

Bài giảng:

NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO

Giảng viên: ThS. Trần Công Bình

4/2012

0

C2: NĂNG LƯỢNG ĐIỆN MẶT TRỜI

1. Nguồn năng lượng mặt trời
2. Tế bào quang điện
3. Đặc tuyến I-V của pin quang điện
4. Công nghệ chế tạo pin quang điện
5. Đặc tính làm việc của pin quang điện
6. Hệ điện mặt trời độc lập
7. Hệ điện mặt trời hòa lưới

The Solar Resource

- Before we can talk about solar power, we need to talk about the sun
- Need to know how much sunlight is available
- Can predict where the sun is at any time
- Insolation : *incident solar radiation*
- Want to determine the average daily insolation at a site
- Want to be able to chose effective locations and panel tilts of solar panels

The Sun and Blackbody Radiation

- The sun
 - 1.4 million km in diameter
 - 3.8×10^{20} MW of radiated electromagnetic energy
- Blackbodies
 - Both a perfect emitter and a perfect absorber
 - Perfect emitter – radiates more energy per unit of surface area than a real object of the same temperature
 - Perfect absorber – absorbs all radiation, none is reflected

Plank's Law

- Plank's law – wavelengths emitted by a blackbody depend on temperature

$$E_{\lambda} = \frac{3.74 \times 10^8}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{14400}{\lambda T}\right) - 1 \right]} \quad (7.1)$$

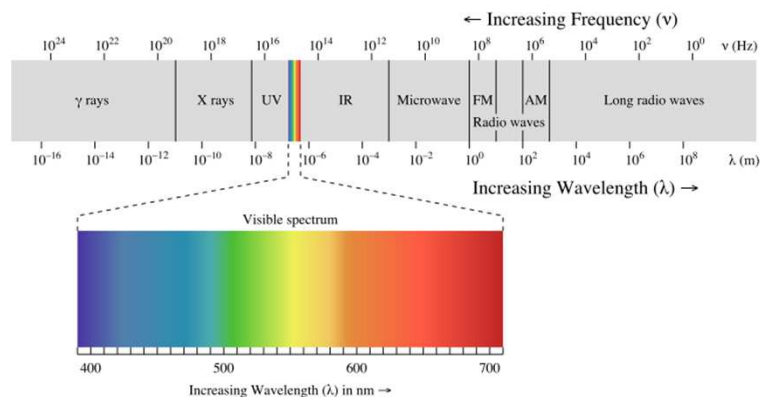
- λ = wavelength (μm)
- E_{λ} = emissive power per unit area of blackbody ($\text{W}/\text{m}^2\text{-}\mu\text{m}$)
- T = absolute temperature (K)

Năng lượng tái tạo

4

Electromagnetic Spectrum

Visible light has a wavelength of between 0.4 and 0.7 μm , with ultraviolet values immediately shorter, and infrared immediately longer



Source: en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation

Năng lượng tái tạo

5

288 K Blackbody Spectrum

The earth as a blackbody

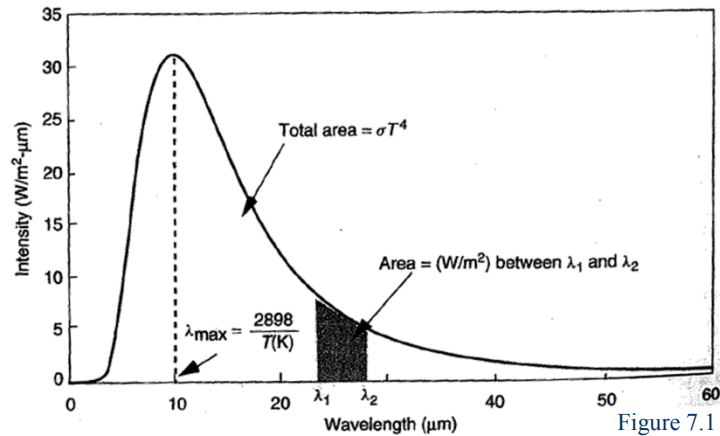


Figure 7.1

Area under curve is the total radiant power emitted

Năng lượng tái tạo

6

Stefan-Boltzmann Law

- Total radiant power emitted is given by the Stefan – Boltzman law of radiation

$$E = A\sigma T^4 \quad (7.2)$$

- E = total blackbody emission rate (W)
- σ = Stefan-Boltzmann constant = $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{-K}^4$
- T = absolute temperature (K)
- A = surface area of blackbody (m^2)

Năng lượng tái tạo

7

Wien's Displacement Rule

- The wavelength at which the emissive power per unit area reaches its maximum point

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T} \quad (7.3)$$

- T = absolute temperature (K)
- λ = wavelength (μm)
- $\lambda_{\max} = 0.5 \mu\text{m}$ for the sun , $T = 5800 \text{ K}$
- $\lambda_{\max} = 10.1 \mu\text{m}$ for the earth (as a blackbody), $T = 288 \text{ K}$

Năng lượng tái tạo

8

Extraterrestrial Solar Spectrum

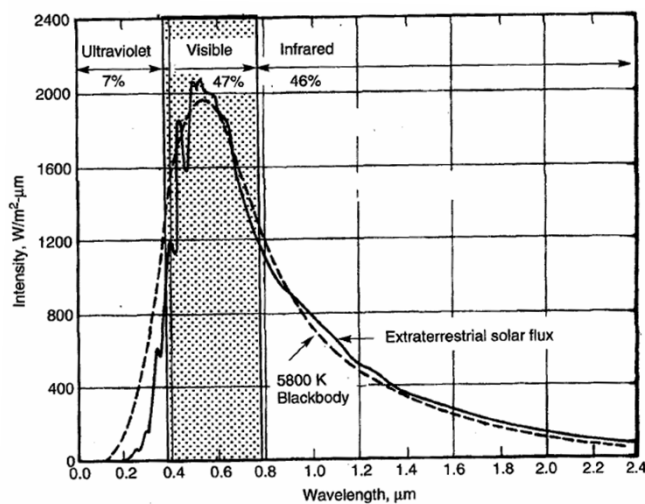
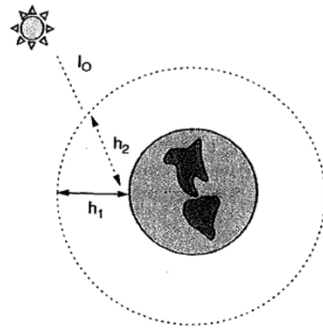


Figure 7.2

Năng lượng tái tạo

9

Air Mass Ratio



As sunlight passes through the atmosphere, less energy arrives at the earth's surface

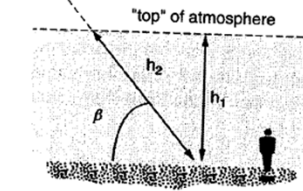


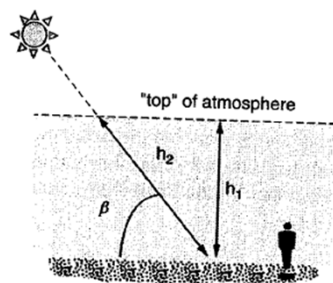
Figure 7.3

- h_1 = path length through atmosphere with sun directly overhead
- h_2 = path length through atmosphere to spot on surface
- β = altitude angle of the sun

Năng lượng tái tạo

10

Air Mass Ratio



$$\text{air mass ratio } m = \frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{\sin \beta} \quad (7.4)$$

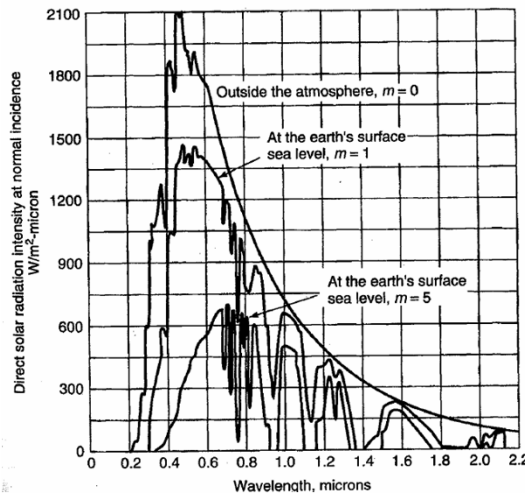
Figure 7.3

- Air mass ratio of 1 (“AM1”) means sun is directly overhead ($m=1$)
- AM0 means no atmosphere
- AM1.5 is assumed average at the earth's surface ($m=1.5$)

Năng lượng tái tạo

11

Solar Spectrum on Surface



m increases as the sun appears lower in the sky. Notice there is a large loss towards the blue end for higher m , which is why the sun appears reddish at sun rise and sun set

Năng lượng tái tạo

12

The Earth's Orbit

- One revolution every 365.25 days
- Distance of the earth from the sun

$$d = 1.5 \times 10^8 \left\{ 1 + 0.017 \sin \left[\frac{360(n - 93)}{365} \right] \right\} \text{ km} \quad (7.5)$$

- n = day number (Jan. 1 is day 1)
- d (km) varies from 147×10^6 km on Jan. 2 to 152×10^6 km on July 3 (closer in winter, further in summer)
- Note that the angles in this chapter are in degrees

Năng lượng tái tạo

13

The Earth's Orbit

- In one day, the earth rotates 360.99°
- The earth sweeps out what is called the ecliptic plane
- Earth's spin axis is currently 23.45°
- Equinox – equal day and night, on March 21 and September 21
- Winter solstice – North Pole is tilted furthest from the sun
- Summer solstice – North Pole is tilted closest to the sun

The Earth's Orbit

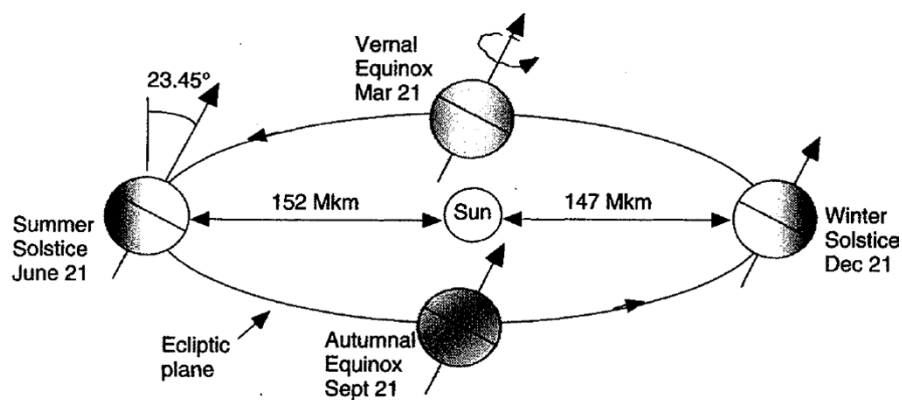


Figure 7.5

For solar energy applications, we'll consider the characteristics of the earth's orbit to be unchanging

Solar Declination

- Solar declination δ – the angle formed between the plane of the equator and the line from the center of the sun to the center of the earth
- δ varies between $\pm 23.45^\circ$
- Assuming a sinusoidal relationship, a 365 day year, and $n=81$ is the spring equinox, the approximation of δ for any day n can be found from

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 81) \right] \quad (7.6)$$

The Sun's Position in the Sky

- Another perspective-

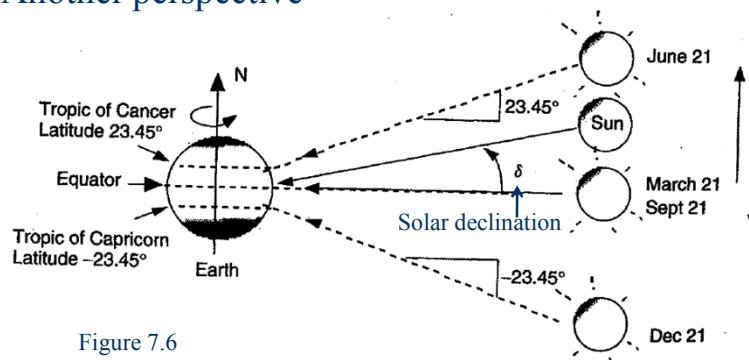


Figure 7.6

- Predict where the sun will be in the sky at any time
- Pick the best tilt angles for photovoltaic (PV) panels

Solar Noon and Collector Tilt

- Solar noon – sun is directly over the local line of longitude
- Rule of thumb for the Northern Hemisphere - a south facing collector tilted at an angle equal to the local latitude
- During solar noon, the sun's rays are perpendicular to the collector face

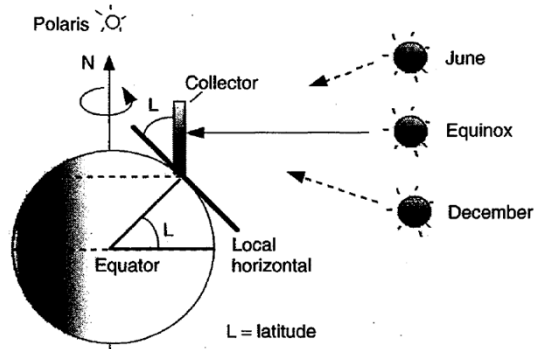


Figure 7.8

Năng lượng tái tạo

18

Altitude Angle β_N at Solar Noon

- Altitude angle at solar noon β_N – angle between the sun and the local horizon

$$\beta_N = 90^\circ - L + \delta \quad (7.7)$$

- Zenith – perpendicular axis at a site

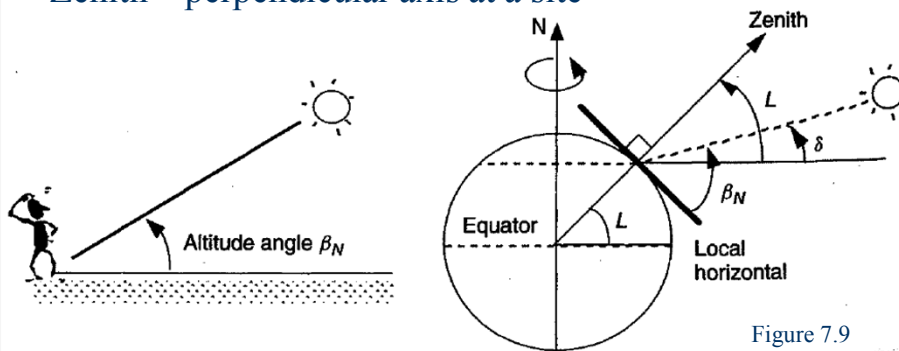


Figure 7.9

Example 7.2 – Tilt of a PV Module

- Find the optimum tilt angle for a south-facing PV module located at in Tucson (latitude 32.1°) at solar noon on March 1
- From Table 7.1, March 1 is day $n = 60$

TABLE 7.1 Day Numbers for the First Day of Each Month

January	$n = 1$	July	$n = 182$
February	$n = 32$	August	$n = 213$
March	$n = 60$	September	$n = 244$
April	$n = 91$	October	$n = 274$
May	$n = 121$	November	$n = 305$
June	$n = 152$	December	$n = 335$

Năng lượng

20

Example 7.2 – Tilt of a PV Module

- The solar declination δ is

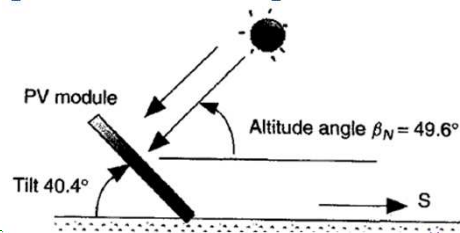
$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 81) \right] = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (60 - 81) \right] = -8.3^\circ$$

- The altitude angle is

$$\beta_N = 90^\circ - L + \delta = 90^\circ - 32.1^\circ - 8.3^\circ = 49.6^\circ$$

- To make the sun's rays perpendicular to the panel, we need to tilt the panel by

$$\text{tilt} = 90^\circ - \beta_N = 40.4^\circ$$



Năng lượng tái tạo

21

Solar Position at Any Time of Day

- Described in terms of altitude angle β and azimuth angle of the sun ϕ_s
- β and ϕ_s depend on latitude, day number, and time of day
- Azimuth angle (ϕ_s) convention
 - positive in the morning when sun is in the east
 - negative in the evening when sun is in the west
 - reference in the Northern Hemisphere (for us) is true south
- Hours are referenced to solar noon

Altitude Angle and Azimuth Angle

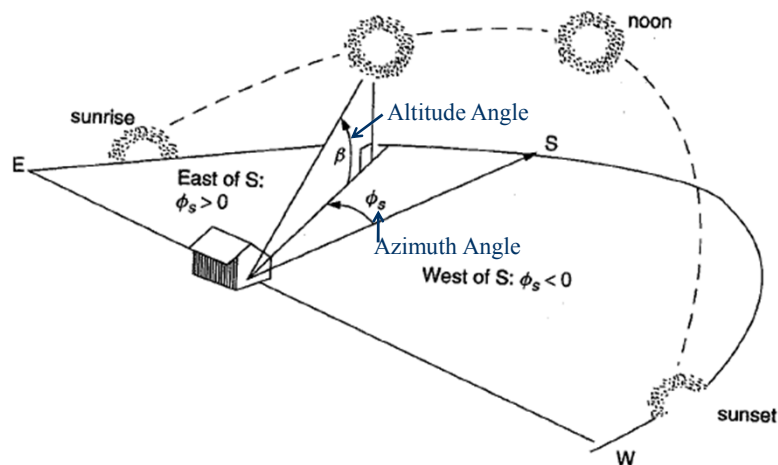


Figure 7.10

Altitude Angle and Azimuth Angle

- Hour angle H - the number of degrees the earth must rotate before sun will be over your line of longitude
- If we consider the earth to rotate at $15^\circ/\text{hr}$, then

$$\text{hour angle } H = \left(\frac{15^\circ}{\text{hour}} \right) \cdot (\text{hours before solar noon}) \quad (7.10)$$

- At 11 AM solar time, $H = +15^\circ$ (the earth needs to rotate 1 more hour)
- At 2 PM solar time, $H = -30^\circ$

Altitude Angle and Azimuth Angle

$$\sin \beta = \cos L \cos \delta \cos H + \sin L \sin \delta \quad (7.8)$$

$$\sin \phi_s = \frac{\cos \delta \sin H}{\cos \beta} \quad (7.9)$$

- H = hour angle
- L = latitude (degrees)
- Test to determine if the angle magnitude is less than or greater than 90° with respect to true south-

$$\text{if } \cos H \geq \frac{\tan \delta}{\tan L}, \quad \text{then } |\phi_s| \leq 90^\circ, \quad \text{else } |\phi_s| > 90^\circ \quad (7.11)$$

Example 7.3 – Where is the Sun?

- Find altitude angle β and azimuth angle ϕ_S at 3 PM solar time in Boulder, CO ($L = 40^\circ$) on the summer solstice
- At the solstice, we know the solar declination $\delta^\circ = 23.45$
- Hour angle H is found from (7.10)

$$H = \left(\frac{15^\circ}{\text{h}} \right) \cdot (-3 \text{ h}) = -45^\circ$$

- The altitude angle is found from (7.8)
- $$\sin \beta = \cos 40 \cos 23.45 \cos(-45) + \sin 40 \sin 23.45 = 0.7527$$
- $$\beta = \sin^{-1}(0.7527) = 48.8^\circ$$

Năng lượng tái tạo

26

Example 7.3 – Where is the Sun?

- The sin of the azimuth angle is found from (7.9)

$$\sin \phi_S = \frac{\cos 23.45^\circ \sin(-45^\circ)}{\cos 48.8^\circ} = -0.9848$$

- Two possible azimuth angles exist

$$\phi_S = \sin^{-1}(-0.9848) = -80^\circ$$

$$\phi_S = 180 - \sin^{-1}(-0.9848) = 260^\circ \text{ or } -100^\circ$$

- Apply the test (7.11)

$$\cos H = \cos(-45^\circ) = 0.707 \geq \frac{\tan \delta}{\tan L} = \frac{\tan 23.45^\circ}{\tan 40^\circ} = 0.517$$

$$\rightarrow \phi_S = -80^\circ \text{ (80^\circ west of south)}$$

Năng lượng tái tạo

27

Sun Path Diagrams for Shading Analysis

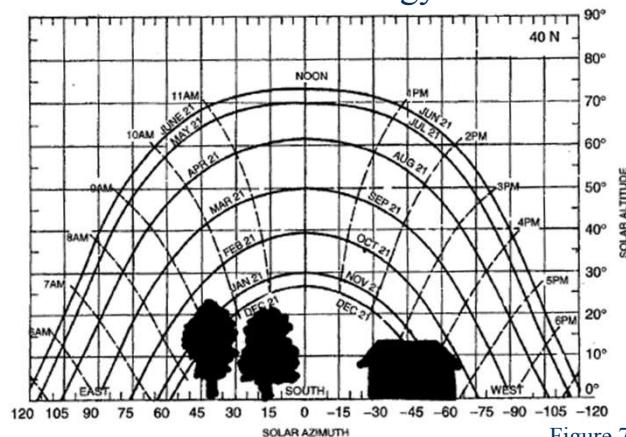
- Now we know how to locate the sun in the sky at any time
- This can also help determine what sites will be in the shade at any time
- Sketch the azimuth and altitude angles of trees, buildings, and other obstructions
- Sections of the sun path diagram that are covered indicate times when the site will be in the shade

Năng lượng tái tạo

28

Sun Path Diagram for Shading Analysis

- Trees to the southeast, small building to the southwest
- Can estimate the amount of energy lost to shading



Năng lượng tái tạo

Figure 7.15

29

California Solar Shade Control Act

- The shading of solar collectors has been an area of legal and legislative concern (e.g., a neighbor's tree is blocking a solar panel)
- California has the Solar Shade Control Act (1979) to address this issue
 - No new trees and shrubs can be placed on neighboring property that would cast a shadow greater than 10 percent of a collector absorption area between the hours of 10 am and 2 pm.
 - Exceptions are made if the tree is on designated timberland, or the tree provides passive cooling with net energy savings exceeding that of the shaded collector
 - First people were convicted in 2008 because of their redwoods

Năng lượng tái tạo

30

The Guilty Trees were Subject to Court Ordered Pruning



Source: NYTimes, 4/7/08

Năng lượng tái tạo

31

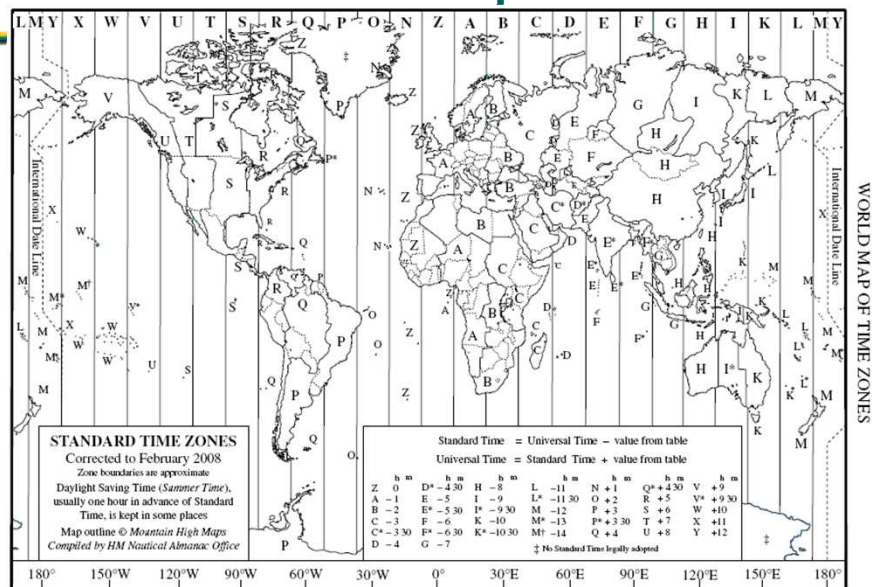
Solar Time vs. Clock Time

- Most solar work deals only in solar time (ST)
- Solar time is measured relative to solar noon
- Two adjustments –
 - For a longitudinal adjustment related to time zones
 - For the uneven movement of the earth around the sun
- Problem with solar time –two places can only have the same solar time is if they are directly north-south of each other
- Solar time differs 4 minutes for 1° of longitude
- Clock time has 24 1-hour time zones, each spanning 15° of longitude

Năng lượng tái tạo

32

World Time Zone Map



Năng lượng tái tạo

Source: <http://aa.usno.navy.mil/graphics/TimeZoneMap0802.pdf>

33

US Local Time Meridians (Table 7.4)

Time Zone	Local Time Meridian
Eastern	75°
Central	90°
Mountain	105°
Pacific	120°
Eastern Alaska	135°
Alaska and Hawaii	150°

Solar Time vs. Clock Time

- The earth's elliptical orbit causes the length of a solar day to vary throughout the year
- Difference between a 24-h day and a solar day is given by the *Equation of Time E*

$$E = 9.87 \sin 2B - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B \quad (\text{minutes})$$

$$B = \frac{360}{364}(n - 81) \quad (\text{degrees})$$

- n is the day number

Solar Time vs. Clock Time

- Combining longitude correction and the *Equation of Time* we get the following:

$$\text{Solar Time (ST)} = \text{Clock Time (CT)} + \frac{4 \text{ min}}{\text{degree}} (\text{LT Meridian} - \text{Local Longitude}) + E(\text{min}) \quad (7.14)$$

- CT – clock time
- ST – solar time
- LT Meridian – Local Time Meridian
- During Daylight Savings, add one hour to the local time

Example 7.5 – Solar Time vs. Local Time

- Find Eastern Daylight Time for solar noon in Boston (longitude 71.1° W) on July 1
- July 1 corresponds to $n = 182$
- From the *Equation of Time* (7.12) and (7.13) we obtain

$$B = \frac{360}{364}(n - 81) = \frac{360}{364}(182 - 81) = 99.89^\circ$$

$$E = 9.87 \sin(2B) - 7.53 \cos(B) - 1.5 \sin(B) = -3.5 \text{ min}$$

Example 7.5 – Solar Time vs. Local Time

- The local time meridian for Boston is 75° , so the difference is $75^\circ - 71.7^\circ$, and we know that each degree corresponds to 4 minutes

- Using (7.14)

$$CT = ST - 4(\text{min}/^\circ)(75^\circ - 71.1^\circ) - (-3.5 \text{ min})$$

$$CT = 12:00 - 12.1 \text{ min} = 11:49.9 \text{ AM EST}$$

- But we need to adjust it for Daylight Savings, so add 1 hour

$$CT = 12:49.9 \text{ AM EDT}$$

Năng lượng tái tạo

38

Sunrise and Sunset

- Can approximate the sunrise and sunset times
- Solve (7.8) for where the altitude angle is zero

$$\sin \beta = \cos L \cos \delta \cos H + \sin L \sin \delta \quad (7.8)$$

$$\sin \beta = \cos L \cos \delta \cos H + \sin L \sin \delta = 0 \quad (7.15)$$

$$\cos H = -\frac{\sin L \sin \delta}{\cos L \cos \delta} = -\tan L \tan \delta \quad (7.16)$$

$$\text{Hour angle of sunrise } H_{SR} = \cos^{-1}(-\tan L \tan \delta) \quad (7.17)$$

- + sign on H_{SR} indicates sunrise, - indicates sunset

$$\rightarrow \text{Sunrise (geometric)} = 12:00 - \frac{H_{SR}}{15^\circ/h} \quad (7.18)$$

Năng lượng tái tạo

39

Sunrise and Sunset

- Weather service definition is the time at which the upper limb (top) of the sun crosses the horizon, but the geometric sunrise is based on the center
- There is also atmospheric refraction
- Adjustment factor Q

$$Q = \frac{3.467}{\cos L \cos \delta \sin H_{SR}} \text{ (min)} \quad (7.19)$$

- Subtract this from the geometric sunrise

Clear Sky Direct-Beam Radiation

- Direct beam radiation I_{BC} – passes in a straight line through the atmosphere to the receiver
- Diffuse radiation I_{DC} – scattered by molecules in the atmosphere
- Reflected radiation I_{RC} – bounced off a surface near the reflector

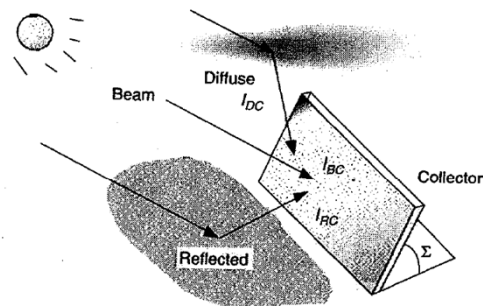


Figure 7.18

Extraterrestrial Solar Insolation I_0

- Starting point for clear sky radiation calculations
- I_0 passes perpendicularly through an imaginary surface outside of the earth's atmosphere
- I_0 depends on distance between earth and sun and on intensity of the sun which is fairly predictable
- Ignoring sunspots, I_0 can be written as

$$I_0 = SC \cdot \left[1 + 0.034 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \quad (\text{W/m}^2) \quad (7.20)$$

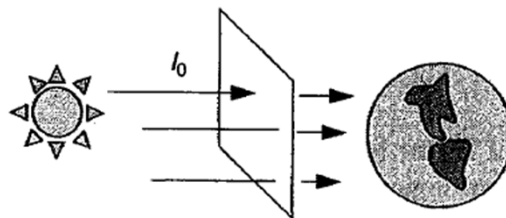
- SC = solar constant = 1.377 kW/m^2
 - n = day number
- These changes are due to the variation in earth's distance from the sun

Năng lượng tái tạo

42

Extraterrestrial Solar Insolation I_0

- In one year, less than half of I_0 reaches earth's surface as a direct beam
- On a sunny, clear day, beam radiation may exceed 70% of I_0



Năng lượng tái tạo

Figure 7.19

43

Attenuation of Incoming Radiation

- Can treat attenuation as an exponential decay function

$$I_B = Ae^{-km} \quad (7.21)$$

- I_B = beam portion of the radiation that reaches the earth's surface
- A = apparent extraterrestrial flux
- k = optical depth
- m = air mass ratio from (7.4)

Attenuation of Incoming Radiation

TABLE 7.6 Optical Depth k , Apparent Extraterrestrial Flux A , and the Sky Diffuse Factor C for the 21st Day of Each Month

Month:	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
A (W/m ²):	1230	1215	1186	1136	1104	1088	1085	1107	1151	1192	1221	1233
k :	0.142	0.144	0.156	0.180	0.196	0.205	0.207	0.201	0.177	0.160	0.149	0.142
C :	0.058	0.060	0.071	0.097	0.121	0.134	0.136	0.122	0.092	0.073	0.063	0.057

Source: ASHRAE (1993).

$$I_B = Ae^{-km} \quad (7.21)$$

From curve fits of the table data, A and k are approximately

$$A = 1160 + 75 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 275) \right] \quad (\text{W/m}^2) \quad (7.22)$$

$$k = 0.174 + 0.035 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 100) \right] \quad (7.23)$$

Solar Insolation on a Collecting Surface

- Direct-beam radiation is just a function of the angle between the sun and the collecting surface (i.e., the incident angle θ):

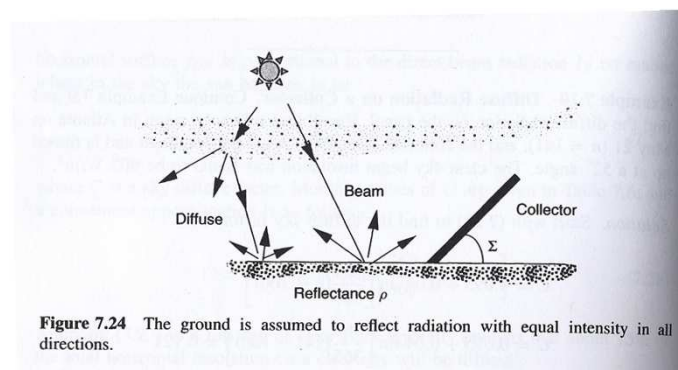
$$I_{BC} = I_B \cos \theta$$

- Diffuse radiation is assumed to be coming from essentially all directions to the angle doesn't matter; it is typically between 6% and 14% of the direct value.
- Reflected radiation comes from a nearby surface, and depends on the surface reflectance, ρ , ranging down from 0.8 for clean snow to 0.1 for a shingle roof.

Năng lượng tái tạo

46

Solar Insolation on a Collecting Surface, cont.



$$I_{RC} = \rho (I_{BH} + I_{DH}) \left(\frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right)$$

Năng lượng tái tạo

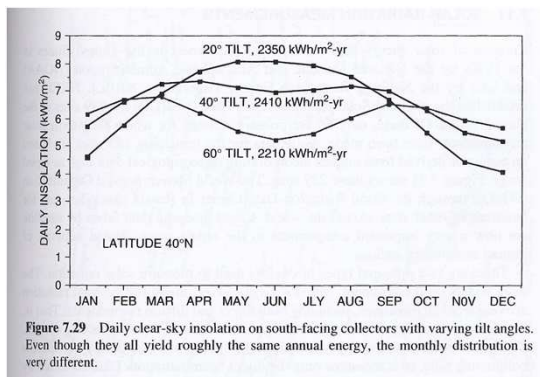
47

Tracking Systems

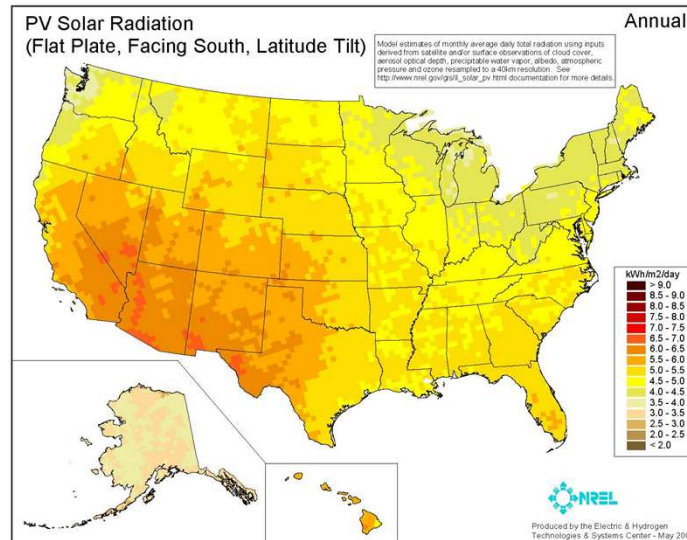
- Most residential solar systems have a fixed mount, but sometimes tracking systems are cost effective
- Tracking systems are either single axis (usually with a rotating polar mount [parallel to earth's axis of rotation], or two axis (horizontal [altitude, up-down] and vertical [azimuth, east-west])
- Ballpark figures for tracking system benefits are about 20% more for a single axis, and 25 to 30% more for a two axis

Monthly and Annual Insolation

- For a fixed system the total annual output is somewhat insensitive to the tilt angle, but there is a substantial variation in when the most energy is generated



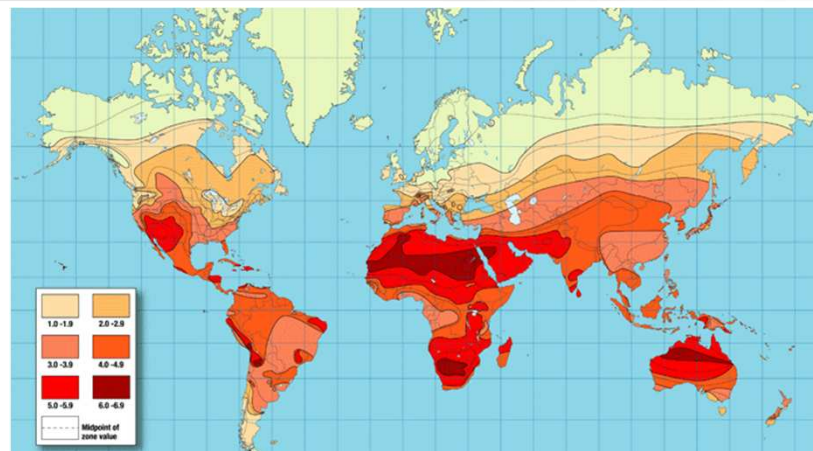
US Annual Insolation



Năng lượng tái tạo

50

Worldwide Annual Insolation



In 2007 worldwide PV peak was about 7800 MW, with almost half (3860 MW) in Germany, 1919 MW in Japan, 830 in USA and 655 in Spain

Năng lượng tái tạo

51

Tế bào quang điện

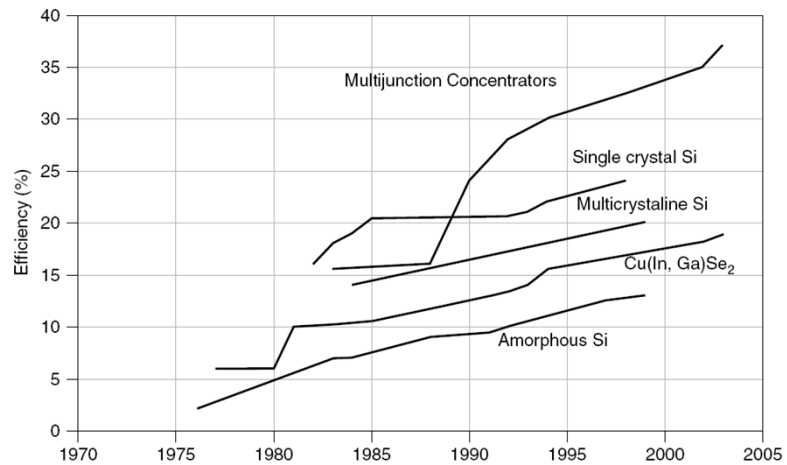


Figure 8.1 Best laboratory PV cell efficiencies for various technologies. (From National

Năng lượng tái tạo

52

Pin quang điện

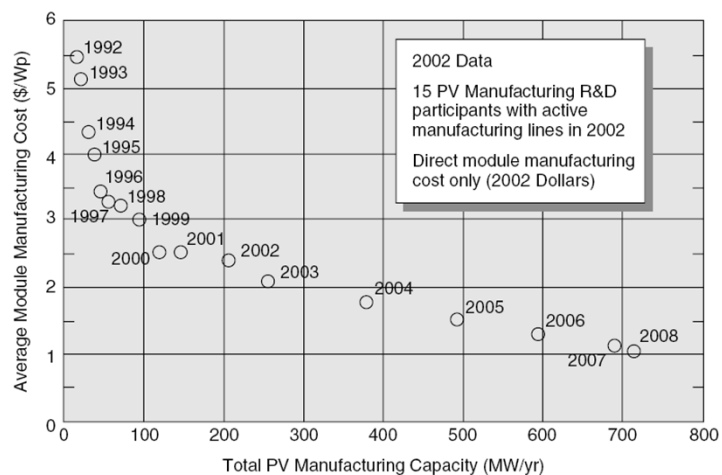


Figure 8.2 PV module manufacturing costs for DOE/US Industry Partners. Historical data through 2002, projections thereafter (www.nrel.gov/pvmat).

Năng lượng tái tạo

53

Pin quang điện

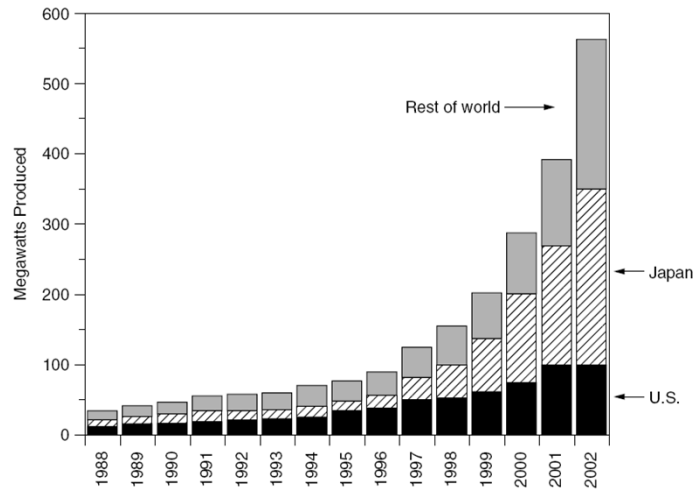


Figure 8.3 World production of photovoltaics is growing rapidly, but the U.S. share of

Năng lượng tái tạo

54

Vật liệu quang điện

TABLE 8.1 The Portion of the Periodic Table of Greatest Importance for Photovoltaics Includes the Elements Silicon, Boron, Phosphorus, Gallium, Arsenic, Cadmium, and Tellurium

I	II	III	IV	V	VI
		5 B	6 C	7 N	8 O
		13 Al	14 Si	15 P	16 S
29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se
47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te

Năng lượng tái tạo

55

Mức năng lượng

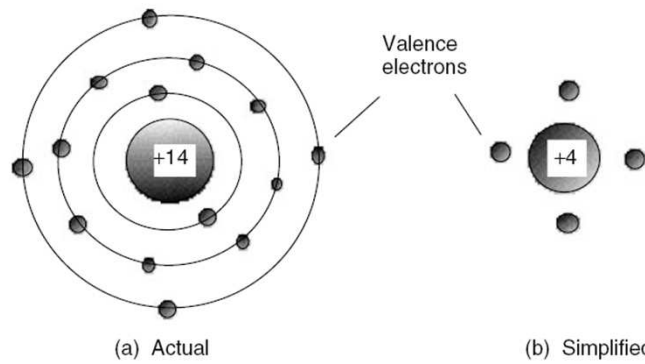


Figure 8.4 Silicon has 14 protons and electrons as in (a). A convenient shorthand is drawn in (b), in which only the four outer electrons are shown, spinning around a nucleus with a +4 charge.

Năng lượng tái tạo

56

Mức năng lượng

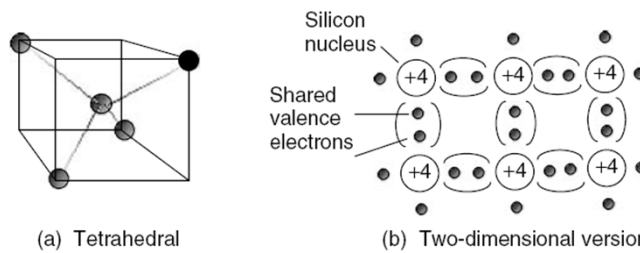


Figure 8.5 Crystalline silicon forms a three-dimensional tetrahedral structure (a); but it is easier to draw it as a two-dimensional flat array (b).

Năng lượng tái tạo

57

Mức năng lượng

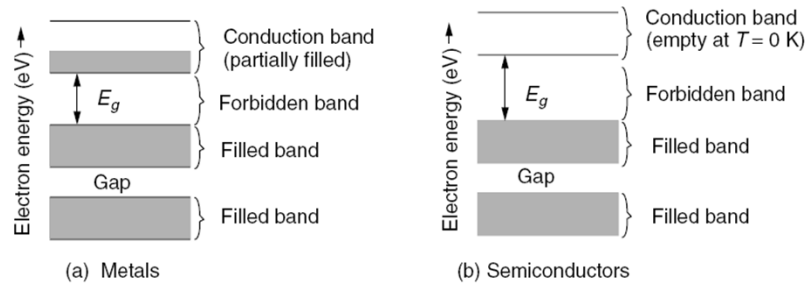


Figure 8.6 Energy bands for (a) metals and (b) semiconductors. Metals have partially filled conduction bands, which allows them to carry electric current easily. Semiconductors at absolute zero temperature have no electrons in the conduction band, which makes them insulators.

Mức năng lượng

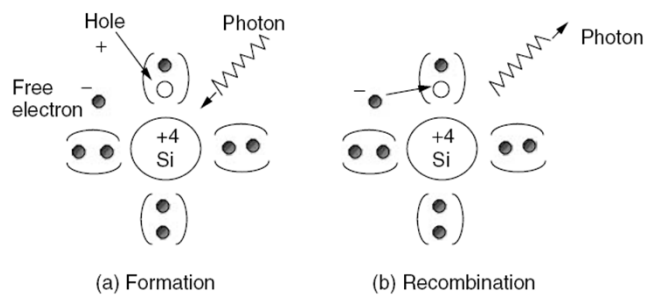


Figure 8.7 A photon with sufficient energy can create a hole–electron pair as in (a). The electron can recombine with the hole, releasing a photon of energy (b).

Mức năng lượng

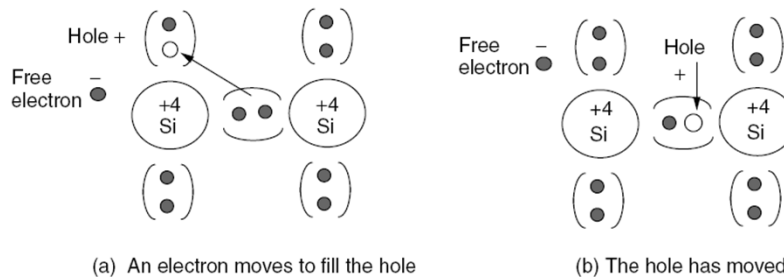


Figure 8.8 When a hole is filled by a nearby valence electron, the hole appears to move.

Mức năng lượng

$$c = \lambda \nu$$

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Ví Dụ 8.1: Tính Toán Tác Động của Quang Tử trên Bề Mặt Tinh Thể Silic

Tìm chiều dài bước sóng (m) cực đại mà quang tử cần có để tạo được cặp điện tử - lỗ (hole) trên **Bề Mặt Tinh Thể Silic**. Tương ứng với tần số nhỏ nhất là bao nhiêu? Biết giá trị *năng lượng vượt ngưỡng* của silic là 1.12 eV và $1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$.

Phổ năng lượng mặt trời

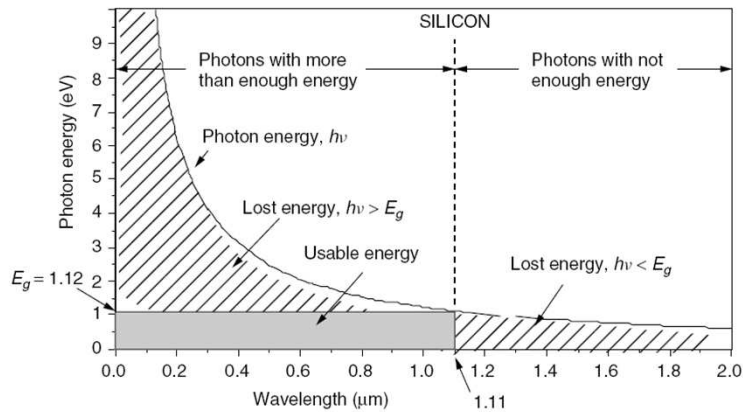


Figure 8.9 Photons with wavelengths above 1.11 μm don't have the 1.12 eV needed to excite an electron, and this energy is lost. Photons with shorter wavelengths have more than enough energy, but any energy above 1.12 eV is wasted as well.

Năng lượng tái tạo

62

Phổ năng lượng mặt trời

TABLE 8.2 Band Gap and Cut-off Wavelength Above Which Electron Excitation Doesn't Occur

Quantity	Si	GaAs	CdTe	InP
Band gap (eV)	1.12	1.42	1.5	1.35
Cut-off wavelength (μm)	1.11	0.87	0.83	0.92

Năng lượng tái tạo

63

Ảnh hưởng của mức năng lượng lên hiệu suất quang điện

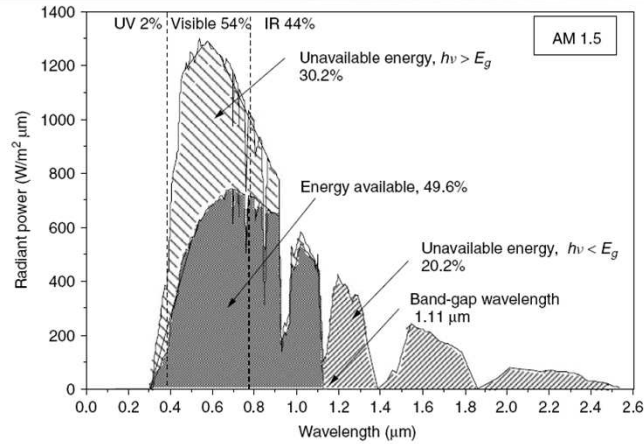


Figure 8.10 Solar spectrum at AM 1.5. Photons with wavelengths longer than 1.11 μm don't have enough energy to excite electrons (20.2% of the incoming solar energy); those with shorter wavelengths can't use all of their energy, which accounts for another 30.2% unavailable to a silicon photovoltaic cell. Spectrum is based on ERDA/NASA (1977).

Năng lượng tái tạo

64

Mối nối p-n

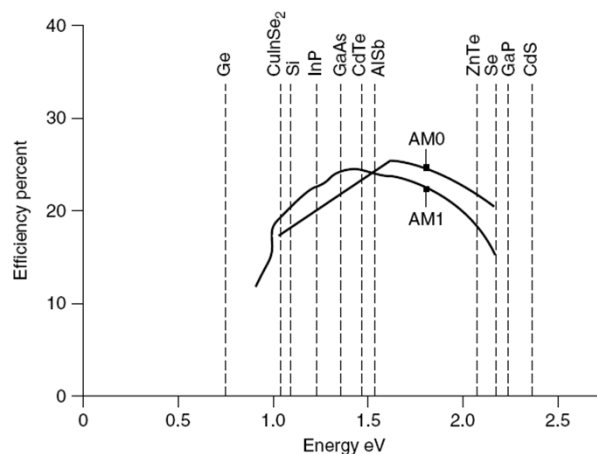


Figure 8.11 Maximum efficiency of photovoltaics as a function of their band gap. From Hersh and Zweibel (1982).

Năng lượng tái tạo

65

Mối nối p-n

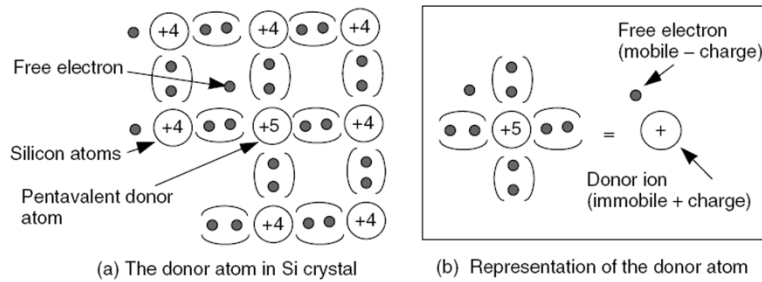


Figure 8.12 An *n*-type material. (a) The pentavalent donor. (b) The representation of the donor as a mobile negative charge with a fixed, immobile positive charge.

Mối nối p-n

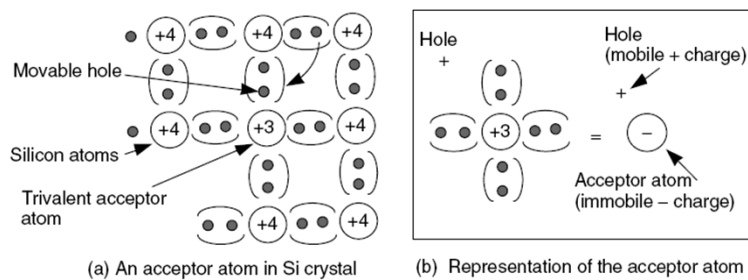


Figure 8.13 In a *p*-type material, trivalent acceptors contribute movable, positively charged holes leaving rigid, immobile negative charges in the crystal lattice.

Mối nối p-n

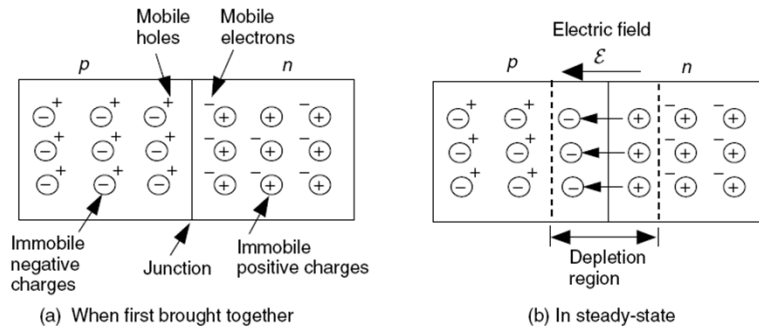


Figure 8.14 (a) When a p - n junction is first formed, there are mobile holes in the p -side and mobile electrons in the n -side. (b) As they migrate across the junction, an electric field builds up that opposes, and quickly stops, diffusion.

Diode dùng mối nối p-n

$$I_d = I_0(e^{qV_d/kT} - 1) \quad \frac{qV_d}{kT} = \frac{1.602 \times 10^{-19}}{1.381 \times 10^{-23}} \cdot \frac{V_d}{T(\text{K})} = 11,600 \frac{V_d}{T(\text{K})}$$

$$I_d = I_0(e^{38.9V_d} - 1) \quad (\text{at } 25^\circ\text{C})$$

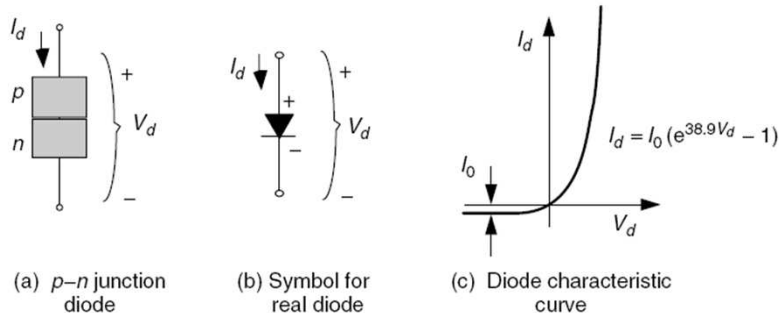


Figure 8.15 A p - n junction diode allows current to flow easily from the p -side to the n -side, but not in reverse. (a) p - n junction; (b) its symbol; (c) its characteristic curve.

Diode dùng mối nối p-n

Ví Dụ 8.2: Khảo Sát Diode Tiếp Giáp p-n

Khảo Sát Diode Tiếp Giáp p-n ở 25°C có dòng dòng ngược I_0 bão hòa = 10^{-9} (A). Xác định áp qua diode trong các trường hợp sau:

- không có dòng
- 1A
- 10A

Tế bào quang điện

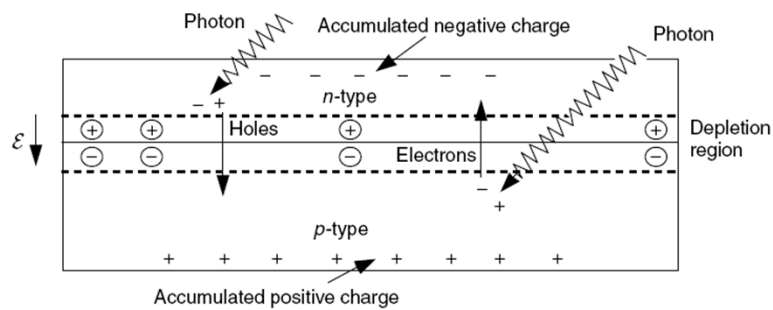


Figure 8.16 When photons create hole–electron pairs near the junction, the electric field in the depletion region sweeps holes into the *p*-side and sweeps electrons into the *n*-side of the cell.

Mạch tương đương đơn giản của tế bào quang điện

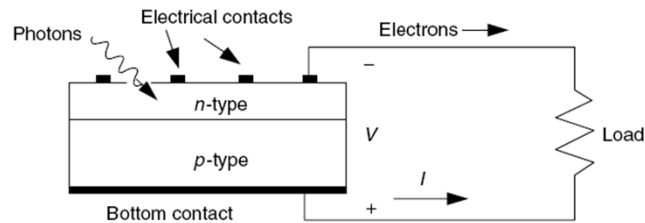


Figure 8.17 Electrons flow from the *n*-side contact, through the load, and back to the *p*-side where they recombine with holes. Conventional current *I* is in the opposite direction.

Mạch tương đương đơn giản của tế bào quang điện

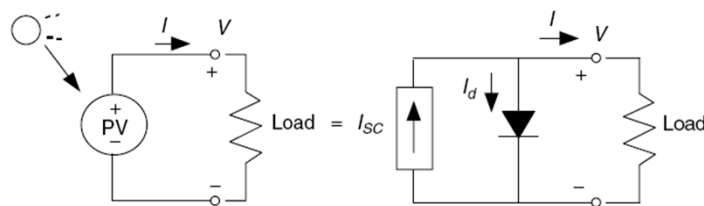


Figure 8.18 A simple equivalent circuit for a photovoltaic cell consists of a current source driven by sunlight in parallel with a real diode.

Mạch tương đương đơn giản của tế bào quang điện

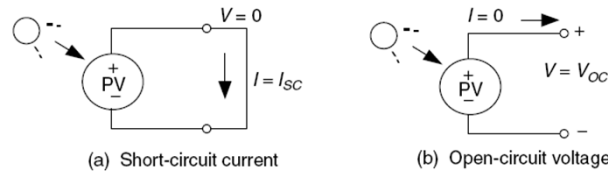


Figure 8.19 Two important parameters for photovoltaics are the short-circuit current I_{SC} and the open-circuit voltage V_{OC} .

$$I = I_{SC} - I_d$$

$$V_{OC} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{SC}}{I_0} + 1 \right)$$

$$I = I_{SC} - I_0 (e^{qV/kT} - 1)$$

$$V_{OC} = 0.0257 \ln \left(\frac{I_{SC}}{I_0} + 1 \right)$$

$$I = I_{SC} - I_0 (e^{38.9 V} - 1)$$

Năng lượng tái tạo

74

Mạch tương đương đơn giản của tế bào quang điện

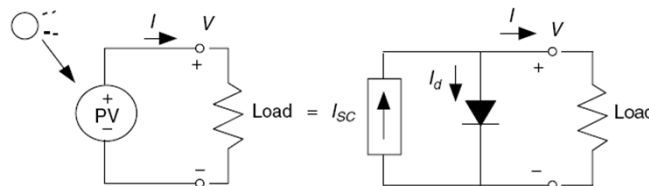


Figure 8.18 A simple equivalent circuit for a photovoltaic cell consists of a current source driven by sunlight in parallel with a real diode.

$$I = I_{SC} - I_d$$

$$V_{OC} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{SC}}{I_0} + 1 \right)$$

$$I = I_{SC} - I_0 (e^{qV/kT} - 1)$$

$$V_{OC} = 0.0257 \ln \left(\frac{I_{SC}}{I_0} + 1 \right)$$

$$I = I_{SC} - I_0 (e^{38.9 V} - 1)$$

Năng lượng tái tạo

75

Mạch tương đương đơn giản của tế bào quang điện

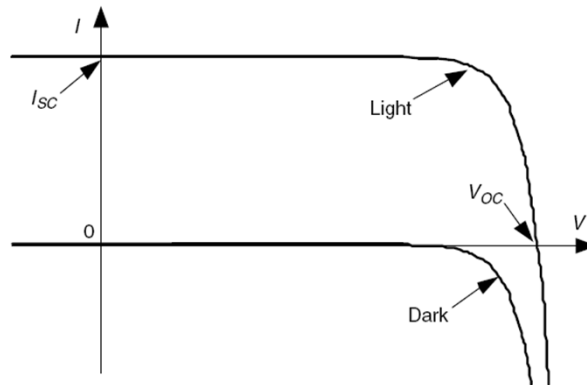


Figure 8.20 Photovoltaic current–voltage relationship for “dark” (no sunlight) and “light” (an illuminated cell). The dark curve is just the diode curve turned upside-down. The light curve is the dark curve plus I_{sc} .

Năng lượng tái tạo

76

Mạch tương đương đơn giản của tế bào quang điện

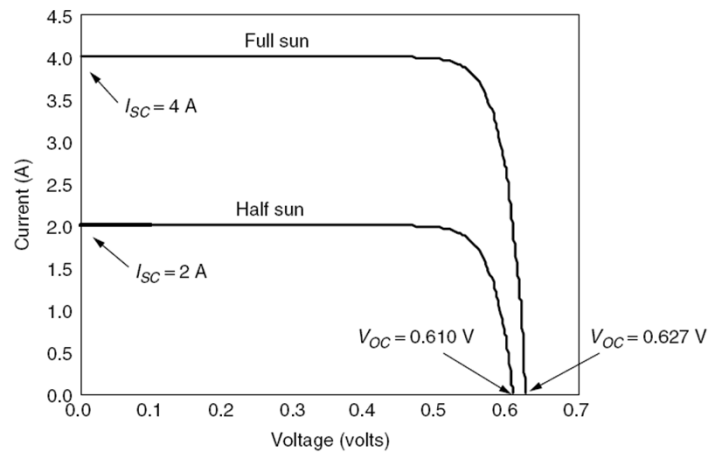
Ví Dụ 8.3: Khảo Sát đặc tính I-V của Tế Bào Quang

Cho tế bào quang có diện tích bề mặt 100 cm^2 , với mật độ dòng ngược bão hòa $I_0 = 10^{-12} \text{ A/cm}^2$. Khi đủ độ rọi, ngắn mạch 2 đầu tế bào quang đo được $I_{sc} = 40 \text{ mA/cm}^2$ ở 25°C . Tìm áp hở mạch V_{oc} lúc đủ độ rọi và lúc độ rọi còn 50%. Về các kết quả?

Năng lượng tái tạo

77

Mạch tương đương đơn giản của tế bào quang điện

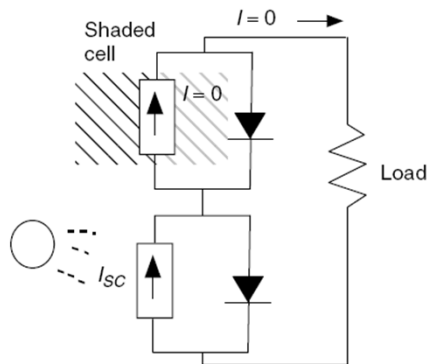


Năng lượng tái tạo

78

Mạch tương đương chính xác của tế bào quang điện

$$I = (I_{SC} - I_d) - \frac{V}{R_p}$$



Năng lượng tái tạo

79

Mạch tương đương chính xác của tế bào quang điện

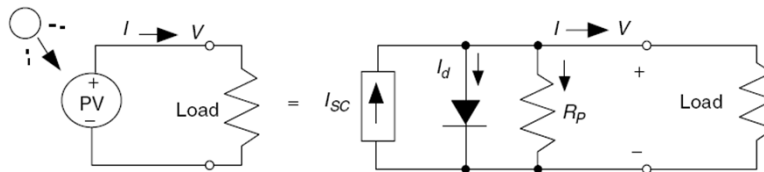


Figure 8.22 The simple PV equivalent circuit with an added parallel resistance.

Mạch tương đương chính xác của tế bào quang điện

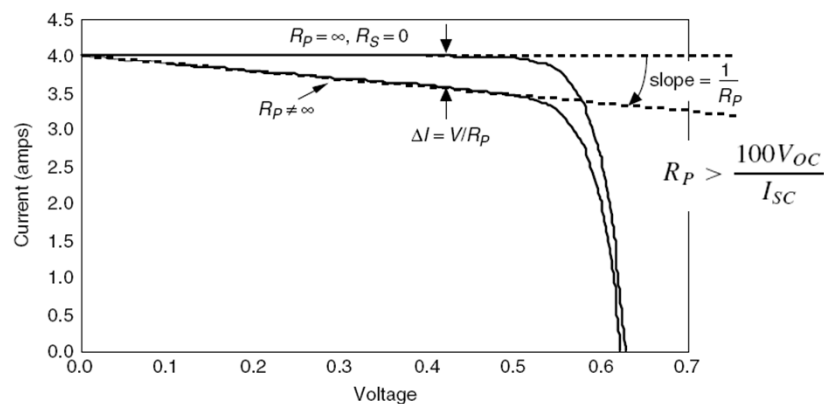


Figure 8.23 Modifying the idealized PV equivalent circuit by adding parallel resistance causes the current at any given voltage to drop by V/R_p .

Mạch tương đương chính xác của tế bào quang điện

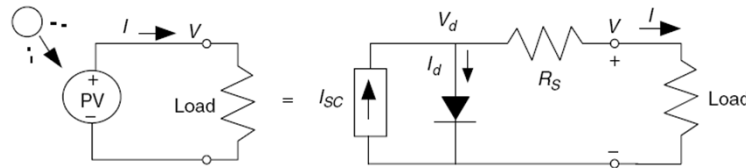


Figure 8.24 A PV equivalent circuit with series resistance.

$$I = I_{SC} - I_d = I_{SC} - I_0 (e^{qV_d/kT} - 1)$$

$$V_d = V + I \cdot R_s$$

$$I = I_{SC} - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{q(V + I \cdot R_s)}{kT} \right] - 1 \right\}$$

$$R_s < \frac{0.01 V_{OC}}{I_{SC}}$$

Năng lượng tái tạo

82

Mạch tương đương chính xác của tế bào quang điện

$$I = I_{SC} - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{q(V + I \cdot R_s)}{kT} \right] - 1 \right\} - \left(\frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \right)$$

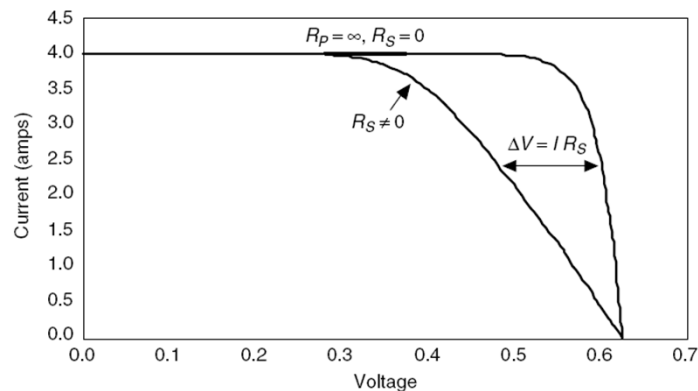


Figure 8.25 Adding series resistance to the PV equivalent circuit causes the voltage at any given current to shift to the left by $\Delta V = I R_s$.

Năng lượng tái tạo

83

Mạch tương đương chính xác của tế bào quang điện

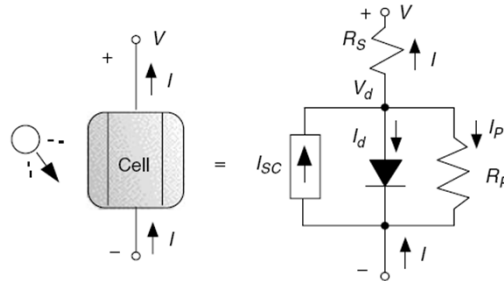


Figure 8.26 A more complex equivalent circuit for a PV cell includes both parallel and series resistances. The shaded diode reminds us that this is a “real” diode rather than an ideal one.

$$I = I_{SC} - I_0 \left[e^{38.9(V + IR_S)} - 1 \right] - \frac{1}{R_P} (V + IR_S) \quad \text{at } 25^\circ\text{C}$$

Năng lượng tái tạo

84

Mạch tương đương chính xác của tế bào quang điện

$$I_{SC} = I + I_d + I_P \quad I = I_{SC} - I_0(e^{38.9V_d} - 1) - \frac{V_d}{R_P} \quad V = V_d - IR_S$$

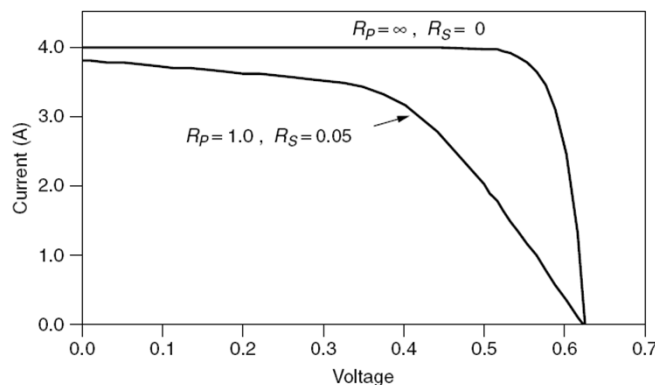


Figure 8.27 Series and parallel resistances in the PV equivalent circuit decrease both voltage and current delivered. To improve cell performance, high R_P and low R_S are needed.

Năng lượng tái tạo

85

Ghép các tế bào quang điện

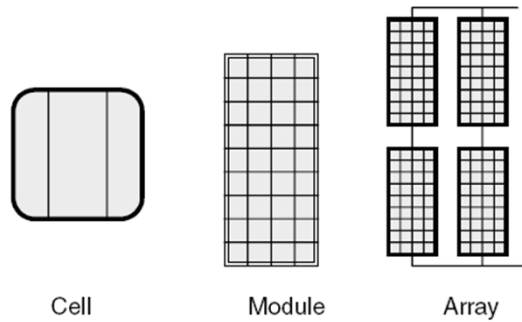


Figure 8.28 Photovoltaic cells, modules, and arrays.

Ghép các tế bào thành tấm pin

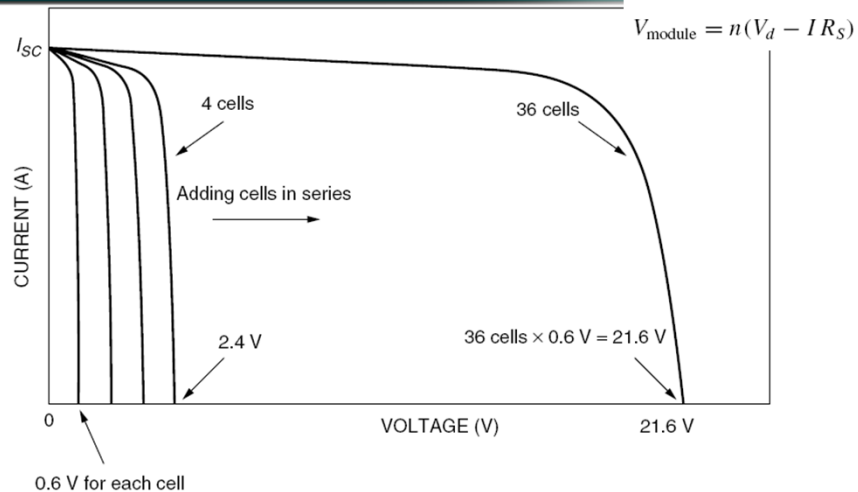


Figure 8.29 For cells wired in series, their voltages at any given current add. A typical module will have 36 cells.

Ghép các tế bào thành tấm pin

Ví Dụ 8.4: Tính Chọn Dòng và Áp cho Mô Đun PV

Mô đun PV gồm 36 tế bào quang nối tiếp. Với độ rọi 1-sun (1 kW/m^2), mỗi tế bào quang có $I_{SC} = 3.4 \text{ A}$ ở 25°C và dòng ngược bão hòa $I_0 = 6 \times 10^{-10} \text{ A}$. Cho biết $R_S = 0.005 \Omega$ và $R_P = 6.6 \Omega$.

- Xác định dòng, áp và công suất mà mô đun PV cung cấp được, biết mỗi tế bào quang có điện áp tiếp xúc là 0.5 V .
- Lập bảng quan hệ I và V với hướng dẫn sử dụng cụ thể.

Number of cells, $n = 36$

Parallel resistance/cell R_P (ohms) = 6.6

Series resistance/cell R_S (ohms) = 0.005

Reverse saturation current I_0 (A) = 6.00E-10

Short-circuit current at 1-sun (A) = 3.4

V_d	$I = I_{SC} - I_0 (e^{38.9 V_d} - 1) - \frac{V_d}{R_P}$	$V_{\text{module}} = n(V_d - I R_S)$	$P \text{ (watts)} = V_{\text{module}} I$
0.49	3.21	17.06	54.80
0.50	3.16	17.43	55.02
0.51	3.07	17.81	54.75
0.52	2.96	18.19	53.76
0.53	2.78	18.58	51.65
0.54	2.52	18.99	47.89
0.55	2.14	19.41	41.59

Ghép nối nhiều tấm pin

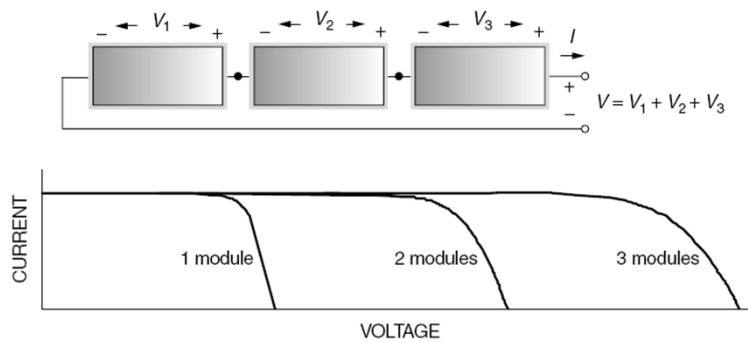


Figure 8.30 For modules in series, at any given current the voltages add.

Ghép nối nhiều tấm pin

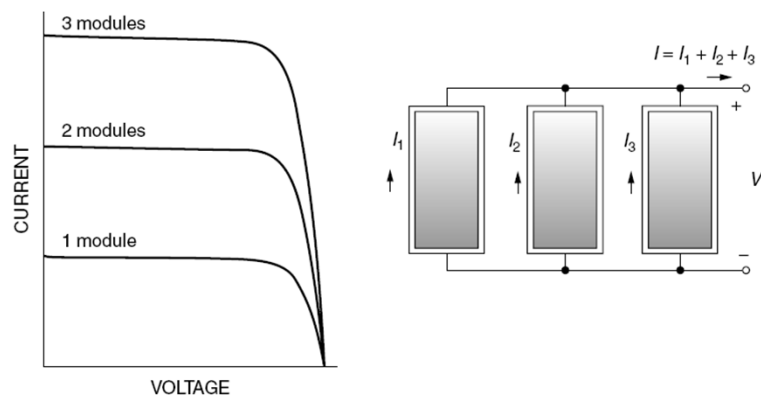
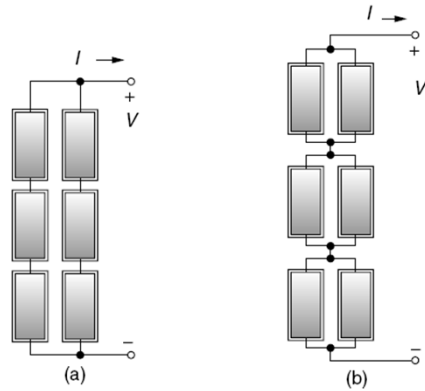


Figure 8.31 For modules in parallel, at any given voltage the currents add.

Ghép nối nhiều tấm pin



Năng lượng tái tạo

92

Ghép nối nhiều tấm pin

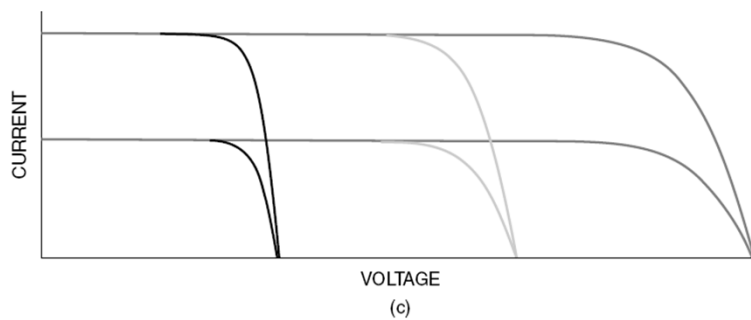


Figure 8.32 Two ways to wire an array with three modules in series and two modules in parallel. Although the $I-V$ curves for arrays are the same, two strings of three modules each (a) is preferred. The total $I-V$ curve of the array is shown in (c).

Năng lượng tái tạo

93

Đặc tuyến I-V của pin quang điện

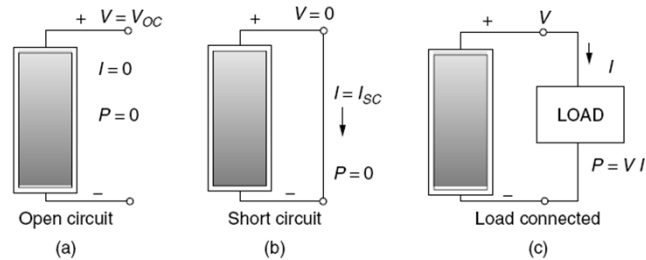


Figure 8.33 No power is delivered when the circuit is open (a) or shorted (b). When the load is connected (c), the same current flows through the load and module and the same voltage appears across them.

Đặc tuyến I-V

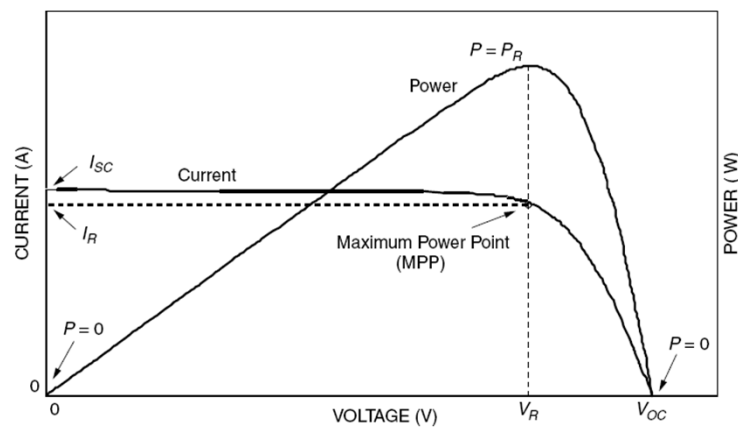


Figure 8.34 The I - V curve and power output for a PV module. At the maximum power point (MPP) the module delivers the most power that it can under the conditions of sunlight and temperature for which the I - V curve has been drawn.

Đặc tuyến I-V

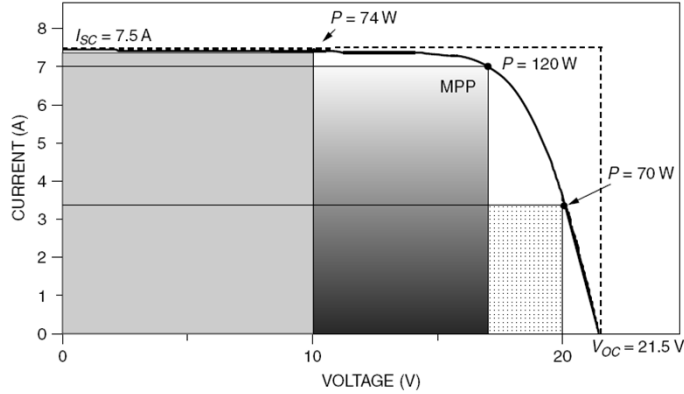


Figure 8.35 The maximum power point (MPP) corresponds to the biggest rectangle that can fit beneath the I - V curve. The fill factor (FF) is the ratio of the area (power) at MPP to the area formed by a rectangle with sides V_{OC} and I_{SC} .

$$\text{Fill factor (FF)} = \frac{\text{Power at the maximum power point}}{V_{OC} I_{SC}} = \frac{V_R I_R}{V_{OC} I_{SC}}$$

Năng lượng tái tạo

96

TABLE 8.3 Examples of PV Module Performance Data Under Standard Test Conditions (1 kW/m^2 , AM 1.5, 25°C Cell Temperature)

Manufacturer	Kyocera	Sharp	BP	Uni-Solar	Shell
Model	KC-120-1	NE-Q5E2U	2150S	US-64	ST40
Material	Multicrystal	Polycrystal	Monocrystal	Triple junction a-Si	CIS-thin film
Number of cells n	36	72	72		42
Rated Power $P_{DC,STC}$ (W)	120	165	150	64	40
Voltage at max power (V)	16.9	34.6	34	16.5	16.6
Current at rated power (A)	7.1	4.77	4.45	3.88	2.41
Open-circuit voltage V_{OC} (V)	21.5	43.1	42.8	23.8	23.3
Short-circuit current I_{SC} (A)	7.45	5.46	4.75	4.80	2.68
Length (mm/in.)	1425/56.1	1575/62.05	1587/62.5	1366/53.78	1293/50.9
Width (mm/in.)	652/25.7	826/32.44	790/31.1	741/29.18	329/12.9
Depth (mm/in.)	52/2.0	46/1.81	50/1.97	31.8/1.25	54/2.1
Weight (kg/lb)	11.9/26.3	17/37.5	15.4/34	9.2/20.2	14.8/32.6
Module efficiency	12.9%	12.7%	12.0%	6.3%	9.4%

Năng lượng tái tạo

97

Tác động của nhiệt độ và cường độ bức xạ

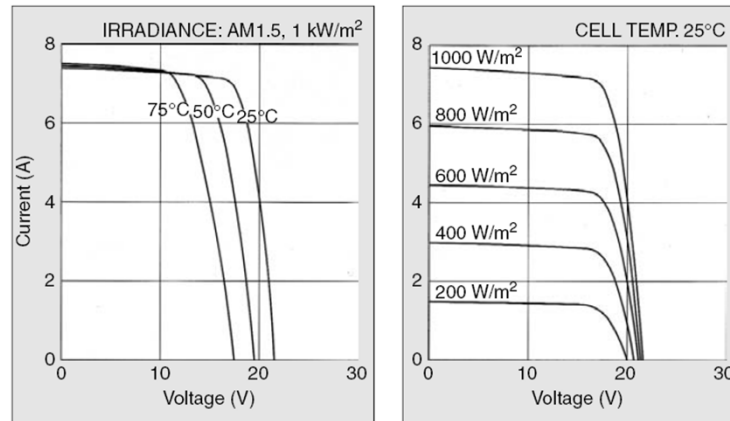


Figure 8.36 Current-voltage characteristic curves under various cell temperatures and irradiance levels for the Kyocera KC120-1 PV module.

Năng lượng tái tạo

98

Tác động của nhiệt độ và cường độ bức xạ

$$T_{\text{cell}} = T_{\text{amb}} + \left(\frac{\text{NOCT} - 20^\circ}{0.8} \right) \cdot S \quad T_{\text{cell}} = T_{\text{amb}} + \gamma \left(\frac{\text{Insolation}}{1 \text{ kW/m}^2} \right)$$

$$\begin{aligned} \Delta I_{\text{sc}} &= 0.05\%/^\circ\text{C} \\ \Delta V_{\text{oc}} &= -0.37\%/^\circ\text{C} \\ \Delta P_{\text{R}} &= -0.5\%/^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Ví Dụ 8.5: Xét Ảnh Hưởng của Nhiệt Độ tế bào quang lên Công Suất ra của Mô Đun PV

Khảo sát mô đun PV BP2150S 150-W, có thông số NOCT là 47°C. Dùng thông số của mô đun, tính nhiệt độ tế bào quang, giá trị áp hở mạch Voc cùng công suất ra của mô đun PV này khi nhiệt độ môi trường là 30°C và độ rọi 1-sun.

Năng lượng tái tạo

99

Tác động do bóng che

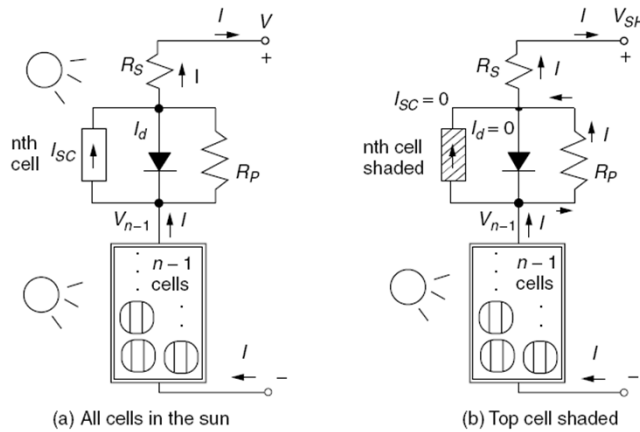


Figure 8.37 A module with n cells in which the top cell is in the sun (a) or in the shade (b).

Năng lượng tái tạo

100

$$V_{SH} = V_{n-1} - I(R_P + R_S) \quad (8.26)$$

With all n cells in the sun and carrying I , the output voltage was V so the voltage of the bottom $n - 1$ cells will be

$$V_{n-1} = \left(\frac{n-1}{n} \right) V \quad (8.27)$$

Combining (8.26) and (8.27) gives

$$V_{SH} = \left(\frac{n-1}{n} \right) V - I(R_P + R_S) \quad (8.28)$$

The drop in voltage ΔV at any given current I , caused by the shaded cell, is given by

$$\Delta V = V - V_{SH} = V - \left(1 - \frac{1}{n} \right) V + I(R_P + R_S) \quad (8.29)$$

$$\Delta V = \frac{V}{n} + I(R_P + R_S) \quad (8.30)$$

Since the parallel resistance R_P is so much greater than the series resistance R_S , (8.30) simplifies to

$$\Delta V \cong \frac{V}{n} + I R_P \quad (8.31)$$

Năng lượng tái tạo

101

Tác động do bóng che

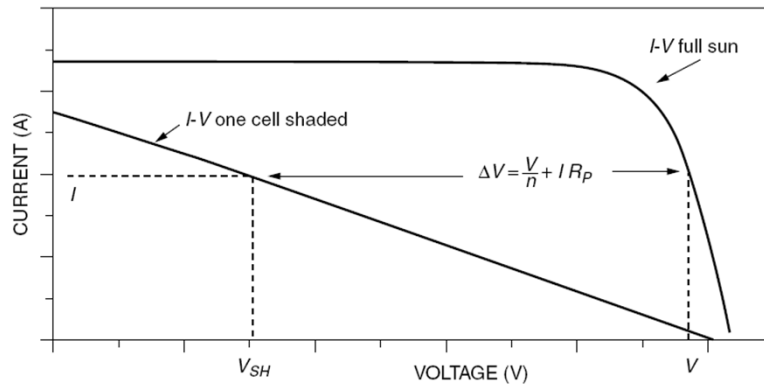


Figure 8.38 Effect of shading one cell in an n -cell module. At any given current, module voltage drops from V to $V - \Delta V$.

Tác động do bóng che

Ví Dụ 8.6: Khảo sát Ảnh Hưởng Che Khuất đối với Mô Đun PV

Khảo sát mô đun PV gồm 36 tế bào quang đã được mô tả ở **Ví Dụ 8.4**, có điện trở song song $R_p = 6.6 \, \Omega$. Lúc độ rọi đầy và dòng tải đạt $I = 2.14 \text{ A}$, áp ra $V = 19.41 \text{ V}$. Nếu 1 tế bào quang bị che và I qua tải không đổi, hãy xác định:

- Tìm áp ΔV bị thất thoát?
- Xác định giá trị áp mới?
- Xác định công suất bị thất thoát?

Tác động do bóng che

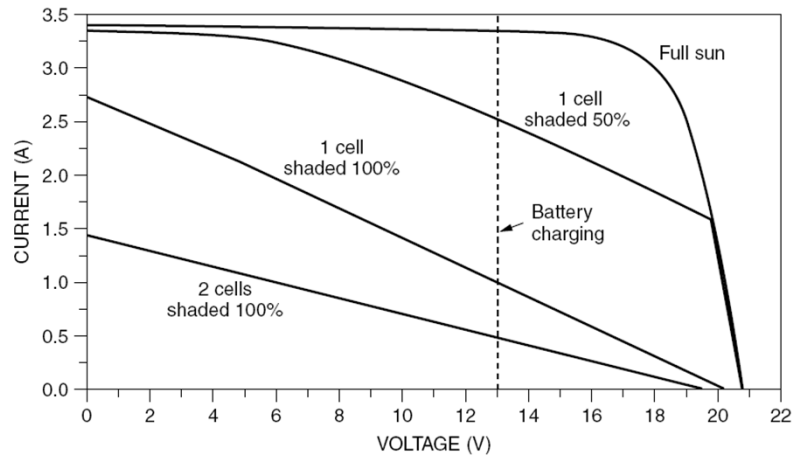


Figure 8.39 Effects of shading on the I - V curves for a PV module. The dashed line shows a typical voltage that the module would operate at when charging a 12-V battery; the impact on charging current is obviously severe.

Năng lượng tái tạo

104

Tác động do bóng che

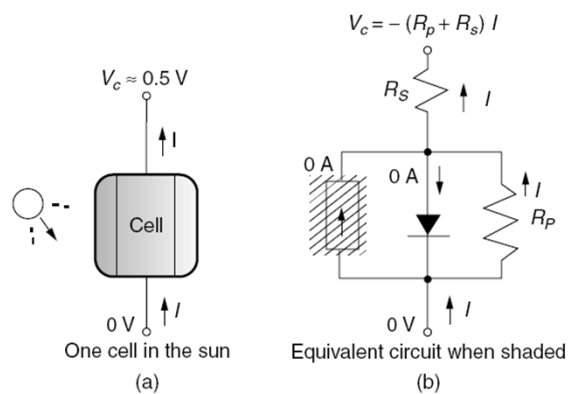


Figure 8.40 In full sun a cell may contribute around 0.5 V to the module output; but when a cell is shaded, it can have a large voltage drop across it.

Năng lượng tái tạo

105

Tác động do bóng che

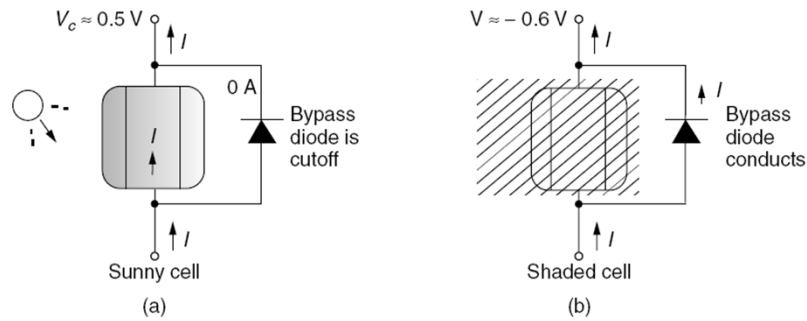


Figure 8.41 Mitigating the shade problem with a bypass diode. In the sun (a), the bypass diode is cut off and all the normal current goes through the solar cell. In shade (b), the bypass diode conducts current around the shaded cell, allowing just the diode drop of about 0.6 V to occur.

Năng lượng tái tạo

106

Tác động do bóng che

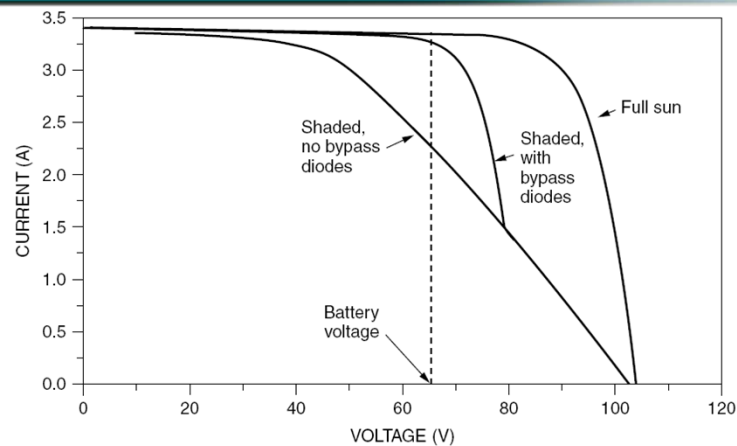
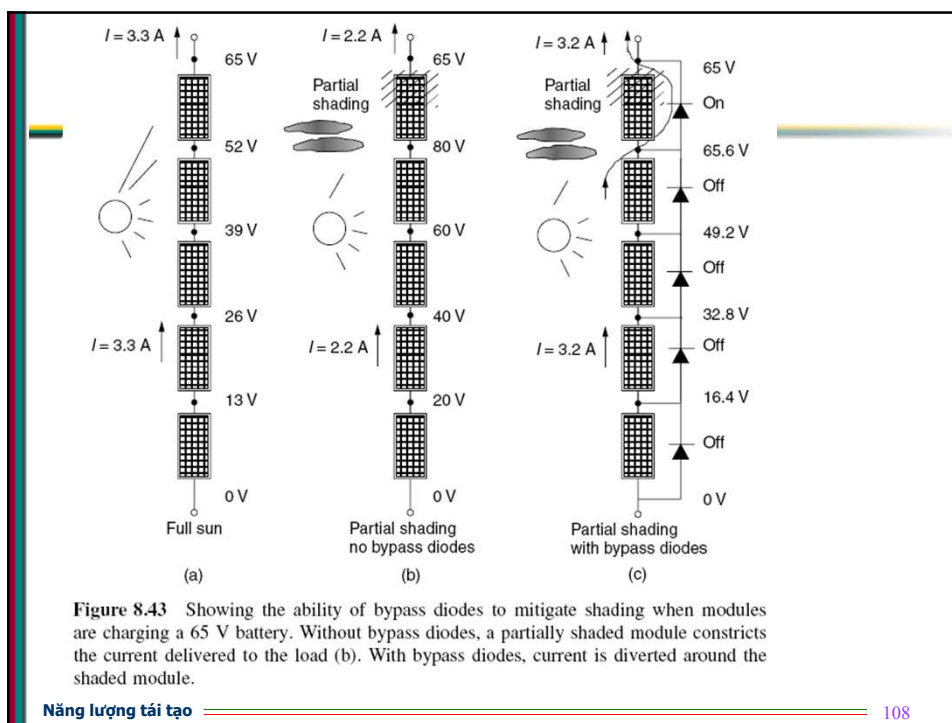


Figure 8.42 Impact of bypass diodes. Drawn for five modules in series delivering 65 V to a battery bank. With one module having two shaded cells, charging current drops by almost one-third when there are no bypass diodes. With the module bypass diodes there is very little drop.

Năng lượng tái tạo

107



Năng lượng tái tạo

108

Tác động do bóng che

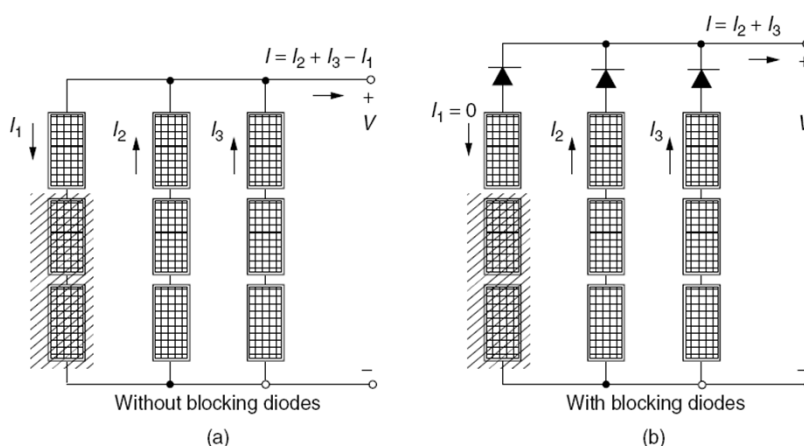


Figure 8.44 Blocking diodes prevent reverse current from flowing down malfunctioning or shaded strings.

Năng lượng tái tạo

109

Công nghệ chế tạo pin quang điện

- (1) **đơn tinh thể (single crystal, monocrystalline)**, kỹ thuật silicon phổ biến hiện nay;
- (2) **đa tinh thể (multicrystalline)**, trong đó mỗi tế bào được tạo thành từ một số mảng lớn các hạt đơn tinh thể, mỗi tế bào có kích thước từ 1 mm đến 10 cm, bao gồm các đa tinh thể silicon (mc-Si);
- (3) **mạng tinh thể (polycrystalline)**, gồm nhiều hạt có kích thước khác nhau, từ 1 μm đến 1 mm, chẳng hạn như các tế bào cadmium telluride (CdTe), copper indium diselenide (CuInSe₂), và mạng tinh thể (polycrystalline) hay màng mỏng (thin-film) silicon;
- (4) **vi tinh thể (microcrystalline)** là các tế bào chứa các hạt có kích thước nhỏ hơn 1 μm ; và
- (5) **vô định hình (amorphous)**, không chứa các mảng đơn tinh thể, giống như silic vô định hình (a-Si).

Năng lượng tái tạo

110

Pin quang điện dùng tinh thể silicon

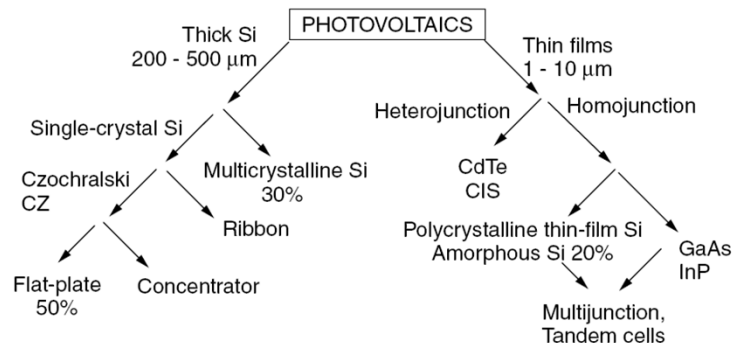


Figure 8.45 One way to organize the discussion of photovoltaic technologies. Percentages represent fraction of PV sales in the late 1990s.

Hình 8.45: Một cách phân nhánh để trình bày về các kỹ thuật quang điện. Tỷ lệ dựa theo thị phần PV vào cuối những năm 1990.

Năng lượng tái tạo

111

Kỹ thuật Czochralski tạo silicon đơn tinh thể

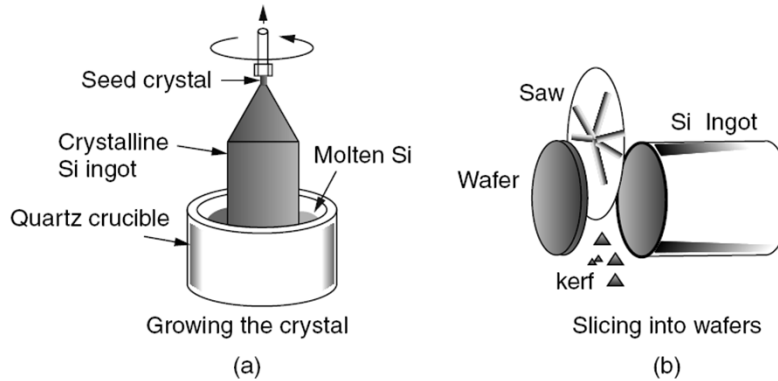
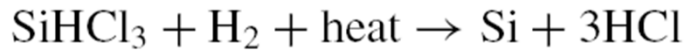
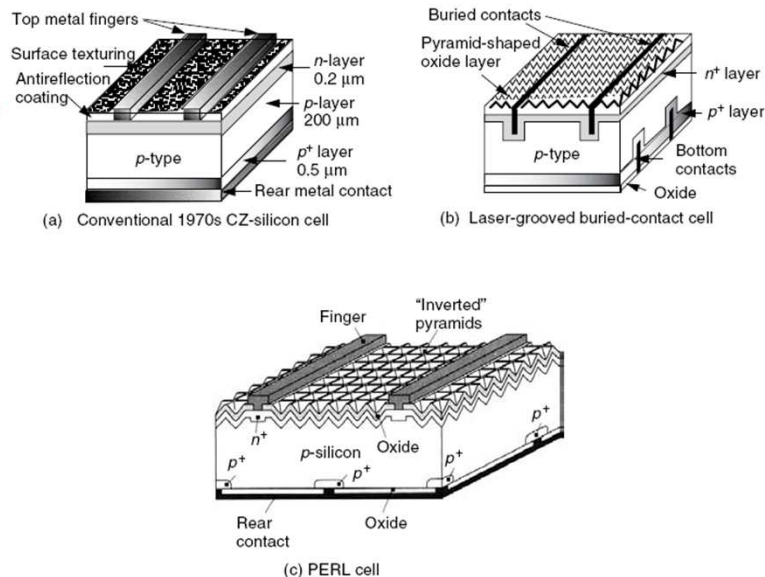


Figure 8.46 The Czochralski method for growing single-crystal silicon.

Hình 8.46: Phương pháp Czochralski tạo ra silicon đơn tinh thể.

Năng lượng tái tạo

112



Hình 8.47: Sự phát triển của các tế bào năng lượng mặt trời CZ-silicon. (a) Độ dày của phiên bản dẫn của một tế bào những năm 1970. (b) Tế bào có rãnh laser và điện cực chìm trên cả hai mặt. (c) Tế bào PERL. Theo Green (1993).

Năng lượng tái tạo

113

Kỹ thuật Czochralski tạo silicon đơn tinh thể

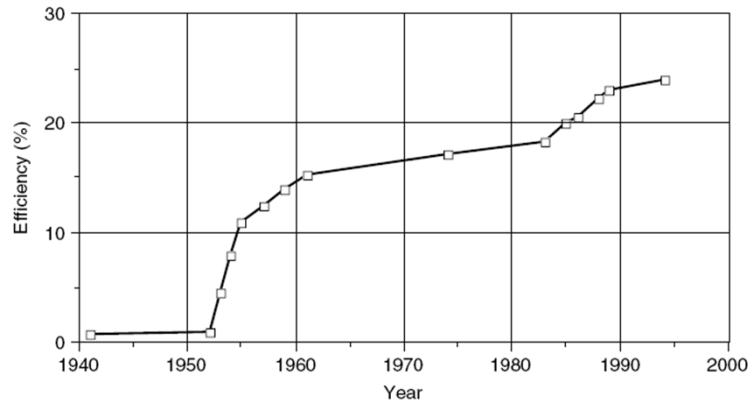


Figure 8.48 Increasing efficiency of single-crystal silicon, laboratory-scale cells. From

Hình 8.48: Tăng hiệu suất của các tế bào quang điện dùng silicon đơn tinh thể trong phòng thí nghiệm. Theo Bube (1998).

Năng lượng tái tạo

114

Các kỹ thuật kéo tấm silicon

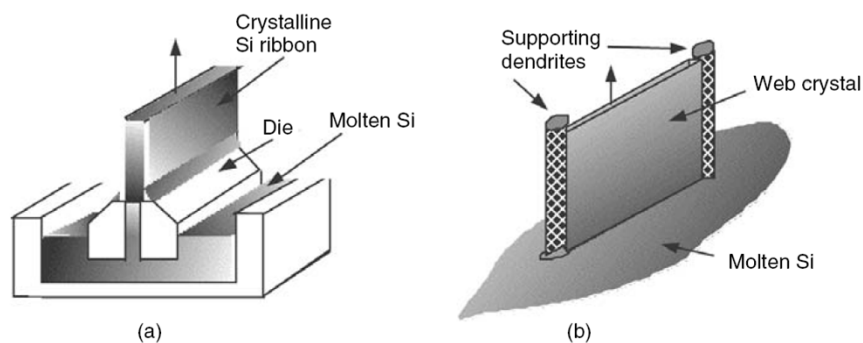


Figure 8.49 Ribbons of crystalline silicon can be grown using the edge-defined film-fed growth process (EFG) in (a) or using the dendritic web process (b).

Hình 8.49: Tấm tinh thể silicon có thể được kéo lên bằng phương pháp EFG (a) hoặc sử dụng 2 thanh kéo song song (b).

Năng lượng tái tạo

115

Các kỹ thuật kéo tấm silicon

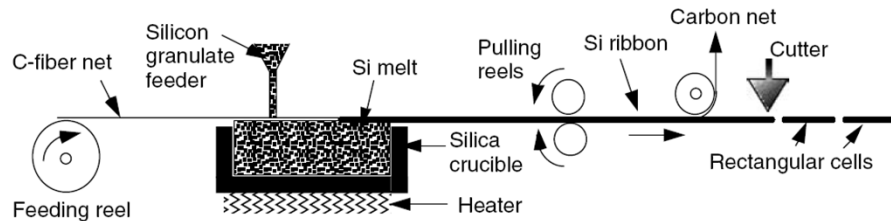


Figure 8.50 The S-Web process produces a continuous ribbon of silicon, which can be doped and cut into individual rectangular cells. Based on Schmela (2000).

Hình 8.50: Quy trình S-Web tạo ra tấm silicon liên tục, có thể pha tạp chất kích thích và cắt thành các tế bào hình chữ nhật. Theo Schmela (2000).

Năng lượng tái tạo

116

Đúc thỏi silicon đa tinh thể (Multicrystalline Silicon)

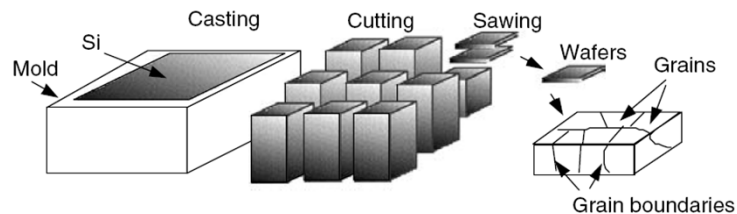


Figure 8.51 Casting, cutting and sawing of silicon results in wafers with individual grains of crystalline silicon separated by grain boundaries.

Hình 8.51: Đúc, cắt và cưa silicon để tạo thành wafer chứa các hạt tinh thể silicon, giữa các hạt tồn tại các lần ranh phân chia.

Năng lượng tái tạo

117

Mô đun tinh thể Silicon

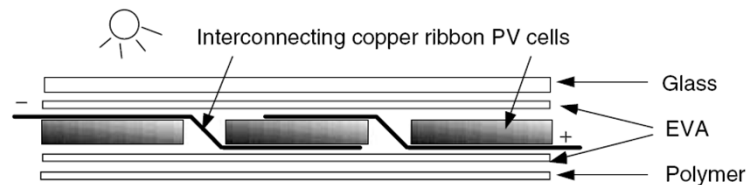


Figure 8.52 Thick crystalline cells must be wired together in series and then sandwiched in layers of glass, EVA, and polymers for structural support and weather protection.

Hình 8.52: Các tế bào tinh thể được nối nối tiếp với nhau và sau đó được bảo vệ giữa các lớp thủy tinh, EVA, và polyme.

Năng lượng tái tạo

118

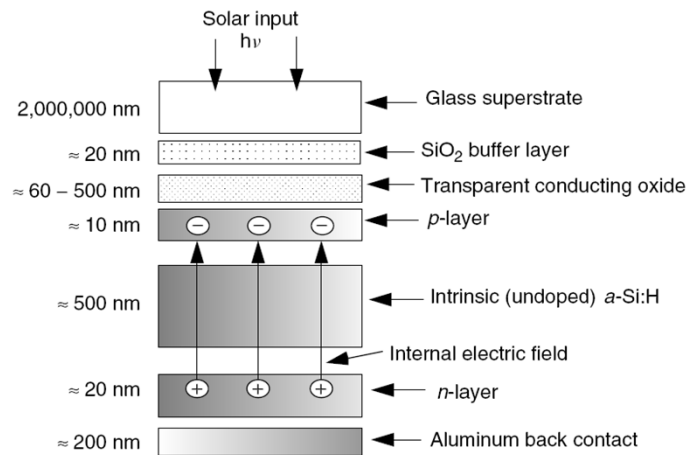
PIN QUANG ĐIỆN MÀNG MỎNG (THIN-FILM)

- _ Thực hiện bằng cách phủ một lớp màng cực mỏng (thin-film) các vật liệu quang điện trên nền thủy tinh hoặc kim loại.
- _ Kỹ thuật màng mỏng sử dụng ít vật liệu (chỉ có độ dày hàng μm , không như tinh thể silicon dày đến hàng trăm μm), lại không cần kết nối các tế bào phức tạp, và đặc biệt phù hợp với kỹ thuật sản xuất hàng loạt.
- _ Độ mỏng của thin-film cho phép các photon chưa được hấp thu có thể dễ dàng xuyên qua vật liệu quang điện.
- _ Nhờ đó có thể phủ lên các cửa sổ, tạo ra các loại kính vừa cung cấp ánh sáng và vừa phát điện.
- _ Hay tạo ra các đa liên kết hay xếp chồng các tế bào để cho phép các photon có các bước sóng khác nhau được hấp thu trong các lớp khác nhau.

Năng lượng tái tạo

119

Silicon vô định hình



Hình 8.53: Mặt cắt ngang của một tế bào silicon vô định hình p-i-n. Độ dày tính theo nanomet (10^{-9}m) và vẽ không theo tỷ lệ.

Năng lượng tái tạo

120

Silicon vô định hình

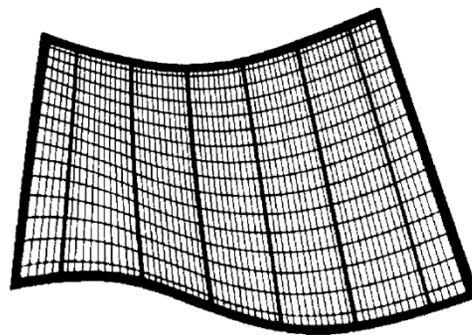


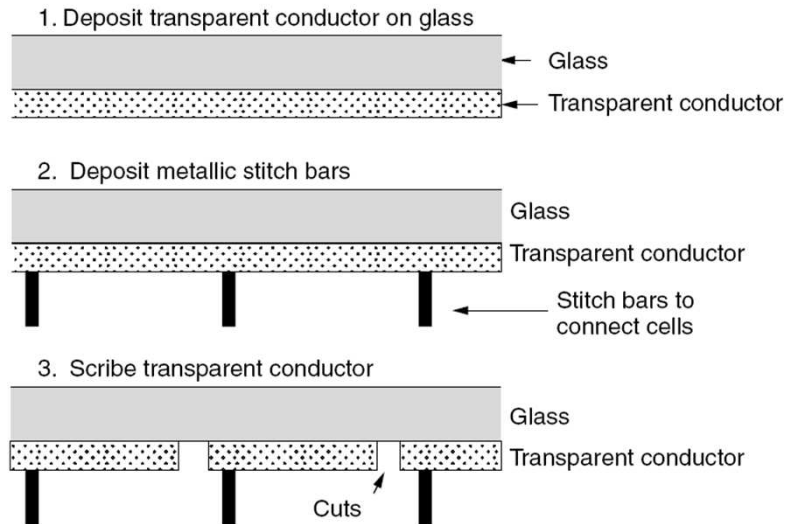
Figure 8.54 Flexible a-Si modules can be rolled up and stored when not in use. From SERI (1985).

Hình 8.54: Mô đun a-Si dạng linh hoạt có thể cuộn lại và để lưu trữ khi không sử dụng. Theo SERI (1985).

Năng lượng tái tạo

121

Quy trình chế tạo Silicon vô định hình



Năng lượng tái tạo

122

Quy trình chế tạo Silicon vô định hình

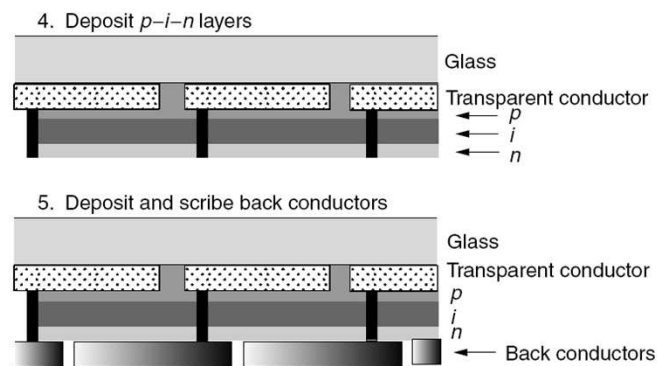


Figure 8.55 The sequence of steps taken to create a module of amorphous silicon cells.

Hình 8.55: Trình tự các bước thực hiện để tạo ra một môđun các tế bào silicon vô định hình.

Năng lượng tái tạo

123

Quy trình chế tạo Silicon vô định hình

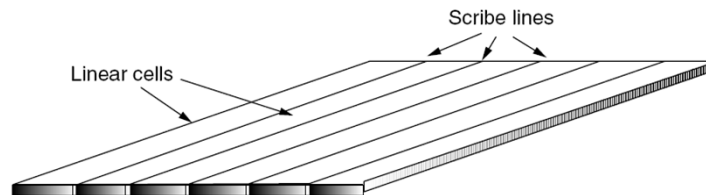


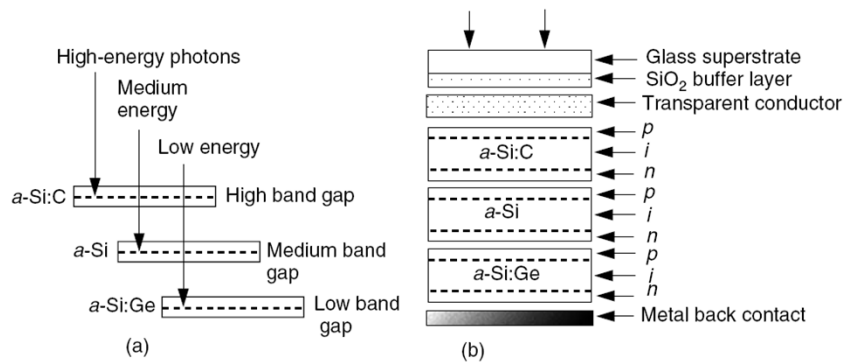
Figure 8.56 Individual cells can run the entire length of an amorphous silicon module.

Hình 8.56: Các tế bào riêng lẻ chạy theo chiều dài của một mô đun silicon vô định hình.

Năng lượng tái tạo

124

A-Si dạng đa liên kết hay xếp lớp



Hình 8.57: Các tế bào năng lượng mặt trời dùng silicon vô định hình đa liên kết được tạo ra từ hỗn hợp *a*-Si:H (mức năng lượng $\approx 1,75$ eV) với Carbon *a*-Si:C ở lớp trên cùng ($\approx 2,0$ eV) để hấp

Năng lượng tái tạo

125

Gallium Arsenide and Indium Phosphide

_ Trở lại bảng hệ thống tuần hoàn các nguyên tố (bảng 8.1), Silicon nằm ở cột thứ tư, và được gọi là nguyên tố nhóm IV (có hóa trị IV).

_ Các hợp chất mới thì thường tạo ra từ các cặp nguyên tố ở các cột thứ ba và thứ năm (gọi là vật liệu III-V), hoặc từ các cột thứ hai và thứ sáu (vật liệu II-VI).

_ Ví dụ như, gallium là nguyên tố thuộc nhóm III, kết hợp với arsenic thuộc nhóm V để tạo ra vật liệu quang điện gallium arsenide (GaAs).

_ Tương tự, indium (nhóm III) và photpho (nhóm V) có thể tạo ra các tế bào indium phosphide (InP).

_ Hay như vật liệu II-VI là sự kết hợp giữa cadmium (nhóm II) và tellurium (nhóm VI) trong các tế bào CdTe (cadtelluride).

Năng lượng tái tạo

126

Gallium Arsenide and Indium Phosphide

TABLE 8.1 The Portion of the Periodic Table of Greatest Importance for Photovoltaics Includes the Elements Silicon, Boron, Phosphorus, Gallium, Arsenic, Cadmium, and Tellurium

I	II	III	IV	V	VI
		5 B	6 C	7 N	8 O
		13 Al	14 Si	15 P	16 S
29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se
47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te

Năng lượng tái tạo

127

Cadmium Telluride

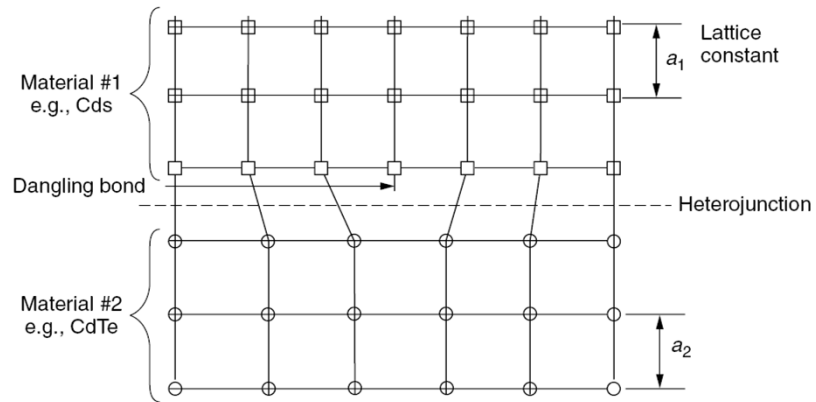


Figure 8.58 The mismatch between heterojunction materials leads to dangling bonds

Hình 8.58: Sự bất tương đồng giữa hai loại vật liệu trong heterojunction, tạo ra các liên kết lơ lửng.

Năng lượng tái tạo

128

Copper Indium Diselenide (CIS)

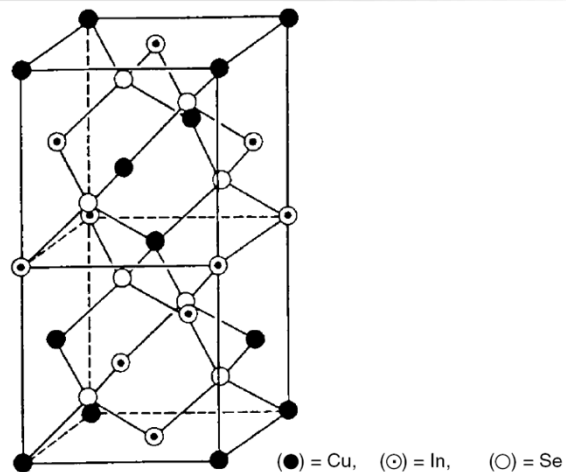


Figure 8.59 The crystalline structure of CuInSe_2 or "CIS." From Bube (1998) based on Kazmerski and Wagner (1985).

Năng lượng tái tạo

129

Copper Indium Diselenide (CIS)

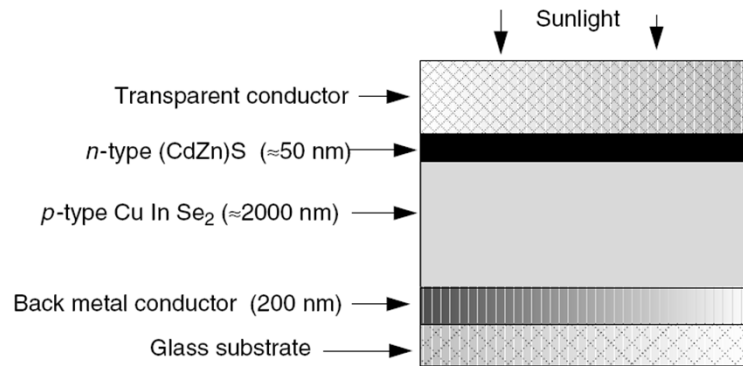


Figure 8.60 Structure of a simple, thin-film copper indium diselenide (CIS) cell.

Hình 8.60: Cấu trúc của tế bào màng mỏng đơn giản dùng copper indium diselenide (CIS).

Năng lượng tái tạo 130

Đặc tính tải của pin quang điện

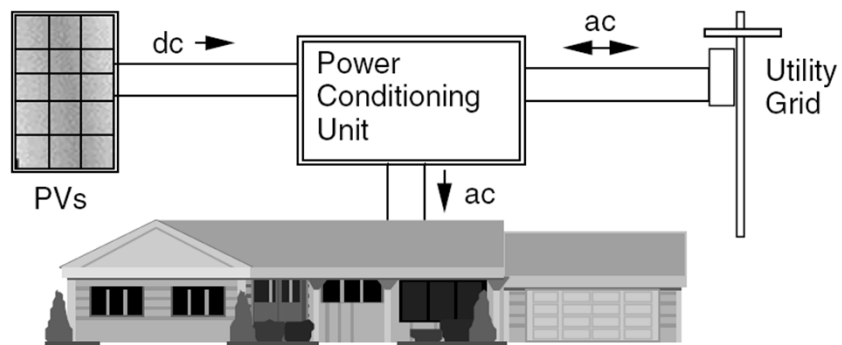


Figure 9.1 Simplified grid-connected PV system.

Năng lượng tái tạo 131

Đặc tính tải của pin quang điện

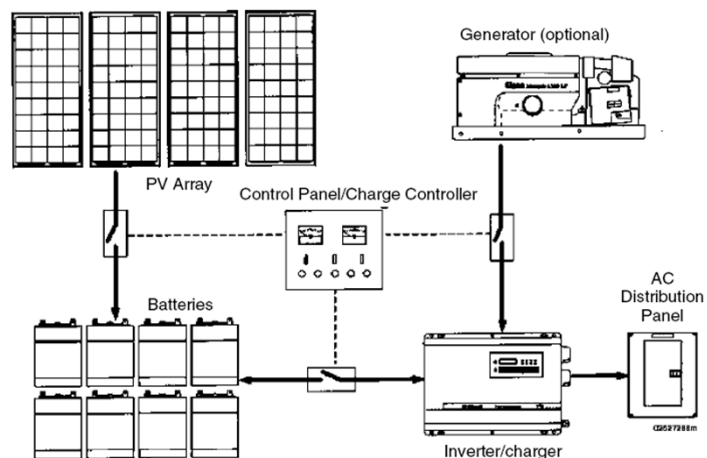


Figure 9.2 Example of a stand-alone PV system with optional generator for back-up.

Năng lượng tái tạo

132

Đặc tính tải của pin quang điện

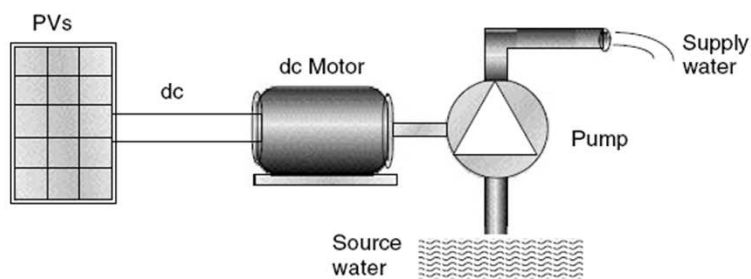


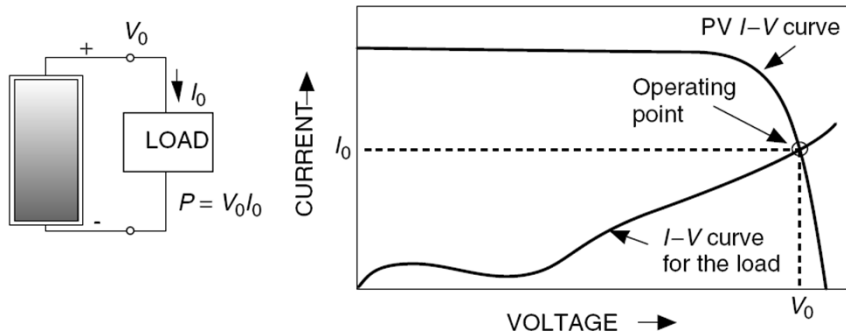
Figure 9.3 Conceptual diagram of a photovoltaic-powered water pumping system.

Năng lượng tái tạo

133

Đặc tuyến I-V cho tải trở

$$V = IR \quad \text{or} \quad I = \left(\frac{1}{R}\right)V$$



Năng lượng tái tạo

134

Đặc tuyến I-V cho tải trở

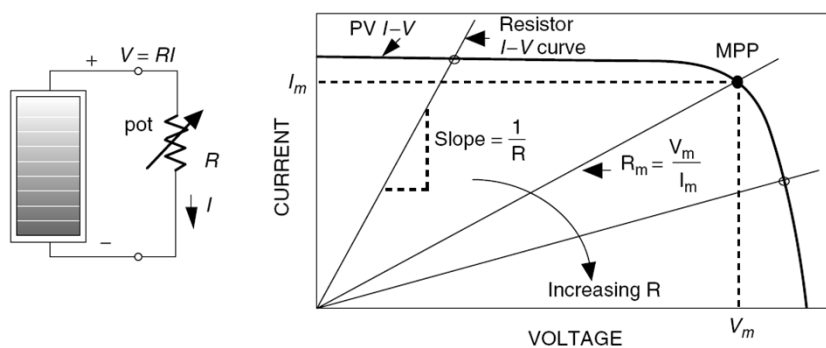
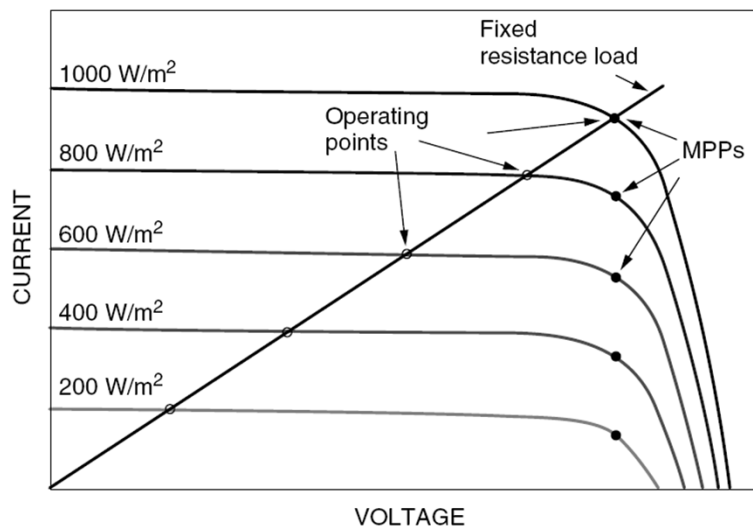


Figure 9.5 A module supplying power to a resistive load. As resistance changes, the operating point moves around on the PV I-V curve.

Năng lượng tái tạo

135

Đặc tuyến I-V cho tải trở



Năng lượng tái tạo

136

Đặc tuyến I-V cho tải động cơ DC

$$V = IR_a + k\omega$$

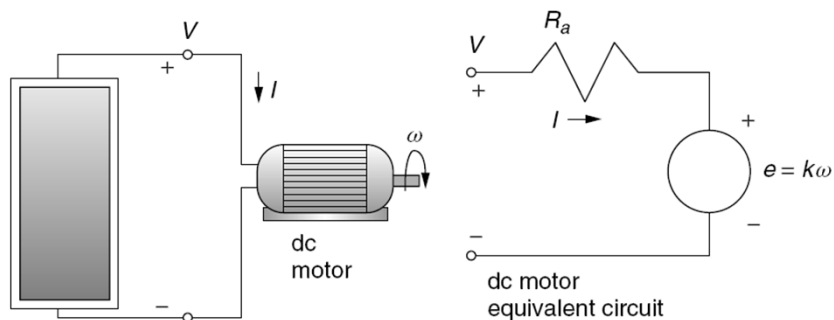
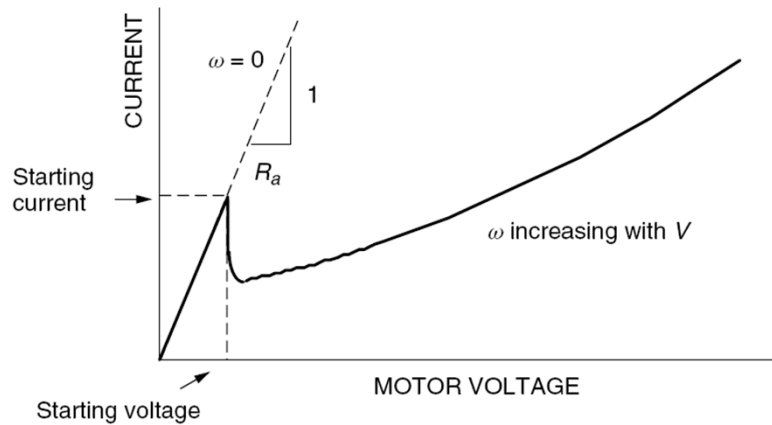


Figure 9.7 Electrical model of a permanent magnet dc motor.

Năng lượng tái tạo

137

Đặc tuyến I-V cho tải động cơ DC



Năng lượng tái tạo

138

Đặc tuyến I-V cho tải động cơ DC

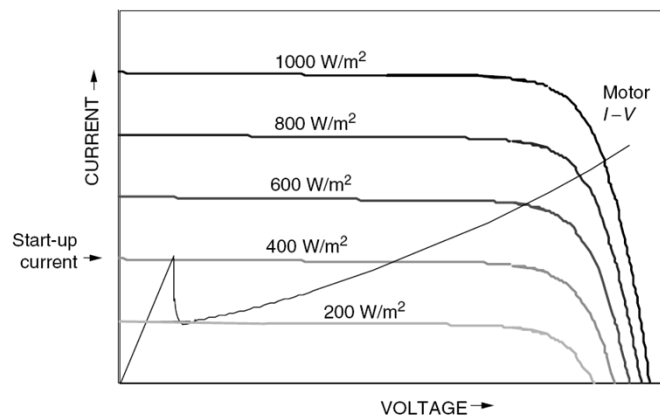


Figure 9.9 DC motor $I-V$ curve on photovoltaic $I-V$ curves for varying insolation. In this example (somewhat exaggerated), the motor won't start spinning until insolation reaches 400 W/m^2 , but after that it only needs 200 W/m^2 to keep running.

Năng lượng tái tạo

139

Đặc tuyến I-V cho tải động cơ DC

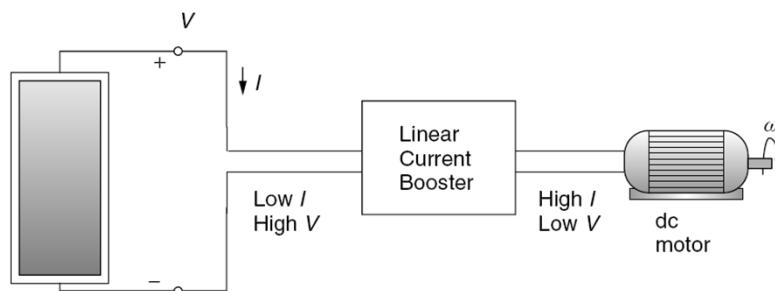


Figure 9.10 A linear current booster (LCB) increases current to help start or keep the motor running in low sunlight.

Năng lượng tái tạo

140

Đặc tuyến I-V cho tải acquy

$$V = V_B + R_i I$$

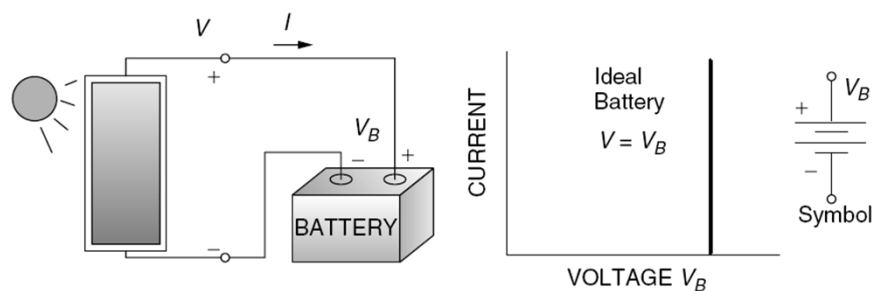
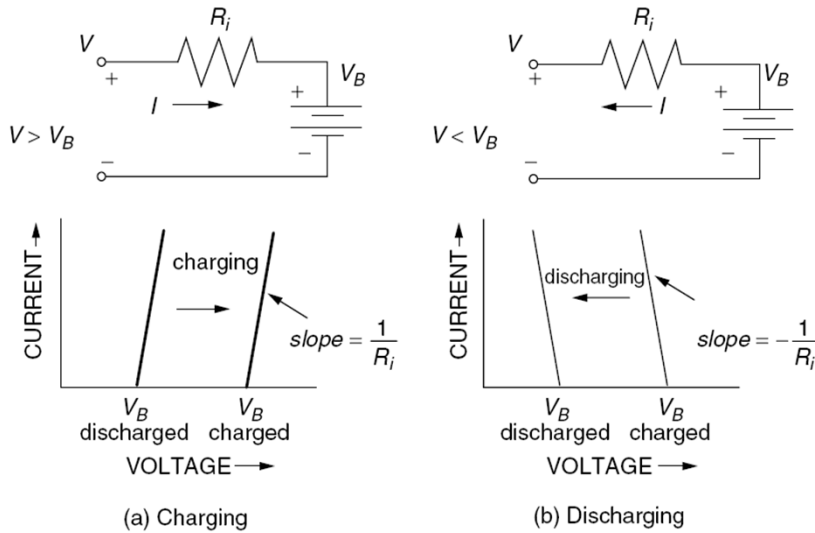


Figure 9.11 An ideal battery has a vertical current–voltage characteristic curve.

Năng lượng tái tạo

141

Đặc tuyến I-V cho tải acquy



Năng lượng tái tạo

142

Đặc tuyến I-V cho tải acquy

Ví Dụ 9.1: Khảo Sát Quá trình Nạp Bình Accu Chì 12V

Cho bình Accu chì 12V, có áp bằng 11.7V lúc bình gần cạn. Điện trở nội R_i bằng 0.03Ω .

- Tìm áp của nguồn quang điện PV biết dòng nạp bình bằng 6A?
- Khi áp hồ mạch là 12.7V lúc bình nạp đầy, bình cấp dòng 20A cho tải, tìm áp vòng kín mà bình cấp cho tải?

Năng lượng tái tạo

143

Dò điểm công suất cực đại (MPPT)

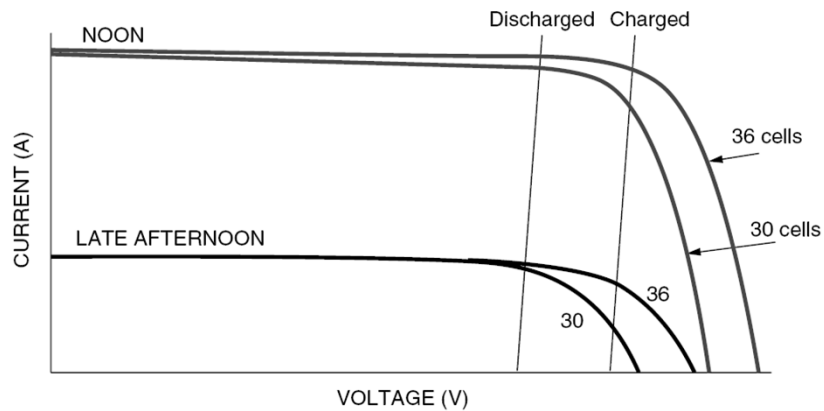


Figure 9.13 A self-regulating PV module with fewer cells can automatically reduce charging current as the batteries approach full charge.

Năng lượng tái tạo

144

Dò điểm công suất cực đại (MPPT)

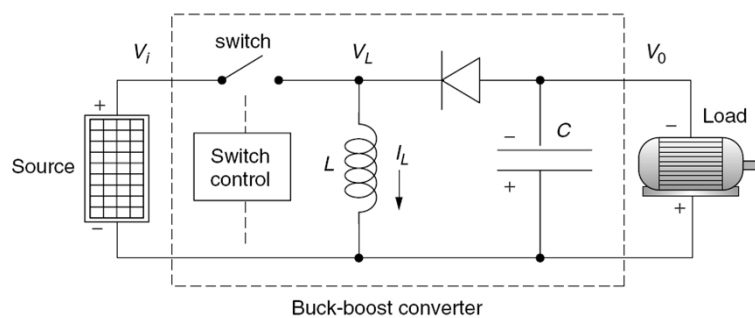


Figure 9.14 A buck-boost converter used as the heart of a maximum power tracker.

$$\overline{P}_{L,\text{in}} = \frac{1}{T} \int_0^{DT} V_i I_L dt = \frac{1}{T} V_i \int_0^{DT} I_L dt$$

Năng lượng tái tạo

145

Dò điểm công suất cực đại (MPPT)

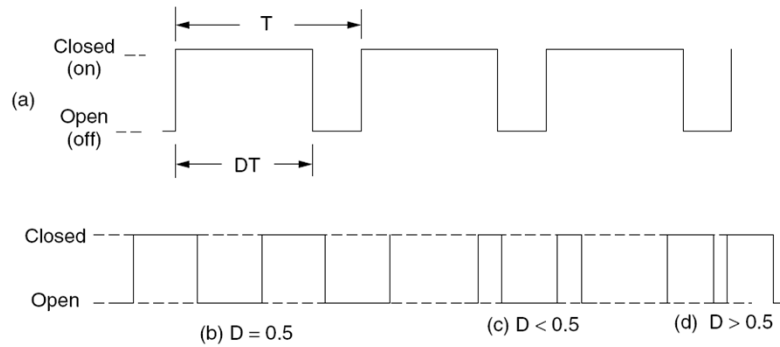


Figure 9.15 The duty cycle D is the fraction of the time the switch is closed (a). Examples: (b) 50% duty cycle; (c) $D < 0.5$; (d) $D > 0.5$.

Năng lượng tái tạo

146

Dò điểm công suất cực đại (MPPT)

$$\overline{P}_{L,\text{in}} = \frac{1}{T} \int_0^{DT} V_i I_L dt = \frac{1}{T} V_i \int_0^{DT} I_L dt$$

$$\overline{P}_{L,\text{in}} = \frac{1}{T} V_i I_L \int_0^{DT} dt = V_i I_L D$$

$$\overline{P}_{L,\text{out}} = \frac{1}{T} \int_{DT}^T V_L I_L dt = \frac{1}{T} \int_{DT}^T V_0 I_L dt$$

$$\overline{P}_{L,\text{out}} = \frac{1}{T} V_0 I_L (T - DT) = V_0 I_L (1 - D)$$

$$\frac{V_0}{V_i} = - \left(\frac{D}{1 - D} \right)$$

Năng lượng tái tạo

147

Dò điểm công suất cực đại (MPPT)

Ví Dụ 9.2: Tính toán chu kỳ tải D cho mạch MPPT

Mô đun quang điện PV có đặc tuyến I-V đạt điểm làm việc MPP tại: $V_m = 17V$ và $I_m = 6A$. Tìm hệ số tải D cần có để mạch converter đạt điểm làm việc MPPT, biết tải tiêu thụ có trở bằng $10\ \Omega$.

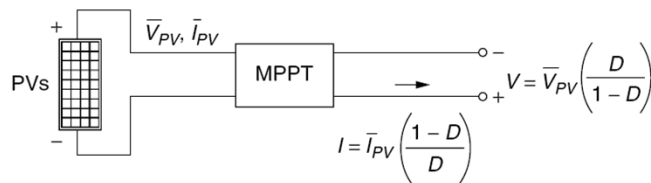


Figure 9.16 The MPPT bumps the PV voltages and currents to appropriate values for the load (one goes up, the other down).

Năng lượng tái tạo

148

Dò điểm công suất cực đại (MPPT)

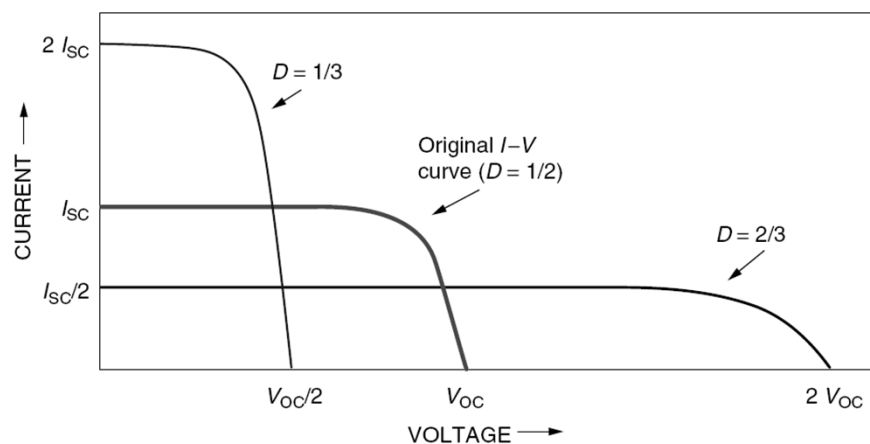
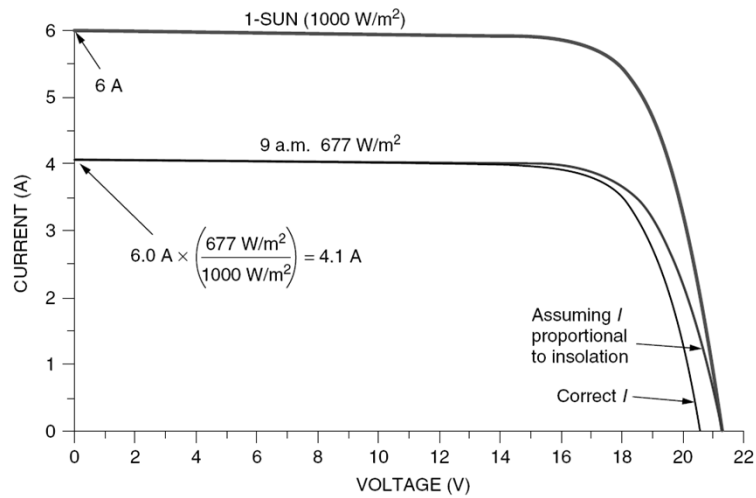


Figure 9.17 Redrawing the PV $I-V$ curves with an MPPT.

Năng lượng tái tạo

149

Đặc tuyến I-V theo giờ



Năng lượng tái tạo

150

Đặc tuyến I-V theo giờ

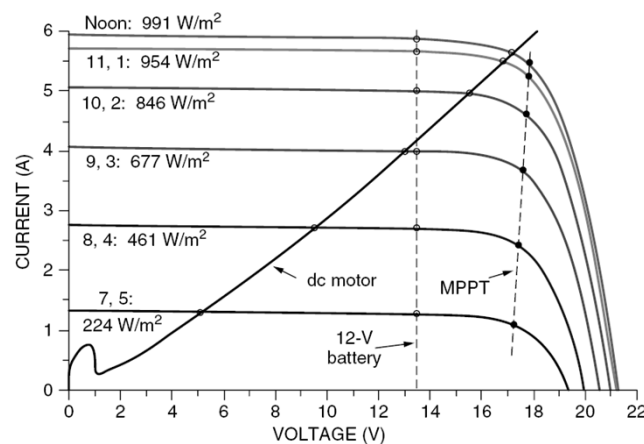


Figure 9.19 Hour-by-hour PV I – V curves with examples of three different load types: dc motor, 12-V battery, MPPT.

Năng lượng tái tạo

151

Đặc tuyến I-V theo giờ

TABLE 9.1 Daily Energy Delivered to Three Loads^a

Time	Insolation (W/m ²)	dc Motor			12-V Battery			MPPT		
		Amps	Volts	Watts	Amps	Volts	Watts	Amps	Volts	Watts
7	224	1.3	5.0	6.5	1.3	13.5	17.6	1.1	17.3	19.0
8	461	2.7	9.6	25.9	2.7	13.5	36.5	2.5	17.4	43.5
9	677	4.0	13.0	52.0	4.0	13.5	54.0	3.7	17.5	64.8
10	846	5.0	15.6	78.0	5.0	13.5	67.5	4.7	17.6	82.7
11	954	5.3	16.9	89.6	5.6	13.5	75.6	5.2	17.7	92.0
12	991	5.5	17.1	94.1	5.9	13.5	79.7	5.4	17.8	96.1
1	954	5.3	16.9	89.6	5.6	13.5	75.6	5.2	17.7	92.0
2	846	5.0	15.6	78.0	5.0	13.5	67.5	4.7	17.6	82.7
3	677	4.0	13.0	52.0	4.0	13.5	54.0	3.7	17.5	64.8
4	461	2.7	9.6	25.9	2.7	13.5	36.5	2.5	17.4	43.5
5	224	1.3	5.0	6.5	1.3	13.5	17.6	1.1	17.3	19.0
W-h:	7315			598			582			700
Eff. vs. MPPT:				85%			83%			100%

^aWithout an MPPT, the dc motor is unable to collect 15% of the available energy and the 12-V battery loses 17%

Năng lượng tái tạo

152

Hệ điện mặt trời độc lập

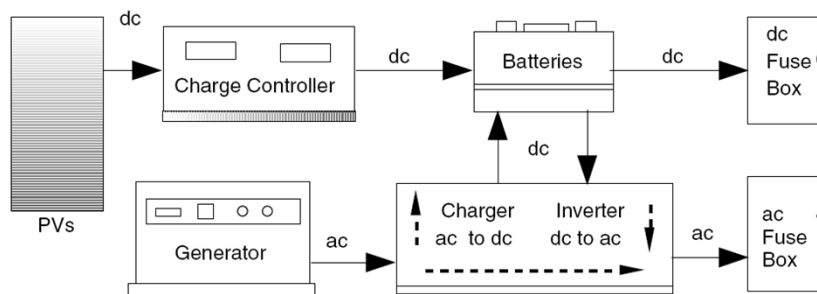


Figure 9.35 A stand-alone system with back-up generator and separate outputs for dc and ac loads.

Năng lượng tái tạo

153

Ước lượng tải tiêu thụ

Kitchen Appliances

	<i>Power</i>
Refrigerator: ac EnergyStar, 14 cu.ft	300 W, 1080 Wh/day
Refrigerator: ac EnergyStar, 19 cu.ft	300 W, 1140 Wh/day
Refrigerator: ac EnergyStar, 22 cu.ft	300 W, 1250 Wh/day
Refrigerator: dc Sun Frost, 12 cu.ft	58 W, 560 Wh/day
Freezer: ac 7.5 cu.ft	300 W, 540 Wh/day
Freezer: dc Sun Frost, 10 cu.ft	88 W, 880 Wh/day
Electric range (small burner)	1250 W
Electric range (large burner)	2100 W
Dishwasher: cool dry	700 W
Dishwasher: hot dry	1450 W
Microwave oven	750–1100 W
Coffeemaker (brewing)	1200 W
Coffeemaker (warming)	600 W
Toaster	800–1400 W

Năng lượng tái tạo

154

Ước lượng tải tiêu thụ

General Household

Clothes washer: vertical axis	500 W
Clothes washer: horizontal axis	250 W
Dryer (gas)	500 W
Vacuum cleaner	1000–1400 W
Furnace fan: 1/4 hp	600 W
Furnace fan: 1/3 hp	700 W
Furnace fan: 1/2 hp	875 W
Ceiling fan	65–175 W
Whole house fan	240–750 W
Air conditioner: window, 10,000 Btu	1200 W
Heater (portable)	1200–1875 W
Compact fluorescent lamp (100-W equivalent)	30 W
Compact fluorescent lamp (60-W equivalent)	16 W
Electric blanket, single/double	60/100 W
Clothes iron	1000–1800 W
Electric clock	4 W

Năng lượng tái tạo

155

Ước lượng tải tiêu thụ

Consumer Electronics

TV: >39-in. (active/standby)	142/3.5 W
TV: 25 to 27-in. color (active/standby)	90/4.9 W
TV: 19 to 20-in. color (active/standby)	68/5.1 W
Analog cable box (active/standby)	12/11 W
Satellite receiver (active/standby)	17/16 W
VCR (active/standby)	17/5.9 W
Component stereo (active/standby)	44/3 W
Compact stereo (active/standby)	22/9.8 W
Cordless phone	4 W
Clock radio (active/standby)	2.0/1.7 W
Computer, desktop (active/idle/standby)	125/80/2.2 W
Laptop computer	20 W
Ink-jet printer	35 W
Dot-matrix printer	200 W
Laser printer	900 W

Năng lượng tái tạo

156

Ước lượng tải tiêu thụ

Shop

Circular saw, 7 1/4"	900 W
Table saw, 10-in.	1800 W
Hand drill, 1/4"	250 W

Water Pumping

Centrifugal pump: 36 Vdc, 50-ft @ 10 gpm	450 W
Submersible pump: 24 Vdc, 100-ft @ 1.6 gpm	100 W
Submersible pump: 48 Vdc, 300-ft @ 1.5 gpm	180 W
DC pump (house pressure system), typical use 1–2 h/day	60 W

Source: Rosen and Meier (2000) and others.

Năng lượng tái tạo

157

Ước lượng tải tiêu thụ

Ví Dụ 9.14: Xác định Công Suất Tải Tiêu Thụ Của Hộ Gia Dụng

Hãy xác định công suất tải tiêu thụ của 1 hộ sử dụng toàn bộ tải ac, bao gồm 1 tủ lạnh 19cu.ft, 6 bóng huỳnh quang 30W (dùng 5 giờ mỗi ngày), một TV 19in (dùng 3 giờ mỗi ngày) kết nối vệ tinh, một điện thoại để bàn không dây, một lò vi ba 1000W (dùng 6 phút mỗi ngày), và 1 giếng sâu 100ft được máy bơm cung cấp 120 gallons/ngày.

Appliance	Power (W)	Hours	Watt-hours/day	Percentage
Refrigerator, 19 cu. ft	300		1140	37%
Lights (6 @ 30 W)	180	5	900	29%
TV, 19-in., active mode	68	3	204	7%
TV, 19-in., standby mode	5.1	21	107	3%
Satellite, active mode	17	3	51	2%
Satellite, standby mode	16	21	336	11%
Cordless phone	4	24	96	3%
Microwave	1000	0.1	100	3%
Washing machine	250	0.2	50	2%
Well pump, 100 ft, 1.6 gpm	100	1.25	125	4%
Total			3109	100%

Năng lượng tái tạo

158

Bộ nghịch lưu và hệ điện áp

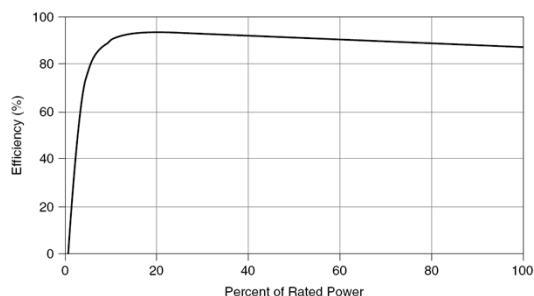


Figure 9.36 Typical efficiency of a stand-alone system inverter.

Ví Dụ 9.15: Xác định Tổn Hao của Bộ Nghịch Lưu

Ta dự định dùng 1 tủ lạnh DC 800Wh/ngày để thay thế cho tủ lạnh AC 1140Wh/ngày sử dụng ở VD 9.14. Hãy ước tính công suất dc mà bộ bình cần cung cấp trong 2 trường hợp:

- Các tải đều dùng điện ac
- Các tải đều dùng điện ac trừ tủ lạnh

Năng lượng tái tạo

159

Bộ nghịch lưu và hệ điện áp

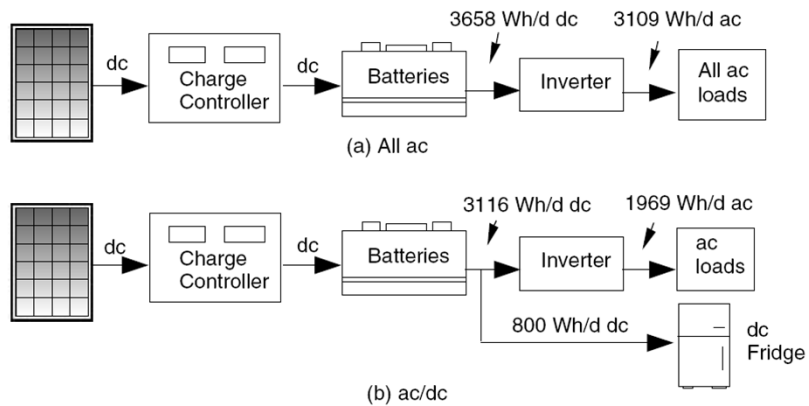


Figure 9.37 Switching out the ac refrigerator with a more efficient dc one. Numbers are based on Example 9.15.

Năng lượng tái tạo

160

Bộ nghịch lưu và hệ điện áp

TABLE 9.11 Suggested System Voltages Based on Limiting Current to 100 A

Maximum ac Power	System dc Voltage
<1200 W	12 V
1200–2400 W	24 V
2400–4800 W	48 V

Dòng điện I_{dc} thường nhỏ hơn 100A.

Năng lượng tái tạo

161

Bộ nghịch lưu và hệ điện áp

TABLE 9.12 The Maximum Continuous Power Demand for The House in Example 9.14

Load	Watts
Refrigerator	300
Lights	180
TV/satellite, active mode	85
Cordless phone	4
Microwave	1000
Washing machine	250
Well pump	100
Maximum ac power demand	1919

Năng lượng tái tạo

162

Acquy

TABLE 9.13 Steady-State and Surge Power Requirements for Example Loads

Load	Steady State (watts)	Surge (watts)
Refrigerator (ac)	300	1500
Refrigerator (dc)	58	700
Dishwasher	700	1400
Jet pump (1/3 hp) (ac)	750	1400
Submersible pump (ac)	1000	6000
Clothes washer (vertical axis)	650	1150
Clothes washer (horizontal axis)	250	750
Dryer (gas)	500	1800
Furnace fan 1/4 hp	600	1000
Furnace fan 1/3 hp	700	1400
Furnace fan 1/2 hp	875	2350
Air conditioner, window 10 kBtu	1200	1500
Worm drive 7 1/4" saw	1800	3000
Table saw, 10"	1800	4500

Source: Real Goods (2002).

Năng lượng tái tạo

163

Acquy

TABLE 9.14 Rough Comparison of Battery Characteristics^a

Battery	Max Depth Discharge	Energy Density (Wh/kg)	Cycle Life (cycles)	Calendar Life (years)	Efficiencies		Cost (\$/kWh)
					Ah %	Wh %	
Lead-acid, SLI	20%	50	500	1–2	90	75	50
Lead-acid, golf cart	80%	45	1000	3–5	90	75	60
Lead-acid, deep-cycle	80%	35	2000	7–10	90	75	100
Nickel–cadmium	100%	20	1000–2000	10–15	70	60	1000
Nickel–metal hydride	100%	50	1000–2000	8–10	70	65	1200

^aActual performance depends greatly on how they are used.

Source: Linden (1995) and Patel (1999).

Acquy chì khởi động SLI chỉ cho phép xả 20%. Khối lượng nhẹ do điện cực nhỏ, điện tích đầy bình chứa kén hẹp,...

Năng lượng tái tạo

164

Acquy chì - axit

Tuổi thọ của acquy chì loại deep-cycle tăng lên đáng kể nếu chỉ xả đến 20%.

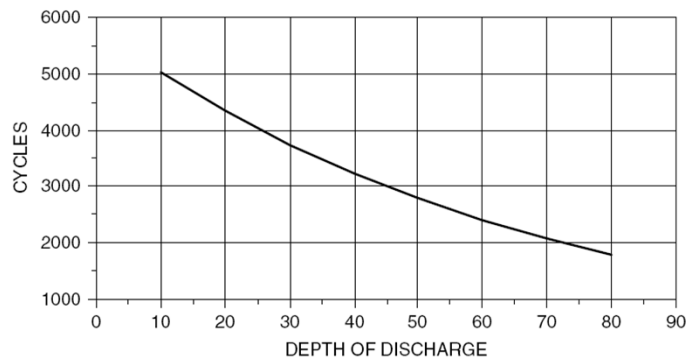


Figure 9.38 Impact of depth of discharge on the number of cycles a typical deep-cycle lead-acid battery might be able to provide. An automobile SLI battery delivers only around 500 cycles at 20% discharge.

Năng lượng tái tạo

165

Acquy chì - axit

The chemical reactions taking place while the battery discharges are as follows:

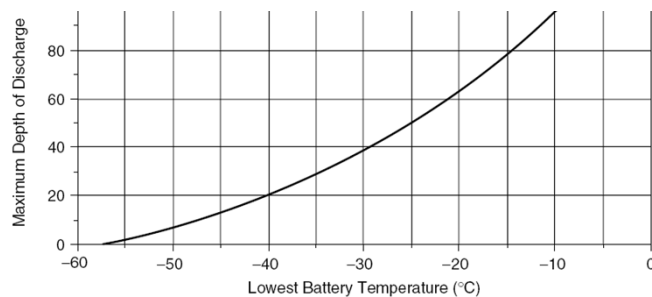
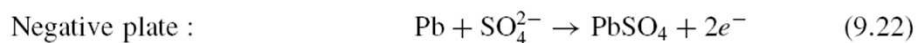
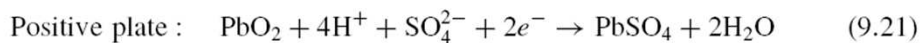


Figure 9.39 Concern for battery freezing may limit the allowable depth of discharge of a lead-acid battery.

Nhiệt độ quá thấp làm giảm khả năng xả điện của acquy

Năng lượng tái tạo

166

Acquy chì - axit

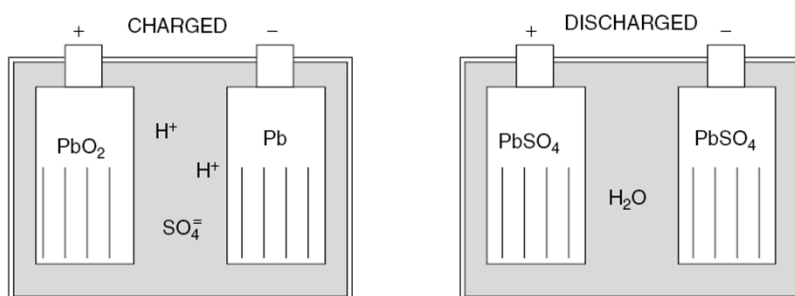


Figure 9.40 A lead-acid battery in its charged and discharged states.

Khi xả cạn acquy:

- _ Dung dịch chủ yếu là nước – dễ đông ở nhiệt độ âm (-8°).
- _ Lớp PbSO_4 làm giảm bề mặt phản ứng, tăng điện trở nội R_i .
- _ Khối lượng riêng của acquy giảm.

Năng lượng tái tạo

167

Acquy chì - axit

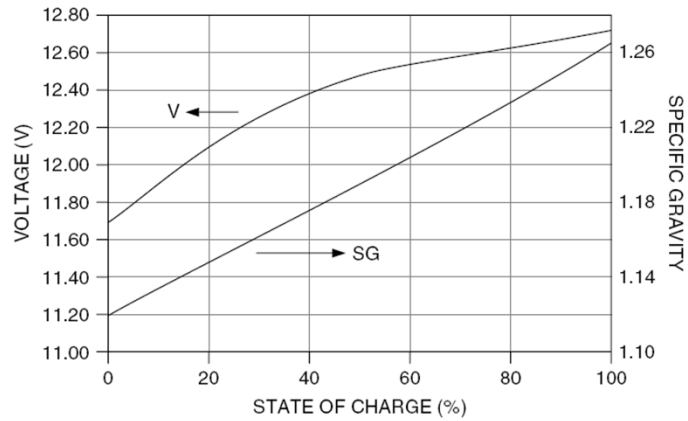


Figure 9.41 Voltage and specific gravity for a typical deep-cycle lead-acid 12-V battery. Data from Sandia National Laboratories (1991)..

Năng lượng tái tạo

168

Dung lượng acquy

TABLE 9.15 Example Deep-Cycle Lead-Acid Battery Characteristics

BATTERY	Voltage	Weight (lbs)	Ah @ C/20	Ah @ C/100
Concorde PVX 5040T	2	57	495	580
Trojan T-105	6	62	225	250
Trojan L16	6	121	360	400
Concorde PVX 1080	12	70	105	124
Surette 12CS11PS	12	272	357	503

- _ Dòng điện xả càng nhỏ thì dung lượng acquy càng tăng.
- _ Nhiệt độ càng thấp thì dung lượng acquy càng giảm.
- _ Suất xả điện C/20 ở 25°C làm chuẩn cho hệ thống PV.

Năng lượng tái tạo

169

Dung lượng acquy

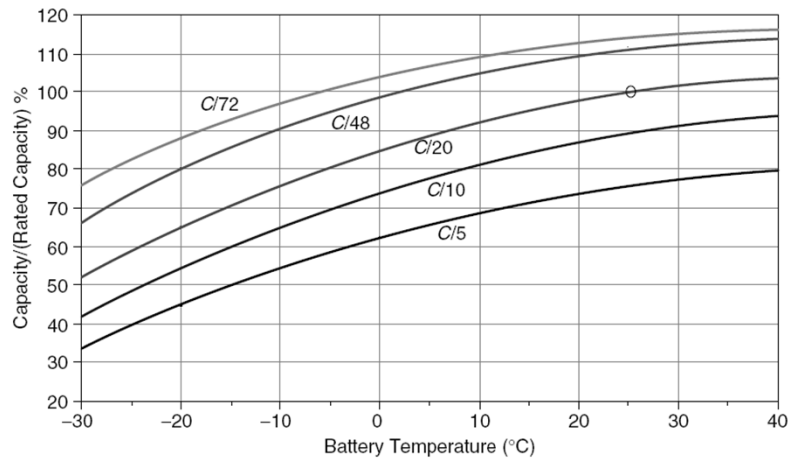


Figure 9.42 Lead-acid battery capacity depends on discharge rate and temperature. Ratio is based on a rated capacity at C/20 and 25°C.

Năng lượng tái tạo

170

Dung lượng acquy

Ví Dụ 9.16: Xác định dung lượng bình theo nhiệt độ

Hệ thống bình acqui chì đặt ở nơi có nhiệt độ thấp nhất là -20°C. Nếu bình cần cấp dung lượng 500Ah/ngày trong 2 ngày liền với áp là 12V. Hỏi phải chọn bình acqui chì có **dung lượng bình** (Ah) là bao nhiêu?

- _ Xem hình 9.39 để tính dung lượng chuẩn (ở 25°C) mà acquy chưa bị đông.
- _ Xem hình 9.42 để tính dung lượng acquy ở nhiệt độ -20°C.

Năng lượng tái tạo

171

Dung lượng acquy

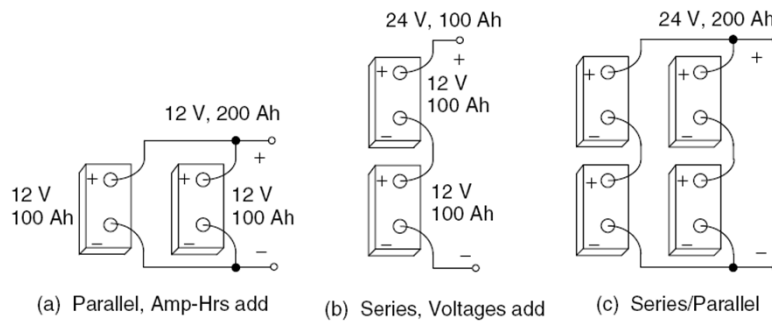


Figure 9.43 For batteries wired in parallel, amp-hours add (a). For batteries in series, voltages add (b). For series/parallel combinations, both add.

Năng lượng tái tạo

172

Hiệu suất Coulomb và hiệu suất acquy chì

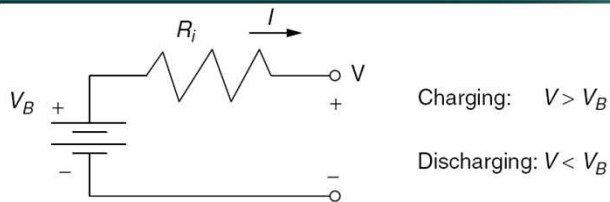


Figure 9.44 Thevenin equivalent circuit for a battery.

$$E_{in} = V_C I_C \Delta T_C$$

$$E_{out} = V_D I_D \Delta T_D$$

$$\text{Energy efficiency} = \frac{E_{out}}{E_{in}} = \frac{V_D I_D \Delta T_D}{V_C I_C \Delta T_C}$$

$$\text{Energy efficiency} = \left(\frac{V_D}{V_C} \right) \left(\frac{I_D \Delta T_D}{I_C \Delta T_C} \right) = \left(\frac{V_D}{V_C} \right) \left(\frac{\text{coulombs out, Ah}_{out}}{\text{coulombs in, Ah}_{in}} \right)$$

$$\text{Energy efficiency} = (\text{Voltage efficiency}) \times (\text{Coulomb efficiency})$$

Năng lượng tái tạo

173

Hiệu suất Coulomb và hiệu suất acquy chì

$$\text{Voltage efficiency} = \frac{12 \text{ V}}{14 \text{ V}} = 0.86 = 86\%$$

_ Khi sạc acquy gần đầy, sẽ phát sinh khí hydrogen và oxygen và làm giảm hiệu suất sạc acquy.

_ Khi bắt đầu sạc, hiệu suất coulomb gần 100%. Khi quá sạc, hiệu suất bị giảm còn chừng 90%.

$$\text{Energy efficiency} = 0.86 \times 0.90 = 0.77 = 77\%$$

Do đó, hiệu suất nạp-xả năng lượng của acquy chỉ chừng 75%. Một phần là do tổn hao trên điện trở nội R_i của acquy. Và còn tùy thuộc vào trạng thái sạc (SOC), nhiệt độ làm việc,...

Năng lượng tái tạo

174

Hiệu suất Coulomb và hiệu suất acquy chì

Ví Dụ 9.17: Xác định tổn hao khi ép bình nạp nhanh / phóng điện nhanh

Bình acqui chì 100Ah, 12V, có giá trị điện áp tĩnh (at rest) 12.5V khi được nạp với suất dòng nạp C/5 và nguồn nạp 13.2V. Dùng mạch Thevenin tương đương của bình acqui để tính:

- Xác định giá trị điện trở nội R_i của bình?
- Xác định tỉ lệ tổn hao?
- Thay đổi suất nạp C/20, tỉ lệ tổn hao lúc này là bao nhiêu?

Năng lượng tái tạo

175

Hiệu suất Coulomb và hiệu suất acquy chì

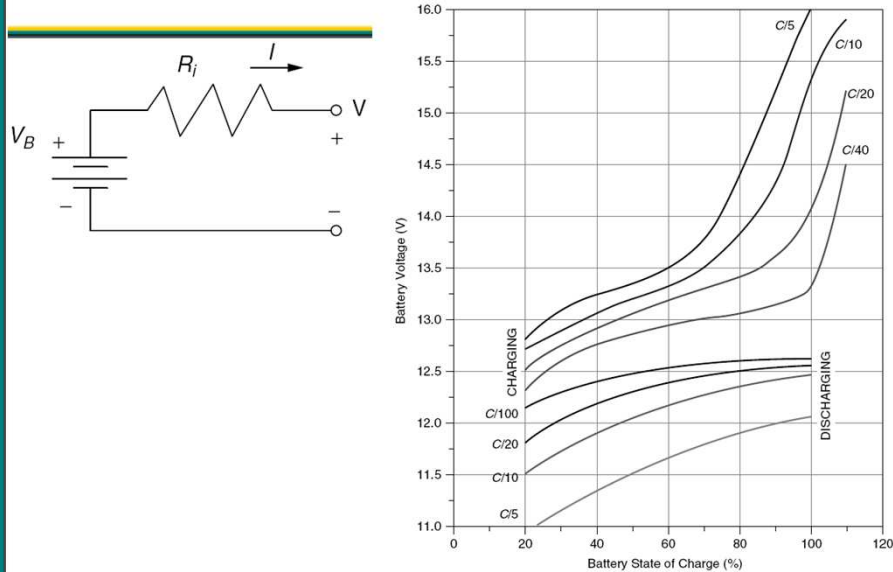


Figure 9.45 Terminal voltage and state of charge for 12-V lead-acid batteries for various rates of charging and discharging. Based on Sandia National Laboratories (1991).

Năng lượng tái tạo

Tính toán dung lượng acquy

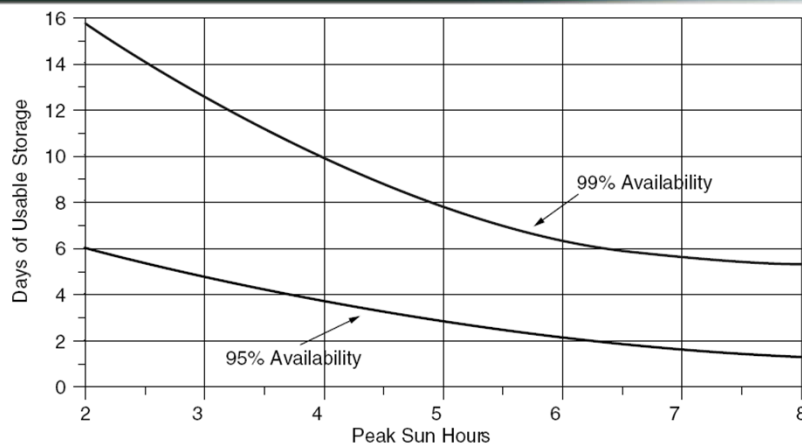


Figure 9.46 Days of battery storage needed for a stand-alone system with 95% and 99% system availability. Peak sun hours are for the worst month of the year and availability is on an annual basis. Based on Sandia National Laboratories (1995).

Năng lượng tái tạo

177

Tính toán dung lượng acquy

$$\text{Storage days (99\%)} \approx 24.0 - 4.73 (\text{Peak sun hours}) \\ + 0.3 (\text{Peak sun hours})^2$$

$$\text{Storage days (95\%)} \approx 9.43 - 1.9 (\text{Peak sun hours}) \\ + 0.11 (\text{Peak sun hours})^2$$

$$\text{Nominal (C/20, 25°C) battery capacity} = \frac{\text{Usable battery capacity}}{(\text{MDOD})(T, DR)}$$

_ MDOD (Maximum Depth of Discharge) = 0,25 cho SLI, 0,8 cho loại acquy xả sâu.

_ (T, DR) là hệ số dựa theo ảnh hưởng của nhiệt độ và suất phóng điện như hình 9.42.

Năng lượng tái tạo

178

Tính toán dung lượng acquy

Ví Dụ 9.18: Chọn Dung Lượng Bộ Bình ACCU Chì dùng trong hệ thống PV vận hành độc lập

Phòng làm việc có nhu cầu điện ac là 3000Wh/ngày vào tháng lạnh cuối năm. Chọn **Dung Lượng Bộ Bình** thỏa mãn 95% nhu cầu, bằng cách dùng thêm máy phát dự phòng để đáp ứng 5% nhu cầu còn lại. Bình bảo đảm thông số với nhiệt độ thấp nhất -10oC. Điện áp hệ thống bình chọn loại 24V và bộ nghịch lưu có hiệu suất 85%. Hãy **Chọn Dung Lượng Bộ Bình ACCU Chì** dùng trong hệ thống PV vận hành độc lập trên.

Sinh viên tham khảo bài giải trong tài liệu.

Năng lượng tái tạo

179

Tính toán dung lượng acquy

From Appendix E the following monthly insolation data are found for Salt Lake City:

Tilt	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	Year
Lat - 15	2.9	4.0	5.0	5.9	6.6	7.2	7.3	7.0	6.3	5.0	3.3	2.5	5.2
Lat	3.2	4.3	5.2	5.8	6.2	6.6	6.7	6.7	6.4	5.4	3.7	2.9	5.3
Lat + 15	3.4	4.4	5.1	5.4	5.5	5.6	5.8	6.1	6.1	5.5	3.9	3.1	5.0

Tính toán dung lượng acquy

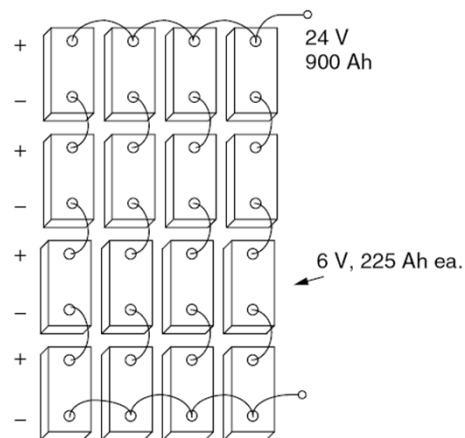


Figure 9.47 The 24-V, 900-Ah battery bank for the cabin in Example 9.18.

Diode chống ngược

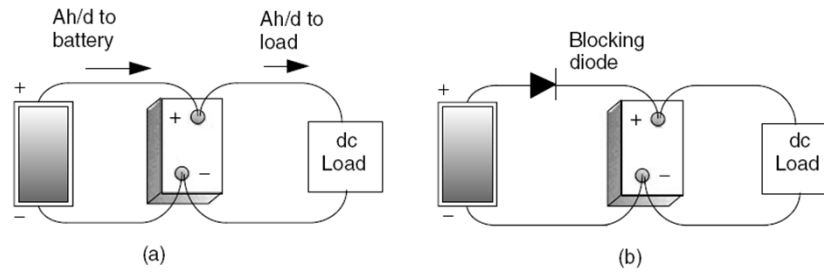


Figure 9.48 Simplest PV–battery system (a). Adding a blocking diode to prevent losses from the battery through the PV at night (b).

Năng lượng tái tạo

182

Diode chống ngược

$$I_d = I_0(e^{38.9V_d} - 1)$$

$$I_B = I_d + I_{R_p} = I_0(e^{38.9V_d} - 1) + \frac{V_d}{R_p}$$

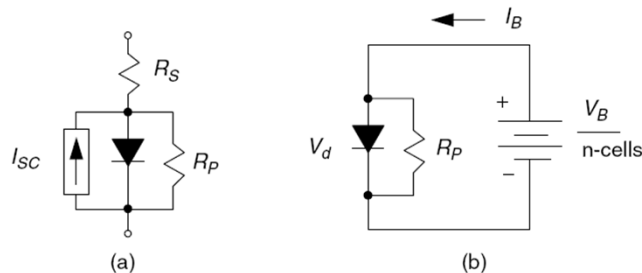


Figure 9.49 Nighttime leakage from a battery back through a PV module with n cells. (a) Equivalent circuit of one PV cell. (b) A simplified equivalent circuit at night for one cell having V_B/n volts from the battery across it.

Năng lượng tái tạo

183

Diode chống ngược

Ví Dụ 9.19: Dùng DIODE Chốt trong Hệ Thống PV - Bình ACCU Chì

Hệ thống PV ghép từ 36 tế bào quang, với dòng ngược bão hòa $I_0 = 10^{-10}$ A. Điện trở song song $R_p = 8\Omega$. Hệ thống PV cấp 5A trong 6 giờ mỗi ngày, được nối trực tiếp với bình (không dùng diode chốt) với áp bình 12.5V.

- Tìm dung lượng Ah bình cung cấp trong 15 giờ mỗi đêm?
- Bao nhiêu điện năng thất thoát do hiện tượng dòng bình I_B nạp ngược về mô đun PV?
- Nếu dùng diode chốt, xác định tiêu hao trên diode khi hệ thống PV nạp bình vào ban ngày?

$$I_d = I_0(e^{38.9V_d} - 1)$$

Năng lượng tái tạo

184

Tính toán lắp ghép dàn pin mặt trời

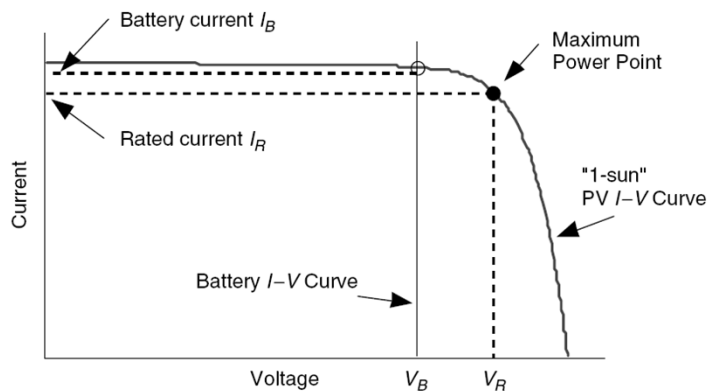


Figure 9.50 Estimating battery charging at 1-sun to be the rated current of the PVs is a fairly conservative assumption.

Năng lượng tái tạo

185

Tính toán lắp ghép dàn pin mặt trời

$$Ah \text{ to load} = I_R \times \text{Peak sun hours} \times \text{Coulomb efficiency} \times \text{De-rating factor}$$

Ví Dụ 9.20: Thiết Kế Hệ Thống PV nạp Bình vận hành Độc Lập Cho Văn Phòng Làm Việc

Phòng Làm Việc đã khảo sát ở VD 9.18 tiêu thụ 3000Wh/ngày nhận điện ac từ bộ nghịch lưu có hiệu suất 85%. Biết rằng áp hệ thống là 24Vdc, hiệu suất Coulomb 90% và hệ số dự trữ 0.9. Panel PV chọn loại Kyocera KC120.

From Appendix E the following monthly insolation data are found for Salt Lake City:

Tilt	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	Year
Lat - 15	2.9	4.0	5.0	5.9	6.6	7.2	7.3	7.0	6.3	5.0	3.3	2.5	5.2
Lat	3.2	4.3	5.2	5.8	6.2	6.6	6.7	6.7	6.4	5.4	3.7	2.9	5.3
Lat + 15	3.4	4.4	5.1	5.4	5.5	5.6	5.8	6.1	6.1	5.5	3.9	3.1	5.0

Năng lượng tái tạo

186

TABLE 8.3 Examples of PV Module Performance Data Under Standard Test Conditions (1 kW/m², AM 1.5, 25°C Cell Temperature)

Manufacturer	Kyocera	Sharp	BP	Uni-Solar	Shell
Model	KC-120-1	NE-Q5E2U	2150S	US-64	ST40
Material	Multicrystal	Polycrystal	Monocrystal	Triple junction a-Si	CIS-thin film
Number of cells n	36	72	72		42
Rated Power $P_{DC,STC}$ (W)	120	165	150	64	40
Voltage at max power (V)	16.9	34.6	34	16.5	16.6
Current at rated power (A)	7.1	4.77	4.45	3.88	2.41
Open-circuit voltage V_{OC} (V)	21.5	43.1	42.8	23.8	23.3
Short-circuit current I_{SC} (A)	7.45	5.46	4.75	4.80	2.68
Length (mm/in.)	1425/56.1	1575/62.05	1587/62.5	1366/53.78	1293/50.9
Width (mm/in.)	652/25.7	826/32.44	790/31.1	741/29.18	329/12.9
Depth (mm/in.)	52/2.0	46/1.81	50/1.97	31.8/1.25	54/2.1
Weight (kg/lb)	11.9/26.3	17/37.5	15.4/34	9.2/20.2	14.8/32.6
Module efficiency	12.9%	12.7%	12.0%	6.3%	9.4%

Năng lượng tái tạo

187

Tính toán lắp ghép dàn pin mặt trời

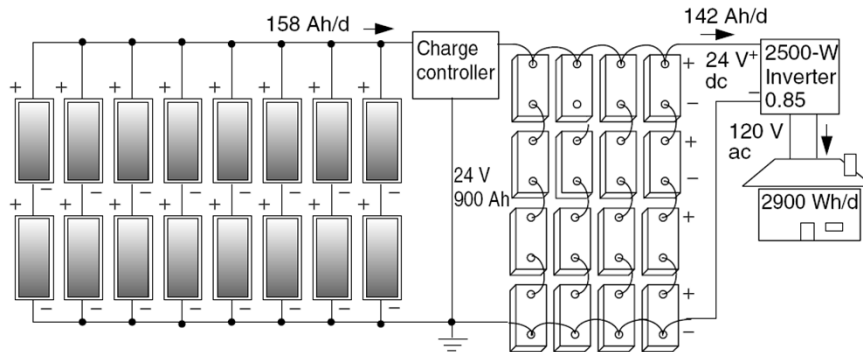


Figure 9.51 Design for the cabin in Salt Lake City (additional fuses, breakers, and diodes not shown). Energy values are for the design month, December.

Năng lượng tái tạo

188

Tính toán lắp ghép dàn pin mặt trời

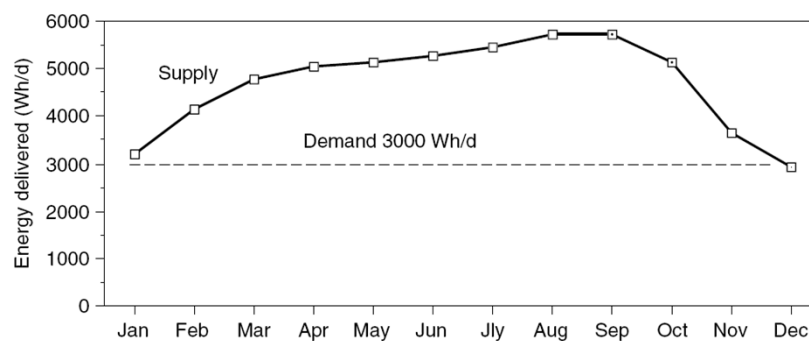


Figure 9.52 A PV-battery system sized to cover the worst month delivers much more energy than is needed during the rest of the year. Data are for the system designed in Example 9.20.

Năng lượng tái tạo

189

Hệ nguồn điện mặt trời lai

Design mo. solar fraction = $0.625 \times \text{Annual solar fraction}$

$$(\text{Annual} \leq 0.80) \quad (9.36)$$

Design mo. solar fraction = $0.50 + 28(\text{Annual solar fraction} - 0.80)^{2.5}$

$$(\text{Annual} > 0.80) \quad (9.37)$$

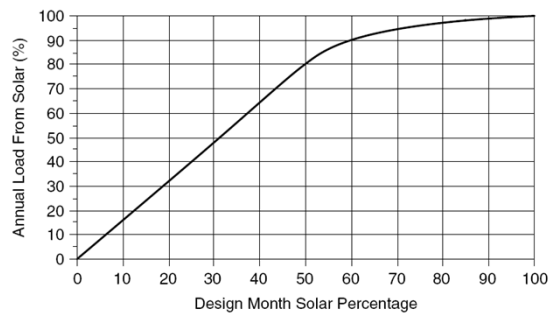


Figure 9.53 The fraction of the annual load supplied by solar as a function of the percent of the load covered in the worst month of the year. Derived for Salt Lake City.

Năng lượng tái tạo

190

Hệ nguồn điện mặt trời lai

Hệ thống PV lai:

- _ Giảm dung lượng acquy nhờ có máy phát.
- _ Dòng cấp cho tải và dòng nạp acquy từ, máy phát < C/5.
- _ Hạn chế số lần khởi động máy phát.

TABLE 9.16 Characteristics of Generators for Hybrid PV Systems

Type	Size Range (kW)	Applications	Cost (\$/W)	Maintenance Intervals (hours)		
				Oil Change	Tune-up	Engine Rebuild
Gasoline (3600 rpm)	1–20	Cabin Light use	\$0.50	25	300	2000–5000
Gasoline (1800 rpm)	5–20	Residence Heavy use	\$0.75	50	300	2000–5000
Diesel	3–100	Industrial	\$1.00	125–750	500–1500	6000

Source: Sandia National Laboratories (1995).

Năng lượng tái tạo

191

Tóm tắt hệ điện mặt trời độc lập

Sinh viên tham khảo tài liệu.

Hệ điện mặt trời hòa lưới

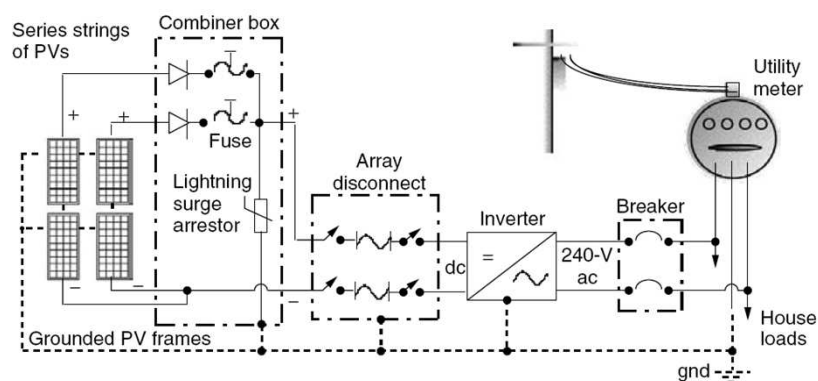


Figure 9.20 Principal components in a grid-connected PV system using a single inverter.

Hệ điện mặt trời hòa lưới

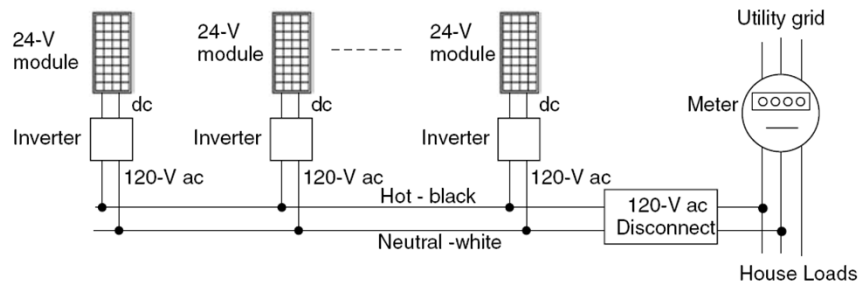


Figure 9.21 AC modules each have their own inverters mounted on the backside of the collector, allowing simple system expansion at any time.

Năng lượng tái tạo

194

Hệ điện mặt trời hòa lưới

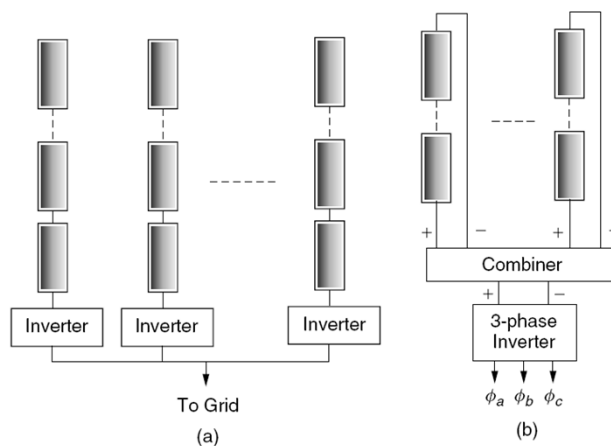


Figure 9.22 Large grid-connected systems may use an individual inverter for each string (a) or may incorporate a large, central inverter system to provide three-phase power (b).

Năng lượng tái tạo

195

Hòa lưới

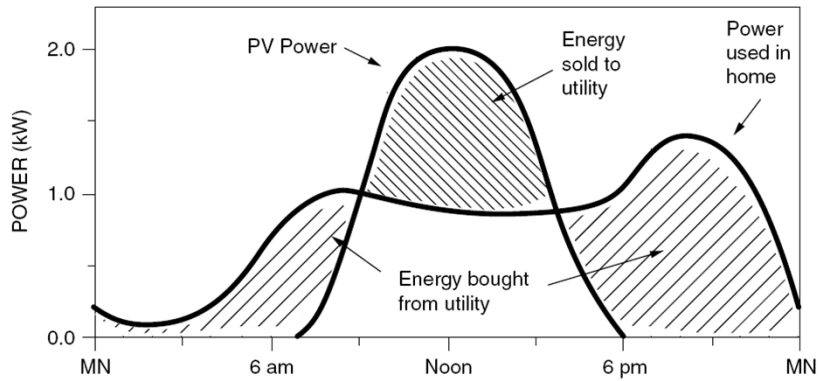


Figure 9.23 During the day, excess power from the array is sold to the utility; at night, the deficit is purchased from the utility.

Năng lượng tái tạo

196

Công suất định mức DC & AC

$$P_{ac} = P_{dc,STC} \times (\text{Conversion Efficiency})$$

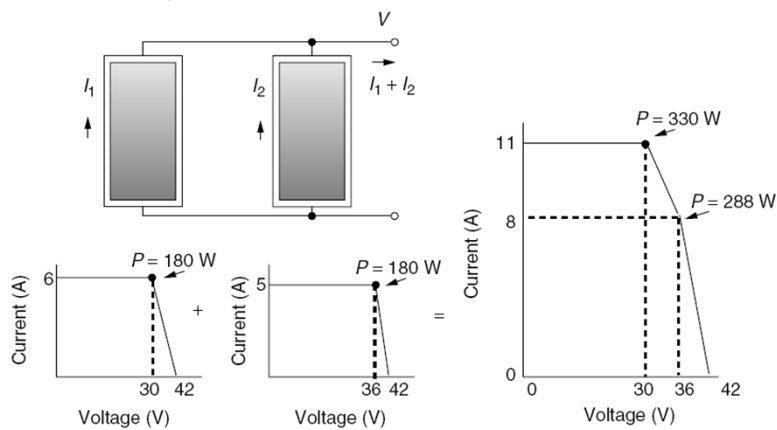


Figure 9.24 Illustrating the loss due to mismatched modules. Each module is rated at 180 W, but the parallel combination yields only 330 W at the maximum power point.

Năng lượng tái tạo

197

Công suất định mức DC & AC

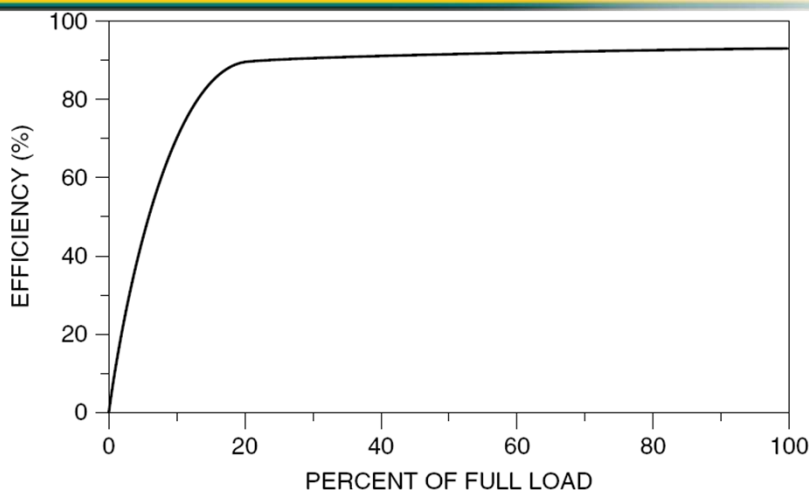


Figure 9.25 The efficiency of an inverter depends on the fraction of its rated power at which it operates.

Năng lượng tái tạo

198

Công suất định mức DC & AC

Ví Dụ 9.3: Đánh giá công suất định mức $P_{ac(PTC)}$ của Mảng (Array) PV

Khảo sát mảng (Array) PV 1kW trong qui trình thử nghiệm theo chuẩn. Thông số NOCT (nominal operating cell temperature) xác định được là 47°C (xem thêm ở Phần 8.6). Công suất định mức MPP ngỏ ra suy giảm 0.5%/°C khi nhiệt độ làm việc của tế bào quang cao hơn giá trị chuẩn 25°C.

Hãy xác định công suất ac **định mức $P_{ac(PTC)}$ của Mảng (Array) PV**, biết hệ thống suy giảm 3% do ghép nối mô đun không khớp, suy giảm 4% do bụi bám và hiệu suất của bộ nghịch lưu đạt 90%.

Năng lượng tái tạo

199

Tính toán theo số giờ nắng đỉnh

$$\text{Energy (kWh/day)} = \text{Insolation} \left(\frac{\text{kWh/m}^2}{\text{day}} \right) \cdot A \text{ (m}^2\text{)} \cdot \bar{\eta}$$

$$P_{ac}(\text{kW}) = \left(\frac{1 \text{ kW}}{\text{m}^2} \right) \cdot A \text{ (m}^2\text{)} \cdot \eta_{1-\text{sun}}$$

$$\text{Energy (kWh/day)} = P_{ac}(\text{kW}) \cdot \left[\frac{\text{Insolation (kWh/m}^2\text{/day)}}{1 \text{ kW/m}^2} \right] \cdot \left(\frac{\bar{\eta}}{\eta_{1-\text{sun}}} \right)$$

$$\text{Energy (kWh/day)} = P_{ac}(\text{kW}) \cdot (\text{h/day of "peak sun"})$$

Năng lượng tái tạo

200

Tính toán theo số giờ nắng đỉnh

Ví Dụ 9.4: Xác định Điện Năng Cung cấp trong Năm dùng số Giờ Rọi Đỉnh

Tính toán Điện Năng Cung cấp trong Năm của một mô đun PV 1kW (dc,STC) dùng ở VD 9.3 đặt ở địa điểm Madison (USA). Giả sử mô đun PV hướng nam với góc nghiêng $15^\circ (= L-15)$. Dùng chuẩn công suất ac, PTC.

Tilt	Madison, WI												Year
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	
Lat - 15	3.0	3.9	4.5	5.1	5.8	6.2	6.2	5.7	4.8	3.8	2.5	2.3	4.5
Lat	3.4	4.3	4.7	5.0	5.5	5.7	5.8	5.5	4.8	4.0	2.8	2.6	4.5
Lat + 15	3.6	4.4	4.6	4.6	4.8	4.9	5.0	5.0	4.6	4.0	2.9	2.8	4.3
90	3.5	4.0	3.7	3.2	2.9	2.8	2.9	3.2	3.4	3.3	2.6	2.7	3.2
l-Axis (Lat)	3.9	5.0	5.8	6.4	7.3	7.8	7.7	7.1	6.0	4.8	3.2	3.0	5.7
Temp. (°C)	-4.0	-1.1	5.3	13.7	20.5	25.7	28.0	26.4	21.9	15.5	6.7	-1.2	13.1

Năng lượng tái tạo

201

Tính toán theo số giờ nắng đỉnh

Ví Dụ 9.5: Hiệu Chỉnh Thông Số Tính Toán Pac do Tác Động của Nhiệt Độ Môi Trường

Tính toán điện năng một mô đun PV 1kW (dc,STC) dùng ở VD 9.3 có thể cung cấp vào tháng giêng ở địa điểm Madison (USA). Giả sử mô đun PV hướng nam với góc nghiêng = L-15 và dùng nhiệt độ trung bình maximum trong ngày thay vì 20°C theo chuẩn PTC. Giá trị NOCT (nominal operating cell temperature) tính được là 47°C.

TABLE 9.2 Estimated Energy Delivered by a 1-kW (dc, STC) PV Array in Madison, WI, Using Average Maximum Monthly Temperatures to Compute Performance Degradation^a

<i>Madison, WI, South L-15</i>	
dc Power	1 kW at STC
Temp. coef.	0.5%/°C
Mismatch	0.03
Dirt	0.04
Inverter	0.90
NOCT	47°C

Năng lượng tái tạo

202

Tính toán theo số giờ nắng đỉnh

Month	Insolation (kWh/m ² -day)	Avg Max Temp. (°C)	Cell Temp. (°C)	Array dc Power (kW)	Array ac Power (kW)	Energy (kWh/mo)
Jan	3.0	-4.0	29.8	0.98	0.82	76
Feb	3.9	-1.1	32.7	0.96	0.81	88
Mar	4.5	5.3	39.1	0.93	0.78	109
Apr	5.1	13.7	47.5	0.89	0.74	114
May	5.8	20.5	54.3	0.85	0.72	129
Jun	6.2	25.7	59.5	0.83	0.69	129
July	6.2	28.0	61.8	0.82	0.68	131
Aug	5.7	26.4	60.2	0.82	0.69	122
Sept	4.8	21.9	55.7	0.85	0.71	102
Oct	3.8	15.5	49.3	0.88	0.74	87
Nov	2.5	6.7	40.5	0.92	0.77	58
Dec	2.3	-1.2	32.6	0.96	0.81	57
Avg:	4.5	13.2				kWh/yr = 1202

^aInverter, mismatch, and dirt losses from Example 9.3 are included.

Năng lượng tái tạo

203

Tính toán theo số giờ nắng đỉnh

TABLE 9.3 Annual Energy Production in Various Cities per kW (dc, STC) of Installed PV Capacity^a

Location	South Facing, L-15 Fixed			1-Axis, Polar Mount		Ratio 1-axis/ Fixed
	Average High Temp. (°C)	Insolation (kWh/ m ² -d)	Annual kWh/kW	Insolation (kWh/ m ² -d)	Annual kWh/kW	
Seattle, WA	15.3	3.8	1006	4.7	1247	1.24
New York, NY	16.8	4.5	1195	5.6	1479	1.24
Madison, WI	13.2	4.5	1202	5.7	1519	1.26
Boston, MA	15.0	4.5	1209	5.7	1529	1.26
Atlanta, GA	21.8	5.0	1294	6.4	1639	1.27
Honolulu, HI	29.1	5.5	1373	7.4	1834	1.34
Boulder, CO	17.9	5.3	1404	7.2	1885	1.34
Los Angeles, CA	21.3	5.5	1420	7.0	1808	1.27
El Paso, TX	25.3	6.3	1583	8.6	2159	1.36
Albuquerque, NM	21.2	6.3	1618	8.5	2199	1.36

^aAssumed inverter efficiency 90%, mismatching loss 3%, dirt loss 4%

Năng lượng tái tạo

204

Tính toán theo số giờ nắng đỉnh

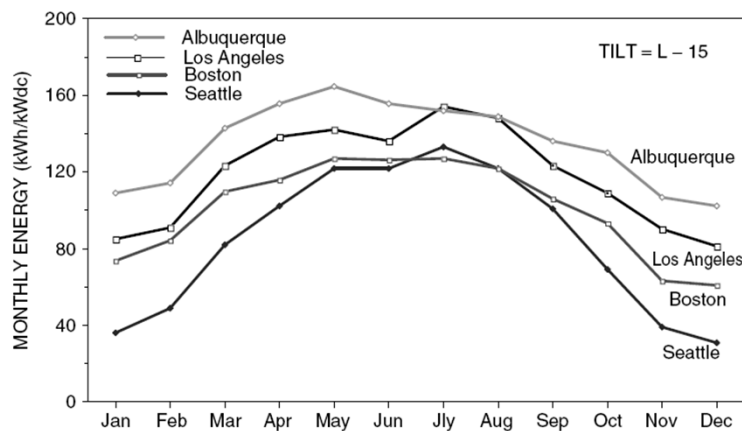


Figure 9.26 Monthly energy production for four cities in kWh per kW (dc, STC) for fixed south-facing, L-15 tilt. Assumed inverter efficiency 90%, mismatch loss 3%, dirt loss 4%. Includes local temperature impacts.

Năng lượng tái tạo

205

Tính toán theo số giờ nắng đỉnh

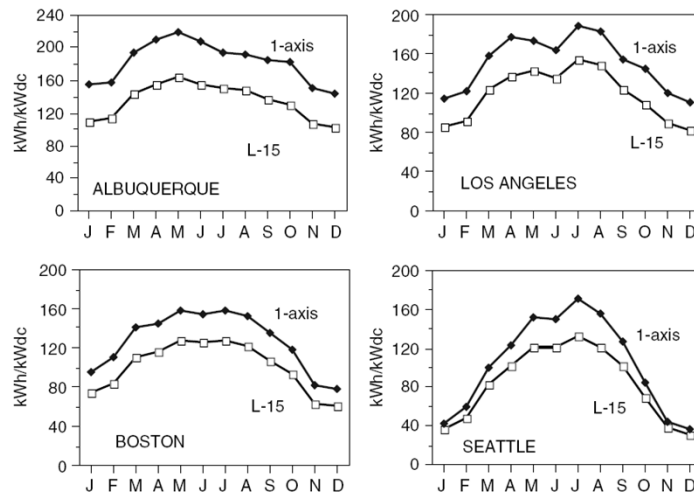


Figure 9.27 Comparing energy delivered from fixed L-15 tilt with single-axis polar tracking.

Năng lượng tái tạo

206

Hệ số sử dụng CF cho hệ PV nối lưới

$$\text{Energy (kWh/yr)} = P_{ac}(\text{kW}) \cdot \text{CF} \cdot 8760(\text{h/yr})$$

$$\text{Capacity factor (CF)} = \frac{(\text{h/day of "peak sun"})}{24 \text{ h/day}}$$

Năng lượng tái tạo

207

Tính toán công suất cho hệ PV nối lưới

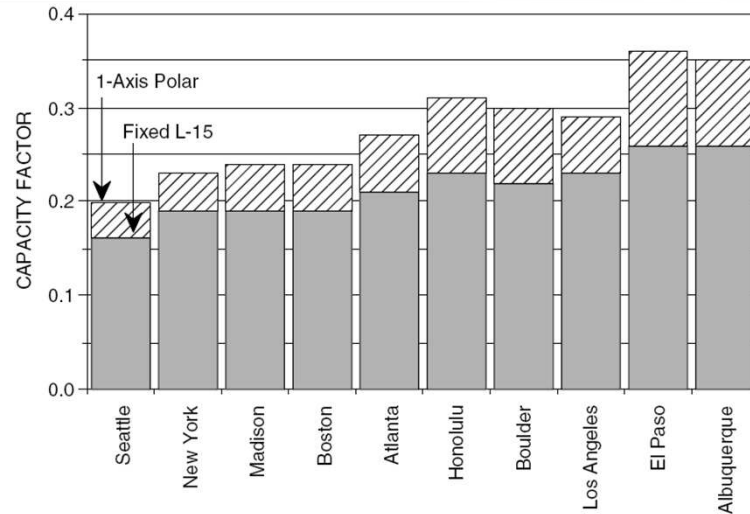


Figure 9.28 AC photovoltaic capacity factors for a number of U.S. cities.

Năng lượng tái tạo

208

Tính toán công suất cho hệ PV nối lưới

Ví Dụ 9.6: Chọn Công Suất Hệ Thống PV, Trường Hợp Đầu Tiên

Tòa nhà chung cư có công suất tải 3600kWh/năm rất thuận tiện để gắn hệ thống PV trên nóc tòa nhà. Hỏi cần dùng bao nhiêu kW (dc, STC) panel PV là hợp lý, kèm theo các yêu cầu tiên quyết ra sao? Biết vĩ độ tọa lạc của tòa nhà là 37°

Tilt	Fresno, CA												Year
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	
Lat - 15	2.8	4.1	5.5	6.8	7.6	7.8	7.9	7.5	6.8	5.5	3.6	2.5	5.7
Lat	3.1	4.4	5.7	6.7	7.1	7.2	7.3	7.3	6.9	6.0	4.1	2.8	5.7
Lat + 15	3.2	4.5	5.6	6.2	6.3	6.1	6.3	6.6	6.7	6.1	4.2	3.0	5.4
90	2.8	3.7	4.0	3.6	3.0	2.6	2.7	3.5	4.4	4.8	3.7	2.6	3.4
1-Axis (Lat)	3.4	5.2	7.2	8.9	10.1	10.5	10.8	10.3	9.2	7.4	4.7	3.1	7.6
Temp. (°C)	12.3	16.5	19.2	23.9	29.0	33.7	37.0	35.9	32.3	26.5	18.2	12.1	24.7

Năng lượng tái tạo

209

Tính toán công suất cho hệ PV nối lưới

Ví Dụ 9.7: Chọn Công Suất Hệ Thống PV, Trường Hợp Panel PV Loại Bám Theo

Dùng các Hình 9.29 và 9.30 để đánh giá công suất panel PV và diện tích tấm panel PV cần dùng?

Tính toán công suất cho hệ PV nối lưới

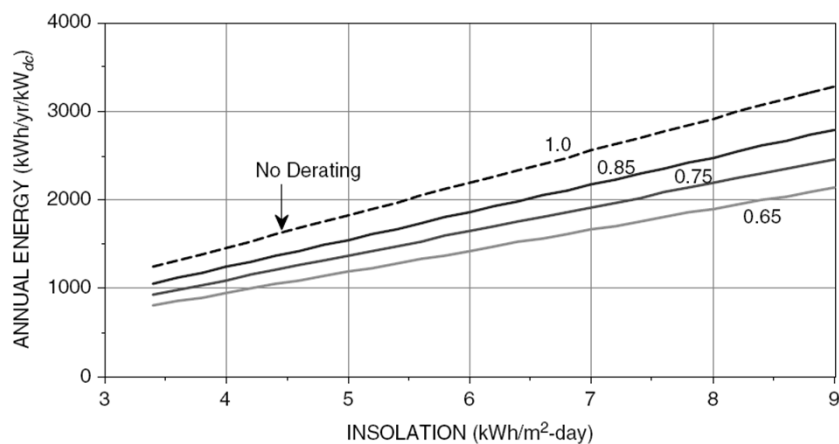


Figure 9.29 Annual energy delivered by a 1 kW(dc, STC) PV array, with dc to ac conversion efficiency as a parameter.

Tính toán công suất cho hệ PV nổi lưới

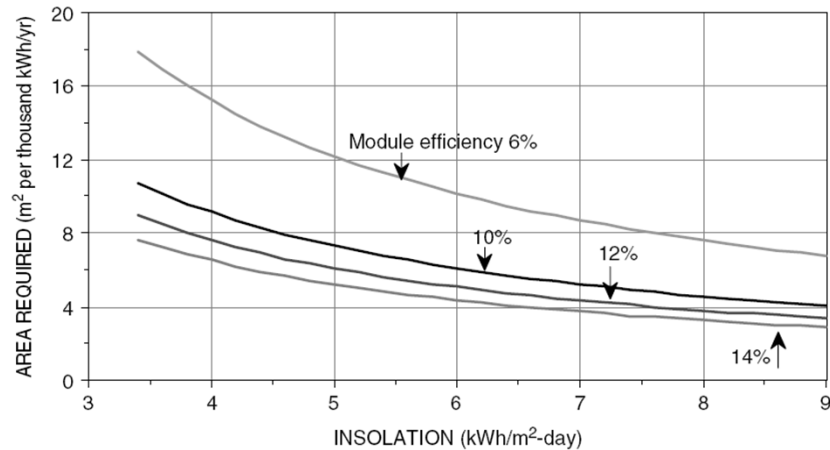


Figure 9.30 Area required to deliver 1000 kWh/yr with module efficiency as a parameter. Assumes a conversion efficiency from dc to ac of 75%.

Năng lượng tái tạo

212

Tính toán công suất cho hệ PV nổi lưới

TABLE 9.4 Important Characteristics of Several High-Power PV Modules

Module:	Sharp NE-K125U2	Kyocera KC158G	Shell SP150	Uni-Solar SSR256
Material:	Poly Crystal	Multicrystal	Monocrystal	Triple junction a-Si
Rated power $P_{dc,STC}$:	125 W	158 W	150 W	256 W
Voltage at max power:	26.0 V	23.2 V	34 V	66.0 V
Current at max power:	4.80 A	6.82 A	4.40 A	3.9
Open-circuit voltage V_{OC} :	32.3 V	28.9 V	43.4 V	95.2
Short-circuit current I_{SC} :	5.46 A	7.58 A	4.8 A	4.8
Length:	1.190 m	1.290 m	1.619 m	11.124 m
Width:	0.792 m	0.990 m	0.814 m	0.420 m
Efficiency:	13.3%	12.4%	11.4%	5.5%

Năng lượng tái tạo

213

Tính toán công suất cho hệ PV nối lưới

TABLE 9.5 Example Inverter Characteristics for Grid-Connected Systems

Manufacturer:	Xantrex	Xantrex	Xantrex	Sunny Boy	Sunny Boy
Model:	STXR1500	STXR2500	PV 10	SB2000	SB2500
AC power:	1500 W	2500 W	10,000 W	2000 W	2500 W
AC voltage:	211–264 V	211–264 V	208 V, 3 Φ	198–251 V	198–251 V
PV voltage range	44–85 V	44–85 V	330–600 V	125–500 V	250–550 V
MPPT:					
Max input voltage:	120 V	120 V	600 V	500 V	600 V
Max input current:	—	—	31.9 A	10 A	11 A
Maximum efficiency:	92%	94%	95%	96%	94%

Năng lượng tái tạo

214

Tính toán công suất cho hệ PV nối lưới

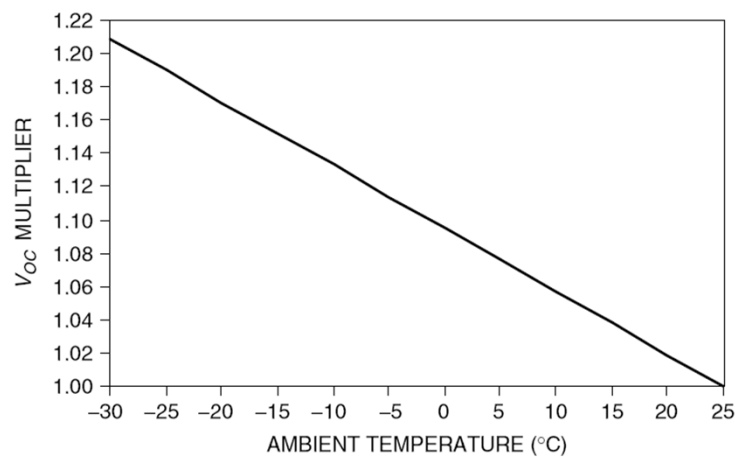


Figure 9.31 The V_{OC} multiplier for crystalline silicon assuming cells are at ambient temperature.

Năng lượng tái tạo

215

Tính toán công suất cho hệ PV nối lưới

Ví Dụ 9.8: Lựa Chọn Công Suất Hệ Thống PV, Trường Hợp Thứ Hai

Hãy tính diện tích mái nhà cần có để lắp đặt 15 mô đun PV kiểu cố định đã thiết kế?
Đánh giá năng lượng điện hàng năm mà hệ thống PV trên cấp được cho lưới?

Ví Dụ 9.9: Lựa Chọn Thông Số Dòng & Áp Định Mức Cho CB (Circuit Breaker) Bảo Vệ Hệ Thống PV

Với thiết kế đã chọn gồm **15 mô đun** PV chia làm 5 chuỗi mắc song song, mỗi chuỗi gồm 3 mô đun PV Kyocera KC158G 158-W mắc nối tiếp, hãy chọn cầu chì và CB bảo vệ phù hợp?

Tính toán công suất cho hệ PV nối lưới

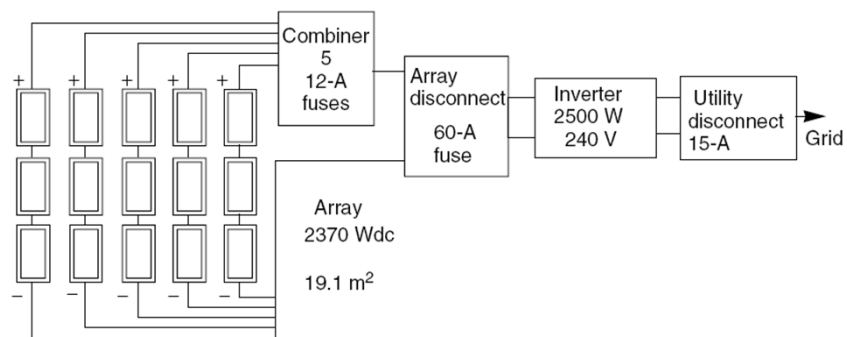


Figure 9.32 System design for the Fresno house example.

Tính toán công suất cho hệ PV nổi lưới

TABLE 9.6 Performance Adjustment Factors for Various Roof Pitches and Directions for 40° Latitude

Tilt Angle:	Flat	20	30	40	50	90
South:	0.84	0.97	1.00	1.00	0.97	0.61
SE, SW:	0.84	0.92	0.93	0.92	0.88	0.56
E, W:	0.84	0.80	0.77	0.72	0.67	0.40

Reference condition is 30° tilt, south facing.

Tính toán kinh tế cho hệ nổi lưới

Hiệu quả kinh tế của hệ thống

Ví Dụ 9.10: Lựa Chọn Hệ Thống PV Nổi Lưới Cố Định hay Nổi Lưới Kiểu Bám Theo (Tracker)

Cần trang bị hệ thống PV nổi lưới có khả năng cung cấp điện năng 4000kWh/năm, với các giá thành linh kiện và chi phí lắp đặt đã có trong Bảng sau, hãy chọn hệ thống PV nổi lưới phù hợp? Cho biết hệ thống PV đạt hiệu suất 12% và bộ nghịch lưu (inverter) đạt hiệu suất chuyển đổi 0,75.

Component	Cost
PVs	\$4.20/Wdc
Inverter	\$1.20/ W
Tracker	\$400 + \$100/m ²
Installation, BOS	\$3800

Tính theo USD/W

$$\text{Tracker}(\$/W) = \frac{\$/W}{\text{EPF}} = \frac{\$/W}{(\text{Tracking insolation/Fixed insolation})}$$

TABLE 9.7 Illustrating the Ambiguities Associated with \$/W Cost Indicators^a

Parameter	Tracker	Fixed Tilt
Energy (kWh/yr)	4000	4000
Insolation (kWh/m ² -day)	7.2	5.4
System cost (\$)	\$16,850	\$18,412
$P_{dc,STC}$ (W)	2029	2706
P_{ac} (W)	1522	2029
Cost \$/Wdc	\$8.30	\$6.80
Cost \$/Wac	\$11.07	\$9.07
Cost \$/Wdc (EPF)	\$6.23	
Cost \$/Wac (EPF)	\$8.30	

^aWithout an energy production factor (EPF) correction in \$/W, the tracking system incorrectly appears to be more expensive.

Năng lượng tái tạo (Data are based on Example 9.10.)

220

Tính theo USD/W

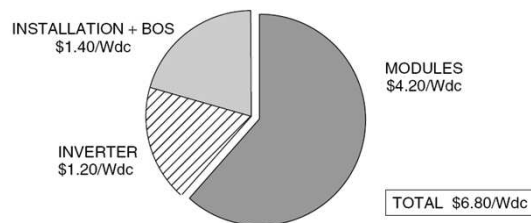


Figure 9.33 Average installed cost for 625 residential PV systems installed between 1994 and 2000. From Chang (2000).

Năng lượng tái tạo

221

Tính giá thành

$$A = P \cdot \text{CRF}(i, n)$$

$$\text{CRF}(i, n) = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Ví Dụ 9.11: Tính Giá Thành Điện PV Nối Lưới

Khảo sát hệ thống PV nối lưới cấp điện cho căn hộ (đã nêu ở VD 9.10) có kinh phí tổng \$16850, thời hạn vay 30 năm với lãi suất năm 6%. Hệ thống PV nối lưới cấp được 4000 kWh/năm. Xác định giá thành điện năng của **Hệ Thống PV Nối Lưới** trong năm đầu tiên?

Năng lượng tái tạo

222

Tính giá thành

TABLE 9.8 Federal Income Tax for Married Couples Filing Jointly (2002)

Income Over	But Not Over	Tax Is	of the Amount Over
\$0	\$45,200	15%	\$0
45,200	109,250	\$6,780 + 27.5%	45,200
109,250	166,500	24,394 + 30.5%	109,250
166,500	297,350	41,855 + 35.5%	166,500
297,350	—	88,307 + 39.1%	297,350

$$\text{First-year tax benefit} = i \times P \times \text{MTB}$$

Năng lượng tái tạo

223

Tính giá thành

Ví Dụ 9.12: Tính Giá Thành Điện PV có xét đến Giảm Trừ Thuế Thu Nhập

Đầu tư hệ thống PV nối lưới cấp điện cho căn hộ có kinh phí tổng \$16850 với lãi suất năm 6%. Khoản trả tiền vay hàng năm là \$1224 trả trong vòng 30 năm. Nếu Chủ nhà đang hưởng mức hoàn trả trước thuế là 30.5% (marginal tax bracket), hãy xác định giá thành điện năng của **Hệ Thống PV Nối Lưới** trong năm đầu tiên?

Tính giá thành

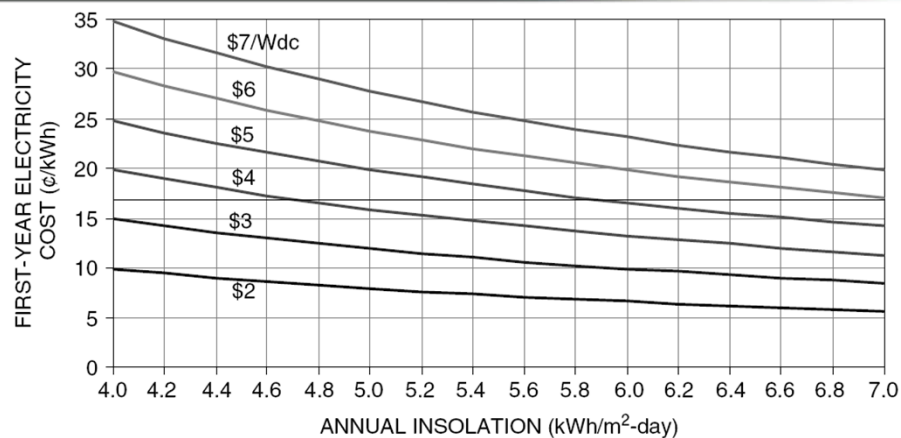


Figure 9.34 First-year cost of electricity with \$/Wdc (STC) as the parameter. Assumptions: 6%, 30-yr loan, MTB 0.305, 75% conversion from dc (STC) to ac (PTC).

Tính giá thành

Ví Dụ 9.13: Cân Đối Tài Chính cho Dự Án Đầu Tư Hệ Thống PV Nối Lưới

Một Dự Án Đầu Tư Hệ Thống PV Nối Lưới có công suất lên lưới 3000Wac, dự trữ cấp được điện năng hàng năm 6000kWh/năm cho tòa nhà đang phải trả tiền điện hiện tại là \$0.12/kWh. Dự kiến hệ thống có giá trọn gói là \$27,000, được hưởng ưu tiên giảm trừ \$4.50/Wac. Xét hòa vốn vay trong 30 năm với lãi suất năm là 6%. Chủ nhà đang hưởng mức hoàn trả trước thuế là 37%, hãy xác định giá thành điện năng của **Hệ Thống PV Nối Lưới** trong năm đầu tiên và tính mức lãi ròng có được trong năm đầu tiên đưa vào khai thác.

Năng lượng tái tạo

226

Tính giá thành

TABLE 9.9 Annual Cash Flow for the PV System of Example 9.13^a

Year	Loan Balance	Loan Payment	Loan Interest	Delta P	Delta tax	Annual Cost	PV cost ¢/kWh	Utility ¢/kWh	Savings \$/yr
0	13,500	981	810	171	300	681	11.4	12.0	39
1	13,329	981	800	181	296	685	11.4	12.2	50
2	13,148	981	789	192	292	689	11.5	12.5	60
3	12,956	981	777	203	288	693	11.6	12.7	71
4	12,753	981	765	216	283	698	11.6	13.0	82
5	12,537	981	752	229	278	702	11.7	13.2	93
6	12,309	981	739	242	273	708	11.8	13.5	103
7	12,067	981	724	257	268	713	11.9	13.8	114
8	11,810	981	709	272	262	719	12.0	14.1	125
9	11,538	981	692	288	256	725	12.1	14.3	136
10	11,249	981	675	306	250	731	12.2	14.6	147

Năng lượng tái tạo

227

Tính giá thành

TABLE 9.9 Annual Cash Flow for the PV System of Example 9.13^a

Year	Loan Balance	Loan Payment	Loan Interest	Delta P	Delta tax	Annual Cost	PV cost ¢/kWh	Utility ¢/kWh	Savings \$/yr
11	10,943	981	657	324	243	738	12.3	14.9	157
12	10,619	981	637	344	236	745	12.4	15.2	168
13	10,276	981	617	364	228	753	12.5	15.5	179
14	9,911	981	595	386	220	761	12.7	15.8	189
15	9,525	981	572	409	211	769	12.8	16.2	200
16	9,116	981	547	434	202	778	13.0	16.5	210
17	8,682	981	521	460	193	788	13.1	16.8	220
18	8,223	981	493	487	183	798	13.3	17.1	230
19	7,735	981	464	517	172	809	13.5	17.5	240
20	7,218	981	433	548	160	821	13.7	17.8	249

Năng lượng tái tạo

228

Tính giá thành

TABLE 9.9 Annual Cash Flow for the PV System of Example 9.13^a

Year	Loan Balance	Loan Payment	Loan Interest	Delta P	Delta tax	Annual Cost	PV cost ¢/kWh	Utility ¢/kWh	Savings \$/yr
21	6,671	981	400	581	148	833	13.9	18.2	259
22	6,090	981	365	615	135	846	14.1	18.6	268
23	5,475	981	328	652	122	859	14.3	18.9	276
24	4,823	981	289	691	107	874	14.6	19.3	284
25	4,131	981	248	733	92	889	14.8	19.7	292
26	3,398	981	204	777	75	905	15.1	20.1	300
27	2,622	981	157	823	58	923	15.4	20.5	306
28	1,798	981	108	873	40	941	15.7	20.9	313
29	925	981	56	925	21	960	16.0	21.3	318
30	0	0	0	0	0	0	0.0	21.7	1304

Năng lượng tái tạo

229

Trần Công Bình

GV ĐH Bách Khoa TP.HCM

Phone: 0908 468 100

Email: tcbinh@hcmut.edu.vn

binhtc@yahoo.com

Website: www4.hcmut.edu.vn/~tcbinh



230