Eichung in absoluten Volt vorzunehmen.

$$1.00000 \text{ int. Volt} = 1,00035 \text{ abs. Volt}$$

### 3.5 Zusammenfassung der Digitalvoltmeterdaten

Bereich

Auflösung

Stellenzahl

Genauigkeit

Stabilität

Temperaturkoeffizient

Eingangsimpedanz

Gleichtaktunterdrückung

Meßzeit

Datenausgabe

Betriebsbedingungen

### Digitalvoltmeter

Hersteller	Type	Stellenzahl	Bereiche	Auflösung	Genauigkeit Anzeige	Gleichtaktunterdrückung	Meßart Eingangs w.	Preis	Bemerkungen	Meßzeit
Dynamco	2006	4	100mV; 1V; 10V 100V; 1000V	10µV	0,02%	154dB	>10kΩ (Integr.)	7.510,- <small>400mA 200V</small>	Nixi-Anzeige	50ms
"	2022	4 1/2	0,4V; 4V; 40V 400V; 2000V	10µV	0,01%	120dB	>25kΩ (Komp.)	9.300,- <small>400mA 200V</small>	Projektion Ziffer	20ms
"	2023	5	1V; 10V; 100V 1000V	10µV	0,0025%	176dB	>25kΩ (Komp.)	13.200,- <small>400mA 200V</small>	Nixi-Anzeige	20ms
"	2010	5+ Überl.	1V; 10V; 100V 1000V	10µV	0,001%	140dB	>25kΩ (Komp.)	22.000,-	Nixi-Anzeige	40ms
Selatron	LM 1420	3 1/3	0,02V; 0,2V; 2V 20V; 200V; 2000V	10µV	0,05%	150dB	>56kΩ (Integr.)	5.780,- <small>verm.</small>	Nixi-Anzeige	40ms
"	LM 1440.2	4+ Überlauf	0,3V; 3V; 30V 300V; 2000V	10µV	0,005%	140dB	>20kΩ (Komp.)	9.945,- <small>vervollst.</small>	Nixi-Anzeige	20ms
"	LM 1867	5	1V; 10V; 100V 1000V	10µV	0,001%	140dB	>20kΩ (Komp.)	9.900,- <small>vervollst.</small>	Nixi-Anzeige	20ms
"	LM 1604	4+ Überlauf	10mV; 100mV; 1V 10V; 100V; 1kV	1µV	0,005%	140dB	10MΩ (Integr.)	7.500,-	Nixi-Anzeige	40ms
Hewlett Packard	3440 <sup>mit</sup> 3441A	4	10V; 100V; 1000V	1mV	0,05%		10MΩ (Ramp)	4.760,-	mit Einschüben	0,2s
"	2401 C	6	0,1V; 1V; 10V 100V; 1000V	1µV	0,01%	160dB	10MΩ (Integr.)	19.590,-	Integrationsdurchsch.	10ms
"	2402 A	6	0,1V; 1V; 10V 100V; 1000V	1µV	0,003%	160dB	>1GΩ (Integr.)	22.940,-	AC/R-Messung	23ms
"	3460 B	5+ Überl.	1V; 10V; 100V 1000V	10µV	0,004%	160dB	10kΩ (Komp.)	17.200,-	AC/Ohm Conv.	66ms
"	H04-3460 A	6+ Überl.	1V; 10V; 100V 1000V	1µV	0,002%	160dB	10MΩ (Integr.)	21.920,-	1mV im 1000V-	
"	3450	5+ Überl.	0,1V; 1V; 10V 100V; 1000V	1µV	0,003%	140dB	10kΩ (Komp.) (Integr.)	12.000,-	AC/Ohm Converter	65ms
Tekalac	TE 315	5+ 1 Überlauf	1V; 10V; 100V 1000V	10µV	0,005%	140dB	>1kΩ (Integr.)	15.900,-		200ms
Faehgild	7200	5+ 1 Überlauf	1V; 10V; 100V 1000V	10µV	0,005%	140dB	>1kΩ (Integr.)	15.000,-		10ms
Liton	TR-6516	5+ 1 Überl.	0,1V; 1V; 10V 100V; 1000V	1µV	0,006%		1MΩ (Integr.)	18.000,-		
Cimron	4651	5+ 1 Überl.	10V; 100V; 1000V + 40V Bereiche	0,1µV	0,008%	140dB	>10MΩ (Integr.)	21.800,-	AC/M mit Vorverst.	200ms
NLS	X-1	5+ 1 Überl.	10V; 100V; 1000V + mV Bereiche	1µV	0,003%	140dB	>10kΩ (Komp.)	10.795,-		
VIDAR	520	5+ 1 Überl.	10V; 100V; 100V + mV Bereiche	0,1µV	0,01%	140dB	>10MΩ Integr. <small>VFC</small>		durch Frequenz- messung	
Wagner	613R.	5+ 1 Überl.	0,2V; 2V; 20V; 200V; 1000V	1µV	0,002%	80dB	>10MΩ Komp.			150ms
Dana	5700	5+ 1 Überl.	1V; 10V; 100V 1000V	0,1µV Vorverst. 10µV	0,0025%	140dB	10GΩ		Multi meter	18ms
"	5500	5+ 1 Überl.	10V; 100V 1000V	1µV Vorverst. 100µV	0,005%	120dB	10GΩ/10MΩ	14.175,-		

#### 4. Stromversorgungsgeräte

Aus den Stromversorgungsgeräten oder Netzgeräten wird die zum Betrieb einer Schaltung oder Anlage benötigte Versorgungsspannung gewonnen. Es ist zu unterscheiden zwischen Gleichspannungs- und Wechselspannungsnetzgeräten, geregelten und ungeregelten Stromversorgungsgeräten. Nach der Größe der Ausgangsspannung läßt sich eine Einteilung vornehmen, folgende Gruppenunterteilung erscheint für DESY sinnvoll:

- a) Niederspannungsnetzgeräte bis 60 V
- b) Mittelspannungsnetzgeräte bis 500 V
- c) Hochspannungsnetzgeräte bis 5 kV
- d) Höchstspannungsnetzgeräte ab 5 kV

Betrachtet werden sollen hier geregelte Gleichspannungsnetzgeräte. Als Energiequelle dient die Netzspannung von 220 V und 50 Hz. Über einen Transformator, einen Gleichrichter und einen Ladekondensator wird eine unstabilisierte Gleichspannung gewonnen. Es folgt die Regelschaltung, die für eine konstante Ausgangsspannung sorgt, so daß Netzspannungsänderungen und Belastungsänderungen die Ausgangsspannungen nicht beeinflussen. Zwei unterschiedliche Regelschaltungen sollen erwähnt werden, die Serienregelung und die Parallelregelung.

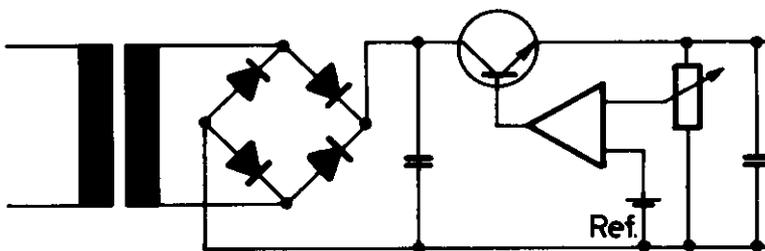


Bild 21  
Netzgerät mit Serienregelung

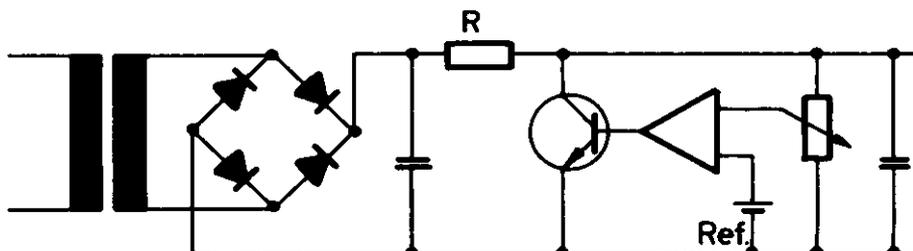


Bild 22  
Netzgerät mit Parallelregelung

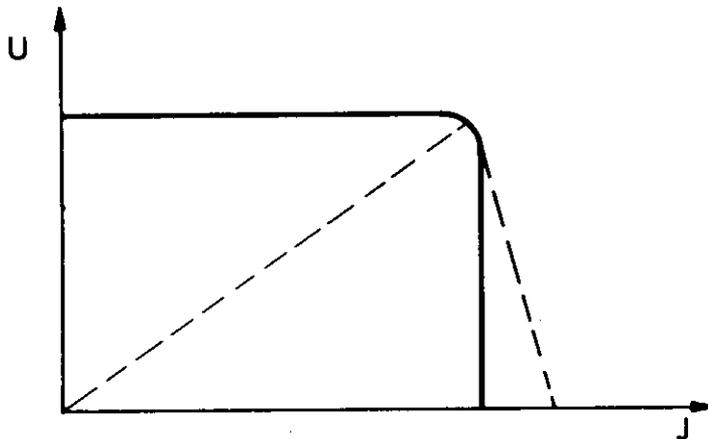
Eine Regelschaltung besteht grundsätzlich aus einem geschlossenen Regelkreis. Den Regelkreis kann man aufgliedern in den "Soll"-Wert-Geber (Referenzspannung) und den "Ist"-Wert-Geber (Eingangsspannungsteiler), in Regelstrecke (Verstärker), die die Regelgröße angibt, und das Stellglied (Längstransistor). Um die zur Beschreibung der Eigenschaften eines Netzgerätes wichtigen Daten zu erläutern, ist es ausreichend, lediglich die Eingangsgrößen und die Ausgangsgrößen des Netzgerätes zu betrachten.



**Bild 23**  
Eingangs-Ausgangsgrößen eines Netzgerätes

#### 4.1 Spannungs- und Strombereich

Zunächst dürfte der Spannungs- und Strombereich interessieren. Es gibt Netzgeräte für fest eingestellte Ausgangsspannung und solche, die einen größeren Spannungsbereich überstreichen. Entsprechende Variationsmöglichkeiten gibt es für den Ausgangsstrom. Viele Netzgeräte haben neben einer Konstantspannungsregelung auch eine Konstantstromregelung. Einfachere Geräte besitzen lediglich eine Strombegrenzung, die das Gerät kurzschlußsicher macht. Das Strom-Spannungsverhalten läßt sich in Form einer Kennlinie darstellen.



**Bild 24**  
**Strom-Spannungskennlinie eines Netzgerätes**

Die gestrichelten Linien deuten den möglichen Verlauf vom Einsatzpunkt der Strombegrenzung bis zum Kurzschluß an, während die durchgezogene Kurve für ein spannungs- und stromgeregeltes Netzgerät gilt.

#### 4.2 Innenwiderstand

Der Innenwiderstand bestimmt das Verhalten bei Laständerung

$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I} = (\Delta R_L) \quad (\Omega)$$

Der Innenwiderstand soll möglichst klein sein im Bereich der Spannungsregelung (ca. 10 mΩ bei Niederspannungsnetzgeräten) und groß bei Konstantstromregelung. Anstelle des Innenwiderstandes wird manchmal die Lastregelung angegeben.

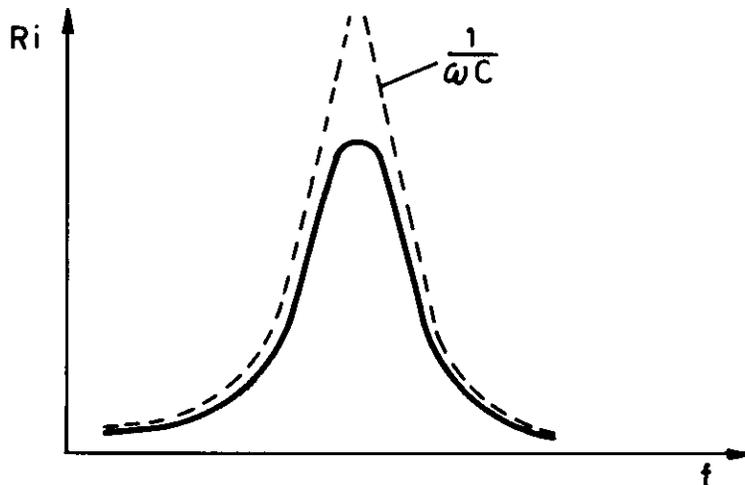
$$\text{Lastregelung} = \frac{\Delta U}{U} = (\text{Leerlauf/Vollast}) \quad (\%)$$

Der Innenwiderstand ist frequenzabhängig

$$R_i = f(f)$$

Bei langsamen Belastungsänderungen sorgt die Regelschaltung für eine konstante Ausgangsspannung. Der Regelkreis hat eine eigene Zeitkonstante, die das Ausregeln für höhere Frequenzen begrenzt.

Für steigende Frequenz der Laständerung dämpft eine Parallelkapazität am Ausgang die Spannungsänderung.



**Bild 25**  
**Dynamischer Innenwiderstand eines Netzgerätes**

#### 4.3 Regelfaktor

Der Regelfaktor gibt den Einfluß von Netzspannungsänderung auf die Ausgangsspannung an.

$$R_e = \frac{\frac{\Delta U_{\text{e}}}{U_{\text{e}}}}{\frac{\Delta U_{\text{z}}}{U_{\text{z}}}} \quad (I = \text{const}) \quad (\%)$$

#### 4.4 Brummspannung $U_{\text{Br}}$

Die der Ausgangsspannung überlagerte Brummspannung wird als Spitzenwert oder als Effektivwert angegeben.

#### 4.5 Temperaturkoeffizient

$$T_K = \frac{\Delta U_{\text{e}}}{U_{\text{e}} / ^\circ\text{C}} \quad \left( \frac{\text{V}}{^\circ\text{C}} \right)$$

oder

$$T_K = \frac{U_{\text{e}}}{U_{\text{e}} / ^\circ\text{C}} \quad \left( \frac{\%}{^\circ\text{C}} \right)$$

#### 4.6 Zusammenfassung der Netzgerätedaten

Spannungsbereich

Strombereich

Innenwiderstand

Regelfaktor

Brummspannung

Temperaturkoeffizient

Überrahmen

Hersteller	Typ	± 6 V			± 12 V			± 24 V			Preis	Bemerkung
		$I_{max}$	$R_i$	Stab.	$I_{max}$	$R_i$	Stab.	$I_{max}$	$R_i$	Stab.		
Nucletron	NU-310B				2 A	Meßwert 16 mΩ 0,3 Ω	± 0,5 %	1 A	Meßwert 16 mΩ 0,3 Ω	± 0,5 %		
"	NU-311B	2 A	0,3 Ω	± 0,5 %	2 A	0,3 Ω	± 0,5 %	1 A	0,3 Ω	± 0,5 %		
"	NU-312A	5 A	0,3 Ω	± 0,5 %	2 A	0,3 Ω	± 0,5 %	1 A	0,3 Ω	± 0,5 %		
"	NU-310C				2 A	Meßwert 16 mΩ 0,3 Ω	± 0,5 %	2 A	Meßwert 16 mΩ 0,3 Ω	± 0,5 %	1.960,-	
"	NU-311C	2 A	0,3 Ω	± 0,5 %	2 A	0,3 Ω	± 0,5 %	2 A	0,3 Ω	± 0,5 %	2.250,-	
"	NU-312C	5 A	Meßwert 8 mΩ 0,3 Ω	± 0,5 %	2 A	Meßwert 8 mΩ 0,3 Ω	± 0,5 %	1,5 A	Meßwert 15 mΩ 0,3 Ω	± 0,5 %	2.380,-	
Wenzel Elektronik	N-ÜR 4				2 A	0,3 Ω	± 0,1 %	1 A	0,3 Ω	± 0,1 %	2.400,-	115V~, 0,5A
"	N-ÜR 6	5 A	0,3 Ω	± 0,1 %	2 A	0,3 Ω	± 0,1 %	1 A	0,3 Ω	± 0,1 %	2.600,-	115V~, 0,6A
Total	6903	6 A	1 mΩ	± 0,1 %	2 A	1 mΩ	± 0,1 %	2 A	1 mΩ	± 0,1 %	2.620,-	115V~, 0,4A
"	6903 A				5 A	Meßwert 25 mΩ 1 mΩ	± 0,1 %	2 A	Meßwert 25 mΩ 1 mΩ	± 0,1 %	2.750,-	115V~, 0,4A
Friesehc u. Höpfner	FHN 1014	5 A	8 mΩ	0,015 %	2 A	8 mΩ	0,012 %	1 A	10 mΩ	0,01 %	2.550,-	Angewebene Daten sind Meßwerte
EG u.G	M 120A/N				1 A	12 mΩ	0,05 %	1 A	12 mΩ	0,05 %	3.120,-	
Chronetics	M 150/N				4 A (+12V) 5,5 A (-12V)	Meßwert 20 mΩ	0,05 %	2 A	Meßwert 20 mΩ	0,05 %	3.670,-	

### Hochspannungsgeräte

Hersteller	Type	Spannungsbereich	Strombereich	Ripple	Innenwiderstand	Stabilisierung	Einbaumeßgeräte	Preis	Bemerkungen
Oltronix	LS529 R	(±) 750V - 3,4kV	max 30mA	2 mV	7 Ω	6 · 10 <sup>-3</sup> Last 3 · 10 <sup>-5</sup> Netz		2.490,-	
Heinzinger	HNS500-500	(±) 0 - 5kV	0 - 100mA max 100mA	10 mVpp	5 Ω	10 <sup>-4</sup> Last 10 <sup>-5</sup> Netz		5.870,-	transistorisiert
Nucletron	NU7375C	(±) 500 - 3750V	max 25mA	3 mVeff	7 Ω	10 <sup>-4</sup> Last 5 · 10 <sup>-5</sup> Netz		2.150,-	
"	NU 350A	(±) 0 - 5kV	max 5mA	20 mVeff	500 Ω	5 · 10 <sup>-4</sup> Last 10 <sup>-6</sup> Netz		2.565,-	Fernbedienbare Feinreglung dunkel-10V oder 0-100kΩ Grobreglung je 1000V, 2Rms.
Hewlett Packard	HVR 6525A	0 - 4kV	0 - 50mA	1 mVpp	4 Ω	5 · 10 <sup>-5</sup> Last 5 · 10 <sup>-5</sup> Netz		9.730,-	
Power Designs Inc.	HV 1556	(±) 10 - 6000V	20mA	1 mV	3 Ω	10 <sup>-5</sup>		2.800,-	transistorisiert
KSM Electronix	HVV 3100	300 - 3000V	100mA	10 mV	1 Ω	5 · 10 <sup>-4</sup>		ca. 3.800,-	
Oltronix	HV Verteiler							1.170,-	
"									mit eingebautem Meßspannungsteiler
Nucletron	HV Verteiler							2.360,-	

Ich hoffe, daß ich Ihnen durch meine Erläuterungen die Benutzung, Beurteilung und Auswahl einiger elektronischer Meßgeräte ein wenig erleichtert habe. Wenn darüber hinaus noch Interesse an weiteren Informationen besteht, stehe ich oder meine Mitarbeiter Ihnen jederzeit für Beratungen oder Diskussionen von speziellen Meßproblemen gern zur Verfügung.