

Werner Schneider

## Universeller Zeittaktgeber für das Staubfiguren- und das Metallschriftverfahren

Es wird die Schaltung eines Zeittaktgebers beschrieben, der sowohl für das Staubfiguren- als auch für das Metallschriftverfahren bei Bewegungsuntersuchungen die notwendigen Zeitimpulse liefert und der mit schulischen Mitteln realisiert werden kann. Als Zeitbasis dient entweder das periodische Signal eines Funktionsgenerators oder das über ein Mikrophon umgesetzte „Knackgeräusch“ eines Metronoms. Der Taktgeber wandelt das Zeitbasissignal in Normtaktimpulse um. Zusätzlich ist vorgesehen, den Start des Wagens und die Zeitregistrierung so zu synchronisieren, daß Weg- und Zeitnullpunkt zusammenfallen.

### 1. Einleitung

Das Staubfiguren- und Metallschriftverfahren ist im Schulunterricht zur Untersuchung von Bewegungsvorgängen als elegantes Meßverfahren eingeführt [1, 2, 3]. Als Zeittaktgeber wird vor allem die 50Hz-Wechselspannung des Lichtnetzes benutzt. Ebenso verwendet werden z.B. der Nadelimpulsgenerator von Neva (Nr. 5224, stab. Netzgerät) oder jeder Sinusgenerator, dessen Ausgangsspannung eventuell noch hochstransformiert werden muß.

Der Sinusgenerator hat gegenüber dem Lichtnetz den Vorteil, daß man die Frequenz verändern und die Taktintervalle damit an die jeweilige Bewegung anpassen kann. Der Nadelimpulsgenerator hat gegenüber dem Sinusgenerator noch den Vorteil, daß er scharfe Einzelimpulse liefert und eine größere Meßgenauigkeit ermöglicht.

Ein anderes Verfahren, das scharfe Impulse bei 5 Hz und 20 Hz liefert ist in [4] angegeben. Von Kröncke wird ein mechanisch arbeitender Taktgeber nach Prof. Bader vertrieben, bei dem ein Pendel periodisch mit 5 Hz einen Stromkreis kurzschließt. In einer im Stromkreis liegenden Spule tritt ein Induktionsspannungstoß auf, der als Taktimpuls verwendet wird. Vorteilhaft ist bei diesem Verfahren, daß der Start des Wagens mit dem 1. Zeittakt synchronisiert ist, was bei anderen Taktgebern nicht gegeben ist. Das Zusammenfallen von Weg- und Zeitnullpunkt erleichtert die Auswertung z.B. im Fall einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung.

Der im Folgenden beschriebene Taktgeber vereinigt die günstigen Eigenschaften der bisher erwähnten Taktgeber. Er erfüllt folgende Forderungen:

- a) einstellbare Frequenz;
- b) einstellbares Tastverhältnis (Erzeugung von scharfen Impulsen);
- c) Synchronisationsmöglichkeit zwischen Weg- und Zeitnullpunkt;
- d) verwendbar sowohl für das Staubfiguren- als auch für das Metallschriftverfahren;
- e) einfacher Aufbau mit schulischen Mitteln.

### 2. Beschreibung der Schaltung

Die Schaltung des neuen Zeittaktgebers ist in Abbildung 1 angegeben. Der Aufbau der Schaltung bereitet keine besonderen Schwierigkeiten und ist z.B. mit einem der von den Lehrmittelfirmen angebotenen „Stecksysteme“ durchzuführen. Benötigt wird ein Opera-

tionsverstärker (z.B. Typ 741) und drei integrierte Schaltkreise der „74-er“ Reihe (IC 1: 74121 (Mono-Flop); IC 2: 7474 (D-Flip-Flop); IC 3: 7408 (UND-Gatter)). Zusätzlich werden noch zwei npn-Transistoren  $T_1$  und  $T_2$  eingesetzt.  $T_2$  muß für die relativ hohe Kollektor-Emitter-Spannung von ca. 300 Volt (Typ: MJE 340 oder BD 232) vorgesehen sein.

Die Idee der Schaltung ist, die von einer Verstärkerstufe (OP) gelieferten Zeitsignale mit Hilfe eines Impulsformers (IC 1) in Normrechteckimpulse mit einstellbarem Tastverhältnis umzuwandeln. Der Transistor  $T_2$  wandelt dann die Amplitude dieser Taktimpulse (5 V) in analoge Taktimpulse mit einer Amplitude von ca. 250 V für das Staubfigurenverfahren oder 30 V für das Metallschriftverfahren um. Über eine „UND“-Torschaltung (IC 3) werden die Taktimpulse vorher mit dem Start des Fahrbahnwagens synchronisiert. Der Start des Wagens wird hierbei durch das D-Flip-Flop (IC 2), durch den Transistor  $T_1$ , durch das eingezeichnete Relais und dem am Relaisausgang Y angeschlossenen Haltemagnet gesteuert. Das D-Flip-Flop steuert außerdem noch das UND-Tor über die am Anschluß 5 liegende Spannung Q. Bei geschlossenem Schalter  $S_2$  (d.h.: Rücksetzeingang R an Masse) ist das D-Flip-Flop dauernd zurückgesetzt, das Relais befindet sich in Arbeitsstellung und das UND-Tor ist durch das L(ow)-Signal Q gesperrt. Der D-Eingang des Flip-Flop liegt konstant an einem H(igh)-Signal. Wird  $S_2$  geöffnet, so kippt das D-Flip-Flop beim nächsten am Takteingang T (Anschluß 3) ankommenden Taktimpuls (positive Flanke) in den komplementären Zustand und verbleibt dort bis  $S_2$  wieder geschlossen und IC 2 zurückgesetzt wird. Der erste nach dem Öffnen des Schalters  $S_2$  ankommende Taktimpuls bewirkt somit, daß das Tor für die Zeittaktimpulse geöffnet wird und das Relais in seine Ruhstellung zurückgeht, was den Start des Wagens bewirkt und die Messung mit zusammenfallendem Weg- und Zeitnullpunkt ermöglicht.

Der Verstärkungsfaktor des Operationsverstärkers ist mit 1:1000 relativ hoch gewählt. Hierdurch soll sichergestellt werden, daß an E einmal direkt ein Mikrofon angeschlossen werden kann und zum anderen im Fall des Anschlusses eines Sinusgenerators an E, dessen Wechselspannung in eine Rechteckspannung umgewandelt wird. Die große Verstärkung bewirkt hierbei, daß die Ausgangsspannung des Operationsverstärkers sofort den Maximal- bzw. Minimalwert annimmt. Dies führt zu einer Rechteckspannung, deren Flankensteilheit durch den Verstärkungsgrad bestimmt wird.

Das Mikrofon dient dazu, das „Knack“-Geräusch eines Metronoms oder z.B. das rhythmische Klatschen eines Schülers in elektrische Spannungsstöße umzuwandeln, die anschließend in Normtaktimpulse verwandelt werden. Durch diese Anschlußmöglichkeit läßt sich der oft vom methodischen Standpunkt aus gewünschte Einsatz eines „Metronoms“ bei Bewegungsuntersuchungen verwirklichen.

Die Ausgangsspannung des Operationsverstärkers liegt an einem Spannungsteiler, der die Spannung  $U_0$  auf den zur Steuerung von TTL-Schaltkreisen vorgeschriebenen Wert von ca. 5 V einstellt. Die Dioden  $D_1$  und  $D_2$  unterdrücken größere negative Spannungsamplituden. Das Mono-Flop (IC 1) ist von außen so beschaltet – Anschluß 3 und 4 auf L-Signal –, daß er nur auf positive Flanken reagiert. Das Tastverhältnis wird über den Kondensator (4,7  $\mu$ F, zwischen Anschluß 10 und 11) und über den regelbaren Widerstand (47 kOhm, zwischen Anschluß 11 und 14) eingestellt. Über den Umschalter  $S_1$  werden die Taktimpulse oder das Komplement dazu zum UND-Tor geleitet. Die Umschaltmöglichkeit ist im Fall des Metallschriftverfahrens vorteilhaft.  $U_1$  ist das differenzierte Taktsignal. Durch diese Maßnahme wird erreicht, daß  $S_2$  auch zum Zeitpunkt der „H“-Phase

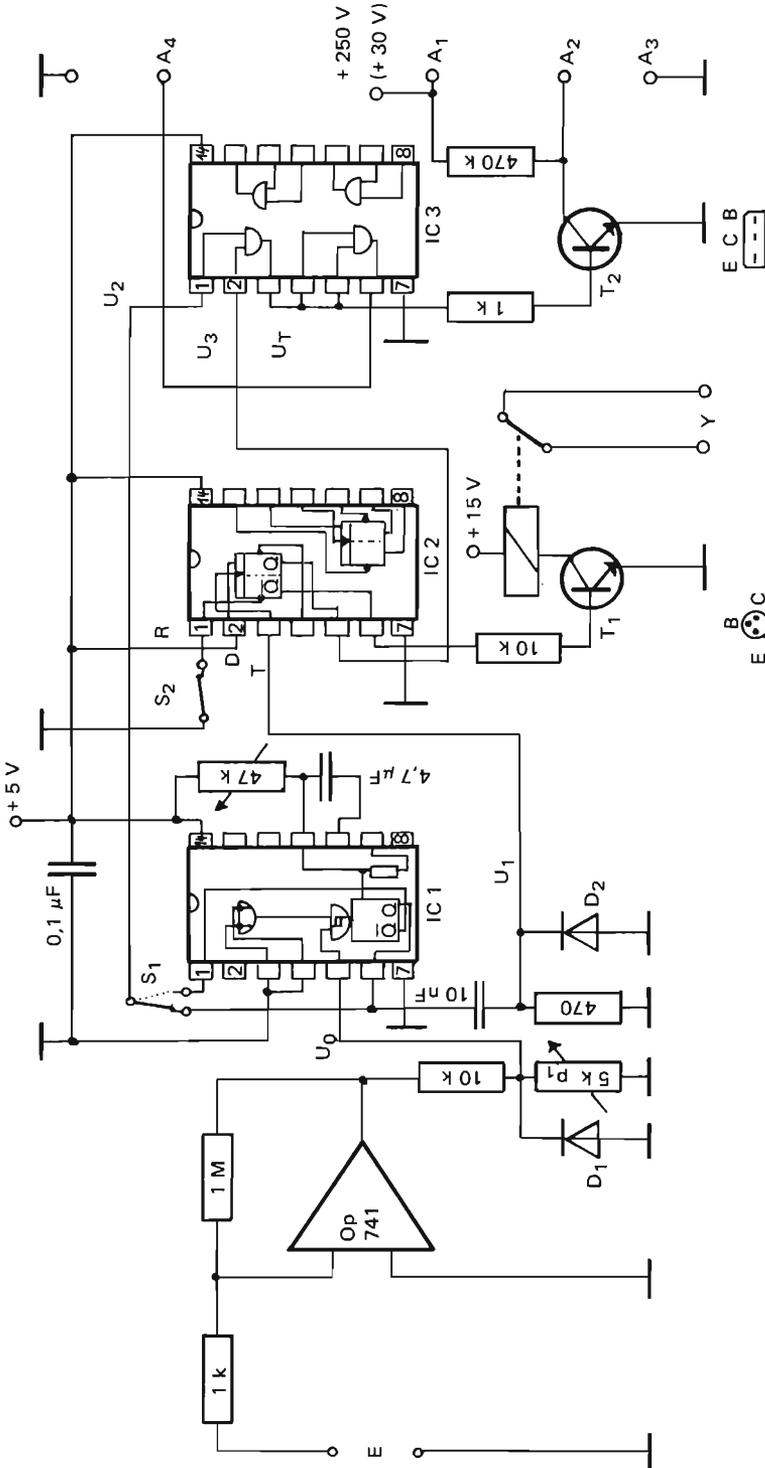


Abb. 1 Schaltbild des universellen Zeittaktgebers für das Staubfiguren- und das Metallschrittvorfahren. (OP: Operationsverstärker, Typ z.B. 741, Versorgungsspannung  $\pm 15$  V; D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>: Dioden, Typ z.B. 1N4148; IC 1: Mono-Flop, Typ 74121; S<sub>1</sub>: Umschalter; U<sub>1</sub>: differenziertes Q-Ausgangssignal des Mono-Flop, dient zur Steuerung von IC 2; D-Flip-Flop, Typ (7474); Q: normaler IC-Ausgang; Q̄: komplementärer IC-Ausgang; S<sub>2</sub>: Schalter zum dauernden Rücksetzen von IC 2; IC 3: UND-Gatter, Typ 7408; T<sub>1</sub>: Transistor, Typ BC 107 (U<sub>CE</sub> = 50 V, I<sub>CE</sub> = 100 mA); T<sub>2</sub>: Transistor, Typ MJE 340 oder BD232 (U<sub>CE</sub> = 300 V, I<sub>CE</sub> = 500 mA); Relais: normales Gleichstromrelais mit ca. 500 Ohm Spulenwiderstand; Y: Anschluß für den Haltermagnet; U<sub>3</sub>: Steuerspannung für das UND-Tor; U<sub>2</sub>: Ausgangsspannung des Mono-Flop; U<sub>T</sub>: synchronisiertes Zeittaktsignal; A<sub>1</sub>: Ausgang zum Metallpapier; A<sub>2</sub>: Ausgang zum jeweiligen Spurenschreiber; A<sub>3</sub>: Ausgang zur Spurenplatte; A<sub>4</sub>: Ausgang für das normale Zeittaktsignal (5 V). Anm.: Die Versorgungsspannung für T<sub>2</sub> beträgt für das Staubfigurenvorfahren ca. 250 V und für das Metallschrittvorfahren ca. 30 V. Will man nur das Metallschrittvorfahren anwenden, so kann für T<sub>2</sub> auch ein Typ BC 107 eingesetzt werden.

des Taktsignals ( $t_1$  in Abb. 2) betätigt werden kann, ohne daß die negative Flanke des Taktimpulses dann ein Umkippen des D-Flip-Flop bewirkt.

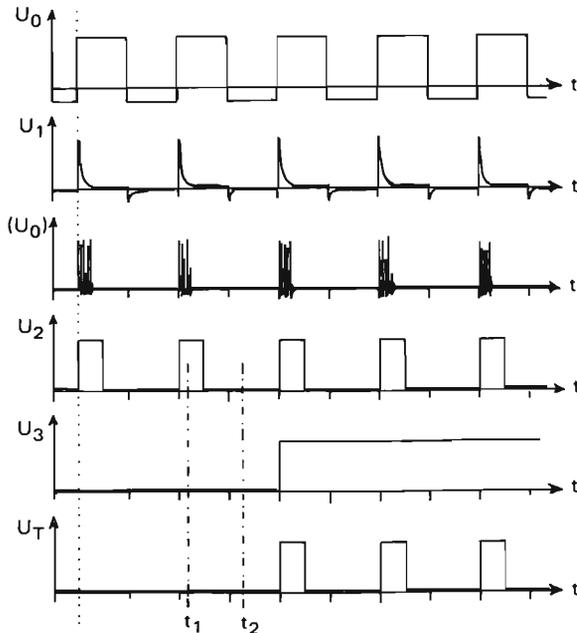


Abb. 2 Schematischer Zeitablauf der in der Schaltung (Abb. 1) charakteristisch auftretenden Spannungen.

Bezeichnungen wie in Abb. 1. ( $U_0$ ): Impulsspektrum im Fall der Verwendung des Metronoms als Zeitbasis. Die Breite der Normimpulse sollte in diesem Fall nicht die Breite des Impulsspektrums unterschreiten, da sonst evtl. eine Mehrfachauslösung des Mono-Flop erfolgen kann.

Zur Steuerung des Relais wird der gängige Transistortyp BC 107 eingesetzt.

An den Ausgang  $A_1$  ist im Fall der Anwendung des Staubfigurenverfahrens die Spannung 250 V anzulegen – im Fall des Metallschriftverfahrens genügen 30 V. Durch die Schaltung werden nur positive Impulse geliefert. Aus diesem Grund muß man beim Anschluß der Spurenplatte (Metallpapier) und des Schreibers auf die Polung achten: Die Spurenplatte (Mittelschiene der Fahrbahn) ist an  $A_3$  anzuschließen und der Schreiber (Wagen) an  $A_2$ . Hierdurch liegt die Fahrbahn aufgrund der durch das Gehäuse zugeführten Schreiberspannung auf hohem Potential und muß daher isoliert aufgestellt werden.

Bei Benutzung des Metallschriftverfahrens ist an  $A_2$  (negativer Pol) der Schreiber (Wagen) und an  $A_1$  (positiver Pol) das Metallpapier anzuschließen. Für den Fall, daß man das Normtaktsignal für andere Anwendungen benötigt, ist zusätzlich der Ausgang  $A_4$  vorgesehen.

Zur Verdeutlichung der Funktionsweise der Schaltung ist in Abbildung 2 schematisch der Zeitablauf der in der Schaltung charakteristisch auftretenden Spannungen für den Fall, daß  $S_2$  geschlossen ist, angegeben. Abbildung 3 zeigt ein Anwendungsbeispiel für das Staubfigurenverfahren. Die Abbildung zeigt den Einfluß des Tastverhältnisses auf die

Schärfe der Marken. Durch Vergrößerung des Tastverhältnisses kann man sogar eine Art „Negativdarstellung“ der jeweiligen Staubfigur erzeugen.

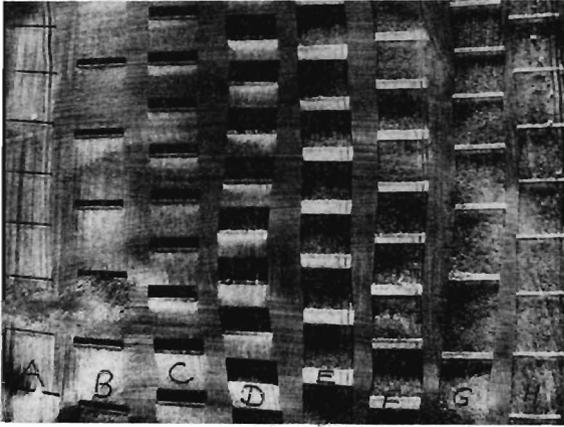


Abb. 3 Staubfigurenspuren für verschiedene Tastverhältnisse. (Durch die Änderung des Tastverhältnisses kann man z.B. von einer „Positiv-“ zu einer „Negativdarstellung“ der Spuren kommen).

### 3. Zusammenfassung

Folgende Gesichtspunkte, die für uns im Hinblick auf den Physikunterricht wichtig waren, führten zusammengefaßt zur Entwicklung des beschriebenen Taktgebers: Weg- und Zeitnullpunkt sollten bei der Untersuchung von gleichmäßig beschleunigten Bewegungen zusammenfallen, da dies die Auswertung erleichtert. Die Frequenz der Zeitbasis sollte an die jeweilige Bewegung – vor allem an langsam ablaufende Bewegungen (Bsp. in [5]) – angepaßt werden können. Es sollte der Wunsch erfüllt werden, eine sinnlich zugänglichere Zeitbasis wie etwa ein Metronom oder das rhythmische Klatschen verwenden zu können. Die Beschreibung und die im Unterricht mit diesem Aufbau gemachten Erfahrungen haben gezeigt, daß diese Gesichtspunkte durch den angegebenen Taktgeber erfüllt werden.

(Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. Werner B. Schneider, Physikalisches Institut der Universität Erlangen-Nürnberg, Glückstr. 6, 8520 Erlangen)

Eingangsdatum: 2.11.1981

#### Literatur

- [1] Wegner, W.: Praxis d. Nat. (Physik) 23 (1974), S. 48–52
- [2] Handbuch der experimentellen Schulphysik Bd. 2, Köln: Aulis 1963
- [3] Groeneveld, J.: Messungen mit Staubfiguren und Metallschriftspuren, Hildesheim: Verlagsbuchhandlung A. Lax 1968
- [4] Luysberg, J.: Praxis d. Nat. (Physik) 24 (1975), S. 240–247
- [5] Dersch, G., u. W.B. Schneider: PhuD (1983)

Für weniger bastelfreudige Lehrer ist ein Fertigergerät bei der Firma Dr. Kröncke KG, 3000 Hannover, Ostergrube 11 in Vorbereitung