

ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA ĐIỆN - ĐIỆN TỬ



CƠ SỞ ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT

Dự án

MPPT Solar Charge Controller using Arduino

Giảng viên hướng dẫn: Nguyễn Chấn Việt

Sinh viên thực hiện:

Họ và tên	MSSV	Lớp	Khoa/Ngành học
Nguyễn Hoàng Hào	2111126	L02	Điều khiển và Tự động hóa

TP. HỒ CHÍ MINH, THÁNG 12/2023



Contents

1 Giới thiệu đề tài	4
1.1 Bộ điều khiển sạc năng lượng mặt trời & phân loại	4
1.2 Bộ điều khiển MPPT	5
2 Mô tả dự án	7
2.1 Mục tiêu	7
2.2 Thông số kỹ thuật của dự án	7
2.2.1 Đặc điểm	7
2.2.2 Thông số điện	7
2.3 Thành phần linh kiện	7
2.3.1 Arduino	8
2.3.2 Bộ chuyển đổi Buck	9
2.3.3 Cuộn dây	9
2.3.4 Tụ điện	10
2.3.5 MOSFET & MOSFET Driver	11
2.3.6 Đo áp và dòng	13
2.3.7 Màn hình LCD và đèn LED báo trạng thái	14
2.3.8 2N2222 Transistor	14
2.3.9 TVS Diode (Transient Voltage Suppression)	14
2.3.10 Tấm pin năng lượng mặt trời	15
2.4 Cơ sở lý thuyết	15
2.4.1 Cơ bản về quang điện	15
2.4.2 Mô hình toán học của PV	16
2.4.3 Bộ chuyển đổi DC-DC: Bộ chuyển đổi Buck	18
2.4.4 Giải thuật MPPT	20
3 Triển khai dự án	21
3.1 Flowchart	21
3.1.1 Setup Phase	23
3.1.2 Loop Phase	23
3.2 Arduino Code	24
3.3 Sơ đồ mạch của dự án	24
3.4 Lắp mạch và thực nghiệm	28
4 Kết luận	30



DANH SÁCH VIẾT TẮT

Ký hiệu	Tên đầy đủ
C	Capacitor
CCM	Continuous Conduction Mode
DC	Direct Current
DCM	Discontinuous Conduction Mode
EMF	Electromotive Force
L	Inductor
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
MPP	Maximum Power Point
MPPT	Maximum Power Point Tracking
PCB	Printed Circuit Board
PV	Photovoltaic
R	Resistor
TVS	Transient Voltage Suppression
LVD	Low Voltage Disconnect
PWM	Pulse Width Modulation



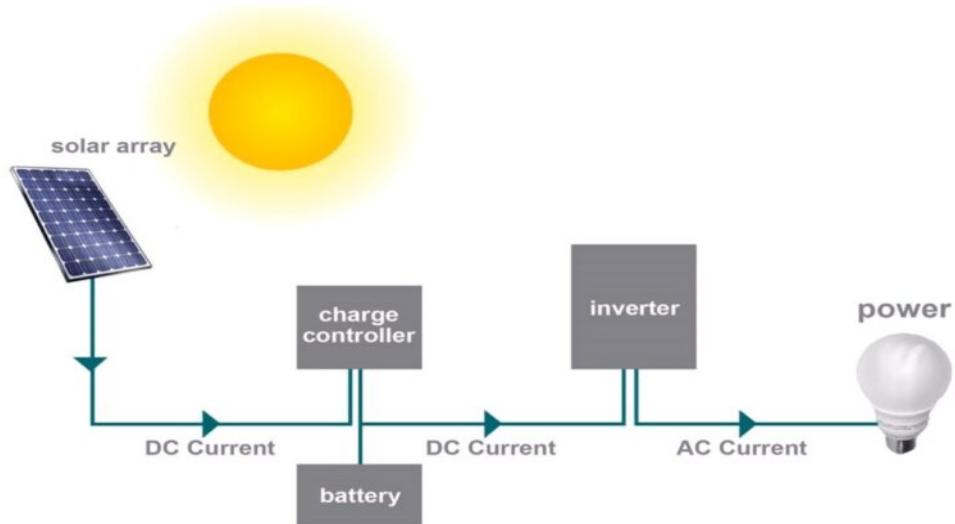
Tóm tắt

Để tối đa hóa công suất quang điện (PV), việc liên tục theo dõi điểm công suất tối đa (MPP) của hệ thống là rất cần thiết. MPP của hệ thống PV phụ thuộc vào điều kiện bức xạ mặt trời, nhiệt độ môi trường và nhu cầu phụ tải. Kỹ thuật theo dõi điểm công suất tối đa (MPPT) có thể bắt được MPP của hệ thống PV. Những kỹ thuật như vậy có thể được thực hiện dưới nhiều dạng phần cứng và phần mềm khác nhau. Mục tiêu của dự án này là phát triển, xây dựng và thử nghiệm một giải pháp hiệu quả nhằm tìm ra MPP với ngân sách hạn chế. Dự án bao gồm bốn chương, nói về mạch MPPT, tấm pin năng lượng mặt trời và công thức của nó, về cách hoạt động của MPPT, các bộ phận và mạch phụ cần thiết, phân tích bộ chuyển đổi DC-DC cũng như mô phỏng và tiến hành làm mạch thực tế.

1 Giới thiệu đề tài

1.1 Bộ điều khiển sạc năng lượng mặt trời & phân loại

Bộ điều khiển sạc năng lượng mặt trời là một thiết bị điện tử điều chỉnh dòng điện từ tấm pin mặt trời đến pin hoặc bộ pin. Nó giúp đảm bảo rằng pin không bị sạc quá mức hoặc dưới mức, thứ có thể làm giảm tuổi thọ hay hỏng pin. Đồng thời bộ điều khiển sạc năng lượng mặt trời cũng ngăn không cho pin xả ngược về tấm pin năng lượng mặt trời vào ban đêm. Vì vậy nó là một thành phần quan trọng trong hệ thống năng lượng mặt trời.



Hình 1: Sơ đồ chuyển hóa năng lượng mặt trời

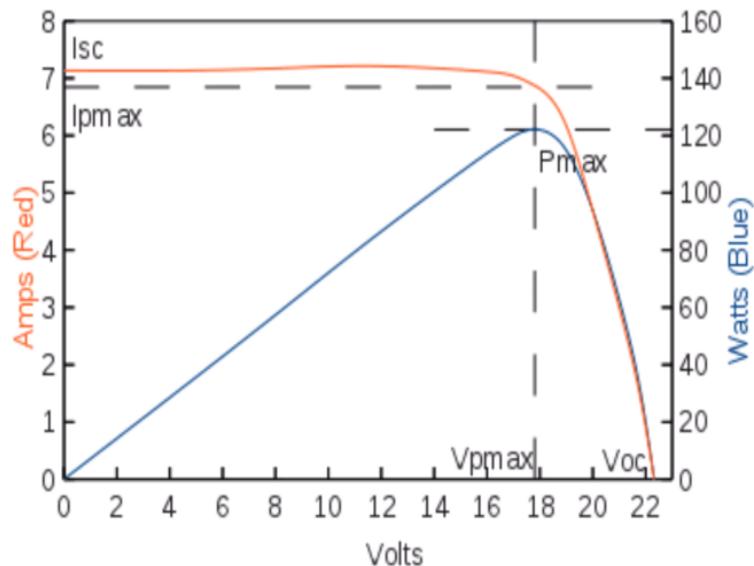
Thông thường, có 3 kiểu bộ điều khiển:

- Bộ điều khiển ON-OFF: Nguyên lý hoạt động rất đơn giản: dò điện áp của pin, từ đó đóng-mở nguồn.
- Bộ điều khiển điều chế độ rộng xung (PWM):
 - Bộ điều khiển PWM sẽ sạc nhanh hơn một chút so với bộ điều khiển ON-OFF.
 - Khi pin đầy, bộ điều khiển sẽ chuyển sang cấu hình sạc thả nổi, tức là chỉ giữ một dòng điện nhỏ giọt đi vào pin để giữ cho pin không bị ngắt.

- Bộ điều khiển PWM sẽ kéo dài tuổi thọ của pin so với bộ điều khiển ON-OFF đơn giản.
- Bộ điều khiển Maximum Power Point Tracking (MPPT)

1.2 Bộ điều khiển MPPT

Bộ điều khiển sạc MPPT (Maximum Power Point Tracking) là một thiết bị điện tử điều chỉnh việc sạc pin từ các tấm pin mặt trời bằng cách tối đa hóa lượng điện năng từ tấm pin mặt trời được lưu trữ trong pin. Nó thực hiện việc này bằng cách liên tục điều chỉnh điện áp và dòng điện của tấm pin mặt trời để phù hợp với điện áp sạc tối ưu của pin. Điều này cho phép pin sạc nhanh hơn và hiệu quả hơn, đồng thời cũng có thể tăng tổng công suất đầu ra của hệ pin năng lượng mặt trời.



Hình 2: Sơ đồ chuyển hóa năng lượng mặt trời

Ưu điểm của MPPT:

- Hầu hết các tấm pin mặt trời tạo ra điện áp cao hơn nhiều so với mức cần thiết để sạc pin 12V/24V. Tấm pin 12V trên thực tế sẽ tạo ra điện áp 16V đến 18V, tùy thuộc vào điều kiện, nhưng chỉ cần khoảng 14,6V để sạc hầu hết các loại pin 12V. Vì vậy, bộ điều khiển MPPT có thể chuyển đổi lượng điện áp dư thừa đó thành dòng điện lớn hơn, điều này giúp sạc pin nhanh và hiệu quả hơn nhiều so với hai loại còn lại.



- Một ưu điểm khác của bộ điều khiển MPPT là chúng có thể xử lý các cấu hình điện áp cao hơn nhiều của các tấm pin mặt trời để giúp giảm thiểu sụt áp hoặc tổn thất đường dây. Nói cách khác, bạn có thể mắc nối tiếp nhiều tấm pin mặt trời hơn để tăng điện áp đầu vào, cho phép bạn chạy dây cõi nhỏ hơn hoặc di chuyển khoảng cách xa hơn nhiều giữa các tấm pin và bộ điều khiển sạc mà không bị tổn thất lớn. Lợi ích này cũng cho phép bạn chạy các mảng bảng điều khiển lớn hơn bình thường bằng bộ điều khiển PWM.
- Vì vậy, nếu bạn không có điện lưới và muốn lắp thêm một số pin để có nguồn điện dự phòng, MPPT là cách duy nhất bạn có thể làm điều đó. Bộ điều khiển MPPT có hiệu suất khoảng 94% đến 99%, có thể hiệu quả hơn tới 30% so với bộ điều khiển PWM tương tự.
- Bộ điều khiển MPPT rất quan trọng đối với các hệ thống pin mặt trời không nối lưới ở vùng khí hậu lạnh hoặc khu vực có nhiều mây che phủ, vì chúng có thể khai thác từng chút năng lượng mặt trời có sẵn.

Nhược điểm của MPPT:

- Chúng thường có giá cao hơn hai đến ba lần so với PWM. Bởi vì MPPT vẫn là một công nghệ mới. Chúng cũng thường lớn hơn nhiều so với bộ điều khiển PWM.
- Chúng không hoạt động tốt trong điều kiện ánh sáng yếu vì chúng gặp khó khăn trong việc tìm ra điểm tối ưu của công suất tối đa.



2 Mô tả dự án

2.1 Mục tiêu

Mục tiêu tổng thể của dự án này là thiết kế một bộ điều khiển sạc hiệu quả. Nghĩa là triển khai bộ vi điều khiển, cảm biến và thiết bị điện tử cần thiết để giám sát và điều chỉnh công suất trong khi tiêu thụ ít điện năng nhất có thể.

2.2 Thông số kỹ thuật của dự án

2.2.1 Đặc điểm

- Dựa trên thuật toán MPPT
- Đèn LED báo trạng thái sạc
- LCD 20x4 để quan sát dòng, áp, công suất,...
- Bảo vệ quá áp, quá tải, ngắn mạch và công suất chảy ngược

2.2.2 Thông số điện

- Điện áp định mức: 12V
- Dòng điện cực đại: 5A
- Dòng tải cực đại: 10A
- Điện áp ngõ vào: Tấm pin mặt trời với điện áp dao động từ 12-25V
- Công suất tấm pin năng lượng mặt trời: 10W

2.3 Thành phần linh kiện

Các thành phần cần thiết cho dự án MPPT là:

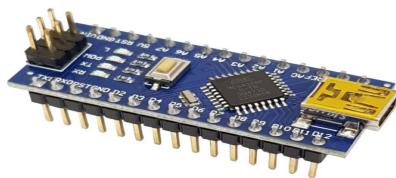
- Điện trở: 3x200R, 3x330R, 1x1K, 2x10K, 2x20K, 2x100k, 1x470K
- Diode TVS: 2xP6KE36CA
- Arduino Nano v3

- Cảm biến dòng: ACS712-5A
- Màn hình LCD 20x4
- MOSFET: 4xIRFZ44N
- MOSFET driver: IR2104
- Transistor: 2N2222
- Diodes: 2xIN4148, 1xUF4007
- Tụ điện: 4x0.1 uF, 3x10uF ,1x100 uF, 1x220uF
- Cuộn cảm: 1x33uH -5A
- LED: đỏ, vàng, xanh
- Cầu chì: 5A
- Pin năng lượng mặt trời: 12V, 50W
- Pin sạc 12V

2.3.1 Arduino

Board Arduino là một board điện tử bao gồm một mạch điện tử nguồn mở với bộ vi điều khiển được lập trình bằng máy tính, được thiết kế để hỗ trợ việc sử dụng các thiết bị điện tử trong các dự án đa ngành.

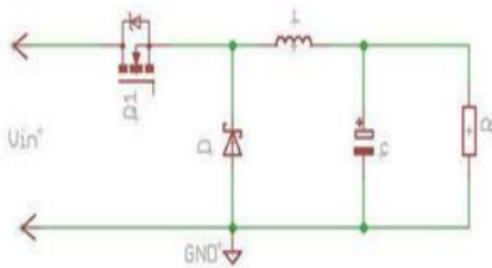
Trong dự án này, em sử dụng Arduino Nano V3.



Hình 3: Arduino Nano V3

2.3.2 BỘ CHUYỂN ĐỔI BUCK

Bộ chuyển đổi Buck là bộ chuyển đổi DC sang DC trong đó điện áp đầu ra luôn thấp hơn hoặc bằng điện áp đầu vào.



Hình 4: Mạch chuyển đổi Buck

Trong dự án này, nguồn vào là tấm pin mặt trời 10W và tải là pin sạc 12V. Mạch Buck cần thiết kế bao gồm tụ điện, cuộn cảm và MOSFET.

Chọn tần số: Tần số chuyển mạch tỷ lệ nghịch với kích thước của cuộn cảm và tụ điện và tỷ lệ thuận với tổn thất chuyển mạch trong MOSFET. Vì vậy, tần số càng cao, kích thước của cuộn cảm và tụ điện càng thấp nhưng tổn thất chuyển mạch càng cao. Vì vậy, cần có sự cân bằng giữa chi phí của các thành phần và hiệu suất để chọn tần số chuyển mạch phù hợp.

Cân nhắc những hạn chế này, tần số được chọn là 50KHz.

2.3.3 CUỘN DÂY

Tính toán giá trị điện cảm là quan trọng nhất trong việc thiết kế bộ chuyển đổi Buck. Đầu tiên, giả sử bộ chuyển đổi ở chế độ dòng điện liên tục (CCM), nghĩa là cuộn cảm không phóng điện hoàn toàn trong thời gian tắt. Các phương trình sau đây giả sử một công tắc lý tưởng (điện trở bằng 0, điện trở tắt vô hạn và thời gian chuyển mạch bằng 0) và một diode lý tưởng.

Giả sử: Tính toán cho một tấm pin năng lượng 50W và pin sạc 12V

- Điện áp nguồn vào (V_{in}): 15V
- Điện áp nguồn ra (V_{out}): 12V
- Dòng điện nguồn ra (I_{out}): $50/12 = 4.16 = 4.2A$
- Tần số đóng cắt (f_{sw}): 50KHz

- Tỷ số điều chế (D): $V_{out}/V_{in} = 12/15 = 0.8 = 80\%$

Tính toán:

$$L = \frac{(V_{in} - V_{out}) \times D}{F_{sw} \times dI}$$

Trong đó: dI là dòng nhấp nhô.

Để mạch Buck hiệu quả thì dòng nhấp nhô có giá trị khoảng 30-40% dòng định tải. Giả sử dòng nhấp nhô bằng 35% dòng tải.

$$dI = 35\% \times 4.2 = 1.47A$$

$$L = \frac{(15 - 12) \times 0.8}{50k \times 1.47} = 32.65uH = 33uH$$

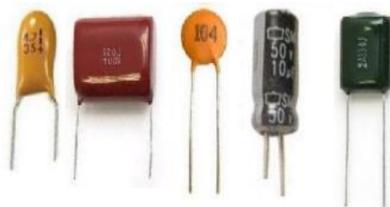
Dòng giới hạn của cuộn dây:

$$I_{out} + \frac{dI}{2} = 4.2 + \frac{1.47}{2} = 4.935 = 5A$$

Vậy cuộn dây cần dùng trong mạch Buck là cuộn 33uH 5A

2.3.4 Tụ điện

Tụ điện là một thành phần điện thụ động, hai cực "không tạo ra năng lượng", lưu trữ năng lượng điện trong điện trường.



Hình 5: Tụ điện

Cần có điện dung đầu ra để giảm thiểu hiện tượng quá điện áp và gợn sóng ở đầu ra của bộ chuyển đổi Buck. Sự vọt lố lớn là do điện dung đầu ra không đủ và gợn sóng điện áp lớn là do điện dung không đủ cũng như điện trở nối tiếp tương đương (ESR) cao trong tụ điện đầu ra. Do đó, để đáp ứng thông số cho mạch chuyển đổi Buck, cần phải có một tụ điện đầu ra có điện dung lớn và ESR thấp.

Tính toán:



Điện dung ngõ ra:

$$C_{out} = \frac{dI}{8 \times F_{sw} \times dV}$$

Trong đó: dV là áp nhập nhô. Giả sử dV = 20mV

$$C_{out} = \frac{1.47}{8 \times 50k \times 0.02}$$

Vậy tụ điện cần dùng trong mạch em chọn là tụ 220uF.

2.3.5 MOSFET & MOSFET Driver

MOSFET là một FET (Field Effect Transistor) có kênh truyền dựa trên vật liệu bán dẫn. Nó bao gồm 3 chân: Source, Gate. Chức năng của MOSFET là đóng và mở mạch điện.

Thành phần quan trọng của bộ chuyển đổi Buck là MOSFET. Chọn MOSFET phù hợp trong số nhiều loại MOSFET có sẵn trên thị trường là một nhiệm vụ khá khó khăn.

Đây là một vài thông số cơ bản để chọn MOSFET phù hợp.

- Vds: Vds của MOSFET phải lớn hơn 20% so với điện áp định mức
- Ids: Ids của MOSFET phải lớn hơn 20% so với dòng định mức
- Rds ON: chọn MOSFET có Rds on thấp
- T榛 th t truyền d n: phụ thuộc vào Rds ON và t y số điều ch . Ph i giữ t榛 th t ở mức nhỏ nhất
- T榛 th t đóng c t: xuất hiện trong l c chuyển pha. phụ thuộc vào t n s  đóng c t,  p, dòng,... C n giữ ở mức tối thiểu

Trong thiết kế của em, điện áp tối đa là điện áp h o mạch của tấm pin mặt trời (Voc) khoảng 21 đến 25V và dòng tải tối đa là 5A. Em đã chọn MOSFET IRFZ44N. Giá trị Vds và Ids đủ để đáp ứng cũng như có giá trị Rds(ON) thấp.



Hình 6: MOSFET IRFZ44N

MOSFET Driver cho phép tín hiệu đầu ra kỹ thuật số dòng điện thấp từ vi điều khiển để điều khiển chân Gate của MOSFET. Tín hiệu số 5 volt có thể đóng cắt MOSFET điện áp cao thông qua driver. MOSFET có điện dung chân Gate cần sạc để MOSFET có thể bật và xả nó để tắt, dòng điện cung cấp cho chân gate càng lớn thì bật/tắt MOSFET càng nhanh, đó là lý do tại sao ta cần sử dụng một MOSFET.

Đối với thiết kế này, em sử dụng driver Half-Bridge IR2104. IC lấy tín hiệu xung vào từ bộ vi điều khiển và sau đó điều khiển hai đầu ra cho MOSFET phía cao và phía thấp.

- Ngõ vào :

Đầu tiên, ta phải cấp nguồn cho driver, cung cấp trên Vcc (chân 1) và giá trị của nó nằm trong khoảng 10-20V theo datasheet.

Tín hiệu PWM tần số cao từ Arduino đi tới IN (chân 2). Tín hiệu điều khiển tắt từ Arduino được kết nối với SD (chân 3).

- Ngõ ra :

2 tín hiệu xung PWM ngõ ra ra được tạo ra từ chân HI và LO. Điều này mang lại cho người dùng cơ hội tinh chỉnh dead-band của MOSFET.

- Mạch bơm sạc:

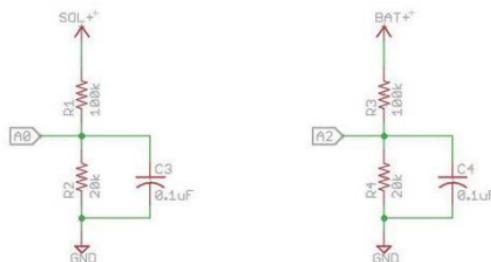
Tụ điện được kết nối giữa VB và VS cùng với diode bơm sạc. Mạch này tăng gấp đôi điện áp đầu vào để có thể đóng cắt tần số cao. Tuy nhiên, mạch khởi động này chỉ hoạt động khi MOSFET đóng cắt.



Hình 7: MOSFET Driver IR2104

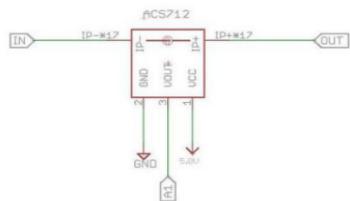
2.3.6 Đo áp và dòng

Dầu vào analog của Arduino có thể được sử dụng để đo điện áp DC trong khoảng từ 0 đến 5V (khi sử dụng điện áp tham chiếu analog 5V tiêu chuẩn) và phạm vi này có thể tăng lên bằng cách sử dụng hai điện trở để tạo ra một bộ chia điện áp. Bộ chia điện áp làm giảm điện áp được đo trong phạm vi dầu vào tương tự của Arduino. Chúng ta có thể sử dụng điều này để đo điện áp của tấm pin mặt trời và pin, từ đó đưa tín hiệu hồi tiếp áp cho MPPT.



Hình 8: Mạch chia áp

Cảm biến dòng điện sẽ đọc giá trị dòng, và chuyển nó sang giá trị điện áp tương ứng. Từ đó trả tín hiệu hồi tiếp dòng điện về MPPT. Trong dự án này em sử dụng cảm biến dòng ACS712 để đo dòng từ tấm pin mặt trời và hồi tiếp về chân 1 của Arduino.



Hình 9: Cảm biến dòng

2.3.7 Màn hình LCD và đèn LED báo trạng thái

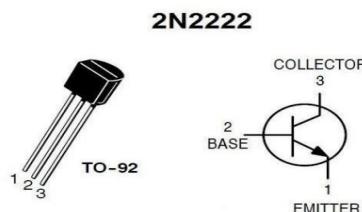
Màn hình LCD: Màn hình LCD 20X4 kí tự được sử dụng để theo dõi các thông số của tấm pin năng lượng mặt trời, pin và tải.

LED trạng thái: Đèn LED màu đỏ, xanh lục và vàng được sử dụng để biểu thị mức điện áp của pin:

- Điện áp thấp -> LED đỏ
- Điện áp trung bình -> LED xanh lục
- Sạc đầy pin -> LED

2.3.8 2N2222 Transistor

2N2222 là một npn BJT (Bipolar Junction Transistor) được sử dụng phổ cho các ứng dụng chuyển mạch hoặc khuếch đại công suất thấp.



Hình 10: Transistor 2N2222

2.3.9 TVS Diode (Transient Voltage Suppression)

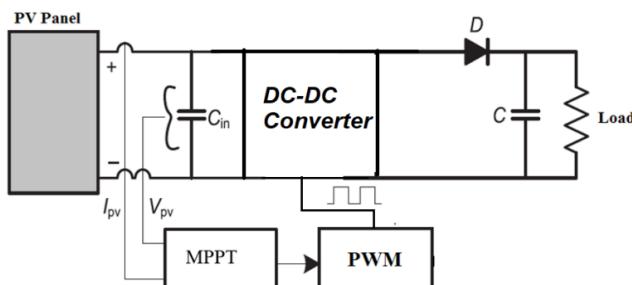
TVS là một linh kiện điện tử được sử dụng để bảo vệ các thiết bị điện tử khỏi các xung điện áp tức thời gây ra trên các dây nối. Trong dự án này, em sử dụng 2 con diode P6KE36CA để tạo thành diode TVS.

2.3.10 Tấm pin năng lượng mặt trời

Các tấm pin mặt trời hấp thụ ánh sáng mặt trời như một nguồn năng lượng để tạo ra điện hoặc nhiệt. Mô-đun quang điện sử dụng năng lượng ánh sáng (photon) từ Mặt trời để tạo ra điện thông qua hiệu ứng quang điện. Trong dự án này, em sử dụng tấm pin năng lượng mặt trời có công suất 10W

2.4 Cơ sở lý thuyết

Hệ thống PV chủ yếu bao gồm các tấm PV, bộ chuyển đổi DC-DC, hệ thống điều khiển và tải như Hình 16 thể hiện sơ đồ khối của hệ thống PV. Để thay đổi điện áp của tấm PV nhằm hoạt động xung quanh MPP, cần có bộ chuyển đổi DC-DC. Tải có thể khớp bằng cách điều chỉnh tỷ số điều chế của bộ chuyển đổi. Vì vậy, bộ chuyển đổi phải hoạt động với một tỷ số điều chế cụ thể để mang lại công suất tối đa. Trong trường hợp điều kiện khí hậu thay đổi, tỷ số điều chế của bộ chuyển đổi phải được điều chỉnh để khai thác công suất tối đa từ hệ thống PV nhằm nâng cao hiệu quả. Có một số cấu hình cho bộ chuyển đổi DC-DC, trong dự án này, em đã chọn bộ chuyển đổi Buck.

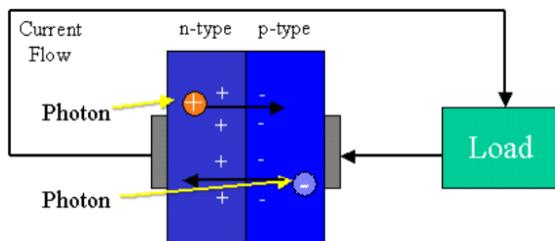


Hình 11: Sơ đồ khối hệ thống PV với MPPT

2.4.1 Cơ bản về quang điện

PV là thiết bị nhỏ biến đổi ánh sáng mặt trời thành năng lượng điện. Chúng được sản xuất dưới dạng tấm hình vuông từ vật liệu bán dẫn như silicon và các chất dẫn điện khác. Khi bức xạ mặt trời chiếu vào bảng điều khiển, một phản ứng hóa học xảy ra buộc các electron được tạo ra và dẫn đến dòng điện chạy qua. Tế bào bán dẫn tạo ra một số loại cân bằng hay gọi là trạng thái cân bằng tại điểm nối PN. Khi các photon chạm vào chất này, chúng sẽ làm giải phóng nhiều electron và lỗ trống hơn. Điện trường của chất bán dẫn đẩy các electron chuyển động theo một hướng

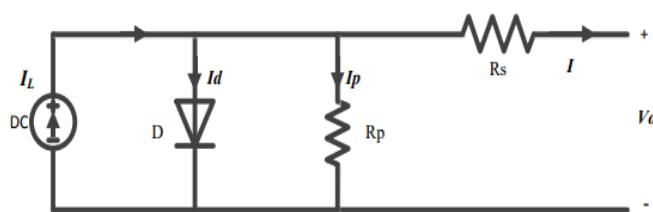
duy nhất, tạo ra dòng điện. Sơ đồ dưới đây trong Hình 17 cho thấy hiệu ứng quang điện này. Các điểm tiếp xúc kim loại được thêm vào cấu trúc để cho dòng điện chạy qua dễ dàng. Dòng điện được tạo ra được tập hợp cùng với dòng điện được tạo ra bởi phần còn lại của các PV cells để cuối cùng tạo ra dòng output tổng.



Hình 12: Mô tả hiệu ứng quang điện bán dẫn

2.4.2 Mô hình toán học của PV

Các cell năng lượng được gắn nối tiếp hoặc song song để tạo thành môđun quang điện. Các môđun quang điện được ghép nối tiếp hoặc song song với nhau để tạo ra mảng quang điện có mật độ mong muốn. Số lượng , môđun và mảng được xác định theo công suất cần thiết cho tải. Công suất đầu ra tối đa từ panel sẽ đạt được khi theo dõi ánh sáng mặt trời và thông qua kỹ thuật MPPT. Mạch tương đương chung cho cell năng lượng mặt trời được biểu diễn ở hình , trong đó I_L là dòng sinh ra bên trong cell năng lượng theo ánh sáng mặt trời. Bởi vì cell năng lượng là loại nối P-N nên ta sẽ xét dòng qua diode I_D .



Hình 13: Mạch tương đương cell năng lượng

Mô hình có nhiều thông số, trong đó có dãy điện trở R_S , biểu diễn cho sự hao hụt do tiếp xúc và nội trở, và điện trở shunt (điện trở song song) biểu diễn cho cấu tạo của cell cũng như điện trở lớp tiếp giáp P-N. Dòng ngõ ra được tính theo định



luật Kirchhoff như sau:

$$I = I_L - I_0(e^{(\frac{V_0 + IR_S}{aV_T})-1}) - \frac{V_0 + IR_S}{R_P} (1)$$

Trong đó:

I : dòng ngõ ra

I_0 : dòng bão hòa của diode

V : áp ngõ ra

a :

V_T : nhiệt điện áp

Dòng bão hòa là một hàm phụ thuộc nhiệt độ được tính toán trực tiếp từ công thức:

$$I_0 = I_{0.ref} \left(\frac{T_{ref}}{T} \right)^3 e^{\frac{gE_g}{ak} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right)}$$

Trong đó:

T_{ref} và T là nhiệt độ ref và nhiệt độ môi trường xung quanh tương ứng.

E_g biểu thị vùng năng lượng của vật liệu bán dẫn.

Mối quan hệ giữa dòng nội sinh và bức xạ mặt trời được biểu thị bằng phương trình:

$$I_L = \frac{G}{G_A} (I_{L.ref} + V_{SC} \Delta T)$$

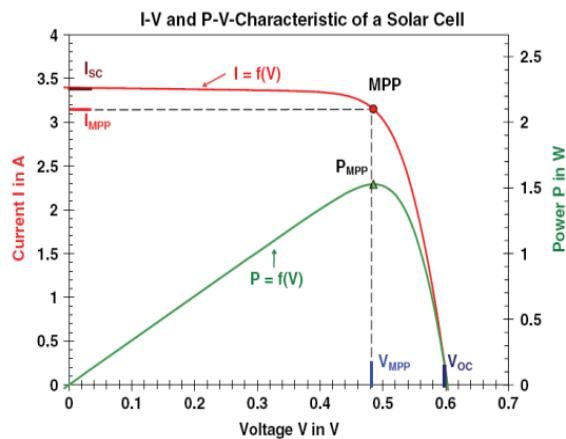
Trong đó:

G là bức xạ mặt trời, G_a là bức xạ mặt trời tiêu chuẩn, bằng $1\text{KW}/m^2$ ở điều kiện tiêu chuẩn.

ΔT là chênh lệch giữa nhiệt độ thực và nhiệt độ tiêu chuẩn (25°C)

V_{SC} là nhiệt điện trở.

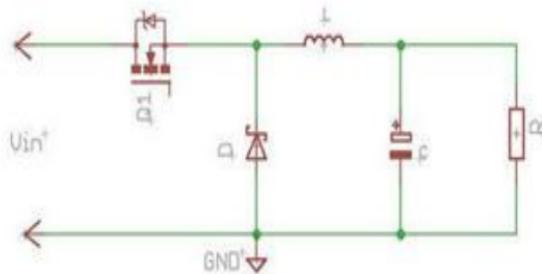
Đường cong biểu thị quan hệ giữa dòng sinh ra và công suất ngõ ra với điện áp được vẽ trong hình. Dòng tối đa có giá trị I_{SC} khi ngõ ra ngắn mạch và giá trị áp tối đa là V_{OC} khi dòng bằng 0.



Hình 14: Đặc tính cell năng lượng PV

2.4.3 BỘ CHUYỂN ĐỔI DC-DC: BỘ CHUYỂN ĐỔI BUCK

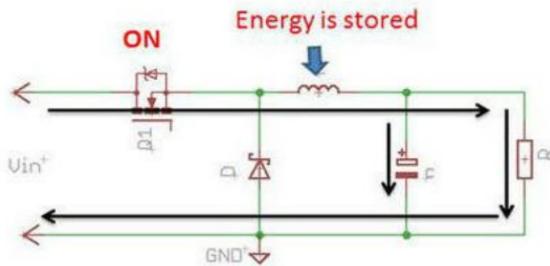
Bộ chuyển đổi Buck là bộ chuyển DC-DC mà điện áp ngõ ra luôn thấp hơn hoặc bằng điện áp ngõ vào.



Hình 15: Mạch chuyển đổi Buck

- Trường hợp 1: MOSFET ON:

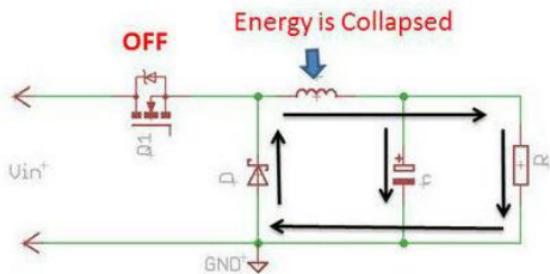
Khi MOSFET ON, dòng điện chạy qua cuộn cảm (L), tải (R) và tụ điện output (C) được mô tả như hình bên dưới. Trong điều kiện này, diode bị phân cực ngược, vì vậy không có dòng điện chạy qua nó. Ở trạng thái ON, năng lượng từ được trữ trong cuộn cảm và năng lượng điện được trữ trong tụ điện output.



Hình 16: Mạch Buck - MOSFET ON

- Trường hợp 2: MOSFET OFF:

Khi MOSFET OFF, năng lượng dự trữ trong cuộn cảm được giải phóng và dòng điện hoàn thành đường đi qua diode (phân cực thuận) như minh họa bên dưới. Khi năng lượng dự trữ trong cuộn cảm biến mất, năng lượng dự trữ trong tụ điện sẽ được cung cấp cho tải để duy trì dòng điện.



Hình 17: Mạch Buck - MOSFET OFF

- Công thức tính toán mạch Buck:

$$V_O = V_I D$$

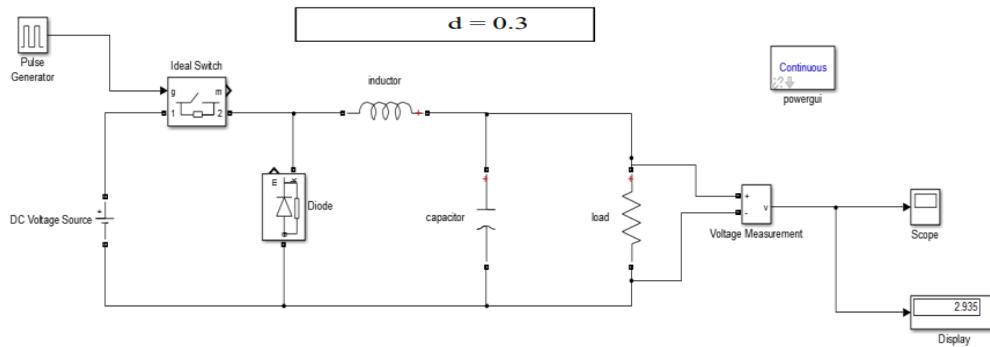
Trong đó:

D là tỷ số điều chế

V_O là điện áp ngõ ra

V_I là điện áp ngõ vào

- Mô phỏng Matlab mạch Buck:



Hình 18: Mô phỏng Matlab mạch Buck

Em đã mô phỏng mạch chuyển đổi Buck trong Matlab với điện áp đầu vào là 10V DC và chạy mô phỏng cho các giá trị khác nhau của tỷ số điều chế (0.3; 0.5; 0.7). Kết quả như sau:

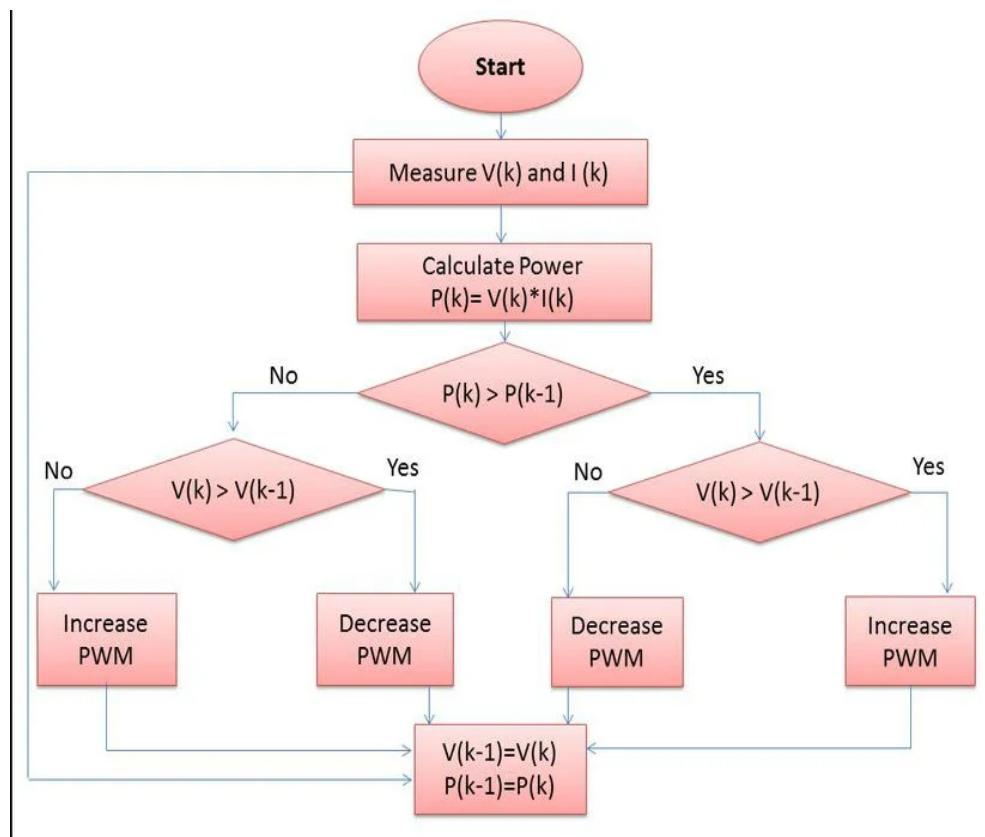
Duty Cycle	V _{in}	V _o (calculated)	V _o (measured)	Error %	Efficiency %
0.3	10	3	3.45	15%	87.1%
0.5	10	5	5.36	7.2%	93.28%
0.7	10	7	7.3	4.28%	95.89%

Hình 19: Áp ngõ ra mạch Buck

2.4.4 Giải thuật MPPT

Giải thuật theo dõi công suất tối đa sử dụng phương pháp lặp đi lặp lại để tìm MPP thay đổi liên tục. Phương pháp lặp này được gọi là Perturb-and-Observe (P&O) hoặc thuật toán leo đồi (hill climbing algorithm). Để đạt được MPPT, bộ điều khiển sẽ điều chỉnh điện áp một lượng nhỏ từ tấm pin mặt trời và đo công suất, nếu công suất tăng, nó sẽ tiếp tục điều chỉnh thêm cho đến khi công suất không tăng thêm được nữa.

Điện áp vào tấm pin mặt trời ban đầu được tăng lên, nếu công suất đầu ra tăng, điện áp sẽ liên tục tăng cho đến khi công suất đầu ra bắt đầu giảm. Khi công suất đầu ra bắt đầu giảm, điện áp trên tấm pin mặt trời sẽ giảm cho đến khi đạt công suất tối đa. Quá trình này được tiếp tục cho đến khi đạt được MPP. Kết quả này là sự dao động của công suất đầu ra xung quanh MPP.

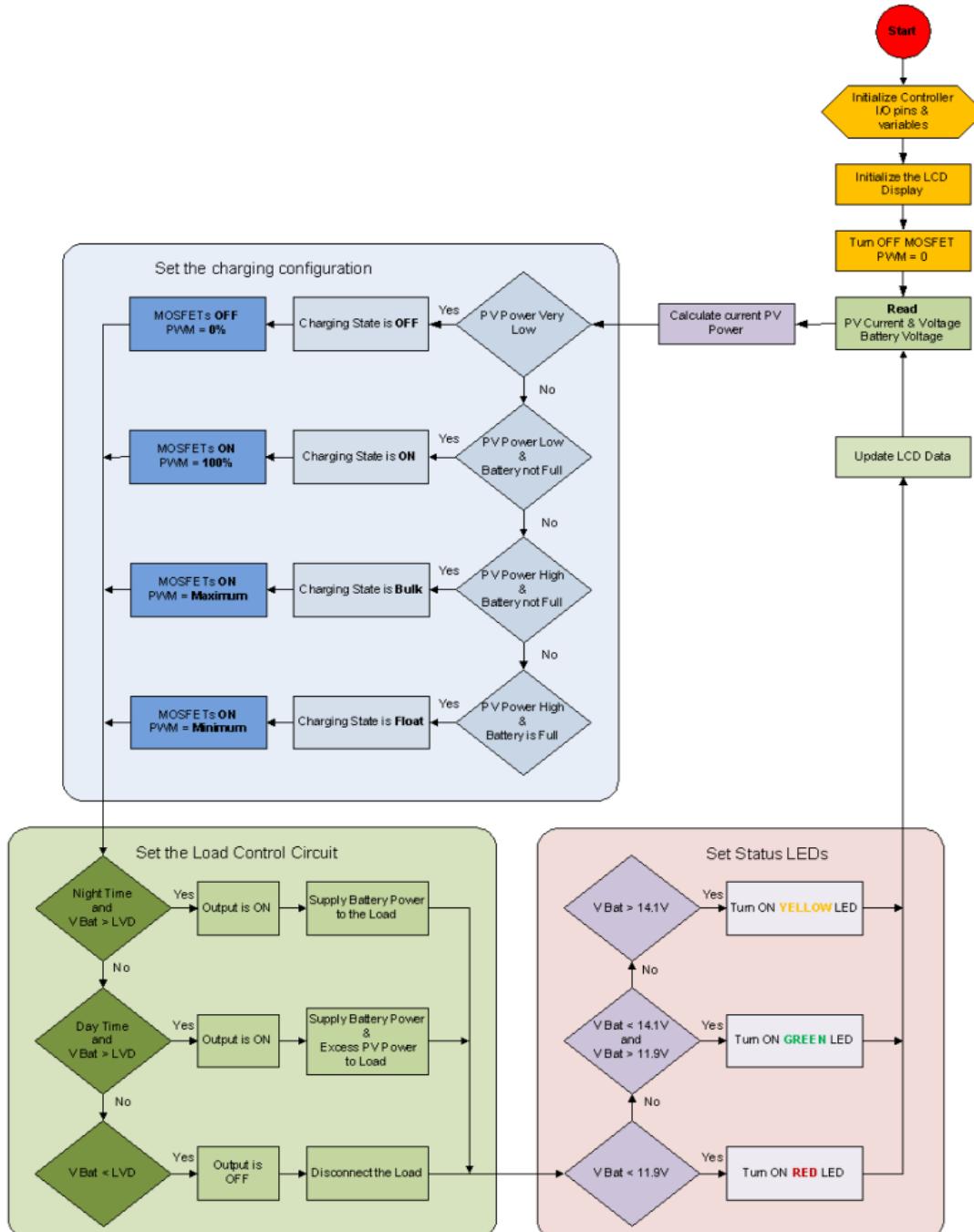


Hình 20: Sơ đồ khối giải thuật MPPT

3 Triển khai dự án

3.1 Flowchart

Hình mô tả flowchart của code chạy trong Arduino. Lưu đồ được chia thành 2 phần chính: Setup Phase và Loop Phase



Hình 21: Flowchart



3.1.1 Setup Phase

Khi hệ thống khởi động lần đầu tiên, nó sẽ khởi tạo chân đầu vào và đầu ra, khai báo tất cả các biến, hằng và các hàm sẽ được sử dụng trong quá trình này.

- Minimum Battery Voltage (Low Voltage Disconnect-LVD): 11.9V
- Maximum Battery Voltage: 14.1V

Sau đó, nó cấu hình LCD và tắt MOSFET điều khiển đầu ra, MOSFET driver và đặt PWM rate về 0%

3.1.2 Loop Phase

Bắt đầu đọc tín hiệu vào

- Điện áp cấp bởi tấm pin PV
- Dòng tạo ra bởi tấm pin PV
- Điện áp của pin

Khi đã nhận đủ các tín hiệu vào, tính công suất tạo ra của tấm pin PV bằng cách lấy áp và dòng đọc được nhân với nhau.

Dựa vào các thông số đọc và tính toán được đó, cấu hình sạc pin sẽ được đặt như sau:

- Nếu công suất PV cung cấp rất thấp (vào ban đêm, thời tiết nhiều mây, tấm pin bị bẩn), trạng thái sạc được đặt thành OFF, MOSFET driver tắt và tần số xung PWM được đặt xuống 0%.
- Nếu công suất PV cung cấp yếu và pin chưa được sạc đầy, trạng thái sạc được đặt thành ON, MOSFET driver được bật và tần số xung PWM được đặt lên 100%.
- Nếu công suất PV cung cấp ở mức trung bình đến cao và pin chưa được sạc đầy thì trạng thái sạc được đặt thành Bulk, MOSFET driver được bật và tần số xung PWM được đặt thành Maximum.
- Nếu công suất PV cung cấp ở mức trung bình đến cao và pin đã được sạc đầy thì trạng thái sạc được đặt thành Float, MOSFET driver được bật và tần số xung PWM được đặt thành Minimum.



Tiếp theo, ta cấu hình điều khiển tải ngõ ra như sau:

- Nếu vào ban đêm và điện áp của pin cao hơn điện áp ngưỡng LVD là 11,9V, ngõ ra sẽ được bật và pin sẽ cung cấp năng lượng cho tải.
- Nếu vào ban ngày và điện áp pin cao hơn điện áp ngưỡng LVD là 11,9V thì ngõ ra cũng được bật, nhưng lần này tải được cung cấp năng lượng bởi pin và công suất dư thừa do tấm pin PV cung cấp.
- Nếu điện áp pin thấp hơn điện áp ngưỡng LVD là 11,9V, ngõ ra sẽ bị tắt và tải sẽ ngắt kết nối.

Bước tiếp theo ta cài đặt bật tắt LED tương ứng với các mức điện áp của pin như sau:

- Nếu điện áp của pin thấp hơn 11,9V, LED đỏ được bật.
- Nếu điện áp của pin trong khoảng 11,9V đến 14,1V, LED xanh được bật.
- Nếu điện áp của pin vượt quá 14,1V, LED vàng được bật.

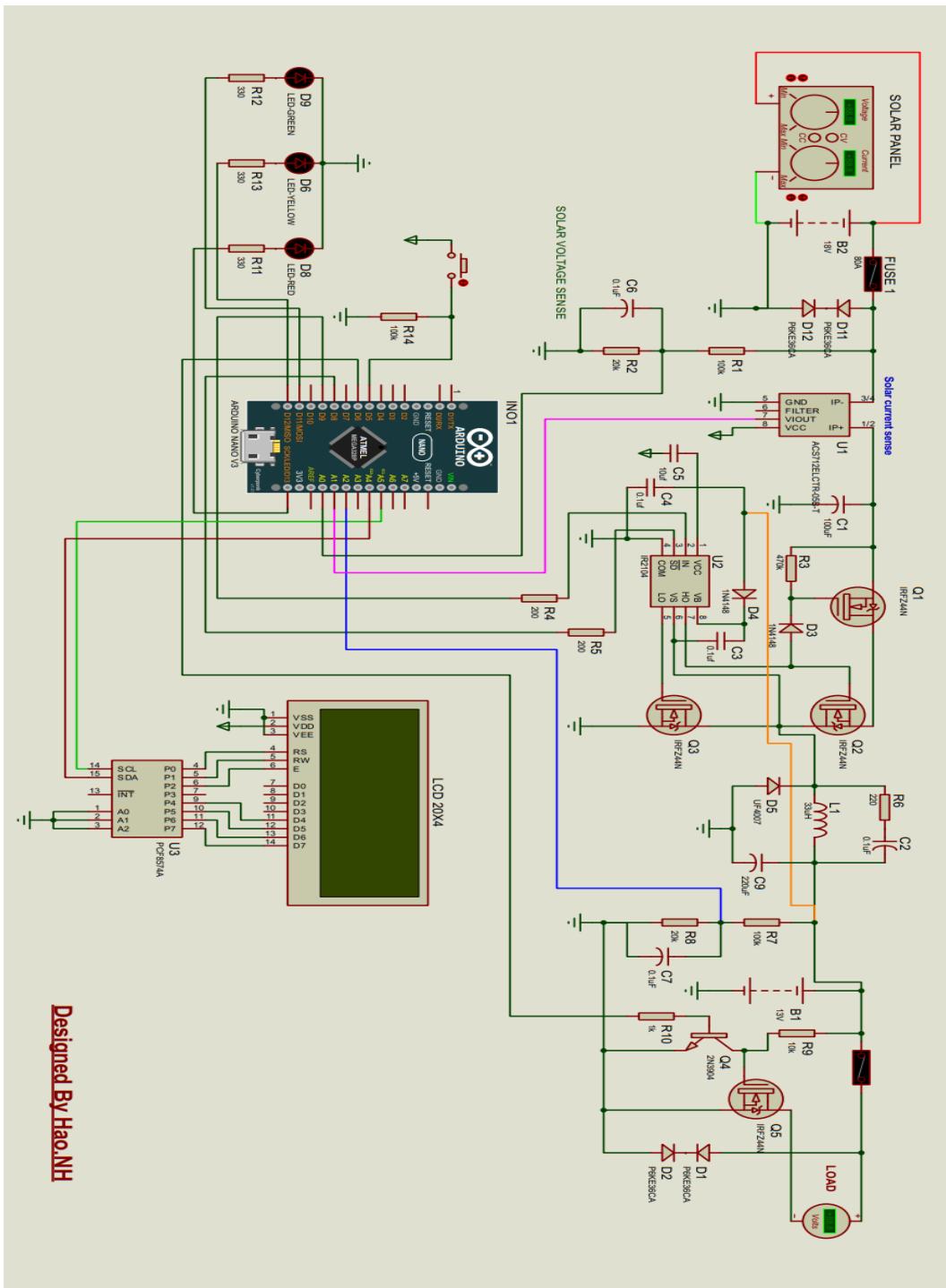
Sau đó, Arduino sẽ cập nhật thông tin như tiến trình phía trên và hiển thị trên LCD, sau đó tiếp tục đọc tín hiệu vào và bắt đầu lại Loop Phase. Cứ như thế quá trình đọc và hiển thị dữ liệu được thực hiện liên tục.

3.2 Arduino Code

Phần code Arduino khá dài nên em xin phép để ở file riêng thay vì trình bày trong báo cáo. Đường dẫn tới file code: http://bit.ly/MPPT_HaoNH

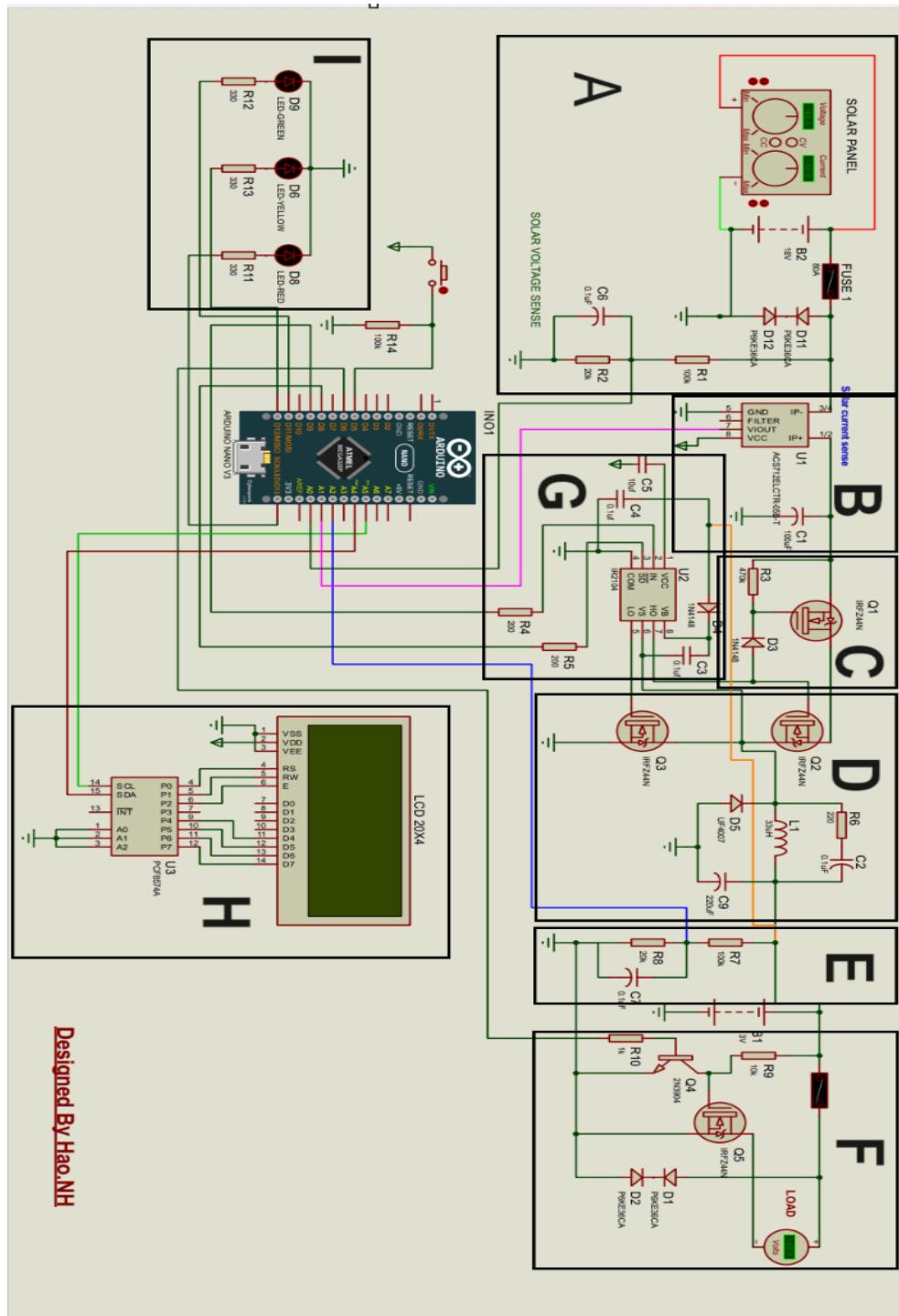
3.3 Sơ đồ mạch của dự án

Sơ đồ mạch của toàn bộ dự án được mô tả ở hình 22. Trung tâm của mạch chính là Arduino Nano V3, được kết nối với tất cả ngõ vào và ngõ ra. Để mô tả hoạt động của mạch một cách đơn giản, em chia mạch thành các phần như hình 23.



Designed By Hao.NH

Hình 22: Sơ đồ mạch



Hình 23: Sơ đồ mạch



- Phần A: ngõ vào của hệ thống là nguồn điện được cung cấp bởi tấm pin năng lượng mặt trời. Cầu chì F1 và TVS bảo vệ mạch khỏi mọi dòng điện cao có thể xảy ra. Khối chia áp (R1 và R2) được sử dụng để giảm điện áp do tấm pin mặt trời cung cấp V_{PV} sao cho điện áp tối đa ngõ vào analog Arduino V_{A0} không vượt quá điện áp tối đa 5V.

Áp ngõ ra của khối chia áp là $1/6$ áp ngõ vào. Vì thế, điện áp tối đa của tấm pin năng lượng mặt trời không được vượt quá 30V.

$$V_{A0} = \frac{R2}{R2 + R1} V_{PV} = \frac{20}{100 + 20} V_{PV} = \frac{1}{6} V_{PV}$$

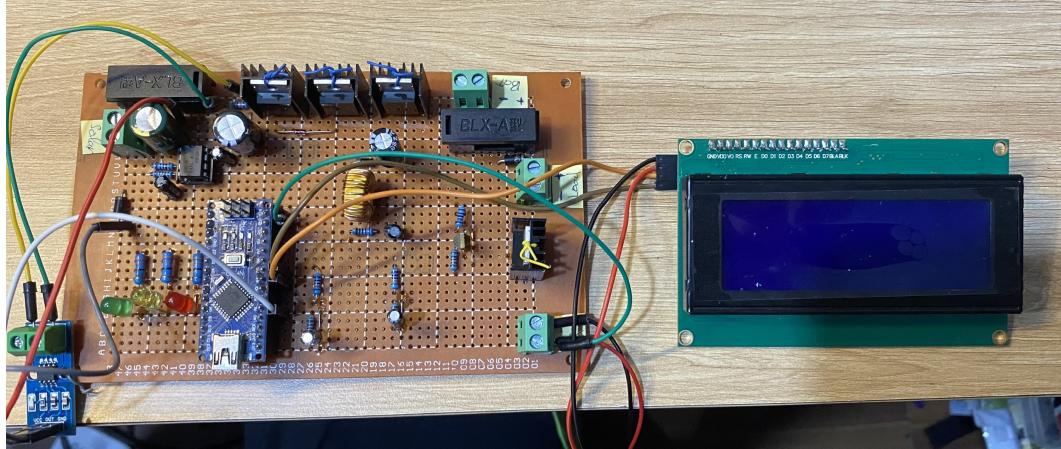
- Phần B: là khối hồi tiếp dòng điện của nguồn điện được cung cấp bởi tấm pin năng lượng mặt trời. ACS712 là cảm biến dòng điện có ngõ ra là tín hiệu analog tỷ lệ với dòng điện đi qua cảm biến. Tụ điện là tụ lọc thông thường. Đầu ra của cảm biến dòng được kết nối với chân analog thứ hai của Arduino (A1).
- Phần C: thể hiện mạch chặn chỉ cho phép dòng điện chạy theo một hướng từ tấm pin mặt trời đến mạch sạc. Mục đích của mạch này là để bảo vệ tấm PV khỏi điện áp của pin khi tấm pin mặt trời không sản xuất điện. Chân Gate Q1 của MOSFET được kết nối với MOSFET driver (IR2104) thông qua diode D3. Vì vậy, Q1 chỉ được kích khi các MOSFET hoạt động.
- Phần D: là mạch sạc. Diode D5 (UF4007) là một diode cực nhanh sẽ bắt đầu dẫn dòng điện trước khi Q3 bật. Nó làm cho bộ chuyển đổi hiệu quả hơn. MOSFET driver sẽ điều khiển cặp MOSFET Q2 và Q3 theo cấu hình kéo đẩy để cho dòng điện chạy bên trong cuộn dây.
- Phần E: là một bộ chia áp khác được kết nối với chân analog thứ ba (A2) của Arduino. Mạch này lấy áp của pin nhằm hồi tiếp tín hiệu áp về Arduino.

$$V_{A2} = \frac{R8}{R7 + R8} V_{bat} = \frac{20}{100 + 20} V_{bat} = \frac{1}{6} V_{bat}$$

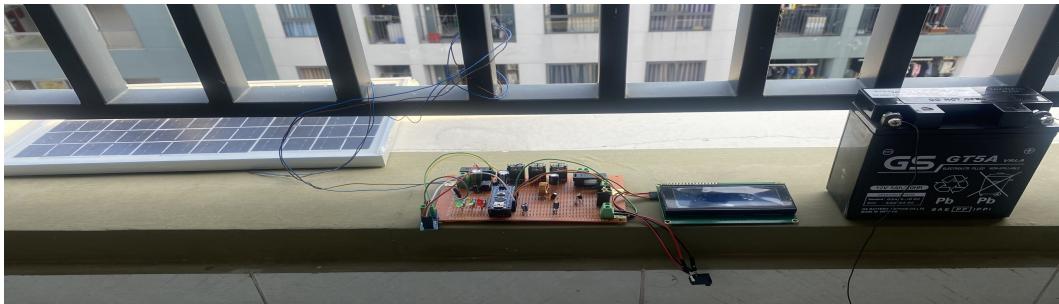
- Phần F: là mạch điều khiển tải đầu ra. Chân đầu ra Arduino (D6) điều khiển cực Base của Transistor NPN Q5, từ đó điều khiển cổng của cực Gate MOSFET Q4 nhằm cho phép hoặc chặn dòng điện chạy từ pin qua tải. Bất cứ khi nào D6 ở mức thấp (0V), cực Base của Q5 sẽ ở mức cao và MOSFET Q4 sẽ cho dòng điện chạy qua. Khi D6 chuyển sang trạng thái sang mức cao, (5V), chân Base của Q5 sẽ ở mức cao, MOSFET Q4 sẽ hở mạch và dòng điện sẽ bị chặn.

- Phần G: là driver cho khối MOSFET kéo-dẩy. IC IR2104 là MOSFET driver bán cầu. Nó điều khiển MOSFET phía cao (high side) và phía thấp (low side) bằng cách sử dụng tín hiệu PWM từ Arduino (Pin-D9). IR2104 cũng có thể được tắt bằng tín hiệu điều khiển (ở mức thấp trên chân D8) từ Arduino trên chân 3. Đầu ra của mạch này được kết nối với pin để sạc. D4 và C3 là một phần của mạch khởi động tạo ra điện áp ở đĩa cổng bên cao cho Q1 và Q2. Phần mềm theo dõi chu kỳ hoạt động của CPU và không bao giờ cho phép bật 100% hoặc luôn bật. Nó giới hạn chu kỳ hoạt động của CPU ở mức 99,9% để giữ cho bơm sạc hoạt động.
- Phần H: là màn hình LCD. Nó sử dụng giao thức I2C để giao tiếp với Arduino Board.
- Phần I: là đèn LED dùng để báo mức điện áp của ắc quy. Các điện trở R11, R12, R13 là các điện trở giới hạn dòng điện được sử dụng để ngăn điện áp do Arduino (5V) cung cấp làm hỏng đèn LED vốn chỉ cần 2 volt để hoạt động.

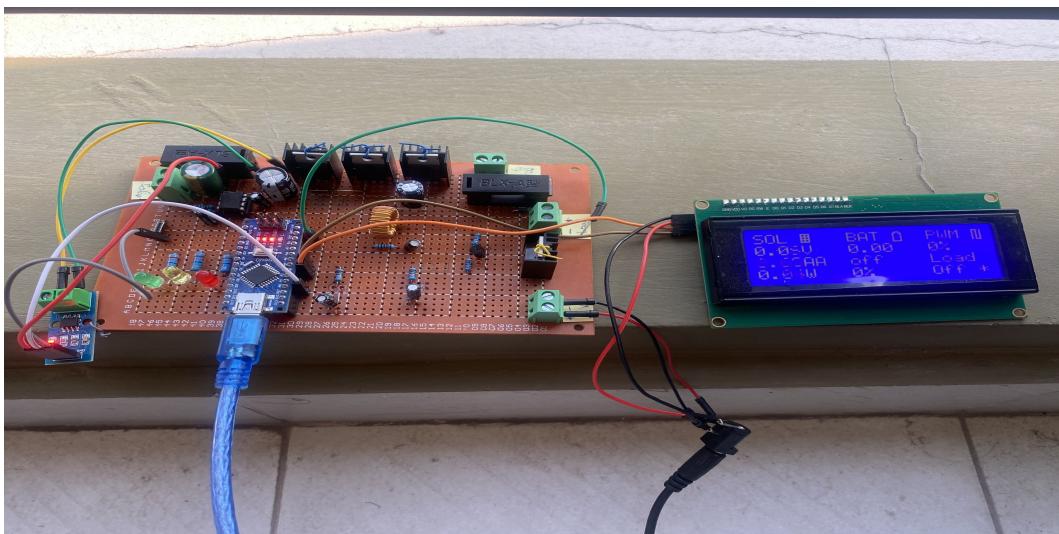
3.4 Lắp mạch và thực nghiệm



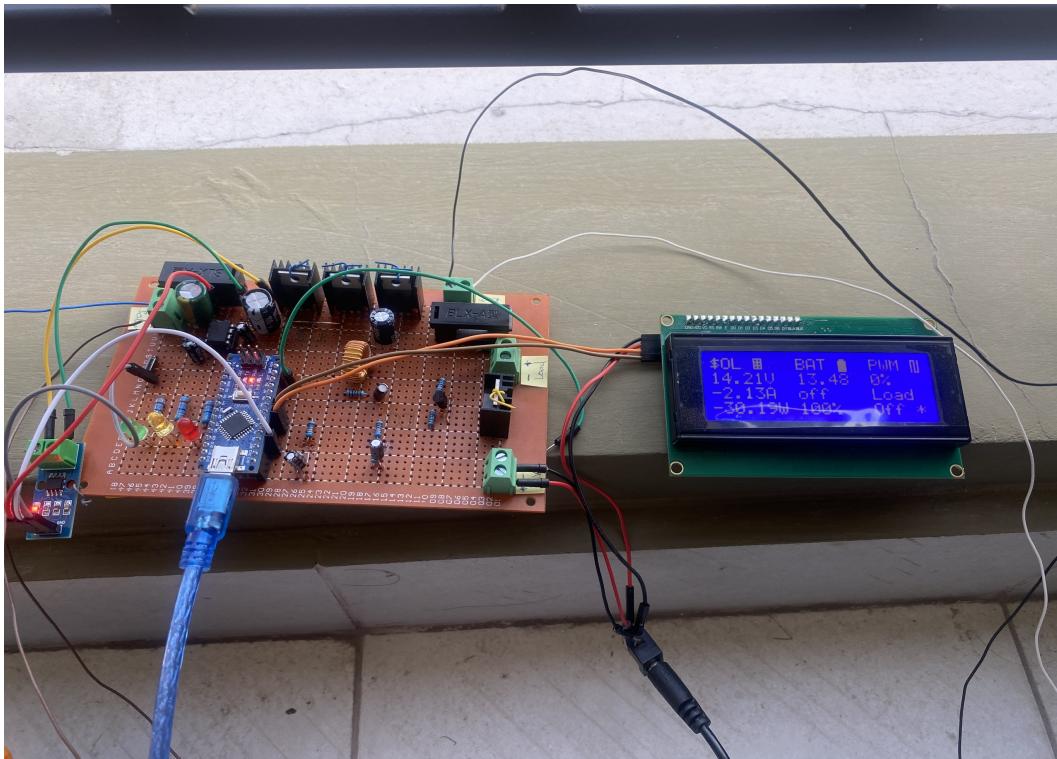
Hình 24: Mạch hoàn chỉnh



Hình 25: Bộ MPPT



Hình 26: Trước khi kết nối với solar panel và pin



Hình 27: Sau khi sạc đầy

4 Kết luận

Trong dự án này, em đã xây dựng được hệ thống PV đơn giản nhưng hiệu quả với MPPT, phân tích về các thành phần như tấm pin năng lượng mặt trời, bộ chuyển đổi DC-DC và bộ điều khiển sạc. Vì mục tiêu của em là thiết kế một hệ thống có thể khai thác công suất đầu ra tối đa nên em đã giải thích về MPP và MPPT. Cách điều khiển này mang lại một lợi ích khác là cho phép phân tích trạng thái ổn định của bộ chuyển đổi DC-DC. Như ta thấy trong dự án MPPT của em, mục đích của MPPT là sử dụng tất cả năng lượng bên trong PV để sạc pin bằng cách sử dụng mạch chuyển đổi Buck do Arduino điều khiển. Và trong dự án này, em đã đạt đến mức theo dõi điểm công suất tối đa của PV để tiết kiệm tuổi thọ của pin và sạc pin tốt hơn.



Tài liệu tham khảo

- C2000 SOLAR MPPT TUTORIAL PT/1 <https://coder-tronics.com/c2000-solar-mppt-tutorial-pt1/>
- LC Selection Guide for the DC-DC Synchronous Buck Converter <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/AND9135-D.PDF>
- ARDUINO MPPT SOLAR CHARGE CONTROLLER (Version-3.0) <https://www.instructables.com/ARDUINO-SOLAR-CHARGE-CONTROLLER-Version-30/>