

Fortpflanzung und Reflexion von Nadelimpulsen auf einem Koaxialkabel

B. Ehret

1 Einführung

In [1–3] wird beschrieben, wie die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Rechteck- bzw. Nadelimpulsen auf Kabeln gemessen werden kann. In [3] werden die Nadelimpulse mit einer einfachen Schmitt-Trigger-IC-Schaltung erzeugt, so daß die

24

Ausbreitungsgeschwindigkeit und das Reflexionsverhalten auf einem Koaxialkabel mit Hilfe eines üblicherweise in einer Physiksammlung vorhandenen Oszilloskopes gemessen bzw. untersucht werden kann.

Unter Zugrundelegung der in [3] angegebenen Schaltung wurde ein Nadelimpulsgenerator zusammengesetzt, mit dem

PdN-Ph. 1/40.

Physik

IC-Fassung 14-polig

D1 1N 4148

R1 270 Ω

R2 270 Ω

R3 1 k Ω

R4 1 k Ω

R5 1 k Ω

R6 1 k Ω

R7 50 Ω

R8 50 Ω

P1 200 Ω

T1 BF 244

T2 BF 244

S

Platine NG

C1 33 nF

C2 100 pF

C3 100 nF

C4 100 nF

C5 100 nF

C6 10 μ F/25 V Elko

4 mm-Achse mit Drehknopf u.

Unterlegscheibe

Feldeffekttransistor

Schalter ein/aus/ein 1-polig

5 cm Kabel rot

20 cm Schaltdraht 0,7 mm \varnothing

1 Bananenbuchse rot mit Unterlegscheibe und zwei Muttern

1 Rolle Koaxialkabel 50 Ω (Länge z. B. 50 m oder 100 m)

2 BNC-Stecker 50 Ω

Literatur

[1] W. Südbeck: Laufzeit-Messungen an Drähten und Kabeln; PdN-Ph Heft 10/70

[2] E. Kagerer: Nadelimpulse auf Koaxial-Kabeln; PdN-Ph Heft 1/84

[3] H. Weidner: Reflexionsversuche mit elektromagnetischen Wellen; PdN-Ph Heft 3/34 (1985)

Bezugsquellen:

(1) Völkner electronic, 3300 Braunschweig, Postfach 5320 (Elektronische Bauteile, Gehäuse, Koaxialkabel)

(2) Conrad Elektronik, 8452 Hirschau, Klaus-Conrad-Str. 1 (Elektronische Bauteile, Gehäuse, Koaxialkabel)

Platinen und einige wenige Bausätze sind nach Anfrage über den Verfasser zu beziehen.

Zubehör:

1 Gehäuse 72x56x42 mm (Firma Teko) mit 4 Blechschrauben

5 BNC-Buchsen 50 Ω mit Zahnscheibe und Mutter

1 Lötöse 10 mm

Anschrift des Verfassers:

Bernhard Ehret, Gartenstr. 4/1, 7056 Weinstadt

diese Versuche im Physikunterricht und auch im Physikalischen Schülerpraktikum mit minimalem Aufwand durchgeführt werden können.

Mit Hilfe einer ausführlichen Bauanleitung kann der Nadelimpulsgenerator ohne Schwierigkeiten mit gängigen Elektronikbauteilen selbst hergestellt werden. Es ist ohne weiteres auch möglich, daß elektronik-bastelnde Schüler dieses Gerät zusammenbauen.

2 Versuchsmöglichkeiten [2, 3]

Versuch 1:

Wird der Nadelimpulsgenerator mit dem Oszilloskop über BNC-Kabel (BNC-BNC 50Ω) verbunden und die Spannungsquelle angeschlossen (wobei der Minuspol der Quelle an die Erdungsbuchse des Oszilloskopes angeschlossen wird), so kann die Wiederholungsfrequenz der Nadelimpulse gemessen werden.

Versuch 2:

Der Kabelanfang der Koaxialkabelrolle wird an den Anschluß KA des Generators angeschlossen. Die mehrfach reflektierten Nadelimpulse sind jetzt auf dem Y1-Kanal des Oszilloskopes zu sehen. (Die Verstärkung des Y1-Kanales muß erhöht werden, da die Nadelimpulse durch die angeschlossene Kabelrolle gedämpft werden).

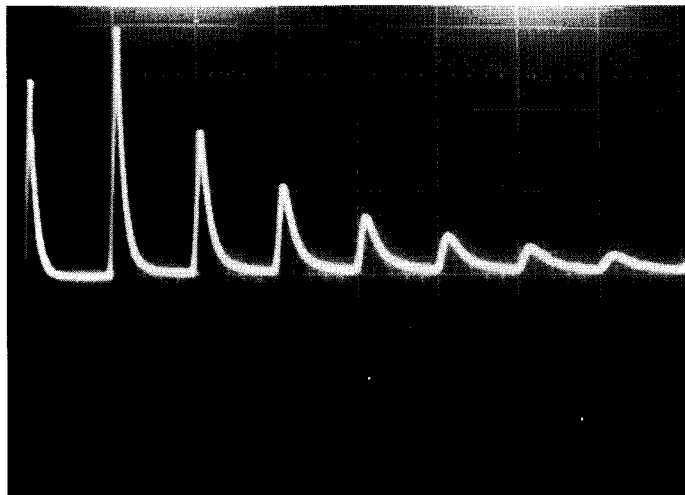


Abb. 1: Reflektierte Nadelimpulse (x: 0,5 μs/RE, y: 50 mV/RE; RE = Rastereinheit)

Meßergebnisse (6-fach Reflexion, Kabellänge 50 m):

$$c' = \frac{6 \cdot 2 \cdot 50 \text{ m}}{6,2 \cdot 0,5 \mu\text{s}} = 1,94 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1};$$

aus $c' = (\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \mu_0 \cdot \mu_r)^{-0,5}$ mit $\mu_r \approx 1$ folgt $\epsilon_r = 2,39$.

Aus dem Bild (s. Abb. 1) kann die exponentielle Abnahme der Amplitude der Nadelimpulse (vom ersten Impuls abgesehen) durch Quotientenbildung der Amplituden aufeinanderfolgender Impulse sehr schön bestimmt werden.

Versuch 3:

Wird das Kabelende kurzgeschlossen, so werden die Impulse mit umgekehrter Phase reflektiert (Phasensprung) (Abb. 2).

Versuch 4:

Mit Hilfe eines Zweikanal-Oszilloskopes können die reflektierten Impulse sowohl am Kabelanfang (Y1-Kanal) als auch

am Kabelende (Y2-Kanal) beobachtet werden, wobei das Kabelende an die BNC-Buchse KE des Generators angeschlossen wird. Ein Impuls am Kabelende liegt zeitlich genau zwischen zwei aufeinanderfolgenden Impulsen am Kabelanfang (Abb. 3, 4).

Versuch 5:

Wird das Kabelende mit einem Widerstand von 50Ω (Wellenwiderstand des Koaxialkabels) abgeschlossen, so werden am Kabelende keine Impulse reflektiert (Abb. 5).

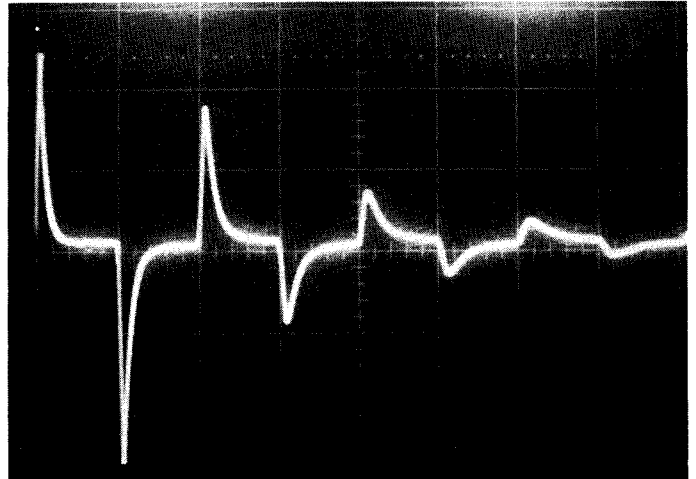


Abb. 2: Reflektierte Nadelimpulse am kurzgeschlossenen Kabelende (x: 0,5 μs/RE, y: 50 mV/RE)

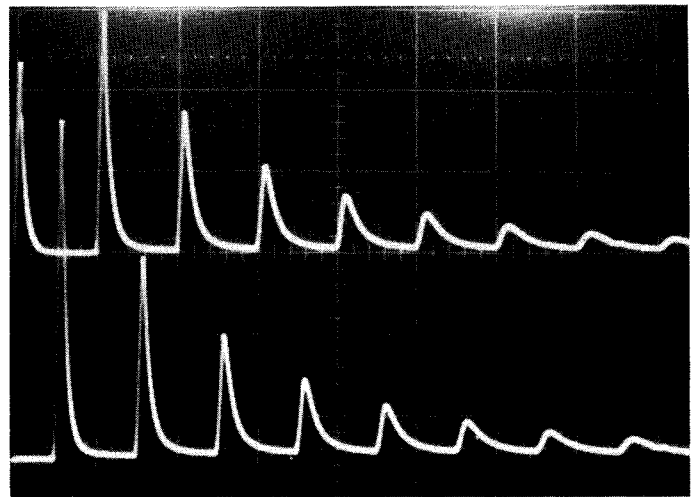
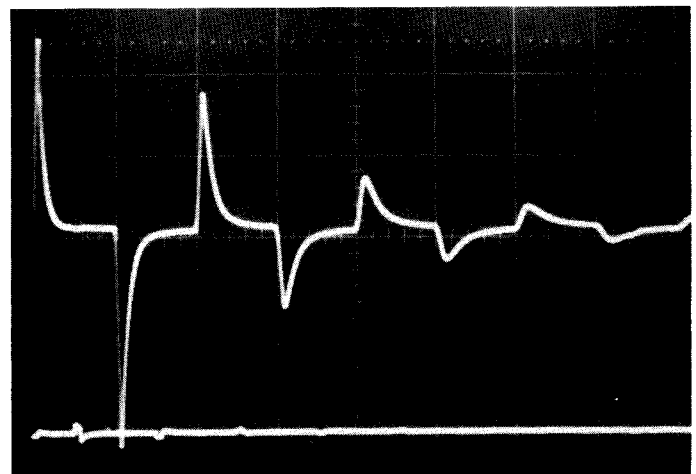


Abb. 3: Reflektierte Impulse am Kabelanfang und -ende bei geöffnetem Schalter

Abb. 4: Reflektierte Impulse am Kabelanfang bei geschlossenem Schalter



3 Versuche im Physikalischen Praktikum

Im Rahmen des Physikalischen Praktikums wurden die Versuche mit dem Versuchsgert durch die Schler durchgefuhrt. Der Versuch wurde von den Schlern mit besonderem Interesse verfolgt. Der Vergleich mit dem entsprechenden Verhalten von mechanischen Wellen bzw. Störungen liegt nahe und vertieft das Verständnis. Für Schler, die mit Computern arbeiten, wird die Problematik der Übertragung von digitalen Signalen greifbar.

Der Versuch ist ausbaufähig. Z. B. kann an einer beliebigen Stelle des Koaxialkabels ein Kurzschluß im Kabel durch Einstechen einer Nadel erzeugt werden. Der Abstand dieser Stelle vom Kabelanfang kann dann bestimmt werden [3].

Für den Lehrer hat der Versuch den Vorteil, daß er sehr schnell aufgebaut werden kann.

Zur Vorbereitung auf den Versuch wurde den Schlern ca. eine Woche vor der Versuchsdurchführung die folgende Versuchsanleitung ausgehändigt (s. Arbeitsblatt: Physikpraktikum 13/1).



Abb. 5: Kabelende mit Potentiometer mit $R = 50\ \Omega$ abgeschlossen

M senkrecht nach unten stehend eingelötet. Ebenso Schaltdrahtstücke von ca. 1,5 cm Länge in die drei Bohrungen S zum Anschluß des Schalters.

Die Drahtstücke KA und KE werden später an die entsprechenden BNC-Buchsen angeschlossen, M dient als Masseanschluß.

7. Die Achse des Potentiometers wird in einen Schraubstock eingespannt und mit einer Laubsäge so gekürzt, daß ein Drehknopf noch aufgeschraubt werden kann. Das Potentiometer wird dann auf der Bestückungsseite in die drei Bohrungen P eingelötet.

8. An die Bohrung P+ wird ein Kabel rot von ca. 5 cm Länge zum Anschluß an die Bananenbuchse rot (Stromversorgung plus) angelötet.

9. Bohrung des Gehäuseoberteiles nach der Bohrschablone. Alle Bohrungen mit 1,5 mm vorbohren. Dann die Bohrungen mit 3 mm, 4 mm usw. vorsichtig aufweiten, bis der gewünschte Durchmesser erreicht ist. Das Gehäuse muß zum Bohren fest eingespannt werden. Ab 5 mm die Bohrmaschine auf kleinste Drehzahl stellen! Bohren von dünnem Alu-Blech erfordert Umsicht und Geschick! Vorsicht, Verletzungsgefahr.

10. Bohrung für die Bananenbuchse rot im Gehäuseunterteil einbringen (wie unter Pkt. 9 beschrieben).

11. Einbau der BNC-Buchsen in das Gehäuseoberteil. Jede BNC-Buchse erhält zur Sicherung eine Zahnscheibe. Die BNC-Buchse KA erhält zusätzlich eine Lötflanke (unter der

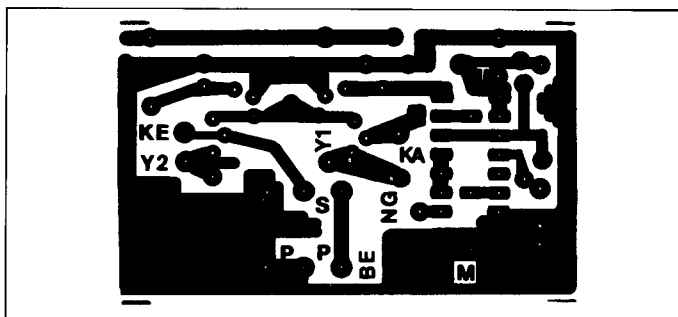


Abb. 6: Platinvorlage des Nadelimpulsgenerators

4 Bauanleitung Nadelimpulsgenerator

1. Kontrolle der Platinen (s. Abb. 6) auf Fehler (Brücken, Risse).

2. Bohrung der Platinen (s. Abb. 7 a u. b) mit Bohrer $\varnothing 0,7\text{ mm}$.

Bohrungen für Potentiometer $200\ \Omega$ auf 1,3 mm aufweiten.

3. Brücke aus Schaltdraht unter IC-Fassung auf Platine einlöten.

4. Bestückung der Platine nach Bestückungsplan (s. Abb. 8). Zuerst die Widerstände und die IC-Fassung (Brücke nicht vergessen!) einlöten, dann die Kondensatoren, wobei bei dem Elektrolytkondensator auf die Polung zu achten ist. Danach die Diode (Polung beachten), die Spannungsregler und die Feldeffekttransistoren einlöten.

5. Die Widerstände R3, R7 und R8 werden in einem Abstand von ca. 5 mm mit jeweils einem Anschluß auf der Bestückungsseite der Platine senkrecht nach oben stehend in den Lötäugen T, Y1 und Y2 eingelötet. Diese Widerstände werden später mit dem zweiten Anschluß an den entsprechenden BNC-Buchsen angeschlossen.

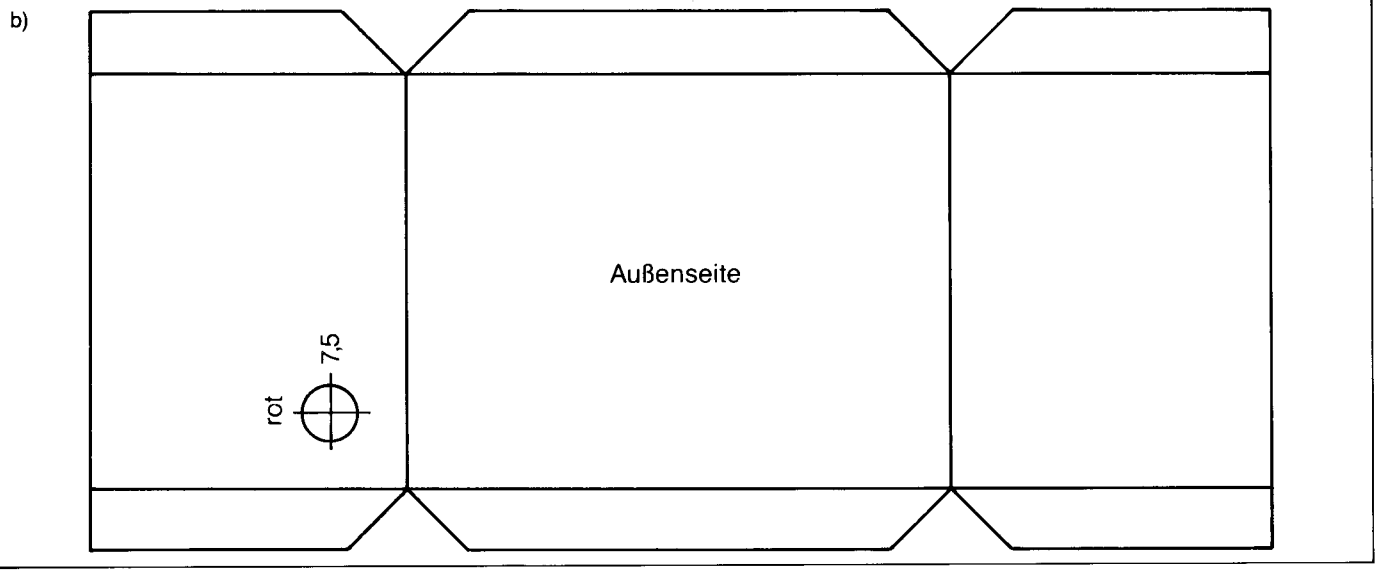
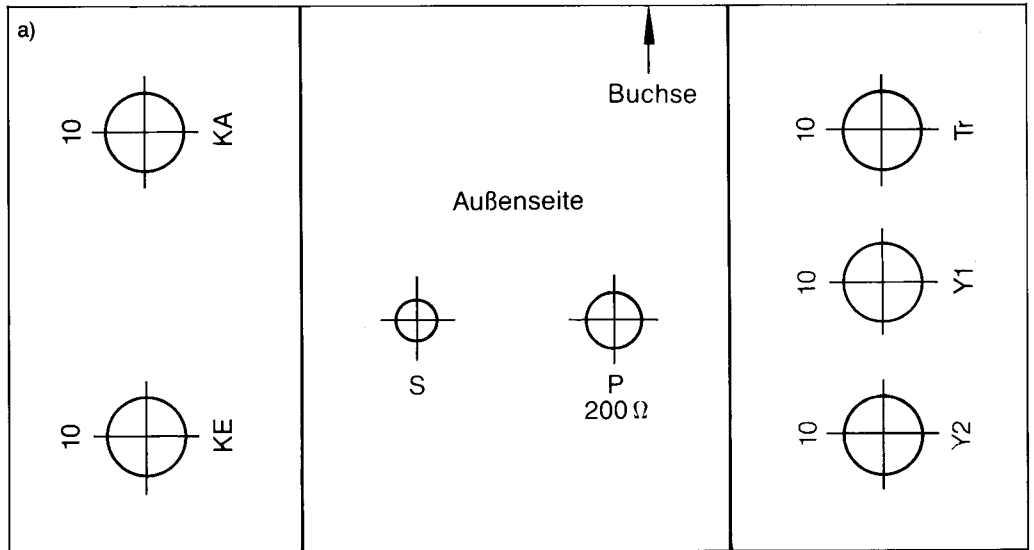
6. Auf der Kupferseite der Platine werden kurze Schaltdrahtstücke von ca. 3 cm Länge in die Lötäugen KA, KE u.

Zahnscheibe, zur Wandung mit den Bohrungen für Potentiometer und Schalter ausgerichtet), die als Masseanschluß dient. Die BNC-Buchsenmuttern werden mit einem Schraubenschlüssel M14 fest angezogen, wobei die Buchsen mit einer Zange oder im Schraubstock gegengehalten werden.

12. Einbau der Bananenbuchse rot in das Gehäuseunterteil. Es ist zweckmäßig, vor dem Einbau den farbigen Kopf vom Metallgewinde der Buchse abzuschrauben, und den vorderen Teil des Metallgewindes mit wenig Zweikomponentenkleber einzustreichen. Dann wird der farbige Kopf wieder aufgeschraubt. Jetzt kann der Buchsenkopf hinten ebenfalls mit Zweikomponentenkleber eingestrichen und in die Gehäusebohrung eingesetzt werden. Der farbige Buchsenring wird von der Gehäuseinnenseite her auf das Gewinde übergestreift, nachdem er ebenfalls mit Zweikomponentenkleber bestrichen wurde. Die Bananenbuchse kann sich dann später im Gehäuse nicht mehr lockern. Die Buchse erhält eine Unterlegscheibe und zwei Muttern, wobei eine zum Kontern dient.

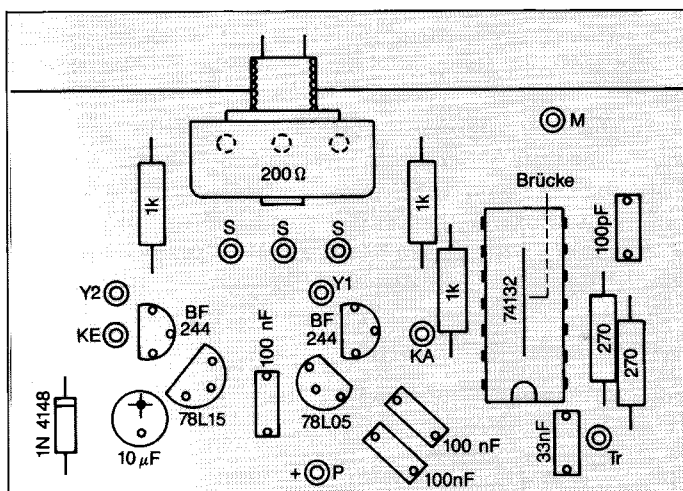
13. Vor dem Einbau der Platine in das Gehäuse kann die Spannung hinter den beiden Spannungsreglern kontrolliert werden (s. Abb. 9). Dazu wird ein Voltmeter zwischen Masseanschluß und Pin 14 der IC-Halterung (ohne eingesetztes

Abb. 7: Bohrschablonen (alle Bohrungen in mm). Bohrschablonen auf das Gehäuse legen und Bohrmittelpunkte durchstechen, a: Gehäuseoberteil; b: Gehäuseunterteil



c) angeschlossen. Wird zwischen Masseanschluß und P+ (Kabel rot) eine regelbare Spannungsquelle angeschlossen, so muß die Spannung an Pin 14 ab 5 V konstant bleiben. Ebenso kann die Spannung hinter dem Spannungsregler 78 L 15 kontrolliert werden, indem das Voltmeter an die beiden Anschlüsse von C3 angeschlossen wird. Hier muß die

Abb. 8: Bestückungsplan NG (vergrößert 1:1,4)



Spannung ab 15 V konstant gehalten werden. Bei eingesetztem IC 74132 beträgt die Stromstärke ca. 40 mA.

14. Einbau der Platine in das Gehäuseoberteil. Die Platine wird vom Potentiometer im Gehäuseoberteil gehalten. Damit sie nicht auf dem Alu-Blech aufsteht, wird eine Unterlegscheibe zwischen Potentiometer und Alu-Blech unterlegt.

15. Einbau des Schalters in das Gehäuseoberteil (s. Abb. 10-12).

16. Anschluß des Schalters, der BNC-Buchsen und des Masseanschlusses an die Platine (siehe Pkt. 5 u. 6). Die Drahtenden dürfen dabei nicht stramm angelötet werden,

Abb. 9: Schaltplan Stromversorgung mit Spannungsreglern und Verpolungsschutzdiode

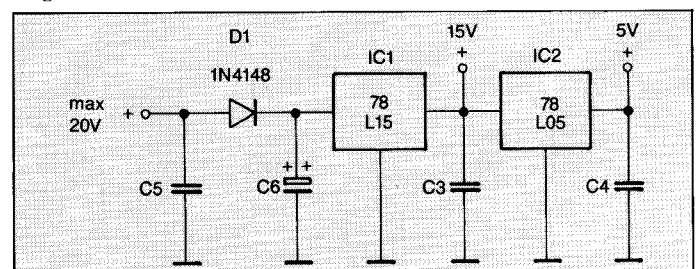


Abb. 10: Schaltung des Nadelimpuls-
puls-generators NG [3]

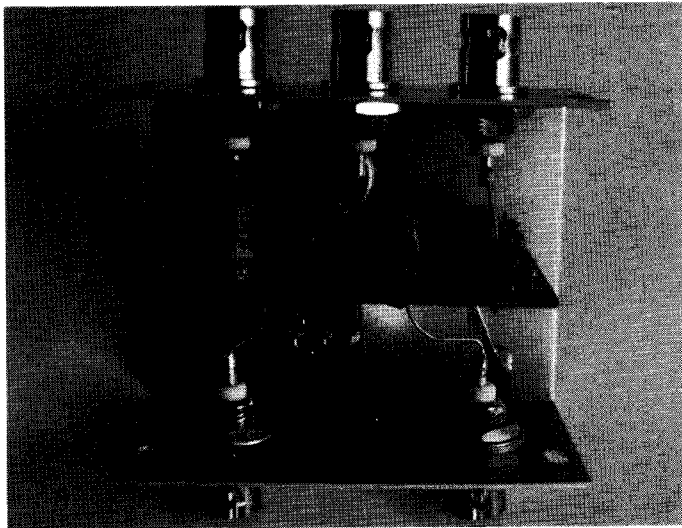
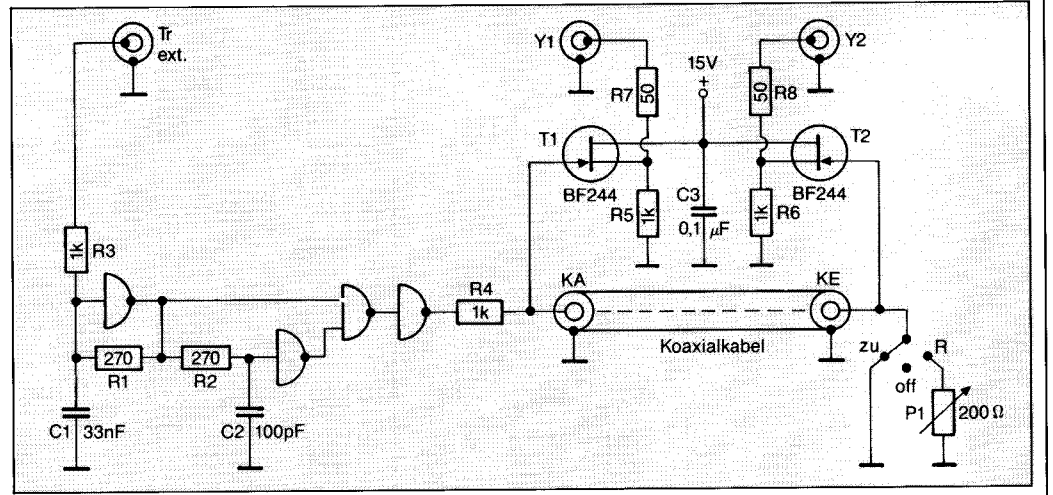


Abb. 11: Nadelimpulsgenerator im Gehäuse

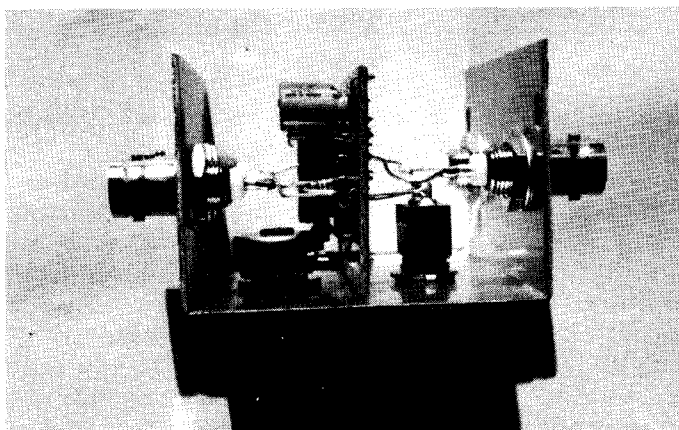
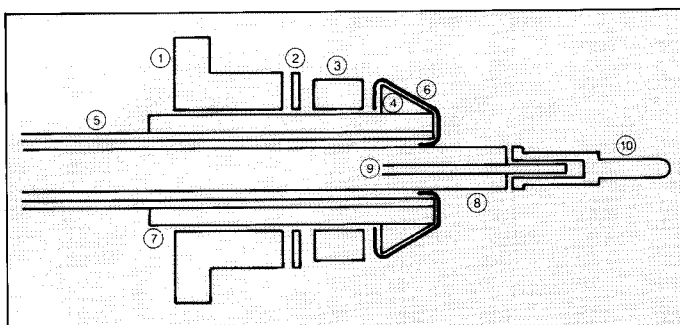


Abb. 12: Schaltung im Gehäuseoberteil eingebaut

Abb. 13: Anschluß der BNC-Stecker am Koaxialkabel



sondern sie sind zu Schlaufen zu verbiegen (auch bei den Widerständen), so daß keine mechanischen Spannungen beim Drücken auf die Seitenwände des Gehäuses auftreten können.

17. Verbindung des Stromversorgungsanschlusses Kabel rot mit der Bananenbuchse rot. Beim Zusammenbau der beiden Gehäusehälften ist darauf zu achten, daß die Bananenbuchse keinen Kontakt mit anderen Teilen haben kann.

4.1 Anschluß der BNC-Stecker an das Koaxialkabel

1. Die Schraube ①, die Unterlegscheibe ②, die Gummitülle ③ und der Metallringkonus ④ werden über das Kabelende gestreift.
2. Vom Kabelmantel ⑤ wird mit Hilfe einer Rasierklinge ein Stück von 9 mm Länge vorsichtig entfernt. Dabei dürfen die Drähte ⑥ des Abschirmgeflechtes nicht verletzt werden!
3. Drahtgeflecht mit Hilfe z.B. einer Zirkelspitze entflechten.
4. Ggf. muß bei zu kleinem Kabeldurchmesser etwas Isolierband ⑦ um das Kabelende gewickelt werden, so daß der konische Metallring ④ fest am Isolierschlauchende sitzt.
5. Die Drähte des Abschirmgeflechtes werden ca. zwei Millimeter über den konischen Metallring überstehend abgeschnitten und gleichmäßig verteilt um den Konus herumgebogen.
6. Die Gummitülle ③, die Unterlegscheibe ② und die Überwurfmutter ① werden an den Konusring ④ herangeschoben.
7. Die Isolierung ⑧ der Kabelseele ⑨ wird 4 mm über den Konusring ④ überstehend mit Hilfe einer Rasierklinge vorsichtig entfernt. Dabei darf die Kabelseele ⑨ nicht verletzt werden.
8. In die Bohrung des Stiftes ⑩ wird Lötzinn gebracht, indem der Stift ⑩ senkrecht stehend gehalten und mit dem Lötkolben erwärmt wird. Die Kabelseele ⑨ wird verzinkt und in die Bohrung des Stiftes ⑩ eingelötet.
9. Das BNC-Buchsen-Vorderteil mit Bajonettverschluß und Rändelring wird über den Stift ⑩ gesteckt und mit der Schraube ① fest verschraubt (Vorderteil mit Zange oder im Schraubstock gegenhalten).

Stückliste: Nadelimpulsgenerator

IC 1	Spannungsregler	78 L 15
IC 2	Spannungsregler	78 L 05
IC 3	4-fach Schmitt-Trigger	SN 74 132