

Heinz S c h l e u s e n e r
Seminar IV/2
Fachrichtung Mathematik/Physik

Staatsexamensarbeit
=====

(Fach Physik)

Thema: Praktischer Aufbau
eines Zweipunkt-Temperaturreglers und
eines Dreipunktreglers

Berlin, den 28.5.1966

Inhaltsverzeichnis

I. Allgemeines über Regelungen

1. Was ist eine Regelung ?
2. Offene Systeme
3. Geschlossene Systeme
4. Der Regelkreis (mit und ohne Hilfsenergie)
5. Reglergruppen
 - a) Stetige Regler
 - b) Vielstufenregler
 - c) Dreipunktregler
 - d) Zweipunktregler

II. Praktische Ausführung eines Zweipunktreglers

1. Regelkreis und Blockschaltbild
2. Erläuterungen zum Blockschaltbild
3. Gestellte Bedingungen und Lösung der Bedingungen
 - a) Allgemeine Fragen
 - b) Spezielles zur Schaltung
 - c) Zur Frage: Fotowiderstände oder Fotodioden ?

III. Praktische Ausführung eines Dreipunktreglers

1. Schaltung des Verstärkers
2. Aufgabe des Dreipunktreglers

IV. Literaturverzeichnis

II. Praktische Ausführung eines Zweipunktreglers

1. Regelkreis und Blockschaltbild

Abbildung II. 1.1. zeigt das Blockschaltbild, Abb. II. 1.2. den schematischen Aufbau und Abb. II. 1.3. den Regelkreis.

2. Erläuterungen zum Blockschaltbild

Meßgröße ist die Temperatur t_x , die von der Heizpatrone HP erzeugt und mit dem Thermoelement TE gemessen wird. Das Thermoelement hat zwei Lötstellen (Abb. II. 1.2.). Eine Lötstelle wird auf 0°C gehalten. Das Thermoelement bietet sich wegen seines geringen Platzbedarfs und seiner geringen Wärmekapazität an, Die Thermospannung von TE kann man am Lichtmarkengalvanometer GM ablesen und mit Hilfe von Tabellen den zur jeweiligen Thermospannung gehörenden Temperaturwert bestimmen. Am Galvanometer sind zwei Fotowiderstände FW 1 und FW 2 angebracht. Der Widerstandswert der Fotowiderstände ändert sich mit der Änderung des auf sie treffenden Lichtstromes. Legt man nun über einen Vorwiderstand an den Fotowiderstand eine Spannung, so bewirkt eine Widerstandsänderung des Fotowiderstandes eine Stromstärkeänderung im Stromkreis. Der Vorwiderstand dient zur Begrenzung des Stromes, um den Fotowiderstand nicht zu überlasten. Die Änderung der Stromstärke wird im nachfolgenden Verstärker verstärkt und schaltet dann das Relais TR. Relais TR ist ein Telegrafienrelais mit zweiseitiger Ruhelage. Wenn also die Wicklungen des Relais sich in stromlosem Zustand befinden, bleibt der Anker in der letzten Schaltstellung liegen. Dieses Telegrafienrelais schaltet ein 12 V-Relais, welches dann den Heizkreis, in dem die die Temperatur t_x erzeugende Heizpatrone HP liegt, mit dem Kontakt k schaltet.

3. Gestellte Bedingungen und Lösung der Bedingungen

a. Allgemeine Fragen

Die von einer Heizpatrone abgegebene Temperatur soll auf verschiedenen einstellbaren Werten

konstant gehalten werden. Für derartige Temperaturregelungen eignet sich der Zweipunktregler wegen seines unkomplizierten Aufbaues ganz besonders. Der Regler hat hier die Aufgabe, die Heizpatrone bei Überschreiten des Temperatursollwertes abzuschalten und bei Unterschreiten des Sollwertes wieder einzuschalten.

Bei der Projektierung der Anlage, insbesondere des Verstärkers, war zu beachten, daß elektronische Bauelemente verwendet werden sollten. Der mechanische Bimetallregler schied also aus.

Die aktiven Elemente des Verstärkers sollten zweckmäßigerweise Transistoren sein. Ein schon vorhandener Verstärker mit Elektronenröhren wurde daher auf Transistoren umgebaut. Abgesehen von den bekannten Vorteilen des Transistors gegenüber der Elektronenröhre ergibt sich bei diesem Verstärker ein weiteres Vorteil. Der Röhrenverstärker benötigt vier Spannungsquellen, nämlich folgende :

1. Heizspannung $U_f = 6,3 \text{ V}$
2. Anodenspannung $U_a = \text{ca. } 150 \text{ V}$
3. Hilfsspannung $U_v = 70 \text{ V}$
4. Relaisbetriebsspannung $U_r = 12 \text{ V}$.

Dagegen ist für einen transistorisierten Verstärker nur eine 12 V-Spannungsquelle notwendig. Sie liefert Transistor- und Relaisarbeitsspannung zugleich. An der Frontplatte des Verstärkerchassis ist daher für die Stromversorgung nur ein Buchsenpaar (für 12 V =) erforderlich. Bei Verwendung von Elektronenröhren benötigte man drei Buchsenpaare (die Heizspannung kann aus dem Gerät selbst entnommen werden). Damit wird die Anlage übersichtlicher und unkomplizierter.

b. Spezielles zur Schaltung

Das Schaltbild des Verstärkers zeigt Abb.II. 3.1. Im Vergleich dazu zeigt Abb.II. 3.2. die bisher verwendete Schaltung mit einer Doppeltriode.

An die Eingangsbuchsen werden die Fotowiderstände angeschlossen. Durch die Fotowiderstände

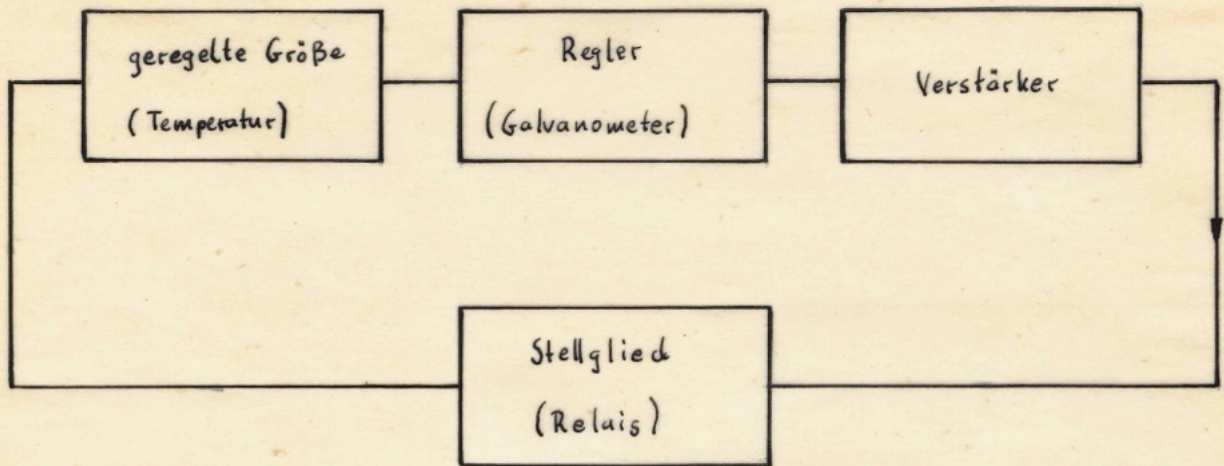


Abb. II. 1. 3.

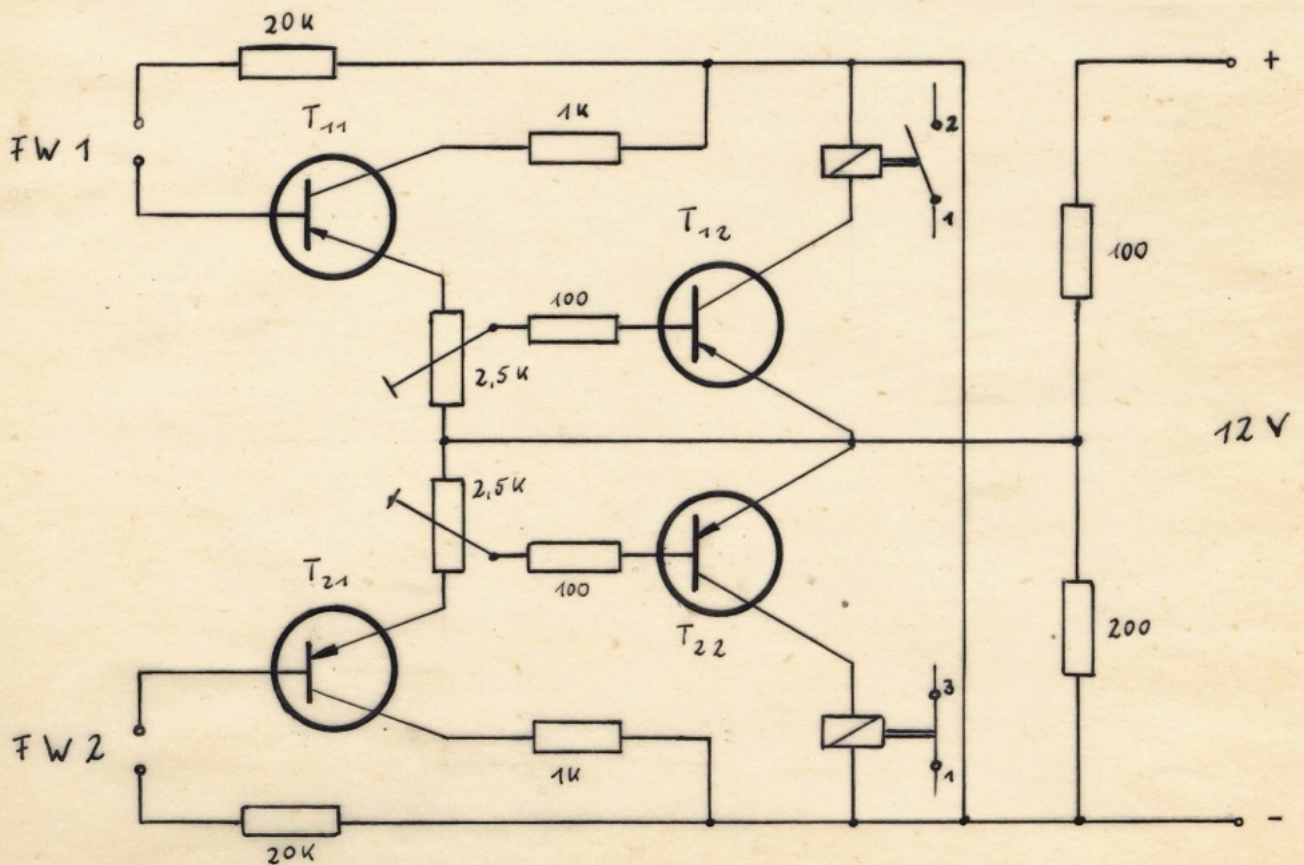


Abb. I. 3. 1.

fließt ein Dunkelstrom von $0,5 \dots 1 \mu A$. Der Strom steigt bei Lichteinfall bis auf $10 \dots 20 \mu A$ an. Der genaue Wert der Stromstärkenänderung ist exemplarabhängig. Der durch den Basisstrom hervorgerufene Kollektorstrom der Eingangstransistoren fließt zusammen mit dem Basisstrom über den Emitter und den Einstellregler ab. Mit dem Einstellregler läßt sich die Ansprechempfindlichkeit des Gerätes der vorhandenen Lichtstärke anpassen. Der Regler wurde so eingestellt, daß das Gerät bei Lichteinfall sicher schaltet. Zum sicheren Schalten muß der Basisstrom auf acht Mikroampère ansteigen. Der am Einstellregler abgegriffene Spannungsanteil gelangt zur Basis des Transistors T_{12} bzw. T_{22} , dessen Kollektorstromanstieg das Relais schaltet. Bei den verwendeten Transistoren OC 816 ist ein Basisstrom von $500 \mu A$ zum sicheren Schalten notwendig. Infolge des bereits beschriebenen Aufbaues des Relais genügt ein kurzer Lichteinfall auf einen der Fotowiderstände, um das Relais umzuschalten, das dann so lange in seiner Lage verharrt, bis auf den anderen Fotowiderstand Licht fällt. Denn dadurch werden die anderen Transistoren geöffnet und schalten das Relais um. Die Kontakte dieses Relais öffnen bzw. schließen dann den Stromkreis, in dem das 12 V-Relais liegt. Dieses öffnet bzw. schließt den Heizstromkreis. Das 12 V-Relais ist notwendig, weil die Kontakte des empfindlichen Telegrafienrelais nur für geringe Ströme ausgelegt sind und daher bei den im Heizstromkreis fließenden $0,5 \dots 1 A$ in kurzer Zeit unbrauchbar würden.

Abb.II. 3.3. zeigt den Stromkreis, den das Telegrafienrelais schaltet. Sind die Kontakte 1 - 2 geschlossen, so ist der Stromkreis unterbrochen. Wenn das Telegrafienrelais umschaltet, sind 1 - 3 geschlossen, das 12 V-Relais R zieht an und die Kontakte 4 - 5 und 6 - 7 sind geschlossen. Die Kontakte 4 - 5 schließen den Heizstromkreis,

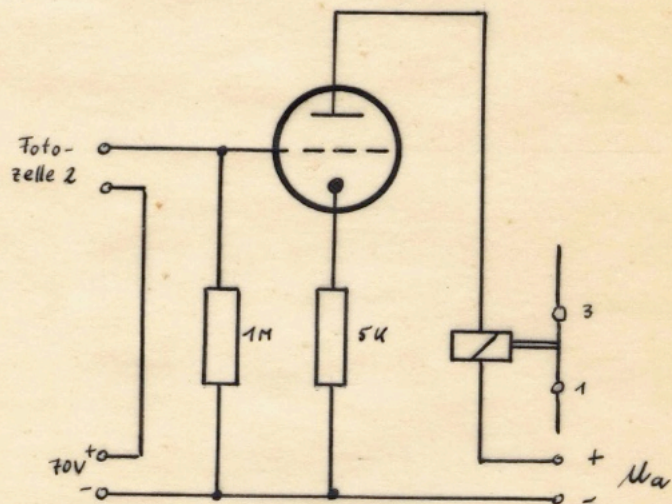
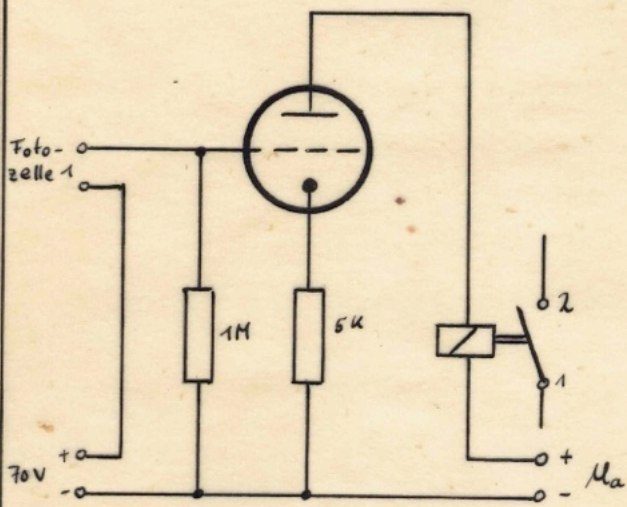


Abb. II. 3. 2.

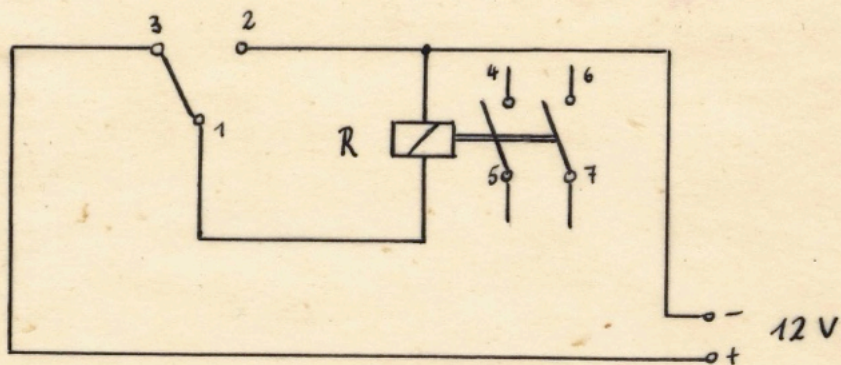


Abb. II. 3. 3.

während über die Kontakte 6 - 7 eine kleine Glühlampe an der Frontplatte des Verstärkers anzeigt, daß der Heizstromkreis geschlossen ist. (Siehe Abb. II. 3. 4. und Abb. II. 3. 5.).

Der mechanische Aufbau des Verstärkers erfolgte in ein vorgegebenes Gehäuse.

Zwei 8polige Lötleisten tragen die Einzelteile. Die Lage der Einzelteile auf den Lötleisten zeigt Abb. II. 3.6. Es genügte, die Einzelteilanordnung auf einer Lötleiste zu skizzieren, da die andere Lötleiste gleich beschaltet ist.

c. Zur Frage : Fotowiderstände oder Fotodioden ?

Es war vorgesehen, statt der bisher benutzten Cadmium-Sulfid-Fotowiderstände Germanium-Fotodioden zu verwenden. Die mit den Fotodioden gemachten Versuche ergaben bei der vorgegebenen Lichtstärke des Lichtmarkengalvanometers in der verwendeten Schaltung (Abb.II. 3.1.) folgende Meßwerte :

		Dunkel= strom [μA]	Strom bei Lichteinfall [μA]	Strom= änderung [μA]
Fotodiode	1	5	5,2	0,2
	2	5	5,2	0,2
	3	3	3,5	0,5
	4	6	6,3	0,3
	5	5	5,2	0,2
	6	7	7,2	0,2
CdS	1	0,5	10	9,5
	2	1	18	17

Die CdS - Widerstände zeigten sich hier den Fotodioden weitaus überlegen. Die Sperrstromerhöhung der Fotodioden war viel zu gering, um den Verstärker so auszusteuern, daß das Relais sicher anzog. Worin liegen nun die Ursachen für die geringe Sperrstromänderung ? Für die Fotodiode spricht ihre günstige spektrale Empfindlichkeit, die im Bereich des verwendeten Lichts ein Maximum hat. Gegen die Fotodiode spricht folgendes :

1. Die lichtempfindliche Fläche der Fotodiode

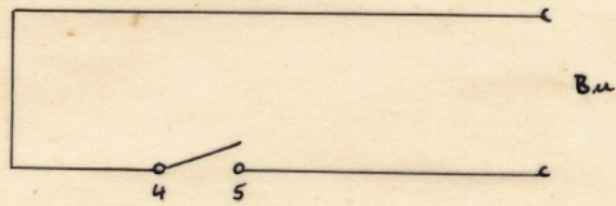


Abb. II.3.4.

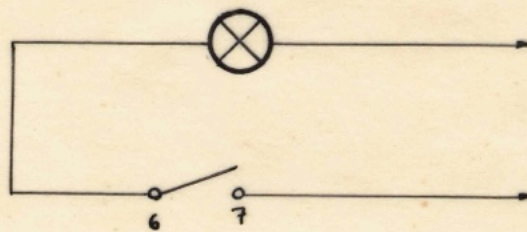


Abb. II.3.5.

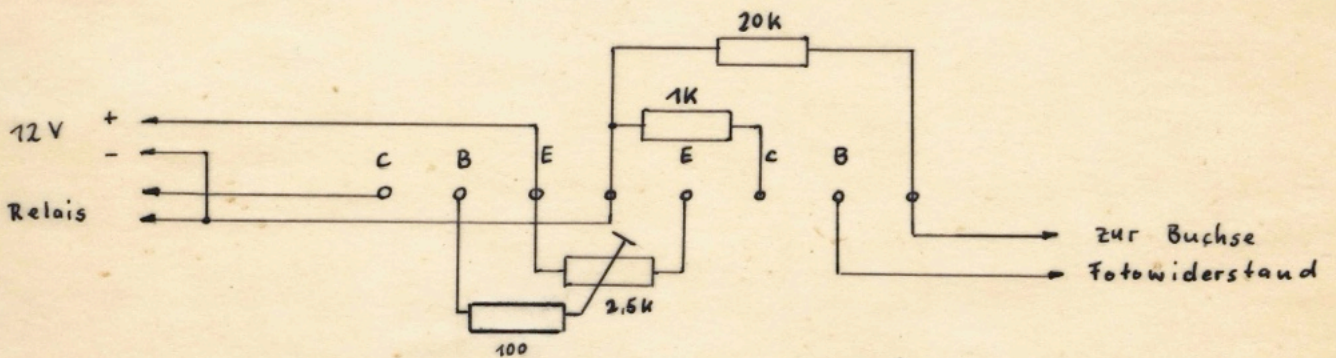


Abb. II.3.6.

ist sehr klein. Sie ist etwa 1mm^2 groß.

2. Die Glaslinse, die in das Gehäuse der Fotodiode eingeschmolzen ist, hat eine zu große Brennweite, um die von der Glühlampe im Galvanometer ausgehenden divergenten Strahlen auf der kleinen lichtempfindlichen Fläche der Fotodiode zu sammeln. Die Bestätigung dafür brachte ein Versuch, bei dem vor die Fotodiode eine Konvexlinse gehalten wurde. Bei richtiger Justierung der Linse, was allerdings mit den zur Verfügung stehenden Mitteln sehr schwer zu erreichen war, konnte ein starker Anstieg des Sperrstromes gemessen werden. Der Stromanstieg betrug etwa $15\mu\text{A}$.

Mit diesem Versuch war der Beweis für die prinzipielle Verwendbarkeit von Fotodioden in dieser Schaltung erbracht. Jedoch wäre der konstruktive Aufwand dazu zu groß und außerdem nur schwer zu verwirklichen. Es hätten außer den Halterungen für die Fotodioden auch Halterungen für die Konvexlinsen gebaut werden müssen. Fotodiode und Linse müßten entsprechend verkleidet werden, um unerwünschten Lichteinfall zu vermeiden.

Ein weiterer Nachteil der Fotodioden war bei den Versuchsmessungen deutlich festzustellen : nämlich die große Temperaturabhängigkeit des Dioden - Sperrstromes.

Auf Grund dieser Nachteile wurde auf die Verwendung von Fotodioden verzichtet und auf die CdS-Widerstände zurückgegriffen.

III. Praktische Ausführung eines Dreipunktreglers

1. Schaltung des Verstärkers

Bei der Planung des Verstärkers waren die schon unter II. 3. a. genannten Gesichtspunkte zu beachten. Der bisherige Verstärker war mit einer Doppeltriode bestückt. Abbildung III. 1.1. zeigt das Schaltbild. Werden die Fotozellen bzw. Fotowiderstände nicht be-
lichtet, so ist ihr Widerstand sehr groß. Am Gitter liegt somit eine negative Spannung, nämlich gerade die, die am Katodenwiderstand abfällt. Da bei Vernachlässigung der Toleranzen die Schaltung symmetrisch aufgebaut ist, beträgt die Spannung zwischen den Punkten A und B 0 Volt. Am Relais liegt also keine Spannung. Das Relais ist ein Telegrafienrelais mit mittlerer Ruhelage. Das bedeutet, daß der Anker bei fehlender Erregung zwischen beiden Kontakten stehen bleibt (gezeichnete Stellung der Kontakte in Abb. III. 1.1.). Bekommt dagegen ein Fotowiderstand Licht, so sinkt sein Widerstandswert und die negative Gittervorspannung wird kompensiert. Der Anodenstrom steigt an, und damit erhöht sich der Spannungsabfall am Katodenwiderstand. Die zwischen den Punkten A und B entstehende Spannungsdifferenz schaltet das Relais. Je nach Polung der Spannung schließt das Relais die Kontakte 1 - 2 oder 1 - 3.

In dieser Balance-Schaltung sollten die Elektronenröhren durch Transistoren ersetzt werden. Es wurde dazu auf die Schaltung nach Abb. II. 3.1. zurückgegriffen, sie aber entsprechend geändert. Die geänderte Schaltung zeigt Abbildung III. 1.2. Das Relais liegt zwischen den Punkten A und B. Die Spannungsabfalländerung an den Kollektorwiderständen bewirkt eine Verschiebung der Balance und damit das Schalten des Relais. Der Spannungsabfall am Kollektorwiderstand erhöht sich, wenn Licht auf den Fotowiderstand dieses Verstärkerkanals fällt. Denn dann steigt der Kollektorstrom des Eingangstransistors durch den ansteigenden Basisstrom. Der am Einstellregler abgegriffene Spannungsanteil gelangt zur

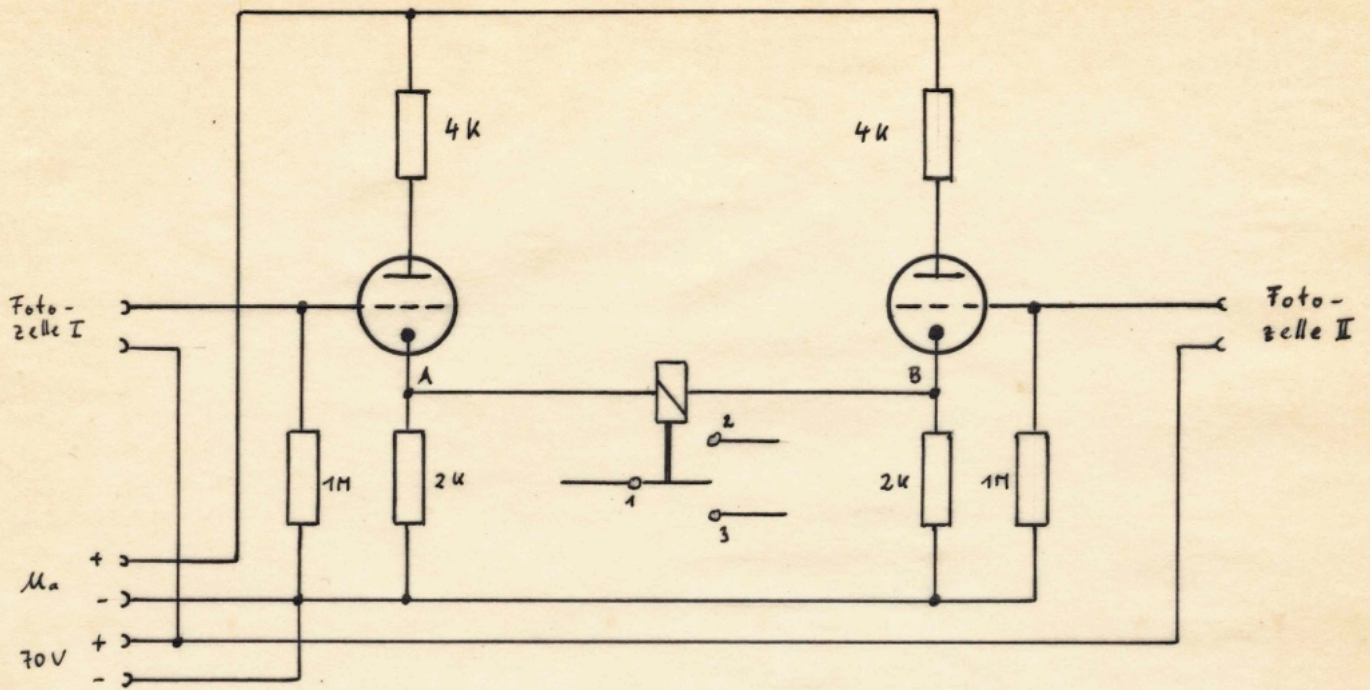


Abb. III. 1.1.

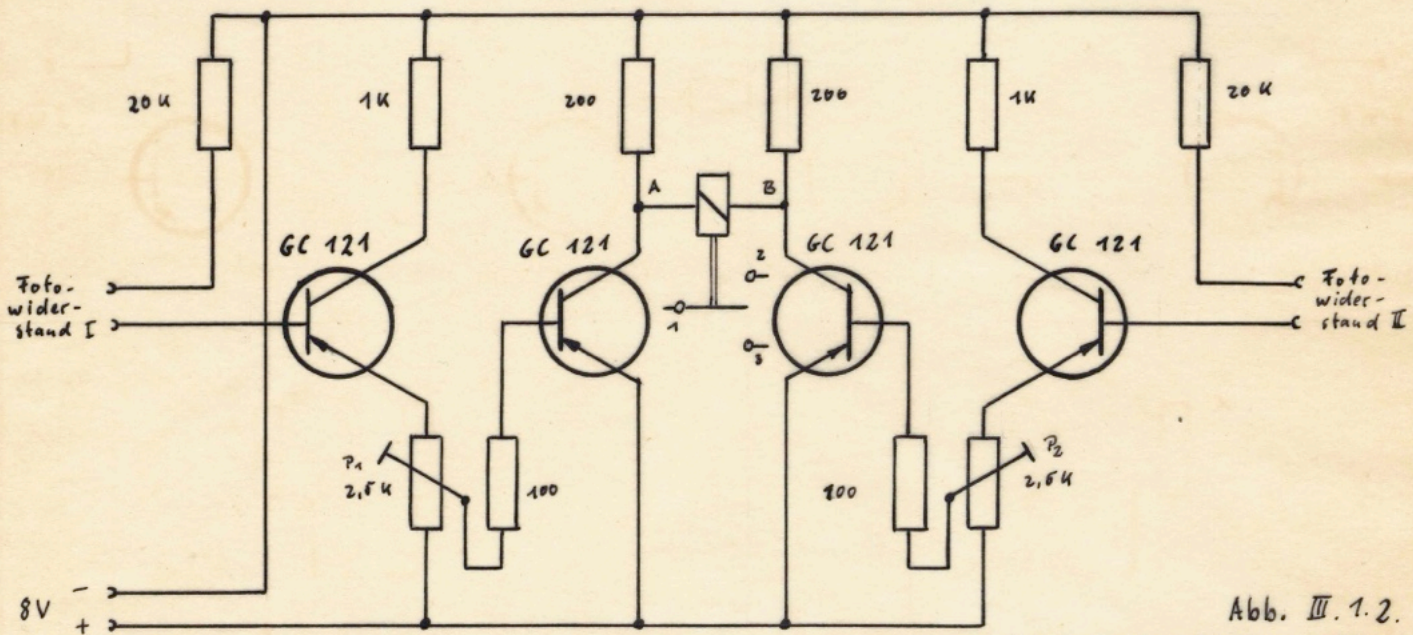


Abb. III. 1.2.

(verbesserte Schaltung siehe Abb. III. 1.2. a.)

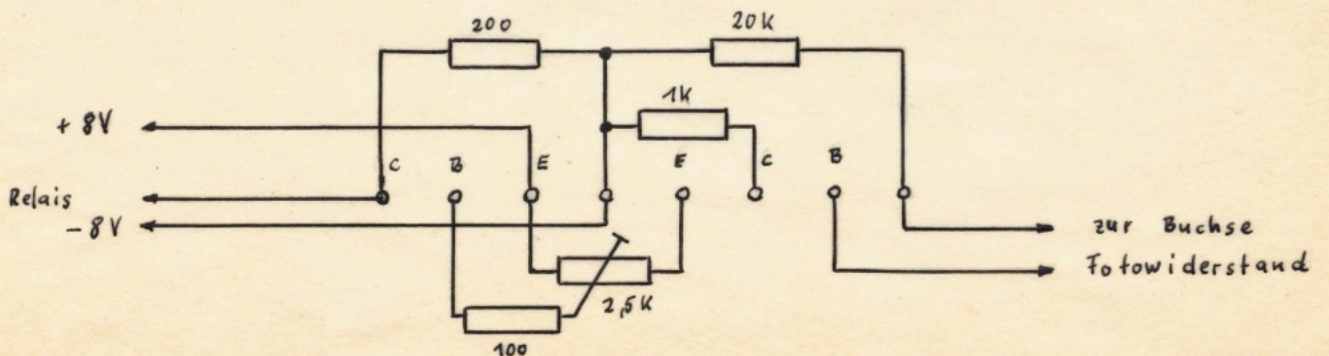


Abb. III. 1.3.

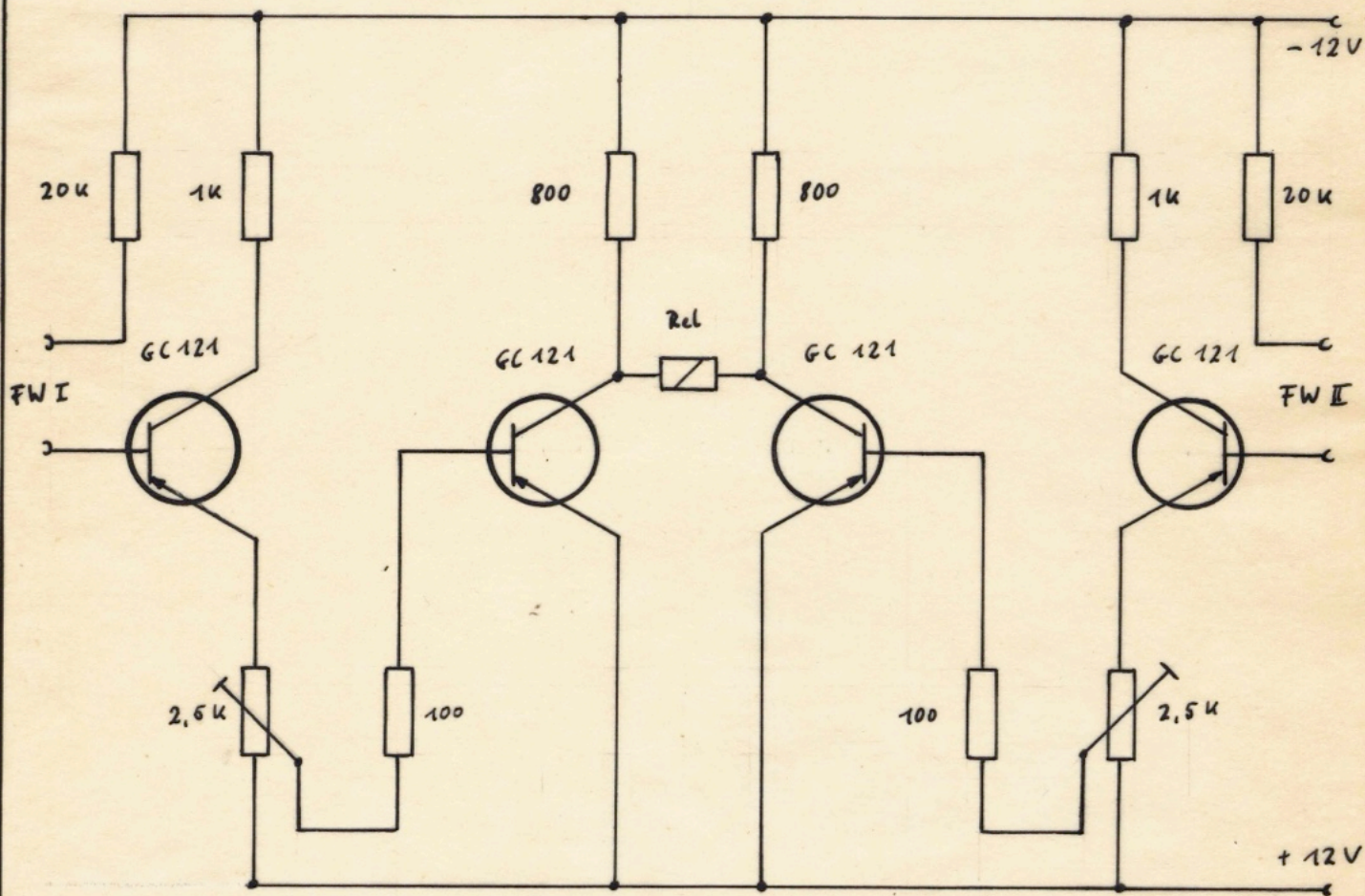


Abb. III. 1.2. a.

Schaltung des Verstärkers des Dreipunktreglers bei $U_b = 12V$

Basis des Endtransistors und bewirkt hier ein Ansteigen des Kollektorstromes.

Bei der praktischen Erprobung des Verstärkers traten einige Schwierigkeiten auf. Obwohl die Balance mit den Einstellreglern P_1 und P_2 nachgeregelt werden kann, konnte zunächst nicht erreicht werden, die Spannung zwischen den Punkten A und B auf 0 Volt einzustellen. Die Ursachen dafür waren:

1. Die unterschiedlichen Restströme und Verstärkungen der verwendeten Transistoren
2. Die Toleranzen der Widerstände

Es wäre sehr günstig gewesen, nur auf Paarigkeit ausgesuchte Transistoren und Widerstände mit geringer Toleranz (2%) zu verwenden.

Der Verstärker wurde in das Gehäuse des Zweipunktreglers mit eingebaut. Die Transistoren und Widerstände befinden sich auf zwei 8poligen Lötleisten. Die Lage der Einzelteile auf den Lötleisten zeigt Abb.III. 1.3.

2. Aufgabe des Dreipunktreglers

Der Dreipunktregler hat die Aufgabe, die von einer Lichtquelle erzeugte Lichtstärke an einem bestimmten Ort konstant zu halten. Der Regelkreis hat dann folgendes Aussehen:

Die Lichtstärke wird mit einem Fotoelement o.ä. gemessen. Der Fotostrom bzw. die Fotospannung werden vom Lichtmarkengalvanometer angezeigt. Wie beim Zweipunktregler sind am Lichtmarkengalvanometer zwei Fotowiderstände angebracht. Diese Fotowiderstände sind an den beschriebenen Verstärker angeschlossen und schalten über ihn das Telegrafengerelais. Das Telegrafengerelais schaltet (je nach Schaltstellung) eines der zwei 12 V-Relais. Diese Relais schalten einen Motor. Das eine der Relais bewirkt Rechtsdrehungen des Motors, das andere Relais bewirkt Linksdrehungen. Der Motor öffnet bzw. schließt (je nach Drehung) eine hinter der Lichtquelle angebrachte Irisblende und beeinflusst so die

Lichtstärke. Damit ist der Regelkreis geschlossen. Der Regler wirkt dann folgendermaßen:
Bei Überschreiten der Lichtstärke um ein bestimmtes Maß dreht der Motor die Irisblende entsprechend zu. Wird die vorgegebene Lichtstärke um ein bestimmtes Maß unterschritten, so dreht der Motor die Irisblende auf.
Statt der Irisblende kann man auch zwei Polarisationsfilter benutzen, die dann entsprechend gekreuzt werden.

L i t e r a t u r :

1. Grundlagen der selbsttätigen Regelung (Teil 1 u.2)
von W.W.Solodownikow
Berlin, Verlag Technik 1959
2. Grundgesetze der Regelung
von Winfried Oppelt
Wolfenbütteler Verlagsanstalt 1947
3. Regelungstechnik, Begriffe und Bezeichnungen
Berlin, VDI - Verlag 1944
4. Einführung in die Theorie der selbsttätigen Regler
von M.Schuler
Leipzig, Verlag Geest & Portig
5. Unmittelbare Regelung
von Walter Schmidt
Berlin, VDI - Verlag 1939
6. messen, steuern, regeln
von Helmut Wiedmer
Berlin, Verlag Technik 1964
7. Meß-, Steuer- und Regelungstechnik
von E.Heldt
Berlin, Verlag Volk und Wissen 1960

Hiermit versichere ich an Eides Statt, diese Arbeit
selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt zu haben.

Heinz Schleusener
(Heinz Schleusener)