

Versuch LPP 4: Mikrowellen

1. Aufgabe:

Der Versuch besteht aus zwei Teilaufgaben, die die Erzeugung von Mikrowellen und die Leitung von Mikrowellen in Hohlleitern behandeln.

In der ersten Teilaufgabe werden die Moden eines Reflexklystrons durch Änderung der Reflektorspannung auf einem Oszilloskop untersucht. Im zweiten Teil sind Messungen mit einer Hohlleiter-Meßleitung durchzuführen.

2. Vorkenntnisse:

Reflexklystron /1/7/8/; Rechteckhohlleiter /2/7/8/; Leitungstheorie, speziell Reflexionsfaktor, Amplitudenverhältnis (Stehwellenverhältnis), Wellenwiderstand, Impedanz, Smith-Diagramm /3/7/8/; Fresnel'sche Formeln /4/.

3. Versuchsdurchführung:

ACHTUNG: Bevor das Klystron eingeschaltet wird, ist jedesmal zu prüfen, ob der Isolator eingebaut und die Reflektorspannung nicht eingeschaltet ist.

3.1. Untersuchung des Reflexklystrons 2K25:

a) Der Aufbau ist nach Abbildung 1 vorzunehmen.

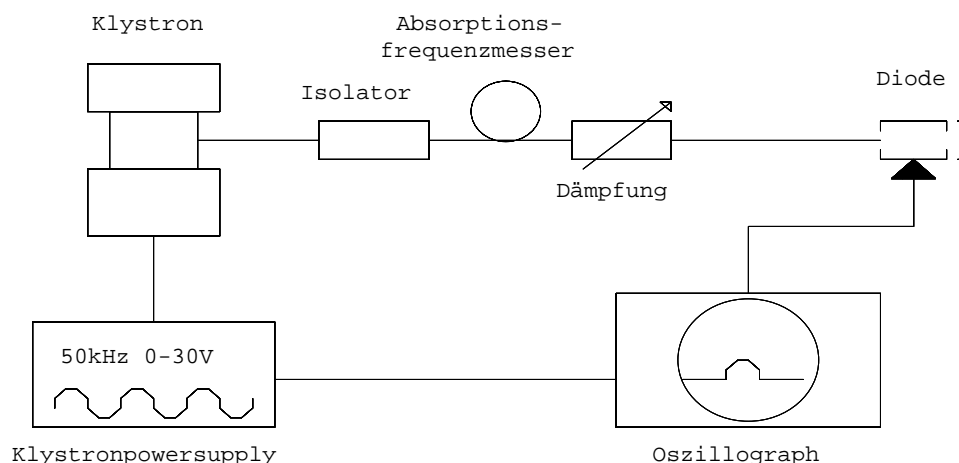


Abb.1 Aufbau zur Untersuchung des Reflexklystrons

Das Dämpfungsglied ist auf ca. 20 dB Dämpfung einzustellen.

Die Modulationsspannung des Klystron-Speisegeräts (50 Hz Sinus, 30 V) wird an den Horizontaleingang des Oszilloskops gegeben. Dieses ist so einzustellen, daß die

Modulationsspannung auf dem Schirm einen waagerechten Strich von 10 Skalenteilen symmetrisch zur Mitte erzeugt, wenn am Vertikaleingang kein Signal anliegt.

Achtung: Intensität des Strahls niedrig einstellen - Einbrenngefahr!

b) Vor dem Einschalten des Klystron-Speisegeräts ist sicherzustellen, daß die rote Taste "Res./Refl. on" nicht gedrückt ist.

Nach 30 Sekunden kann die Reflektorspannung durch Drücken der roten Taste eingeschaltet und mit dem Drehknopf einreguliert werden. Die Modulation der Reflektorspannung wird mit der Taste "50 Hz " eingeschaltet.

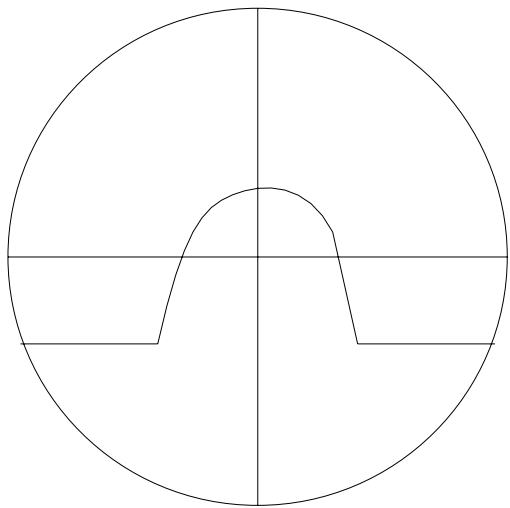


Abb. 2a: Messung der Reflektorspannung

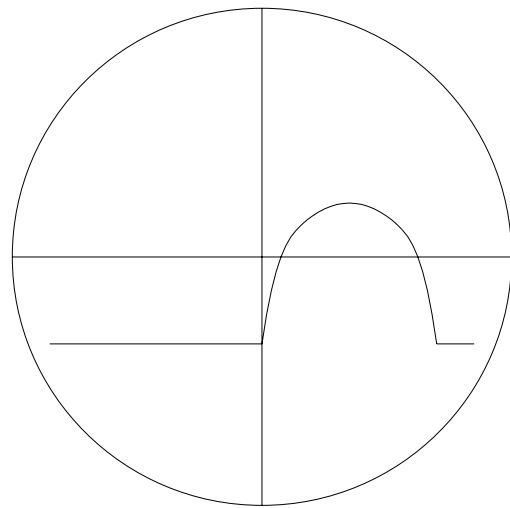


Abb. 2b: Messung der Schwingungseinsatzspannung

Die Reflektorspannung und die Verstärkung des Oszilloskops sind so einzustellen, daß sich ein Modenbild wie in Abbildung 2a ergibt. Die horizontale Achse ist die Reflektorspannungsachse, die vertikale die Leistungsachse. In der Mitte des Schirms ist die Modulationsspannung Null, d.h. hier ist die Reflektorspannung gleich der Spannung, die am Speisegerät abgelesen wird. Dies gilt allerdings nur, wenn das Oszilloskop wie in 3.1a beschrieben eingestellt wurde.

Die Reflektorspannung für die Mitte des Modes kann bei der Einstellung nach Abbildung 2a bestimmt werden. Die obere und untere Schwingungseinsatzspannung kann entsprechend Abbildung 2b gemessen werden.

c) Bei dem Mode mit der höchsten Reflektorspannung ist die Frequenz zu messen. Dazu wird der Absorptionsfrequenzmesser langsam durchgestimmt, bis eine Einsattelung ("dip") im Modenbild auf dem Oszilloskop erscheint. Die zugehörige Frequenz kann dann am Frequenzmesser direkt abgelesen werden.

3.2. Messungen mit der Meßleitung

a) Der Meßplatz ist nach Abbildung 3 aufzubauen mit Gleitschraubentransformator und Abschluß am rechten Leitungsende.

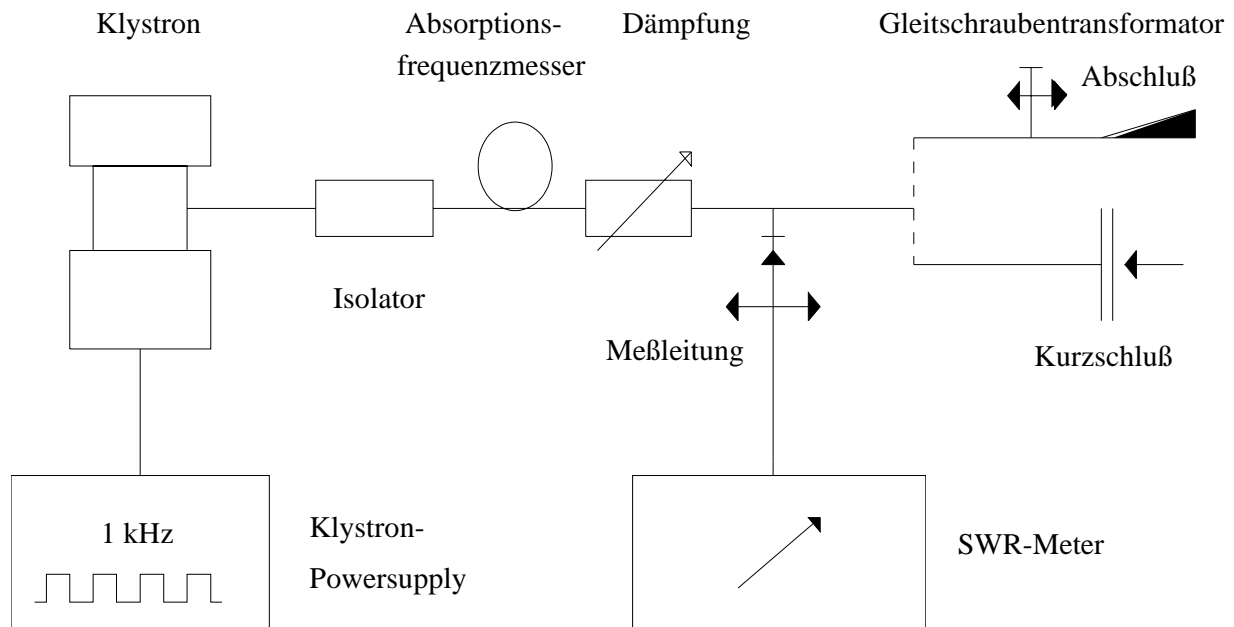


Abb. 3: Aufbau für die Messungen mit der Meßleitung

Die Mikrometerschraube am Gleitschraubentransformator ist auf 0 mm einzustellen.

Bei 1 kHz-Rechteckmodulation sollte sich am SWR-Meter ein Ausschlag ergeben, wenn die 40 dB-Taste gedrückt ist. Das SWR-Meter (standing-wave-ratio-meter) ist ein rauscharmes Voltmeter, das auf 1000 Hz abgestimmt ist. Die genaue Frequenz kann mit dem Drehknopf "1 kHz" eingeregelt werden. Die Benutzung der Skalen ist im Abschnitt 5 erläutert.

b) Die Frequenz des Klystrons wird mit dem Absorptionsfrequenzmesser und dem SWR-Meter gemessen, indem der Frequenzmesser durchgestimmt wird, bis ein Ausschlag nach links am SWR-Meter auftritt. Die Frequenz wird dann direkt am Frequenzmesser abgelesen.

c) Ersetzt man den Gleitschraubentransformator mit Abschluß durch den einstellbaren Kurzschluß, so kann mit der Meßleitung die Hohlleiterwellenlänge bestimmt werden, indem der Abstand zweier Spannungsminima im Hohlleiter gemessen wird. Zur Bestimmung des Minimums ist das SWR-Meter auf den empfindlichsten Meßbereich ("60 dB") zu schalten. Die Minima können durch Verschieben der Diode der Meßleitung bestimmt werden.

d) Für die Impedanzmessung dient der Gleitschraubentransformator mit Abschluß als unbekannte Impedanz. Die Messungen sind für zwei Impedanzen durchzuführen. Dazu sind die Mikrometerschraube auf 6.0 mm bzw 3.0 mm , der Schlitten auf 82 mm bzw. 90 mm einzustellen

zur Theorie

In der Leitungstheorie wird der komplexe Reflexionsfaktor ρ definiert durch:

$$\rho(x) = \frac{E_r(x)}{E_e(x)} = |\rho| e^{i(\frac{4\pi}{\lambda}x + \varphi)}$$

E_e und E_r sind die Feldstärken der einfallenden bzw. reflektierten Welle.
Das Stehwellenverhältnis S wird definiert durch (Abb. 4):

$$S = \frac{E_{\max}}{E_{\min}}$$

Zwischen $|\rho|$ und S läßt sich die Beziehung herleiten:

$$S = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|}$$

Um den Reflexionsfaktor $\rho(x)$ angeben zu können, müssen λ , $|\rho|$ und φ bestimmt werden.
Die Wellenlänge ist in 3.2c gemessen worden. Für die Messung von $|\rho|$ und φ seien zwei Beispiele betrachtet:

- 1. Beispiel:** Kurzschluß bei $x = 0$ (Abb. 4a)
- i) $x = 0 : E_r(0) + E_e(0) = 0 ; E_r(0) = -E_e(0)$
 - ii) Stehwellenverhältnis $S : S \rightarrow \infty$
- aus ii) : $|\rho| = 1$
- aus i) : $\rho(0) = -1 = 1 * e^{i\pi}$

- 2. Beispiel:** Beliebige Impedanz Z bei $x = 0$, d.h. beliebiger Reflexionsfaktor ρ_z (Abb.4b)
- $x = 0 : \rho_z(0) = |\rho| e^{i\varphi(z)}$

Das erste Minimum der Gesamtfeldstärke $E_e + E_r$ liege bei $x = -d$; die Phase hat im Minimum den Wert π ; d.h.

$$\pi = -\frac{4\pi}{\lambda}d + \varphi_z$$
$$\Rightarrow \varphi_z = \pi + \frac{4\pi}{\lambda}d$$

$|\rho|$ berechnet sich wieder aus dem Stehwellenverhältnis S .

Der Reflexionsfaktor bei der unbekanntem Impedanz aus Gleitschraubentransformator und Abschluß ist zu messen. Als Bezugsebene $x = 0$ dient dabei die Ebene des einstellbaren Kurzschlusses in Nullstellung. Dabei ist folgendermaßen vorzugehen:

- a) Kurzschluß auf Null stellen und ein beliebiges Minimum in der Mitte der Meßleitung notieren.
- b) Ersetzen des Kurzschlusses durch die unbekanntem Impedanz
- c) Das Stehwellenverhältnis mit dem SWR-Meter messen (siehe Abschnitt 5). Für Werte $S < 1.3$ ist die rote Taste "Expand" zu drücken, wobei der Wert für S auf der roten Skala unter dem Spiegel abgelesen wird. Für Werte $S > 3.2$ kann die Verstärkung um 10 dB erhöht werden. Es gilt dann die erste Skala über dem Spiegel.
- d) Zur Messung der Verschiebung d wird die Sonde der Meßleitung auf die Stelle des Minimums bei Kurzschluß gestellt. Die Sonde wird nun so weit in Richtung zum Klystron verfahren, bis das neue Minimum erreicht ist. Die Differenz zwischen dem Minimum bei Kurzschluß und dem Minimum bei der unbekanntem Impedanz ist die gesuchte Größe d (siehe Abb. 4).

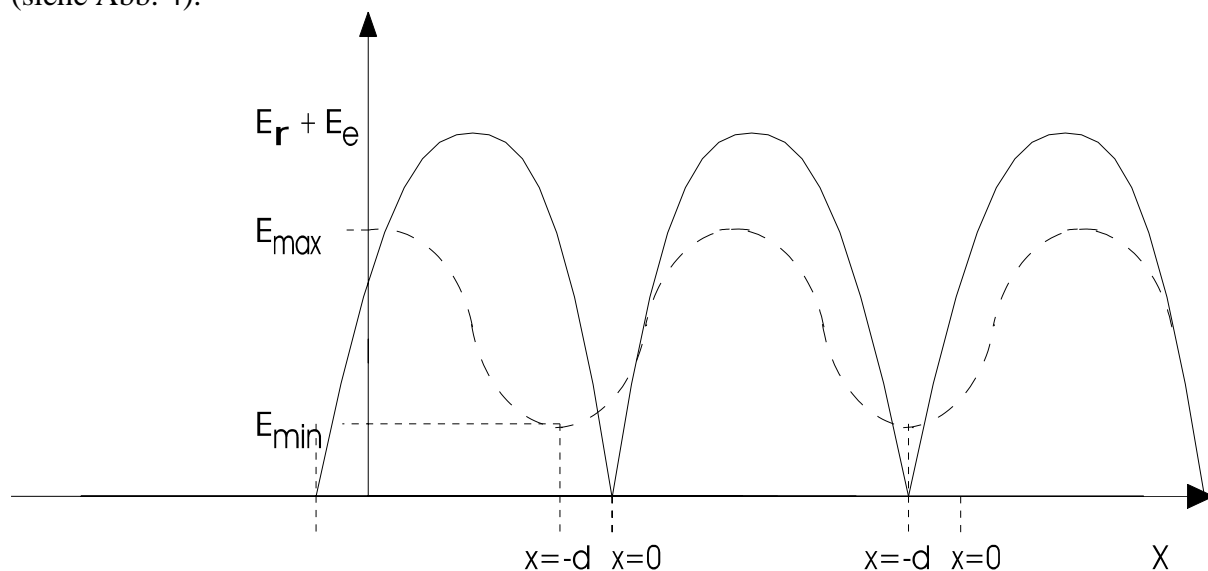


Abb. 4: Verlauf der elektrischen Feldstärke im Hohlleiter

- a) Kurzschluß bei $x = 0$
 - b) komplexer Widerstand bei $x = 0$
- E_e = Feldstärke der einlaufenden Welle
 E_r = Feldstärke der reflektierten Welle

4. Auswertung:

- a) Aus den Meßwerten von 3.1b ist in einem Diagramm die relative Ausgangsleistung des Klystrons als Funktion der Reflektorspannung aufzutragen.

b) Geben Sie die Frequenz und die Hohlleiterwellenlänge an.

Die Anzeige des Frequenzmessers hat einen Fehler von $\pm 0.1\%$. Wenn die Korrekturkurve des Frequenzmessers berücksichtigt wird, verringert sich der Fehler auf $\pm 0.05\%$ (siehe Beiblatt am Praktikumsplatz).

In dem Versuch breiten sich die Mikrowellen im Hohlleiter im TE_{10} -Mode aus. Berechnen Sie aus der gemessenen Frequenz und der Breitseite des Hohlleiters ($a = 22.860 \pm 0.046$ mm) die Hohlleiterwellenlänge und vergleichen Sie diesen Wert mit dem gemessenen Wert.

c) Geben sie Betrag und Phase des Reflexionsfaktors für die beiden Wertepaare 6.0 / 82 und 3.0 / 90 an.

d) Bezeichnet man den Wellenwiderstand der Leitung mit Z_L und die unbekannte Impedanz bei $x = 0$ mit Z , so gilt zwischen dem Reflexionsfaktor $\rho(0)$ und der Impedanz Z die Beziehung:

$$\rho(0) = \frac{\frac{Z}{Z_L} - 1}{\frac{Z}{Z_L} + 1}$$

Berechnen Sie aus dieser Gleichung den Wirkwiderstand R/Z_L und den Blindwiderstand X/Z_L der unbekanntenen Impedanz, indem sie für $\rho(0)$ die gemessenen Werte benutzen.

Die zweite Methode ist die Bestimmung des Wellenwiderstandes aus dem Smith-Diagramm. Das Smith-Diagramm ist die konforme Abbildung der komplexen Widerstandsebene in das Innere des Einheitskreises. Auf dem Radius ist der Betrag des Reflexionsfaktors abzutragen, der Winkel wird durch die Phasenverschiebung gegeben (siehe /5/). Der Real- und Imaginärteil des Widerstands läßt sich dann aus dem Diagramm entnehmen.

5. Zum Gebrauch des SWR-Meters:

Das SWR-Meter (standing-wave-ratio-meter) ist ein rauscharmes Wechselspannungs-Voltmeter für Signale der Frequenz 1 kHz. Die Skala ist für Messungen mit Mikrowellen derart geeicht, daß das Stehwellenverhältnis (Amplitudenverhältnis) S auf der SWR-Skala und das Verhältnis zweier Leistungspegel auf der dB-Skala direkt abgelesen werden kann.

Im Versuch wird das SWR-Meter in Verbindung mit einer Empfangsdiode benutzt, die im quadratischen Bereich arbeitet, d.h. das Signal V der Diode ist proportional dem Quadrat der elektrischen Feldstärke, also der Leistung der Mikrowellen:

$$V \sim E^2$$

Die dB-Skala folgt damit der Beziehung

$$[\text{dB}] = 10_{10} \log \frac{V_0}{V}$$

mit V_0 = Eingangssignal für Vollausschlag

V = zu messendes Signal

Das Stehwellenverhältnis ist definiert durch $S = E_{\max} / E_{\min}$. Liefert E_{\max} das Signal $V_{\max} \sim E_{\max}^2$ und E_{\min} das Signal $V_{\min} \sim E_{\min}^2$, so gilt

$$S = \sqrt{\frac{V_{\max}}{V_{\min}}}$$

Wählt man die Verstärkung des SWR-Meters so, daß bei V_{\max} Vollausschlag erreicht wird, so kann bei minimalem Ausschlag V_{\min} das Stehwellenverhältnis S auf der SWR-Skala abgelesen werden. Zwischen den beiden Skalen besteht der Zusammenhang:

$$[\text{dB}] = 10_{10} \log(S^2)$$

6. Literatur:

- /1/ Kohlrausch, F.
Praktische Physik, Band 2, Kap. 6.4., Teubner, Stuttgart (1968)
- /2/ Simonyi, K.
Theoretische Elektrotechnik, Berlin (1973), S. 812-816
- /3/ siehe /2/, Seite 608-634
- /4/ Born, Wolf
Principles of Optics, Kap. 1.5., Oxford (1975)
- /5/ Kohlrausch, F.
Praktische Physik, Band 3, S. 106
- /6/ Berkeley Physik Kurs
Physik im Experiment, Band 6, Kap. 8, S. 162-178
- /7/ Chatterjee
Elements of Microwave Engineering (k750 C 495)
- /8/ Liao, S.
Microwave Devices and Circuits (k750 L 693)