

ENIAC Attrappensteuerung

Rainer Glaschick
2015-02-05

Die Steuerung der Funktionsattrappe für den ENIAC ist für zwei Arten von Störungen auszulegen:

- transiente Störungen, die z.B. eine falsche Anzeige bewirken, aber die Elektronik nicht dauerhaft schädigen,
- permanente Störungen, die die Elektronik dauerhaft schädigen.

Einsatzbedingungen

Bei der ENIAC Funktionsattrappe sind anzusteuern:

- 2 Panels mit je 50 Glühlampen
- 1 Konstantengeber mit 5 Drehschaltern mit 10 Positionen
- 2x9 und 5x10 Drehschalter
- 5 Kippschalter
- 2 Taster mit aktiver Funktion
- 2x3 Buchsen, die mit 2x2 Buchsen verbindbar sind.

Die Ansteuerung erfolgt über Schieberegister in drei Strängen, wobei pro Strang neben der Spannungsversorgung drei Signalleitungen benötigt werden:

- Takt
- Data in
- Data out
- Übernahme

Ein lokaler Reset für die Ausgaben kann mit einem Kondensator von 1nF gegen Masse und 1k Ω gegen Betriebsspannung erreicht werden. Eine direkte Verbindung von Eingängen mit Betriebsspannung wird von den Halbleiterherstellern nicht empfohlen.

Da — im Gegensatz zum ENIAC — alle Glühlampen gleichzeitig angeschaltet werden können, sind bei einem Strombedarf von 2mA bei 150V, also 0.3W pro Glühlampe, insgesamt 3W pro Stelle und 15W pro Panel zu versorgen. Bei einem Wirkungsgrad von 50% sind daher 30W pro Panel zu veranschlagen. Dies spricht für eine getrennte Versorgung mit 12V oder 24V zumindest der Spannungswandler, nicht jedoch für eine gemeinsame Versorgung über die Leitungen des Datenbus.

Da somit zwei Masseverbindungen vorhanden sind, steigt die Gefahr, dass induktiv erzeugte Störimpulse auf die Datenleitungen eingekoppelt werden, wie dies der Labortest bestätigt hat. Gleichfalls zeigen die Labortests, dass erwartungsgemäß das Schalten der Glühlampen selbst keine Störquelle darstellt.

Um die 50 Bits eines Strangs in 20ms wechseln zu können, würde ein Takt von mind. 2.5kHz, d.h. eine Impulsbreite von 200 μ s, benötigt, wenn die Schieberegister nicht gepuffert wären. Schutzschaltungen sollten daher eine Anstiegszeit von 1 μ s zulassen.

Als Schieberegister wird der Typ 74HC565 verwendet, der mit +5V versorgt wird.

Er hat einen Speicher, so dass zunächst das gewünschte Muster eingeschoben und dann aktiviert werden kann.

Für die Verbindungen der 2x3 Busbuchsen und 2x2 Akkumulatorbuchsen ist festzulegen, wie diese ausgelesen werden sollen.

Eine einfache Möglichkeit besteht darin, die beiden Buse völlig passiv auszuführen, die beiden (rechten) Sende-Buchsen als Ausgänge (mit Schutzwiderstand) und die beiden (linken) Empfangs-Buchsen als Eingänge zu benutzen.

Damit ist es aber zukünftig nicht möglich, eine Benutzerführung zu erstellen, die bereits beim Stecken der Kabel Fehler erkennt.

Hierzu und für Diagnosezwecke ist es zweckmäßig, jede Verbindung erkennen zu können.

Dies erfolgt, indem alle 10 Buchsen wie Tasten behandelt werden, die von der Steuerung betätigt werden können. Hierzu können FET des Typs 2N7000 (TH) oder 2N7002 (SMD) verwendet werden die direkt an die Ausgänge der Schieberegister (hier reichen HC165) angeschlossen werden und die Buchse (über einen Schutzwiderstand von 330Ω in Verbindung mit 100nF) mit Masse verbinden. Alle Buchsen liegen zudem über $3.3\text{k}\Omega$ an der Betriebsspannung (+5V) und über ein Filter von $330\text{k}\Omega$ und 100nF an dem Eingang eines Schieberegisters.

Jetzt kann durch Aktivieren jeder der 10 Ausgänge einzeln geschaltet und bestimmt werden, welche der anderen Buchsen damit verbunden sind.

Um dieses schnell durchführen zu können, sollte für die Buchsen ein eigener Strang aufgebaut werden.

Schaltungsmaßnahmen

Optokoppler

Am wenigsten Probleme sind zu erwarten, wenn die Ausgänge Schieberegister über Optokoppler mit den Treibertransistoren für die Glühlampen verbunden sind. Dabei ist darauf zu achten, dass die Versorgungsspannung der Optokoppler aus der Versorgung für den Spannungswandler entnommen wird, um eine wirkliche Entkopplung der Masseverbindungen zu erreichen. Dabei sind Optokoppler zu verwenden, bei denen das Transferverhältnis mind. 50% bei 2mA Eingangsstrom beträgt. Hierzu gehören der 4N35 und der TIL111. Zwar sind die Schaltzeiten bei einem Lastwiderstand von $12\text{k}\Omega$ bis zu $100\mu\text{s}$ betragen; dies ist jedoch unerheblich. Bei 2mA beträgt dann der Strombedarf 200mA im Testbetrieb, wenn alle Lampen eingeschaltet sind, und 20mA im Normalbetrieb, bei dem pro Stelle eine Lampe eingeschaltet ist. Verwendung von zwei Adern eines Flachbandkabels erscheint sinnvoll.

Flachbandkabelbelegung

Um Störungen auszublenden, sollte das Flachbandkabel alternierend Masse und Signalleitungen führen, hier für ein 10pol Kabel:

- 1 GND
- 2 Data

- 3 GND
- 4 Clock
- 5 GND
- 6 Strobe
- 7 GND
- 8 +5V
- 9 GND
- 10 +5V

Dabei dient die Versorgungsspannung nur zur Versorgung der Schieberegister und Optokoppler. Da der Einschaltstrom für alle Optokoppler einer Stelle 20mA ist, beträgt die minimale Pufferkapazität für max. 0.5V Spannungseinbruch auf 10µs 400nF, so dass eine Pufferung mit 10µF + 100nF ausreichend sein sollte.

Bei 5+5 Stellen wird für die Optokoppler 200mA Versorgungsstrom benötigt, die problemlos über zwei Adern des Flachbandkabels geführt werden können: Der Querschnitt des üblicherweise verwendeten Flachbandkabels AWG28 ist 0.09mm², somit ist der Widerstand 0.19Ω/m pro Ader. Bei einer maximalen Gesamtkabellänge von 3m sind das 0.57Ω, die bei 0.2A einen Spannungsabfall von 0.12V bewirkt. Somit wäre auch die Versorgung über eine Ader möglich.

Impulsschutz

Alle Eingänge, die von der Flachbandleitung gesteuert werden, erhalten einen Serienwiderstand von 1kΩ, Schutzdioden gegen Masse und Betriebsspannung sowie einen Eingangskondensator von 100pF. Damit wird der Anstieg des Taktsignals zwar auf 100ns begrenzt, dies ist aber (s.o.) zulässig. Um undefinierte Potentiale zu vermeiden, wird der Eingang zusätzlich mit 10kΩ an +5V (oder Masse) gelegt. Jeder Ausgang erhält zusätzliche Schutzdioden gegen Masse und Versorgungsspannung sowie einen Serienwiderstand von 100Ω, um Störimpulse auf der Leitung, die rückwärts die IC zerstören könnten, zu unterdrücken.

Taktverteilung

Wird das Taktsignal einfach durchverbunden, dann muss einerseits der Sender alle Eingänge treiben, und andererseits zählt das Massepotential des Senders, so dass Abweichungen und Störungen auf der Leitung wirksam werden könnten. Da das Ausgangssignal von dem Schieberegister geliefert wird, sind die Datensignale nicht betroffen, da sie auf Stellenanzeige neu erzeugt werden.

Daher sollte das Taktsignal mit einem Schmitt-Trigger (HC14) empfangen und über einen weiteren gesendet werden. Das bedeutet, dass die Pegel invertiert sind, d.h. hoher Pegel für inaktiv. Entsprechend sind die Eingänge mit +5V vorbelegt. Die Durchlaufverzögerung ist für beide Signale, Takt und Ausgang, gleich, so dass die Pufferung ohne Bedeutung ist. (Lediglich muss die Steuerung mit einer geringen Durchlaufverzögerung von max. 1µs rechnen, die unerheblich ist.) Da in einem HC14 sechs Schmitt-Trigger vorhanden sind, können zwei weitere für die Pufferung der Datensignale verwendet werden.

Gleiches gilt für das Strobe-Signal, dass am IC ein positiver Impuls ist und daher wie Takt und Daten invertiert über den Bus gesendet werden.

Datenschleife

Die Ausgabe-Schieberegister werden wieder der Steuerung zugeführt. (Lediglich ist dort die Spannungsversorgung nicht verbunden, um Masseschleifen zu vermeiden).

Damit kann (und soll) die Steuerung die Datenschleife im Betrieb verifizieren. Da der 74HC595 ein Pufferegister hat, ist dies am einfachsten, wenn das Datenmuster zweimal eingeschoben und beim zweiten Mal mit dem Sollmuster verglichen wird.

Dies gilt entsprechend für die Schieberegister für Schalter, die mit einem Eingangsfiler von 330k Ω und 100nF versehen sind. Hier werden die Schalter zweimal ausgelesen und nur dann verwendet, wenn beide Ergebnisse gleich sind. Sind sie ungleich, wird ein Fehler gemeldet, siehe Fehlerbehandlung.

Aktionstasten

Die beiden Aktionstasten *Null* und *Schritt* können über die übliche Schutzschaltung (3,3k Ω gegen +5V und über 330k Ω und 100nF an den Eingang) direkt an die Steuerung geführt werden. Hierfür reicht ein 6-pol Flachbandkabel aus, dass dann auch nicht mit den Busakabeln verwechselt werden kann.

Benutzung eines Interrupts ist möglich, aber aus meine Sicht wenig zweckmäßig für *Schritt*, da dann die eigentliche Verarbeitung in der Interrupt-Routine stattfindet; andernfalls würde die Hauptschleife nur ein internes Flag anstelle eines externen abfragen.

Software

Interaktion

Grundsätzlich ist die Interaktion mit dem Benutzer darauf beschränkt, dass mit Betätigung der *Schritt*-Taste eine Auswertung der Eingänge und Veränderung der Anzeigen erfolgt. Veränderungen danach bleiben ohne Wirkung.

Nur bei einer noch zu planenden Variante mit interaktiver Benutzerführung ist es sinnvoll, die Abfragen kontinuierlich durchzuführen. In der derzeit geplanten Version fehlt es an einer zusätzlichen Aus- (und Ein-)gabemöglichkeit.

Fehlerbehandlung

Wird ein Fehler erkannt, wird auf jeden Fall eine dafür bestimmte LED auf der Steuerung aktiviert.

Zu den Fehlern sollte auch eine Brownout-Erkennung gehören, die im EEPROM hinterlegt wird.

Durch einen Optionsschalter kann festgelegt werden, dass im Fehlerfall der Prozessor all Lampen blinke lässt und nicht weiterarbeitet.

Andernfalls sollte die Betriebszeit im EEPROM mitgeführt und jeder Fehler dort eingetragen werden.

Optional kann auch eine LCD-Anzeige verwendet werden.

Selbsttest

Nach dem Einschalten soll die Steuerungssoftware wie folgt vorgehen:

- jede der 100 Lampen einzeln nacheinander für 0.1 sec einschalten (Dauer 10sec).
- prüfen, dass die Drehschalter genau ein Bit pro Schalter liefern.
- die Drehschalter BCD-codiert auf dem rechten Panel darstellen (Konstanten unten, die beiden anderen oben rechts).
- die vier Kippschalter einzeln auf den Anzeigen linke Spalte obere vier Lampen anzeigen.
- Die Kabelverbindungen auf dem linken Panel als 6x4 Matrix anzeigen.
- Mit Drücken der *Schritt*-Taste wird die Anzeige aufgefrischt.
- Über einen Optionsschalter auf der Steuerungsplatine kann eine kontinuierliches Auffrischen aktiviert werden, um Wackelkontakte aufzuspüren.
- Drücken der *Null*-Taste (oder ein Zeitablauf von 30sec) beendet den Selbsttest; die Panels zeigen 00000 an.

Es ist noch festzulegen, ob — sofern Fehler im EEPROM notiert werden — und wie diese beim Selbsttest angezeigt werden sollen.

Reklame-Modus

Wenn das Gerät 5min lang nicht benutzt wurde, wird ein vorgegebenes Muster auf den Anzeigen dargestellt. Dies dient nicht nur dem Erheischen von Aufmerksamkeit, sondern schon die Lampen für die Ziffer 0.

Das Muster sollte den Ablauf einer Rechnung darstellen; Einzelheiten sind noch festzulegen.