

Kapazitäten messen mit CD4538

Gunther Zielosko

1. Einführung

Wohl jedes Multimeter kann mittlerweile Spannung, Strom und Widerstand messen, solche mit Kapazitätsmeßmöglichkeiten sind dagegen eher selten. Wer einen BASIC-Tiger® hat, kann mit einfachen Mitteln ein ausreichend genaues Kapazitätsmeßgerät bauen.

Es gibt viele Methoden, eine unbekannte Kapazität zu messen. Wir benutzen einen Zweifach-Monostabilen Multivibrator CD4538 dazu, einen Impuls mit direkt von der Kapazität bestimmter Länge abzugeben. Diese Impulslänge wird vom BASIC-Tiger® gemessen und daraus die angeschlossene unbekannte Kapazität berechnet.

Ein Datenblatt des CD4538 kann im Internet über

<http://www.ti.com/sc/docs/products/logic/cd14538b.html>

bezogen werden.

2. Das Meßprinzip

2.1. Der CD4538 und seine Beschaltung

Das Doppel-Präzisions-Monoflop CD4538 in CMOS-Technologie wird von verschiedenen Herstellern angeboten. Das Arbeitsprinzip ist einfach. Eine wählbare Flanke am Eingang kippt den Ausgang auf das andere logische Niveau, nach Ablauf einer bestimmten Zeit kippt das Monoflop zurück. Diese Zeit wird durch ein äußeres RC-Glied bestimmt, die Abhängigkeit von C und R ist praktisch linear und errechnet sich beim CD4538 nach $T = R * C$. Diese Abhängigkeit nutzen wir zur Kapazitätsmessung, da wir den Widerstand kennen und die Zeit mit dem BASIC-Tiger® messen können. Einige Einzelheiten zum CD4538 sollten wir noch kennenlernen, damit verstehen wir die Arbeitsweise der Schaltung besser.

Beide Monoflops im Gehäuse arbeiten unabhängig voneinander, wir benötigen für den Kapazitätsmesser nur eins. Die Indizes an der Pinbezeichnung (siehe auch Bild 2) zeigen die Zugehörigkeit zu den beiden Teilen an, wir betrachten beispielhaft Monoflop 1.

Der zeitbestimmende Kondensator ist zwischen CX1 und RCX1 angeschlossen und sollte nach Herstellerangaben zwischen 5nF und 100µF liegen (diese Grenzen können bei Abstrichen an der Genauigkeit und vorsichtigem Handling noch erheblich überschritten werden). Der ebenfalls zeitbestimmende Widerstand liegt zwischen RCX1 und Vcc und sollte >4kΩ sein. Der Eingang R1 dient zum Rücksetzen und wird in unserer Anwendung nicht gebraucht (dann ist er an Vcc zu legen!). Die Eingänge TR1 und TF1 sind flankengesteuerte Eingänge und lösen das Einschalten des Monoflops aus, dabei gilt:

Wird TR1 benutzt (L/H-Flanke), ist TF1 an Vcc zu legen, wird TF1 benutzt (H/L-Flanke), wird TR1 an Masse gelegt. Wir benutzen einen kurzen High-Impuls (L80) des BASIC-Tigers[®] und dessen fallende Flanke an TF1 zum Starten des Monoflops. Dabei geht der Ausgang Q1 des CD4538 aus der Ruhelage (low) in den High-Zustand, verweilt dort in Abhängigkeit vom RC-Glied eine gewisse Zeit, und kippt dann wieder auf low. Der negierte Ausgang Q1 quer reagiert genauso, allerdings umgekehrt. Mit diesen Möglichkeiten kann man die Beschaltung des CD4538 weitgehend allen Bedürfnissen anpassen. Für unsere Anwendung sieht das Impulsschema dann so aus:

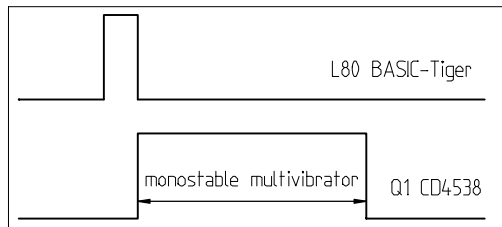


Bild 1 Impulsschema

Obwohl wir eingangs die Linearität der Zeitabhängigkeit von R und C erwähnt haben, sollten wir uns noch einige Gedanken zur Meßgenauigkeit machen.

R und C sollten "zueinander passen", d.h. ein Kondensator von 100µF und ein Widerstand von 100MΩ ergeben eine viel zu große Zeit für die Messung. Ähnlich liegt das Problem bei sehr kleinen Zeiten, der BASIC-Tiger[®] hat hier eine begrenzte Auflösung. Wenn man also einen weiten Bereich von Kondensatoren messen möchte, kommt man um eine Umschaltung der Widerstände nicht herum. Man kann das wie üblich mit einer Meßbereichsumschaltung von Hand machen, in der vorliegenden Schaltung schaltet der BASIC-Tiger[®] den Bereich dann um, wenn die gemessene Zeit zu kurz ist. Mit drei DIL-Relais wird jeweils 1 Widerstand an RCX1 gelegt (nacheinander 10kΩ, 1MΩ, 100MΩ). Die DIL-Relais werden von den als Ausgänge geschalteten Port-Pins L81, L82, L83 über Verstärkertransistoren angesteuert (High schaltet das Relais ein). Die Widerstände selbst sollten einigermaßen stabile Werte über die Zeit und die Temperatur haben, ihre Genauigkeit ist dagegen zweitrangig, der BASIC-Tiger[®] rechnet auch mit "krummen" Werten für R die Kapazität aus. Es ist ebenfalls unwichtig, welche Widerstandswerte man einsetzt, ihre Werte werden im Programm eingetragen und gehen so direkt in die C-Berechnung ein. Sinnvoll ist natürlich, möglichst weit auseinanderliegende Werte zu benutzen.

An Ausgang Q1 des CD4538 liegen die als Eingang geschalteten Pins L84 und L85 des BASIC-Tigers[®], die später die Zeitmessung übernehmen. Warum 2 Eingänge? Zunächst brauchen wir nur Pin 85, damit erfolgt die Zeitmessung über die internen "Ticks" des BASIC-Tigers[®]. Diese sind die Grundlage der inneren Uhr und verschiedener Programmierfunktionen (WAIT_DURATION, DIFF_TICKS usw.). Diese Ticks dauern genau 1 ms und können recht gut als Zeitbasis für unsere Zeitbestimmung dienen.

Für kleine Kondensatoren und schnellere Messungen kann man aber auch den Device-Treiber PLSIN1.TDD benutzen, der bis hinunter zu 0,4µs auflöst. Das Pin 84 (und nur dieses!) ist in der Lage, mit diesem Device-Treiber zusammen eine Zeitmessung der High-Zeit des Monoflops auszuführen. Die Zusammenlegung der beiden Eingänge macht also dann Sinn, wenn man beide Varianten ausprobieren oder kombinieren will.

Das war das Meßprinzip, im folgenden noch die komplette Schaltung sowie das Bild eines Musteraufbaues des Autors:

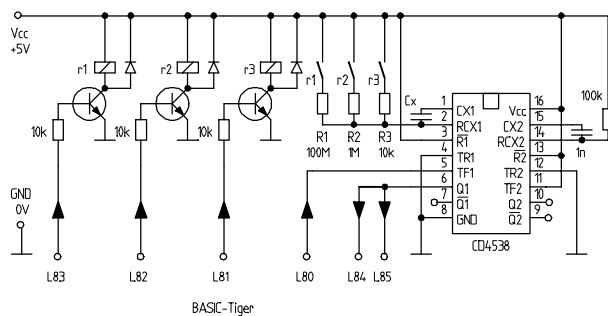


Bild 2 Meßschaltung

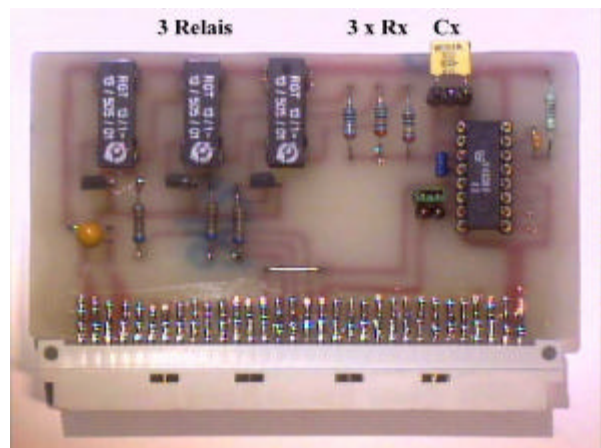


Bild 3 C-Meßmodul

Hinweise!

- Achten Sie darauf, daß Sie das Meßgerät nicht mit angeschlossenen Kondensator abschalten, wenn dieser größer als 0,5 µF ist. Die auf dem Kondensator gespeicherte Ladung könnte dann u.U. den CD4538 zerstören! Ziehen Sie also den zu messenden Kondensator besser vorher ab!
- Bei Elektrolytkondensatoren ist der Pluspol immer an das Pin 2 des CD4538 anzuschließen!
- Die DIL-Relais müssen 5-V-Ausführungen sein. Verschiedene Varianten von DIL-Relais haben bereits eingebaute Schutzdioden, die empfindliche Halbleiterbauelemente gegen hohe Induktionsspannungen schützen sollen. Beachten Sie deren Polung! Im Falle eingebauter Dioden können Sie natürlich die Dioden in der Schaltung weglassen.
- Die Beschaltung des 2. Monoflops dient nur dazu, definierte Bedingungen zu schaffen. Offene Eingänge bei CMOS-Schaltungen könnten z.B. Schwingungen oder gar Zerstörungen am IC hervorrufen.

2.2. Die Software

Mit der oben beschriebenen Schaltung wird die Software nun aus einer Zeitmessung die unbekannte Kapazität ermitteln, aus $T = R * C$ wird $C = T / R$. Zur Messung der Monoflop-Zeit benutzen wir im Programm CMESS_01.TIG die 1ms-Takte der inneren BASIC-Tiger®-Uhr.

Hier noch einige Hinweise zum Programm und seinen Abläufen sowie Möglichkeiten zu seiner Modifizierung:

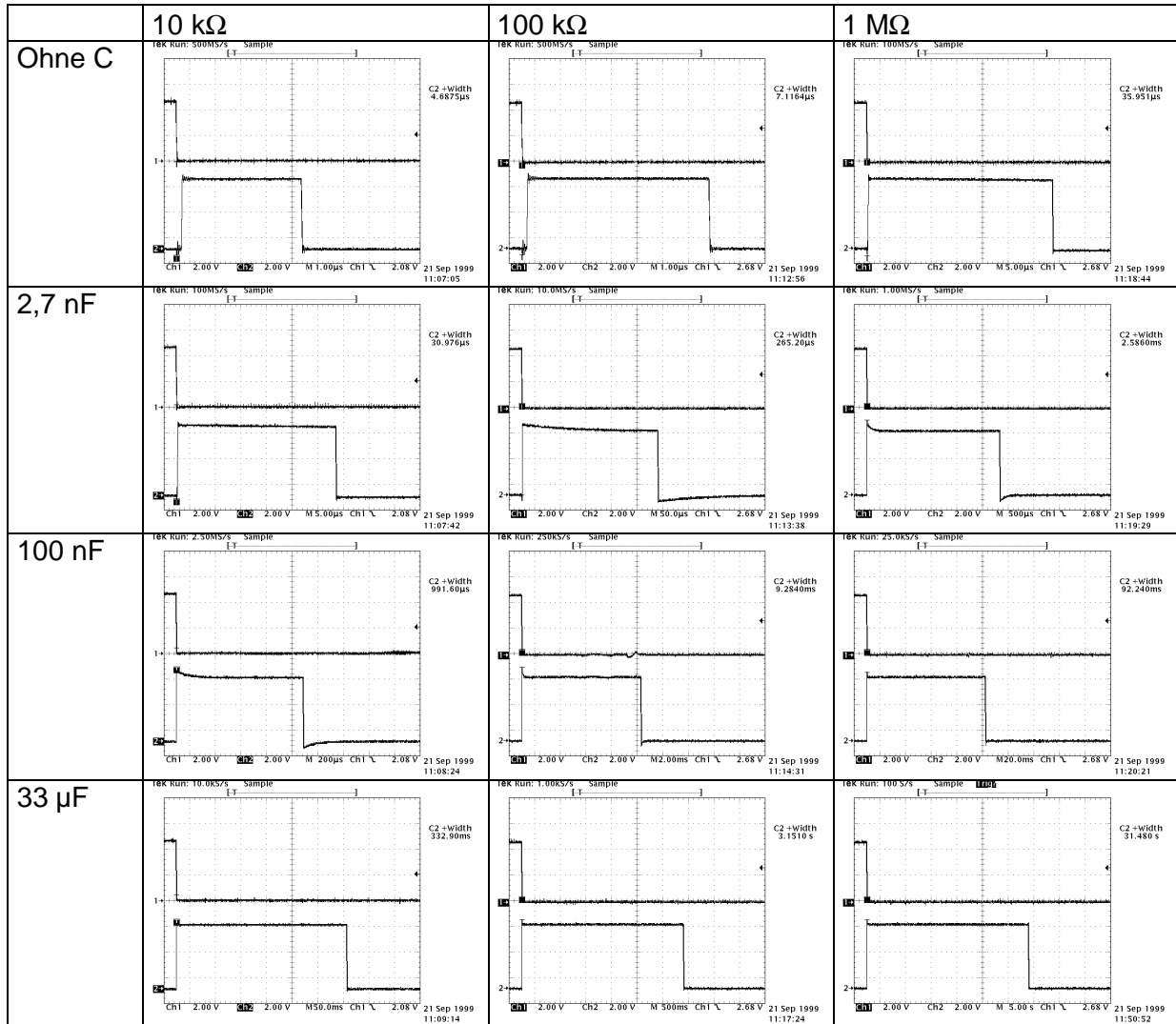
- Wenn wir unser Monoflop zum erstenmal in Betrieb nehmen und z.B. mit einem Oszillographen den Ausgang Q1 beobachten, werden wir erstaunt feststellen, daß es auch "ohne" Cx einen kurzen Impuls ausgibt. Insbesondere bei großen Widerständen entstehen merkbare Fehler. Das liegt an den unvermeidlichen Schaltungskapazitäten innerhalb und außerhalb des IC's. Diese parasitäre Kapazität ermitteln wir am Anfang dadurch, daß wir C0 im Programm zunächst auf 0 setzen und kein Cx anschließen. Nach dem Durchlauf der Messung wird z.B. bei dem Meßwiderstand $R_x = 100M\Omega$ eine Kapazität so um 30pF angezeigt, diese tragen wir dann einfach als C0 ein. Das ist ein Verfahren, welches nur mit Mikrorechnern so einfach funktioniert. Damit erhalten wir als Ergebnis "0", wenn kein Kondensator angeklemt wird. Diese Funktion können Profis in Tiger-BASIC® auch automatisieren. Ein paar Meßdurchläufe ohne C zur Nullpunkt-korrektur sind alles, der BASIC-Tiger® merkt sich die Leerlaufkapazität in allen drei Meßbereichen und zieht sie vom Ergebnis ab. Damit wird die Kapazität dann genauer berechnet.
- Genauso wird es mit den Widerständen gemacht. Wir nehmen drei möglichst weit auseinanderliegende Werte (10k Ω , 1M Ω , 100M Ω sind nur ein Beispiel!). Die genauen Werte tragen wir im Programmanfang ein (in Ω !), den Rest macht der BASIC-Tiger®
- Das Programm soll sich an die optimalen Einstellungen herantasten, d.h. es wird die Zeit (und damit die Kapazität) mit dem günstigsten Widerstand ermitteln. Damit wird sichergestellt, daß die Meßzeit innerhalb sinnvoller Grenzen bleibt.
- Eine weitere Anpassung an die Meßkapazität (kleinere Kapazitäten) kann durch die Benutzung des Device-Treibers PLSIN1.TDD und dessen geeignete Parameterwahl erreicht werden. Sowohl die alleinige Benutzung dieser Zeitmessung als auch die Kombination beider Varianten eröffnen weitere Anwendungsbereiche der Kapazitätsmessung. Folgende Bereiche bietet der Treiber PLSIN1.TDD an:

Bereich	Zeitbasis	Auflösung	Zeitbereich
1	2.500,000 kHz	0,4 μ s	0,0004.....26,214 ms
2	625,000 kHz	1,6 μ s	0,0016...104,856 ms
3	156,250 kHz	6,4 μ s	0,0064...419,424 ms

Im Anhang befinden sich noch einige Screenshots, die das Verhalten verschiedener Test-Kondensatoren C_x mit verschiedenen Widerständen R_x zeigen, die Verhältnisse am Eingang und Ausgang des Monoflops wurden oszillographiert. Man erkennt, daß die fallende Flanke von Portleitung L80 das Monoflop auslöst (Q1 geht nach High). Rechts oben in jedem Oszillogramm befindet sich die Zeitangabe für die Haltezeit des Monoflops. Die Zeiten überstreichen einen riesigen Zeitbereich, daraus wird klar, daß die Messung nicht mit jedem Kondensator, jedem Widerstand und jeder Zeitbasis funktioniert.

Dennoch konnten mit dem Meßaufbau des Autors bei der Verwendung der Zeitbasis von 1 ms Kondensatoren von $< 100\text{pF}$ bis $> 4700\mu\text{F}$ bequem und hinreichend genau gemessen werden. Mit der Verwendung des Device-Treibers PLSIN1 können insbesondere kleine Kondensatoren besser gemessen werden. Da hier jedoch die obere Meßgrenze bei 419 ms liegt, sind Kondensatoren $> 33\mu\text{F}$ nicht mehr meßbar. Das ist schade, liegt aber an der Begrenzung des Devicetreibers auf WORD-Format. Vielleicht gibt es einmal einen Devicetreiber, der auch mit der Auflösung $0,4\mu\text{s}$ arbeitet, aber ein wenig weiter zählen kann...

Anhang



Gemessene Daten von Test-Kondensatoren