

10 Analog-Digital-Wandler

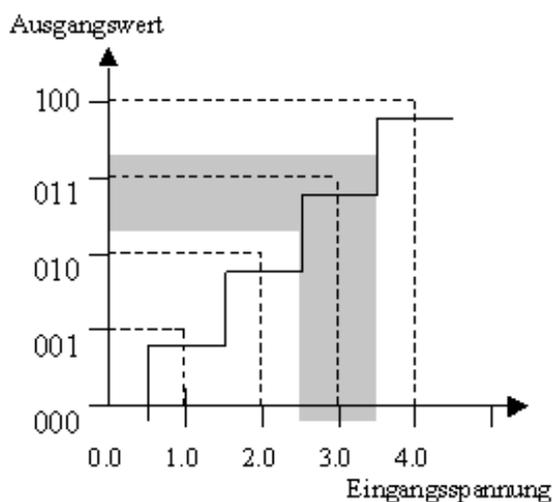
Inhalt:

10	ANALOG-DIGITAL-WANDLER.....	1
10.1	EINFÜHRUNG	1
10.2	EIGENSCHAFTEN VON AD-WANDLERN.....	2
10.2.1	Auflösung und Genauigkeit.....	2
10.2.2	Geschwindigkeit.....	3
10.2.3	Preis.....	3
10.2.4	Weitere Eigenschaften:	3
10.3	DIE VERFAHREN	4
10.3.1	Das Parallelverfahren (Flash – Wandler).....	5
10.3.2	Das Zählverfahren (single Slope).....	6
10.3.3	Das Wägeverfahren (sukzessive Approximation).....	7
10.3.4	Spannungs-Frequenz-Wandler.....	8
10.3.5	Single-Slope-Verfahren.....	8
10.3.6	Dual-Slope-Verfahren.....	9
10.4	AUFGABEN	10
10.5	FEHLER.....	16
10.5.1	Quantisierungsfehler:	16
10.5.2	Verstärkungsfehler.....	16
10.5.3	Offsetfehler.....	16
10.5.4	Linearitätsfehler.....	16
10.5.5	Missing Codes.....	16
10.5.6	Weitere Fehler.....	16
10.6	BEISPIEL EINES A/D-WANDLERS	18
10.7	ÜBUNG	20

10.1 Einführung

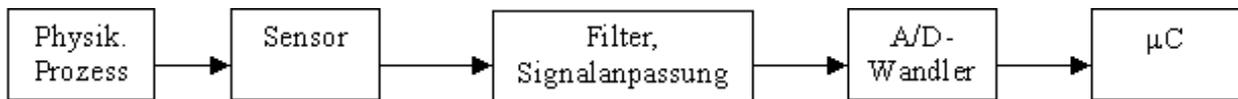
Was tut ein A/D-Wandler? => Er wandelt eine Spannung in eine dazu proportionale Zahl (wer hätte das gedacht ?).

Beispiel mit 3 Bit, 0 - 8V. Der Bereich um 3V (2.5V - 3.5V) ist grau schraffiert. Er entspricht dem Wert 011.



Eingangsspannung	Ausgangswert
0 V ... ≤ 0.5 V	000
> 0.5 V ... ≤ 1.5 V	001
> 1.5 V ... ≤ 2.5 V	010
> 2.5 V ... ≤ 3.5 V	011
> 3.5 V ... ≤ 4.5 V	100
> 4.5 V ... ≤ 5.5 V	101
...	...

Wo trifft man auf A/D-Wandler? => Überall dort, wo man Spannungen digital verarbeiten will, z.B. beim Messen von physikalischen Grössen. Schematisch sieht das wie folgt aus:



Sensor: z.B. Temperatursensor, Drucksensor, Durchflusssensor für Gase

Filter, Signalanpassung: z.B. Filter gegen verrauschte Signale, Bandbreite begrenzen, Spannungsbegrenzung, Spannungsverstärkung, ev. Linearisierung der Sensorkennlinie.

10.2 Eigenschaften von AD-Wandlern

Die wichtigsten Eigenschaften sind:

- Genauigkeit
- Geschwindigkeit (Abtastrate)
- Preis

10.2.1 Auflösung und Genauigkeit

Die **Auflösung** eines A/D-Wandlers sind die Anzahl Bits, die er am Ausgang liefert.

Auflösung (Anzahl Bits)	Spannungs- stufen	%
8	256	0.391
12	4096	0.024
16	65536	0.0015
3 ½	1999	0.05

Wichtig: Die Genauigkeit wird zwar hauptsächlich durch die Auflösung bestimmt, ist aber nicht gleich der Auflösung! Die **Genauigkeit** eines Wandlers wird durch die Auflösung und die Summe aller Fehler bestimmt.

10.2.2 Geschwindigkeit

Die Abtastrate (Abtastfrequenz) ist die Anzahl Messungen pro Sekunde. Sie wird vor allem durch das verwendete Wandlerverfahren bestimmt. Flash-Wandler sind die Schnellsten. Sie erreichen bis 750 MS/Sekunde (Mega-Samples) bei 8 Bit Auflösung.

10.2.3 Preis

Wird unter anderem durch die Stückzahl und die zusätzlich benötigten Komponenten bestimmt.

10.2.4 Weitere Eigenschaften:

Speisung	<ul style="list-style-type: none"> • Oft nur eine Speisespannung benötigt; im Idealfall +5V oder +12V. • Zulässige Toleranzen der Speisespannung • Leistungsverbrauch
Power Supply Rejection	<ul style="list-style-type: none"> • Auswirkungen von Speisespannungs-Schwankungen auf das Wandlerergebnis
Referenzspannung	<ul style="list-style-type: none"> • Intern; d.h. bereits eingebaut • extern, d.h. benötigt zusätzliche Komponenten
Eingang	<ul style="list-style-type: none"> • Unipolar: Nur positive Spannungen gegenüber Masse. • Bipolar: Auch Messen von negativen Spannungen und Spannungsdifferenzen erlaubt möglich. • Anzahl Eingänge. Durch einen Multiplexer am Eingang können mehrere Eingänge auf den Wandler geschaltet werden. • Eingangskapazität (z.B. 10 pF)
Ausgangs-Interface	<ul style="list-style-type: none"> • Seriell (und meistens synchron) • Parallel. Meistens so, dass es direkt an alle uP's angeschlossen werden kann.
Ausgangspegel	TTL, CMOS. Bei schnellen Flash-Wandlern zum Teil ECL (Emitter Coupled Logic)
Ausgangs-Codierung	<ul style="list-style-type: none"> • Meistens im dualen Zahlensystem, d.h. mit 8 Bit gibt es 256 Spannungs-Stufen. Seltener BCD-Codierung oder Gray-Codierung. • Negative Spannungen werden im 2-er Komplement, mit Vorzeichen und Betrag oder mit einem Offset dargestellt

Ausgangscodierung

Wert	Binär-Code	Gray-Code	BCD-Code	Vorzeichen + Betrag	Offset Binär	Zweier-Komplement
15	1111	1000	0001 0101	0 1111	11111	01111
...						
3	0011	0010	0000 0011	0 0011	10011	00011
2	0010	0011	0000 0010	0 0010	10010	00010
1	0001	0001	0000 0001	0 0001	10001	00001
0	0000	0000	0000 0000	0 0000	10000	00000
-0				1 0000	10000	00000
-1				1 0001	01111	11111
-2				1 0010	01110	11110
-3				1 0011	01101	11101
...						
-15				1 1111	00001	10001
-16					00000	10000

- **Gray-Code:** Bei jedem Übergang wechselt nur eine Stelle.
- **BCD-Code (Binary Coded Decimals):** Für jede Ziffer werden 4 Bits verwendet. Dadurch nur Ziffern von 0..9.
- **Vorzeichen + Betrag:** 2 Darstellungen für die Null! Positive Zahlen sind gleich wie im Binär-Code.
- **Zweier-Komplement:** Positive Zahlen gleich wie im Binär-Code. Negative Zahlen sind durch eine führende 1 erkennbar. Immer aufsteigend; von -1 nach 0 denkt man sich einen Übertrag.

10.3 Die Verfahren

Ziel:

- schnell
- genau
- billig
- kleiner Aufwand (wenige externe Bauteile, kleiner Verbrauch, wenig Platz)

Prinzipiell unterscheidet man 2 Klassen von A/D-Verfahren: Direkte und indirekte. Bei den indirekten Verfahren wird nicht die Eingangsspannung selbst gemessen oder verglichen, sondern eine zur Eingangsspannung proportionale Größe.

Direkte Verfahren

- **Parallelverfahren**
- **Wägeverfahren**
- **Zählverfahren**

Indirekte Verfahren:

- **Spannungs-Frequenz-Wandler**
- **Single-Slope-Verfahren**
- **Dual-Slope-Verfahren**
-

10.3.1 Das Parallelverfahren (Flash – Wandler)

Dieser Wandler liefert bei jedem Takt am Ausgang einen neuen Wert.

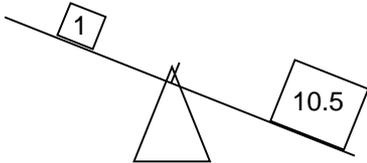
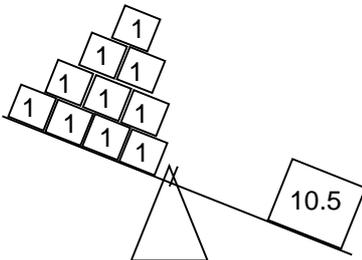
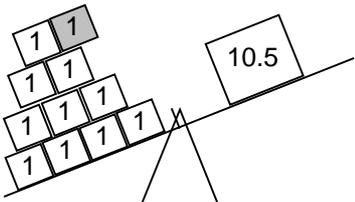
Ein Flash-Wandler enthält typisch für jede Spannungsstufe einen Komparator. Jeder Komparator vergleicht die Eingangsspannung mit seiner Spannungsstufe und schaltet am Ausgang auf "1", wenn die Eingangsspannung grösser ist. Nach den Komparatoren folgt ein Paritäts-Decoder, um das korrekte Ausgangssignal zu erzeugen.

Ein 8-Bit Flash Converter hat z.B. 256 Quantisierungsstufen und benötigt 255 Komparatoren. Der nachfolgende Paritäts-Decoder muss aus den 256 Eingangssignalen das 8-Bit - Ausgangssignal erzeugen.

Diese Wandler sind sehr schnell, bis einige hundert MHz. Der Aufwand ist jedoch sehr gross. Die Hauptanwendungen sind Bildverarbeitung, Video und Radar.

Das Zählverfahren (single Slope)

Beim Zählverfahren werden solange gleiche Gewichte auf die linke Seite der Waage gelegt, bis die Waage kippt. Dann zählt man, wie viele Gewichte sich auf der linken Seite befinden.

	<p>Ein Gewicht ist zuwenig. Die rechte Seite (Eingangsspannung) ist also grösser als 1 Gewicht (als 1 Volt).</p>
	<p>Zehn Gewichte sind immer noch zuwenig. Die rechte Seite (Eingangsspannung) ist also grösser als 10 Gewichte (als 10 Volt).</p>
	<p>Elf Gewichte sind mehr als das zu messende Gewicht (als die Eingangsspannung). Die Eingangsspannung liegt also zwischen 10 und 11 Volt.</p>

Die linke Seite entspricht der Referenzspannung, die rechte der zu messenden Spannung. In der Praxis erzeugt man die "Gewichte" der linken Seite mit einem Sägezahngenerator oder mit einem digitalen Aufwärtszähler und einem Digital/Analogwandler. Als "Waage" dient ein Komparator, der schaltet, sobald die Sägezahnspannung grösser ist als die zu messende Spannung.

Das Zählverfahren ist sehr langsam, dafür ist auch die Schaltung relativ einfach. Der Hauptvorteil dieser Schaltung ist jedoch, dass sie gut Abgeglichen werden kann. Dadurch erreicht man **sehr hohe Auflösungen** von über 20 Bit.

Das Wägeverfahren (sukzessive Approximation)

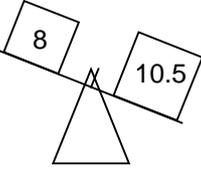
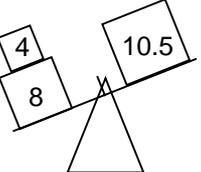
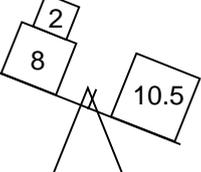
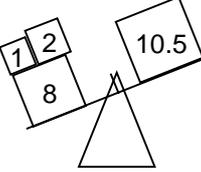
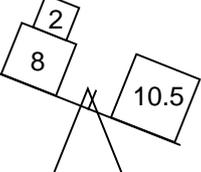
Im Gegensatz zum Zählverfahren sind hier die Gewichte Zweierpotenzen (1, 2, 4, 8, 16, 32V)

Vorgehen:

1. Man legt das schwerste Gewicht auf die linke Seite.
2. Wenn die Waage kippt, dann nimmt man es wieder weg.
3. Wenn Sie nicht kippt, dann lässt man das Gewicht.
4. Wenn noch weitere Gewichte da sind, dann lege das nächst leichtere Gewicht auf die linke Seite und gehe zu 2.

Dieses Verfahren ist sehr verbreitet. Es ist schneller als das Wägeverfahren und benötigt bedeutend weniger Aufwand als der Flash-Wandler.

Beispiel:

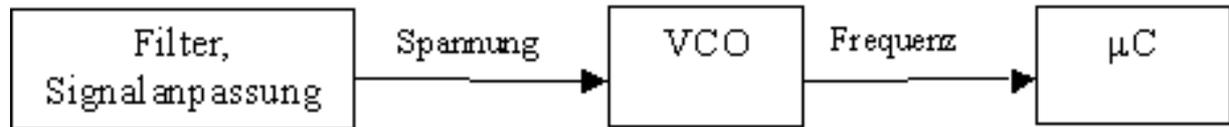
	<p>Wir beginnen mit dem schwersten Gewicht (8). Die Waage kippt nicht, also lässt man es drauf.</p>
	<p>4 ist das nächst-leichtere Gewicht. Die Waage kippt, also nimmt man die 4 wieder weg.</p>
	<p>2 ist das nächst leichtere Gewicht. Die Waage kippt nicht, also lässt man die 2 stehen</p>
	<p>Mit dem zusätzlichen 1 kg - Gewicht kippt die Waage wieder, also nimmt man es wieder weg.</p>
	<p>Am Schluss weiss man, dass das zu messende Gewicht zwischen 10 und 11 kg schwer ist. Der Ausgangswert ist 10.</p>

Die linke Seite entspricht der Referenzspannung, die rechte der zu messenden Spannung. Als "Waage" dient wiederum ein Komparator, der schaltet, sobald die Referenzspannung grösser ist als die zu messende Spannung.

Diese Verfahren entspricht einer binären Suche. Jedesmal wird der Bereich, in dem sich das Gewicht befinden könnte, halbiert.

10.3.4 Spannungs-Frequenz-Wandler

Dies ist ein indirektes Verfahren. Ein spannungsgesteuerter Oszillator (VCO) erzeugt eine Frequenz, die zur Eingangsspannung proportional ist. Der uP misst dann die Frequenz.



10.3.5 Single-Slope-Verfahren

Das Single-Slope-Verfahren ist eine Art Zählverfahren. Der Vorteil gegenüber dem Zählverfahren ist, dass man keinen DA-Wandler benötigt. Das Prinzip beruht darauf, dass man nicht die Eingangsspannung misst, sondern eine dazu proportionale Zeit. Es ist also ebenfalls ein indirektes Verfahren.

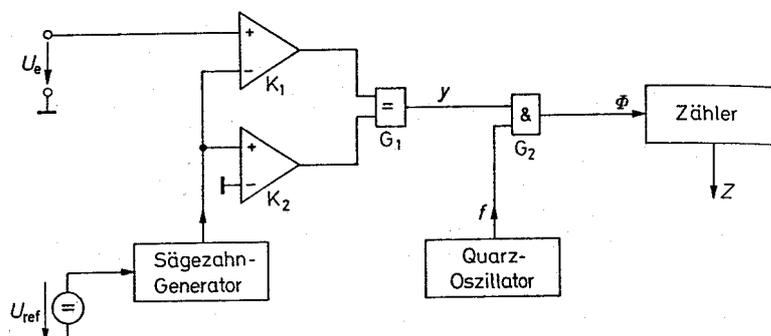
Der Ausgang des EXOR's ist so lange HIGH, wie sich die Sägezahnspannung zwischen den Schranken 0V und U_e befindet. Die Zeit beträgt

$$\Delta t = U_e \cdot \frac{\tau}{U_{ref}}$$

Die Zeit wird mit einem Zähler gemessen. Der Zählstand Z beträgt dann:

$$Z = U_e \cdot f \cdot \frac{\tau}{U_{ref}}$$

wobei τ/U_{ref} "Flankensteilheit" des Sägezahngenerators
 f Taktfrequenz des Zählers



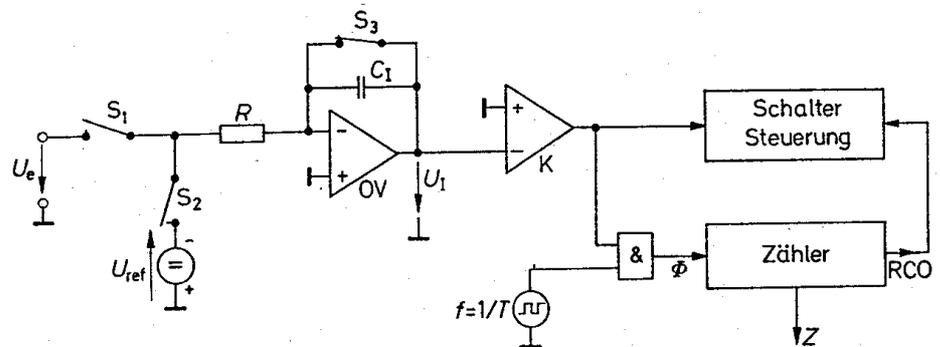
Wie man an der Formel sieht, geht die Zeitkonstante τ voll in die Messgenauigkeit ein. Da τ meistens durch ein RC-Glied bestimmt wird, ist τ temperatur- und alterungsabhängig. Genauigkeiten unter 0.1% sind daher mit diesem Verfahren kaum möglich.

10.3.6

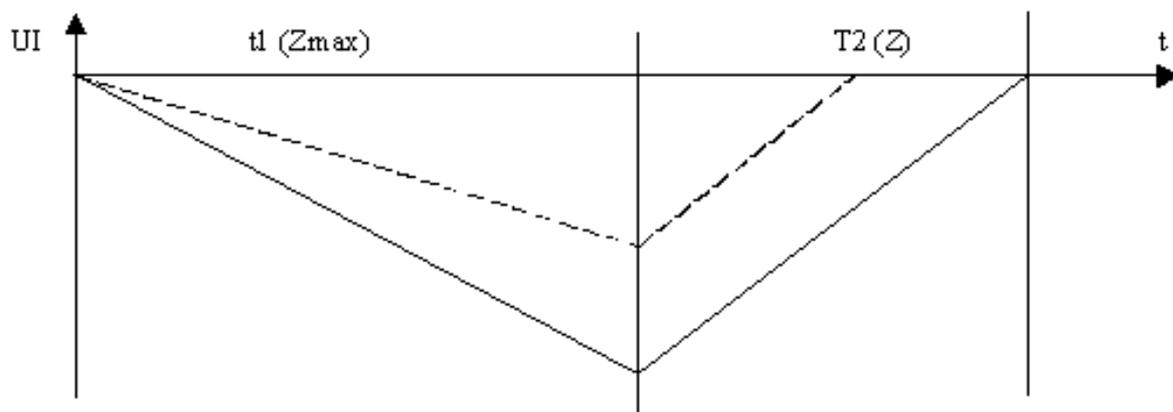
Dual-Slope-Verfahren

Im Ruhezustand ist S3 geschlossen. Der Kondensator ist sicher entladen.

In der ersten Phase wird der Kondensator während einer festen Zeit mit der Eingangsspannung geladen. Die Zeit entspricht meistens dem maximalen Zählerwert Z_{\max} . S1 ist geschlossen, S2 und S3 sind offen.



In der zweiten Phase wird der Kondensator mit der entgegengesetzt gepolten Referenzspannung wieder entladen. (S1 und S3 offen, S2 geschlossen). Dabei wird mit einem Zähler die Zeit gemessen, bis der Kondensator wieder vollständig entladen ist. Diese Zeit (Z) ist proportional zur Eingangsspannung.



Der Zählerstand berechnet sich wie folgt:

$$Z = (Z_{\max} + 1) \cdot \frac{U_e}{U_{ref}}$$

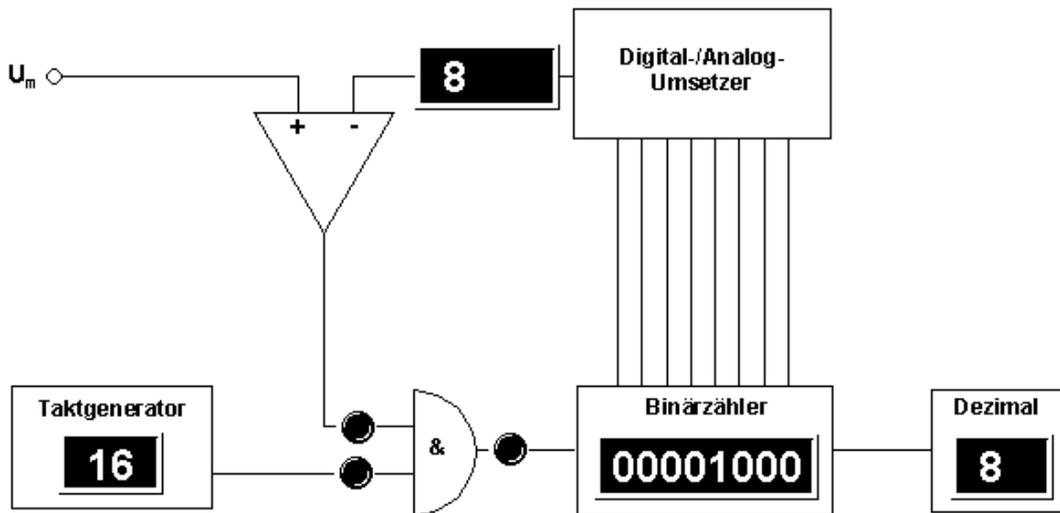
Wie man sieht, fallen die Zeitkonstante τ und die Taktfrequenz f heraus. Man muss lediglich fordern, dass τ und f während der Wandlungszeit konstant sind. Dies ist leicht möglich, daher erreicht man Genauigkeiten bis 0.01%.

Ausserdem ist dieses Verfahren robust gegenüber Störungen wie Rauschen. Es wird daher häufig in Digitalvoltmetern eingesetzt. Als Zähler kann man auch einen BCD-Zähler nehmen, dann muss man den Messwert nicht noch dual/dezimal wandeln.

10.4 Aufgaben

Bearbeiten Sie jeweils in Zweier- oder Dreiergruppen eine der folgenden Schaltungen. Sie haben dazu ca. 10 Minuten Zeit. Jemand aus Ihrer Gruppe soll die Resultate nachher den anderen Schülern kurz am Hellraumprojektor vorstellen (5 Minuten).

Schaltung 1:



Nach welchem Prinzip funktioniert diese Schaltung ?

Erklären Sie kurz, wie die Schaltung funktioniert!

Ist der erhaltene Wert zu hoch oder zu tief? _____

Warum? _____

Ist die Wandlungszeit konstant für alle Spannungswerte? _____

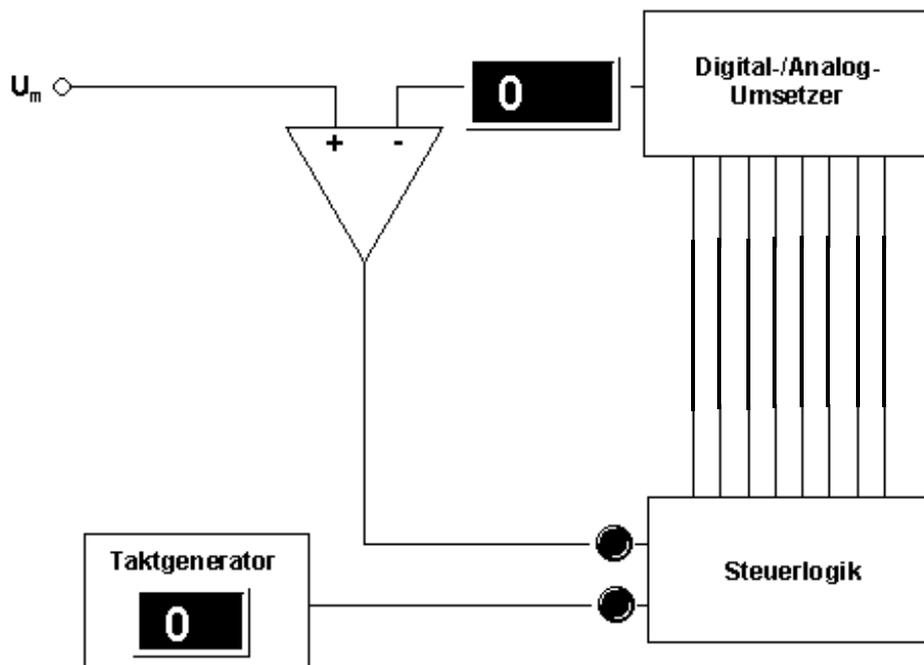
Wenn nein, wieviele Takte dauert die Wandlung dann im schlechtesten Fall? _____

Was kann man verbessern, wenn Sie als Zähler einen Up/Down-Zähler verwenden?
(Annahme: Das Signal ändert nur langsam).

Was ist der Nachteil dieser Lösung, z.B. wenn das Eingangssignal konstant bleibt?

Wie könnte man diesen Effekt beheben?

Schaltung 2 (Sukzessive Approximation):



Zeichnen Sie im nachfolgenden Diagramm den Verlauf des D/A-Ausgangs auf. Die Eingangsspannung betrage 20. Nehmen Sie an, die Auflösung des Wandlers betrage 5-Bit, d.h. es sind Schritte von 16, 8, 4, 2 und 1 Volt möglich.

Erklären Sie Ihren Mitschülern die Funktionsweise der Schaltung.

Ist die Wandlungszeit konstant für alle Spannungswerte? _____

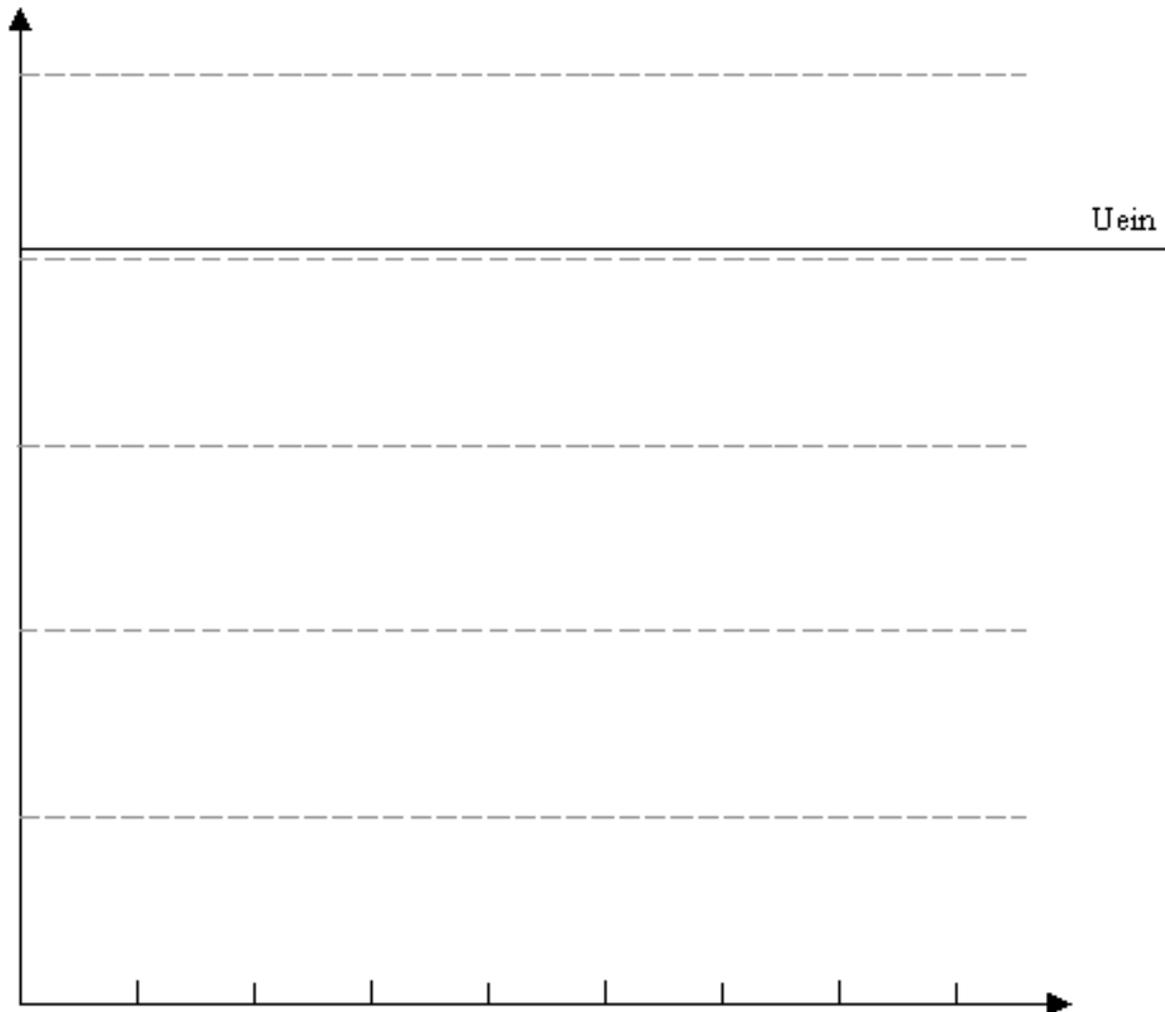
Wieviele Takte dauert die Wandlung (im schlechtesten Fall)? _____

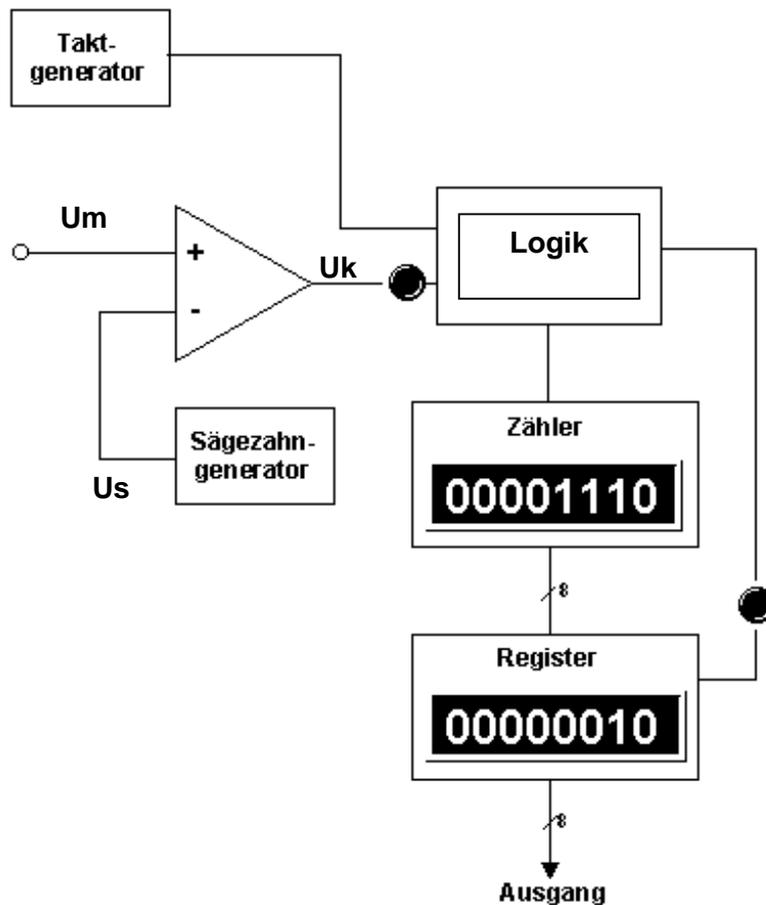
Was für einen Einfluss hat das Rauschen des Eingangssignals?

Was bewirkt eine Änderung des Eingangssignals während dem Wandeln?

Was könnte man dagegen unternehmen?

Spannungsdiagramm



Schaltung 3:

Nach welchem Prinzip funktioniert diese Schaltung ?

Zeichnen Sie im nachfolgenden Diagramm die Verläufe der Spannungen U_s und U_k auf. Nehmen Sie für U_m und für die Flankensteilheit von U_s vernünftige Werte an.

Erklären Sie die Funktionsweise der Schaltung.

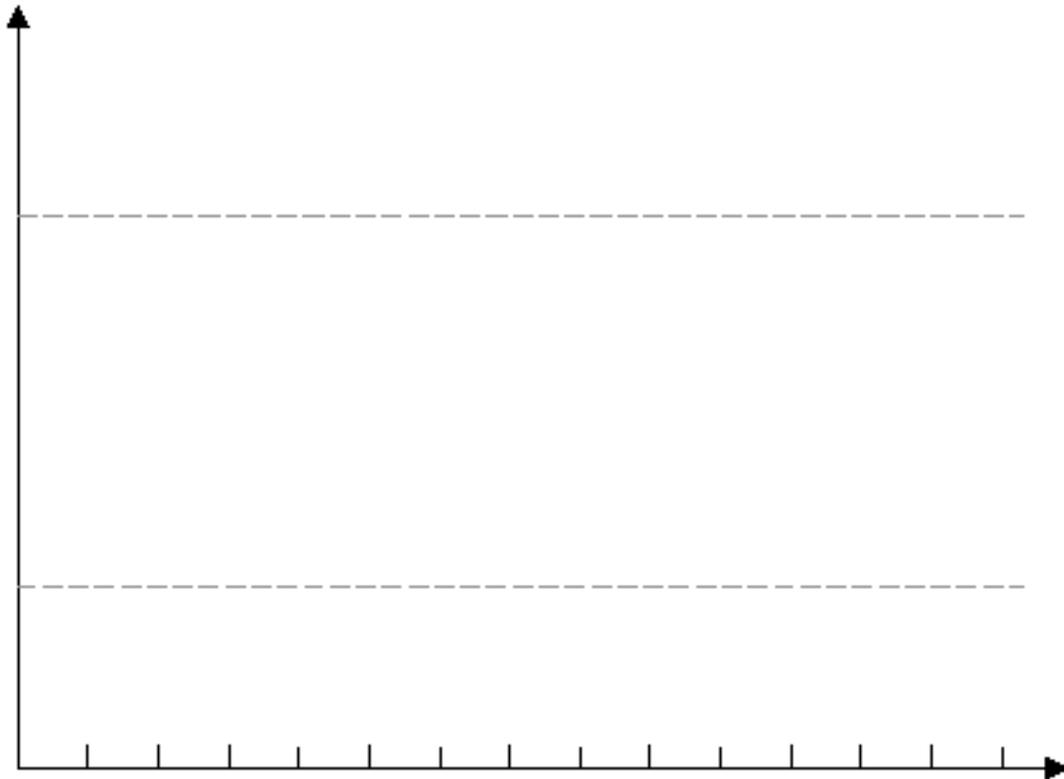
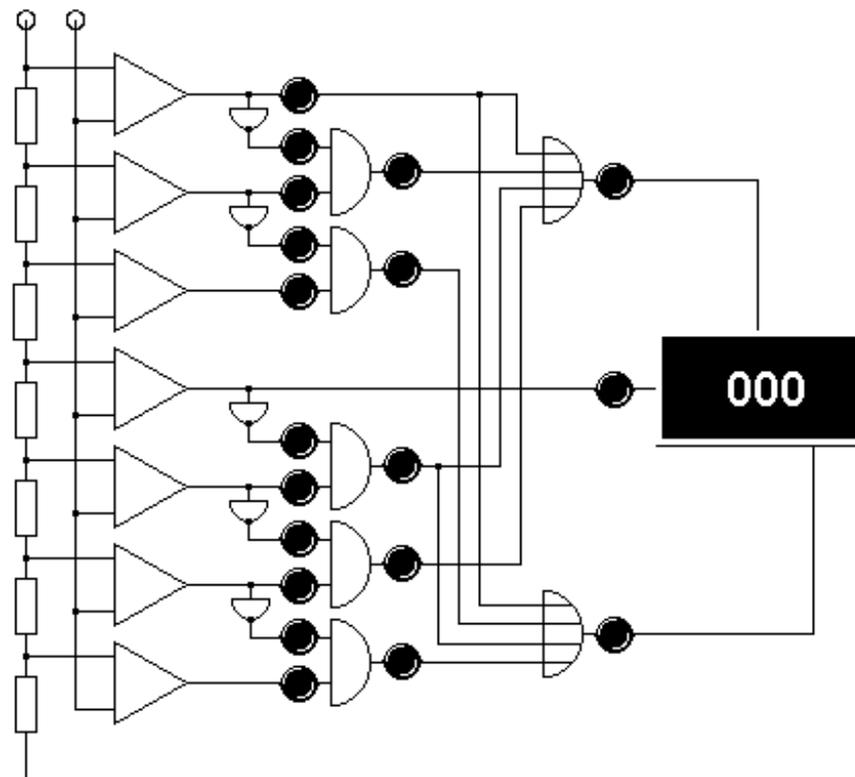
Ist der erhaltene Wert zu hoch oder zu tief? _____

Warum? _____

Ist die Wandlungszeit konstant für alle Spannungswerte? _____

Wenn nein, wieviele Takte dauert die Wandlung dann im schlechtesten Fall? _____

Was bewirkt eine Änderung des Eingangssignals während dem Wandeln?

**Schaltung 4: (Flash - Wandler)**

Nach welchem Prinzip funktioniert diese Schaltung ?

Vervollständigen Sie die Werte der Widerstände und die Vorzeichen der Komparatoren, ohne im Skript nachzuschauen. Erklären Sie, warum Sie die Widerstände so gewählt haben. Beschriften Sie die Spanneingänge mit U_e und U_{ref} . Den Decoder müssen Sie nicht verstehen.

Was für einen Einfluss hat das Rauschen des Eingangssignals?

Was bewirkt eine Änderung des Eingangssignals während dem Wandeln?

Für einen 20-Bit-Wandler benötigen Sie 2^{20} Komparatoren. Versuchen Sie, mit zwei 10-Bit-A/D-Wandlern und ein paar weiteren Zutaten einen sogenannten Kaskadenumsetzer zu bauen. Dieser benötigt dann nur 2^{11} Komparatoren, also etwas 0.2% der konventionellen Lösung.

Wie lange dauert die Wandlung mit dem Kaskadenumsetzer ?

10.5 Fehler

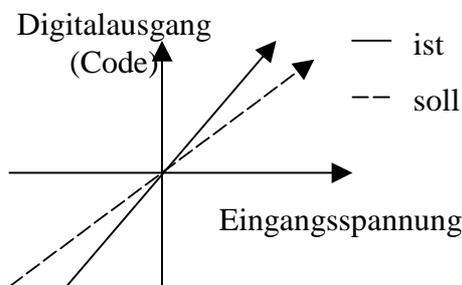
10.5.1 Quantisierungsfehler:

Der Quantisierungsfehler ist ein systembedingter Fehler von $1/2$ LSB "Unsicherheit". Er äussert sich als Rauschen.

10.1.1

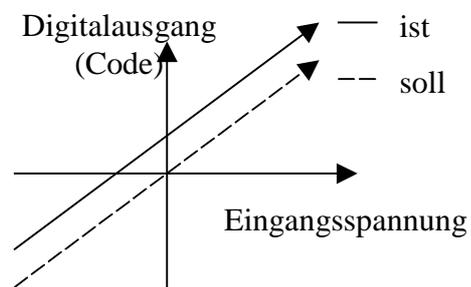
10.5.2 Verstärkungsfehler

Der Verstärkungsfehler (Gain Error) beeinflusst die Steilheit der Kurve. Dieser Fehler kann der Hersteller durch Abgleichen kompensieren.



10.5.3 Offsetfehler

Der Offsetfehler lässt sich ebenfalls durch Abgleichen kompensieren.



10.5.4 Linearitätsfehler

Der Linearitätsfehler ist die Abweichung von der Geraden. Linearitätsfehler lassen sich nicht abgleichen. Man unterscheidet zwischen dynamischer und integraler Nichtlinearität (siehe Skizze).

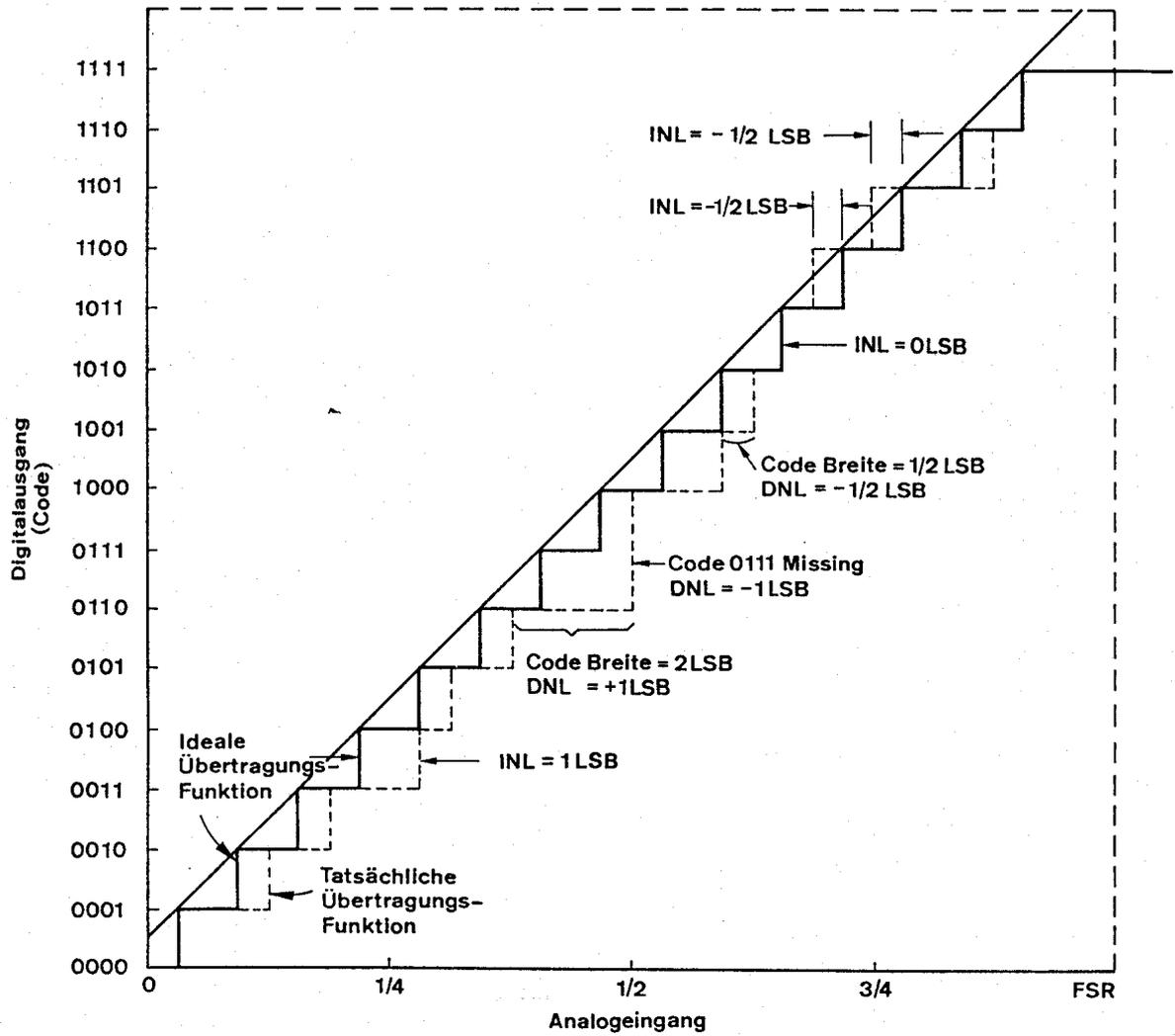
- **Dynamische Nichtlinearität:** Abweichung **einer einzelnen** Codebreite von der idealen Codebreite.
- **Integrale Nichtlinearität:** **Aufsummierte** Abweichungen durch die dynamischen Nichtlinearitäten.

10.5.5 Missing Codes

Das sind Codes, die am Ausgang nie vorkommen. In der Skizze kommt z.B. der Code 0111 nie vor. Das kann passieren, wenn z.B. bei einem Flash-Wandler infolge Toleranzen oder Temperaturabhängigkeiten der obere Komparator vor dem unteren schaltet.

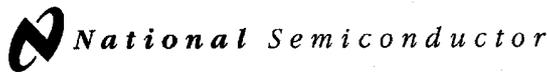
10.5.6 Weitere Fehler

Durch falsche Masseführung oder fehlende Abschirmung können ebenfalls Fehler entstehen. Bei A/D-Wandlern sind die Masse des Analogteils und diejenige des Digitalteils meistens strikt getrennt.



10.6

Beispiel eines A/D-Wandlers



December 1994

**ADC12062
12-Bit, 1 MHz, 75 mW A/D Converter
with Input Multiplexer and Sample/Hold**

General Description

Using an innovative multistep conversion technique, the 12-bit ADC12062 CMOS analog-to-digital converter digitizes signals at a 1 MHz sampling rate while consuming a maximum of only 75 mW on a single +5V supply. The ADC12062 performs a 12-bit conversion in three lower-resolution "flash" conversions, yielding a fast A/D without the cost and power dissipation associated with true flash approaches.

The analog input voltage to the ADC12062 is tracked and held by an internal sampling circuit, allowing high frequency input signals to be accurately digitized without the need for an external sample-and-hold circuit. The multiplexer output is available to the user in order to perform additional external signal processing before the signal is digitized.

When the converter is not digitizing signals, it can be placed in the Standby mode; typical power consumption in this mode is 100 μ W.

Features

- Built-in sample-and-hold
- Single +5V supply
- Single channel or 2 channel multiplexer operation
- Low Power Standby mode

Key Specifications

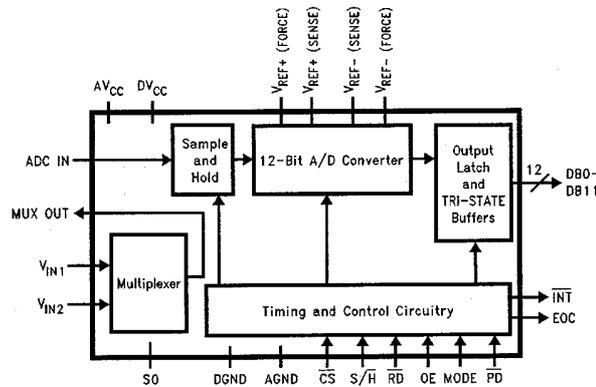
- Sampling rate 1 MHz (min)
- Conversion time 740 ns (typ)
- Signal-to-Noise Ratio, $f_{IN} = 100$ kHz 69.5 dB (min)
- Power dissipation ($f_s = 1$ MHz) 75 mW (max)
- No missing codes over temperature Guaranteed

Applications

- Digital signal processor front ends
- Instrumentation
- Disk drives
- Mobile telecommunications
- Waveform digitizers

ADC12062 12-Bit, 1 MHz, 75 mW A/D Converter with Input Multiplexer and Sample/Hold

Block Diagram



TL/H/11490-1

Ordering Information

Industrial ($-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}$)	Package
ADC12062BIV	V44 Plastic Leaded Chip Carrier
ADC12062BIVF	VGZ44A Plastic Quad Flat Package
ADC12062CIV	V44 Plastic Leaded Chip Carrier
ADC12062CIVF	VGZ44A Plastic Quad Flat Package
ADC12062EVAL	Evaluation Board

TRI-STATE* is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

© 1995 National Semiconductor Corporation TL/H/11490

RRD-B30M75/Printed in U.S.A.

<p>Absolute Maximum Ratings (Notes 1, 2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications. Supply Voltage ($V_{CC} = DV_{CC} = AV_{CC}$) $-0.3V$ to $+6V$ Voltage at Any Input or Output $-0.3V$ to $V_{CC} + 0.3V$ Input Current at Any Pin (Note 3) 25 mA Package Input Current (Note 3) 50 mA Power Dissipation (Note 4) 875 mW ESD Susceptibility (Note 5) 2000V</p>					
<p>Soldering Information (Note 6) V Package, Infrared, 15 seconds $+300^{\circ}C$ VF Package Vapor Phase (60 seconds) $+215^{\circ}C$ Infrared (15 seconds) $+220^{\circ}C$ Storage Temperature Range $-65^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$ Maximum Junction Temperature (T_{JMAX}) $150^{\circ}C$</p>					
<p>Operating Ratings (Notes 1, 2) Temperature Range $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ ADC12062BIV, ADC12062CIV, $-40^{\circ}C \leq T_A \leq +85^{\circ}C$ ADC12062BIVF, ADC12062CIVF Supply Voltage Range ($DV_{CC} = AV_{CC}$) 4.5V to 5.5V</p>					
<p>Converter Characteristics The following specifications apply for $DV_{CC} = AV_{CC} = +5V$, $V_{REF+}(SENSE) = +4.096V$, $V_{REF-}(SENSE) = AGND$, and $f_s = 1$ MHz, unless otherwise specified. Boldface limits apply for $T_A = T_J$ from T_{MIN} to T_{MAX}; all other limits $T_A = T_J = +25^{\circ}C$.</p>					
Symbol	Parameter	Conditions	Typ (Note 7)	Limit (Note 8)	Units (Limit)
	Resolution			12	Bits
	Differential Linearity Error	$T_A = 25^{\circ}C$ T_{MIN} to T_{MAX}	± 0.4	± 0.8 ± 0.95	LSB (max) LSB (max)
	Integral Linearity Error (Note 9)	T_{MIN} to T_{MAX} (BIV Suffix) $T_A = +25^{\circ}C$ (CIV Suffix) T_{MIN} to T_{MAX} (CIV Suffix)	± 0.4 ± 0.4	± 1.0 ± 1.0 ± 1.5	LSB (max) LSB (max) LSB (max)
	Offset Error	T_{MIN} to T_{MAX} (BIV Suffix) $T_A = +25^{\circ}C$ (CIV Suffix) T_{MIN} to T_{MAX} (CIV Suffix)	± 0.3 ± 0.3	± 1.25 ± 1.25 ± 2.0	LSB (max) LSB (max) LSB (max)
	Full Scale Error	T_{MIN} to T_{MAX} (BIV Suffix) $T_A = +25^{\circ}C$ (CIV Suffix) T_{MIN} to T_{MAX} (CIV Suffix)	± 0.2 ± 0.2	± 1.0 ± 1.0 ± 1.5	LSB (max) LSB (max) LSB (max)
	Power Supply Sensitivity (Note 15)	$DV_{CC} = AV_{CC} = 5V \pm 10\%$		± 1.0	LSB (max)
R_{REF}	Reference Resistance		750	500 1000	Ω (min) Ω (max)
$V_{REF(+)}$	$V_{REF+}(SENSE)$ Input Voltage			AV_{CC}	V (max)
$V_{REF(-)}$	$V_{REF-}(SENSE)$ Input Voltage			AGND	V (min)
V_{IN}	Input Voltage Range	To V_{IN1} , V_{IN2} , or ADC IN		$AV_{CC} + 0.05V$ AGND - 0.05V	V (max) V (min)
	ADC IN Input Leakage	AGND to $AV_{CC} - 0.3V$	0.1	3	μA (max)
C_{ADC}	ADC IN Input Capacitance		25		pF
	MUX On-Channel Leakage	AGND to $AV_{CC} - 0.3V$	0.1	3	μA (max)
	MUX Off-Channel Leakage	AGND to $AV_{CC} - 0.3V$	0.1	3	μA (max)
C_{MUX}	Multiplexer Input Cap		7		pF
	MUX Off Isolation	$f_{IN} = 100$ kHz	92		dB

10.7 Übung

Die folgenden Aufgaben können Sie mit Hilfe eines Simulators lösen. Diesen müssen Sie zuerst aus dem Web von folgender Adresse herunterladen:

<http://www.fiz-chemie.de/CGL/PB/>

Gehen Sie weiter auf die Seite der Installationshinweise und laden Sie das gesamte Paket als komprimierte Datei herunter.

Entkomprimieren Sie die Datei simu.zip. Es werden diverse html- und tst- Files sowie das Programm tprun.exe entpackt.

Starten Sie folgende Dateien mit Hilfe des Programms tprun.exe:

- saege.tst
- compare.tst
- treppe.tst
- flash.tst

Untersuchen Sie bei allen Schaltungen folgende Fragen:

- Ist die Wandlungszeit konstant?
- Wenn nein, wie lange dauert die Wandlung bezogen auf die Auflösung?
- Wie reagiert die Schaltung auf Änderungen der Eingangsspannung während dem Wandlungsvorgang?
- In welchen Schaltungen können theoretisch Missing Codes entstehen?