

Digitaltechnik - ganz einfach Teil 10

Der abschließende Teil unserer Grundlagenreihe zur Digitaltechnik befaßt sich mit der Tonerzeugung durch und mittels digitaler Schaltkreise. Dabei wenden wir viele Erkenntnisse der vorangegangenen Folgen an, gönnen uns etwas Spaß an tollen Geräuschen und unternehmen einen kurzen Ausflug an die Schnittstelle zur analogen Technik. „Nebenbei“ lernen wir das Schieberegister und die Wandlung zwischen digitalen Daten und analogen Größen kennen.

Töne aus Digitalgattern

Töne sind Schwingungen und diese haben wir ja schon im Verlaufe der Serie mehrfach erzeugt. Wir erinnern uns an die verschiedenen Taktgeneratorschaltungen für unsere Zähler oder den Backplane-Taktgenerator für die LC-Anzeige.

Ein solcher Generator ist in Abbildung 82 nochmals gezeigt, hier dimensioniert für 1 kHz. Diese Frequenz kann man gut hören, also wollen wir dies probieren und schalten dem Generator einen kleinen Verstärker nach (Abbildung 83), der auch für alle folgenden Applikationen zur Hör-

barmachung der Tonsignale einsetzbar ist. Wir hören einen Ton, dessen Tonhöhe, sprich Frequenz, in Grenzen durch Veränderung des Widerstands im Oszillator einstellbar ist. Die Schwingungserzeugung beruht hier auf dem Schmitt-Trigger-Prinzip des als Inverter geschalteten NAND-Gatters. Eine andere Art der Schwingungserzeugung ist der weitverbreitete astabile Multivibrator. Ein Schaltungsbeispiel ist in Abbildung 84 gezeigt. Auch hier kann der Verstärker nach Abbildung 83 angeschlossen werden.

Statt eines Tasters für das Einschalten des Generators sind auch Relaiskontakte, Optokoppler oder z. B. Feuchtfühler an-

schließbar, so daß man den kleinen Generator schon z. B. als Wanne-Voll-Indikator einsetzen kann.

Ergänzt man den 1kHz-Generator nach

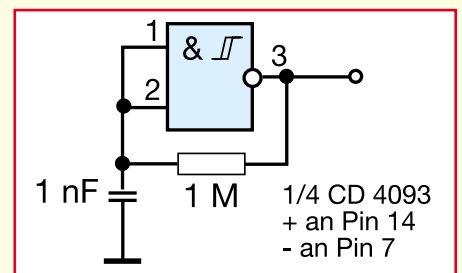


Bild 82: Die Quelle aller Töne - einfacher 1kHz-Generator.

Bild 83: Dieser Verstärker ist leistungsfähig genug für die Tonausgabe.

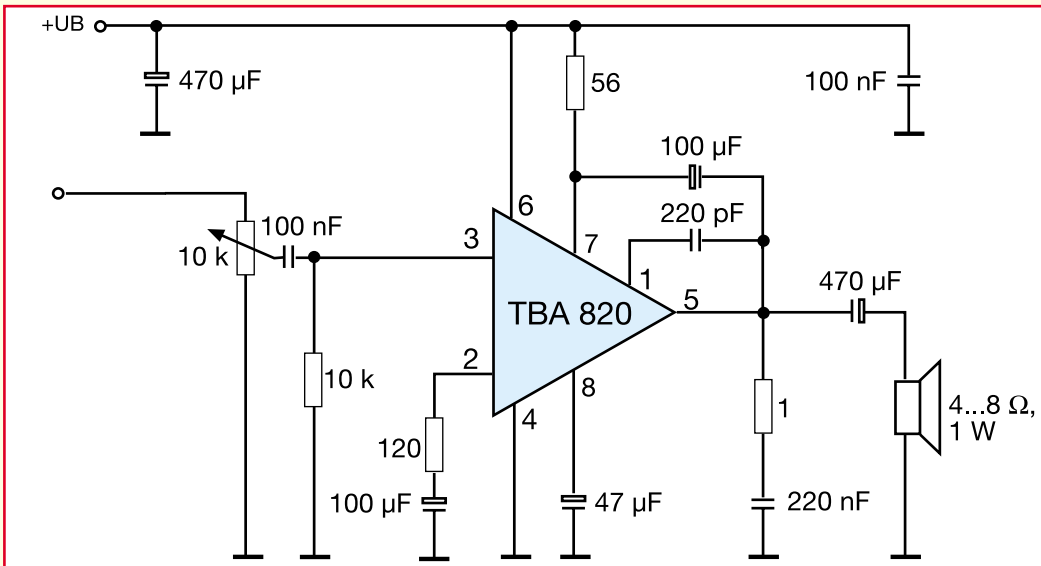


Abbildung 84 mit dem zweiten dort gezeigten Generator, der z. B. eine Frequenz von 500 Hz erzeugt, erhält man einen Zweiton-Generator, der entweder wahlweise über die beiden Taster oder andere Schaltelemente zwei Zustände über zwei verschiedene Töne signalisieren kann oder aber beim gleichzeitigen Schließen beider Kontakte einen markanten Doppelton er-

rimentierfreudigen die Möglichkeit geben, die Schaltung entsprechend zu modifizieren und so alle möglichen Sirenenarten zwischen Feuerwehr- und Polizeisirene zu simulieren.

und dieser wiederum den schnellen Taktgenerator IC 1 D ansteuert.

Sinus: mal trivial, mal komfortabel

Zahlreiche Anwendungen in der Tonerzeugung erfordern eine Sinusspannung. Diese ist mit einfachen Digitalbausteinen jedoch nicht ohne weiteres zu erzeugen - der Generator müßte im Linearbetrieb arbeiten, und hier werden digitale Gatter einigermaßen unkalkulierbar. Dennoch ist die Aufgabe mit relativ geringem Aufwand lösbar, wie Abbildung 87 zeigt. IC 1

Eine interessante Intervallfolge erzeugt auch die Schaltung nach Abbildung 86. Hier finden wir als Eingangsstufen IC 1 A/B eine monostabile Kippstufe (auch dazu läßt sich der CD 4093 nutzen), die durch den Taster ausgelöst wird, ihrerseits für mehrere Sekunden (die Haltezeit wird durch die RC-Kombination an Pin 5/6 bestimmt) den langsamen Taktgenerator IC 1 C freigibt

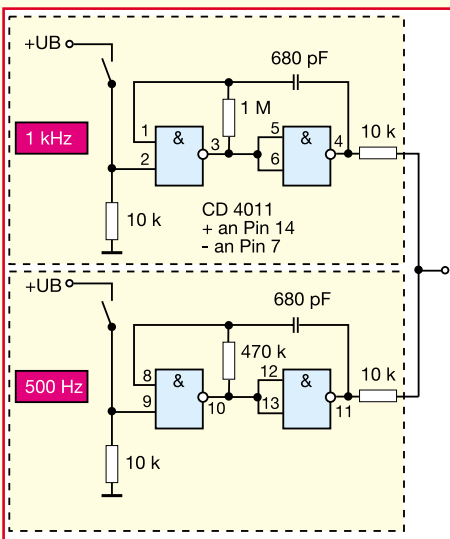


Bild 84: Einfacher Zweiton-Generator mit dem CD 4011.

zeugt. Hier ist für Experimentierfreudige ein weites Feld geöffnet, das von der Polizeiboot-Sirene bis zur Truck-Fanfane zahlreiche Variationsmöglichkeiten bietet. Probieren Sie die verschiedenen Tonhöhen-einstellungen durch Variation der frequenzbestimmenden Bauteile aus.

Noch einen Schritt weiter geht die Schaltung in Abbildung 85. Hier nutzen wir eine alte Bekannte, die Torschaltung, zur Umschaltung zwischen zwei Generatoren mit verschiedenen Frequenzen. Damit man die Torschaltung nicht mit der Hand umschalten muß, dient ein dritter Generator als Steuerung für das Tor. Heraus kommt der Toneffekt einer Sirene. Auch hier ist Expe-

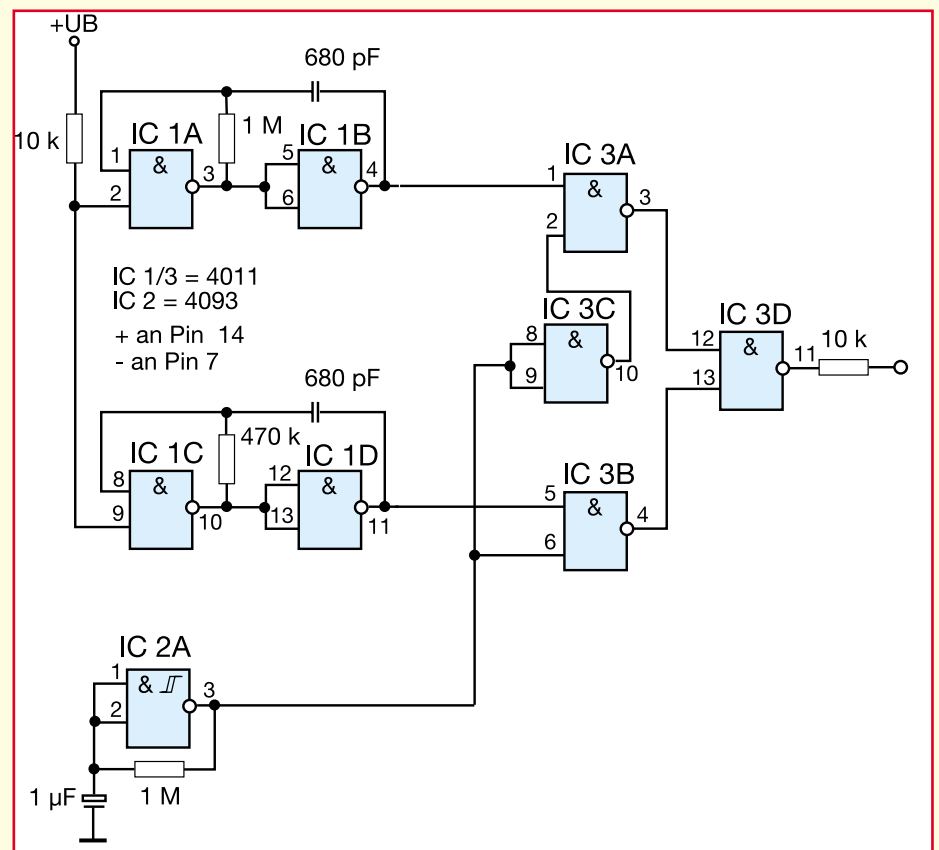


Bild 85: Mit einer Torschaltung und einem langsamen Taktgenerator kombiniert wird unser Zweiton-Generator zur Sirene.

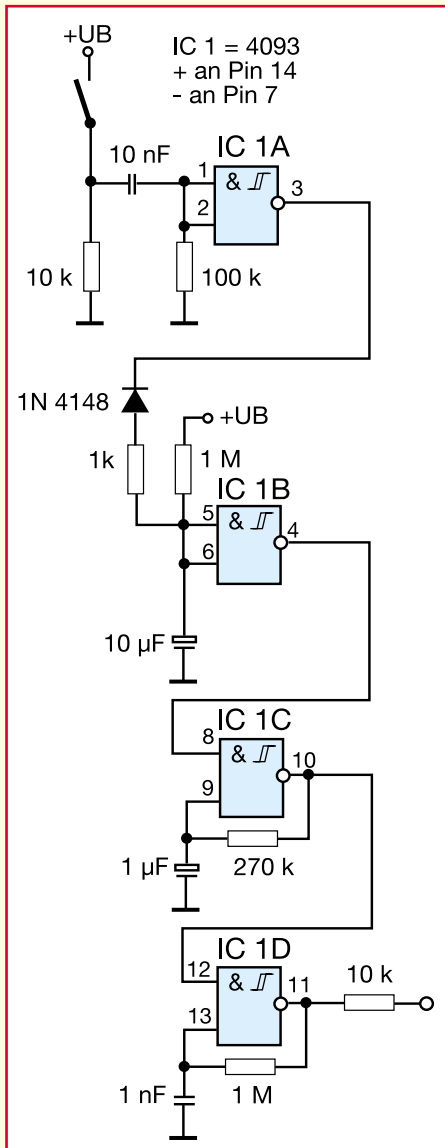


Bild 86: Kleiner Effekttongenerator mit Auslösung durch Monoflop.

A/B bilden zunächst den bereits bekannten Rechteckgenerator, hier zur Abwechslung einmal mit einem CD 4011. Auch diesem „einfachen“ NAND kann man mit Rück-

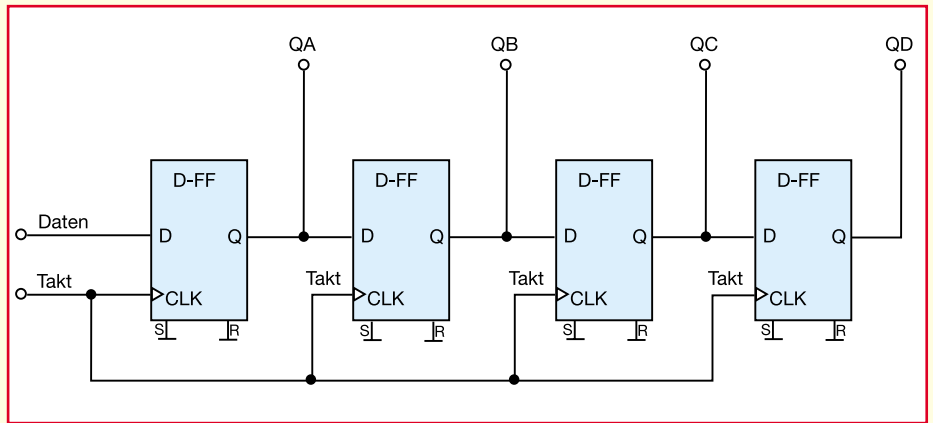


Bild 88: So funktioniert ein einfaches serielles Schieberegister: Eine Information wird mit jedem Takt eine Stufe von links nach rechts durch die Register geschoben.

kopplung und einer Hysteresebeschaltung (R 6/R 7) das Arbeiten als Schmitt-Trigger „beibringen“. R 8 und C 5 sind als frequenzbestimmende Bauelemente auch hier in weiten Grenzen variierbar.

Aus der resultierenden Rechteckspannung bildet die nachfolgende aktive Filterschaltung mit T 1 eine Sinusspannung, die an C 2 zur Weiterverarbeitung ansteht. Das Ganze ist hervorragend für den Test von NF-Schaltungen geeignet, klingt auch besser als Rechteck und ist vor allem verträglicher für den Lautsprecher.

Die ohnehin im CD 4011 noch freien Gatter IC 1 C/D werden hier zu einer leistungsfähigen Pufferstufe zusammengefaßt, an deren Ausgang parallel zur Sinus die entsprechende Rechteckspannung verfügbar ist.

Zu beachten ist bei dieser recht einfachen Schaltung, daß man, will man die Frequenz des Rechteckgenerators ändern, natürlich auch die Dimensionierung des Filters ändern muß. Für unsere Demonstration ist die Schaltung für 1 kHz ausgelegt.

So richtig nach Digital sieht das Bisherige ja noch nicht aus, deshalb wollen wir

uns noch einer etwas komplexeren Schaltung zur Erzeugung von Sinusspannungen widmen und dabei gleich einen weiteren Baustein der Digitaltechnik kennenlernen.

Durchschieben!

Mittelpunkt dieser Schaltung ist ein Schaltkreis, den wir bisher noch nicht kennen, der aber recht wichtig für die Realisierung vieler Digitalschaltungen ist - das Schieberegister. Dessen Funktion ist sehr schnell erklärt. Eine Eingangsinformation wird, ganz ähnlich wie beim Dualzähler, in ein sog. Register geladen, das aus einem Speicher-Flip-Flop besteht. Mit dem nächsten Taktimpuls wird die gespeicherte Information zum jeweils nachfolgenden Flip-Flop weitergegeben. Die Anzahl der in einem Schieberegister integrierten Speicherstellen bestimmt dessen Bezeichnung, z. B. 8stufiges Schieberegister. Im Gegensatz zum normalen Zähler jedoch gelangt der Taktimpuls, wie im Blockschaltbild in Abbildung 88 zu sehen ist, gleichzeitig an alle Takteingänge der einzelnen Register, so daß mit jedem Taktimpuls die Information, die sich in den einzelnen Registerstufen befindet, also 1 (High) oder 0 (Low), nach rechts verschoben wird. Gleichzeitig erscheint die Information am zugehörigen Flip-Flop-Ausgang. Liegt z. B. für 3 Takte am Dateneingang D High-Pegel, erscheint nach dem ersten Takt dieses High am Ausgang QA, nach dem zweiten Takt zusätzlich an QB, nach dem dritten Takt auch an QC. Erscheint jetzt beim vierten Takt Low-Pegel an D, so taucht dieser sofort auch an QA auf, während die anderen High-Pegel nochmals um Eins nach rechts verschoben werden, also nun auch QD High-Pegel führt. Als Ergebnis haben wir nach vier Takten das Datenwort LHHH an QA bis QD vorliegen. Diese Form des Schieberegisters wird serielles Schieberegister genannt. Daneben gibt es das parallele Schieberegister (z. B. ist der CD 4035 wahlweise seriell oder parallel betreibbar), das stets mit jedem L/H-Flankenwechsel des Takt-

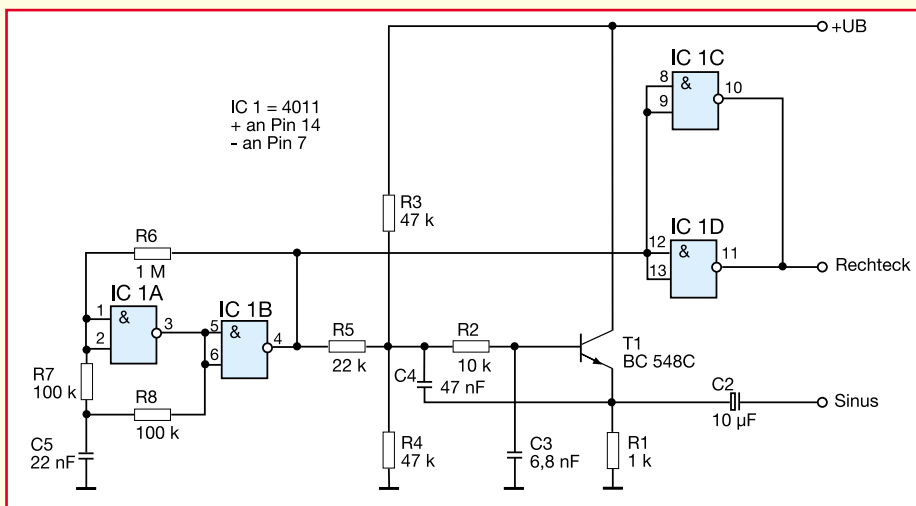


Bild 87: So einfach kann man aus einer Rechteckspannung eine Sinusform machen.

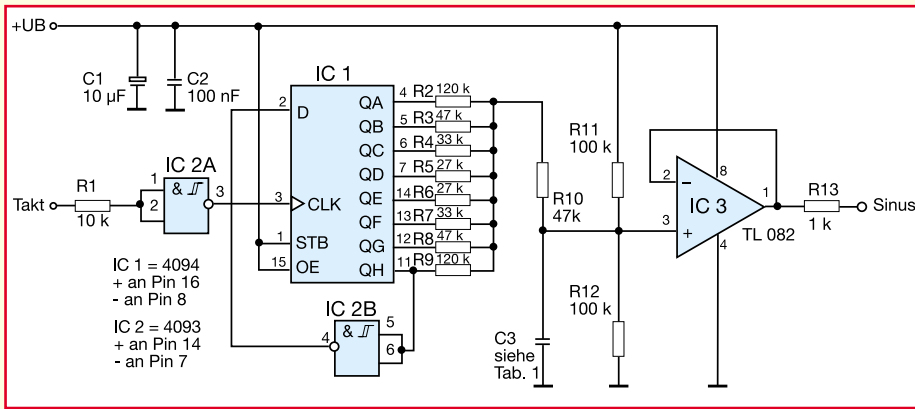


Bild 89: Schieberegisteranwendung und einfache DA-Wandlung in einem - heraus kommt eine Sinusspannung.

signals die zuvor in die Register übernommenen Informationen gleichzeitig an alle Ausgänge weitergibt.

Entsprechend vielseitig sind Schieberegister einsetzbar, z. B. als Zwischenspeicher (Latch).

Für unser Vorhaben der Sinussignal-Erzeugung kommt uns dieses Verhalten ganz recht.

Schauen wir in die Schaltung des digitalen Sinusgenerators in Abbildung 89, so erkennen wir im Mittelpunkt ein 8stufiges Schieberegister vom Typ CD 4094. Es

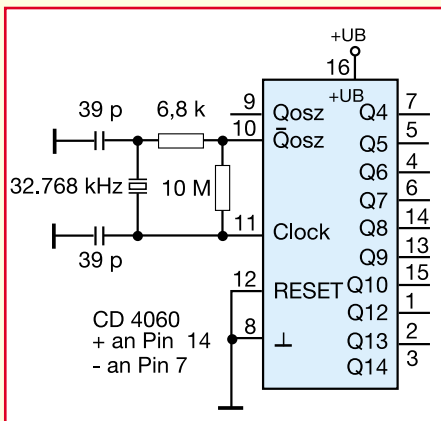


Bild 90: Mit einem entsprechenden Quarz oder einer RC-Kombination bestückt, kann unser bekannter 4060-Generator/Teiler den digitalen Sinusgenerator aus Bild 89 „antreiben“.

bezieht seinen Takt über einen als Puffer arbeitenden Inverter (IC 2A) z. B. von unserem Quarz-Taktgenerator für die Quarzuhr bzw. dem Frequenzzähler der letzten Folgen (in Abbildung 90 noch einmal dargestellt). Bei jeder L/H-Flanke des Takts wird der am seriellen Daten-Eingang D liegende Zustand, wie beschrieben in die erste Stufe des Schieberegisters übernommen und bei weiteren Taktimpulsen um eine Stelle weitergeschoben. Der Dateneingang ist jedoch über den Inverter IC 2 B fest mit dem Ausgang QH verbunden. Solange dieser Ausgang Low-Pegel führt, wird bei jedem Takt ein High-Pegel in die erste Schieberegisterstufe geschrieben.

Daraus ergibt sich das Taktdiagramm in Abbildung 91 oben.

Von jedem der Ausgänge des Schieberegisters führt ein Widerstand zu einem gemeinsamen Knotenpunkt. Die acht Widerstände sind so dimensioniert, daß an diesem Knotenpunkt eine Treppenspannung, bestehend aus 16 verschiedenen Spannungsstufen, erzeugt wird. Der Zusammenhang mit dem Taktdiagramm wird aus Abbildung 91 (Mitte) klar. Die Frequenz dieser Spannung beträgt 1/16 der Taktfrequenz und weist interpoliert einen sinusförmigen Verlauf auf.

Über R10 gelangt das Signal auf einen als Impedanzwandler bzw. Puffer arbeitenden Operationsverstärker, an dessen Ausgang die Sinusspannung zur Nutzung ansteht.

Will man einen „sauberen“ Sinus erhalten, so ist der Kondensator C 3 einzusetzen. Er glättet das Signal, so daß man schließlich die saubere Sinuskurve, wie in Abbildung 91 unten gezeigt, erhält. Allerdings ist sein Wert entsprechend Tabelle 1 an den gewünschten Frequenzbereich anzupassen.

Da die resultierende Frequenz, wie erwähnt, 1/16 der Taktfrequenz beträgt, ist der Taktgenerator, wünscht man eine bestimmte Frequenz, natürlich entsprechend auszulegen. Welche Möglichkeiten man dazu hat, beschrieben die drei letzten Folgen der Artikelserie bereits ausführlich. Zum Beispiel muß man „krumme“ Frequenzen durch entsprechende weitere Teiler erzeugen etc.

So kann man sich einen in der Frequenz äußerst exakt einstellbaren Sinusgenerator bauen.

Tabelle 1: Werte für C3 (Abbildung 89)	
Frequenzbereich	Wert
10 Hz	1 µF
100 Hz	100 nF
1000 Hz	10 nF
10000 Hz	1 nF
100000 Hz	100 pF

Übrigens haben wir mit dieser Schaltung so nebenbei die erste DA-Wandlung vorgenommen, das heißt, wir haben digitale Daten in einen analogen Wert umgesetzt, wenn auch recht einfach. Komplette Digital-/Analog-Wandler, wie wir sie in vielfältiger Form vor allem in Meßtechnik-Anwendungen finden, arbeiten allerdings äußerst komplex und quantisieren auch wesentlich feiner als unser Beispiel, d.h. die Treppentufen im Sinussignal werden mit steigender Wandler-Qualität immer feiner.

Auch umgekehrt geht das Ganze, man überführt mit einem sogenannten AD-Wandler einen analogen Wert in digitale Daten um. Klassisches Beispiel ist das Digitalvoltmeter.

Damit endet unsere Serie „Digitaltechnik - ganz einfach“.

Wir hoffen, daß Ihnen die Beiträge Spaß gemacht und möglichst vielen Lesern den Einstieg in die Digitaltechnik erleichtert und vermittelt haben.

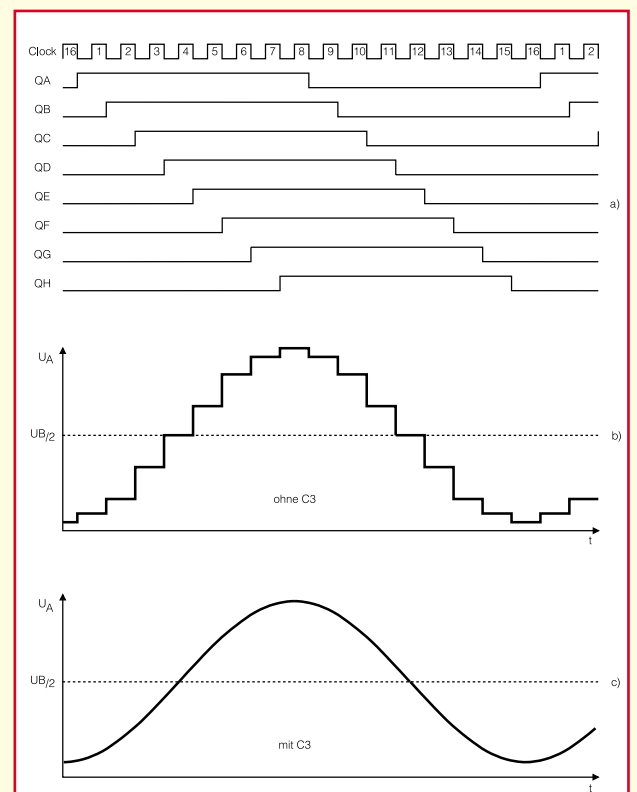


Bild 91: Das Taktdiagramm zeigt anschaulich, was in der Schaltung des digitalen Sinusgenerators passiert.