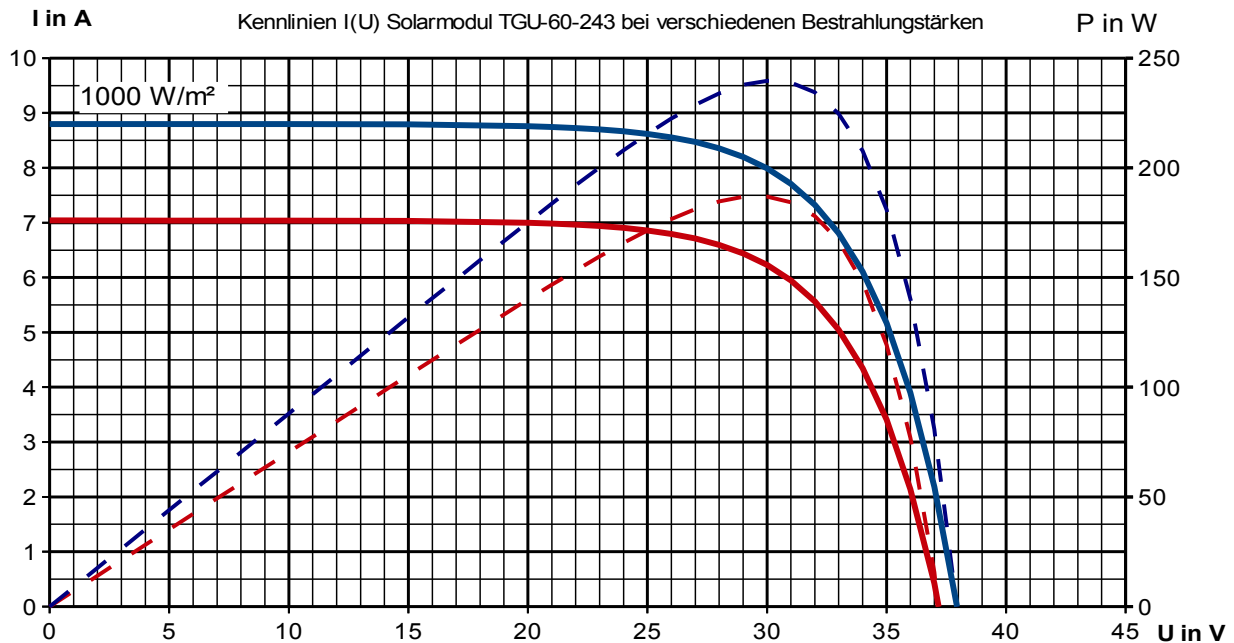
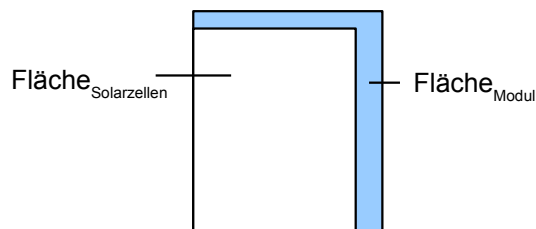


1 Kennlinien eines Solarmoduls



- 1.1 Bestimmen Sie die Werte Kurzschlussstrom I_{SC} , Leerlaufspannung U_{OC} , Kennwerte im MPP I_{MPP} , U_{MPP} , P_{MPP} der Modulkennlinie bei 1000 W/m^2 und geben Sie an, an welchen Stellen Sie diese Werte im Diagramm ablesen.
- 1.2 Wie erhalten Sie die $P(U)$ -Kennlinie aus der $I(U)$ -Kennlinie?
- 1.3 Begründen Sie, bei welcher Bestrahlungsstärke die zweite angegebene Kennlinie $I(U)$ gilt.
- 1.4 Zeigen Sie, dass ein Modul aus 60 Zellen besteht.
- 1.5 Im Labor haben Sie eine Solarzelle dieses Moduls zur Verfügung. welchen Kurzschlussstrom und welche Leerlaufspannung würden Sie bei der uns zur Verfügung stehenden Bestrahlungsstärke von 200 W/m^2 messen .
- 1.6 Auf dem Solarmodul gibt es zwischen den Solarzellen und am Modulrand solarzellenfreie Flächen. Dadurch ist die (durch die Sonne) auf die Modulfläche zugeführte Energiemenge $W_{zuModul}$ größer als die Energiemenge $W_{zuSolarzellen}$, die auf die (kleinere) Fläche der 60 Solarzellen einstrahlt.
 Der Modulwirkungsgrad ist damit kleiner als der Solarzellenwirkungsgrad. Zusätzlich entstehen Verluste durch die Verbindungen der Solarzellen.
 Berechnen Sie den Zellwirkungsgrad, wenn eine der 60 Zellen $156 \times 156 \text{ mm}$ groß und der Modulwirkungsgrad mit $15,2 \%$ bei einer Modulgröße von $1640 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$ angegeben wird. Verbindungen und Leitungen auf dem Modul verschlechtern den Modulwirkungsgrad um $0,2\%$.

Ansatz: $\frac{W_{zuModul}}{Fläche_{Modul}} = \dots$



2 Projektierung einer Solaranlage

Mit $\Delta T = T_2 - 25^\circ\text{C}$ gilt: $U(T_2) = U_{25^\circ\text{C}} \cdot (1 + TK_{U_{oc}} \cdot \Delta T)$

Daten eines Moduls des Typs TGU-60-243

Daten bei Standard-Testbedingungen STC			Temperaturverhalten	
Kurzschlussstrom	I_{sc}	8,8 A	$TK_{U_{oc}}$	-0,37 %/K
Leerlaufspannung	U_{oc}	37,9 V		
Strom im MPP	I_{MPP}	8 A		
Spannung im MPP	U_{MPP}	30,4 V	Modulabmessungen	
Leistung im MPP	P_{MPP}	243 W	1640 mm x 1000 mm	
Modulwirkungsgrad	η_{Modul}	15,2 %		

Auf einer Dachfläche von 6,0 m x 5,0 m sollen möglichst viele dieser Module angeordnet werden. Die Gesamtspannung soll im MPP (STC) und bei der Leerlaufspannung (STC) im Bereich zwischen 240 V und 310 V liegen.

- 2.1 Zeigen Sie, dass Sie maximal 16 Module sinnvoll elektrisch verschalten können und geben Sie an, wie viel Module Sie maximal auf dem Dach unterbringen könnten.
- 2.2 Berechnen Sie die Gesamtspannung der Anlage im Leerlauf und im MPP sowie den Gesamtstrom im Kurzschluss und im MPP und skizzieren Sie die sich ergebende I(U)-Kennlinie der Gesamtanlage auf das Arbeitsblatt. (2 Seiten weiter hinten)

Zur Kontrolle ist punktiert die P(U)-Kennlinie bei 1000 W/m² eingezeichnet.

- 2.3 Berechnen Sie die Spannungen im Leerlauf und im MPP bei +75°C und -10°C. Zeichnen Sie die sich ergebenden Kennlinien bei +75°C und -10°C in das Diagramm auf dem Arbeitsblatt ein (Skizze). Annahme: Der Strom ändert sich praktisch nicht mit der Temperatur.
- 2.4 Zeichnen Sie die Kennlinie bei STC und Schwachlicht von 100 W/m² in das Diagramm ein. Bei Einstrahlungen größer als 1000 W/m² kann der 1,25-fache Kurzschlussstrom von I_{STC} auftreten.
- 2.5 Zeichnen Sie durch gerade senkrechte und waagerechte Linien die Grenzwerte ein, die der Wechselrichter erfüllen muss: $U_{MPP-min}$, $U_{MPP-max}$, U_{OC-max} , I_{max} .
- 2.6 Ermitteln Sie, für welche Leistung der Wechselrichter ausgelegt sein sollte.

Es wird ein Wechselrichter mit der gegebenen Leistungshyperbel verwendet. Wenn bei niedriger Temperatur und großer Strahlungsleistung die Maximalleistung der Anlage 4200 W überschreiten möchte, wird die Leistung durch den Wechselrichter begrenzt.

- 2.7 Erklären Sie, wie man aus der Leistungshyperbel die Leistung des Wechselrichters abliest, wenn diese nicht als Zahlenwert angegeben ist.
- 2.8 Warum dürfen sich die Kennlinie P(U) der Solaranlage und die Leistungshyperbel des Wechselrichters schneiden?
- 2.9 Berechnen Sie die Monatserträge der Anlage im Dezember und im Juni sowie den Jahresertrag. Standort Karlsruhe, Ausrichtung Südost, Modulneigung 60°, 16 Module, Wirkungsgrad des Wechselrichters inkl. Zuleitungen: 93%.
- 2.10 Geben Sie an, wie Sie die Erträge entweder für die Sommer- oder die Wintermonate optimieren.

3 Wechselrichter

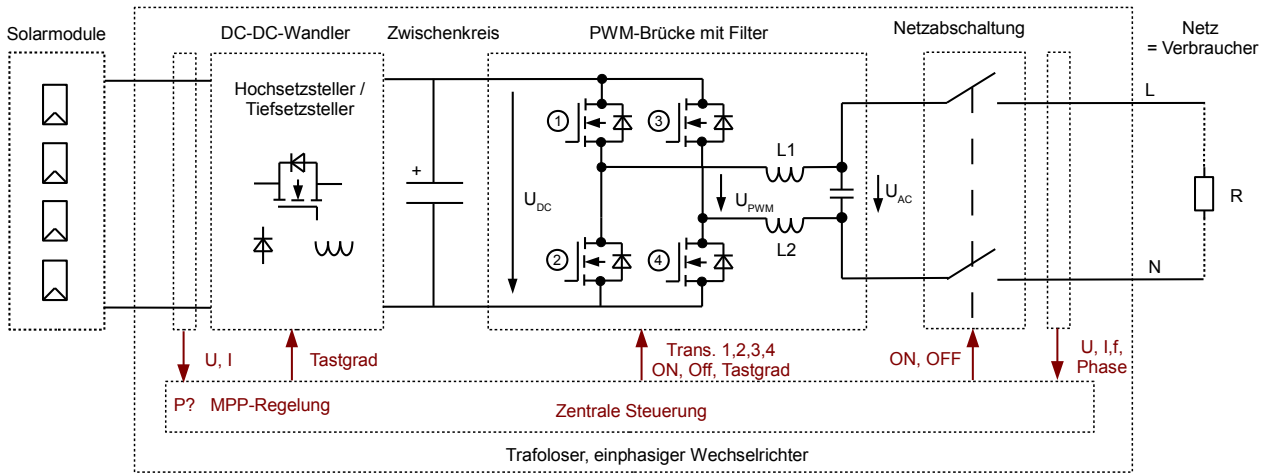
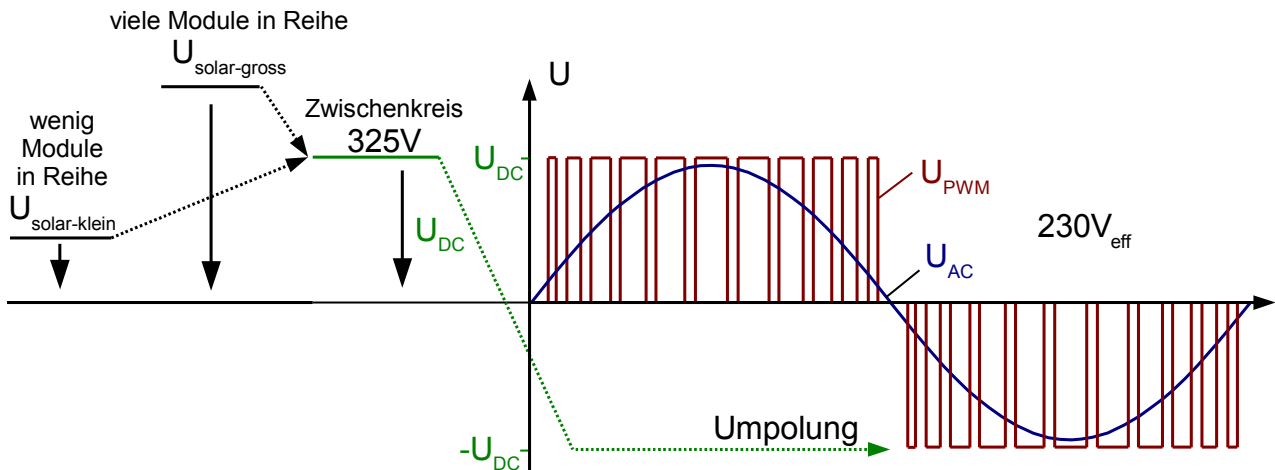
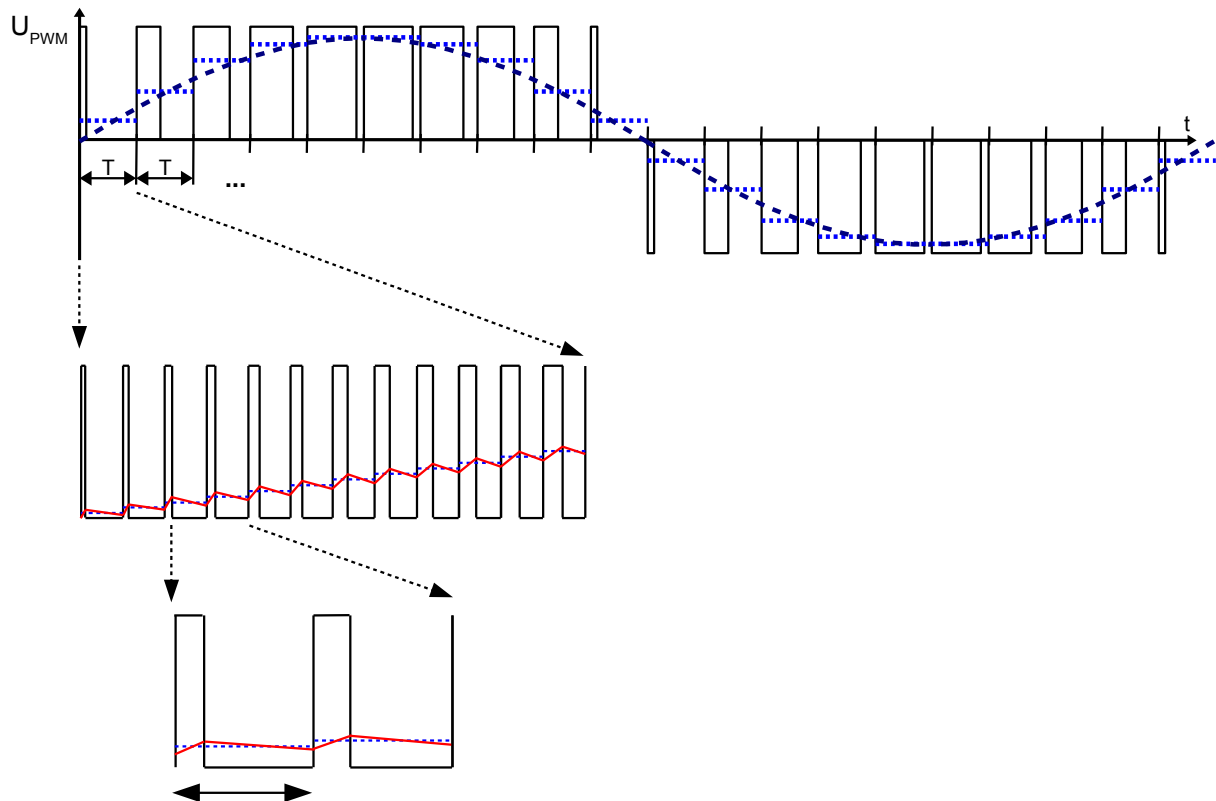


Abbildung 1: Blockschaltbild eines traflosen, einphasigen Wechselrichters

- 3.1 Nennen Sie 5 Aufgaben eines Wechselrichters.
- 3.2 Erklären Sie den Begriff und die Funktionsweise des MPP-Trackings.
- 3.3 Geben Sie an, welche Transistoren jeweils bei der positiven und negativen Halbwelle der Wechselfspannung durchschalten und geben Sie für beide Halbwellen die Wege und die Richtungen der fließenden Ströme an.
- 3.4 Beschriften bzw. erklären Sie die unten stehende Abbildung:
 Welche Komponenten des Wechselrichters übernehmen welche Spannungsumsetzungen?
 Erklären Sie dabei auch, bei welchen Komponenten die Spannungen U_{Solar} , U_{DC} , U_{PWM} , U_{AC} auftreten.



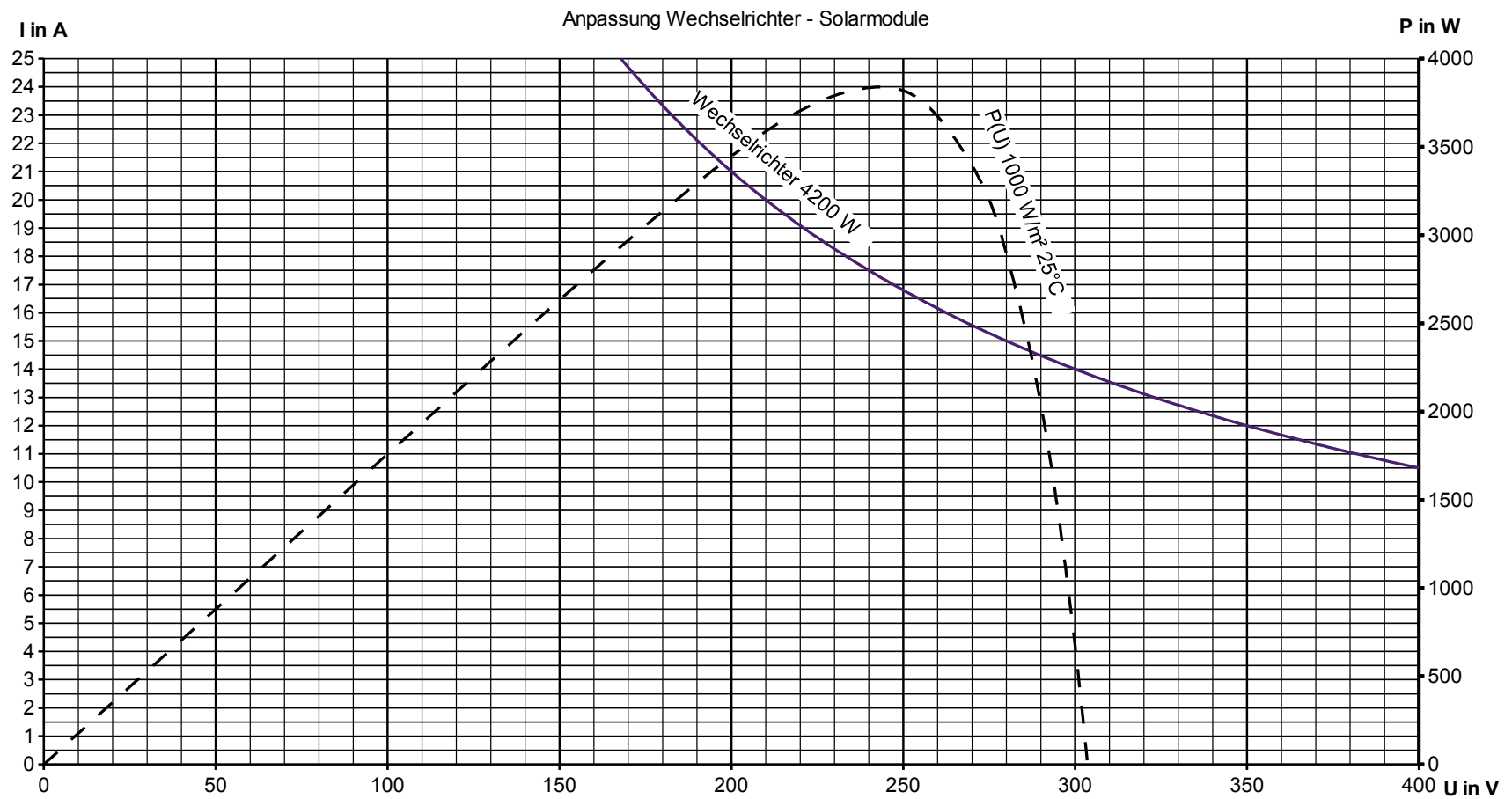
- 3.5 Erklären Sie die folgenden Diagramme.
Verwenden Sie dabei folgende Begriffe: Zwischenkreisspannung, PWM, Mittelwert, Tastgrad, Transistor(en), Spulen, Spannung, Strom.



- 3.6 Nach neuesten Vorschriften müssen Wechselrichter auch Blindleistung kompensieren können. Geben Sie an, was man unter Blindleistungskompensation versteht und wodurch Blindleistung entsteht.

Arbeitsblatt:

Anlagendaten		STC (Aufg 2.2)	-10° C (Aufg 2.3)	+75° C (Aufg 2.3)
Kurzschlussstrom	I _{sc} in A			
Leerlaufspannung	U _{oc} in V			
Strom im MPP	I _{MPP} in A			
Spannung im MPP	U _{MPP} in V			



Moduldaten des Typs TGU-66-150

Mit $\Delta T = T_2 - 25^\circ\text{C}$ gilt: $U(T_2) = U_{25^\circ\text{C}} \cdot (1 + TK_{U_{oc}} \cdot \Delta T)$

Daten bei Standard-Testbedingungen STC			Temperaturverhalten	
Kurzschlussstrom	I_{sc}	5,3 A	$TK_{U_{oc}}$	-0,39 %/K
Leerlaufspannung	U_{oc}	39,8 V		
Strom im MPP	I_{MPP}	4,69 A	Modulabmessungen	
Spannung im MPP	U_{MPP}	32 V	1450 mm x 810 mm	
Leistung im MPP	P_{MPP}	150 W		
Modulwirkungsgrad	η_{Modul}	13,5 %	Zellengröße	
Zellenwirkungsgrad	η_{Zelle}	16 %	125 mm x 125 mm	

4 Kennlinien

Auf dem Arbeitsblatt sind die Kennlinien $I(U)$ und gestrichelt $P(U)$ der **Gesamtschaltung aller Module** einer PV-Anlage dargestellt.

- 1P 4.1 Wie erhalten Sie die $P(U)$ -Kennlinien aus den $I(U)$ -Kennlinien?
 Geben Sie ein Beispiel mit Zahlenwerten an.
- 2P 4.2 Begründen Sie, bei welcher Bestrahlungsstärke die zweite angegebene Kennlinie $I(U)$ gilt.
- 2,5P 4.3 Ermitteln Sie den Kurzschlussstrom I_{sc} , die Leerlaufspannung U_{oc} , die Kennwerte im MPP I_{MPP} , U_{MPP} , P_{MPP} der Kennlinie bei 1000 W/m^2 und kennzeichnen Sie, an welchen Stellen Sie diese Werte im Diagramm ablesen.
- 2P 4.4 Ermitteln Sie, wie viele Module verwendet werden und wie diese verschaltet sind.
- 1P 4.5 Aus wie viel **Solarzellen** besteht ein Modul?
- 2P 4.6 Begründen Sie die Abweichung der beiden Wirkungsgrade η_{Modul} und η_{Zelle} .
 (Anleitung: Beachten Sie die Modul- und die Zellengrößen)

5 Projektierung der Solaranlage und Ertragsberechnung

- 3P 5.1 Berechnen Sie die **Gesamtspannungen der Anlage** im Leerlauf und im MPP bei $+75^\circ\text{C}$ und -10°C . Zeichnen Sie die sich ergebenden Kennlinien bei $+75^\circ\text{C}$ und -10°C in das Diagramm auf dem Arbeitsblatt ein (Skizze).
 Annahme: Der Strom ändert sich praktisch **nicht** mit der Temperatur.
- Bei Einstrahlungen größer als 1000 W/m^2 kann der 1,25-fache Kurzschlussstrom von I_{STC} auftreten.
- 1P 5.2 Zeichnen Sie durch gerade senkrechte und waagerechte Linien die Grenzwerte ein, die der Wechselrichter erfüllen muss: $U_{MPP-min}$, $U_{MPP-max}$, U_{OC-max} , I_{max} .
- 2P 5.3 Ermitteln Sie, für welche Leistung der Wechselrichter ausgelegt sein muss. Skizzieren Sie die $I(U)$ -Leistungshyperbel in das Diagramm mithilfe von ca. 3 Werten.
- 3P 5.4 Berechnen Sie den Monatsertrag der Anlage im Juli sowie den Jahresertrag bei der Modulneigungen 30° , Südwestausrichtung, Standort Karlsruhe, 18 Module.
 Der Wirkungsgrad des Wechselrichters inkl. Zuleitungen beträgt 94%.

6 Wechselrichter

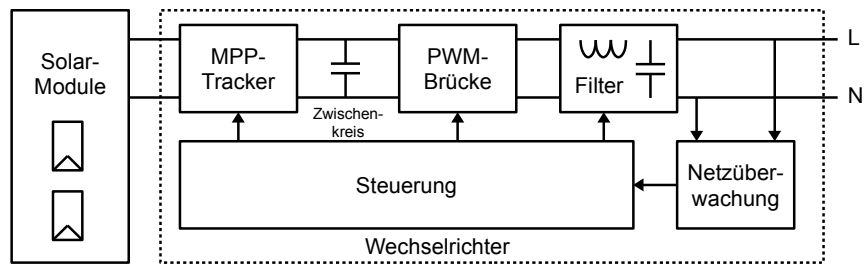


Abbildung 2: Blockschaltbild eines Wechselrichters

- 2,5P 6.1 Nennen Sie 5 Aufgaben eines Wechselrichters.
 2P 6.2 Erklären Sie den Begriff und die Funktionsweise des MPP-Trackings.

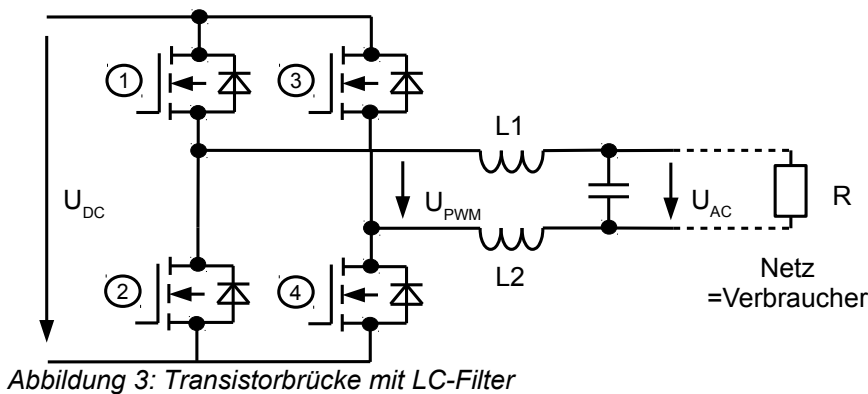
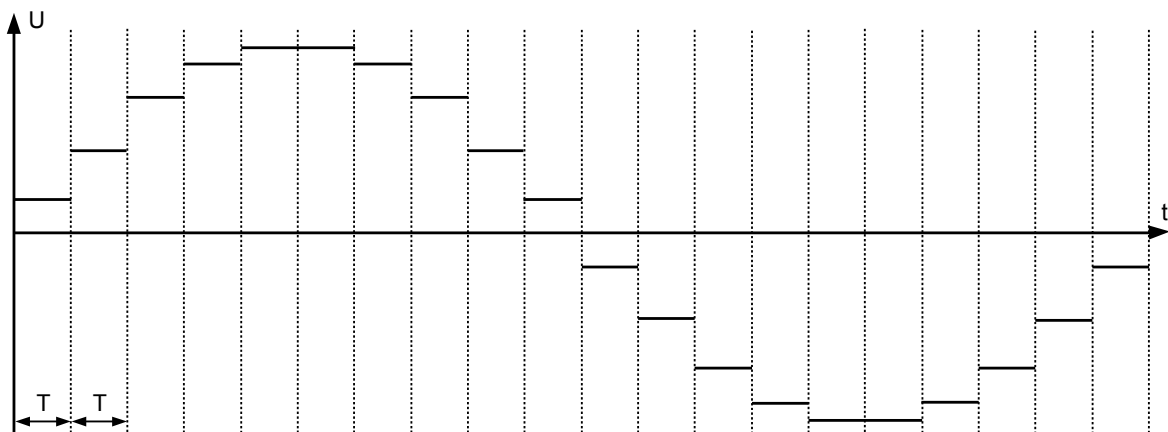


Abbildung 3: Transistorbrücke mit LC-Filter

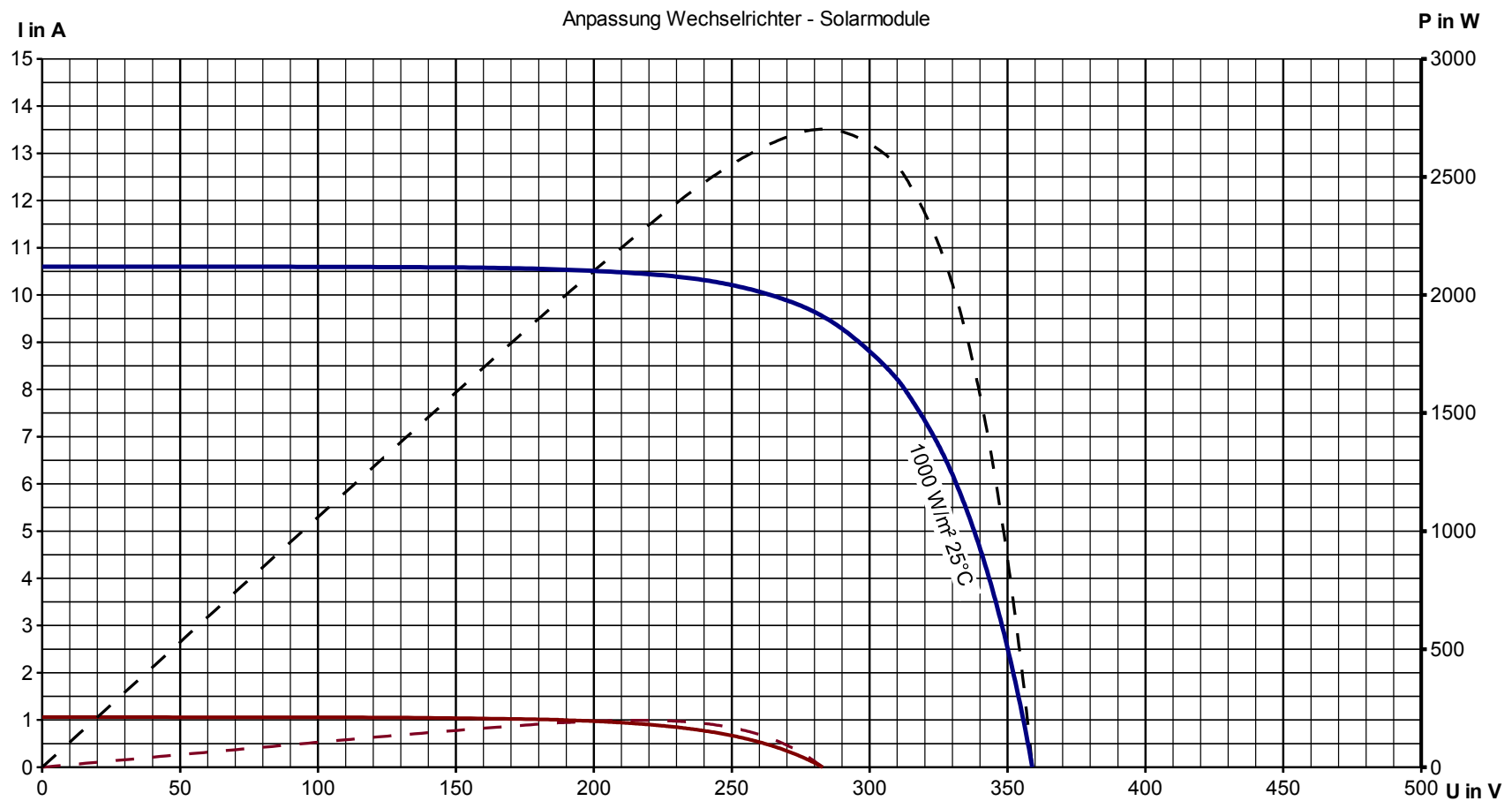
- 3P 6.3 Geben Sie an, welche Transistoren jeweils bei der positiven und negativen Halbwelle der Wechselfspannung durchschalten und zeichnen Sie für beide Halbwellen die Wege und die Richtungen der fließenden Ströme ein.
 2P 6.4 Im dargestellten Diagramm sind die Spannungsmittelwerte des erzeugten PWM-Signals dargestellt. Zeichnen Sie das zugehörige PWM-Signal und die Spannung U_{AC} ein.



- 1P 6.5 Welche Aufgabe haben die Spulen L1 und L2 ?

Arbeitsblatt

Anlagendaten		STC (Aufg 4.3)	-10° C (Aufg 2.3)	+75° C (Aufg 2.3)
Kurzschlussstrom	I _{sc} in A			
Leerlaufspannung	U _{oc} in V			
Strom im MPP	I _{MPP} in A			
Spannung im MPP	U _{MPP} in V			



7 PV-Anlage: Einstrahlung-Ertrag-Wirkungsgrad

An einem durchschnittlichen Standort in Deutschland kann man im Mittel mit einer jährlichen solaren Einstrahlungsertrag von $1050 \text{ kWh} / \text{m}^2$ rechnen. Dabei beträgt das Maximum der solaren Einstrahlung typischerweise 1000 W/m^2 .

(Dieses Maximum tritt, bei optimaler Ausrichtung des Solargenerators, an einem sehr klaren Sonnentag um die Mittagszeit auf).

Wir nehmen nun an, dass wir an diesem Ort einen hochwertigen Solargenerator aufstellen, der diese eingestrahlte Solarenergie mit einem mittleren Jahreswirkungsgrad von $\eta_{\text{Gen}} = 14\%$ in elektrische Energie umwandelt.

- 7.1 Berechnen Sie die elektrische Jahresenergie, die von einer PV-Anlage mit einer Generatorfläche von 2 m^2 erzeugt wird.
- 7.2 Ermitteln Sie die Spitzenleistung dieses PV-Generators.
- 7.3 Bestimmen Sie die elektrische Jahresenergie eines Modul mit der Nenn-Spitzenleistung von 50 W .
- 7.4 Berechnen Sie die Fläche des PV-Generators.
- 7.5 Ermitteln Sie die Fläche, die ein PV-Generator für eine Spitzenleistung von 1 kWp besitzen muss.

Es wird nun behauptet, dass ein mit einer Spitzenleistung von 1 kWp ausgestattetes PV-System eine elektrische Jahresenergie von 750 kWh an den Verbraucher abgeben könne.

- 7.6 Bestimmen Sie den mittleren Jahreswirkungsgrad η_{sys} des Energiesystems, das dem Generator nachgeschaltet ist. (Wechselrichter, Leitungen, ...)

Nachfolgend werden nun drei verschiedene Generatorgrößen miteinander verglichen:

- Generator 1 mit einer Fläche von 2 m^2
- Generator 2 mit einer Spitzenleistung von 50 Wp
- Generator 3 mit einer Spitzenleistung von 1 kWp

- 7.7 Berechnen Sie die elektrischen Tageserträge, die von den drei unterschiedlichen PV-Systemen an einem schönen Sonnentag mit einer Tageseinstrahlung von $5,5 \text{ kWh/m}^2$ und an einem trüben Tag mit einer Tageseinstrahlung von $0,7 \text{ kWh/m}^2$ erzeugt werden.
- 7.8 Ermitteln Sie die elektrischen Leistungen der drei unterschiedlichen Generatoren.
- 7.9 Vergleichen Sie die Energiemengen, die jeweils im nachgeschalteten PV- System verloren gehen.

8 Photovoltaik

Im Umland von Berlin befindet sich eine Ferienanlage mit drei Ferienhäusern. In der folgenden Tabelle sind die Ausrichtungen und Dachneigungen gegeben. Auf einem der Gebäude soll eine Photovoltaikanlage (Insellösung) installiert werden. Der Energiebedarf der Ferienanlage beträgt im Monat Oktober 432 kWh.

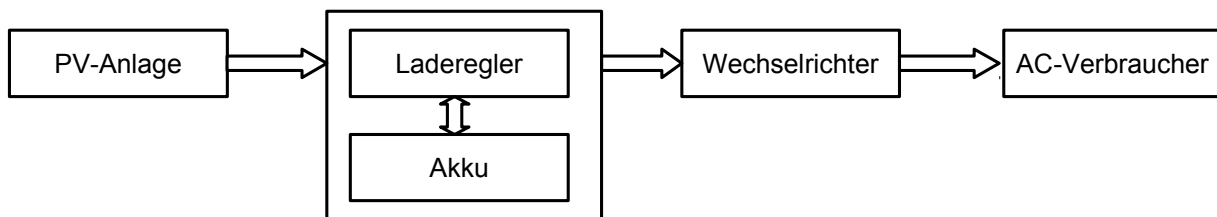
Anmerkung: Die geeigneten Korrekturfaktoren für die Ausrichtung des Gebäudes sowie den Neigungswinkel des Daches bestimmen sich aus den Formelsammlungswerten für Karlsruhe. Folgende Moduldaten sind gegeben:

Moduls ST 0235W	STC	NOCT
P_{MPP}	235 W	179 W
U_{MPP}	29,5 V	27,5 V
U_{OC}	36,6 V	34,2 V
I_{SC}	8,66 A	6,96 A
TK_U	-0,34 %/K	
Wirkungsgrad	15,7 %	

Gebäude →	Nr 1:	Nr 2:	Nr 3:
Ausrichtung des Gebäudes	0°	0°	-75°
Neigungswinkel des Daches	8°	20°	30°

Wirkungsgradangaben: Wechselrichter: 97 % Laderegler und Akkumulator: 100 %
Akkumulator Daten: $U_0=12\text{ V}$ $W=1440\text{ Wh}$ maximale Entladetiefe: 10 %

Blockschaltbild der Inselanlage:



- 8.1 Ermitteln Sie das für die Photovoltaikanlage am besten geeignete Gebäude aus den drei angegebenen Häusern der Ferienanlage. Begründen Sie ihre Entscheidung anhand des Diagramms „Mittlere jährliche globale Einstrahlungssumme Standort Berlin“.
- 8.2 Erläutern Sie, warum der Korrekturfaktor im Monat Oktober größer ist als im Monat Juni.
- 8.3 Bestimmen Sie den durchschnittlichen Tagesbedarf der Energie im Monat Oktober für Gebäude Nr 2.
- 8.4 Bestimmen Sie die benötigte Anzahl der Module für Gebäude Nr 2, um den Monatsbedarf im Oktober zu decken.
Anmerkung: Dachfläche ist ausreichend groß.
- 8.5 Berechnen Sie den Wirkungsgrad eines Photovoltaikmoduls unter NOCT.
- 8.6 Der Wechselrichter der Anlage kann eine maximale Eingangsspannung von 420 V verarbeiten.
 Ermitteln Sie zunächst mithilfe der Faustformeln die maximale Anlagenspannung.
 Berechnen Sie dann, wie viele Module zu einem Strang verschaltet werden müssen und wie viele Stränge benötigt werden.
 Alle Stränge müssen dabei aus gleich viel Modulen bestehen.
- 8.7 Berechnen Sie die Leerlaufspannung und die Spannung im MPP der Anlage für -10 °C und

1000 W/m² und zeichnen Sie die zugehörige Anlagenkennlinie in das Arbeitsblatt ein.

Auf dem Arbeitsblatt sind die zulässigen Arbeitsbereiche des Wechselrichters angegeben.

- 8.8 Berechnen Sie den Kurzschlussstrom I_{SC} der Anlage für 75 °C und 100 W/m² und zeichnen Sie die zugehörige Anlagenkennlinie in das Arbeitsblatt ein. Beurteilen Sie ob der Wechselrichter unter diesen Bedingungen im zulässigen Bereich betrieben wird und begründen Sie ihre Antwort.

Anmerkung: Die Temperaturabhängigkeit des Stroms kann vernachlässigt werden.

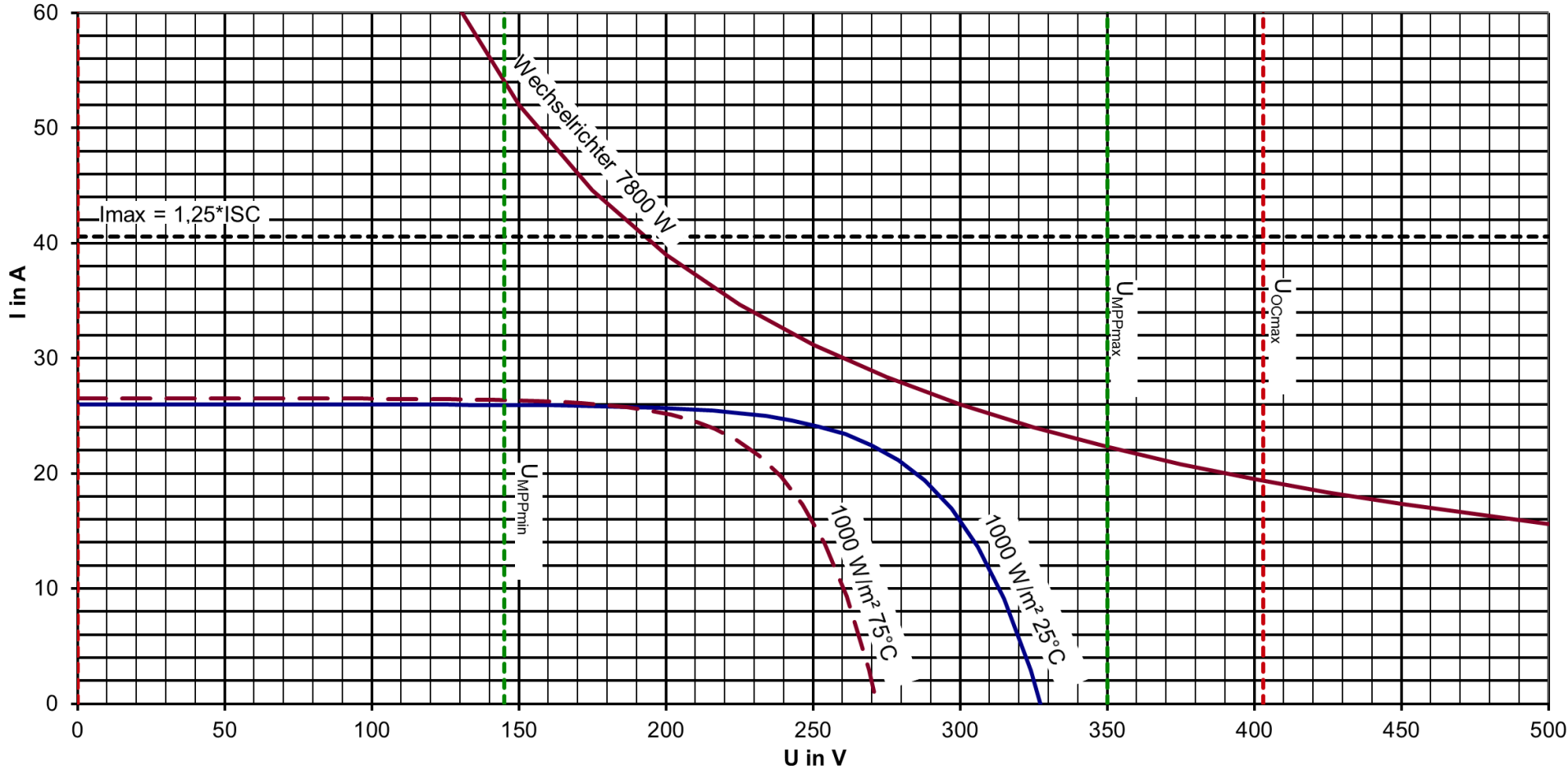
- 8.9 Der Energiespeicher der Insellösung besteht aus mehreren Akkumulatoren. Die angegebenen Werte für U_0 und W gelten für einen Akku. Berechnen Sie die Anzahl der benötigten Akkumulatoren, um eine Überbrückungszeit von acht Stunden ($W_{8\text{Stunden}} = 4,63\text{kWh}$) zu gewährleisten.

Anmerkung: Die Spannungsanpassung übernimmt ein geeigneter Laderegler.

Weitere Fragestellungen (können wir erst in 2 Monaten beantworten):

- 8.10 Im Winter reicht die Sonnenscheindauer nicht aus, um die Akkumulatoren zu laden. Bei einem Akkustand von 10% lädt ein Not-Strom-Aggregat mit Dieselmotor den Energiespeicher auf 45% auf.
- 8.11 Skizzieren Sie den Kreisprozess des Dieselmotors und benennen Sie die Zustandsänderungen.
- 8.12 Kreisprozesstabelle ist gegeben und Druck im Zustand 3 ist zu berechnen.
- 8.13 Berechnung Masse der angesaugten Luft.
- 8.14 Wirkungsgrad-Kennfeld ist gegeben, um Sankydiagramm ergänzen (Wirkungsgrad Generator geben).
- 8.15 Heizwert und Wirkungsgrad zur Dieserverbrauchsbestimmung.

Anpassung Wechselrichter - Solarmodule



9 Photovoltaik (Abi 13/14)

Hinweis: Blockschaltbild eines Wechselrichters in der Formelsammlung.

Aufgaben eines Wechselrichters

9.1 Nennen Sie drei Aufgaben eines Wechselrichters.

2

Wechselrichter können auch Blindleistung kompensieren.

9.2 Stellen Sie dar, wodurch Blindleistung entsteht und wie sie kompensiert wird.

3

PWM-Brücke im Wechselrichter

Im Wechselrichter kommt eine Brückenschaltung zum Einsatz, deren Ausgangsspannung $U_{1_{PWM}}$ auf dem Arbeitsblatt dargestellt ist. Eine nachgeschaltete Filterschaltung erzeugt eine analoge Spannung, indem sie näherungsweise die arithmetischen Mittelwerte der Ausgangsspannung $U_{1_{PWM}}$ über die Zeiträume T bildet.

9.3 Skizzieren Sie auf dem Arbeitsblatt abschnittsweise die arithmetischen Mittelwerte der Spannung $U_{1_{PWM}}$.

2

Anleitung: Jeweils einen Mittelwert über einen Abschnitt T abschätzen.

Kennwerte von Solarzellen

Auf dem Arbeitsblatt sind die Daten und die I-U-Kennlinie der verwendeten Solarmodule dargestellt.

9.4 Berechnen Sie die Leistungen eines Solarmoduls bei folgenden Spannungswerten:
 $0\text{ V} / 25\text{ V} / 27\text{ V} / 29,5\text{ V} / 31\text{ V} / 35\text{ V} / 36,6\text{ V}$.

3

Konstruieren Sie mit den errechneten Werten die Leistungskennlinie $P(U)$.
Zeichnen Sie diese in das Diagramm auf dem Arbeitsblatt ein.

9.5 Zeichnen Sie die Punkte I_{SC} , U_{OC} , I_{MPP} , U_{MPP} , P_{MPP} in das Diagramm ein.

2

9.6 Ergänzen Sie das Diagramm durch eine Skizze der Solarmodulkennlinie, die sich bei halber Bestrahlungstärke (500 W/m^2) ergibt. Erklären Sie den Kennlinienverlauf.

2

9.7 Erklären Sie den Begriff und die Notwendigkeit des MPP-Tracking.

3

Projektierung der Module auf dem Dach

Eine Dachfläche von $6\text{ m} \times 9\text{ m}$ wird mit den auf dem Arbeitsblatt angegebenen Modulen belegt. Die Spannung am Wechselrichter soll in den Betriebszuständen STC und NOCT im Bereich zwischen 400 V und 660 V liegen.

9.8 Bestimmen Sie die notwendige Anzahl der Module. Begründen Sie die Verschaltung der Module.

3

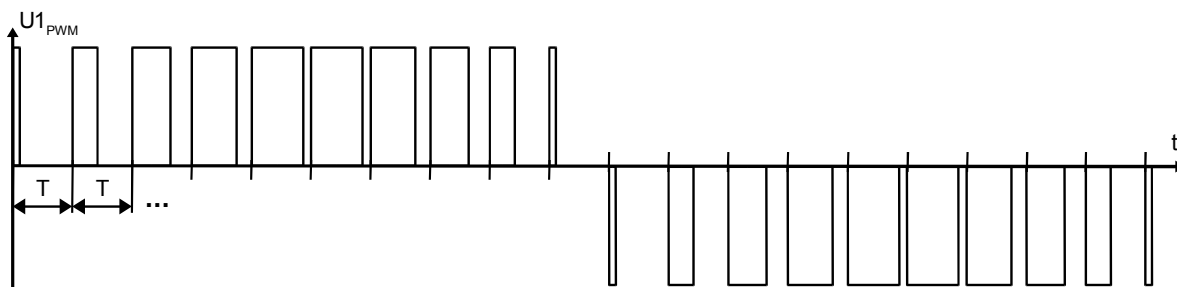
9.9 Ermitteln Sie die Nennleistung der Gesamtanlage und den Modulwirkungsgrad bei STC- oder NOCT-Bedingungen.

2

Punkte

Arbeitsblatt

zu Aufgabe 9.3:

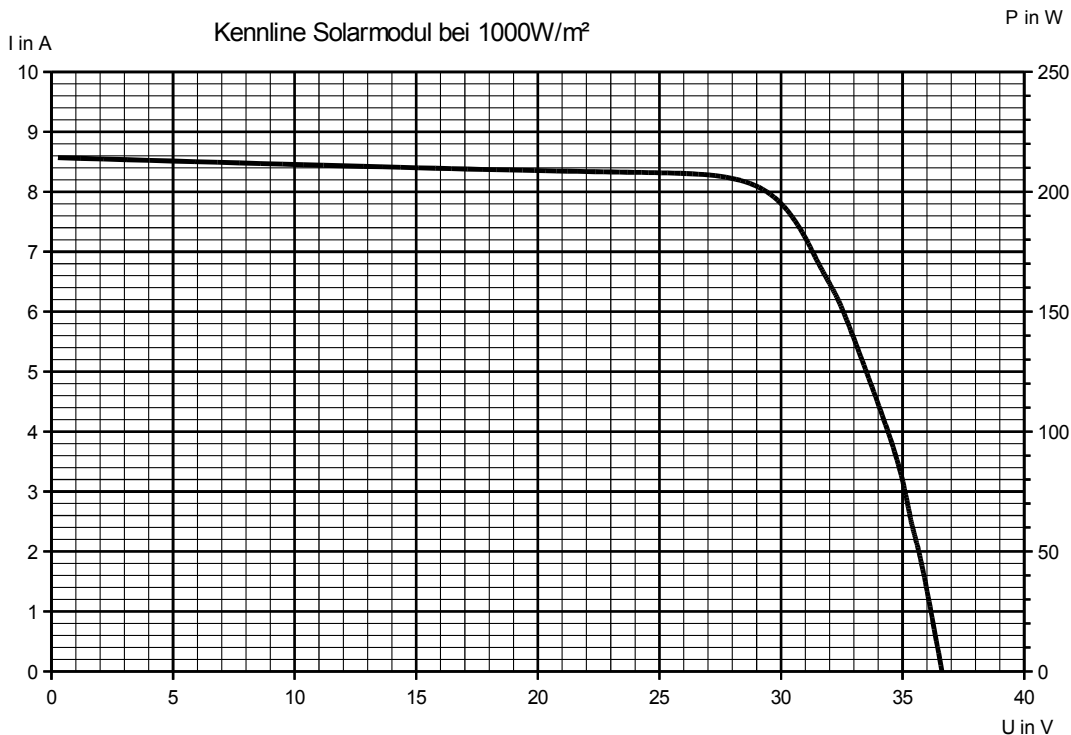


zu den Aufgaben 9.4, 9.5, 9.6:

Daten Solarmodul: Modulmaße 1500mm x 1000mm

Elektrische Daten		@STC	@NOCT	Einheit
Nennleistung	P_{MPP}	235	179	W_P
Nennspannung im MPP	U_{MPP}	29,5	27,5	V
Leerlaufspannung	U_{0C}	36,6	34,2	V
Kurzschlussstrom	I_{SC}	8,66A	6,96	A

Standardtestbedingungen STC (Luftmasse AM 1,5, Einstrahlung $1000W/m^2$, Zelltemperatur $25^{\circ}C$)
 Nennbetriebstemperatur NOCT ($800W/m^2$, AM 1,5, Windlast 1m/s, Umgebungstemperatur $20^{\circ}C$)



10 Netzgekoppelte PV-Anlage (wie Abi14/15)

Die I(U)- und die P(U)-Kennlinie der gesamten PV-Anlage bei STC sind auf dem Arbeitsblatt angegeben (Bild 1). Die Daten der einzelnen Solarmodule entnehmen Sie dem nebenstehenden Datenblattauszug.

Datenblattauszug Solarmodul	
Elektrische Werte bei STC (1000 W/m ² , Zelltemp. 25 °C)	
P _{MPP} Leistung im MPP	160 W
U _{MPP} Spannung im MPP	34,1 V
I _{MPP} Strom im MPP	4,7 A
U _{OC} Leerlaufspannung	43,3 V
I _{SC} Kurzschlussstrom	5,2 A
Modulwirkungsgrad η _m	13,70%
Solarzellenabmessungen	125 x 125 mm
Modulabmessungen	1581 x 809 x 40 mm
Temperaturkoeffizient TK _U	- 0,35 % / K
Temperaturkoeffizient TK _I	0,05 % / K

- 10.1 Beschreiben Sie, wie man die P(U)-Kennlinie aus der I(U)-Kennlinie konstruieren kann.
- 10.2 Geben Sie die Kennwerte I_{SC}, U_{OC}, U_{MPP}, I_{MPP}, P_{MPP} der Gesamtanlage an und markieren sie im Bild 4, wo sie die Werte ablesen.
- 10.3 Begründen Sie, aus wie vielen Modulen die Anlage besteht und wie diese elektrisch verschaltet sind.
- 10.4 Zeigen Sie, dass sich die Leerlaufspannung der Gesamtanlage bei 1000 W/m² und -10 °C auf U_{OC}(-10°C) = 583 V und bei +75 °C auf U_{OC}(+75°C) = 428 V ändert.

Die Spannungen bei 1000 W/m² ändern sich im MPP bei -10 °C auf 460 V und bei +75 °C auf 337 V. Die Stromänderungen im Kurzschlussfall und im MPP sind gering und bleiben unberücksichtigt.

- 10.5 Skizzieren Sie in Bild 5 mithilfe der Kennwerte im Leerlauf (siehe 10.4), im MPP und im Kurzschlussfall die I(U)-Kennlinien bei -10 °C und bei +75 °C.
- 10.6 Skizzieren Sie in Bild 6 die Kennlinie bei 25 °C und 100 W/m²

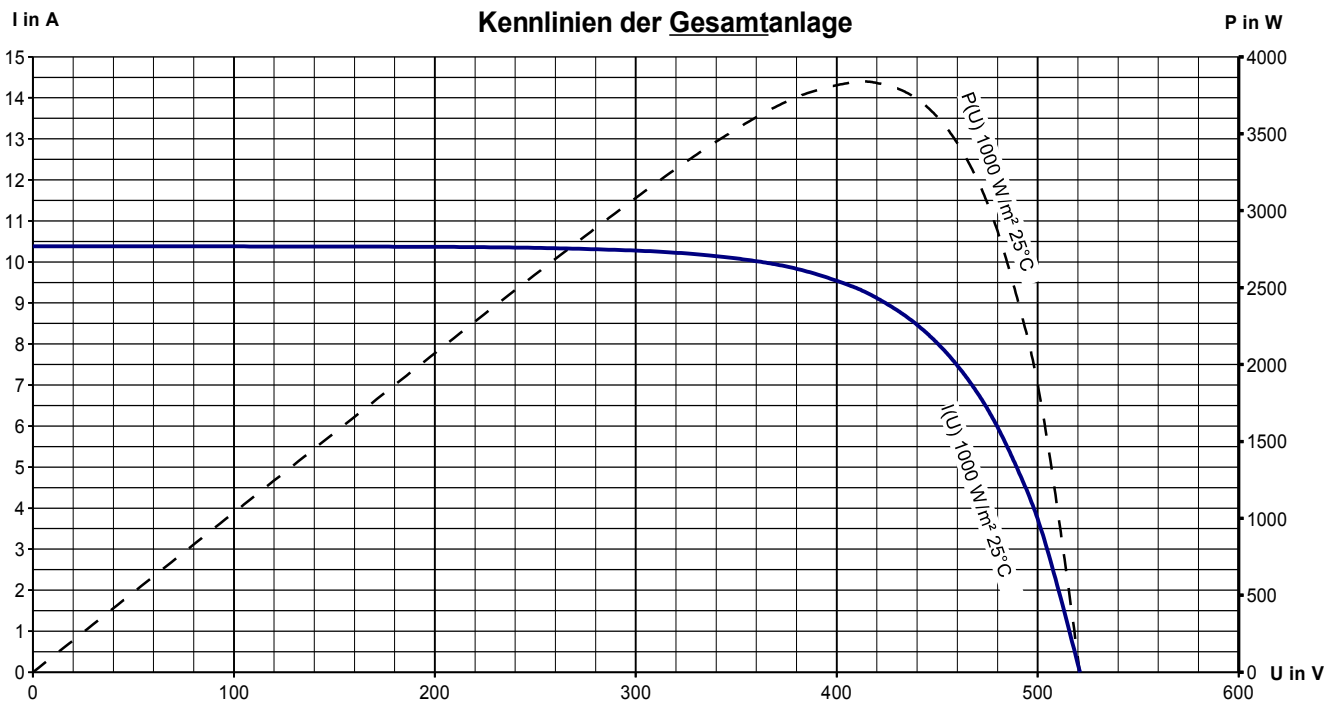


Bild 4: I(U)- und P(U)-Kennlinie bei STC der Gesamtanlage

10.7 Beurteilen und begründen Sie, welcher der zur Auswahl stehenden Wechselrichter zum Betrieb der Anlage geeignet ist.

Kennwerte von 3 Wechselrichtern im Vergleich			
Eingangsdaten	WR 1	WR 2	WR 3
Max. DC-Leistung (@ $\cos \varphi = 1$)	3800 W	4000 W	4400 W
Max. DC-Eingangsspannung	500 V	600 V	800 V
MPP-Spannungsbereich	320 V ... 400 V	320 V ... 420 V	320 V ... 480 V
Max. Eingangsstrom Eingang	18 A	15 A	24 A
max Eingangsstrom pro String	15 A	15 A	15 A

11 Einphasiger Wechselrichter 230 V / 50 Hz (wie Abi 14/15)

Bild 2 zeigt die Transistorbrückenschaltung zur Erzeugung des PWM-Signals in einem einphasigen Wechselrichter. In Bild 3 (nächste Seite) ist der prinzipielle Verlauf des erzeugten PWM-Signals dargestellt.

11.1 Zeichnen Sie in Bild 2 die Wege des fließenden Stroms mit Pfeilen von + nach – ein:

- Stromfluss während der Zeit t_i mit Farbe 1
- Stromfluss während der Zeit t_p mit Farbe 2.

Hinweis: es muss ersichtlich sein, welcher Transistor oder welche Diode leitet.

11.2 Geben Sie an, welcher Transistor während der gesamten Zeit t_{negativ} leitet und mit welchem Transistor und welcher Diode das negative PWM-Signal erzeugt wird.

11.3 Erklären Sie die Aufgaben der Spulen L1, L2 und des Kondensators in Bild 2.
 Zeichnen Sie U_{AC} in Bild 17 ein.

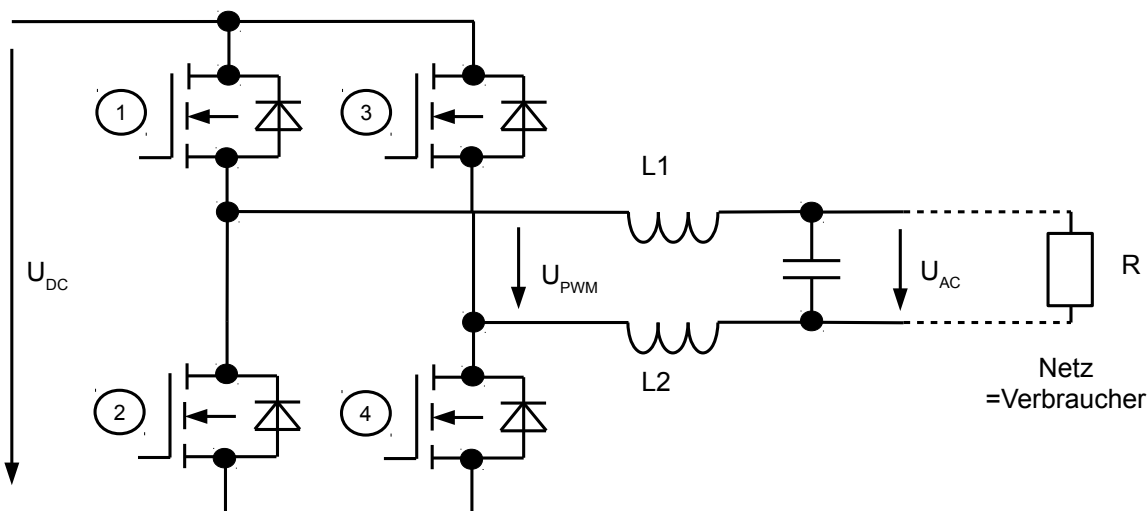


Bild 5: Transistorbrücke mit Spulen L1, L2 und Kondensator C

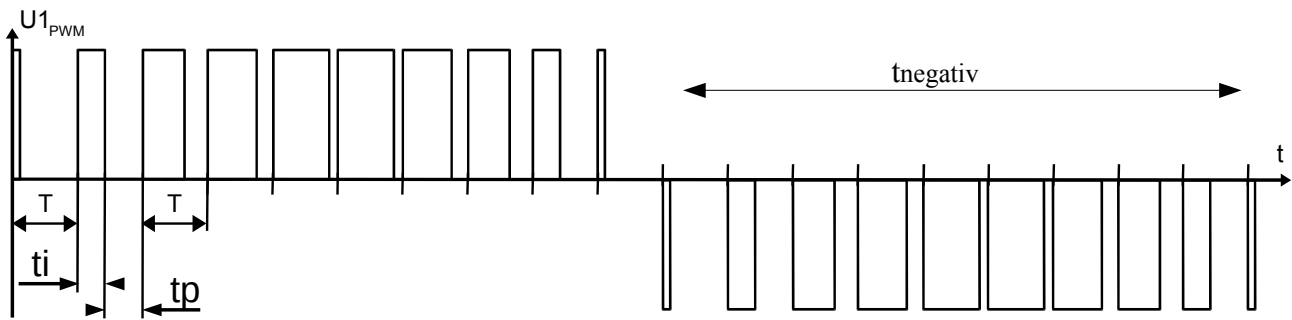
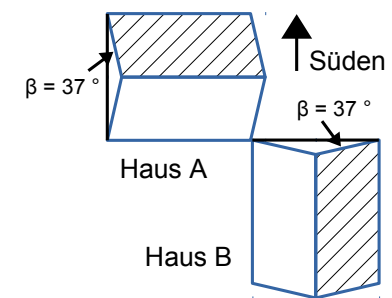


Bild 6: PWM-Signal

12 Ertragsberechnung an PV-Anlagen (wie NP14/15)

Zwei um 37° geneigte Dachflächen (im Bild schraffiert dargestellt) sind mit Solarmodulen belegt. Die Flächen besitzen identische Maße und identische Solarmodule. Die Häuser sind jedoch nach unterschiedlichen Himmelsrichtungen ausgerichtet.



Standort: Karlsruhe
 Nennleistung pro Anlage: 4 kWp
 Wirkungsgrad der Anlagen $\eta_{PV} = 15\%$.

- 12.1 Berechnen Sie die einzelnen Jahreserträge beider Häuser in kWh.
- 12.2 Begründen Sie, warum sich die Korrekturfaktoren im Jahresverlauf bei $\beta = 20^\circ$ und Südausrichtung sehr stark und bei Westausrichtung sehr wenig unterscheiden.
- 12.3 Ermitteln Sie, welche Fläche in m^2 bei Haus B zusätzlich mit Solarmodulen belegt werden müsste, damit sich der gleiche Jahresertrag wie bei Haus A ergibt.
- 12.4 Diskutieren Sie, welche Auswirkungen bzgl. des Jahresertrages sich ergeben würden, wenn bei Haus B die andere Dachfläche verwendet werden würde.
- 12.5 Haus B wird mit Solarmodulen belegt, die zu 2 Strängen verschaltet werden. Die Module müssen aus Platzgründen auf beide Dachflächen verteilt werden. Der Wechselrichter besitzt 2 Eingänge mit je einem MPP-Tracker.
 Erklären Sie, was bei der Anordnung und Verschaltung der Solarmodule zu beachten ist und begründen Sie Ihre Angaben.