



Teil 1

2,4-GHz-Universalzähler mit TCXO - Frequenzzähler FC 8000

Infos zum Bausatz

im ELV-Web-Shop

#1415

Der FC 8000 ist ein moderner Universal-Frequenzzähler im bewährten 8000er-Gehäuse. Durch den Einsatz eines hochwertigen temperaturkompensierten Oszillators wird eine hohe Genauigkeit des Frequenzzählers gewährleistet. Der FC 8000 verfügt über drei Zählereingänge, die alle Messaufgaben bis in den GHz-Bereich abdecken. Zum Funktionsumfang des FC 8000 gehören die Frequenz-, Perioden- und Pulsbreitenmessung sowie eine Ereigniszählung, die Ausstattung wird durch eine USB-Schnittstelle vervollständigt. Im ersten Teil der dreiteiligen Beschreibung des Gerätes werden Funktionen und die Bedienung erläutert.

Hochwertiges Messgerät

Ein Universal-Frequenzzähler ist, wie der Name schon sagt, ein vielseitig einsetzbares Messgerät, bei dem es auf eine hohe Genauigkeit und Messstabilität ankommt. Denn gerade z. B. in Abgleichprozessen ist eine exakte Anzeige das A und O. Beim FC 8000 ist mit dem Einsatz eines hochwertigen temperaturkompensierten Oszillators die Grundlage für eine hohe Genauigkeit des Frequenzzählers gelegt.

Der FC 8000 verfügt über drei Zählereingänge. Ein TTL-Eingang ist für direkte Messungen an Digitalschaltungen vorgesehen. Ein zweiter Eingang, mit höherer Empfindlichkeit, dient der Erfassung von Signalen, die nicht dem TTL-Standard entsprechen. Der dritte Eingang verfügt über einen HF-Eingangsteiler und ermöglicht damit Messungen bis in den GHz-Bereich. Zum Funktionsumfang des FC 8000 gehören die Frequenz-, Perioden- und Pulsbreitenmessung sowie eine Ereigniszählung – diese Eigenschaften machen ihn zum Universalzähler.

Die Messergebnisse werden auf einem gut ablesbaren Grafikdisplay mit einer Auflösung von 192 x 64 Pixel dargestellt. Die Bedienung des FC 8000 ist durch die übersichtliche Anordnung der Tasten und den Einsatz eines Inkrementalgebers mit Tastfunktion sehr einfach.

Über die beim FC 8000 vorhandene USB-Schnittstelle können die Messergebnisse der aktuellen Messung ausgegeben und somit auch geloggt werden.

Das Messprinzip des FC 8000 basiert auf der Auswertung von zwei eingangssynchronen Zählerstufen und einer einstellbaren Torzeit. Entscheidend für die hohe Frequenzstabilität des intern erzeugten Referenzsignals ist die Qualität und damit die Stabilität von dessen Taktquelle, einem Oszillator. Hier ist der Einsatz eines Quarzoszillators natürlich die Mindestforderung, aber auch ein Quarzoszillator kann bei wechselnden Umgebungsbedingungen, in der Regel durch die innere Erwärmung des Gerätes, deutlich driften. Um diesen Umgebungseinfluss auszuschalten



und gleichbleibende Arbeitstemperaturen zu gewährleisten, setzt man einen temperaturkompensierten Oszillator, einen TCXO, ein. Hier befindet sich der Quarzoszillator als komplette Baugruppe inklusive Quarz in einem geschlossenen Gehäuse, dessen Innentemperatur durch einen Temperatursensor, meist einen Thermistor, erfasst wird. Bei sich verändernder Temperatur wird der Quarzoszillator durch eine Regelschaltung „gezogen“ und so die Frequenzdrift des Quarzes kompensiert. So kann man eine äußerst geringe Frequenzdrift in der Größenordnung von $\pm 1,0$ ppm über einen weiten Einsatztemperaturbereich erzielen.

Die weiteren Funktionen und Möglichkeiten sind im folgenden Abschnitt „Funktionen und Bedienung“ ausführlich dargestellt, im „Elektronikwissen“ sind die Grundlagen für die Frequenzmesstechnik detaillierter erläutert.

Das Gerät ist im bewährten 8000er-ELV-Laborgerätegehäuse untergebracht, es reiht sich damit nahtlos in die bereits vorhandene Laborgeräteleine ein.

Funktionen und Bedienung

Durch den Einsatz von Grafikdisplay, Drehimpulsgeber und klarem Tastenfeld ist die Bedienung übersichtlich und einfach gehalten.

Nach dem Einschalten des FC 8000 führt das Gerät einen Selbsttest durch, bei dem alle Bildpunkte im Grafikdisplay aktiv sind und die einzelnen Leuchtdioden im Tasten- und Anschlussfeld aufleuchten.

Nach diesem Selbsttest startet das Gerät in der Betriebsart Frequenzmessung, „Frequency“, und hat den Kanal „TTL“ aktiviert. Solange an dem ausgewählten Eingang des FC 8000 kein auswertbares Messsignal bzw. eine Messspannung anliegt, wird dies auf dem Display mittels waagerechter Striche dargestellt und das Gerät signalisiert damit die Messbereitschaft.

Kanalauswahl

Mit Betätigung der Kanalauswahl-Taste „Channel“ wird der zu nutzende Kanal ausgewählt. Jeder Tastendruck sorgt dafür, dass der nächste Messkanal aktiviert wird. Der momentan aktive Kanal wird stets durch das Aufleuchten der zugehörigen LED in der Kanalanzeige signalisiert. Eine über den aktiven Eingangskanal eingespeiste Messfrequenz wird dann bis zum Zählwerk durchgeschaltet und kann somit verarbeitet werden.

An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass der 2,4-GHz-Kanal des FC 8000 nur für die Betriebsart „Frequenzmessung“ bzw. „Periodendauer“ eingesetzt werden kann, da der eingesetzte HF-Vorteiler das eingespeiste Signal über ein fest eingestelltes Teilungsverhältnis herunterteilt und sogleich digitalisiert. Durch diesen erforderlichen Schritt geht die originale Signalform verloren und kann nicht mehr für die Bestimmung der Puls- und Pausezeiten verwendet werden. In Bild 1 ist ein Beispiel dargestellt, welches die Funktionsweise des HF-Vorteilers zeigt.

Einstellung der Torzeit

Mit Hilfe des Drehimpulsgebers kann direkt der aktuelle Wert der Torzeit

geändert werden. Durch Drehen nach rechts vergrößert sich der Wert, die Drehung nach links verringert den Wert. Die Torzeit kann in einem Bereich von 1 ms bis 60 s eingestellt werden, wobei die Schrittweite, also die Auflösung der Werteänderung, abhängig vom Torzeitbereich 1 ms, 10 ms oder 100 ms beträgt. Die Torzeit (Gate Time) wird auf dem Display unten links angezeigt.

Aufruf des Gerätemenüs

Über einen langen Tastendruck auf die Taste „Menu“ öffnet sich das Gerätemenü des FC 8000. Durch das Drehen des Drehimpulsgebers kann nun die zu ändernde Zeile ausgewählt und mittels eines Drucks auf den Drehgeber geändert werden. Um das Gerätemenü wieder zu verlassen, kann entweder die Taste „Menu“ erneut lang gedrückt werden oder es wird die Zeile „Exit“ im Menü angesteuert und mit einem kurzen Tastendruck am Drehgeber bestätigt. Die einzelnen Menüfunktionen sind innerhalb der folgenden Kapitel näher erläutert.

10:1-Dämpfung und Tiefpass-Filter

An den TTL-Eingang dürfen nur TTL-kompatible Signale mit max. 5 V gelegt werden. Seine Nutzung ist also ausschließlich auf Digitalschaltungen mit eben diesen Signalpegeln beschränkt!

Der 100-MHz-Eingang dagegen verarbeitet Pegel bis 50 Vss. Kommt es jedoch bei hohen Pegeln zu instabilen Anzeigen, so ist im Menü des FC 8000 die Einstellung „10:1 Attenuator“ zu aktivieren, wodurch der Pegel um 20 dB bzw. den Faktor 10 abgesenkt wird. Die Aktivierung dieser Dämpfung wird im Display durch ein Symbol dargestellt.

Bei Messungen unter 50 kHz am 100-MHz-Kanal kann es, abhängig vom Messobjekt, zu HF-Einstreuungen bzw. -Störungen kommen, was wiederum eine instabile oder gar undefinierte Anzeige zur Folge haben kann. In diesem Fall ist das Tiefpass-Filter „Low Pass Filter“ über das Menü einzuschalten. Auch hier wird die Aktivierung des Filters im Display über ein entsprechendes Symbol signalisiert.

Frequenz- und Periodenmessung

Über die beiden Tasten „Frequency“ und „Period“ wird direkt für den momentan aktiven Kanal die Messung der Frequenz oder der Periodendauer gestartet. Dann beginnt der folgend erläuterte Messablauf.

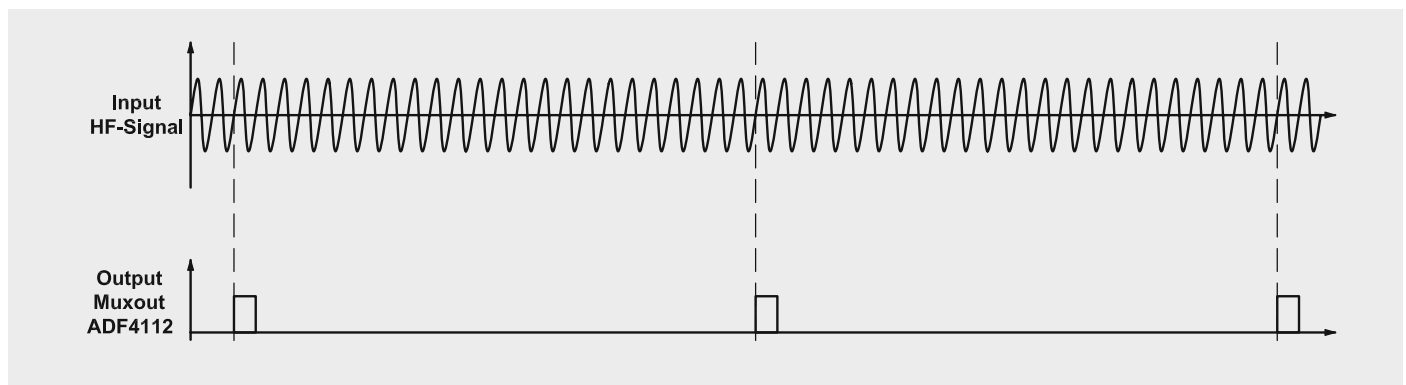


Bild 1: Beispiel für die Funktionsweise des HF-Vorteilers

Das Gerät wartet auf eine Flanke des Messsignals. Durch das Eintreffen besagter Flanke wird die Messung gestartet und nach Ablauf der Torzeit und der Messperiode wieder beendet. Es folgen nun die Berechnung und die Anzeige des Messwertes, dessen Stellenanzahl abhängig von der Torzeit und dem Referenzsignal ist, also hier dem 10-MHz-TCXO.

Das im FC 8000 eingesetzte Zählwerk ermöglicht eine eingangssynchrone Frequenzmessung, das heißt, es steht auch bei der Messung sehr niedriger Frequenzen die volle Anzeigeauflösung zur Verfügung – ein unschätzbare Vorteil in der täglichen Messpraxis!

Pulsbreitenmessung

Über die Tasten „pos. Pulse“ und „neg. Pulse“ werden ebenfalls direkt die Messungen für die positive bzw. die negative Pulsbreitenbestimmung am aktuell aktiven Kanal gestartet. Die Pulsbreitenmessung ist mit einer Auflösung von 1/Referenzfrequenz möglich. Bei dem eingesetzten 10-MHz-Quarzoszillator ergibt das eine zeitliche Auflösung von 100 ns.

Ereigniszählung

Als letzte zu beschreibende Funktion steht die Ereigniszählung zur Verfügung. Diese wird über die Taste „Event Counter“ aktiviert, wodurch auf dem Display dazu direkt die Oberfläche der Ereigniszählung erscheint. Nach Aktivierung dieser Funktion ist der Zähler zuerst auf null gesetzt und fängt sofort damit an, Eingangsimpulse des aktivierten Kanals zu zählen. Mit einem erneuten Druck auf die Taste „Event Counter“ kann der Zähler zu jeder Zeit auf null zurückgesetzt werden.

Anzeige einfrieren

Da sich bei kleinen Torzeiten, z. B. 100 ms, die Messwertanzeige sehr schnell ändert, ist ein „ordentliches“ Ablesen nicht gewährleistet. Das Anzeigenintervall, d. h. die Wiederholfrequenz, bei der ein neuer Wert auf dem Display erscheint, ist einfach zu schnell. Damit bei einer solchen Torzeiteinstellung trotzdem das Ablesen eines Momentanwerts möglich ist, kann mit der Taste „Hold“ der letzte gemessene Wert auf dem Display „eingefroren“ werden. Nun kann der Inhalt des Displays bequem und in Ruhe abgelesen werden.

Im zweiten Teil der Beschreibung des FC 8000 werden wir uns im nächsten ELVjournal der Schaltungstechnik des Gerätes widmen. **ELV**

Messverfahren bei Frequenzzählern

Frequenzzähler sind seit eh und je beliebte Bastlerprojekte, im Internet gibt es dazu zahlreiche Anleitungen und Berichte zu selbstgebaute Frequenzzählern. Dabei werden je nach Komplexität der Umsetzung verschiedene Methoden der Frequenzählung angewendet. Doch worin bestehen die Unterschiede?

Die direkte Frequenzählung

In Bild 2 ist ein Blockschaltbild dargestellt, welches das grundsätzliche Messverfahren bei der direkten Frequenzählung zeigt. Die eintreffenden Impulse eines Messsignals werden für einen bestimmten Zeitraum durch ein Tor gelassen, vom Zählwerk erfasst und gezählt. Nach Ablauf der vorgegebenen Torzeit werden die Inhalte des Zählers vom Mikrocontroller verarbeitet und zur Anzeige gebracht.

Um bei dieser Messmethode gute Ergebnisse, also eine gewisse Auflösung innerhalb akzeptabler Torzeiten, zu erzielen, sind hohe Frequenzen nötig. Hierzu ein Beispiel: Ein Messsignal mit einer Frequenz von 1 MHz erzeugt innerhalb einer Torzeit von einer Sekunde eine Million Zählimpulse, wodurch eine Auflösung von 6 Digits erreicht wird. Würde man eine identische Auflösung bei einem Messsignal unter 100 Hz erreichen wollen, müsste die Torzeit auf 10.000 Sekunden erhöht werden, was natürlich nicht akzeptabel ist.

Die Periodendauermessung

Um diese zeitaufwendige Messung also zu umgehen, wird bei niederfrequenten Signalen die Messung der Periodendauer als Messmethode eingesetzt. Bild 3 zeigt das dazu-

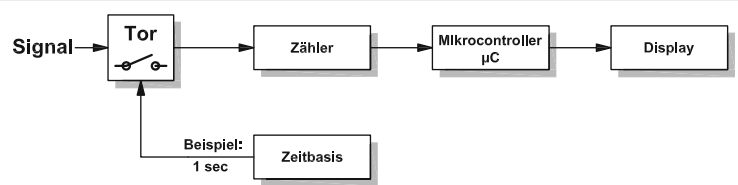


Bild 2: Das Prinzip der direkten Frequenzählung

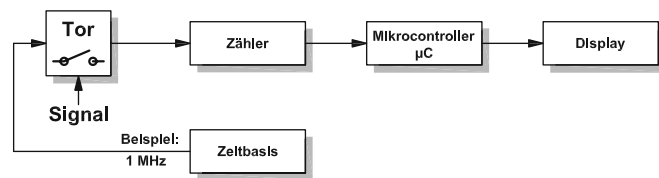


Bild 3: Das Prinzip der Periodendauermessung

gehörige Blockschaltbild. Der grundlegende Unterschied in dieser Schaltung liegt in der Ansteuerung der Torzeit und welches Signal vom Zählwerk erfasst und gezählt wird.

Die Torzeit wird nun über das eingespeiste Messsignal, also z. B. die steigenden Flanken, bestimmt. Bei der ersten steigenden Flanke wird das Tor geöffnet und das Zählwerk erfasst das Taktsignal der Zeitbasis und zählt somit die Impulse der Referenzfrequenz. Bei der zweiten steigenden Flanke des Messsignals wird das Tor wieder geschlossen und der Zählerstand ausgewertet. Entgegengesetzt zu der ersten Methode arbeitet diese umso besser, je geringer die zu messende Frequenz ist.

Auch hier soll wieder ein Beispiel helfen: Ein Messsignal mit einer Frequenz von 1 Hz erzeugt eine Torzeit von einer Sekunde. Wird für die Zeitbasis eine Referenzfrequenz von 1 MHz eingesetzt, werden innerhalb dieser Torzeit vom Zählwerk eine Million Impulse zu je einer Mikrosekunde gezählt. Dies ergibt wieder eine Auflösung von 6 Digits. Für eine identische Auflösung bei einem Messsignal von über 1 kHz müsste die Referenzfrequenz auf 1 GHz erhöht werden.

Damit also ein universeller Frequenzzähler sowohl niedrige als auch hohe Frequenzen mit guter Auflösung messen kann, müssten beide Verfahren implementiert sein.



Das Asynchron-Problem

Die beiden Diagramme in **Bild 4** zeigen die gleiche Frequenz und die gleiche Torzeit. Jedoch liegt der Startzeitpunkt der Torzeit im unteren Beispiel etwas später als das Eintreffen der ersten Signalflanke. Durch diesen kleinen Unterschied, der durch die Asynchronität zwischen Messsignal und Torzeit entsteht, werden im oberen Beispiel (synchrone Toröffnung) vier steigende Flanken beim Messsignal erkannt, im unteren Beispiel nur drei (asynchrone Toröffnung). Das Beispiel kann mit einer beliebigen Messsignalfrequenz wiederholt werden, der dabei auftretende absolute Fehler wird immer bei ± 1 liegen.

Anders verhält es sich bei dem verursachten relativen Fehler, er ist umso größer, je geringer die absolute Anzahl an steigenden Flanken des Messsignals innerhalb der vorgegebenen Torzeit ist. Es handelt sich hierbei um einen systematischen Messfehler, der sich nicht vermeiden lässt.

Der Reziprozähler

Die dritte Messmethode umgeht dieses Problem, da es für das Messsignal und die Referenzfrequenz separate Zähler verwendet und das Torzeitsignal mit dem Messsignal synchronisiert. In **Bild 5** ist das Blockschaltbild des Reziprozählers zu sehen. Durch die jeweils separaten Zähler, die beide über das identische Torsignal angesteuert werden, kombiniert der Reziprozähler die direkte Frequenzzählung mit der Periodendauermessung. Dabei wird, technisch und rechnerisch gesehen, zunächst eine reine Periodendauermessung ausgeführt und aus dieser der reziproke Wert gebildet, der schließlich die Frequenz angibt:

$$\text{Frequenz (Hz)} = \frac{1}{\text{Periodendauer (s)}}$$

Der Ablauf dieses Verfahrens gestaltet sich wie folgend beschrieben. Der Mikrocontroller öffnet über die Synchronisierungsstufe beide Torschaltungen für genau die gleiche Zeit. Innerhalb der Torzeit zählen nun die beiden Zähler die Impulse der Referenzfrequenz f_{ref} als auch die des Messsignals f_x und übergeben die daraus resultierenden Werte N_{ref} und N_x an den Mikrocontroller. Durch die gleiche Toröffnungszeit ergibt sich ein starres, geradzahliges Verhältnis beider Werte zueinander:

$$\frac{f_x}{f_{ref}} = \frac{N_x}{N_{ref}}$$

Jetzt setzt die Umrechnung im Mikroprozessor an und er rechnet aus diesen Verhältnissen die Messfrequenz:

$$f_x = N_x * \frac{f_{ref}}{N_{ref}}$$

Über die im Blockschaltbild dargestellte Synchronisierungsstufe wird der oben diskutierte systematische Messfehler (Quantisierungsfehler) durch eine geschickte Torsteuerung begrenzt. Dazu betrachten wir **Bild 6**. In der ersten Phase wird der Messvorgang zu einem beliebigen Zeitpunkt im Verlauf des Messsignals (f_x) gestartet und es werden die Flanken des Messsignals detektiert. Mit dem Auftreten der nächsten steigenden Flanke des Messsignals beginnt die zweite Phase, jetzt wird das Tor geöffnet, und mit der wiederum nächsten

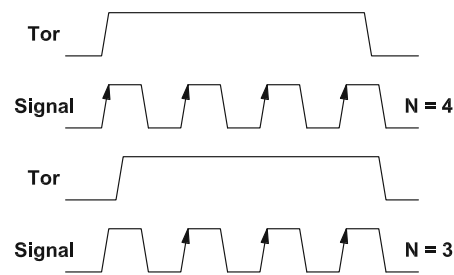


Bild 4: Erfolgt das Öffnen des Zählertores synchron zur ersten Flanke des Messsignals, werden alle Signalimpulse exakt gezählt (oben). Erfolgt diese Synchronisierung nicht, entsteht ein systematischer Messfehler (unten).

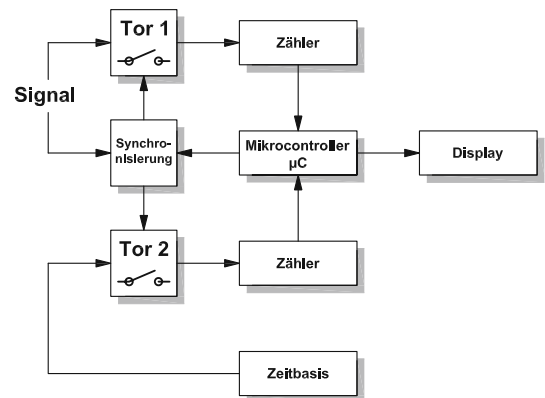


Bild 5: Der Reziprozähler ermittelt die Frequenz aus einem starren gekoppelten Zählerverhältnis von Mess- und Referenzfrequenz und verringert durch eine exakte Synchronisierung den Quantisierungsfehler.

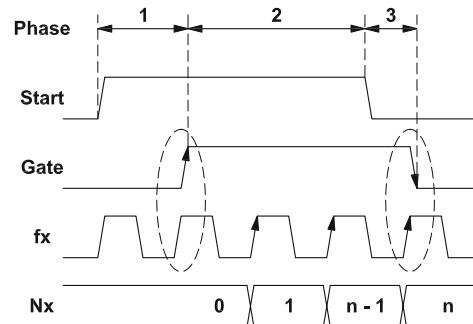


Bild 6: Der Steuerungsablauf im Reziprozähler teilt sich in mehrere Phasen auf. Der Kernpunkt ist die genaue Erfassung eines ganzzahligen Vielfachen der Periodendauer des Messsignals.

Flanke des Messsignals beginnt die Zählung (N_x) in den beiden Zählern. Nach einer definiert eingestellten Torzeit, mit der eine möglichst hohe Anzahl an Zählimpulsen erreicht wird, löst der Mikrocontroller das Ende der Messung aus. Um nun exakt ein ganzzahliges Vielfaches der Periodendauer zu erhalten, schließt das Tor aber erst mit der nächsten steigenden Flanke des Messsignals und der Mikrocontroller startet die beschriebene Umrechnung. Genau dieser Ablauf hält den Quantisierungsfehler konstant auf $1/n$, damit werden dann auch niedrige Frequenzen genau und mit hoher Auflösung angezeigt.

Quellenangaben:

www.mikrocontroller.net/articles

Frequenzzählermodul

<http://techblog.auchmonoabspielbar.de/?p=122>