

Digitaltechnik - ganz einfach Teil 9

In diesem Teil unserer Grundlagenreihe realisieren wir eines der Projekte bei der Beschäftigung mit der Digitaltechnik - wir bauen einen einfachen Frequenzzähler auf und besprechen ausführlich die Funktionsweise und periphere Baugruppen dieses interessanten Meßgerätes.

Zehntausend Impulse je Sekunde

Will man mit einem digitalen Zählgerät Frequenzen messen, ist dies bis zu einem gewissen Grade gar nicht so kompliziert, wie es zunächst den Anschein haben mag, hält man sich einmal die Definition der Frequenz vor Augen. Diese wird gekennzeichnet durch eine Anzahl von Schwingungen bzw. Impulsen je Zeiteinheit ($\text{Hz} = 1/\text{s}$, d. h., 1 Hz ist gleich eine Schwingung pro Sekunde). Und genau daraus leitet sich das Arbeitsprinzip des Frequenzzählers ab. Er zählt in einer genau definierten Zeiteinheit ankommende Impulse und stellt diese Impulsanzahl im Display dar. Kommen also innerhalb einer Sekunde 7898 Impulse am Zähl Eingang an, so bedeutet dies eine Frequenz von 7898 Hz, also 7,898 kHz. Wird diese Impulsanzahl innerhalb einer Zehntel-Sekunde registriert, bedeutet dies eine Frequenz von 78,98 kHz.

Industrielle Frequenzzähler können so Frequenzen bis in hohe GHz-Bereiche messen. Wir wollen uns bei unserem Steck-

brett-Aufbau jedoch nicht in diese, auch zunehmend schwerer beherrschbaren Gefilde wagen, wir beschränken uns auf einen

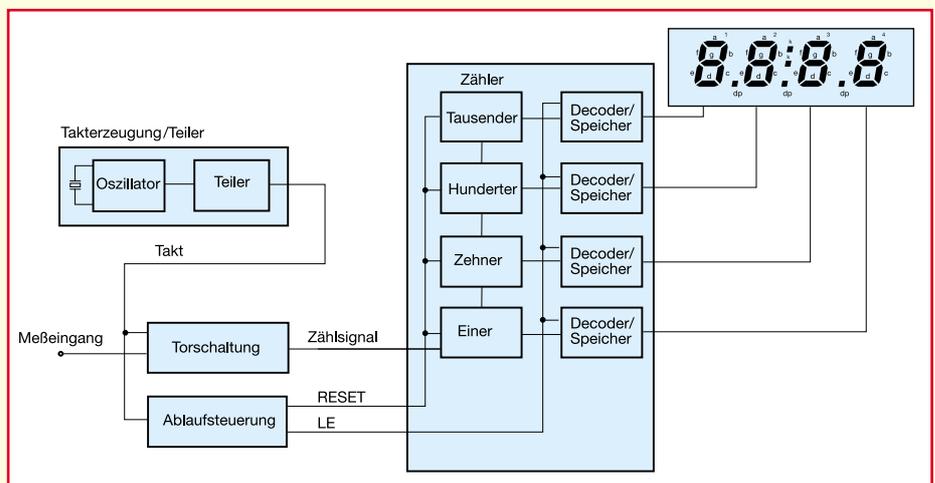


Bild 69: Das Blockschaltbild unseres Frequenzzählers zeigt einen Überblick über die einzelnen Funktionsgruppen

Versuchsaufbau, der auf unserem vierstelligen LC-Display bis 9,999 kHz zählt.

Frequenzzähler unkompliziert

Das Blockschaltbild eines solchen Fre-

quenzzählers ist in Abbildung 69 gezeigt. Fast alle hier vorkommenden Baugruppen haben wir bereits ausführlich behandelt, denn der Zähler besteht aus den Baugruppen Taktgenerator/Oszillator/Taktteiler, Torschaltung, Ablaufsteuerung, Zäh-

ler-Anordnung, Decoder/Zwischenspeicher und Anzeige.

Eine Neuigkeit ist der Zwischenspeicher. Er sorgt dafür, daß wir eine stabile und kontinuierliche Anzeige erhalten, die nur im definierten Meßintervall wechselt.

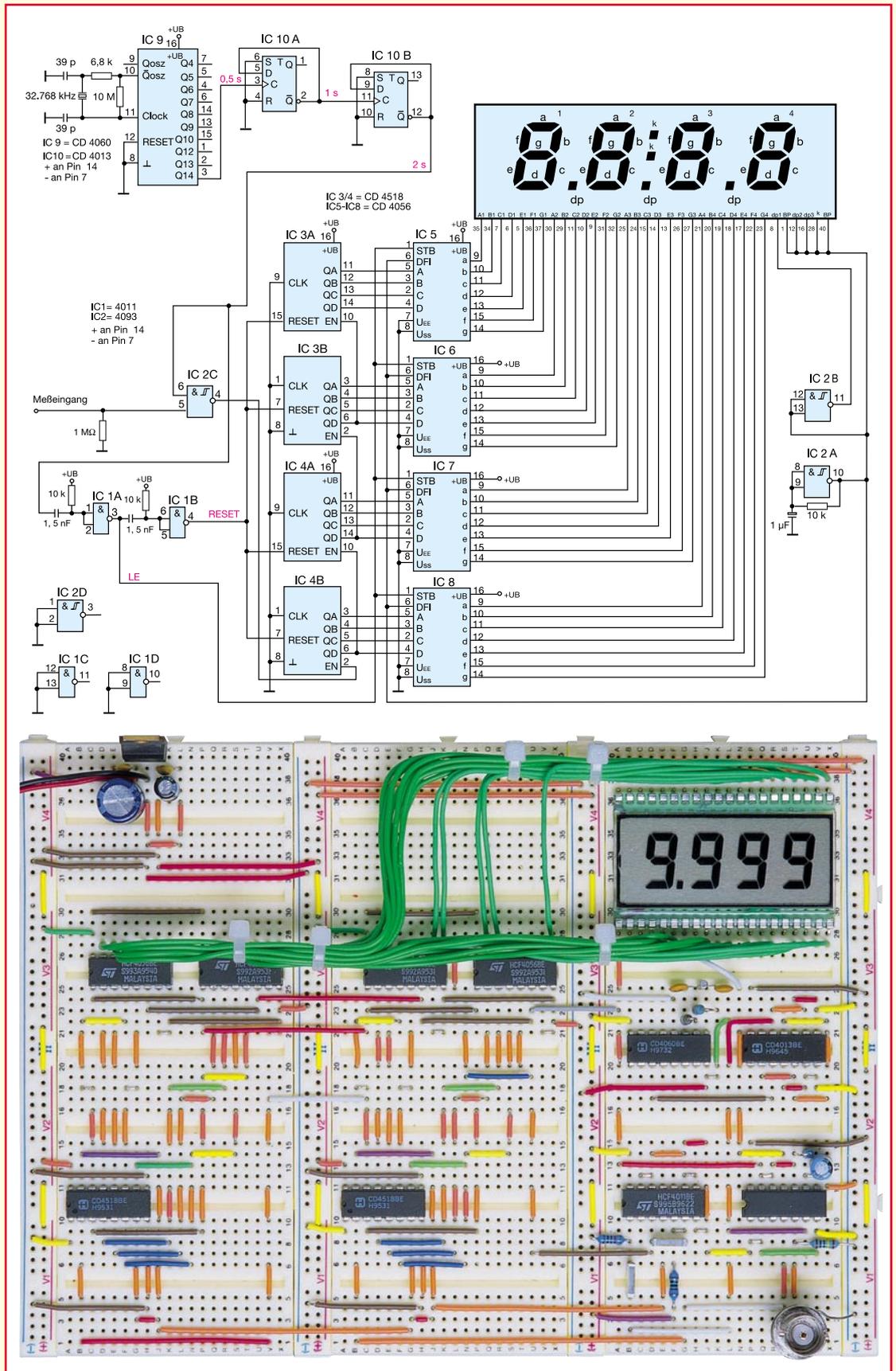


Bild 70:
Die komplette
Zählerschaltung

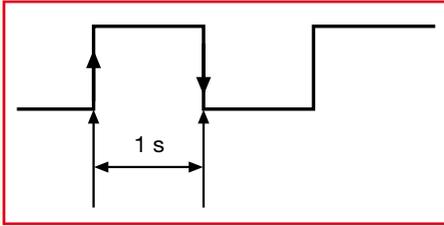


Bild 71: Das Tor öffnet bei ansteigender Flanke und schließt bei abfallender Flanke - 1 s lang.

Er erhält zunächst den aktuellen Wert des Zählers und gibt diesen erst aus, wenn er dazu von der Ablaufsteuerung des Zählers den Befehl bekommt. Nach der Übergabe des Wertes an den Zwischenspeicher sorgt diese für das Zurücksetzen des Zählers. Anschließend erfolgt die nächste Zählung der Eingangsimpulse usw.

Der Zwischenspeicher erfordert für uns

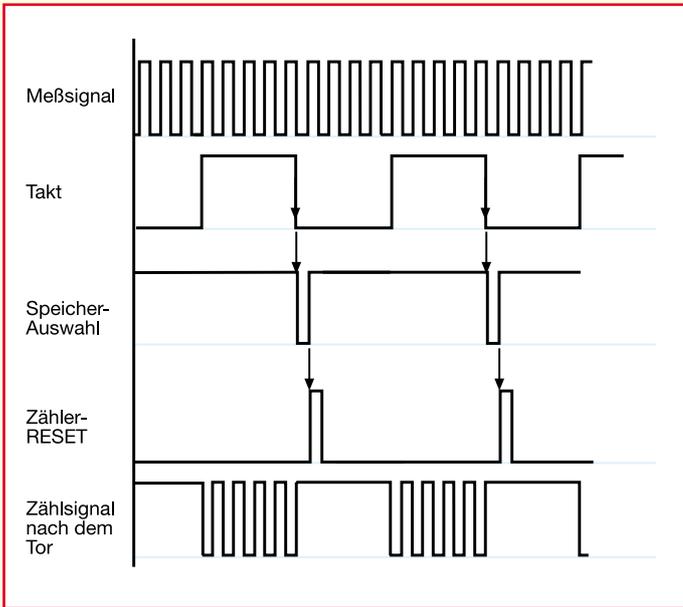


Bild 72: Das Taktregime des Frequenzzählers

glücklicherweise keinen besonderen Aufwand, denn wir haben mit dem CD 4056 einen sehr universell einsetzbaren Decoderbaustein ausgewählt, der u. a. diesen Zwischenspeicher, auch Latch genannt, bereits enthält. Auch der weitverbreitete CD 4511 bietet dieses Latch. Am CD 4056 ist also nur der Eingang STB, Pin 1, entsprechend anzusteuern, wie wir noch sehen.

Die Ablaufsteuerung sorgt für das genau definierte Zusammenspiel von Tor, Zähler, Speicher und Zähler-Rücksetzung. Sie löst kurz nach dem Schließen des Tors zunächst das Weitergeben des Zählerstands an die Anzeige aus und setzt wiederum danach den Zähler zurück, bevor mit dem nächsten Oszillator-Takt, der das Tor wieder für die Zählimpulse öffnet, der Ablauf von vorn beginnt.

Diese Schaltungslösung wollen wir zunächst auf unserem Steckbrett ausprobieren, bevor wir Varianten und Ausbaumöglichkeiten diskutieren.

ren, bevor wir Varianten und Ausbaumöglichkeiten diskutieren.

Alte Bekannte

Schaut man sich die Schaltung des Experimentierzählers in Abbildung 70 an, so erkennt man auf Anhieb Baugruppen aus unserer Digitaluhr bzw. der Stoppuhr aus den letzten beiden Folgen.

Der Taktgeber wurde wiederum mit dem bereits bekannten CD 4060 mit 32,768kHz-Uhrenquarz realisiert.

Da wir eine Meß- bzw. Torzeit von einer Sekunde realisieren wollen, muß der Taktgenerator eine Frequenz von 0,5 Hz erzeugen, damit wir eine Anzeige in Hz erhalten.

Die auf 2 Hz heruntergeteilte Quarzfrequenz wird mit IC 10 A und B nochmals durch vier geteilt, so daß man schließlich als Taktfrequenz 0,5 Hz zur Verfügung hat. Diese liegt am

Pin 6 von IC 2 C an, der Torschaltung. Sie öffnet für die Dauer des Taktimpulses, also für genau eine Sekunde (Abbildung 71), und sorgt damit für den zeitlich genau bemessenen Durchlaß der Meßdaten zum nachfolgenden Zähler.

Dieser besteht aus IC 3/4 und entspricht in seiner Konfiguration unserem 4stufigen Dezimalzähler aus der Digitaluhr, jedoch ohne Zählumfangverkürzung. Einzige Besonderheit ist die

Herausführung der zusammengefaßten RESET-Eingänge für die Ablaufsteuerung.

Auch die Decoderschaltung mit IC 5 bis IC 8 entspricht unseren bereits bekannten Standardschaltungen. Ausnahme ist hier

die Herausführung der STB-Eingänge für die Ansteuerung der Zwischenspeicher durch die Ablaufsteuerung.

Die Anzeigebeschaltung ist insofern gegenüber der Uhr in der letzten Folge modifiziert, als daß dieses Mal der Dezimalpunkt 1 (Pin 8 des LC-Displays) fest angesteuert wird. Der vierstelligen Zähler kann bei der hier vorgestellten Konfiguration bis 9999 Hz, also 9,999 kHz zählen. So teilt der Dezimalpunkt die kHz-Stelle ab.

Bleibt schließlich die Ablaufsteuerung mit IC 1 A/B. Die negative Flanke des Taktimpulses, die ja den Abschluß der Meßperiode darstellt, führt zur Erzeugung eines kurzen Schaltimpulses mittels IC 1 A und dem vorgeschalteten RC-Glied (dessen Werte bestimmen die Impulslänge, IC 1 A negiert den Impuls). Dieser Schaltimpuls, auch Latch Enable (LE) genannt, wird an die Übernahmeeingänge (STB) der Zwischenspeicher in den Anzeigedecodern geführt und führt so unmittelbar nach Abschluß der Impulszählung zur Datenübernahme in die Anzeige.

IC 1 B realisiert mit seinem vorgeschalteten RC-Glied die Erzeugung eines eben solchen Schaltimpulses für die Rückstellung der Zähler (RESET), generiert aus dem LE-Impuls. Die Reihenfolge der Impulse ist genau einzuhalten, um das Taktregime der Zählung (Abbildung 72) nicht durcheinander zu bringen.

Natürgemäß könnte eine solche Schaltung mit RC-Gliedern bei höheren Taktfrequenzen zu Problemen führen. Das Taktregime von Latch Enable und RESET ist z. B. durch eine weitere Zähler-schaltung lösbar, die ebenfalls fest an die Taktfrequenz angekoppelt ist. Die durch die RC-Glieder erreichten Verzögerungen zwischen den einzelnen Impulsen werden dann durch die einzelnen Teilerstufen realisiert. Auch Monoflops würden diese Aufgabe erfüllen. Für den von uns angestrebten Anzeige- und Meßbereichsumfang genügt diese Ansteuerung jedoch und zeigt nebenbei einen kleinen Trick auf, wie man auch bestimmte Steuerimpulse in Digital-schaltungen erzeugen kann.

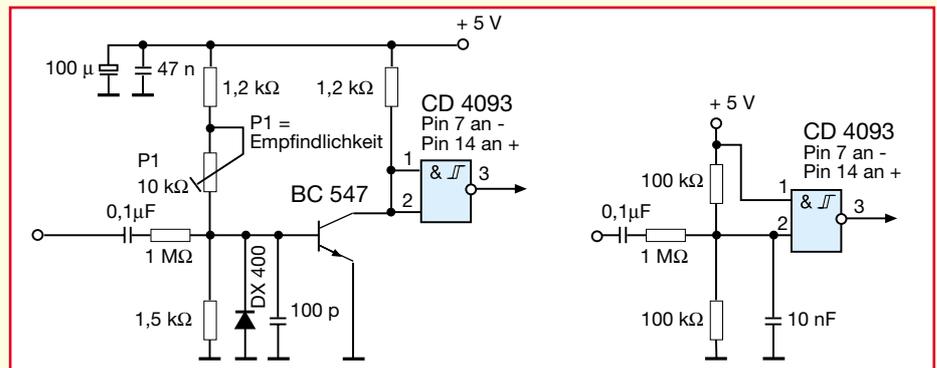


Bild 73: Eine einfache Eingangsverstärkerschaltung mit Impulsformer reicht für die ersten Experimente

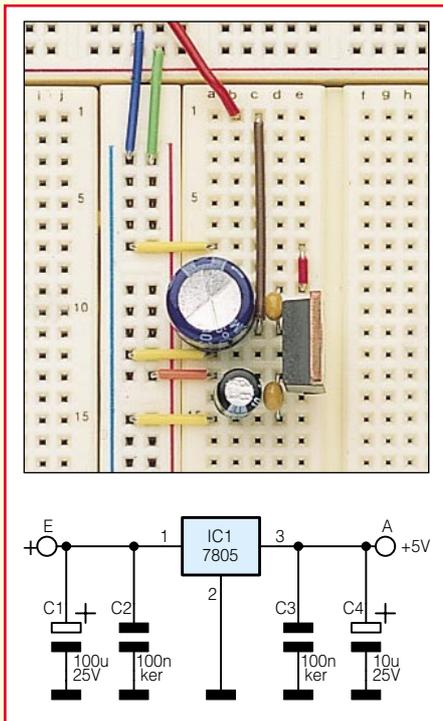


Bild 74: Die Stromversorgung für unser Experimentierboard.

Pegel) erfassen kann. Analoge Signale müssen durch eine entsprechende Wandler-schaltung, z. B. einen Verstärker/Impuls-former, wie er z. B. auch in der Schaltung des in diesem Heft vorgestellten Frequenz-zählers FC 7007/7008 zur Anwendung kommt, in digitale Signale umgewandelt werden. Abbildung 73 zeigt einfache Bei-spiele für weitere Vorverstärker/Impuls-former. Damit kann man dann schon z. B. analog erzeugte NF-Frequenzen messen.

Zum Abschluß des Aufbaus unseres klei-nen Frequenzzählers aus Anlaß von Leser-anfragen noch ein Wort zur Spannungsver-sorgung. Für alle Schaltungen gelten die Vereinbarungen aus der ersten Folge die-ser Serie: Die +5V-Stromversorgung er-folgt über eine 5V-Reglerschaltung je nach Strombedarf der Schaltung entweder aus einem Steckernetzteil oder einer 9V-Block-batterie. Zur Erinnerung ist die Regler-schaltung aus dem „ELVjournal“ 6/97 in Abbildung 74 noch einmal aufgeführt.

Das LSD-Problem

...hat nichts mit Drogen zu tun, obwohl

es auch zu einigen Verschiebungen kommt. LSD bedeutet last significant digit (niederwertigste Stelle) und heißt praktisch: letzte Anzeigestelle unseres Zählers. Diese kann bei der Messung sehr niedriger Frequen-zen (unter ca. 10 Hz) um bis zu 2 Hz schwanken (± 1 Digit). Ähnliches beobachtet man bei fast allen digitalen Meßge-räten - es ist der sogenannte Quantisie-rungsfehler.

Er kommt zustande, weil das Meßsig-nal sich nicht synchron zum Zeitbasissig-nal des Zählers, unserem Taktsignal ver-hält. Abbildung 75 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen Takt- und Meß-signal. Die positive Flanke des Eingang-signals löst bei jedem Impuls den folgen-den Zähler aus. Trifft jedoch das Auf- und Zusteuern des Zählertors nicht immer ge-nau mit der gleichen Anzahl positiver Flan-ken des Meßsignals zusammen, so wird der Zähler, je nach Verschiebung der ein-zelnen Signale zueinander, bei mehreren Meßzyklen einmal einen Impuls zuviel, einmal einen zuwenig zählen. Damit hat man eine Fehlerquote von 10%! Die Feh-lerquote hängt weitgehend von der Anzahl der Zählstufen bzw. Anzeigestellen und dem Zusammenhang zur Meßfrequenz ab. Sie beträgt bei unserem vierstufigen Zähler 10^{-4} (bei Frequenzen ab 1 kHz) und würde bei einem zehnstufigen Zähler auf 10^{-10} verringert werden. Dieser „löst“ den Meßwert einfach weiter auf, man kann mehr Anzeigestellen nutzen. Deshalb soll-te man auch in der praktischen Arbeit mit einem Frequenzzähler immer alle vorhan-denen Anzeigestellen zur Ergebnisanzeige ausnutzen, um den Quantisierungsfehler möglichst gering zu halten.

Um diesen zu eliminieren, greift man bei höheren Frequenzen auf längere Torzeiten zurück. Bei niedrigen Frequenzen wären diese aber im Verhältnis zu lang, man müßte z. B., um eine tatsächliche Genaui-keit von 10^{-4} für eine Meßfrequenz von

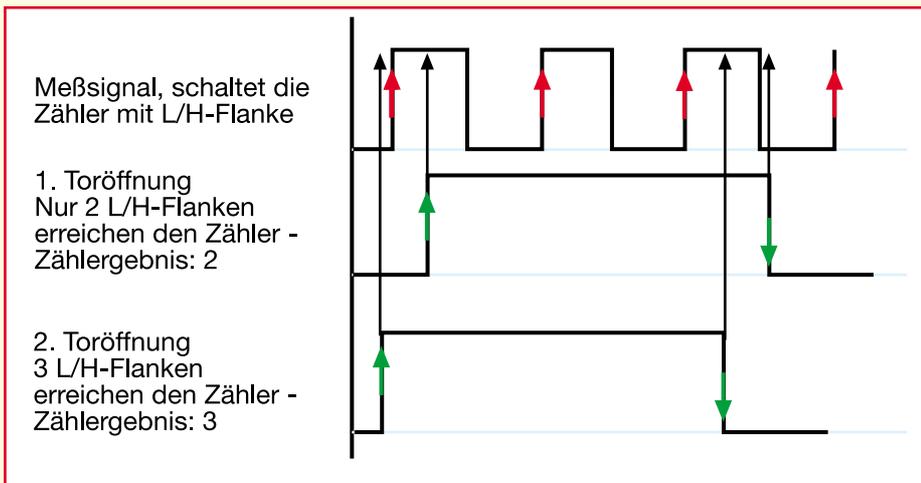


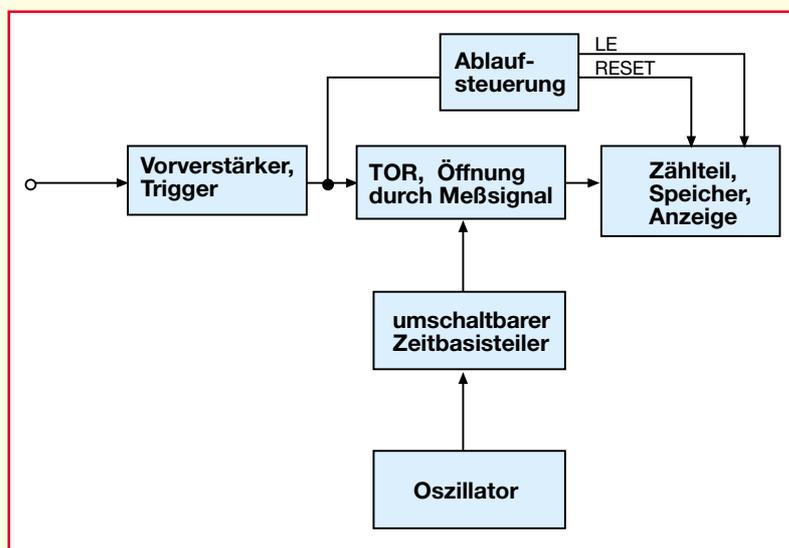
Bild 75: So entstehen die Zählfehler bei der Quantisierung des Meßwertes.

Hat man die gesamte Schaltung verdrahtet, so sollte, verbindet man den Meß-eingang (Pin 5 von IC 2 C) mit dem Takt-frequenzeingang, also Pin 6 von IC 2 C, das Display 0001 anzeigen. Man mißt also zum Selbsttest die interne Taktfrequenz des Zählers. Andere Anzeigen weisen auf Verdrahtungsfehler hin.

Ist der Test erfolgreich verlaufen, so kann man als erstes „Meßobjekt“ den Oszillator IC 9 heranziehen und an dessen Ausgangspins (siehe auch Abbildung 60 in der letzten Folge) die entsprechend heruntergeteilte Quarzfrequenz messen. Auch der Ausgang des Backplane-Oszillators IC 2 A eignet sich sehr gut als Meßobjekt.

Will man jetzt externe Frequenzen mes-sen, so ist zu beachten, daß der Zählerein-gang nur digitale Eingangssignale (TTL-

Bild 76: Das Prinzip der Periodendauer-messung.



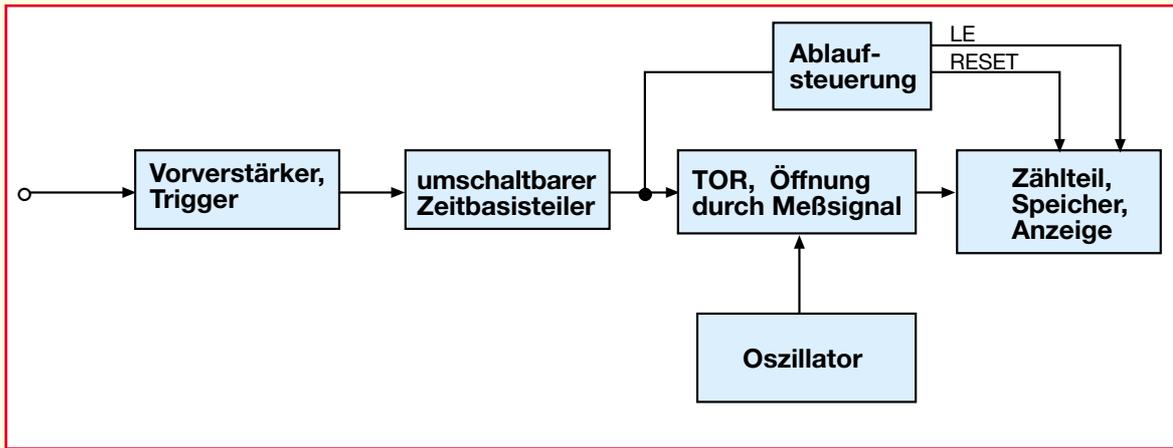


Bild 77: Noch genauer: Mittelwertbildung der Periodendauer

10 Hz gegenüber einer von 10 kHz zu erhalten, die Torzeit von 1 s auf 100 s verlängern, für eine Genauigkeit von 10^{-6} sogar auf 10.000 s! Inakzeptabel, zudem

Während der Toröffnung gelangen dann die genau bekannten Impulse des Oszillators an den Zähler. Mit der H/L-Flanke des Meßsignals wird das Tor wieder geschlossen. Als Zählergebnis erscheint direkt ein Wert für eine Zeit, z. B. in Sekunden, ms, μ s oder ns im Display. Dieser Wert ist nach der Beziehung

$$f = \frac{1}{t}$$

in eine Frequenz umrechenbar. Dabei fällt schnell auf, daß man, umgekehrt zur Frequenzmessung, hier die Genauigkeit und die Auflösung durch Erhöhung der Oszillatorfrequenz steigern kann.

In der Praxis sind Zähler so ausgelegt, daß zur Erhöhung der Genauigkeit über einen weiten Meßfrequenzbereich entweder manuell oder automatisch eine genaue Anzahl der gemessenen Perioden über eine bestimmte Zeit erfaßt werden. Dies geschieht über die Einschaltung des meist ohnehin vorhandenen Zeitbasisteilers in den Weg des Meßsignals (Abbildung 77). Dieser vervielfacht

griffen, den Frequenzzähler gewissermaßen „umzukehren“, geht man bei der Pulsbreitenmessung noch einen Schritt weiter. Da man wissen will, wie lang ein Impuls von der L/H-Flanke bis zur H/L-Flanke (positive Pulsbreite) bzw. umgekehrt (negative Pulsbreite) ist, nutzt man hier beide Flanken zur Steuerung des Zählers, der ansonsten dem Zähler für die Periodendauer entspricht. Das heißt, daß der Eingangskanal mit einem einstellbaren Trigger ausgestattet wird, dessen Auslösung je nach Bedarf an der positiven oder negativen Flanke des Meßsignals erfolgt (Offset). Das Tor öffnet dann z. B. bei ansteigender Flanke und schließt bei abfallender Flanke. Die angezeigte Zeit ist die Pulsbreite. Abbildung 78 verdeutlicht die Funktionsweise.

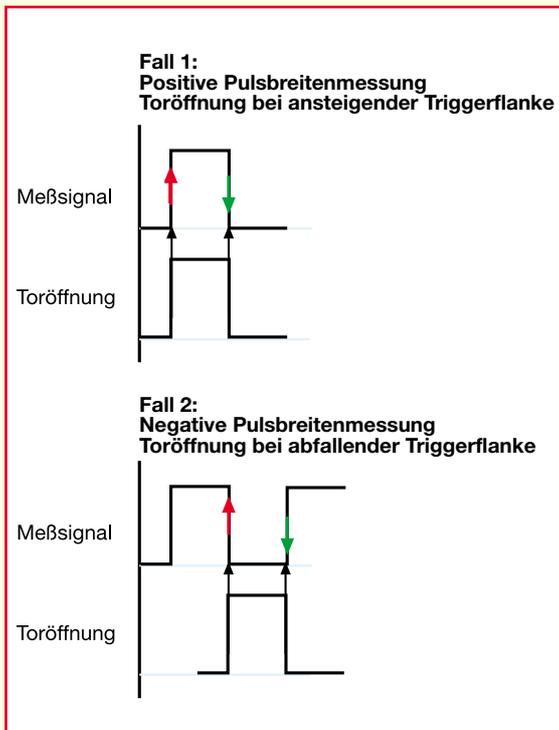


Bild 78: So arbeitet die Pulsbreitenmessung

würden kurzzeitige Abweichungen des Meßsignals gar nicht mehr erfaßt werden können. Die maximal üblichen Torzeiten bei Frequenzzählern betragen meist 10 s.

Also nähern wir uns dem Problem einfach von der anderen Seite.

Die Periodendauermessung

Man konfiguriert den Zähler nach Abbildung 76 um und erhält eine neue Meßart des Zählfrequenzmessers - die Periodendauermessung. Dabei tritt die Meßfrequenz an die Stelle der Zeitbasis, also des Oszillators, und dieser an die Stelle der Meßfrequenz. Letztere steuert dann komplett den Zeitablauf des Zählers, öffnet also mit zunächst nicht bekannter Dauer das Tor.

je nach Einstellung die Periodendauer des Meßsignals. So erhält man einen Mittelwert der Periodendauer und eine höhere Genauigkeit vor allem bei höheren Frequenzen.

Pulsbreitenmessung

Mit der Messung von Frequenzen ist eine Zähleranordnung von der Zahl ihrer Möglichkeiten her jedoch noch nicht ausgereizt. Man kann quasi alles messen, was irgendwie zeitliche Zusammenhänge darstellt - Beispiel Pulsbreitenmessung, gerade in der Digitaltechnik oft benötigt.

Hat man schon bei der Periodendauermessung zu einem Trick ge-

Zeit- und Ereignismessungen

Aber auch reine Ereigniszählungen sind mit einem solchen Zähler möglich. Hier ist die Steuerung besonders einfach. Wir haben einen solchen Zähler mit unserer Stoppuhr bzw. dem Lottozahlengenerator be-

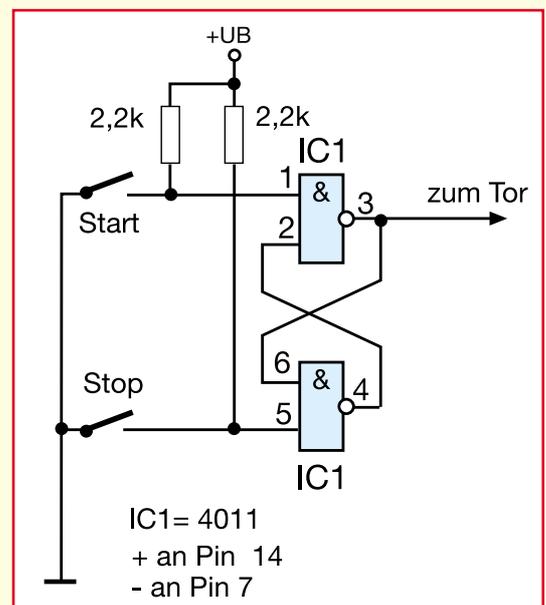
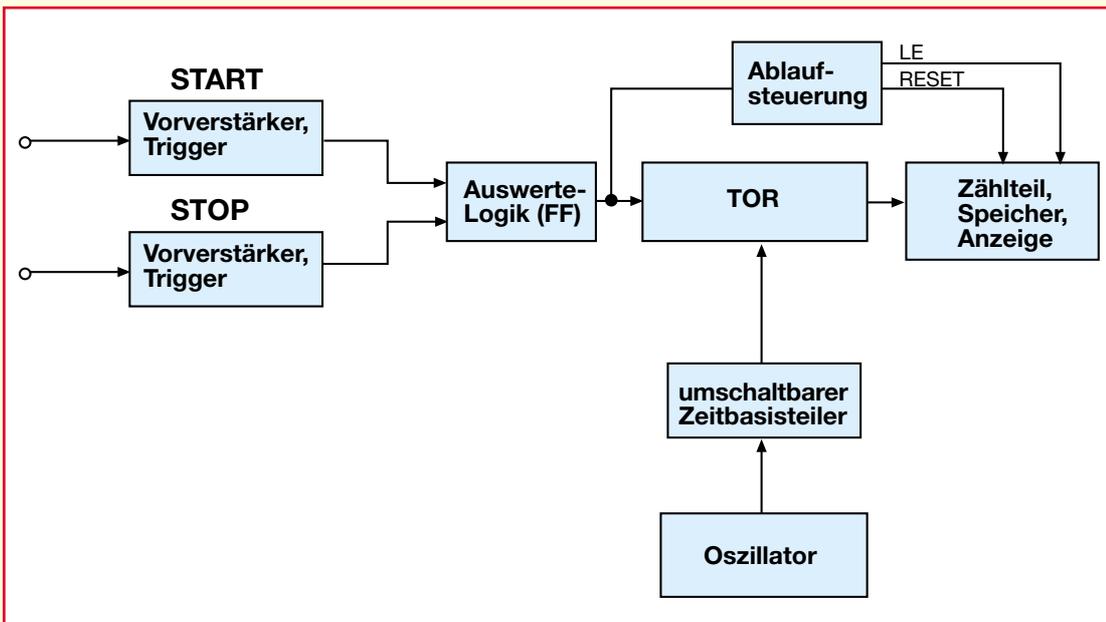


Bild 79: Eine einfache Start-/Stop-Schaltung macht den Zähler zum Ereigniszähler

Bild 80: Etwas mehr Aufwand für die Zeitintervallmessung - dafür wieder neue Möglichkeiten



reits realisiert. Den Frequenzzähler aus Abbildung 70 kann man sehr einfach dazu umbauen, indem statt des Oszillators/Teilers eine Start-Stop-Schaltung, wie wir sie bereits kennen, für die Steuerung des Tors eingesetzt wird (Abbildung 79).

Aber auch eine automatische Zeitintervallmessung ist eine interessante Anwendung. Hier kann man z. B. Anstiegszeiten von Impulsen, Verzögerungszeiten in Digitalschaltungen oder Zeitdifferenzen bei Sportveranstaltungen erfassen.

Die Konfiguration des Zählers (Abbildung 80) ähnelt wieder der bei Periodendauermessung, jedoch gibt es hier zwei Eingangskanäle, die für reine Digitalmessungen nur aus einem Flip-Flop bestehen, der z. B. die Schaltsignale von Sensoren oder direkt Signale aus Digitalschaltungen auswertet. Will man auch analoge Signale auswerten, z. B. ähnlich wie beim Oszilloskop die Flankenanstiegszeit eines Impul-

ses ermitteln, sind in die Eingangskanäle wiederum Vorverstärker mit einstellbaren Triggern zu integrieren, die es gestatten, sowohl Triggerpegel als auch -flanke einzustellen. Der Triggerpegel des START-Kanals wird auf 10% der Eingangssignalamplitude eingestellt, der STOP-Kanal auf 90%. Bei Erreichen der 10%-Marke öffnet der START-Kanal das Tor, der STOP-Kanal schließt es bei Erreichen der 90%-Marke. Die Zeit dazwischen wird angezeigt.

Um solche Anwendungen bei Bedarf auch praktisch testen zu können, ist jedoch eine andere Taktfrequenzzeugung notwendig, als wir sie bisher eingesetzt haben. Eine mögliche Variante findet sich in Abbildung 81. In der Teilerkette sind auch höhere Taktfrequenzen abgreifbar, und damit sind auch Experimente mit höheren und sehr niedrigen Meßfrequenzen möglich. Hier sind dann lediglich noch bei der Anzahl der Anzeigestellen Grenzen in der

Darstellbarkeit des Ergebnisses gesetzt. Weiterer Aufwand in diese Richtung ruft aber geradezu nach Mikroprozessortechnik, wie sie bei den ebenfalls in diesem Heft vorgestellten Universalfrequenzzählern FC 7007/7008 zur Anwendung kommt und sich zum Eigenbau eines kompletten Universalzählers empfiehlt. Allein der Materialaufwand eines solchen Zählers in der diskreten Technik, wie wir sie hier vorstellen, überstiege weit den der Prozessorzähler. Dennoch eignet sich unser Grundlagenkurs hervorragend dazu, die Funktionsweise und Anwendung eines solchen, wirklich universell einsetzbaren Gerätes gründlich kennen- und beherrschen zu lernen.

Damit wollen wir es mit digitaler Zähltechnik genug sein lassen und uns in der nächsten Folge unserer Serie nochmals Spaß an der Digitaltechnik gönnen - wir beschäftigen uns mit der Tonerzeugung. **ELV**

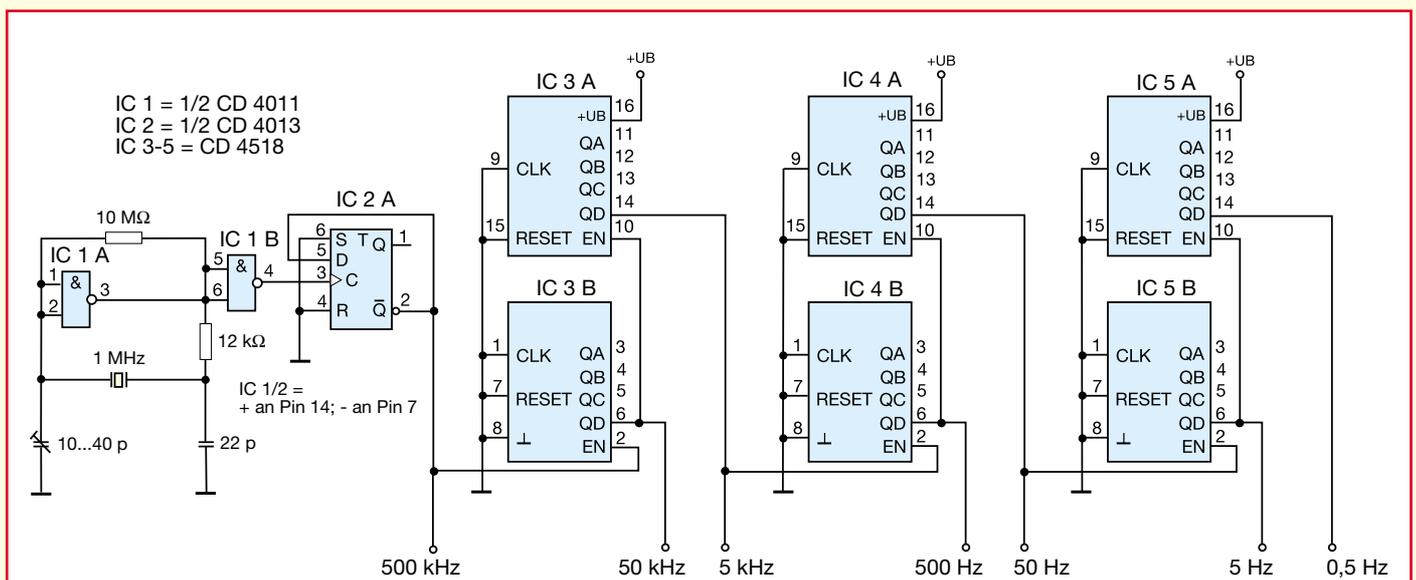


Bild 81: Eine alternative Takterzeugung mit Umschaltmöglichkeiten der Zeitbasis