# Digitale Komponenten

## Analog-Digital-Wandler

Bei den A/D-Wandlern gibt es unglaublich viele nicht mehr, oder gerade so verfügbare Bauteile. Offenbar scheinen sich Kunden und Hersteller nicht auf eine Hand voll “Klassiker” einigen zu können. Moderne Modelle haben die Tendenz, zu unangenehmer Bauform und merkwürdigen Spannungen für die Versorgung.

### MCP3201

Der MCP3201 verbindet eine Auflösung von 12 Bit mit 100 kS/s (Kilo-Samples-pro-Sekunde) Abtastrate zu einem vergleichsweise niedrigem Preis. Außerdem kommt er in üblichen Gehäusebauformen. Diese Kombination macht ihn zum Mittel der Wahl bei Mikrocontroller-Projekten, die keine speziellen Ansprüche an Genauigkeit, oder Geschwindigkeit stellen.

- Versorgungsspannung: 2.7 V bis 5 V
- Digitale Schnittstelle: seriell
- Anzahl der Bits: 12
- Geschwindigkeit: 100 kHz bei 5 V-Betrieb. 50 kHz bei 3.3 V.
- Gehäuse: DIP8, SO8
- Beschaffung: Etwa 2.10 € bei den üblichen Verdächtigen Elektronik-Distributoren

### AD922

Der AD9220 setzt eine analoge Spannung in einen 12 Bit umfassenden digitalen Wert um.

- Digitale Schnittstelle: parallel
- Anzahl der Bits: 12
- Signal-zu-Rausch-Verhältnis: 70 dB
- Geschwindigkeit: 10 MS/s
- Gehäuse: SO28
- Beschaffung: Etwa 12 € bei Mouser, Farnell, oder RS
- pinkompatible Alternativen mit anderer Geschwindigkeit sind: AD9221 (1.5 MS/s), AD9223 (3 MS/s), AD9224 (40 MS/s) und AD9225 (25 MS/s)

Nachteile:

- teuer

Der AD922 eignet sich, um Messwerte mit recht hoher Bandbreite und annehmbarer Auflösung zu erfassen. Viel schneller geht es eigentlich nur mit Wandlern, die speziell für Oszilloskope entwickelt wurden. Diese arbeiten intern parallel und brauchen dafür viel Siliziumfläche und sind dadurch gut

zwei Größenordnungen teurer.

### ADS5805

Der ADS5805 bildet einen Spannungsbereich von ±20 V auf immerhin 16 Bit ab. Damit kann er etwa eine Größenordnung kleinere Schwankungen auflösen als die 12-Bit-Wandler. Im Gegenzug ist er etwa eine Größenordnung langsamer.

- Digitale Schnittstelle: parallel
- Signal-zu-Rausch-Verhältnis: 83 dB
- Geschwindigkeit: 0.25 MS/s
- Gehäuse: SO28
- Beschaffung: Etwa 24 € bei Mouser, RS, oder Farnell

Nachteile:

- teuer
- langsam

Eine pinkompatible Alternative, die noch einmal ein Drittel teurer ist, ist der AD976.

## Digital-Analog-Wandler

### TLC7528

Der TLC7528 ist ein Klassiker, der 8 Bit breite Digital-Worte in einen analogen Wert umsetzt.

- Versorgungsspannung: maximal 16.5 V
- Digitaler Eingang: 8 Bit parallel
- Analoger Ausgang: kann 100 Ω treiben
- Zwei alternativ ansteuerbare Ausgänge
- Einstellzeit: 0.1 µs
- Gehäuse SO20-wide, DIP20, TSSOP20 und PLCC20
- Beschaffung bei Reichelt und TME für etwa 1 €/Stck
- pin-kompatible Alternativen sind AD7528 und PM7528

Nachteile:

- Benötigt am digitalen Eingang einen TTL-Pegel mit 5 V. Man braucht also eine Pegelanpassung um ihn an Prozessoren, oder FPGAs anschließen, die mit einem Pegel von 3.3 V oder weniger arbeiten.

Der direkte Zugang zum Referenz-Eingang erlaubt einige interessante Anwendungen, wie die Beschaltung als analoge Multiplikator, oder als digital einstellbarer Filter, digital einstellbarer Fenster-

Detektor. Siehe dazu das Datenblatt von Texas Instruments

## MCP4921

Der MCP4921 ist mit 12 Bit schon ein Stück genauer und vor allem schneller als die DA-Ausgänge, die die meisten Mikrocontroller direkt integriert haben. Da er in der Maker-Szene recht beliebt finden sich im Internet reichlich erprobte Programmierbeispiele für den ATMega.

- Versorgungsspannung: zwischen 2.7 V und 5.5 V
- Digitaler Eingang: 12 bit seriell (SPI)
- Analoger Ausgang: kann 100 Ω treiben, rail-to-rail
- Einstellzeit: 4.5 µs
- Anstiegsrate: 0.55 V/µs
- Gehäuse: DIP8, SO8, MSOP8
- Beschaffung bei den üblichen Verdächtigen für etwa 2 €

Auch dieser Baustein kann als Multiplikator betrieben werden. In dem Fall liegt die analoge Bandbreite bei etwa 450 kHz.

## MCP4726

Der MCP4726 wird seriell mit dem I2C-Protokoll angesteuert. Das hat den Vorteil, dass man mehrere Wandler hintereinander an denselben Bus hängen kann.

- Versorgungsspannung: 2.7 V bis 5 V
- Digitale Schnittstelle: seriell (I2C)
- Analoger Ausgang: rail-to-rail
- Anzahl der Bits: 12
- Einstellzeit: 10 µs
- Anstiegsrate: 0.55 V/µs
- Gehäuse: SOT23-6, DFN-6
- Beschaffung: Etwa 1 € bei den üblichen verdächtigen Elektronik-Distributoren

## AD5662

Der AD5662 eignet sich mit 16 Bit Auflösung für Anwendungen, deren Ausgang besonders genau gesetzt werden soll.

- digitale Versorgung: zwischen 2.7 V und 5.5 V
- digitaler Eingang: 16 Bit seriell
- analoger Ausgang: kann 100 Ω treiben, rail-to-rail
- definierter Zustand direkt nach dem Einschalten
- Einstellzeit: 10 µs

- Gehäuse SOT23-8, oder MSOP-8
- Beschaffung bei RS, oder Mouser für 3 bis 6 €/Stck

Nachteile:

- Gehäuse mit 0.65 mm Pin-Abstand
- maximale Ausgangsspannung knapp 5 V
- Nicht der allerschnellste

### AD588

Der AD588

- digitale Versorgung: zwischen 2.7 V und 5.5 V
- analoge Versorgung: maximal 16.5 V
- digitaler Eingang: 8 Bit parallel
- analoger Ausgang: maximal 10 V, kann ins negative gezogen werden, kann 5 mA versenken
- definierter Zustand direkt nach dem Einschalten
- Einstellzeit: 1 µs
- Gehäuse DIP16, oder PLCC20
- Beschaffung bei RS, oder Mouser für 16 €/Stck

Nachteile:

- Nur 8 Bit Auflösung

## Digitale Potentiometer

Digital einstellbare Potentiometer sind nahe Verwandte der AD-Wandler. Mit ihnen kann die digitale Welt direkt in eine analoge Schaltung eingreifen. Das ist besonders für Verstärker und Regler nützlich. Die vielen digitalen Geräten in unserer analogen Welt sind ein Markt, den die Komponentenhersteller mit einer Vielfalt an unterschiedlichen Modellen bedienen. Anders als etwa bei den Operationsverstärkern, sind die digitalen Potentiometer leider nicht untereinander austauschbar. Man kann nicht nachträglich auf ein anderes Modell umschwenken. Außerdem nehmen Eigenschaften, wie etwa das Kommunikationsprotokoll einen deutlichen Einfluss auf die Ausführung des Projekts. Das macht die Entscheidung für ein bestimmtes Modell gleichzeitig wichtiger und schwieriger.

### Wunschliste

Hier eine Wunschliste für den Einsatz in Reglern und Sensoren in Experimenten

1. die Möglichkeit zur permanenten Speicherung — Es ist vorteilhaft, wenn Geräte auch ohne digitale Nabelschnur funktionieren.
2. ein Spannungsbereich für die analogen Signale, der symmetrisch um die Masse ist — Signale in

analogen Schaltungen können häufig auch negative Werte annehmen.

3. ein möglichst großer erlaubter Spannungsbereich für die Eingänge — Je größer der Signalpegel ist, desto weniger Probleme gibt es mit Störungen von außen.
4. analoge Bandbreite größer als 100 kHz — Langsamere Signale kann man auch direkt digitalisieren und dann die weitere Verarbeitung in der Software erledigen.
5. kein zusätzliches Rauschen auf den Analog-Signalen durch digital Betrieb.
6. möglichst viele Digitalisierungsstufen, damit die “ideale” Einstellung nicht zwischen den erreichbaren Werten liegt.
7. für manche Anwendungen ist eine logarithmische Verteilung der digitalen Werte auf den analogen Bereich hilfreich
8. das Bauteil sollte mit unseren Hausmitteln montierbar sein → kein BGA, Pins statt bloße Lötflächen, Abstand der Pins größer als 0.5 mm,… Die recht häufige Bauform TSSOP ist mit 0.65 mm Abstand noch akzeptabel. SO16 ist mit 1.27 mm fast schon geräumig.
9. ohne großen Aufwand beschaffbar. Das Bauteil sollte bei mindestens einem der üblichen verdächtigen Elektronik-Distributoren am Lager sein.
10. annehmbarer Preis — nicht über 10 €/Stück

## Wunscherfüllung

Der Wunsch nach einem symmetrischen analogen Spannungbereich schränkt die Auswahl schon deutlich ein. Zum Beispiel fallen damit alle Digital-Potentiometer von Texas Instruments heraus. Wenn man zusätzlich eine dauerhafte Speicherung in EEPROM wünscht, schränkt sich das Angegot von Microchip auf Null ein und von Analog Devices nur Modelle mit +/-2.75 V. Im Katalog von Intersil gibt es einige Modelle, die +/- 5 V, oder sogar mehr erlauben.

Einige, aber nicht alle dieser Modelle arbeiten dabei intern mit Ladungspumpen (charge pump). Das führt zu Störungen auf dem Signal in Höhe von einigen mV bei der Betriebsfrequenz von 850 kHz und harmonischen davon. Dieser Frequenz ist zwar ein gutes Stück oberhalb der Bandbreite des Potentiometers. Im Zusammenhang mit der Messung von schwachen Signalen möchte man dennoch solche Schalttechnik möglichst vermeiden.

- X9C303 mit 100 logarithmischen Stufen, +/- 5 V, up/down, dauerhafte Speicherung, SO8 / PDIP8 / TSSOP8, 20 mV charge pump noise @850 kHz — ~4.12 € @Mouser
- X9314 mit 32 logarithmischen Stufen, +/- 5 V, up/down, dauerhafte Speicherung, SO8 / MSOP8 — ~3.40 € @Mouser, RS, Farnell
- X9C102, X9C103, X9C104, X9C503 mit 100 linearen Stufen, +/- 5 V, up/down, dauerhafte Speicherung, SO8 / PDIP8, 20 mV charge pump noise @850 kHz — ~4.50 € @Mouser, RS, Farnell
- X9313 mit 32 linearen Stufen, +/- 6 V, up/down, dauerhafte Speicherung, SO8 / PDIP8 / MSOP8, 10k (1k) (50k) — ~3.40 € @Mouser, RS, Farnell
- X9110 mit 1024 linearen Stufen, +/- 10 V, SPI, dauerhafte Speicherung, TSSOP14 — ~10 € @Mouser

## Ohne dauerhafte Speicherung

Wenn man auf dauerhafte Speicherung verzichtet, gibt es das eine, oder andere Modell, bei dem

mehr als +/- 12 V Spannungshub auf den analogen Signalen erlaubt sind (Stand Frühjahr 2017):

- AD7376 — 128 Stufen, +/- 15 V, SPI, keine dauerhafte Speicherung, SO16, große Temperaturdrift
- AD5290 — 256 Stufen, +/- 15 V, SPI, keine dauerhafte Speicherung, MSOP10
- AD5293 — 1024 Stufen, +/- 15 V, SPI, keine dauerhafte Speicherung, TSSOP14
- AD5292 und AD5291 — 256 bzw. 1024 Stufen, +/- 15 V, SPI, 20 Mal dauerhafte Speicherung, TSSOP14
- MCP41HV51-103EST — 256 Stufen, linear, +/- 18 V, SPI, 10 kΩ, 240 kHz, TSSOP14, 1.55 € @Farnell, Mouser, TME und Reichelt(!) — auch mit 5kΩ, 50 kΩ und 100 kΩ erhältlich, dann mit anderer Bandbreite.

Ebenfalls ohne dauerhafte Speicherung gibt es von Maxim digitale Potentiometer, die schneller als logarithmisch ansteigen:

- DS1882 — dual,32 Stufen, log, +/- 7V, I²C, 45 kΩ, 5 MHz, SO16 / TSSOP16, keine dauerhafte Speicherung, kann auch beschleunigt logarithmisch konfiguriert werden, kann vom Prozessor ausgelesen werden, 1.66 € @Mouser
- DS1808 — dual,32 Stufen, beschleunigt logarithmisch, +/- 12 V, I²C, SO16, keine dauerhafte Speicherung, kann vom Prozessor ausgelesen werden, 3.26 € @Mouser

### Tipps zur Anwendung

Hier wird gezeigt, wie man mit einem einfachen Widerstand bei einem linearen digitalem Poti eine in etwa logarithmisch eingestellte Verstärkung erreicht. Leider funktioniert dieser Trick nicht bei allen Schaltungen. Denn beim Verstellen des Abgriffs verändert sich der effektive Gesamtwert des Spannungsteilers.

Hier führt Analog-Devices vor, wie man bei der Verstellung der Verstärkung Sprünge und Ausreißer vermeidet. Dazu wird mit der Verstellung gewartet, bis das Signal einen Nulldurchgang macht.

## Zähler

Zähler mit parallelem Ausgang eignen sich, um Frequenzen zu teilen. Besonders leicht fällt das bei Potenzen von Zwei. Dann fällt die geteilte Frequenz direkt an einem Pin an. Es gibt aber auch Dezimalzähler (74HC163) und Bausteine, die die Teilung durch beliebige ganzzahlige Faktoren erlauben (ICS674). Anders als die 74-Reihe sind das allerdings schon ausgesprochene Exoten mit entsprechenden Preisen und Beschaffungsunsicherheiten.

In der Reihe der 74er-Bausteine gibt es Zähler für vier, acht und 12 Bit. Diese Zähler funktionieren bis zu einigen zig MHz. Für höhere Frequenzen, oder speziellere Aufgaben sollte man über programmierbare Logik in Form von FPGAs nachdenken.

### 4-Bit-Zähler 74HC161

Der 74HC161 ist ein 4-Bit-Zähler mit asynchronem Reset. Mit diesem Reset kann man im Prinzip

ungerade Teilerverhältnisse erreichen. Wegen der endlichen Propagationszeit vermindert sich dadurch allerdings die maximal mögliche Frequenz.

### 12-Bit-Zähler 74HC4040

Der 74HC4040 ist ein 12-Bit-Zähler, der mit bis zu 90 MHz zurecht kommt.

### 14-Bit-Zähler 74HC4060

Der 74HC4060 ist ein 14-Bit-Zähler, der bei 5 V Versorgung 87 MHz Zählrate erreicht. Wobei das Datenblatt dies als “typical” kennzeichnt und nur etwa 30 MHz garantiert.

## Logikpegel-Umsetzer

Das Spannungsniveau, das einer logischen Eins entspricht, ist nicht bei allen Geräten und Bauteilen gleich groß. Als Mikroprozessoren noch High-Tech waren, war dafür 5 V allgemein so üblich, dass man es in Datenblättern selten ausdrücklich erwähnt hat. Das Schlüsselwort für dieses Spannungsniveau ist “TTL”. Moderneren Digital-Komponenten arbeiten häufig mit 3.3 V, 1.8 V, oder sogar 1.3 V. Der Grund dafür ist ein geringerer Stromverbrauch und entsprechend niedrigere Abwärme bei hohen Taktraten. Besonders Mikroprozessoren haben deswegen die Tendenz zu niedrigen Spannungspegeln.

Die Schwelle, die zwischen high und low entscheidet, liegt etwa bei der halben nominellen High-Spannung. Das heißt, ein “high” einer 3.3V-Komponente wird von einem Eingang, der für 5 V-Logik ausgelegt ist, nicht zuverlässig erkannt. Umgekehrt erkennt der Eingang einer 3.3V-Komponente möglicherweise das “low” einer 5V-Logik nicht korrekt. Außerdem wird der Eingang der 3.3-Volt-Logik möglicherweise überlastet. Wenn man nun einen Aufbau mit 5V-Logik mit einem solchen mit 3.3 V arbeitenden Mikrocontroller zusammenbringen möchte, muss man also den Spannungspegel der Signale anpassen. Dazu gibt es spezielle Bauteile.

### 74LVX244

Der 74LVX244 eignet sich, um acht Kanäle 5V-Logik auf 3.3V-Logik umzusetzen. Praktischerweise werden die Signale dabei nicht invertiert. Ein high bleibt ein high und ein low bleibt ein low. Dabei ist er recht schnell. Der Anstieg der digitalen Flanke braucht 1.5 ns. Damit sollten Baudraten bis in den 100 MHz Bereich möglich sein. Natürlich muss das restliche Design der Schaltung dafür ausgelegt sein.

Anders als der Name mit der “74” vermuten lässt, ist dieser Baustein keiner der Digital-Klassiker vom Beginn der 80er-Jahre. Er wurde erst Mitte der 90er entwickelt. Entsprechend gibt es ihn nicht nur als SMD und nicht in einer Bauform zum Durchstecken. Dennoch ist er eine Art moderner Klassiker, der von vielen Herstellern in großen Stückzahlen auf den Markt gebracht wird. Das sorgt für einen moderaten Preis von etwa 0.30 €.

# 74LVC1T45

Der SN74LVC1T45 setzt ein einzelnes digitales Signal um. Dabei kann er sowohl von höherem zu tieferen Pegel umsetzen also auch von tieferen zu höherem. Die Pegel ergeben sich aus zwei getrennten Versorgungsspannungen. Der kleinste mögliche Logik-Pegel ist 1.65 V, der größte ist 5.5 V. Der Signalfluss kann alternativ in beide Richtungen verlaufen. Welche Richtung aktiv ist, hängt von einer zusätzlichen Steuerleitung ab.

Dieser Baustein wird in vielen verschiedenen SMD-Bauformen mit 6 Pins angeboten. Davon ist SO23-6 (2.9 mm x 1.6 mm) die größte und DSBGA (0.9 mm x 1.4 mm) die kleinste Variante. In den Schubladen der ElektronIQ werden diese beiden Bauformen vorgehalten:

- SN74LVC1T45DB → Bauform SO23-6, 0.80 €/Stück
- 74LVC1T45GW → Bauform SOT363, 0.25 €/Stück

From:
https://elektroniq.iqo.uni-hannover.de/ - **ElektronIQ**

Permanent link:
**https://elektroniq.iqo.uni-hannover.de/doku.php?id=bauteil:digital&rev=1648473917**

Last update: **2022/03/28 13:25**