

2.7 Wechselstrombrücke

Stichwörter: Halbleiterdiode, Kondensator, Kapazität, Wechselstrom, Wechselstrombrücke, Verarmungszone, PN-Verbindung, Sperrspannung, Kennlinie einer Diode, Schwingkreis.

Hinweis: zu diesem Versuch wird kein Laborbericht verlangt. Daher wird eine sehr gute Vorbereitung erwartet. Lesen Sie mindestens die am Ende angegebene Literatur gut durch, und recherchieren Sie in anderen Quellen (z.B. andere Aufbauten, Erwartungswerte, usw.) vor den Versuchstag.

1 Einführung

Zum Ausmessen von Kapazitäten und Induktivitäten benutzt man vorzugsweise Wechselstrommessbrücken. Wie bei allen Brückenmessmethoden ist die Genauigkeit einer solchen Anordnung größer als die anderer Verfahren, weil das Anzeigeinstrument lediglich zur Nullanzeige verwendet wird. Die Einstellung des Nullabgleichs erfolgt durch sehr genaue Widerstandsdekaden. Im Unterschied zu Gleichstrombrücken wird der abgegliche Zustand allerdings hier durch eine komplexe Gleichung beschrieben. Um den Brückenabgleich herzustellen, müssen also zwei einstellbare Bauelemente in der Messapparatur vorhanden sein (Abgleich von Real- und Imaginärteil oder von Amplitude und Phase).

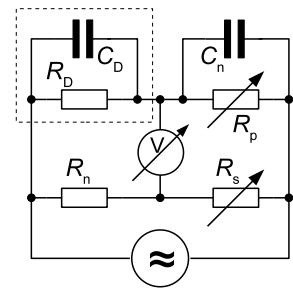


Abbildung 1: Prinzipschaltbild für eine Wechselstrombrücke

Zum Ausmessen einer Kapazität eignet sich eine Schaltung nach Abb. 1. C_D ist der auszumessende Kondensator, R_D sein Verlustwiderstand. R_p und R_s sind die beiden verstellbaren Widerstände, C_n eine feste Vergleichskapazität und R_n ein fester Vergleichswiderstand.

2 Vorbereitungsaufgaben

1. Erklären Sie die Funktionsweise einer Halbleiterdiode. Zeichnen Sie die entsprechende Kennlinie. Wie verhält sich die Sperrschicht bei steigender negativer und positiver Spannung?
2. Skizzieren Sie, anhand des Sperrschichtverhaltens, die Kapazität der Diode in Abhängigkeit einer angelegten negativen Spannung.

3 Messungen an einer Kapazitätsdiode

In dem Versuch soll die Kapazität einer in Sperrrichtung betriebenen Siliziumdiode ausgemessen werden. Ihre Kapazität ist abhängig von der angelegten Sperrspannung. Sie kann damit also z.B. als spannungsgesteuertes abstimmbares Element in einem Schwingkreis eingesetzt werden. Die Messbrücke wird um einen Gleichspannungsteil erweitert (Abb. 2). Die Sperrspannung U_g wird am Labornetzgerät zwischen 1 und 12 V eingestellt. Wegen des Trennkondensators C_t wirkt die angelegte Gleichspannung nur auf die Diode. Sein Wert wurde so groß gewählt, dass der Einfluss auf den Brückenabgleich zu vernachlässigen ist.

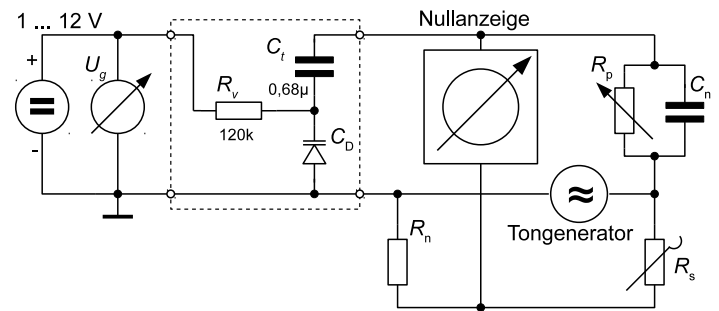


Abbildung 2: Versuchsaufbau

Das Nullanzeigeelement enthält zur Erhöhung der Empfindlichkeit einen eingebauten Verstärker. Mit dem Potentiometer (siehe Abb. 3) lässt sich die Empfindlichkeit im nicht abgeglichenen Zustand so weit reduzieren, dass der Zeigerausschlag am Nullinstrument im ablesbaren Bereich bleibt. Der Widerstand R bildet mit dem Schwingkreis aus L und C einen frequenzabhängigen Spannungsteiler. Bei der Resonanzfrequenz wird die Ausgangsspannung maximal.

Die Abgleichbedingung lässt sich anhand von Abb. 1 ableiten. R_D ersetzt die Kombination des Widerstands R_v mit den Innenwiderständen von Diode, Spannungsquelle und Voltmeter. Mit $R_n = 1000 \Omega$ und $C_n = 1000 \text{ pF}$ folgt bei abgeglichener Brücke die einfache Beziehung.

$$\frac{C_D}{\text{pF}} = \frac{R_S}{\Omega} \quad (1)$$

Aufgaben:

1. Wie lautet die Abgleichbedingung einer Wheatstoneschen Gleichstrombrücke (Schaltungsskizze)?
2. Leiten Sie die Abgleichbedingungen für die Wechselstrombrücke nach Abb. 1 unter Benutzung der komplexen Schreibweise ab.
3. Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2 auf. Die Ausgangsspannung des Tongenerators sollte auf einen Wert von etwa $U_{eff} = 1 \text{ V}$ eingestellt werden.
4. Gleichen Sie die Generatorfrequenz mit der Resonanzfrequenz des Anzeigeverstärkers ab.
5. Messen Sie mit der Apparatur die Kapazität der Diode für 12 Spannungswerte von 1 bis 12 V und tragen Sie die Messpunkte grafisch auf (DIN A4)

6. Schätzen Sie die Fehler ab und tragen Sie die Fehlerbalken in das Diagramm ein.

7. Wie lässt sich die Empfindlichkeit einer Messbrücke steigern?

8. Welche Parameter haben Einfluss auf die Genauigkeit dieser Messmethode?

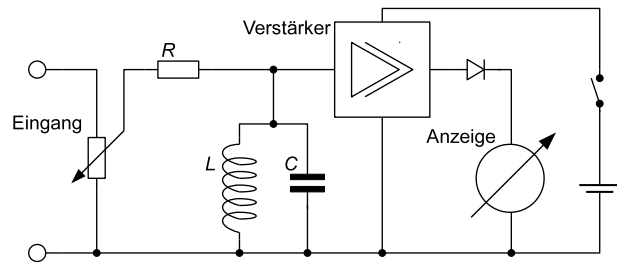


Abbildung 3: Prinzipschaltbild des Anzeigeverstärkers

9. Welche Aufgabe hat der Schwingkreis im Anzeigeverstärker? Denken Sie dabei an die nichtlineare Kennlinie der Diode.

Literatur:

Meschede: *Gerthsen Physik*, Kap. 7.1 und 7.2, 25. Auflage (2015).

Mühl: *Einführung in der elektronische Messtechnik: Grundlagen, Messverfahren, Anwendungen*, Kap. 6, 4. Auflage (2014).

Geräte:

Tongenerator, Labornetzgerät, Digitalmultimeter (Fehler bei Spannungsmessung: 0,5 % vom Messwert + 2 Digits), Nullanzeigeelement, Widerstandsdekade (Fehler: 0,3%)

Bauelemente:

Kondensator: $C_n = 1000 \text{ pF}$ (0,5%), Widerstand: $R_n = 1000 \Omega$ (0,2%), Stellwiderstand R_p , Kapazitätsdiode mit Sperrspannungsversorgung (fertig montiert)