

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

BEITRAG AUS DER REIHE:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

Wege in der Physikdidaktik

Band 2

Anregungen für Unterricht und Lehre

ISBN 3 - 7896 - 0100 - 4

Verlag Palm & Enke, Erlangen 1991

Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle
genutzt werden. Auf der Homepage

www.solstice.de

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

Helmut Pape

Projekt Zeitzeichenempfänger

1. Einleitung

Dieses Projekt entwickelte sich im Verlaufe einer Arbeitsgemeinschaft Physik, die der Verfasser mit einigen besonders interessierten Schülern der Klassen 10 und 11 seines Gymnasiums gehalten hat. Es führt von physikalischen Grundlagen, nämlich der Definition der Grundgröße "Zeit", ihrer Darstellung und Verbreitung, über das Kennenlernen elektromagnetischer Wellen bis zur praktischen Arbeit mit elektronischen Bauteilen und der Erstellung eines Computerprogramms. Damit kann es als Ganzes oder in Teilen auch in Physik-Plus-Kursen, Facharbeiten, Elektronik- oder Programmierkursen verwendet werden. Das fertige Gerät eignet sich zum Einsatz im Unterricht bei der Behandlung der Themen "Zeit", "Wellenausbreitung" und "Modulation".

2. Zweck

Jedes Projekt verfolgt ein Ziel. Hier ist es der Bau eines Empfängers für die nach dem Gesetz über die Zeitbestimmung von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) mit Hilfe eines Langwellensenders verbreitete Zeitinformation. Das Gerät demoduliert die Sendung und setzt die empfangenen Impulse in Töne um, die man von Hand mitschreiben und dann dekodieren kann. Es ist aber auch möglich, einen Computer anzuschließen und diesem die Mühe des Dekodierens zu überlassen.

Der Projektteilnehmer besitzt am Ende ein funktionsfähiges Gerät, das einen klaren Zweck erfüllt. So etwas ist im Schulunterricht sonst nur selten der Fall und liefert eine ausgezeichnete Motivation. Darüberhinaus erkennt der Schüler, wieviel Einzelwissen aus den verschiedensten Fachgebieten zusammengefaßt werden muß, um auch nur ein einfaches Projekt wie dieses zu verwirklichen.

3. Die gesetzliche Zeit

In der Bundesrepublik Deutschland ist die PTB in Braunschweig zuständig für Maße und Gewichte, sowie für die Darstellung und Verbreitung der offiziellen Zeitinformation.

Zur **Darstellung** der Zeit werden zwei Atomuhren verwendet. Sie liefern eine Wechselspannung der Frequenz 9 192 631 770 Hz, deren Periodendauer dem Übergang zwischen den beiden Feinstrukturniveaus des Grundzustandes des Cs 133-Atoms entspricht. Durch Teilung erhält man daraus andere Normfrequenzen und schließlich den Sekundentakt der gesetzlichen Zeit. Ihre Genauigkeit ergibt sich durch den Vergleich mit weiteren Uhren ähnlicher Bauart. Sie beträgt etwa 10^{-12} für einen Tag und ist besser als $2 \cdot 10^{-13}$ über einen Zeitraum von 100 Tagen.

Verbreitet wird die Zeitinformation auf mehreren Wegen, von der Zeitansage am Telefon und der Fernsehuhren für Normalverbraucher bis zur Verwendung transportabler Atomuhren für höchste Ansprüche. Für Leute, die mit einer Genauigkeit von einigen Millisekunden zufrieden sind, aber nicht auf die nächste Zeitansage warten wollen, gibt es den Normalfrequenz- und Zeitzeichensender DCF 77.

4. Der Sender DCF 77

Dieser steht in der Nähe von Frankfurt am Main unmittelbar neben dem Seligenstädter Autobahnkreuz und ist - je nach Empfängerempfindlichkeit - bis zu einer Entfernung von 1500 km brauchbar zu empfangen. Der Sender arbeitet rund um die Uhr auf der Frequenz 77 500 Hz - daher der Name - und liefert nicht nur diese, von den Atomuhren abgeleitete Normalfrequenz, sondern auch noch Sekundenmarken und - in jeder Minute einmal - Uhrzeit, Wochentag, Datum und noch einige andere Informationen.

Die Sendeleistung beträgt 50 kW. Als Antenne dient ein 150 m hoher Vertikalstrahler mit Dachkapazität und einem geschätzten Wirkungsgrad von 50%. Ein $\lambda/2$ - Dipol müßte bei dieser Frequenz 1935,5 m lang sein! Man kann DCF 77 überall in Deutschland empfangen und zur Erzeugung anderer Normalfrequenzen sowie zum Steuern von Uhren verwenden.

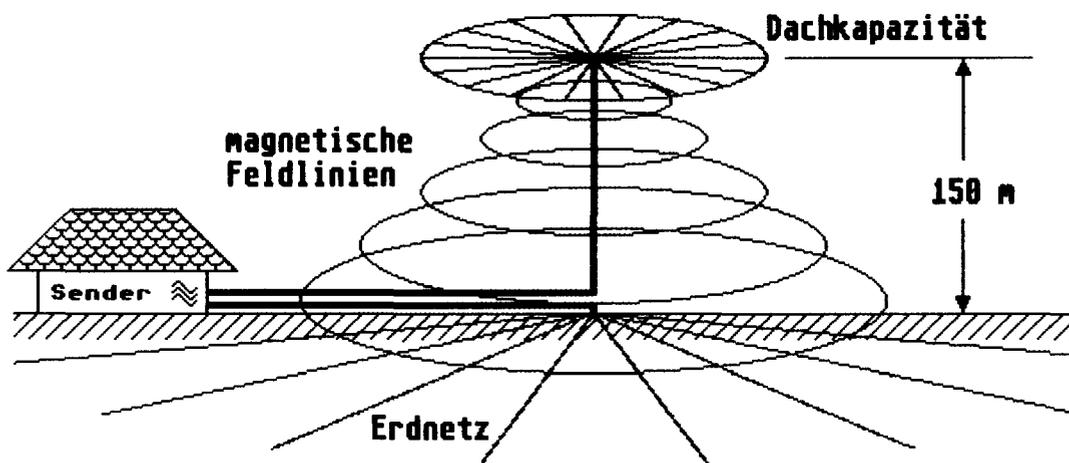


Abb. 1: Schematische Darstellung des Senders DCF 77

Beachte: Die magnetischen Feldlinien verlaufen parallel zur Erdoberfläche !

5. Das Sendeschema für eine Minute

Im Verlauf jeder Minute werden u.a. Uhrzeit, Wochentag und Datum der jeweils folgenden Minute übertragen. Dazu denken wir uns die Sekunden numeriert von 0 bis 59. Am Beginn jeder Sekunde mit Ausnahme der 59. wird die Sendeleistung auf 1/16 abgesenkt und zwar für 0,1 s oder 0,2 s.

Die kürzere Absenkung bedeutet eine 0, die längere eine 1. In dieser Folge von Nullen und Einsen sind die genannten Informationen verschlüsselt.

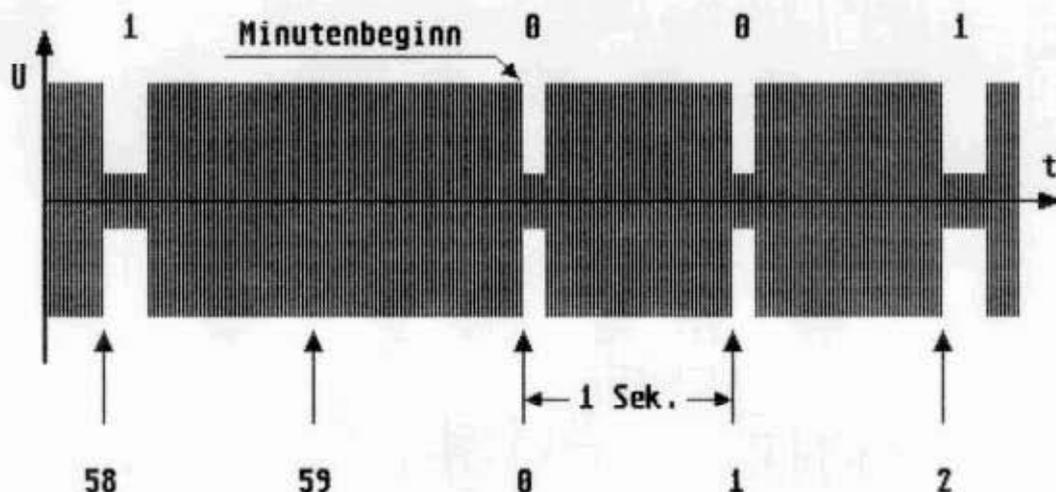


Abb. 2: Verlauf der Antennenspannung des Senders DCF 77
 unten : Nummer der Sekunde oben : Bitwerte

neue Min. immer 0	← Bedeutung nicht festgelegt →															Reserve- antenne MEZ (> MESZ MESZ MEZ Schalt- sekunde Startbit immer 1				
0																7				
Minute								Stunde								Kalendertag				
1	2	4	8	10	20	40	gerade Parität	1	2	4	8	10	20	gerade Parität	1	2	4	8	10	20
1 ≙ Mo 7 ≙ So				Monat					Jahr					gerade Parität	kein Impuls					
1	2	4	1	2	4	8	10	1	2	4	8	10	20	40	80	gerade Parität	kein Impuls			
																	/			
																	59			

Abb. 3: Formular zum Dekodieren des Zeittlegramms
 Die notierten Einsen werden mit den darüberstehenden Bitwerten multipliziert und die erhaltenen Produkte addiert.

6. Der Empfänger

Das Gerät besteht aus dem Analogteil, der ein vom Computer auswertbares Signal liefert und dem Digitalteil, welcher eine einfache Auswertelektronik enthält. Diese ermöglicht die Decodierung des Zeitlegramms mit Papier und Bleistift. Ihre Arbeitsweise kann auch von interessierten Schülern verstanden werden.

Analog- und Digitalteil befinden sich auf einer gemeinsamen Platine im Europaformat, die beim Verfasser bezogen werden kann. Wenn nur der Betrieb mit einem Computer vorgesehen ist, kann der nicht benötigte Digitalteil der Platine abgesägt werden. Der Analogteil funktioniert dann mit den vom Computer gelieferten 5 V. Das Gesamtgerät wird sonst mit einer 9 V Blockbatterie betrieben, für die auf der Platine Platz vorhanden ist.

7. Die Schaltung des Analogteiles

(Schaltbilder und Aufbauzeichnungen am Schluß des Artikels !)

Als Antenne dient die auf einen Ferritstab gewickelte Spule des Schwingkreises für die Empfangsfrequenz. Seine Kapazität besteht aus einem Festkondensator von 1,2 nF und einem parallelgeschalteten Trimmer zum Feinabgleich der Frequenz.

Die erste Verstärkerstufe verwendet einen Feldeffekttransistor. Sein hoher Eingangswiderstand dämpft den Schwingkreis nicht, so daß die Resonanzüberhöhung der Empfangsspannung voll erhalten bleibt.

Der Arbeitspunkt des Feldeffekttransistors wird durch einen Widerstand (2,2 k Ω) in der Sourceleitung eingestellt. Er ist durch einen Kondensator für Wechselspannung überbrückt, um zu vermeiden, daß die Verstärkung durch Gegenkopplung verringert wird. Die Spannungsverstärkung beträgt etwa 4.

Die zweite Stufe enthält einen bipolaren Transistor in einer Standardschaltung. Die Spannungsverstärkung dieser Stufe liegt bei 80. An ihrem Ausgang ist die Amplitude des Empfangssignals z.B. 0,2 V_{eff}.

Das soweit verstärkte Signal wird nun in einer Spannungsverdopplerschaltung gleichgerichtet. Wegen des niedrigen Signalpegels sind hier Germaniumdioden am besten geeignet. Sie laden einen Kondensator von 0,27 μ F auf, der gleichzeitig durch einen hohen Widerstand (56 k Ω + 220 k Ω) entladen wird. Die Zeitkonstante dieses R-C-Gliedes beträgt etwa 0,075 s. So wird die Sendefrequenz gut unterdrückt, die zur Informationsübertragung verwendeten Amplitudenschwankungen aber durchgelassen.

An Pin 2 des als Komparator verwendeten C-MOS-Operationsverstärkers liegt also die in Abb. 4 dargestellte Spannung. Ihr Betrag ist von vielen Einflüssen abhängig, z.B. von der Orientierung der Ferritantenne. Deshalb ist sie mit langsam veränderlicher Amplitude gezeichnet.

Man erkennt, daß die kurzzeitigen Leistungsabsenkungen zu einem schnellen exponentiellen Abfall und einem ebensolchen Wiederanstieg dieser Spannung führen. Wenn eine 1 übertragen wird, ist der Spannungseinbruch deutlich breiter.

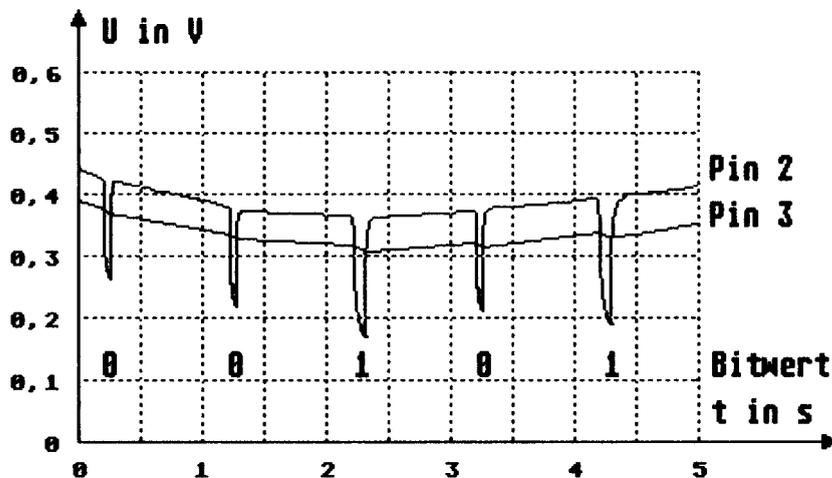


Abb. 4: Spannungsverlauf an den Anschlüssen des Komparators

Um dieses Signal auszuwerten und die kurzzeitigen Schwankungen (welche die Information enthalten) von den langsamen zu unterscheiden, werden etwa 80 % der Spannung einem Tiefpaß (3,9 M Ω , 0,27 μ F) zugeführt, der das Signal mit einer 14 mal so großen Zeitkonstante mittelt wie das erste R-C-Glied. Die so erhaltene Spannung (s. Abb. 4 Pin 3) folgt der an Pin 2 anliegenden, ohne jedoch ihre schnellen Schwankungen mitzumachen.

Nun genügt ein einfacher Komparator zur Erzeugung des digitalen Ausgangssignals. Er vergleicht die beiden Spannungen miteinander und liefert an seinem Ausgang, Pin 6, die Spannung $+U_b$, wenn $U_{\text{Pin 2}} < U_{\text{Pin 3}}$ und 0 V, wenn $U_{\text{Pin 2}} > U_{\text{Pin 3}}$.

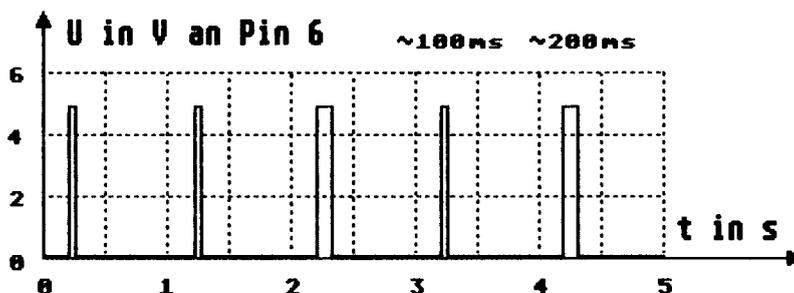


Abb. 5: Spannungsverlauf am Ausgang des Komparators bei $U_b = 5$ V

Der C-MOS Operationsverstärker CA 3130 eignet sich geradezu ideal für diesen Zweck. Er besitzt einen praktisch unendlich hohen Eingangswiderstand, belastet also den hochohmigen Schaltungsteil nicht. Seine Eingangsspannungen dürfen sehr klein werden (sogar ein wenig negativ), so daß die Vergleicherschaltung auch bei schlechtem Empfang noch funktioniert. Schließlich kann seine Ausgangsspannung die positive wie die negative Versorgungsspannung erreichen, wodurch die folgenden Stufen sicher geschaltet werden.

Leider sind die Signalfanken nicht so sauber wie Abb. 5 vermuten läßt. Bei genauer Betrachtung am Oszilloskop sieht man, daß sie häufig aus mehreren schnellen Pegelwechseln bestehen. Die Ursache dafür ist ein sehr kleiner Rest der Hochfrequenzspannung an Pin 2 des Operationsverstärkers.

Abhilfe schafft hier ein Tiefpaß, bestehend aus dem R-C-Glied $22\text{ k}\Omega / 1\text{ }\mu\text{F}$, welches diese kurzen Impulse unterdrückt. Ihm folgt eine Transistor - Schaltstufe (der untere BC 549 C) zum Steuern des Computers. Die Zeiten von 0,1s bzw. 0,2s werden allerdings wegen der Verzögerungsglieder (Tiefpässe) in der Schaltung nicht mehr genau eingehalten.

Je nach verwendetem Computer muß der Ausgang dieser Stufe unterschiedlich beschaltet werden :

- > Wenn der Computereingang einen Pull-Up-Widerstand besitzt, d.h. über einige Kiloohm mit + 5 V verbunden ist, entfällt der $10\text{ k}\Omega$ - Widerstand und der $1\text{ k}\Omega$ - Widerstand wird durch eine Drahtbrücke ersetzt.
- > Fehlt ein Pull-Up-Widerstand, so ist der $10\text{ k}\Omega$ - Widerstand notwendig. Falls die Betriebsspannung des Empfängers dabei mehr als 5 V beträgt, sollte vom Kollektor (C) des Transistors nach Masse eine 5 V - Zenerdiode gelegt werden, damit keine unzulässig hohe Spannung an den Eingangsbaustein des Computers gelangt.
- > Der $1\text{ k}\Omega$ - Widerstand wird erforderlich, wenn der verwendete Portbaustein des Computers zunächst als Ausgang geschaltet ist.

Die Transistor - Schaltstufe invertiert, d.h. ihre Ausgangsspannung beträgt $+U_b$, wenn der Sender mit voller Leistung arbeitet und 0V während der Trägerabsenkung. Falls das Auswerteprogramm die umgekehrte Polung verlangt, braucht man nur die Komparatoreingänge zu vertauschen. Dies ist auf der Platine bereits vorgesehen.

Parallel zur Schaltstufe ist noch ein weiterer Transistor in der sogenannten Emitterfolgerschaltung mit dem Ausgang des Komparators verbunden. Er liefert während der Trägerabsenkungen den Strom für eine Leuchtdiode, die als Funktionsanzeige dient. Die Decodierung des Signals bleibt nun dem Computer überlassen. Geeignete Programme für C 64 und Atari ST sind beim Verfasser erhältlich.

Nicht jeder kann einen Computer für die Anzeige der Uhrzeit reservieren oder möchte die Mühe auf sich nehmen, ein geeignetes Programm zu entwickeln. Leider ist es aber nicht möglich, beim Aufblitzen einer Leuchtdiode zuverlässig zu unterscheiden, ob sie 0,1 s oder 0,2 s eingeschaltet war, um auf diese Weise das Zeitlegramm aufzunehmen.

Deshalb wurde eine kleine digitale Hilfsschaltung entworfen, welche den beiden Zeiten zwei Leuchtdioden zuordnet und dazu noch einen Piepton erzeugt, der bei einer "1" deutlich höher ist als bei einer "0". Damit ist es ein leichtes, das Zeitlegramm von Hand zu decodieren.

8. Die Schaltung des Digitalteiles

Dieser Schaltungsteil beginnt - wie die Transistor-Schaltstufe - mit einem Tiefpaß (39 k Ω / 0,27 μ F). Ihm folgt ein Nand-Gatter mit Schmitt-Trigger Charakteristik, das als Inverter geschaltet ist und wieder saubere Rechteckimpulse liefert.

Es kommt nun darauf an, kurze und lange Impulse (nominell 0,1 s bzw. 0,2 s) voneinander zu unterscheiden. Dazu braucht man einen Vergleichsimpuls, der genau "in der Mitte liegt", nämlich 0,15 s lang ist. Diesen erzeugt ein Monostabiler Multivibrator, kurz "Monoflop" genannt. Die integrierte Schaltung 4538 enthält zwei davon.

Das Monoflop besitzt zwei Eingänge. Einer (Pin 11 bzw. 5) reagiert auf abfallende Flanken, der andere (12 bzw. 4) auf ansteigende. Die beiden Ausgänge des Monoflops (9 und 10, bzw. 6 und 7) sind immer komplementär zueinander. Wenn längere Zeit kein Eingangsimpuls registriert wurde, liegt der eine Ausgang (9 bzw. 7) auf +U_b, der andere (10 bzw. 6) auf Massepotential.

Auf einen Eingangsimpuls reagiert das Monoflop, indem die Ausgänge ihre Spannungen vertauschen. Nach einer gewissen Zeit kippen sie dann wieder zurück. Diese Zeit T wird durch ein R-C-Glied bestimmt, welches zur äußeren Beschaltung des Bausteins gehört.

Es gilt recht genau : $R \cdot C = T$

Hier also : $1 \text{ M}\Omega \cdot 0,15 \text{ }\mu\text{F} = 0,15 \text{ s}$

Nun muß entschieden werden, ob der Eingangsimpuls kürzer oder länger war als der des Monoflops. Diese Information ist zu speichern und etwa eine halbe Sekunde lang anzuzeigen.

Die Speicherung besorgen die beiden über Kreuz verschalteten Nand-Gatter hinter dem Monoflop. Sie bilden einen bistabilen Multivibrator, kurz Flipflop genannt. Es besitzt zwei Eingänge, (Pins 6 und 13) und zwei Ausgänge (4 und 11). Wenn beide Eingänge an Masse (0V) liegen - was unmittelbar nach der fallenden Flanke des Eingangssignales zutrifft (dann haben nämlich die Testpunkte B und C Massepotential) - sind **beide** Ausgänge auf +U_b.

Nun kommt es darauf an, welcher Eingang länger "unten" bleibt. Der Ausgang des betreffenden Gatters bleibt dann nämlich "oben", während der andere 0V annimmt. Dieser Zustand ändert sich nicht, bis wieder beide Eingänge 0V besitzen. Man überlegt sich leicht, daß nach einem langen Impuls ("1") Ausgang 4 "oben" und Ausgang 11 "unten" sein wird. Nach einem kurzen Impuls ("0") ist es natürlich umgekehrt.

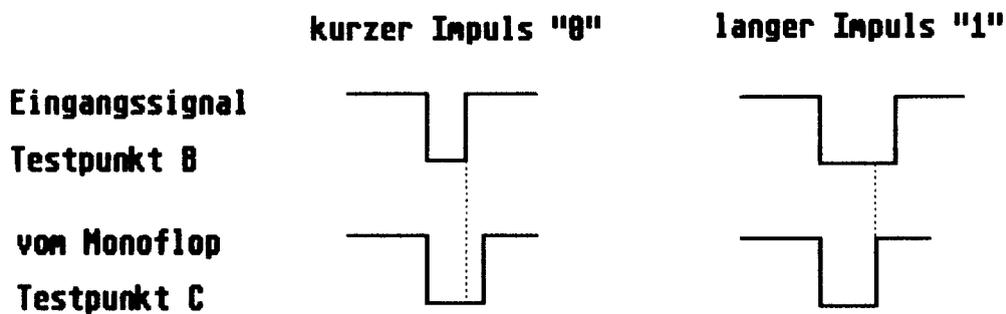


Abb. 6: So sehen die Impulse an den Eingängen des Flipflops aus

Für den Benutzer soll nun ein Signal von etwa 0,5 s Dauer erzeugt werden, damit er mehrere aufeinanderfolgende gleichartige Zeichen voneinander unterscheiden kann. Hierzu dient das zweite Monoflop. Es wird gestartet, sobald der Eingangsimpuls und der Ausgangsimpuls des ersten Monoflops **beide** zu Ende sind. Dafür sorgt das Nand-Gatter mit den Anschlüssen 8, 9 und 10.

Das akustische Signal erzeugt ein Piezosummer, der bei einer "0" einen tiefen, bei einer "1" einen hohen Ton von 0,5 s Dauer abgibt. Dazu erhält er eine Rechteckspannung entsprechender Frequenz, die von zwei einfachen Oszillatoren erzeugt wird. Jeder Oszillator ist aus einem Nand-Gatter mit Schmitt-Trigger Charakteristik aufgebaut.

Positive Spannung am zweiten Eingang des jeweiligen Gatters (1 bzw. 6) gibt den Oszillator frei, bei 0 V schwingt er nicht. Man sieht, daß immer nur einer der beiden Oszillatoren arbeiten kann, je nach Stellung des Flip-Flops. Die Ausgangsspannungen beider Tongeneratoren werden in einem Nand-Gatter zusammengefaßt und vom folgenden Gatter eine halbe Sekunde lang durchgelassen.

Für das optische Signal sind zwei Leuchtdioden vorhanden, die am besten sog. Low-Current-Ausführungen sein sollten. Der PNP-Transistor BC 559 C leitet, wenn seine Basis die gleiche Spannung besitzt wie sein Kollektor, also solange das zweite Monoflop aktiv ist. Welcher von den beiden NPN-Transistoren BC 549 C Strom fließen läßt, bestimmt das Flipflop. Sein Ausgang 4 ist positiv, wenn die Trägerabsenkung lang (0,2 s) war. Dann leitet der untere BC 549 C und die Diode "1" leuchtet.

27

9. Der Aufbau

Man beginnt am besten mit den Lötstiften. Diese müssen mit einiger Kraft in die Platine gedrückt werden. Dann folgen der Schalter und die übrigen Bauteile. Der Arbeitswiderstand ($3,9\text{ k}\Omega$) des Feldeffekttransistors wird an Lötstiften angebracht, damit er beim Abgleich leichter ausgetauscht werden kann. Gleiches gilt für den zeitbestimmenden Widerstand ($1\text{ M}\Omega$) des ersten Monoflops. Zuletzt sind die Schrauben in den Ecken der Platine und die Ferritantenne an der Reihe.

Der Ferritstab wird zuerst mit Papier umwickelt, dann kann die einlagige Spule aufgebracht werden. Man sollte wesentlich mehr Windungen als nötig vorsehen, da zum Abgleich wieder Draht abgewickelt wird. Eine Wicklungslänge von etwa 9 cm bei 0,3 mm dickem Draht hat sich bewährt. Ein Ende der Wicklung wird mit Klebeband festgelegt. Dann befestigt man die Ferritantenne mit Plastik- Kabelschellen auf der Platine. Auf keinen Fall darf hier Metall verwendet werden! Unter die Kabelschellen kommen einige M4 Beilegscheiben, damit die Antenne etwas Abstand von der Platine besitzt. Zum Befestigen der Batterie auf dem vorgesehenen Platz eignet sich zweiseitig klebendes Teppich - Verlegeband.

10. Der Abgleich

Zuerst überprüft man sämtliche Spannungen anhand des Schaltbildes. Abweichungen von 20% sind ohne weiteres zulässig. Danach wird der Eingangskreis auf die richtige Frequenz abgestimmt. Man verwendet am besten einen Sinusgenerator mit Frequenzzähler und ein Oszilloskop. Dessen Eingang wird über einen 10 : 1 Vorteiler mit dem Kollektor (C) des zweiten Transistors (BC 549 C) verbunden. Ein isolierter Draht führt vom Ausgang des Sinusgenerators in die Nähe des Ferritstabes.

Wenn man die Frequenz des Sinusgenerators von etwa 100 kHz abwärts dreht, sollte bei einer Frequenz (hoffentlich unter 77,5 kHz) ein scharfes Maximum der Signalamplitude zu beobachten sein. Nun wickelt man Draht von der Ferritantenne, bis dieses Maximum bei halb eingedrehtem Trimmer genau bei 77 500 Hz liegt. Mit dem Trimmer kann man später sehr fein auf besten Empfang abgleichen. Man sollte nicht vergessen, nun auch das andere Ende der Wicklung mit Klebeband zu sichern.

Beim Digitalteil kann es erforderlich werden, die Zeitkonstante des ersten Monoflops (0,15 s) einzustellen. Dabei geht man so vor :

Zuerst wird mit dem Oszilloskop die Dauer der langen und kurzen Impulse am Ausgang des Schmitt - Triggers (Testpunkt B) bestimmt. Dann ändert man den zeitbestimmenden Widerstand ($1\text{ M}\Omega$) des Monoflops, bis dessen Impulsdauer (an Testpunkt C) genau der Mittelwert der gemessenen Zeiten ist.

11. Der Betrieb

Damit die Empfangsspannung möglichst groß ist, muß die Breitseite des Ferritstabes zur Sendeantenne in der Nähe von Frankfurt zeigen.

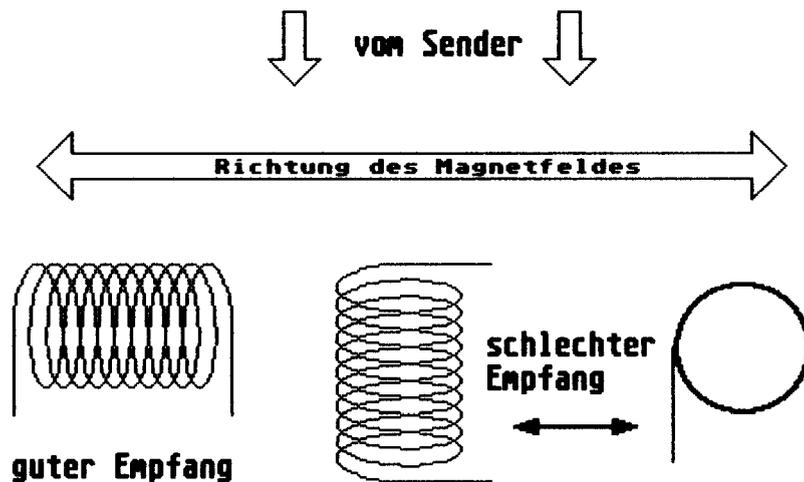
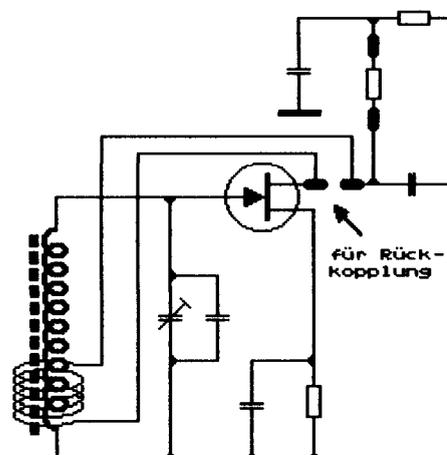


Abb. 7: Zur richtigen Orientierung der Empfangsantenne

Da der Empfänger keine automatische Verstärkungsregelung besitzt, kann er in sehr guten Empfangslagen übersteuert werden. Dann ist die Kollektorspannung des zweiten Transistors annähernd rechteckförmig und die übertragene Amplitudenmodulation ist stark verringert, im Extremfall sogar ganz verschwunden. Hier schafft eine Verkleinerung des Arbeitswiderstandes ($3,9\text{ k}\Omega$) beim Feldeffekttransistor Abhilfe.

Das umgekehrte Problem, nämlich zu geringe Empfindlichkeit, ist nicht so einfach zu lösen. Hier sollte man mehrere BF 244 A ausprobieren. Diese sind nämlich - trotz der am "A" zu erkennenden Vorsortierung - noch sehr unterschiedlich. Eine Empfindlichkeitssteigerung auf das 4-fache ist durchaus möglich.

Abb. 8: Schaltung der Eingangsstufe mit zusätzlicher Rückkopplungsspule



Wenn das nicht genügt, bleibt als letzte Maßnahme der Einbau einer Rückkopplung. Das ist im Prinzip sehr einfach und erfordert nur etwas isolierten Draht. Durch die Rückkopplung wird der Empfänger gleichzeitig empfindlicher und trennschärfer. Man sollte nur so viele Rückkopplungswindungen nehmen, daß die Empfindlichkeit gerade ausreicht. Wenn der Empfang mit Rückkopplung schlechter ist als ohne, müssen die Anschlüsse der Wicklung vertauscht werden. Auf der Platine ist die für den Einbau der Rückkopplung erforderliche Unterbrechung in der Drainzuleitung des Feldeffekttransistors schon vorhanden.

12. Störungen durch Fernsehgeräte

Es soll nicht verschwiegen werden, daß das beschriebene Gerät gegenüber kommerziell gefertigten einen wesentlichen Nachteil aufweist, nämlich seine geringe Trennschärfe.

Das ist kein Problem, solange nicht in weniger als 5m Abstand von der Ferritantenne ein Fernsehapparat steht. Dessen Horizontalablenkfrequenz beträgt nämlich 15 625 Hz. Durch die Ablenkspulen der Bildröhre fließt ein annähernd sägezahnförmiger Strom dieser Frequenz, der starke Oberwellen auf ungeradzahligem Vielfachen der Grundfrequenz besitzt. Die werden - da Fernsehgeräte kein Metallgehäuse haben - ungehindert abgestrahlt.

Hier zeigt sich nun, daß die Sendefrequenz des DCF 77 recht unglücklich gewählt ist. Nicht nur besitzt keines ihrer Vielfachen einen vernünftigen runden Wert, sie liegt auch noch sehr nahe bei der 5. Oberwelle der Horizontalablenkfrequenz unserer Fernsehapparate ! Der Abstand beträgt $5 \cdot 15\,625\text{ Hz} - 77\,500\text{ Hz} = 625\text{ Hz}$.

Deshalb verwenden kommerzielle Funkuhren entweder ein Quarzfilter auf der Empfangsfrequenz oder sie sind als Überlagerungsempfänger ausgelegt, um die nötige Trennschärfe zu erreichen.

In unserem weniger trennscharfen Geradeausempfänger entsteht eine Schwebung von 625 Hz zwischen Nutz- und Störspannung, mit der die Demodulatorschaltung jedoch problemlos zurechtkommt, solange die zweite Stufe nicht völlig übersteuert wird. In vielen Fällen genügt es schon, die Antenne ein wenig zu drehen, da ja ihr Richtdiagramm in Längsrichtung des Ferritstabes eine Nullstelle besitzt. Am besten ist es aber, den ganzen Empfänger in sicherer Entfernung von jedem Fernsehapparat zu betreiben.

Anhang

1. Ein Nand - Gatter mit Schmitt - Trigger Charakteristik



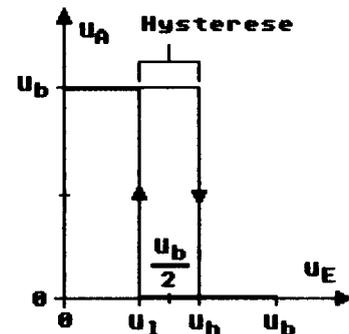
E ₁	E ₂	A
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

oben : Schaltzeichen und Funktion

rechts : Wahrheitstafel

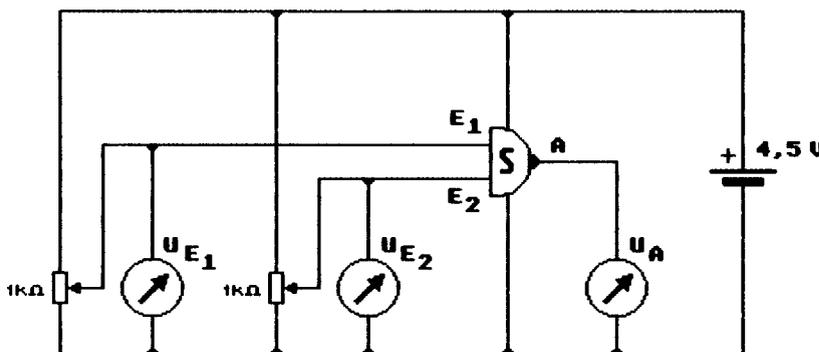
Dieser Schaltkreis eignet sich ausgezeichnet für einführende Versuche in die integrierte Schaltungstechnik (s. auch das Buch: CMOS- Bauanleitungen, RPB 199, Franzis Verlag)

Der Zusammenhang zwischen Ausgangs- und Eingangsspannung ist im Diagramm dargestellt. Dabei wurde einer der beiden Eingänge mit +U_b verbunden. Der Schaltkreis arbeitet dann als Inverter.



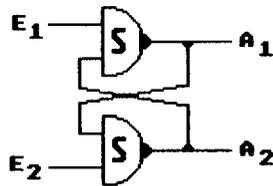
Denken wir uns die Eingangsspannung - bei 0 V beginnend - langsam ansteigend. Dann ist die Ausgangsspannung zunächst U_b. Wenn die Eingangsspannung U_h überschreitet, springt U_A auf 0 V. Nun kann U_E beliebige Werte zwischen U₁ und U_b annehmen, ohne daß die Ausgangsspannung sich ändert. Erst beim Unterschreiten von U₁ springt die Ausgangsspannung wieder auf U_b. Dort bleibt sie, solange U_E nicht die obere Schwellen U_h überschreitet. Die Differenz U_h - U₁ bezeichnet man als Hysterese.

Eine einfache Demonstrationsschaltung, die auch eine Messung der Schaltschwellen ermöglicht, zeigt die folgende Abbildung :



4093
Anschlüsse
von oben

2. Ein bistabiler Multivibrator (Flipflop) aus Nand- Gattern



E_1	E_2	A_1	A_2
0	0	1	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	*	*

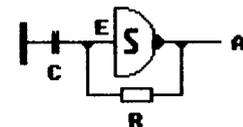
oben : Schaltung
rechts : Wahrheitstafel

* Wenn der zweite Eingang auch noch 1 wird, ändern sich die Ausgangszustände nicht mehr

Das Flipflop wird verwendet, um zu registrieren, welcher der beiden Eingänge länger auf Nullpotential geblieben war. Damit kann es eine ja / nein - Entscheidung - ein Bit - speichern. Ein statischer RAM- Baustein im Computer enthält tausende davon.

3. Ein einfacher Oszillator aus einem Schmitt- Trigger

Ein Inverter mit Schmitt- Trigger Charakteristik ermöglicht den Bau eines sehr einfachen Oszillators.



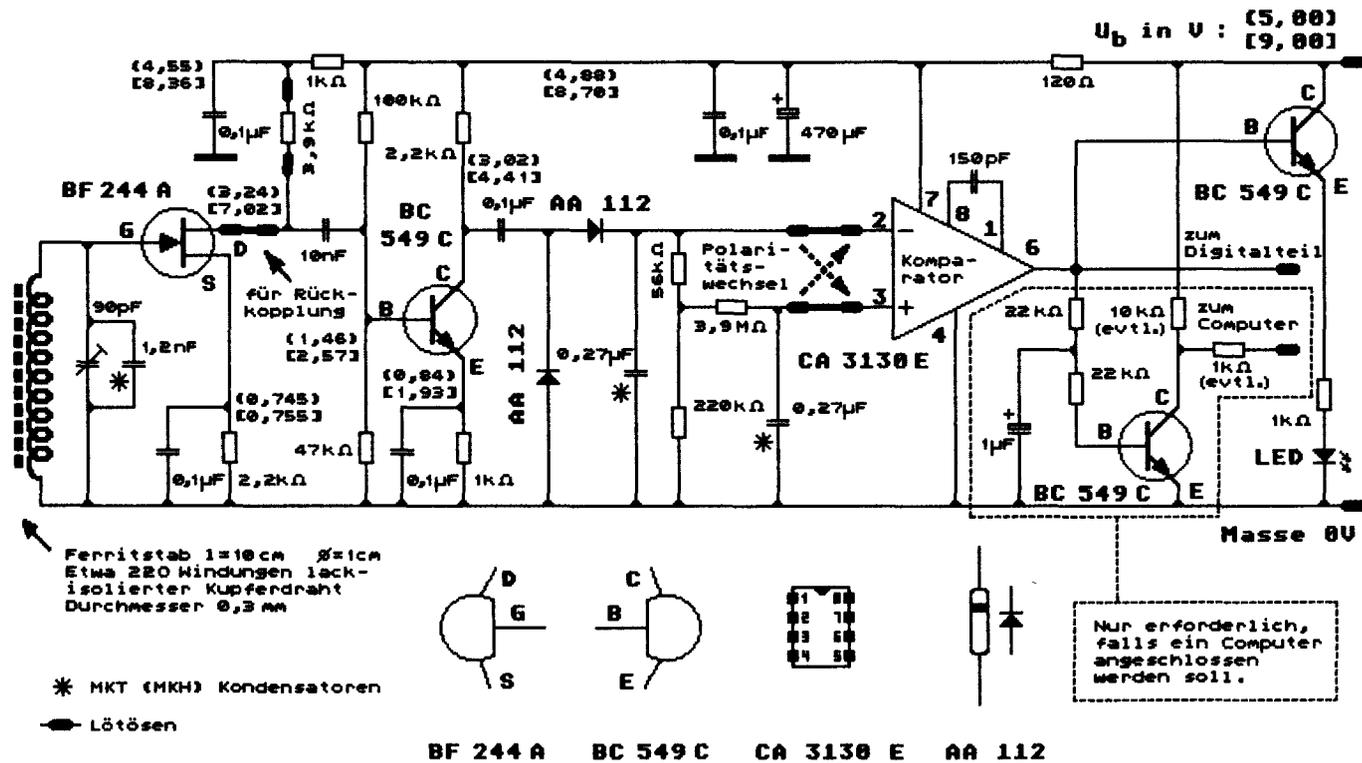
Funktionsweise : Nehmen wir an, der Kondensator ist beim Anlegen der Betriebsspannung entladen. Damit ist $E = 0$ und $A = 1$ ($U_E = 0$ V, $U_A = U_b$). C wird über R geladen und - sobald U_C die obere Schaltschwelle U_h überschreitet - wechselt A nach 0. Jetzt wird C über R entladen, bis die Kondensatorspannung die untere Schaltschwelle erreicht. Der Ausgang springt wieder auf 1 zurück und der Kondensator wird wieder - diesmal beginnend bei U_l - geladen.

Der Zyklus wiederholt sich nun mit der Frequenz

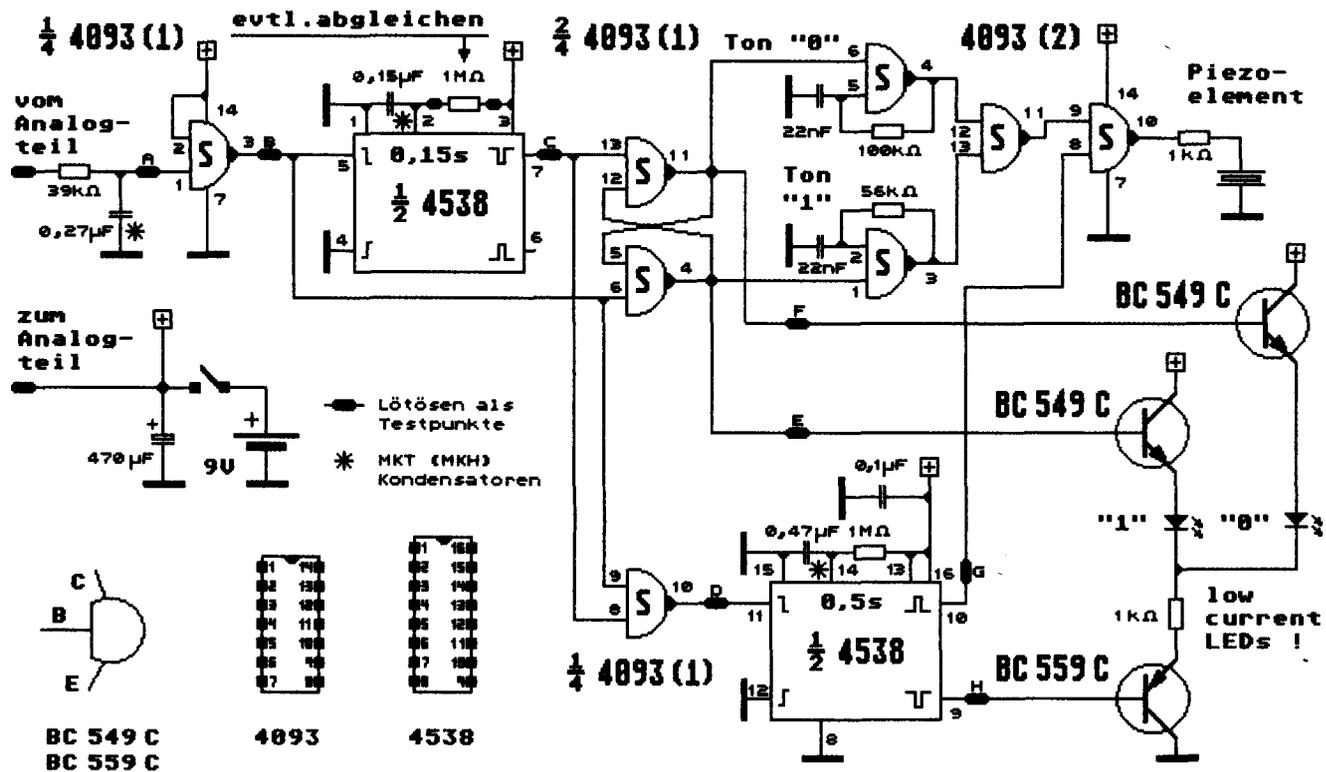
$$f = \frac{1}{R * C * \ln \frac{U_h * (U_b - U_l)}{U_l * (U_b - U_h)}}$$

Die einfache Herleitung dieser Beziehung sei dem Leser überlassen.

DCF 77 Empfänger Schaltung des Analogteiles



DCF 77 Empfänger Schaltung des Digitalteiles



L

47

DCF 77 Empfänger Platine Kupferseite

In Originalgröße (16cm x 10cm)

Bohrungen:

	6mm		4mm		3mm		1mm
							1,5mm

