**Nyquist-Kriterium**

Das Nyquist-Kriterium besagt, dass zur Vermeidung von Interferenzen und zur Wahrung der Genauigkeit bei der Abtastung eines Signals die Abtastfrequenz mindestens das Doppelte der höchsten im Signal vorhandenen Frequenz betragen muss. Dieses Prinzip ist wichtig, da, wenn die Abtastfrequenz weniger als das Doppelte der höchsten Frequenz des Signals beträgt, ein Phänomen namens "Aliasing" auftritt, das zu einer fehlerhaften und falschen Aufzeichnung des Signals führt.

Um mehr über dieses Thema zu verstehen , sind im Folgenden Erklärungen aufgeführt.

1. Grundkonzept:

Das Nyquist-Kriterium besagt, dass zur genauen Abtastung eines kontinuierlichen Signals ohne das Phänomen des "Aliasing" auftreten zu lassen, die Abtastfrequenz () mindestens das Zweifache der höchsten Frequenz im Signal () betragen muss. Dies wird mathematisch wie folgt ausgedrückt:

* Abtastfrequenz (): Die Rate, mit der von einem kontinuierlichen Signal abgetastet wird.
* Höchste Frequenz (): Die höchste Frequenz, die im abgetasteten Signal vorhanden ist.

2. Aliasing:

Wenn die Abtastfrequenz weniger als das Zweifache der höchsten Frequenz des Signals beträgt, tritt das Phänomen des Aliasings auf. Aliasing führt dazu, dass unterschiedliche Signale unscharf abgetastet werden. Dies resultiert in einer Verzerrung des ursprünglichen Signals, die zu einer falschen Repräsentation der Daten führt. Beispielsweise kann eine Hochfrequenzkomponente fälschlicherweise als eine Niedrigfrequenzkomponente identifiziert werden, was in der Signalrekonstruktion problematisch sein kann.

3. Praktische Auswirkungen:

* Digitale Signalverarbeitung: Das Nyquist-Kriterium ist für digitale Audiosysteme, Videoübertragungen und Datentransfers von großer Bedeutung. Zum Beispiel, wenn die höchste Frequenz, die aufgezeichnet werden soll, 20 kHz (die obere Grenze des menschlichen Hörvermögens) beträgt, muss mindestens mit 40 kHz abgetastet werden, um Aliasing zu vermeiden. In der Praxis wird Audio häufig mit Samplingraten von 44,1 kHz oder 48 kHz abgetastet.
* Anwendungen: In verschiedenen Bereichen wie Telekommunikation, Bildverarbeitung und Regelungssystemen stellt die Einhaltung des Nyquist-Kriteriums sicher, dass die Integrität der Signale während des Abtast- und Umwandlungsprozesses gewahrt bleibt.

4. Beispiel und Visualisierung:

Um die Bedeutung des Nyquist-Kriteriums zu veranschaulichen, betrachten Sie ein einfaches Beispiel mit einer Sinuswelle von 10 kHz:

* Nach Nyquist benötigen Sie eine Abtastfrequenz von mindestens 20 kHz, um Aliasing zu vermeiden.
* Wenn Sie mit 15 kHz abtasten (was unter dem Nyquist-Mindestwert liegt), können Sie das Signal nicht präzise erfassen. Die abgetasteten Daten könnten eine niedrigere Frequenzwelle (Aliasing) darstellen, die Verwirrung im Rekonstruktionsprozess verursacht.

5. Allgemeine Empfehlungen:

* Bestimmen Sie immer die höchste Frequenz im Signal, bevor Sie mit der Abtastung beginnen.
* Wählen Sie eine Abtastfrequenz, die mindestens das Doppelte dieser Frequenz beträgt, um eine genaue Datenrepräsentation zu gewährleisten.
* Berücksichtigen Sie zusätzliche Faktoren wie Filterabfall und praktische Einschränkungen in der Leistung von ADCs (Analog-Digital-Wandler), wenn Sie das Nyquist-Kriterium in realen Systemen implementieren.

Bestimmung der maximalen Frequenz und der minimalen Messfrequenz:

In diesem Projekt ist die maximale Frequenz des Signals auf 400 Kilohertz (kHz) festgelegt. Daher muss, basierend auf dem Nyquist-Kriterium, die Abtastfrequenz (FS) mindestens das Doppelte der maximalen Frequenz (Fmax) betragen:

In diesem Fall wird Fmax wie folgt bestimmen:

Fmax=400 kHz

Somit ergibt sich:

### Ergebnis

Die minimale Messfrequenz für die Auswahl eines Analog-Digital-Wandlers (ADC) muss daher mindestens 800 kHz betragen.

Somit beträgt die minimale Messfrequenz, die für den ADC erforderlich ist:

Dies stellt sicher, dass das Signal mit einer maximalen Frequenz von 400 kHz gemäß dem Nyquist-Kriterium genau abgetastet werden kann.

Wichtige Punkte (Praktische Überlegungen Bei der Auswahl eines ADC):

* Stellen Sie sicher, dass der ADC eine Abtastfrequenz von mindestens 800 kHz unterstützt, um dem Nyquist-Kriterium zu entsprechen.
* Ziehen Sie in Betracht, einen ADC mit einer höheren Abtastfrequenz (z. B. 1 MHz oder 1,5 MHz) zu wählen, um eine Fehlerreserve zu gewährleisten und unerwartete Hochfrequenzkomponenten im Signal zu berücksichtigen.
* Berücksichtigen Sie auch andere Spezifikationen wie die Bitauflösung, den Stromverbrauch und die Umwandlungsgeschwindigkeit, um den am besten geeigneten ADC für Ihre Anwendung auszuwählen.

Durch die Befolgung dieser Analyse und Schlussfolgerung haben Sie die minimale Messfrequenz für den ADC gemäß dem Nyquist-Kriterium definiert.

* Relevante Parameter eines Analog-Digital-Wandlers (ADC)

Um einen Analog-Digital-Wandler (ADC) für eine spezielle Anwendung effektiv auszuwählen, ist es wichtig, die relevanten Parameter zu verstehen. Hier ist eine Analyse der wichtigsten Parameter von ADCs, die entscheidend für eine informierte Entscheidung sind:

1. Auflösung (Resolution)

* Definition: Die Auflösung eines ADC bezieht sich auf die Anzahl der Bits, die verwendet werden, um den analogen Wert in digitaler Form darzustellen. Sie bestimmt, wie präzise der ADC das analoge Eingangssignal messen kann.
* Typische Werte: Häufige Auflösungen reichen von 8 Bit (256 Stufen) bis 24 Bit (16.777.216 Stufen). Eine höhere Auflösung ermöglicht eine genauere Erfassung von Variationen im analogen Signal.
* Auswirkung: Eine höhere Auflösung bietet genauere Messungen, kann jedoch mehr Rechenleistung und Speicher erfordern.

2. Abtastfrequenz (Sampling Rate)

* Definition: Die Abtastfrequenz (oder Sampling Frequency) ist die Anzahl der Proben, die pro Sekunde vom analogen Signal genommen werden.
* Typische Einheiten: Gemessen in Proben pro Sekunde (SPS) oder Hertz (Hz). Zum Beispiel bedeutet 1 kHz, dass 1.000 Proben pro Sekunde genommen werden.
* Wichtigkeit: Laut dem Nyquist-Satz muss die Abtastfrequenz mindestens doppelt so hoch sein wie die höchste Frequenzim Signal, um Aliasing zu vermeiden.

3. Eingangs-Spannungsbereich (Input Voltage Range)

* Definition: Dieser Parameter spezifiziert den Spannungsbereich, den der ADC genau in ein digitales Signal umwandeln kann.
* Typische Bereiche: Zum Beispiel kann ein ADC einen Bereich von 0 bis 5 Volt, -10 bis 10 Volt oder andere festgelegte Bereiche haben.
* Überlegung: Stellen Sie sicher, dass die Eingangsspannung des Signals, das Sie messen möchten, innerhalb dieses Bereichs liegt, um Verzerrungen oder Clipping zu vermeiden.

4. Genauigkeit (Accuracy)

* Definition: Die Genauigkeit bezieht sich darauf, wie nah die digitale Ausgabe des ADC am tatsächlichen analogen Eingang liegt.
* Faktoren: Die Genauigkeit kann durch Faktoren wie Quantisierungsfehler, Rauschen, Drift und Linearität beeinflusst werden.
* Spezifikationen: Die Genauigkeit wird typischerweise als Prozentsatz des vollwertigen Bereichs (FSR) angegeben.

5. Linearität (Linearity)

* Definition: Die Linearität beschreibt, wie gut die Ausgabe des ADC über den gesamten Bereich dem Eingang entspricht. Idealerweise sollte die Beziehung linear sein; Abweichungen von dieser Linearität können die Messgenauigkeit beeinflussen.
* Typen: Integral Non-Linearity (INL) und Differential Non-Linearity (DNL) sind gängige Maße für die Linearität.

6. Energieverbrauch (Power Consumption)

* Definition: Dieser Parameter gibt an, wie viel Energie der ADC während des Betriebs verbraucht.
* Wichtigkeit: Für batteriebetriebene Geräte ist ein niedriger Energieverbrauch von entscheidender Bedeutung, um die Batterielebensdauer zu verlängern. Geräte können im aktiven Sampling und im Standby-Modus unterschiedliche Energieverbrauchswerte aufweisen.

7. Schnittstelle und Datenoutput (Interface and Data Output)

* Definition: Die Methode, wie der ADC mit einem Mikrocontroller oder Prozessor verbunden wird, die bestimmen kann, wie Daten übertragen werden.
* Häufige Schnittstellen: SPI (Serial Peripheral Interface), I2C (Inter-Integrated Circuit) und UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter).
* Auswirkung: Die Wahl der Schnittstelle kann die Datenrate, Komplexität und die erforderliche Anzahl von Pins beeinflussen.

8. Rauschleistung (Noise Performance)

* Definition: Bezieht sich auf die Fähigkeit des ADC, Rauschen im Eingangssignal zu verarbeiten, was die Messung negativ beeinflussen kann.
* Spezifikationen: Das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) und die effektive Anzahl der Bits (ENOB) sind Metriken, die auf die Rauschleistung hinweisen können.
* Please find at least two AD converters (these must be real!) that fulfil this conversion speed requirement with a nominal conversion bit width of 12 bit (real at least 10 bit), look for availability and price, and compare them in some characteristics (for decision makers):

Schritt zur Auswahl geeigneter ADCs

Um zwei Analog-Digital-Wandler (ADCs) zu finden, die die Anforderungen an die Umgeschwindigkeits (mindestens 800 kHz) und eine nominale Bitbreite von 12 Bit (mindestens 10 Bit echt) erfüllen, sollten die folgenden Schritte unternommen werden:

Schritte zur Durchführung:

1. Suche nach ADCs:
   * Besuchen Sie die Webseiten von Elektronikherstellern wie Texas Instruments, Analog Devices, Microchip und Maxim Integrated.
   * Suchen Sie nach Produkten, die sich auf Analog-Digital-Wandler beziehen, und überprüfen Sie deren Spezifikationen.
2. Überprüfung der Spezifikationen:
   * Zu den benötigten Spezifikationen gehören Folgendes:
     + Abtastfrequenz (Sampling Rate): Sollte mindestens 800 kHz betragen.
     + Bitbreite: Sollte mindestens 12 Bit nominal (10 Bit echt) sein.
     + Eingangsspannung: Sollte den Anforderungen Ihrer Anwendung entsprechen.
     + Genauigkeit (Accuracy) und Linearität (Linearity): Um die Messqualität sicherzustellen.
3. Preis und Verfügbarkeit:
   * Überprüfen Sie die Preise und die Verfügbarkeit auf Elektronik-Verkaufswebseiten wie Digikey, Mouser und Element14.
   * Stellen Sie fest, ob diese Produkte auf Lager sind und wie viel sie kosten.
4. Vergleich der ADCs:
   * Erstellen Sie eine Vergleichstabelle mit den gesammelten Spezifikationen und Preisen.

| Merkmal | [MCP3008-I/P](https://www.newark.com/microchip/mcp3008-i-p/analog-to-digital-converter-adc/dp/19C7200) | [MAX11665AUT+T](https://www.newark.com/maxim-integrated-products/max11665aut-t/adc-1-ch-sar-12bit-500ksps-sot/dp/73Y1971) | [AD7606BBSTZ](https://www.newark.com/analog-devices/ad7606bbstz/adc-16bit-800ksps-lqfp-64/dp/60AK6904) |
| --- | --- | --- | --- |
| Abtastfrequenz | [200 kSPS](https://www.newark.com/analog-devices/ad7606bbstz/adc-16bit-800ksps-lqfp-64/dp/60AK6904) | [500 kSPS](https://www.newark.com/analog-devices/ad7606bbstz/adc-16bit-800ksps-lqfp-64/dp/60AK6904) | [800 kSPS](https://www.newark.com/analog-devices/ad7606bbstz/adc-16bit-800ksps-lqfp-64/dp/60AK6904) |
| Bitbreite | 10 Bit | 12 Bit | 16 Bit |
| Eingangsspannung | 2.7V - 5.5V | 2.2V to 3.6V | 4.75-5.25V |
| Genauigkeit | ± 1 LSB max DNL  ± 1 LSB max INL | ± 1 LSB | 0,1% |
| Preis | 1:$3.240  10:$2.970  25:$2.690  60:$2.590  120:$2.480 | 1: $3.540  10: $3.000  25: $2.870  50: $2.740  100: $2.610  250: $2.470  500: $2.220  1000: $1.870 | 1:$49.120  5:$44.810  10:$40.490  25:$37.770  50:$35.170  100:$34.610 |
| Verfügbarkeit | [10bit Analog-to-Digital Converters - ADC | Newark Electronics](https://www.newark.com/w/c/semiconductors-ics/data-signal-conversion/analog-to-digital-converters-adc?ost=adc&rd=adc&resolution-bits-=10bit) | <https://www.newark.com/maxim-integrated-products/max11665aut-t/adc-1-ch-sar-12bit-500ksps-sot/dp/73Y1971> | [800kSPS Analog-to-Digital Converters - ADC | Newark Electronics](https://www.newark.com/w/c/semiconductors-ics/data-signal-conversion/analog-to-digital-converters-adc?ost=adc&rd=adc&sampling-rate=800ksps) |

Vergleich:

* Check the available ADCs with 14- and 16-bit resolution (only one of each) for their features incl. price and availability and insert them in your table. Please observe: it is not guaranteed that these are available!