#### WS2021

## PPB2

# Solarzelle

- Matteo Kumar - Leonard Schatt —

Gruppe 3



### Informationen

**Versuchstag** 06.09.2021

Betreuer Paul Recknagel

Gruppen Nr. 3

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung					
2	Theoretischer Teil 2.0.1 Lock-in Verstärker	<b>6</b> 7				
3	3 Messprotokoll					
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				

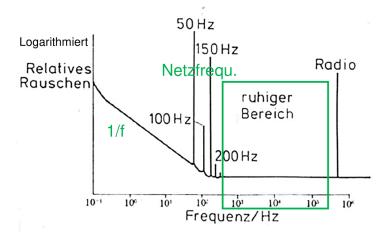
## 1 Einleitung

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, seheden Auges entgegen. Aus diesem Grund ist die Entwicklung "klimafreundlicherÄlternativen 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 schache Signale, die normalerweise weit unter dem Rauschen liegen noch aufzulösen. Dabei detektiert das Eingangssignal phasenempfindlich. Beim Messen eines Gleichspannungssignals wir 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  $V_{\rm R}$  gleich der Chopperfrequenz gemischt. Dabei entsteht nach Additiontheoremen für Sinus und Cosinus eine Differenz- und Summenfrequenz. Dann Filtert man die Differenzfrequenz heraus, indem man einen Tiefpassfilter hinter den Mischer stellt. Im Anschluss wir 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 0,01Hz erreicht werden. Außerdem mittelt sich das Rauschen weg, das es in Beziehung zu  $V_{\rm R}$  unkorreliert ist. Die ausgegebene Spannung hängt jetzt aber noch von der Phasenbeziehung zwischen dem modulierten Eingangssignal  $V_{\rm S}$  und dem Referenzsignal  $V_{\rm R}$ , das am Mischer ankommt, ab. Deswegen fügt man, wie in Grafik 2.1 zu sehen, einen zweiten Arm ein, on welchen  $V_{\rm R}$  um 90° verzögert wird. Aus den beiden Amplituden X und Y berechnet man dann die Amplitude R des Ausgangssignals folgendermaßen:

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

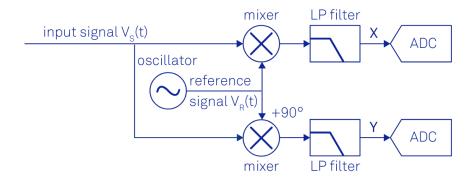


Abbildung 2.1: Lock-in Verstärker mit schon moduliertem Eingangssignal  $V_{\rm S}$ 

## 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  $I_{\rm Ph}$  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  $U_{\rm rms}$ :

$$U_{\rm rms} = \frac{U_{\rm angezeigt}}{10V} \cdot Sensitivity \tag{4.1}$$

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

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

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

$$U_{\rm ein} = \frac{4U_{\rm Rechteck}}{\pi} sin(\omega t)$$

$$\implies U_{\rm rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{4U_{\rm Rechteck}}{\pi}$$
(4.3)

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

$$U_{\text{Rechteck}} = \frac{\pi\sqrt{2}}{4}U_{\text{rms}} \tag{4.4}$$

$$\implies U_{\text{Rechteck}} = \frac{\pi\sqrt{2}}{4} \cdot Sensitivity \cdot \frac{U_{\text{angezeigt}}}{10V}$$
 (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:

$$I_{\text{Ph}} = \frac{U_{\text{Rechteck}}}{1\frac{kV}{A}}$$

$$= \frac{\pi\sqrt{2}}{4} \cdot Sensitivity \cdot \frac{U_{\text{angezeigt}}}{10000\frac{V^2}{A}}$$
(4.6)

#### 4.1.2 Spektrale Empfindlichkeit SR und Externe Quanteneffizienz EQE

Die Spekrtale Empfindlichkeit SR berechnet sich nach:

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

mit Photostrom  $I_{\rm Ph}$  aus Gl. 4.6.

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

$$P_{\rm PM} = P_{\rm ges} R$$

$$P_{\lambda} = P_{\rm ges} T$$

$$\implies P_{\lambda} = P_{\rm PM} \frac{T}{R},$$
(4.8)

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

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

$$EQE = \frac{hc}{e} \frac{SR}{\lambda} \tag{4.9}$$

#### 4.1.3 Ideale Externe Quanteneffizienz

## 5 Fazit