

Um Platz zu sparen, wurde in der 8. Auflage des Messtechnik-Buches der  $u/t$ -Einrampen-umsetzer ( $u/t$ -Impulsbreitenumsetzer, Spannung/Zeit-Umsetzer, single slope converter) weggelassen. Diese Änderung wurde teilweise beanstandet, da der Abschnitt über den Einrampen-Umsetzer auf den Zweirampen-Umsetzer vorbereitet. Um diesen Bedenken Rechnung zu tragen, ist hier der entsprechende Abschnitt aus der 7. Auflage des Messtechnik-Buches wiedergegeben. Dem interessierten Leser wird empfohlen, sich so mit der Wirkungsweise des technisch noch nicht überholten Einrampen-Umsetzers vertraut zu machen.

#### 6.4 $u/t$ -Einrampenumsetzer (single slope converter)

Das Blockschaltbild des Einrampen-Umsetzers ist in Bild ?? dargestellt.

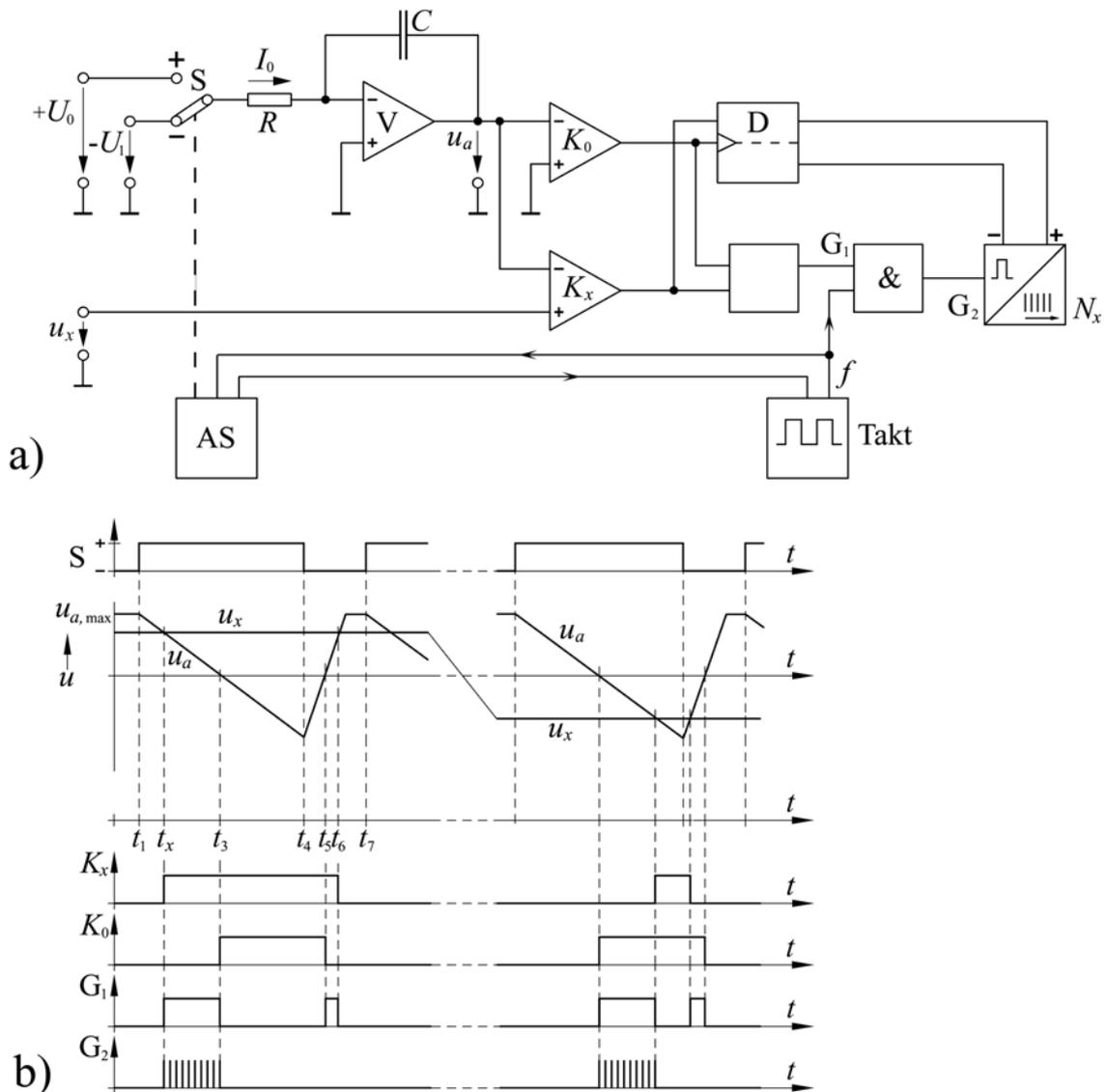


Bild 1: Einrampen-Umsetzer a) Blockschaltbild b) Signale

Die zu messende Spannung  $u_x$  wird in ein Zeitintervall abgebildet. Dazu wird sie in dem Komparator  $K_x$  mit einer linear mit der Zeit sich ändernden Spannung  $u_a$  (Sägezahnspannung) verglichen. Diese wird von dem Operationsverstärker V geliefert, der den konstanten Eingangsstrom  $I_0 = U_0/R$  integriert. Der Komparator  $K_0$  stellt den Nulldurchgang dieser Integrationsausgangsspannung  $u_a$  fest. Die Komparatorsignale gehen auf das Exklusiv-ODER-Gatter, das über die UND-Verknüpfung die von Taktgenerator gelieferten Impulse sperrt oder auf den Zähler gelangen lässt.

Der Umsetzer wird von den aus dem Taktgenerator kommenden, in der Ablaufsteuerung AS verarbeiteten Impulsen gesteuert. Der Schalter S kann entweder eine negative oder positive konstante Spannung an den Integrationsverstärker legen. In dem im Bild ?? gezeichneten Anfangszustand fließt zunächst ein negativer Eingangsstrom, so dass der Integrationsverstärker seine positive Sättigungsspannung  $u_{a,\max}$  erreicht hat. Zum Zeitpunkt  $t_1$  wird der Schalter S mit der positiven Spannung  $U_0$  verbunden. Der positive Eingangsstrom führt zu einer Abnahme der Integrationsausgangsspannung  $u_a$ . Zum Zeitpunkt  $t_x$  hat diese den Wert von  $u_x$  erreicht. Der Komparator  $K_x$  schaltet. Zum Zeitpunkt  $t_3$  wird die Integrationsausgangsspannung  $u_a$  negativ und der Komparator  $K_0$  ändert sein Ausgangssignal. Die Abintegration wird solange weitergeführt, bis die Ausgangsspannung des Integrationsverstärkers zur Zeit  $t_4$  mit Sicherheit ihren negativen Sättigungswert erreicht hat. Dann wird der Schalter S wieder an die negative Spannung  $-U_1$  gelegt. Es fließt ein negativer Eingangsstrom. Die Integrationsausgangsspannung nimmt zu, und zum Zeitpunkt  $t_7$  ist der Umsetzer bereit für eine neue Messung.

Das die zu messende Spannung  $u_x$  abbildende Zeitintervall ergibt sich als Differenz der beiden Komparatorschaltpunkte. Für diese Zeit  $t_3 - t_x$  führt der Ausgang des Exklusiv-ODER-Gatters das Signal 1, das UND-Gatter ist geöffnet und die Impulse des Taktgebers werden im Zähler erfasst. Der Zählerstand  $N_x$  ist ein Maß für die Höhe der umgesetzten Spannung. Durch zusätzliche Maßnahmen ist dafür gesorgt, dass während der Rücklaufzeit der Integrationsausgangsspannung der Zähler gesperrt, das Zeitintervall  $t_6 - t_5$  also nicht ausgewertet wird.

Ist eine negative Spannung  $u_x$  zu messen, so wird zunächst der Nullkomparator  $K_0$  und dann der Messkomparator  $K_x$  schalten. Das entsprechende Zeitintervall ist wieder proportional der umzusetzenden Spannung.

Um die Polarität der Eingangsspannung angeben zu können, gehen die Komparatorsignale auf das D-Flipflop. Dieses schaltet bei der ansteigenden Flanke des  $K_0$ -Signals. Im Falle einer positiven Eingangsspannung  $u_x$  liegt zu diesem Zeitpunkt am D-Eingang ein 1-Signal, bei einer negativen Spannung ein 0-Signal. Die unterschiedlichen Eingangssignale führen zu unterschiedlichen Ausgangssignalen. Damit kann das Vorzeichen der gemessenen Spannung an den Zähler gemeldet und dort angezeigt werden (Polaritätslogik).

Nach dieser allgemeinen Erklärung soll nun der quantitative Zusammenhang zwischen der zu messenden Spannung  $u_x$  und dem Zählerstand  $N_x$  abgeleitet werden. Zum Zeitpunkt  $t_1$  hat die Integrationsausgangsspannung  $u_a$  ihren positiven Sättigungswert  $u_{a,\max}$ . Für die Zeit  $t_1 \leq t \leq t_4$  gilt mit  $t_1 = 0$

$$u_a(t) = u_{a,\max} - \frac{1}{RC} \int_0^t U_0 dt = u_{a,\max} - \frac{U_0 t}{RC}. \quad (1)$$

Zum Zeitpunkt  $t_3$  ist  $u_a(t_3) = 0$ . Daraus folgt

$$u_{a, \max} = \frac{U_0 t_3}{RC}. \quad (2)$$

Zum Zeitpunkt  $t_x$  sind die Integrationsausgangsspannung  $u_a$  und die zu messende Spannung  $u_x$  gleich,

$$u_a(t_x) = u_x = u_{a, \max} - \frac{U_0 t_x}{RC} = \frac{U_0}{RC}(t_3 - t_x). \quad (3)$$

Das Zeitintervall  $t_3 - t_x$  ist also proportional der zu messenden Spannung  $u_x$ . Ist  $f$  die Frequenz des Taktgenerators, so werden in dem Zeitintervall insgesamt  $N_x$  Impulse gezählt mit  $N_x = (t_3 - t_x) f$ . Wird diese Beziehung in Gl. (??) eingeführt, ergibt sich

$$N_x = \frac{f RC}{U_0} u_x. \quad (4)$$

Die bekannten Größen  $f$ ,  $R$ ,  $C$  und  $U_0$  lassen sich zu der Konstanten  $K = (f RC) / U_0$  zusammenfassen, so dass als Ergebnis schließlich

$$N_x = K u_x \quad (5)$$

erhalten wird. Der Zählerstand  $N_x$  ist also ein Maß für den Augenblickswert der zu messenden Spannung  $u_x$ . Ändern sich die in der Konstanten zusammengefassten Größen, so kommen damit Unsicherheiten und Fehler in das Messergebnis.

Soll die größte zu messende Spannung auf drei Stellen genau angegeben werden, so ist der Messbereich in 999 Schritte einzuteilen. Die das Messsignal kennzeichnende duale Zahl benötigt also 10 Stellen ( $2^{10} = 1024$ ). Bei einer Frequenz  $f$  des Taktgenerators von 1 MHz sind 1000 Impulse nach

$$t_3 - t_x = \frac{N_x}{f} = \frac{1000}{10^6 \text{ s}^{-1}} = 10^{-3} \text{ s} \quad (6)$$

gezählt. Die eigentliche Messzeit beträgt also 1 ms, wobei noch die Zeiten für die Rücksetzung des Integrators und für die Steuerung hinzukommen. Bei der angegebenen Frequenz des Taktgenerators lassen sich also pro Sekunde ungefähr 500 Messwerte als 10 Bit Dualzahlen darstellen.

⌋ \* ⌋