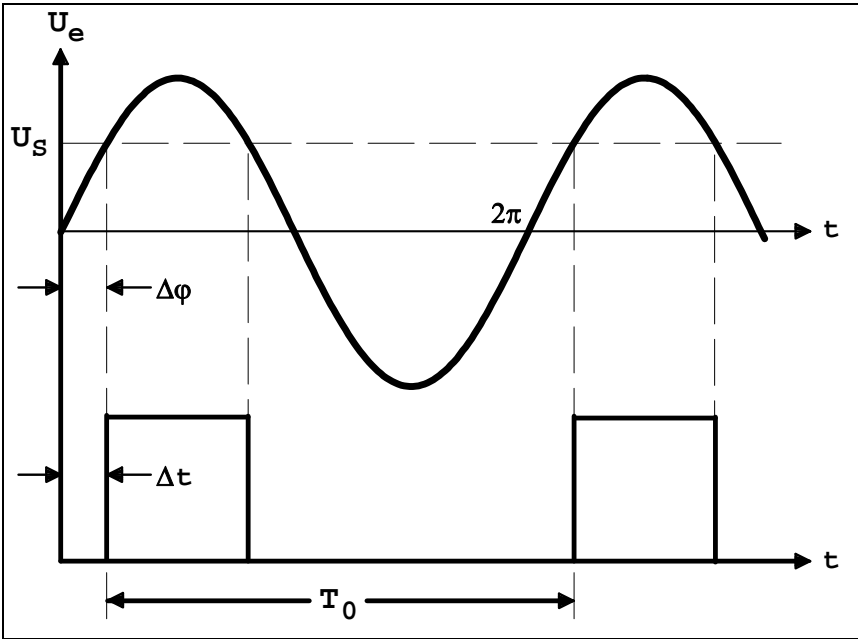
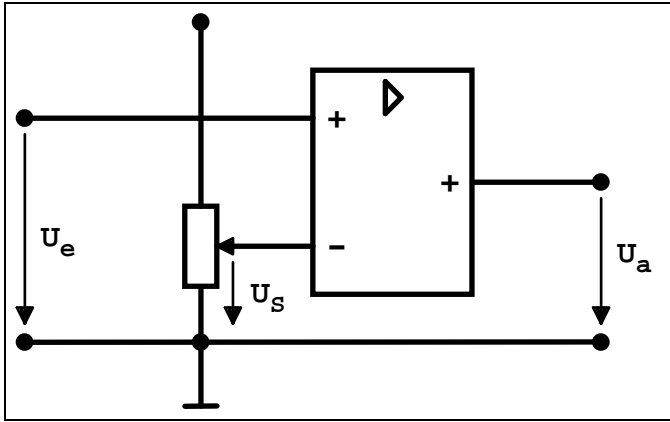


Messungen von Frequenz, Zeit und Phase.

In den meisten Verfahren zur Messung von Frequenz, Zeit und Phase werden Rechteckimpulse eingesetzt.

Daher:
Originalsignale (z.B. Sinus) müssen umgewandelt werden.

Umwandlung mit Hilfe eines Komparatorverstärkers:



$$u_e = \hat{u}_e \cdot \sin(\omega t)$$

Messungen von Frequenz, Zeit und Phase.

Phasenverschiebung zwischen Nulldurchgang des Sinus und der Flanke des Rechteckimpulses:

$$u_s = \hat{u}_e \cdot \sin(\Delta\varphi)$$

damit:

$$\Delta\varphi = \arcsin\left(\frac{u_s}{\hat{u}_e}\right)$$

Spezialfall:

$$\Delta\varphi = 0 \quad \Rightarrow \quad u_s = 0$$

Nulldurchgang des Sinus und Flanke fallen zusammen.

⇒ **Komparator: Sinus-Rechteck-Umsetzer**

Wichtiger Parameter bei Verstärkern und Komparatoren:

⇒ **Slew-Rate:**
$$S = \left. \frac{du_e}{dt} \right|_{\max}$$

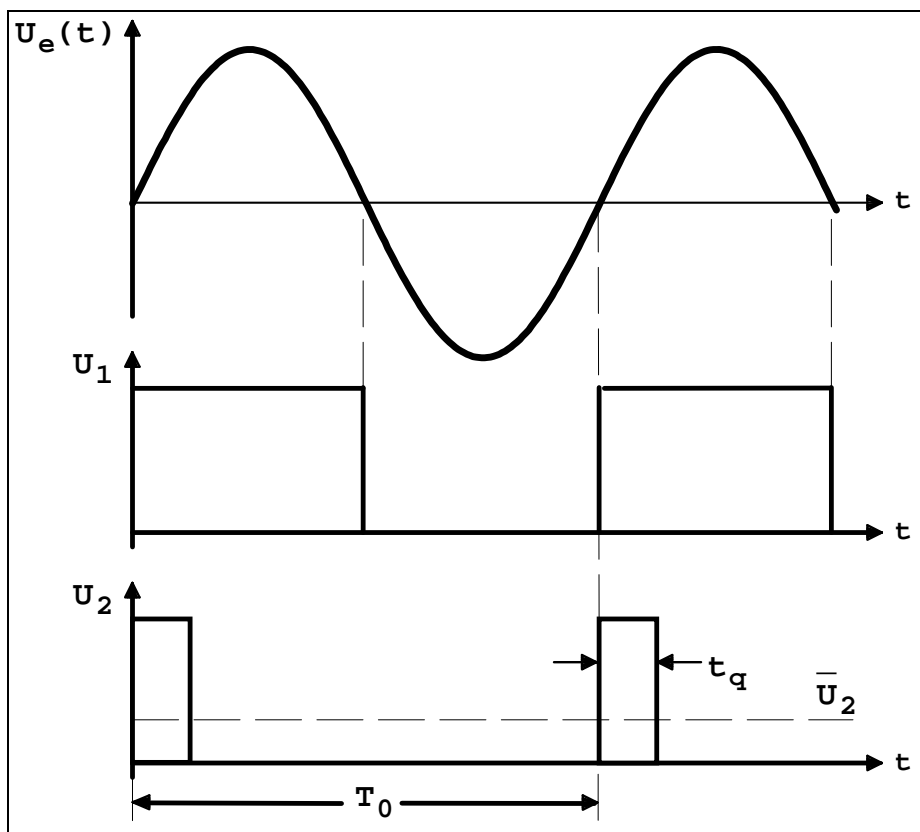
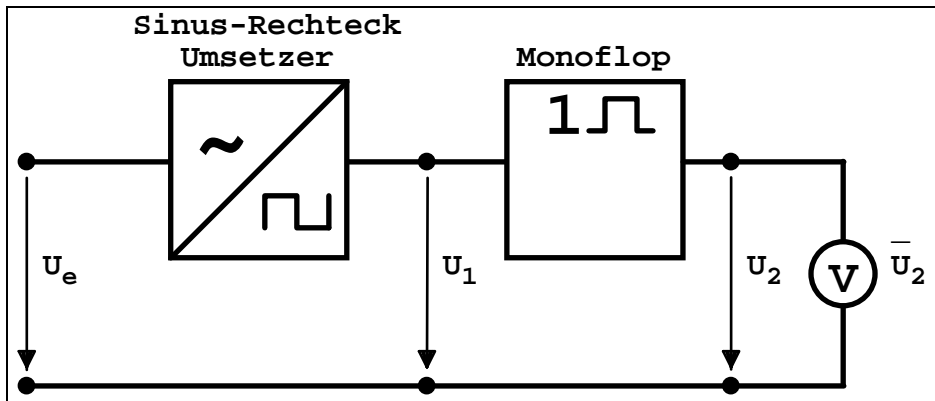
Schnellste Spannungsänderung am Verstärkerausgang bei Einspeisung einer idealen Impulsflanke am Eingang.

Für die Sinusfunktion gilt beim Nulldurchgang:

$$S = 2\pi f \cdot \hat{u}_e$$

Direktanzeigende Frequenzmessung

a) Frequenzmessung unter Verwendung von Rechteckimpulsen:



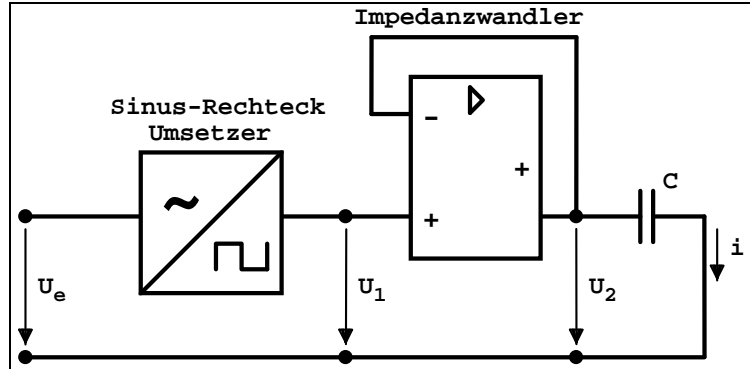
$$\bar{u}_2 = \hat{u}_2 \cdot \frac{t_Q}{T_0} = \hat{u}_2 \cdot t_Q \cdot f \quad ; \quad f = \frac{1}{T_0}$$

t_Q eingestellt über externes RC.

Ein nachgeschaltetes, mittelwertbildendes Meßgerät (Drehpulmeßwerk, DMM mit Tiefpaß, etc.) mißt den Mittelwert von u_2 und damit die zu u_2 proportionale Frequenz f .

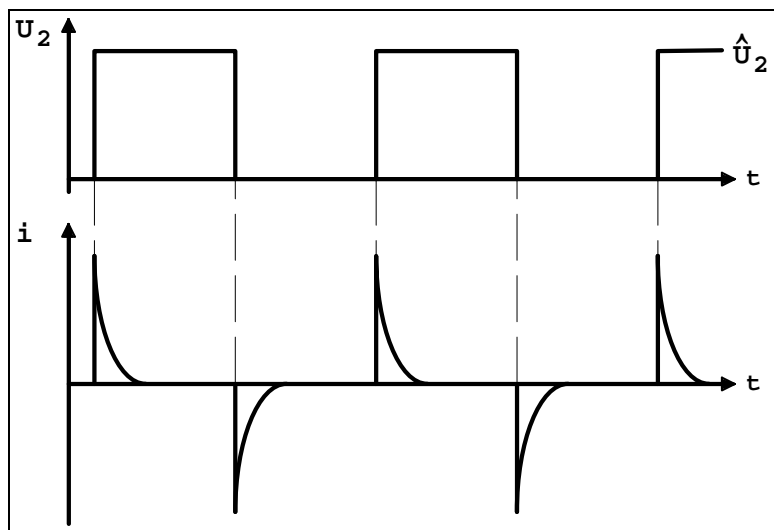
Direktanzeigende Frequenzmessung

b) Frequenzmessung nach dem Verfahren der Kondensator-Umladung:



Funktion:

Der Sinus-Rechteck-Umsetzer erzeugt die Spannung u_1 , die über den Impedanzwandler ($V=1$) niederohmig gemacht wird. Diese Spannung u_2 erzeugt einen Strom durch den Kondensator C.



Auswertung:

Gleichrichtung (Einweg oder Zweiweg) und Messung mit Drehspulmeßwerk.

Aus der Ladungsbilanz ergibt sich:
($n=1$: Einweggleichrichtung, $n=2$: Zweiweggleichrichtung)

$$f = \frac{\bar{i}}{n \cdot C \cdot \hat{u}_2}$$

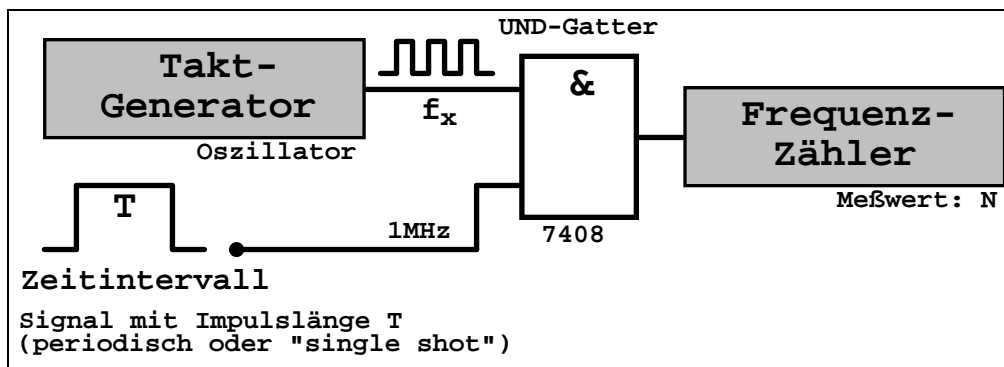
Messungen mit dem Digitalzähler: Zählende Frequenz- und Zeitmessung

In den zählenden Verfahren werden drei Grundbausteine eingesetzt:

Frequenzgenerator,
Torschaltung,
Frequenzzähler.

Prinzipschaltung:

Tor-Schaltung zur digitalen Periodendauermessung.
Als Zeitbasis dient ein integrierter Quarzoszillator
(Schwingquarzschaltung mit hoher Genauigkeit $<10^{-7}$).



Zusammenhang zwischen Periodendauer T und Zählergebnis N :

$$N = f \cdot T$$

Diese Beziehung kann genutzt werden zur Messung der Frequenz oder der Zeit:

- Ist $T=T_N$ bekannt, kann die Frequenz f_x bestimmt werden.
- Wird eine Normalfrequenz f_N benutzt, dann kann die Zeit T_x gemessen werden.

Zählende Frequenz- und Zeitmessung

In Abhängigkeit von der Definition der Eingangssignale können die folgenden Messungen realisiert werden:

a) Frequenzmessung:

Frequenzeingang:	f_x
Zeiteingang:	T_N
Ergebnis:	$N = f_x \cdot T_N$
	$f_x = \frac{N}{T_N}$

b) Periodendauermessung:

Frequenzeingang:	f_N
Zeiteingang:	T_x
Ergebnis:	$N = f_N \cdot T_x$
	$T_x = \frac{N}{f_N}$

c) Zeitmessung:

Frequenzeingang:	f_N
Zeiteingang:	Start t_1 , Stop t_2
Ergebnis:	$N = f_N \cdot (t_2 - t_1) = f_N \cdot \Delta t$
	$\Delta t = \frac{N}{f_N}$

d) Frequenzverhältnis-Messung:

Frequenzeingang:	f_x
Zeiteingang:	T_N
Ergebnis:	$N = f_x \cdot T_N$
	$N = \frac{f_x}{f_N}$ für $f_x \gg f_N$

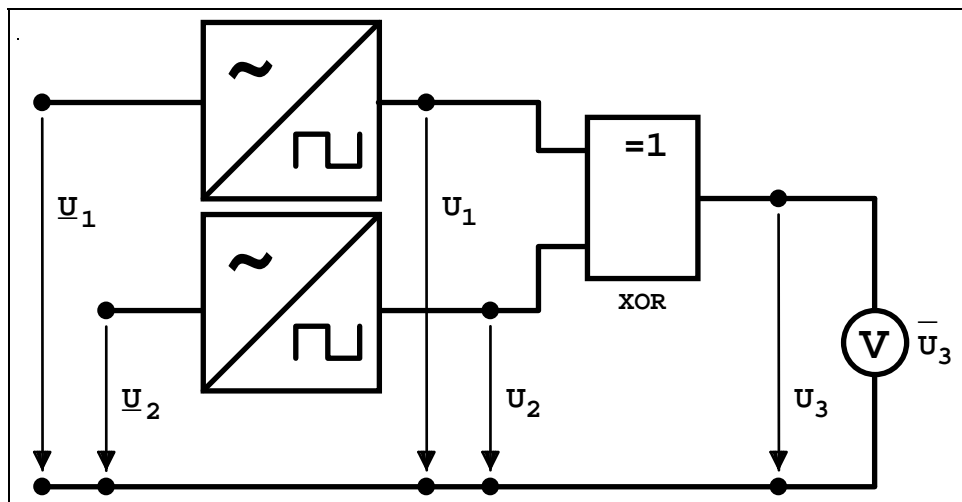
Die notwendigen Rechnungen werden in modernen Frequenzzählern automatisch durchgeführt (rechnende Frequenzzähler).

Direktanzeigende Phasenmessung

Die Phase wird bestimmt als Phasenverschiebung zwischen zwei Signalen. Die Angabe wird entweder als Winkel $\Delta\varphi$ oder als Phasenverschiebungszeit Δt gemacht.

Die zur Phasenmessung eingesetzten Schaltungen sind denen bei der Zeit- bzw. Frequenzmessung grundsätzlich ähnlich.

Prinzipschaltung:

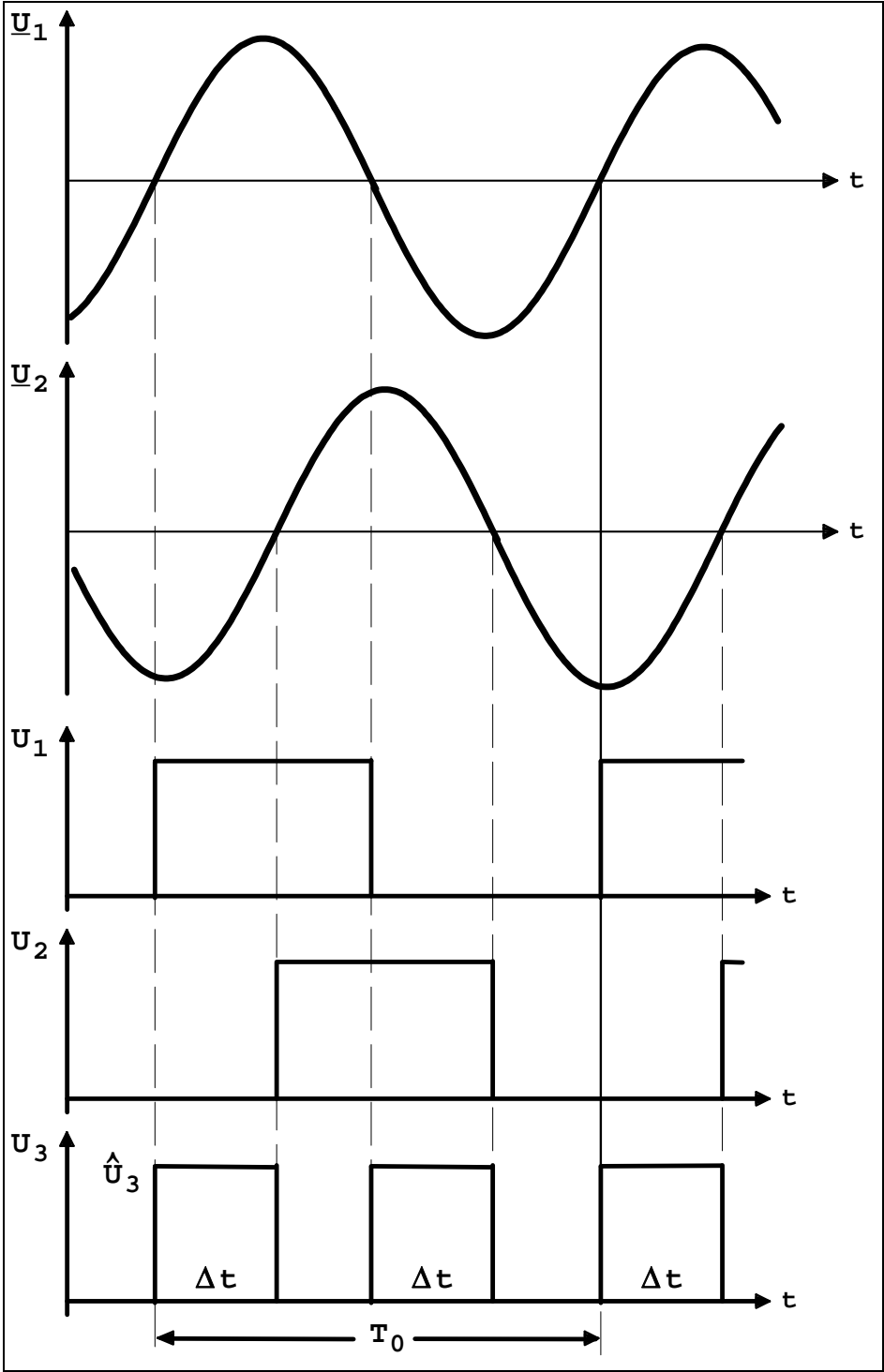


Die phasenverschobenen Winkelspannungen \underline{u}_1 und \underline{u}_2 werden zunächst über zwei identische Sinus-Rechteck-Umsetzer in die digitalen Signale u_1 und u_2 umgeformt.

Diese logischen Signale ("0" oder "1") werden dann auf ein Exklusiv-Oder-Gatter (XOR) gegeben, das nur dann einen Ausgangspegel "1" liefert, wenn die beiden Eingangssignale ungleich sind ("Antivalenz").

Direktanzeigende Phasenmessung

Signalverlauf:



Direktanzeigende Phasenmessung

Also:

Zweimal je Periode T_0 entsteht ein Impuls der Amplitude \hat{u}_3 und der Phase

$$\Delta t \sim \Delta\varphi$$

Der Mittelwert ist ein direktes Maß für die Phasenverschiebung (z.B. gemessen mit Drehspulmeßwerk):

$$\bar{u}_3 = 2 \cdot \hat{u}_3 \cdot \frac{\Delta t}{T_0} = 2 \cdot \hat{u}_3 \cdot \frac{\Delta\varphi}{2\pi}$$

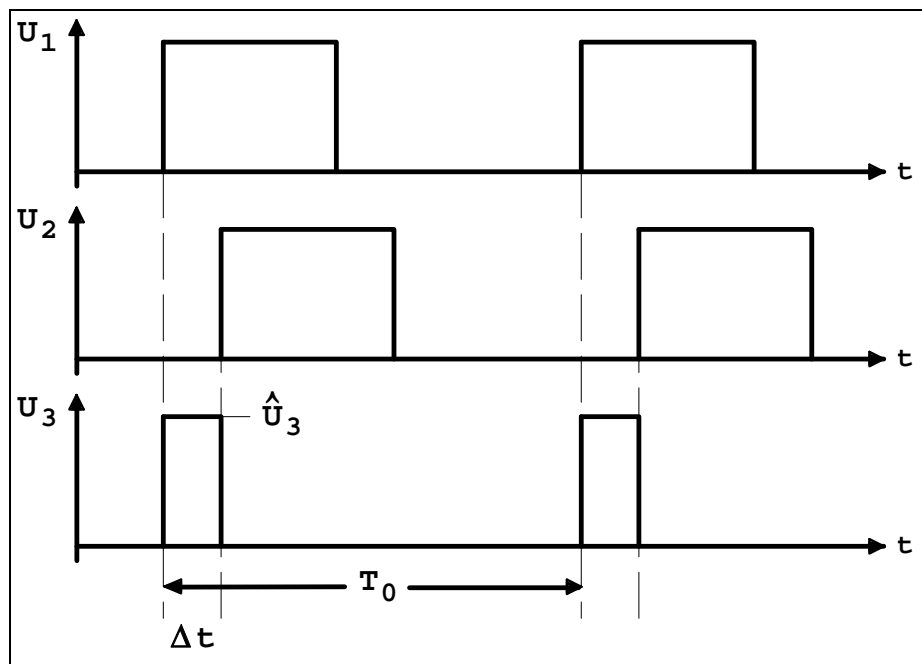
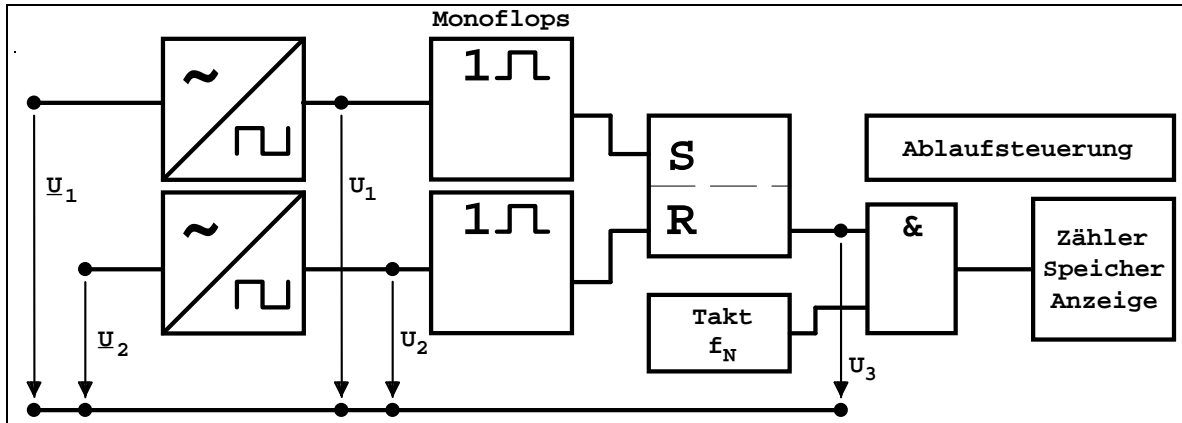
$$\Delta\varphi = \pi \cdot \frac{\bar{u}_3}{\hat{u}_3}$$

Problem:

Das Vorzeichen der Phasenverschiebung ($\text{sign}(\varphi)$) geht bei dieser Meßmethode verloren und muß deshalb über andere Verfahren bestimmt werden.

Digitale Phasenmessung

Modifikation der Prinzipschaltung zur digitalen Phasenmessung:



Digitale Phasenmessung

Die Impulsdauer Δt (Phasenverschiebungszeit) wird digital ausgemessen (ausgezählt).

Frequenz des auszumessenden Signals:

$$f_M = \frac{1}{T_0}$$

Die Normalfrequenz f_N soll in einem festen Verhältnis zu f_M stehen, also:

$$f_N = n \cdot f_M \quad , \quad n \text{ ganze Zahl;}$$

dann gilt für das angezeigte Zählergebnis:

$$z = \Delta t \cdot f_N = \Delta t \cdot n \cdot f_M = \Delta t \cdot n \cdot \frac{1}{T_0}$$

Also:

$$\Delta t = \frac{T_0 \cdot z}{n}, \quad \Delta\varphi = \frac{2\pi \cdot z}{n}$$

\Rightarrow **n bestimmt die Auflösung der Messung.**
Beispiel: Auflösung = 0,1°,
n = 3600.