

WS2021

PPB2

Solarzelle

Matteo Kumar - Leonard Schatt

Gruppe 3



Informationen

Versuchstag	06.09.2021
Versuchsplatz	B11 Raum 0.03
Betreuer	Paul Recknagel
Gruppen Nr.	3

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Theoretischer Teil	6
2.0.1	Lock-in Verstärker	7
3	Messprotokoll	9
4	Auswertung und Diskussion	10
4.1	Spektrale Empfindlichkeit	10
4.1.1	Lock-in-Verstärker	10
4.1.2	Spektrale Empfindlichkeit SR und Externe Quanteneffizienz EQE	11
4.1.3	Ideale Externe Quanteneffizienz	11
5	Fazit	12

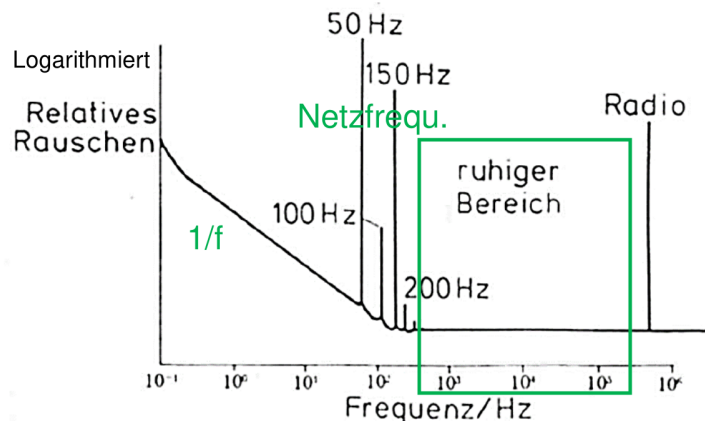
1 Einleitung

Im Jahr 2021 ist der Energiebedarf der Bundesrepublik Deutschland größer denn je. Dieser wird dabei zu großem Teil noch durch das Verbrennen von fossilen Energieträgern gedeckt. Dabei schlittern die Menschheit einer global Katastrophe, der Klimakatastrophe, sehenden Auges entgegen. Aus diesem Grund ist die Entwicklung "klimafreundlicher Alternativen zur Energiegewinnung unabdingbar. Eine besonders wichtige Rolle spielt dabei die Solarenergie.

2 Theoretischer Teil

2.0.1 Lock-in Verstärker

Der Lock-in Verstärker ist ein wichtiges Messgerät. Er wird dazu verwendet schwache Signale, die normalerweise weit unter dem Rauschen liegen noch aufzulösen. Dabei detektiert das Eingangssignal phasenempfindlich. Beim Messen eines Gleichspannungssignals wird das Signal von einem Chopper in den rauscharmen Bereich "hochgemischt". Dies geschieht, da bei niedrigen Frequenzen das "rosa Rauschen" dominiert. (Quelle Herink)



Im Lock-in Verstärker selbst wird das Signal dann verstärkt und mit einem Referenzsignal V_R gleich der Chopperfrequenz gemischt. Dabei entsteht nach Additionstheoremen für Sinus und Cosinus eine Differenz- und Summenfrequenz. Dann filtert man die Differenzfrequenz heraus, indem man einen Tiefpassfilter hinter den Mischer stellt. Im Anschluss wird dann die Spannung abgegriffen. Der Vorteil dieses Aufbaus ist, dass die beiden Modulationen durch Chopper und Mischer zusammen wie ein sehr schmalbandiger Filter wirken. Dabei können Bandbreiten von bis zu 0,01 Hz erreicht werden. Außerdem mittelt sich das Rauschen weg, das es in Beziehung zu V_R unkorreliert ist. Die ausgegebene Spannung hängt jetzt aber noch von der Phasenbeziehung zwischen dem modulierten Eingangssignal V_S und dem Referenzsignal V_R , das am Mischer ankommt, ab. Deswegen fügt man, wie in Grafik 2.1 zu sehen, einen zweiten Arm ein, an welchen V_R um 90° verzögert wird. Aus den beiden Amplituden X und Y berechnet man dann die Amplitude R des Ausgangssignals folgendermaßen:

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

2 Theoretischer Teil

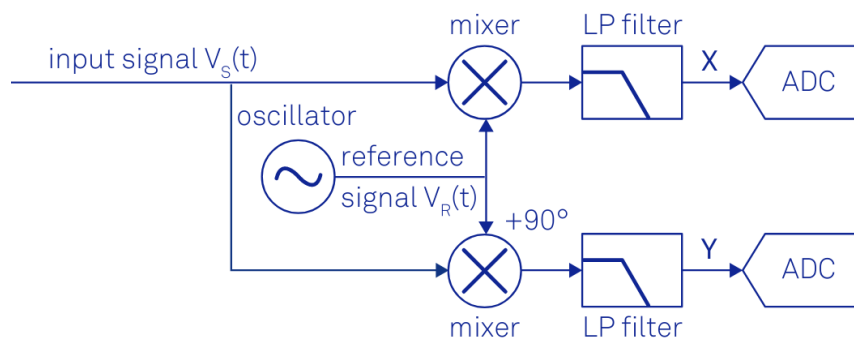


Abbildung 2.1: Lock-in Verstärker mit schon modulierte Eingangssignal V_S

3 Messprotokoll

Das Messprotokoll wurde am Versuchstag handschriftlich erstellt und hier als PDF-Datei eingefügt. Dabei wurden Durchführung und Aufbau schon vorher in dieses Dokument beschrieben, je nachdem.

4 Auswertung und Diskussion

4.1 Spektrale Empfindlichkeit

4.1.1 Lock-in-Verstärker

Um den Photostrom I_{Ph} zu berechnen, muss zunächst die am Lock-in-Verstärker abgelesene Spannung in die tatsächlich anliegende Spannung umgerechnet werden. Der Verstärker hat als Output einen Wert zwischen 0V und 10V. Berücksichtigt man noch die Sensitivity des Verstärkers erhält man für die anliegende Spannung U_{rms} :

$$U_{rms} = \frac{U_{angezeigt}}{10V} \cdot Sensitivity \quad (4.1)$$

Nun muss noch berücksichtigt werden, dass der Lock-in-Verstärker das Messsignal, das durch den Chopper (annähernd) rechteckförmig moduliert wurde, mit dem sinusförmigen Referenzsignal des Choppers faltet, bevor die Faltung durch einen Tiefpass geleitet wird. Ein Rechtecksignal kann geschrieben werden als:

$$f_{Rechteck} = \frac{4U_{Rechteck}}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin((2k-1)\omega t)}{2k-1}, \quad (4.2)$$

wobei $U_{Rechteck}$ die Amplitude des Signals bezeichnet. Faltet man dieses nun mit einem Signal der Frequenz ω , so trägt nach durchlaufen des Tiefpasses nur der Anteil am Rechtecksignal mit ebenfalls ω bei, also der Term für $k = 1$. Die gemessene Spannung ergibt sich also zu:

$$\begin{aligned} U_{ein} &= \frac{4U_{Rechteck}}{\pi} \sin(\omega t) \\ \Rightarrow U_{rms} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{4U_{Rechteck}}{\pi} \end{aligned} \quad (4.3)$$

Stellt man nun nach der Amplitude der Spannung $U_{Rechteck}$ um, so erhält man:

4.1 Spektrale Empfindlichkeit

$$U_{\text{Rechteck}} = \frac{\pi\sqrt{2}}{4} U_{\text{rms}} \quad (4.4)$$

$$\Rightarrow U_{\text{Rechteck}} = \frac{\pi\sqrt{2}}{4} \cdot \text{Sensitivity} \cdot \frac{U_{\text{angezeigt}}}{10V} \quad (4.5)$$

Um den Photostrom I_{Ph} zu erhalten, muss jetzt nur noch die tatsächliche Spannung mithilfe des Faktors des U/I-Verstärkers umgerechnet werden:

$$\begin{aligned} I_{\text{Ph}} &= \frac{U_{\text{Rechteck}}}{1 \frac{kV}{A}} \\ &= \frac{\pi\sqrt{2}}{4} \cdot \text{Sensitivity} \cdot \frac{U_{\text{angezeigt}}}{10000 \frac{V^2}{A}} \end{aligned} \quad (4.6)$$

4.1.2 Spektrale Empfindlichkeit SR und Externe Quanteneffizienz EQE

Die Spektrale Empfindlichkeit SR berechnet sich nach:

$$SR = \frac{I_{\text{Ph}}}{P_{\lambda}}, \quad (4.7)$$

mit Photostrom I_{Ph} aus Gl. 4.6.

Die in die Zelle einfallende Leistung P_{λ} muss erst noch aus der in das Powermeter einfallende Leistung berechnet werden. Es gilt:

$$\begin{aligned} P_{\text{PM}} &= P_{\text{ges}} R \\ P_{\lambda} &= P_{\text{ges}} T \\ \Rightarrow P_{\lambda} &= P_{\text{PM}} \frac{T}{R}, \end{aligned} \quad (4.8)$$

mit Reflektionskoeffizient des Strahlteilers R , Transmissionskoeffizient T und gesamter Lichtleistung vor Auftreffen auf den Teiler P_{ges} .

Aus den Werten für SR lassen sich nun auch die für die Externe Quanteneffizienz EQE berechnen:

$$EQE = \frac{hc}{e} \frac{SR}{\lambda} \quad (4.9)$$

4.1.3 Ideale Externe Quanteneffizienz

5 Fazit