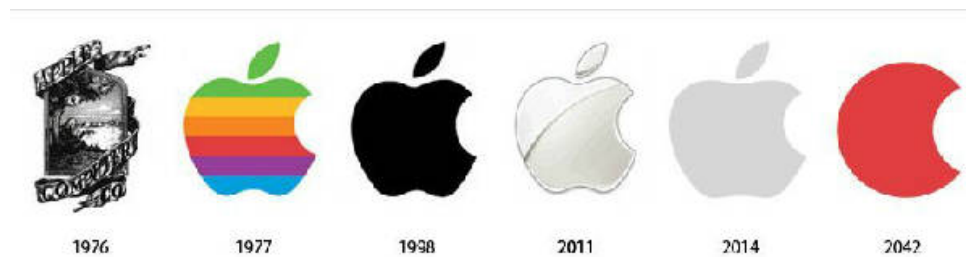


Fachbericht Virtual Sun

HS15 Pro3E Team 3

Windisch, 23. November 2015



AUFTRAGGEBER: HANS GYSIN

BETREUER: MATTHIAS MEIER (CONTROLLERPROGRAMMIERUNG)
PETER GANZMANN (ANALOGTECHNIK)
BONNIE DOMENGHINO (ENGLISCH)
ANITA GERTISER (KOMMUNIKATION)

GRUPPE: HS15 PRO3E TEAM 3

TEAMMITGLIEDER: SIMONETTA STURM (PROJEKTLEITERIN)
YANICK FREI
CLAUDIUS JÖRG

STUDIENGANG: ELEKTRO- UND INFORMATIONSTECHNIK

Auftrag / Lastenheft

Windisch, 17.9.15

PV-Modul Simulator

Anlass:

Für das Projekt P4 im nächsten Semester ist die Entwicklung eines Überwachungsgerätes für Photovoltaik-Module (PV-Module) vorgesehen. Um dieses Überwachungsgerät im Labor testen zu können, soll in diesem Semester als P3 Arbeit ein PV-Modul Simulator entwickelt und als Laborgerät aufgebaut werden. Dieser Simulator dient als Labor-Netzgerät mit der Charakteristik eines PV-Moduls und muss die unten aufgeführten Eigenschaften (Anforderungen) aufweisen.

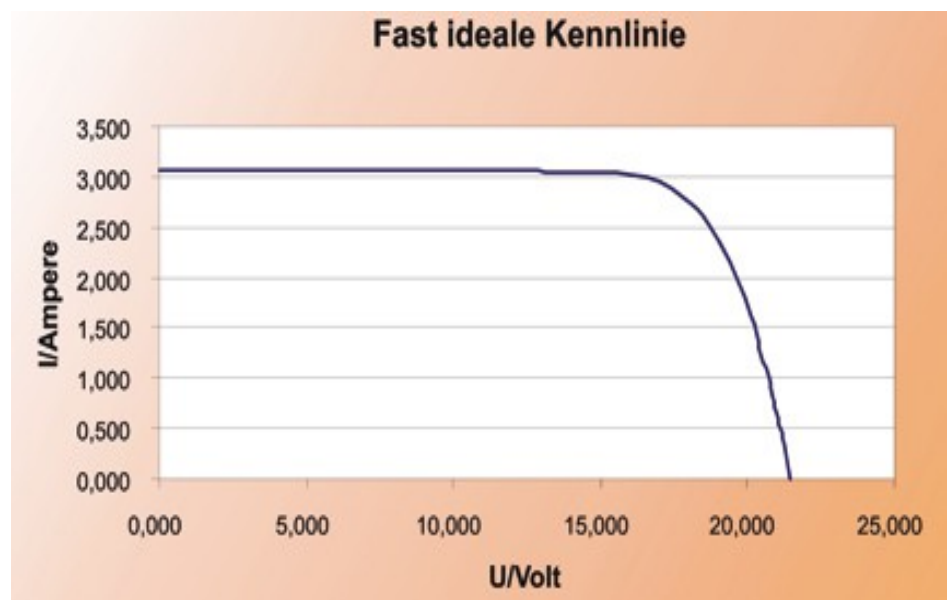
Aufgabe:

Sie sollen ein kompaktes Gerät herstellen, welches im Labor als Speise- bzw. Testgerät eingesetzt werden kann und die Eigenschaften eines PV-Moduls aufweist. Wie bei einer Photovoltaik-Anlage, bei der mehrere Module in Serie zu einem String zusammengeschaltet werden, soll auch Ihr Gerät mit den Geräten anderer Gruppen in Serie geschaltet werden können und so eine ganze PV-Anlage bzw. einen String einer Anlage simulieren können.

Anforderungen:

- Standard-Elektronik für den Betrieb in Laborumgebung, kompaktes "Laborgehäuse"
- Komponentenkosten max. ca. CHF 200.-
- Betrieb ab Netz mit einem käuflichen Speisegerät (eingebaut oder als Kabelnetzgerät) für die Realisierung der Zwischenkreis-DC-Spannung
- Anschluss der Last über zwei Laborbuchsen (+/-) in der Front des Gerätes
- Bedien- und Anzeigeelemente sind "frei" definier- bzw. realisierbar
- Kennlinie in Microcontroller einprogrammiert
- Funktionsprinzip als Schaltregler (keine Längswiderstände / keine unnötigen Verluste)
- Kennlinie des PV-Moduls nebenan ist zu realisieren.

Die Graphik zeigt die Kennlinie bei einer Einstrahlung von 100%.
(Der Kurzschlussstrom ist ca. proportional zur Einstrahlung)



- Die Einstrahlung muss von ca. 20% bis 100% einstellbar sein
- Die Genauigkeit von Strom und Spannung (Rippel) sollte besser +/- 5% sein
- Serieschaltung mit weiteren Geräten muss möglich sein (keine Potenzialbindungen)
- Wirkungsgrad und Kennlinie des Gerätes müssen gemessen und dokumentiert werden.

Wunschziele:

- Kennlinien eines verschmutzten und eines teilabgeschatteten Moduls einprogrammiert
- Kennlinien eines defekten (Zellendefekt) Moduls einprogrammiert

Viel Erfolg ! Auftraggeber: Hans Gysin Fachcoaches: Matthias Meier und Peter Ganzmann

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Theoretische Grundlagen	3
2.1	Solarzellen	3
2.2	Mathematik	4
2.2.1	Berechnung der Solarzellenkennlinie	4
2.2.2	Anpassung der Kennlinie bei verschiedenen Bestrahlungsstärken	4
3	Hardware	6
3.1	Controller	6
3.2	Messschaltung	7
3.3	Regler	8
3.4	Bedienung	9
4	Software	10
4.1	Regelung	10
4.2	Bedienung	11
4.3	Software	12
5	Validierung	13
5.1	Hardware	13
6	Schlusswort	14
A	Anhang	16

1 Einleitung

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Solarzellen

2.2 Mathematik

2.2.1 Berechnung der Solarzellenkennlinie

Gemäss [1] lässt sich die Kennlinie der Solarzelle aus folgenden Parametern berechnen:

$$I_{SC} = 3.09A$$

$$U_{OC} = 22.0V$$

$$I_{Pmax} = 2.90A$$

$$U_{Pmax} = 18.0V$$

Mit diesen Werten können die weiteren Parameter M (Steigung im Leerlaufpunkt), R_{Pv} (Solarzellenwiderstand), U_T (Temperaturspannung) I_0 (Sperrstrom) und I_{Ph} (Photostrom) berechnet werden:

$$M = \frac{U_{OC}}{I_{SC}} \cdot \left(-5.411 \cdot \frac{I_{Pmax} \cdot U_{Pmax}}{I_{SC} \cdot U_{OC}} + 6.450 \cdot \frac{U_{Pmax}}{U_{OC}} + 3.417 \cdot \frac{I_{Pmax}}{I_{SC}} - 4.422 \right) \quad (1)$$

$$= -0.6607$$

$$R_{Pv} = -M \cdot \frac{I_{SC}}{I_{Pmax}} + \frac{U_{Pmax}}{I_{Pmax}} \cdot \left(1 - \frac{I_{SC}}{I_{Pmax}} \right) = 0.2973\Omega \quad (2)$$

$$U_T = -(M + R_{Pv}) \cdot I_{SC} = 1.1228V \quad (3)$$

$$I_0 = I_{SC} \cdot e^{\frac{U_{OC}}{U_T}} = 9.5637nA \quad (4)$$

$$I_{Ph} = I_{SC} = 3.09A \quad (5)$$

Mit den Werten von (1) bis (5) kann nun mit folgender Formel die Kennlinie der Solarzelle berechnet werden:

$$U(I) = U_T \cdot \ln \left(\frac{I_{Ph} - I + I_0}{I_0} \right) - I \cdot R_{Pv} \quad (6)$$

Die Kennlinie, welche in Abbildung 1 dargestellt ist, wurde aus (6) mittels Matlab erzeugt. Dazu wurde die Spannung U auf die x-Achse und der Strom I auf die y-Achse aufgetragen. Abbildung 2 zeigt zum Vergleich die vom Auftraggeber geforderte Kennlinie. Da zwischen den beiden Kennlinien keine Unterschiede bemerkbar sind, wird (6) als gültig betrachtet.

2.2.2 Anpassung der Kennlinie bei verschiedenen Bestrahlungsstärken

Gemäss dem Lastenheft soll es ausserdem möglich sein, die Bestrahlungsstärke in einem Wertebereich von 20% bis 100% einstellen zu können. Bei Abnahme der Bestrahlung verschiebt sich die Kennlinie nach unten, sodass der Stromwert folgendermassen angepasst werden muss:

$$I_{neu} = I + \frac{100 - [\text{Bestrahlungsstärke in Prozent}]}{100} \cdot I_{SC} \quad (7)$$

Beispielhaft wurden mittels Matlab zwei zusätzliche Kennlinien für 60% und 20% dargestellt, zu sehen in Abbildung 3. Die beiden Kennlinien bei verringerter Bestrahlungsstärke verhalten sich bei $I_{neu} > I_{SC}$ unerwünscht, im Programm selbst wird dies jedoch mittels einer if-Prüfung verhindert.

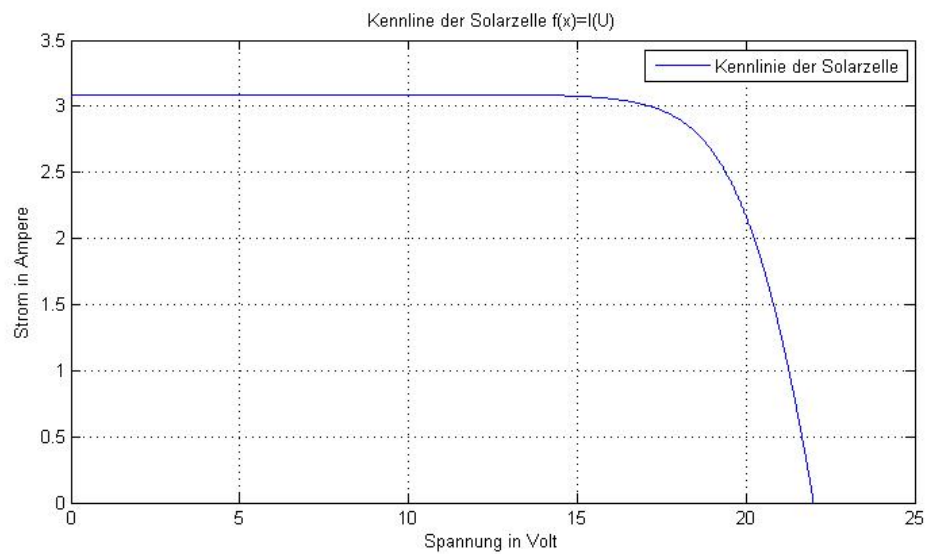


Abbildung 1: Die Kennlinie, welche mittels der Formeln ermittelt wurde.

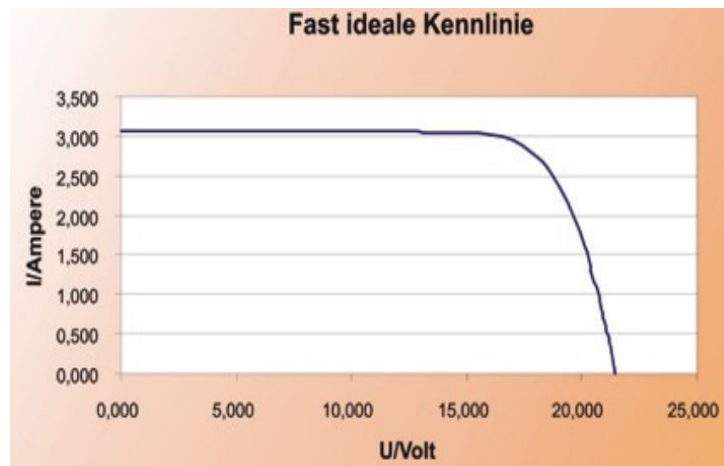


Abbildung 2: Die Kennlinie, welche mittels der Formeln ermittelt wurde.

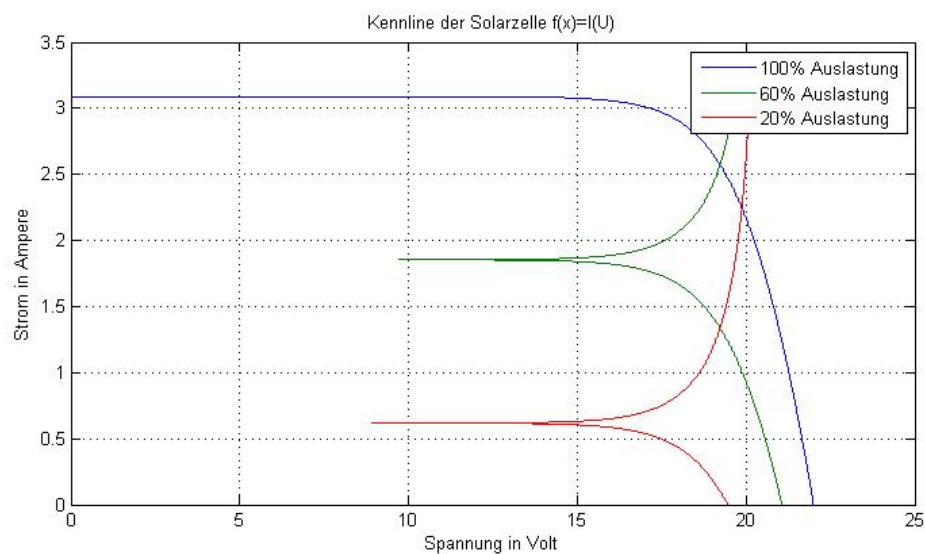


Abbildung 3: Verhalten der Kennlinie bei verschiedenen Bestrahlungsstärken.

3 Hardware

3.1 Controller

3.2 Messschaltung

3.3 Regler

3.4 Bedienung

4 Software

4.1 Regelung

Die Software zur Regelung beinhaltet zwei Integer-Arrays *sauber*[] und *verschmutzt*[], welche mittels der Headerdatei *LookUpTable.h* geladen werden. In diesen beiden Arrays sind die Spannungswerte in Millivolt für die saubere und die schmutzige Solarzelle hinterlegt, jeweils ein Wert alle 10 Milliampere. Der Index entspricht dabei dem jeweiligen Stromwert geteilt durch 10.

Die Werte dazu wurden mittels eines Matlab-Files erstellt, das im Anhang angehängt ist. Die Werte entsprechen dabei der in Formel (6) berechneten Kennlinie.

Im Programm selbst gibt es die Integer *prozent*, welche die aktuelle Bestrahlungsstärke darstellt, und *regelwert*, welcher angibt, wie stark der Regler korrigieren soll.

In der Funktion *main* existieren ausserdem die Integer *messU* für die gemessene Spannung am Spannungsteiler, *istU* für die berechnete Ausgangsspannung, *sollU* für den zum Stromwert passenden Spannungswert, *messI* für die gemessene Spannung am Eingang des Controllers für die Strommessung und *istI*, worin der berechnete Ausgangsstrom gespeichert ist. Sämtliche Variablen repräsentieren dabei die Werte in Millivolt bzw. Milliampere.

Zur Realisierung der Umschaltung zwischen *sauber* und *verschmutzt* sind ausserdem noch der Integer *modus* sowie die beiden hinterlegten Werte? *MODUSSAUBER* und *MODUSVERSCHMUTZT* vorhanden.

Die Routine zur Regelung wird mittels einem Vergleich ausgeführt, welcher sich alle 1ms (eventuell nachträglich anpassen) wiederholt. Dabei werden zuerst aus den gemessenen Werten *messU* und *messI* die aktuellen Werte am Ausgang des Gerätes *istU* und *istI* berechnet.

Anschliessend wird der Wert *istI* mit der Beleuchtungsstärke *prozent* verrechnet, um die Kennlinie entsprechend zu verschieben. Wie das genau funktioniert ist im Kapitel Verweis auf Matheteil ausführlich beschrieben.

Der so erhaltene Wert muss nun auf dem Wertebereich der *LookUpTable.h* abgeglichen werden. Dazu werden zu grosse oder zu kleine Werte auf den Maximal- beziehungsweise Minimalwert korrigiert und anschliessend die Genauigkeit auf 10 Milliampere angepasst.

Das Programm prüft nun, ob in der Variabel *modus* der Wert *SAUBER* oder *VERSCHMUTZT* hinterlegt ist. Je nachdem welcher Modus gewählt ist wird der Referenzwert für *sollU* aus dem Array *sauber*[] oder *verschmutzt*[] geladen. Die Indexposition entspricht dabei dem oben angepassten Wert des Stromes *istI*. Der Spannungswert von *sollU* entspricht nun der Spannung, welche bei diesem Strom gemäss der Formel (6) auftreten sollte.

Der aktuelle Spannungswert am Ausgang *istU* wird nun mit dem Referenzwert *sollU* verglichen. Falls *istU* grösser als *sollU* ist, wird *regelwert* negativ. Um die Regelung genauer zu gestalten, sind für *regelwert* zwei mögliche negative Werte möglich: -1 für ein langsames verringern der Spannung und -2 für ein schnelles verringern der Spannung. Zu diesem Zweck wird ein neuer Integer *differenz* erstellt, welcher die Differenz zwischen *istU* und *sollU* beinhaltet. Falls diese Differenz grösser als 200 Millivolt ist, wird die Spannung schnell verringert, also wird für *regelwert* der Wert -2 gesetzt. Falls dies nicht der Fall ist, wird für *regelwert* der Wert -1 gesetzt.

Falls *sollU* grösser als *istU* ist, wird für *regelwert* ein positiver Wert gesetzt, der ebenfalls zwei Abstufungen kennt. Dies funktioniert jedoch gleich wie bei negativen Werten von *regelwert*.

Falls *sollU* und *istU* den selben Wert haben wird für *regelwert* eine 0 gesetzt. Das bedeutet, dass der Regler selbst nicht verändert werden soll.

Ergänzen um Teil zur Ansteuerung des Reglers (Sturm)

4.2 Bedienung

4.3 Software

5 Validierung

5.1 Hardware

6 Schlusswort

Literatur

- [1] A. Wagner, *Photovoltaik Engineering*. Springer Verlag, 2010.

A Anhang