

Versuch 3

Stand: 12. 12. 14

Versuchsziele:

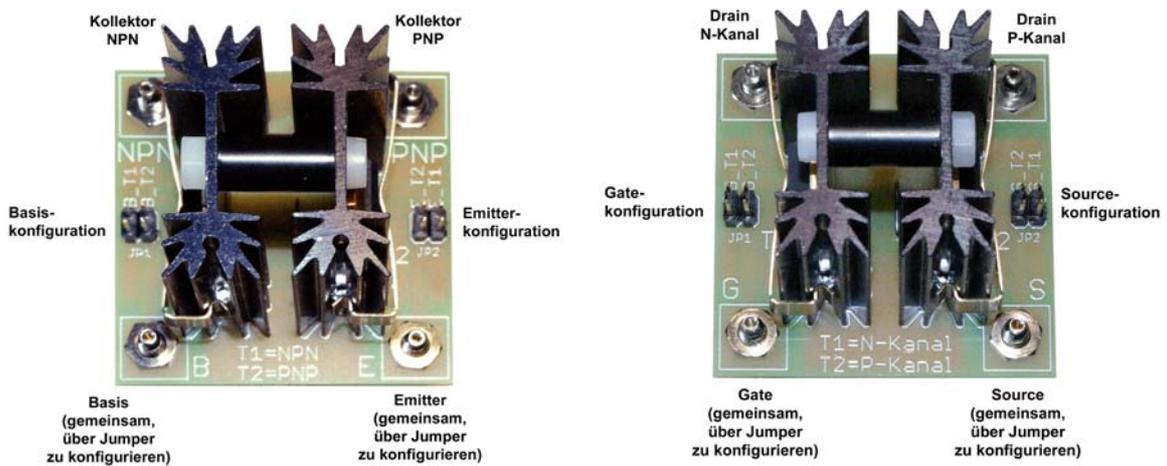
- Leistungstransistoren (bipolar und FET) im Experiment kennenlernen.
- Elementare Schaltungen mit MOSFETs aufbauen und in Betrieb nehmen.
- Das Verhalten einer induktiven Last untersuchen.

Aktive Bauelemente:

Transistormodule 14B (bipolar) und 14F (FET). Einzelheiten s. Kurzbeschreibung.

Transistortypen:

- Transistormodul 14B: NPN = BD241; PNP = BD242.
- Transistormodul 14F N-Kanal = BUK954; P-Kanal = SUP75P03.



1. Der bipolare Leistungstransistor

Wir beschränken uns auf die Emitterschaltung und wiederholen die einschlägigen Untersuchungen des Versuchs 2. Hierzu das Transistormodul 14B auf NPN allein konfigurieren (2 Jumper jeweils außen).

ACHTUNG:

Bei den folgenden Versuchen können bis zu 1,5 A fließen (15 V Betriebsspannung, 10 Ohm Arbeitswiderstand). Bauelemente und Kühlkörper können warm werden. Manche sogar sehr... Ein Widerstand, der mit seiner Nennbelastbarkeit betrieben wird, kann Gehäusetemperaturen von über 150 °C aufweisen. Also AUFPASSEN. Vor dem Zerlegen eines derart betriebenen Versuchsaufbaus die Bauelemente abkühlen lassen!

Wir messen die Kollektor-Emitter-Spannung. Den Kollektorstrom (= Laststrom) können wir leicht ausrechnen (oder näherungsweise am Labornetzgerät ablesen). Der maximale Kollektorstrom fließt dann, wenn der Transistor voll durchgesteuert ist.

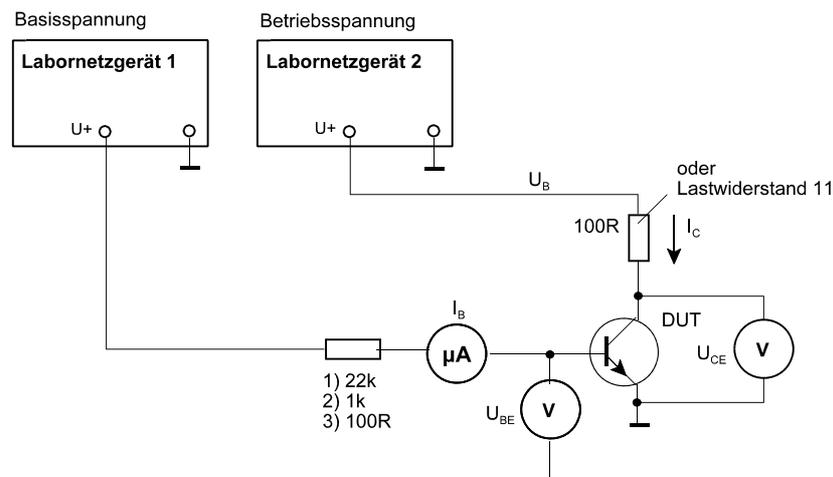


Abb. 1.1 Der bipolare Leistungstransistor in Emitterschaltung. U_{BE} mit MetraHit, I_B mit Escort, U_{CE} mit drittem Multimeter. DUT = Device under Test.

Zu untersuchen (1):

- Betriebsspannung 5 V.
- Basisspannung von 0 V an langsam erhöhen. Wann (bei welcher Basisspannung U_{BE}) fängt ein nennenswerter Basisstrom I_B zu fließen an (z. B. 50 μA)?
- Wie muß der Transistor angesteuert werden (I_B , U_{BE}), damit näherungsweise der maximale Laststrom fließt?

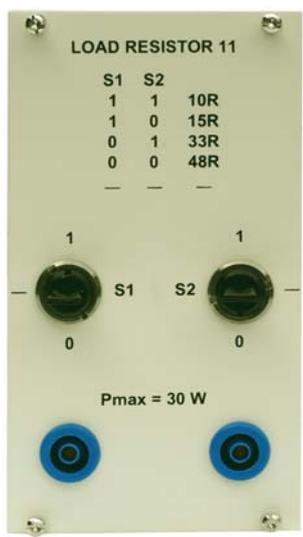
Zu untersuchen (2):

- Betriebsspannung 15 V.
- Basisspannung von 0 V an langsam erhöhen. Wann (bei welcher Basisspannung U_{BE}) fängt ein nennenswerter Basisstrom I_B zu fließen an (z. B. 1 mA)?
- Wie muß der Transistor angesteuert werden (I_B , U_{BE}), damit näherungsweise der maximale Laststrom fließt? Ist das mit dem Basisvorwiderstand von 22k überhaupt möglich? Basisspannung auf 0 V drehen und Basisvorwiderstand 1k einsetzen. Erneut probieren. ACHTUNG – der Lastwiderstand (100 Ohm) wird SEHR warm...

Zu untersuchen (3):

- a) Betriebsspannung bleibt 15 V. Basisspannung auf 0 V drehen. Abkühlen lassen. Der Widerstand 100 Ohm wird jetzt zum Basisvorwiderstand. Als Last verwenden wir den Lastwiderstand 11 (im Einbaurahmen). Verdrahtung vom Netzgerät zum Lastwiderstand, vom Lastwiderstand zum Transistormodul.
- b) Basisspannung von 0 V an langsam erhöhen. Wann (bei welcher Basisspannung U_{BE}) fängt ein nennenswerter Basisstrom I_B zu fließen an (z. B. 1 mA)? Die vier möglichen Werte des Lastwiderstands durchprobieren. Zum Schluß betreiben wir die Schaltung mit 10 Ohm.
- c) Wie muß der Transistor angesteuert werden (I_B , U_{BE}), damit näherungsweise der maximale Laststrom fließt? ACHTUNG – der Basisvorwiderstand (100 Ohm) wird SEHR warm...

S1 (links)	S2 (rechts)	Schaltung	Widerstandswert
oben = 1	oben = 1	R1 R2	10R
oben = 1	unten = 0	nur R1	15R
unten = 0	oben = 1	nur R2	33R
unten = 0	unten = 0	R1 + R2	48R



Der Serienregler mit Leistungstransistor

Die Ausgangsspannung der Kollektorschaltung entspricht näherungsweise der Basisspannung. Sie sollte weder von der Betriebsspannung noch von der Belastung beeinflusst werden. Eine konstante Basisspannung = Steuerspannung sollte also eine konstante Ausgangsspannung ergeben. Damit sie konstant bleibt, erzeugen wir die Basisspannung mit einer Zenerdiode.

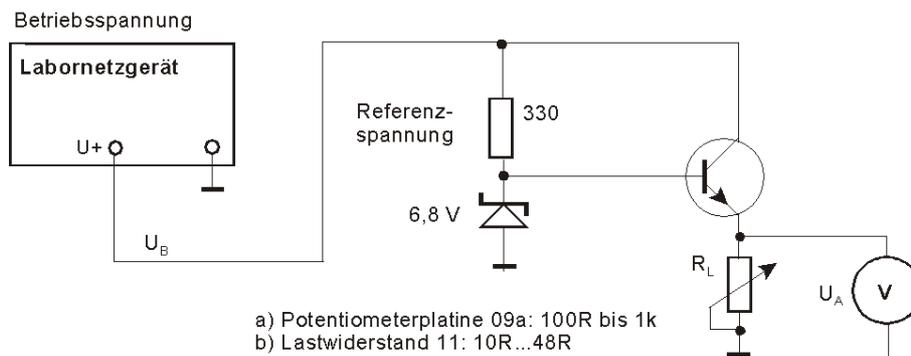


Abb. 1.2 Serienregler.

Versuchsdurchführung:

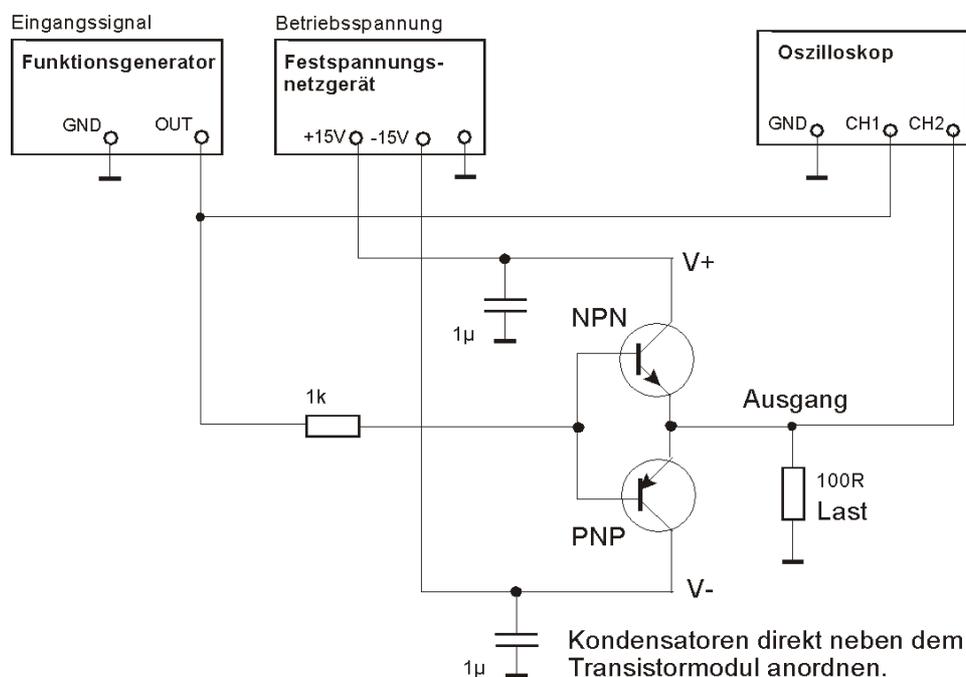
1. Zunächst mit der Potentiometerplatine probieren. Am Anfang Potentiometer auf Maximalwert. Dann den Lastwiderstand 11 verwenden.
2. Betriebsspannung U_B auf 12 V. Die Leerlaufspannung messen.

Zu untersuchen:

- a) Ausregeln von Betriebsspannungsschwankungen (Line Regulation). Betriebsspannung verändern (zwischen 8 und 16 V). Wie ändert sich die Ausgangsspannung? Genauer: um wieviel Prozent ändert sich die Ausgangsspannung, wenn sich die Eingangsspannung ihren gesamten jeweils zulässigen Bereich durchläuft?
- b) Ausregeln von Lastschwankungen (Load Regulation). Betriebsspannung wieder auf 12 V. Belastung verändern (Lastwiderstand 11). Mit allen vier Widerstandswerten probieren. Wie ändert sich die Ausgangsspannung? Genauer: um wieviel Prozent ändert sich die Ausgangsspannung unter Last gegenüber der Leerlaufspannung?

Die Gegentaktstufe

Die typische Leistungsendstufe besteht aus zwei Transistoren in Kollektorschaltung. Es sind Impedanzwandler, die im Gegentakt arbeiten (Push-Pull-Betrieb). Ist das Eingangssignal positiv, so wirkt der NPN-Transistor. Am Ausgang fällt eine Spannung ab, die näherungsweise der Basisspannung entspricht. Der PNP-Transistor ist gesperrt, weil das Basispotential positiver ist als das Emitterpotential. Ist das Eingangssignal negativ, so verhält es sich genau umgekehrt. Jetzt wirkt der PNP-Transistor. Am Ausgang fällt eine Spannung ab, die näherungsweise der Basisspannung entspricht. Der NPN-Transistor ist gesperrt, weil das Basispotential negativer ist als das Emitterpotential.

**Abb. 1.3** Gegentaktstufe.

Versuchsdurchführung:

Die Gegentaktstufe erhalten wir, indem wir alle vier Jumper auf dem Transistormodul stecken. Wir beschränken uns auf die Erprobung mittels Funktionsgenerator und Oszilloskop. Zur Versorgung mit zwei Betriebsspannungen verwenden wir das Festspannungsnetzgerät. Das Eingangssignal: einige kHz Sinus und Dreieck bei Spitzenspannungen bis zu ca. 8 V. Was kommt heraus? Weshalb? Wer will, kann den Versuch mit dem FET-Modul wiederholen (nur auswechseln).

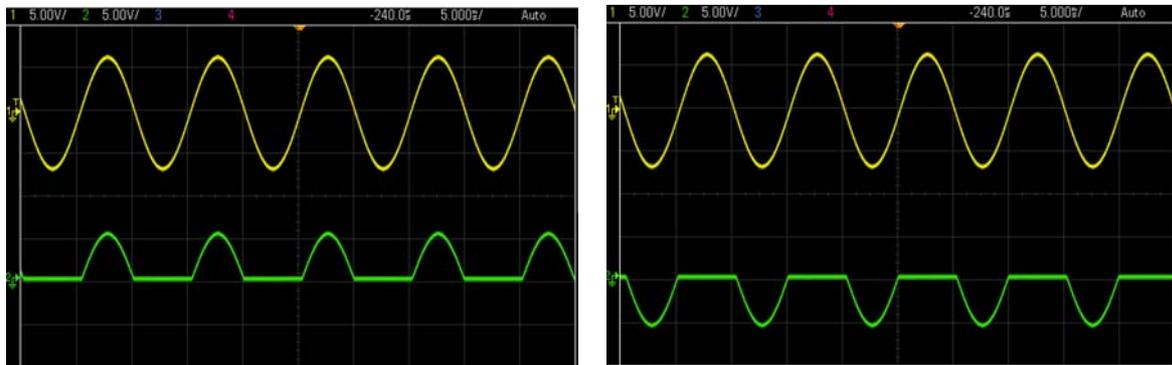


Abb. 1.4 Wie die Gegentaktstufe funktioniert. Links: nur der linke Jumper gesteckt (Basis T1). Nur der NPN wird angesteuert. Rechts: nur der rechte Jumper gesteckt (Basis T2). Nur der PNP wird angesteuert.

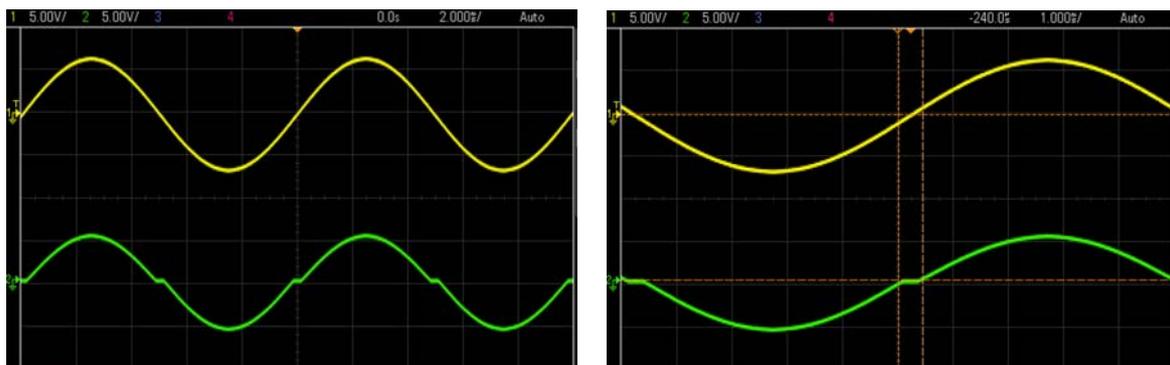


Abb. 1.5 Was herauskommt. Oben Eingangs- unten Ausgangssignal. Woher kommt der Unterschied?

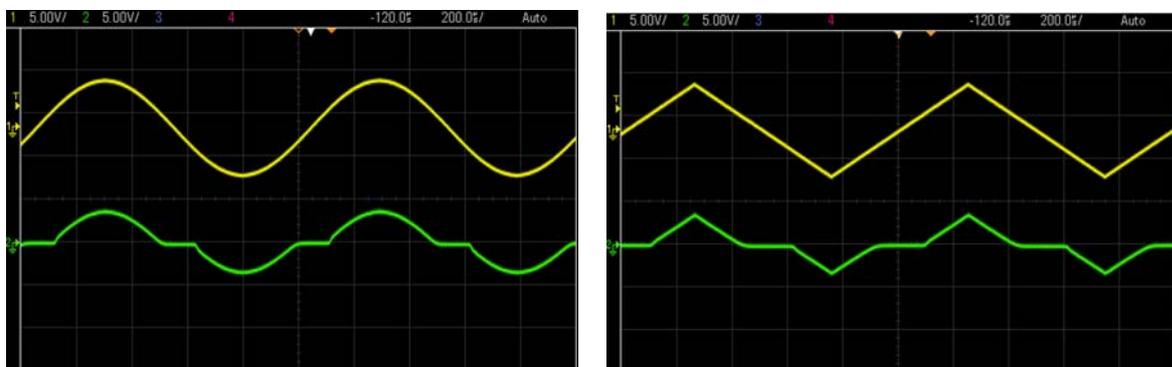


Abb. 1.6 Was ist zu erwarten, wenn wir anstelle der Bipolartransistoren FETs einsetzen? (Dürfen Sie ausprobieren...)



Abb. 1.7 Transistortypen im Vergleich. Links bipolar, rechts FET.

2. Das statische Verhalten des Feldeffekttransistors

Wir untersuchen den FET als Leistungsschalter in Source- und Drainschaltung. Hierzu verwenden wir den N-Kanal-FET auf dem Transistormodul 14F. Passend konfigurieren (beide Jumper außen).

Versuchsdurchführung (für die beiden folgenden Schaltungen):

1. Alle Spannungsregler der Labornetzgeräte auf Null (linker Anschlag). Stets vorsichtig betätigen!
2. Betriebsspannung U_B auf 10 V.
3. Steuerspannung langsam (!) hochdrehen. Instrumente beobachten!

Zu untersuchen:

- a) Von welcher Gatespannung U_{GS} an bewegt sich die Ausgangsspannung U_{DS} ?
- b) Wie hängt der Durchlaßwiderstand R_{DSon} von der Gatespannung U_{GS} ab?
- c) Wie groß ist R_{DSon} bei Vollaussteuerung?

Hinweis: $R_{DSon} = \frac{U_{DS}}{I_A}$

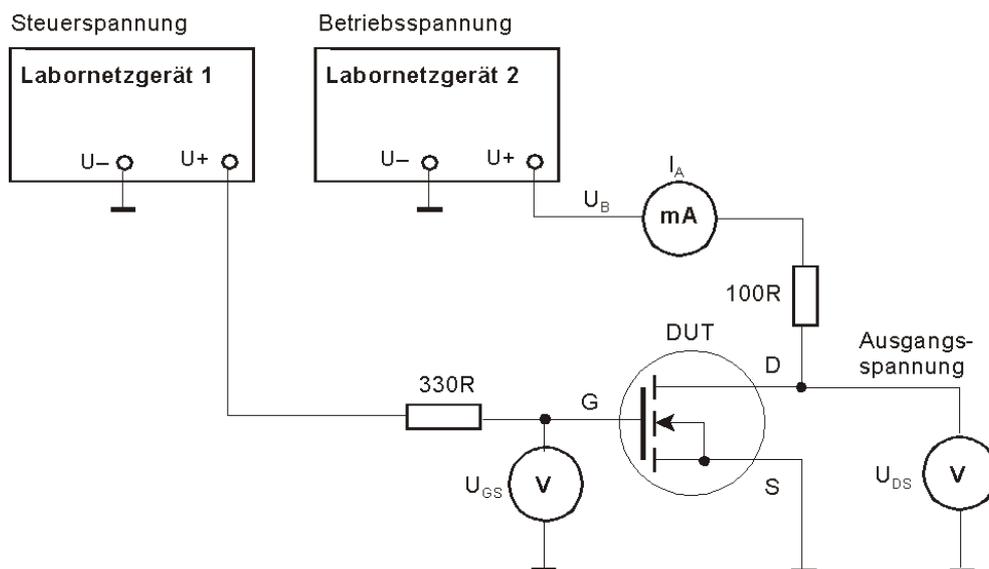


Abb. 2.1 Der N-Kanal-FET in Sourceschaltung.

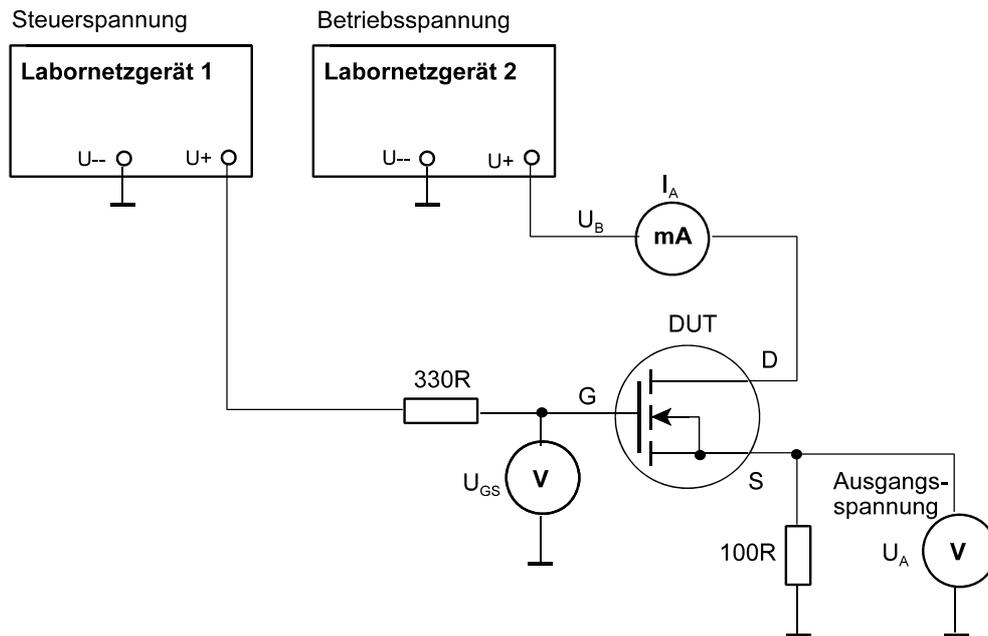


Abb. 2.2 Der N-Kanal-FET in Drainschaltung.

3. High Side Drive

Jetzt verwenden wir den P-Kanal-FET. Beide Jumper innen stecken. Der FET wird gleichsam verkehrt herum angeschlossen (Source an Betriebsspannung).

Versuchsdurchführung:

1. Alle Spannungsregler der Labornetzgeräte auf Null (linker Anschlag). Stets vorsichtig betätigen!
2. Betriebsspannung U_B auf 10 V.
3. Steuerspannung langsam (!) hochdrehen. Instrumente beobachten!

Zu untersuchen:

- a) Welche Ausgangsspannung U_A ergibt sich bei Steuerspannung $U_S = 0$ V?
- b) Steuerspannung U_S erhöhen. Wann beginnt sich am Ausgang etwas zu tun (nennenswerte Änderung der Ausgangsspannung U_A)?
- c) Steuerspannung U_S weiter erhöhen. Wann hat die Ausgangsspannung den anderen Endwert erreicht?

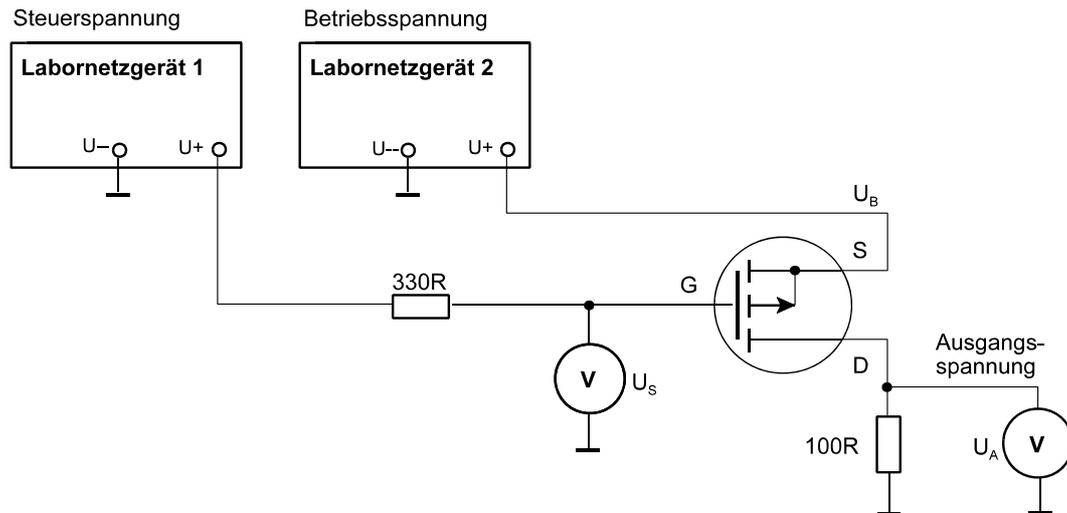


Abb. 3.1 High Side Drive mit P-Kanal-FET. Achtung: Source ist oben!

4. Die induktive Last

Mit dem P-Kanal-FET ist ein Relais anzusteuern.

Versuchsdurchführung:

1. Betriebsspannung U_B auf 15 V.
2. Zunächst keine Freilaufdiode.
3. Funktionsgenerator über Meßadapter 09b anschließen, Nur positive Halbwelle. Rechtecksignale mit 15 V Amplitude (Regler am Funktionsgenerator an den rechten Anschlag). Frequenz zunächst 50...1000 Hz.

Zu untersuchen:

- a) Verlauf der Ausgangsspannung.
- b) Verlauf des Ausgangsstroms.
- c) Verlauf der Gatespannung.
- d) Freilaufdiode einsetzen. Wie sehen jetzt Ausgangsspannung und Gatespannung aus?
- e) Frequenz soweit herunterdrehen, bis Relais hörbar schaltet. Wie sieht der Ausgangsstrom aus?

Vor allem zu untersuchen:

Der Verlauf des Ausgangsstroms mit und ohne Freilaufdiode. Wir verwenden deshalb High Side Drive, weil hier der Strom als Spannungsabfall gegen Masse gemessen werden kann.

Abschließender Demonstrationsversuch (für Freiwillige): Ausschalten. Das Relais durch die Sekundärwicklung eines Netztransformators ersetzen (hierzu kann auch der Netztransformator 12 verwendet werden). Ein Multimeter an die Primärwicklung anschließen (richtig stecken, nicht von Hand dranhalten). Auf Wechselspannung (V AC) schalten. Einschalten. Welche Spannung ergibt sich an der Primärwicklung? Bis zu welcher Frequenz funktioniert das? – VORSICHT, HOCHSPANNUNG!

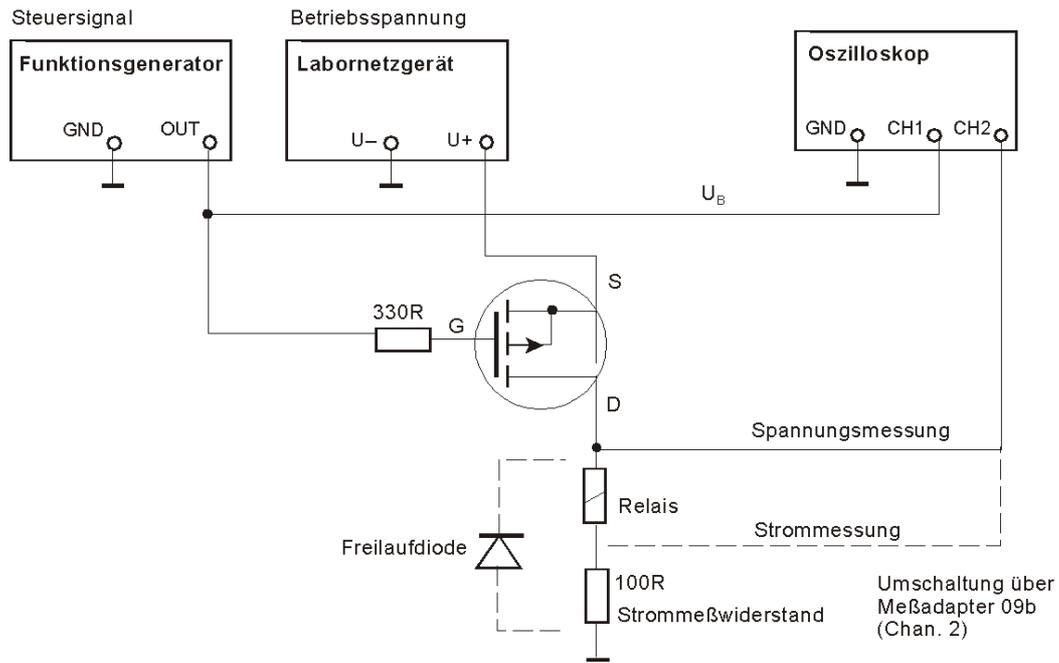


Abb. 4.1 Ansteuerung eines Relais mittels P-Kanal-FET (High Side Drive).

Ohne Freilaufdiode

a) Spannung

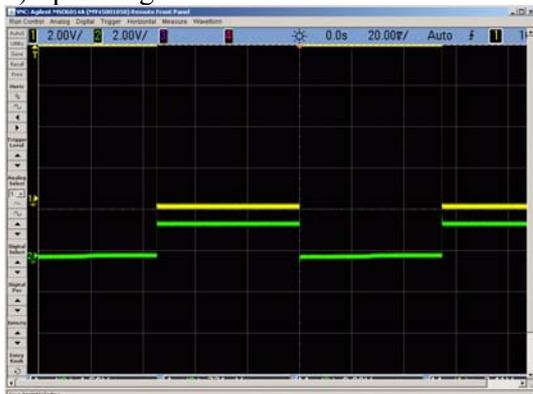


b) Strom



Mit Freilaufdiode

a) Spannung



b) Strom



Woher kommt der zweite Zacken?

5. Der N-Kanal-FET

Versuchsziel ist die Betriebsart High Side Drive. Hierzu muß der FET mit einer Gatespannung angesteuert werden, die höher ist als die Betriebsspannung (Spannungsüberhöhung). Das soll hier auf einfache Weise Schritt für Schritt gelöst werden. Wir beschränken uns auf die dynamische Erprobung mittels Funktionsgenerator und Oszilloskop.

1. Betriebsspannung U_B auf 15 V.
2. Funktionsgenerator über Meßadapter 09b anschließen, Nur positive Halbwelle. Rechtecksignale maximal 15 V Amplitude. Regler am Funktionsgenerator bei Versuchsbeginn jeweils zunächst an den linken Anschlag. Frequenz etwa 5 kHz.

Sourceschaltung

Amplitude der Impulse erhöhen und Ausgangsverhalten beobachten. FET fängt bei etwa 4 V an zu schalten und schaltet bei etwa 8 V richtig durch. Weitere Erhöhung der Gatespannung bringt nichts.

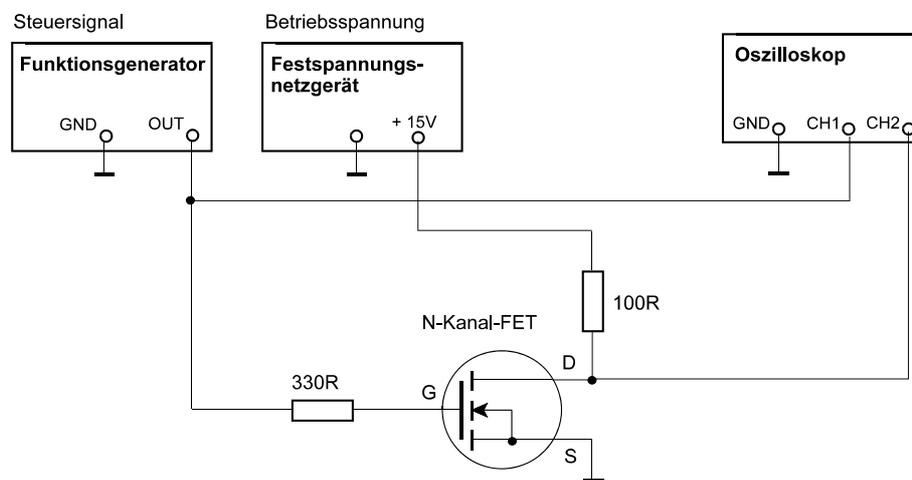


Abb. 5.1 N-Kanal-FET in Sourceschaltung (Low Side Drive).

Drainschaltung

Amplitude der Impulse erhöhen und Ausgangsverhalten beobachten. FET fängt bei etwa 4 V an zu schalten. Die Ausgangsamplitude folgt der Eingangsamplitude (ähnlich wie beim Emitterfolger), aber vermindert um die Schwellenspannung von etwa 3,5...5 V.

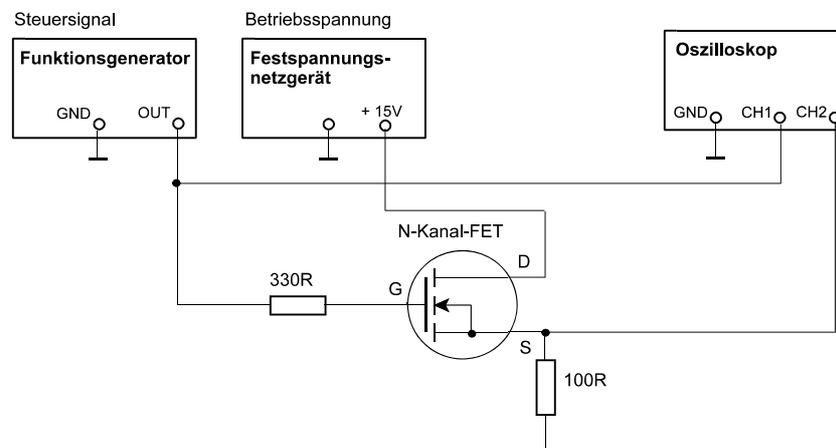


Abb. 5.2 N-Kanal-FET in Drainschaltung (High Side Drive).

Spannungsüberhöhung mit Ladungspumpe

Drainschaltung = High Side Drive. Damit der FET richtig durchschaltet, muß die Gatespannung um die Schaltspannung für minimalen R_{DSon} überhöht werden ($V_{DD} + 10...20\text{ V}$). Die Diode klammert den negativen Pegel am Koppelkondensator auf die Betriebsspannung (V_{DD}). Damit liegt der positive Pegel um die Sourcespannung über V_{DD} . Es müssen sich Rechteckimpulse ergeben, deren Low-Anteile auf V_{DD} -Pegel liegen. Um daraus eine konstante Gleichspannung zu gewinnen, schalten wir einen Ladekondensator nach. Die in Flußrichtung zwischengeschaltete Diode dient als Rückstromsperre. Gleichspannung messen.

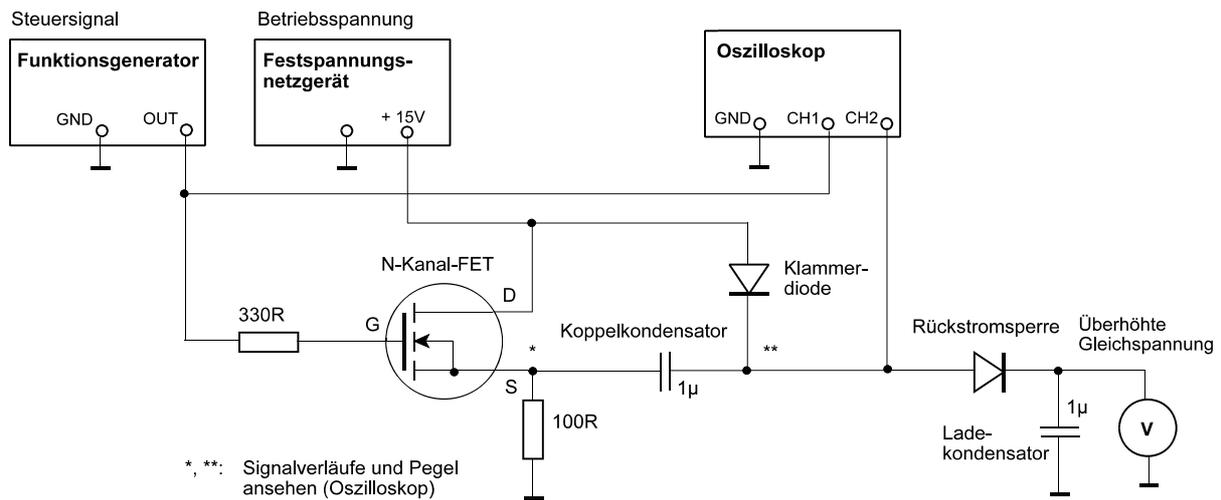


Abb. 5.3 Vorversuch zur Ladungspumpe.

Bootstrapschaltung

Der FET wird über eine Transistorstufe angesteuert. Diese wird von der Ladungspumpe gespeist. Ansteuerpegel etwa 4 V. Pegel am Kondensator (***) zwischen V_{DD} und $2 V_{DD}$; Pegel am Gate zwischen 0 V und $2 V_{DD}$. Signalverläufe und Pegel beobachten. Gleichspannung messen. Werte mit denen des Vorversuchs vergleichen. Wodurch ergeben sich die Unterschiede?

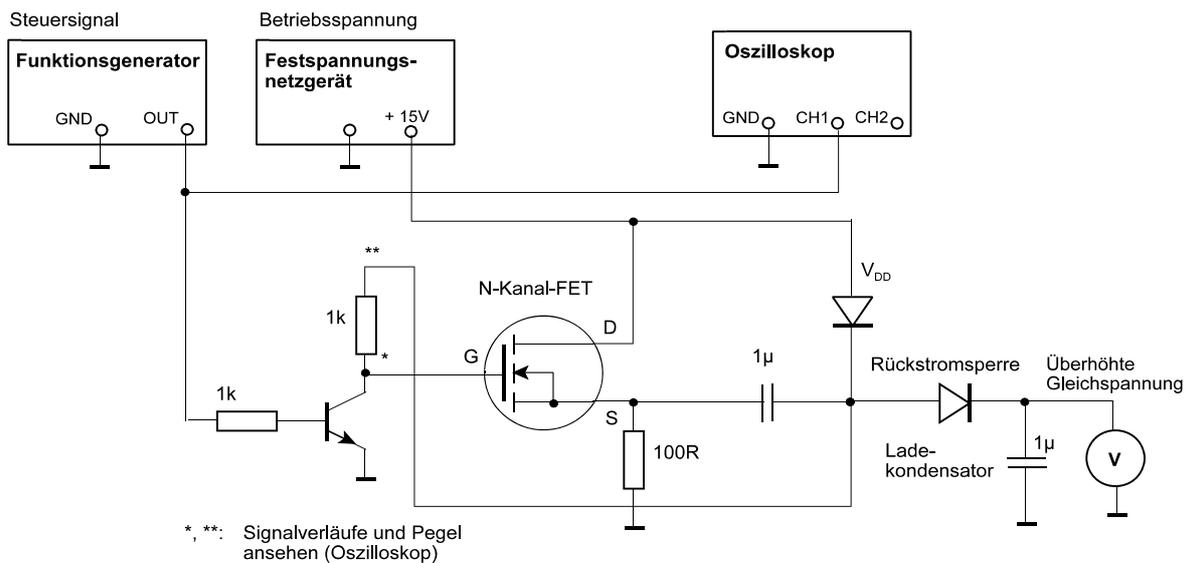


Abb. 5.4 High Side Drive mit N-Kanal-FET und selbstgebaute Bootstrapschaltung.