

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI

KHOA ĐIỆN

BỘ MÔN TỰ ĐỘNG HOÁ XNCN

====o0o====



ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

ĐỀ TÀI:

**NGHIÊN CỨU THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN BÁM ĐIỂM
CÔNG SUẤT CỰC ĐẠI CHO PIN MẶT TRỜI**

Trưởng bộ môn	: TS. Trần Trọng Minh
Giáo viên hướng dẫn	: ThS. Nguyễn Duy Đình
Sinh viên thực hiện	: Trương Văn Trọng
Lớp	: ĐK&TĐH – K54
MSSV	: 20092846

EBOOKBKMT.COM

HỖ TRỢ TÀI LIỆU HỌC TẬP

Hà Nội, 6-2014

NHIỆM VỤ

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

Họ và tên sinh viên: Trương Văn Trọng

Số hiệu sinh viên: 20092846

Khóa: 54

Khoa/Viện: Điện

Ngành: Tự động hóa

1. Đầu đề thiết kế:

Nghiên cứu các thuật toán bám công suất cực đại cho pin mặt trời.

2. Các số liệu ban đầu:

- Pin mặt trời có thông số kỹ thuật cơ bản ở điều kiện tiêu chuẩn: Công suất lớn nhất tại bức xạ 1000 w/m^2 là 80W
- Điện áp tại điểm lớn nhất 18V .

3. Nội dung các phần thuyết minh và tính toán:

- Cấu tạo, nguyên lý hoạt động và ứng dụng của pin mặt trời
- Đặc tính $I - V$ và $P - V$ của pin mặt trời
- Nguyên lý dung hợp tải cho bộ biến đổi tăng áp Boost và các thuật toán INC và P&O theo hai phương pháp điều khiển trực tiếp chu kỳ nhiệm vụ D, điều khiển gián tiếp qua dòng điện tham chiếu.
- Tính toán giá trị của phần tử cho bộ biến đổi Boost và thiết kế bộ điều khiển dòng điện cho Boost.
- Mô phỏng hệ thống bám công suất cực đại cho hệ thống pin mặt trời.

4. Các bản vẽ, đồ thị (ghi rõ các loại và kích thước bản vẽ):

Từ 4 tới 6 bản vẽ trên A0

5. Họ tên cán bộ hướng dẫn:

ThS. Nguyễn Duy Đình

6. Ngày giao nhiệm vụ đồ án:

7. Ngày hoàn thành đồ án: 10/06/2014

Ngày tháng năm

Trưởng bộ môn

(Ký, ghi rõ họ, tên)

Cán bộ hướng dẫn

(Ký, ghi rõ họ, tên)

Sinh viên đã hoàn thành và nộp đồ án tốt nghiệp ngày 12 tháng 06 năm 2014

Người duyệt

(Ký, ghi rõ họ, tên)

Sinh viên

(Ký, ghi rõ họ, tên)

LỜI CAM ĐOAN

Em xin cam đoan bản đồ án tốt nghiệp: “ **Nghiên cứu các thuật toán băm công suất cực đại cho pin mặt trời**” do em tự thiết kế dưới sự hướng dẫn của thầy giáo là ThS. Nguyễn Duy Đình. Các số liệu và kết quả là hoàn toàn đúng với thực tế.

Để hoàn thành đồ án này em chỉ sử dụng những tài liệu được ghi trong danh mục tài liệu tham khảo và không sao chép hay sử dụng bất kỳ tài liệu nào khác. Nếu phát hiện có sự sao chép em xin chịu hoàn toàn trách nhiệm.

Hà Nội, ngày 12 tháng 06 năm 2014

Sinh viên thực hiện

Trương Văn Trọng

MỤC LỤC

DANH MỤC HÌNH VẼ.....	i
DANH MỤC BẢNG SỐ LIỆU	ii
DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT	iii
LỜI NÓI ĐẦU.....	1
Chương 1. TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG PIN MẶT TRỜI.....	2
1.1. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu.....	2
1.2. Giới thiệu về pin mặt trời	3
1.2.1. Định nghĩa	3
1.2.2. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động	3
1.3. Đặc tính làm việc của pin mặt trời	4
1.3.1. Sơ đồ tương đương của pin mặt trời.....	4
1.3.2. Đặc tính của pin mặt trời	6
1.4. Những yếu tố bên ngoài ảnh hưởng tới pin mặt trời	9
1.4.1. Ảnh hưởng của cường độ ánh sáng	9
1.4.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ	10
1.5. Ứng dụng của pin mặt trời	11
1.5.1. Tích hợp vào thiết bị.....	11
1.5.2. Nguồn điện di động	11
1.5.3. Nguồn điện cho tòa nhà.....	12
1.5.4. Nhà máy điện mặt trời	12
1.6. Đặc điểm chính của hệ thống Pin mặt trời	13
1.7. Kết luận	13
Chương 2. THUẬT TOÁN BÁM ĐIỂM CÔNG SUẤT CỰC ĐẠI.....	14
2.1. Giới thiệu chung.....	14
2.2. Nguyên lý dung hợp tải	15
2.3. Thuật toán xác định điểm có công suất cực đại	19
2.3.1. Phương pháp nhiễu loạn và quan sát P&O.....	19
2.3.2. Phương pháp điện dẫn gia tăng INC	23
2.4. Kết luận	27
Chương 3. BỘ BIẾN ĐỔI DC – DC	29
3.1. Yêu cầu thiết kế.....	29

3.2. Bộ biến đổi Boost.....	29
3.3. Tính toán lựa chọn tham số cơ bản	33
3.3.1. Tính toán cuộn cảm	34
3.3.2. Tính toán tụ lọc đầu ra.....	36
3.4. Mô hình và thiết kế bộ điều khiển.....	37
3.4.1. Mô hình hóa bộ biến đổi Boost bằng phương pháp trung bình hóa mạng đóng cắt.....	37
3.4.2. Cấu trúc bộ điều khiển.....	43
3.4.3. Thiết kế bộ điều khiển dòng điện	43
3.5. Kết luận	49
Chương 4. MÔ PHỎNG HỆ THỐNG BẮM CÔNG SUẤT CỰC ĐẠI	50
4.1. Mô phỏng bộ biến đổi Boost.....	50
4.2. So sánh hai thuật toán bám công suất cực đại.....	51
4.3. Mô phỏng thuật toán bám công suất cực đại theo phương pháp điều khiển trực tiếp chu kỳ nhiệm vụ D ghép nối với tải thuần trở.....	53
4.3.1. Mô phỏng thuật toán P&O điều khiển trực tiếp chu kỳ nhiệm vụ D	54
4.3.2. Mô phỏng thuật toán INC điều khiển trực tiếp chu kỳ nhiệm vụ.....	56
4.3.3. So sánh hai thuật toán điều khiển trực tiếp chu kỳ nhiệm vụ P&O và INC....	57
4.4. Mô phỏng thuật toán bám điểm công suất cực đại gián tiếp thông qua bộ điều khiển và ghép nối với tải thuần trở.....	58
4.4.1. Thuật toán P&O điều khiển gián tiếp.....	59
4.4.2. Thuật toán INC điều khiển gián tiếp	60
4.4.3. So sánh hai thuật toán điều khiển gián tiếp thông qua dòng tham chiếu INC và P&O	61
KẾT LUẬN	64
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	66
PHỤ LỤC	68

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1. Cấu trúc hệ thống bám công suất cực đại MPPT.	2
Hình 1.2. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của pin mặt trời.....	3
Hình 1.3. Mạch tương đương của một tế bào pin mặt trời.....	4
Hình 1.4. Sơ đồ khối chi tiết bên trong của pin mặt trời.....	6
Hình 1.5. Mô hình lý tưởng của tế bào pin mặt trời.....	6
Hình 1.6. Đặc tính $I - V$ và $P - V$ của pin mặt trời.....	7
Hình 1.7. Mạch của pin mặt trời xét tới ảnh hưởng của R_{sh}	7
Hình 1.8. Đặc tính $I - V$ khi có R_{sh}	8
Hình 1.9. Mạch của pin mặt trời xét tới ảnh hưởng của R_s	8
Hình 1.10. Đặc tính $I - V$ khi có R_{sh}	8
Hình 1.11. Đặc tính $I - V$ và $P - V$ khi cường độ chiếu sáng thay đổi.....	9
Hình 1.12. Đặc tính $I - V$ và $P - V$ của pin mặt trời khi nhiệt độ thay đổi từ $25^{\circ}\text{C} \div 75^{\circ}\text{C}$	10
Hình 1.13. Trạm vũ trụ ISS và Robot tự hành trên sao hỏa.	11
Hình 1.14. Nguồn sạc di động và hệ thống điện trên tàu[15].....	11
Hình 1.15. Nguồn điện năng lượng mặt trời cung cấp tòa nhà [15].....	12
Hình 1.16. Nhà máy điện sử dụng pin mặt trời [15].	12
Hình 2.1. Bộ điều khiển MPPT trong hệ thống pin mặt trời.....	14
Hình 2.2. Pin mặt trời mắc trực tiếp với tải thuần trở có thể thay đổi giá trị.	14
Hình 2.3. Đặc tính làm việc của pin mặt trời và của tải có thể thay đổi giá trị.....	15
Hình 2.4. Pin mặt trời kết nối với tải qua bộ biến đổi DC – DC.....	16
Hình 2.5. PMT với điện trở R_{ei}	17
Hình 2.6. Đặc tính của pin mặt trời và của tải thuần trở [4].....	17
Hình 2.7. Khoảng làm việc của bộ biến đổi tăng áp Boost [4].	18

Hình 2.8. Đặc tính I – V khi bức xạ thay đổi và vị trí các điểm MPP.	19
Hình 2.9. Sơ đồ hệ thống MPPT điều khiển theo dòng điện tham chiếu I_{ref}	20
Hình 2.10. Đường đặc tính quan hệ giữa công suất và dòng điện P – I của pin mặt trời.	20
Hình 2.11. Lưu đồ thuật toán P&O điều khiển thông qua dòng tham chiếu I_{ref}	21
Hình 2.12. Sơ đồ khối của phương pháp MPPT điều khiển trực tiếp chu kỳ nhiệm vụ D.	22
Hình 2.13. Mối quan hệ giữa tổng trở vào của mạch boost với chu kỳ nhiệm vụ D.	22
Hình 2.14. Lưu đồ thuật toán P&O điều khiển trực tiếp chu kỳ nhiệm vụ D.	23
Hình 2.15. Đường đặc tính P – I và thuật toán INC.	24
Hình 2.16. Lưu đồ thuật toán INC điều khiển gián tiếp qua I_{ref}	25
Hình 2.17. Lưu đồ thuật toán INC điều khiển trực tiếp hệ số D.	26
Hình 3.1. Mô hình BBĐ boost.	29
Hình 3.2. Mạch tương đương khi Q_1 mở và D khóa.	30
Hình 3.3. Mạch tương đương khi Q_1 khóa và D mở.	30
Hình 3.4. Dạng sóng trên cuộn cảm L và dạng sóng trên tụ C.	31
Hình 3.5. Dạng sóng dòng điện trên cuộn cảm L.	32
Hình 3.6. Dạng sóng điện áp đầu ra.	33
Hình 3.7. Hình dạng chung của lõi EE ^[2]	35
Hình 3.8. Đặc tính thể hiện quan hệ ESR/ESR_0 theo tần số [18].	37
Hình 3.9. Mạch đóng cắt trong sơ đồ BBĐ Boost.	38
Hình 3.10. Mô hình mạng đóng cắt.	38
Hình 3.11. Dạng điện áp $v_1(t)$ trên MOSFET và dạng dòng $i_2(t)$ qua diode	38
Hình 3.12. Mô hình trung bình.	39
Hình 3.13. Mô hình trung bình mạng đóng cắt cho mạch boost.	40
Hình 3.14. Mô hình trung bình cho mạch Boost.	40
Hình 3.15. Mô hình trung bình tín hiệu nhỏ cho mạch Boost.	41

Hình 3.16. Mô hình trung bình tín hiệu nhỏ cho mạch Boost khi loại $\hat{v}_g = 0$	41
Hình 3.17. a) Mô hình quy đổi về thứ cấp. b) laplace hóa mạch quy đổi.	41
Hình 3.18. Cấu trúc điều khiển dòng cho bộ biến đổi Boost.	43
Hình 3.19. Cấu trúc bộ bù loại 2.	43
Hình 3.20. Sơ đồ điều khiển mạch vòng dòng điện.	46
Hình 3.21. Sơ đồ khối và dạng sóng của khối PWM.	46
Hình 3.22. Đồ thị bode của đối tượng dòng điện	47
Hình 3.23. Đồ thị bode của mạch vòng dòng điện sau khi được bù.	48
Hình 4.1. Sơ đồ mô phỏng BBD Boost.	50
Hình 4.2. Điện áp trên cuộn cảm.	50
Hình 4.3. Dòng điện trên cuộn cảm.....	51
Hình 4.4. Điện áp ra trên tụ điện C.....	51
Hình 4.5. dữ liệu bức xạ mặt trời dùng cho mô phỏng.....	52
Hình 4.6. Dấu vết theo dõi điểm MPP trong ngày nhiều nắng (25 ⁰ C).	52
Hình 4.7. dữ liệu bức xạ mặt trời trong ngày nhiều mây.	53
Hình 4.8. Dấu vết theo dõi điểm MPP trong ngày nhiều mây (25 ⁰ C).	53
Hình 4.9. Sơ đồ mô phỏng MPPT với thuật toán P&O điều khiển trực tiếp chu kỳ D.	54
Hình 4.10. Bức xạ mặt trời thay đổi.	54
Hình 4.11. Thuật toán P&O với ΔD thay đổi và Ts cố định	55
Hình 4.12. Thuật toán P&O với ΔD cố định và Ts thay đổi.	55
Hình 4.13. Sơ đồ mô phỏng MPPT với thuật toán INC điều khiển trực tiếp chu kỳ D.	56
Hình 4.14. Thuật toán INC với ΔD thay đổi và Ts cố định.....	56
Hình 4.15. Mô phỏng INC với ΔD cố định và Ts thay đổi.	57
Hình 4.16. So sánh thuật toán P&O và INC điều khiển gián tiếp với Ts không đổi.....	57
Hình 4.17. So sánh thuật toán P&O và INC điều khiển gián tiếp với ΔD không đổi.	58
Hình 4.18. Mô phỏng thuật toán INC điều khiển trực tiếp.	59

Hình 4.19. Thuật toán P&O điều khiển gián tiếp với giá trị Ts không đổi.	59
Hình 4.20. Thuật toán P&O gián tiếp với Ts thay đổi và ΔI cố định.	60
Hình 4.21. Sơ đồ điều khiển bám công suất cực đại sử dụng INC gián tiếp.....	60
Hình 4.22. Thuật toán INC điều khiển gián tiếp với Ts cố định và ΔI thay đổi.	61
Hình 4.23. Thuật toán INC với chu kỳ trính mẫu Ts thay đổi và ΔI cố định.	61
Hình 4.24. So sánh hai thuật toán INC và P&O điều khiển gián tiếp với ΔI thay đổi.	62
Hình 4.25. So sánh hai thuật toán INC và P&O điều khiển gián tiếp với Ts thay đổi.....	62

DANH MỤC BẢNG SỐ LIỆU

Bảng 1.1. Thông số kỹ thuật của pin mặt trời [17].....	2
Bảng 4.1. Dữ liệu các điểm công suất cực đại ứng với các bức xạ khác nhau.	54

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

PMT		Pin mặt trời
NLMT		Năng lượng mặt trời
KVL	Kirchhoff's Voltage Law	Định luật kirchhoff điện áp
KCL	Kirchhoff's Current Law	Định luật kirchhoff dòng điện
BBĐ		Bộ biến đổi
PWM	Pulse Width Modulation	Điều chế độ rộng xung
MPP	Maximum Power Point	Điểm công suất lớn nhất
MPPT	Maximum Power Point Tracking	Bám công suất cực đại
P&O	Purturb and Observer	Nhiều loạn và quan sát
INC	Incremental Conductance	Điện dẫn gia tăng
OPT	Optimal	Tối ưu

LỜI NÓI ĐẦU

Nhu cầu về năng lượng trong thời đại khoa học kỹ thuật không ngừng gia tăng. Tuy nhiên các nguồn năng lượng truyền thống đang được khai thác như : than đá, dầu mỏ, khí đốt, khí thiên nhiên và ngay cả thủy điện...đang ngày càng cạn kiệt. Không những thế chúng còn có tác hại xấu đối với môi trường như: gây ra ô nhiễm môi trường, ô nhiễm tiếng ồn, mưa axit, trái đất ấm dần lên, thủng tầng ozon... Do đó, việc tìm ra và khai thác các nguồn năng lượng mới như năng lượng hạt nhân, năng lượng địa nhiệt, năng lượng gió và năng lượng mặt trời... là rất cần thiết.

Việc nghiên cứu năng lượng mặt trời ngày càng thu hút sự quan tâm của các nhà nghiên cứu, nhất là trong tình trạng thiếu hụt nghiêm trọng năng lượng hiện nay. Năng lượng mặt trời là nguồn năng lượng sạch, dồi dào, hoàn toàn miễn phí, không gây ô nhiễm môi trường và không gây ô nhiễm tiếng ồn ... Hiện nay, năng lượng mặt trời đã dần dần đi vào cuộc sống của con người, chúng được áp dụng khá rộng rãi trong dân dụng và trong công nghiệp dưới nhiều hình thức khác nhau.

Pin mặt trời có rất nhiều các ưu điểm ưu việt nhưng giá thành của tấm pin mặt trời còn đắt nên việc tăng hiệu suất và kéo dài tuổi thọ của pin trở thành một vấn đề rất quan trọng. Để tăng hiệu suất và kéo dài tuổi thọ của pin thì cần phải để hệ thống pin năng lượng mặt trời hoạt động ổn định tại điểm có công suất cực đại. Bởi vì, điều kiện tự nhiên bao gồm bức xạ mặt trời và nhiệt độ lại luôn thay đổi nên điểm làm cho hệ thống có công suất cực đại cũng thay đổi theo. Vì vậy, cần có một phương pháp nào đó để theo dõi được sự di chuyển của điểm có công suất cực đại và áp đặt cho hệ thống làm việc tại đó. Do đó nên em đã chọn đề tài: “ **Nghiên cứu các thuật toán điều khiển bám công suất cực đại cho pin mặt trời** ”. Đề tài này được trình bày trong 4 chương:

Chương 1. Tổng quan về hệ thống pin mặt trời

Chương 2. Thuật toán bám điểm công suất cực đại

Chương 3. Bộ biến đổi DC – DC

Chương 4. Mô phỏng hệ thống

Trong quá trình thực hiện đồ án tốt nghiệp, em đã cố gắng tìm tòi, học hỏi và nghiên cứu kiến thức để hoàn thành bản đồ án. Do kinh nghiệm và kiến thức của bản thân còn nhiều hạn chế nên báo cáo đồ án tốt nghiệp này của em khó tránh khỏi những thiếu

sót. Vậy em rất mong nhận được sự góp ý từ phía thầy cô để em hoàn thiện thêm kiến thức cho bản thân.

Qua đây em xin gửi lời cảm ơn chân thành tới thầy giáo ThS. Nguyễn Duy Đình cùng cán bộ nghiên cứu tại trung tâm CTI đã hướng dẫn và giúp đỡ em trong suốt quá trình làm đồ án tốt nghiệp.

Hà Nội, ngày 12 tháng 06 năm 2014

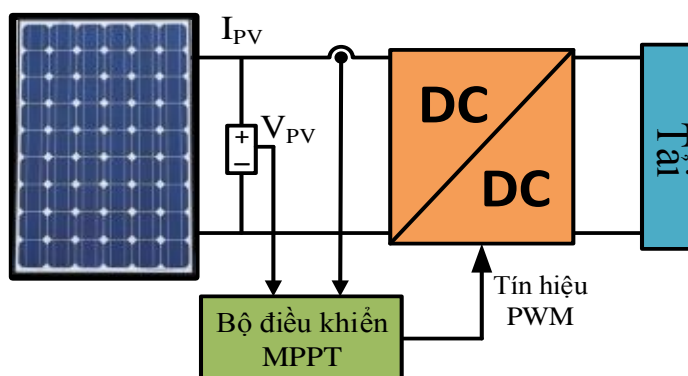
Sinh viên thực hiện

Trương Văn Trọng

Chương 1

TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG PIN MẶT TRỜI

1.1. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu



Hình 1.1. Cấu trúc hệ thống bám công suất cực đại MPPT.

Hệ thống bám công suất cực đại của pin mặt trời có cấu trúc cơ bản như được trình bày trên hình 1.1. Các thành phần cơ bản trong cấu trúc của hệ thống bám công suất cực đại gồm:

- Tấm pin năng lượng mặt trời: có các thông số kỹ thuật cơ bản trong điều kiện tiêu chuẩn (bức xạ mặt trời 1000W/m^2 và nhiệt độ 25°C) như được liệt kê trong bảng 1.1.

Bảng 1.1. Thông số kỹ thuật của pin mặt trời [17].

Thông số	Ký hiệu	Giá trị
Công suất lớn nhất	P_{\max}	80W
Điện áp tại điểm cực đại MPP	V_{MPP}	18V
Dòng điện tại điểm cực đại MPP	I_{MPP}	4,444A
Điện áp hở mạch	V_{OC}	22V
Dòng điện ngắn mạch	I_{SC}	5A

- Bộ điều khiển MPPT: là linh hồn của hệ thống. Nó làm cho hệ thống pin mặt trời bám được công suất cực đại, giúp tăng hiệu suất làm việc của hệ thống PMT.
- Bộ biến đổi DC – DC: có nhiệm vụ đóng cắt van bán dẫn để thay đổi trở kháng vào của PMT.

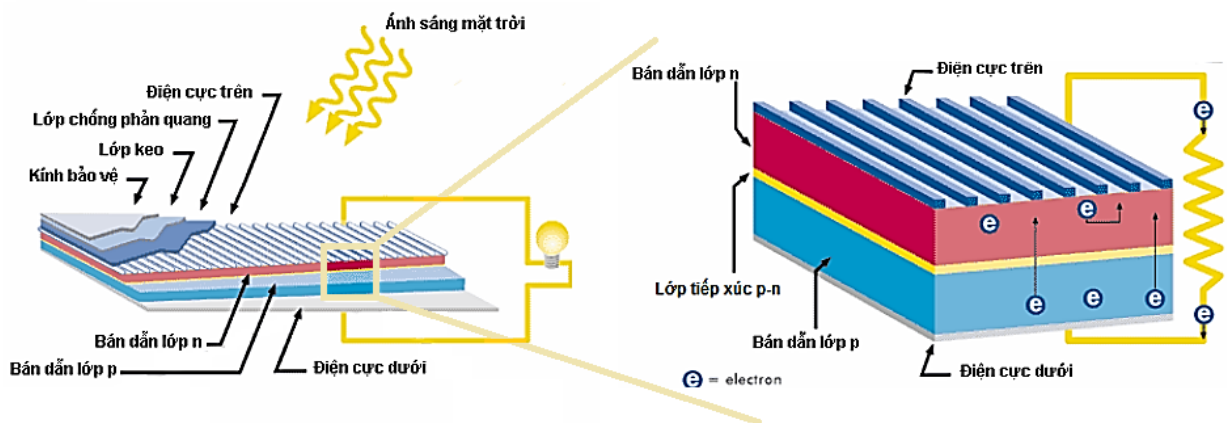
Phạm vi nghiên cứu của đề án này là: nghiên cứu lý thuyết về các thuật toán bám công suất cực đại và tính toán mạch lực cho bộ biến đổi DC – DC, thiết kế bộ điều khiển cho hệ thống bám công suất cực đại. Mô phỏng hệ thống để kiểm chứng lại lý thuyết đã nghiên cứu.

1.2. Giới thiệu về pin mặt trời

1.2.1. Định nghĩa

Pin mặt trời hay còn gọi là pin quang điện là thiết bị ứng dụng hiệu ứng quang điện trong lớp bán dẫn (thường gọi là hiện tượng quang điện trong – quang dẫn) để tạo ra dòng điện một chiều khi được chiếu sáng.

1.2.2. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động



Hình 1.2. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của pin mặt trời.

a. Cấu tạo pin mặt trời

Gồm ba thành phần chính như đã mô tả trên hình 1.2:

- Mặt ghép bán dẫn p – n: sử dụng tinh thể Silic, đây là thành phần chính của pin và lớp n thường mỏng để ánh sáng có thể chiếu tới lớp tiếp xúc p – n.
- Điện cực: là thành phần dẫn điện ra phụ tải, vật liệu làm điện cực vừa phải có độ dẫn tốt vừa phải bám dính tốt vào chất bán dẫn.
- Lớp chống phản quang: nếu sự phản xạ ánh sáng càng nhiều sẽ làm cho hiệu suất của pin giảm. Vì vậy phải phủ một lớp chống phản quang.

b. Nguyên lý hoạt động

Nguyên lý hoạt động của pin mặt trời dựa trên hiện tượng quang điện trong như được mô tả trong hình 1.2. Khi lớp p – n hấp thụ ánh sáng có bước sóng $h\nu \geq E_g = E_c - E_v$

tạo ra cặp điện tử – lỗ trống và trở thành các hạt tải điện tự do. Điện tử di chuyển về phía cực của bán dẫn loại n và lỗ trống di chuyển về phía cực của bán dẫn loại p. Nếu bên ngoài nối giữa bán dẫn loại n và bán dẫn loại p thì xuất hiện dòng điện.

c. Phân loại loại pin mặt trời

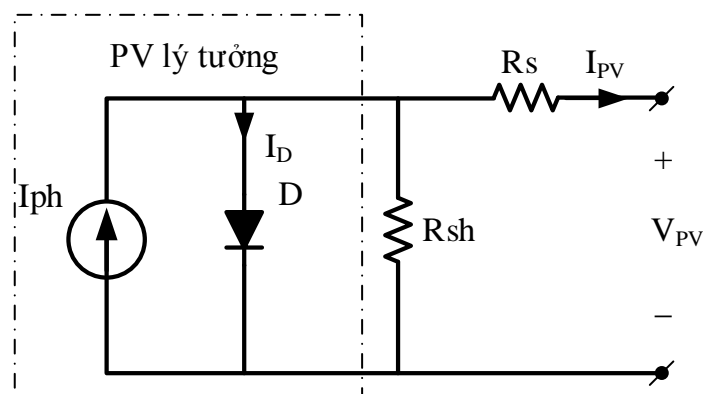
Cho tới nay vật liệu chế tạo pin mặt trời chủ yếu là Silic và được chia thành ba loại chính:

- Đơn tinh thể: có hiệu suất tới 16% và loại này thường đắt tiền do được cắt từ các thỏi hình ống.
- Đa tinh thể: làm từ thỏi đúc từ Silic nóng chảy, sau đó làm nguội và làm rắn. Loại này rẻ hơn pin đơn tinh thể nhưng hiệu suất lại thấp hơn.
- Dải Silic tạo từ các miếng phim mỏng từ Silic nóng chảy và có cấu trúc đa tinh thể. Loại này có hiệu suất thấp nhất nhưng giá rẻ nhất.

1.3. Đặc tính làm việc của pin mặt trời

1.3.1. Sơ đồ tương đương của pin mặt trời

a. Mô hình toán học của pin mặt trời



Hình 1.3. Mạch tương đương của một tế bào pin mặt trời.

Khi được chiếu sáng thì pin mặt trời phát ra một dòng quang điện I_{ph} vì vậy pin mặt trời có thể xem như một nguồn dòng.

Lớp tiếp xúc p – n có tính chất chỉnh lưu tương đương như một diode D . Tuy nhiên khi phân cực ngược, do điện trở tiếp xúc có giới hạn nên vẫn có một dòng điện rò qua nó. Đặc trưng cho dòng điện rò qua lớp tiếp xúc p – n là điện trở shunt R_{sh} .

Dòng quang điện chạy trong mạch phải đi qua các lớp bán dẫn p và n, các điện

cực, các tiếp xúc... Đặc trưng cho tổng các điện trở của các lớp đó là một điện trở R_s mắc nối tiếp trong mạch. Từ đó, xây dựng được sơ đồ tương đương tổng quát của PMT như hình 1.3 [16] :

$$\text{Dòng điện qua diode } I_D = I_s \left(e^{\frac{qV_d}{nkT}} - 1 \right) \quad (1.1)$$

$$\text{Phương trình KCL: } I_{ph} - I_D - \frac{V_D}{R_{sh}} - I_{PV} = 0 \quad (1.2)$$

$$\text{Phương trình KVL: } V_{PV} = V_D - R_s I_{PV} \quad (1.3)$$

trong đó:

- I_D : dòng qua diode, [A]
- I_s : dòng bão hòa của diode, [A]
- q : điện tích electron, $q = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C
- k : hằng số Boltzman, $k = 1,381 \cdot 10^{-23}$ J/K
- T : nhiệt độ lớp tiếp xúc, [K]
- n : hệ số lý tưởng của diode
- V_d : điện áp nhiệt, [V]
- I_{PV} : dòng điện ra của pin mặt trời, [A]
- V_{PV} : điện áp ra của pin mặt trời, [V]

Từ (1.1), (1.2), (1.3) suy ra phương trình đặc tính $I - V$ của một tế bào PMT :

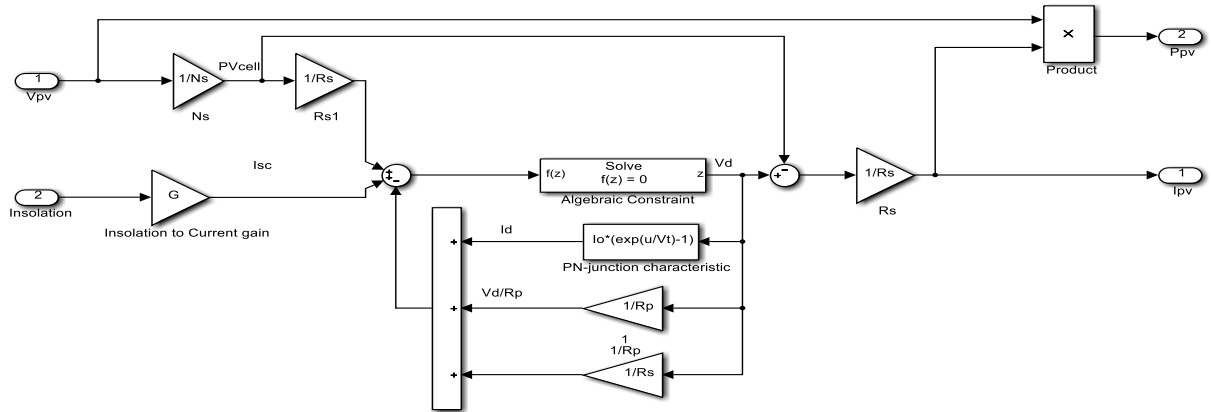
$$I_{pv} = I_{ph} - I_D - I_{sh} = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{q(V_D + I_{pv} \cdot R_s)}{nkT}} - 1 \right) - \frac{V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (1.4)$$

Để có công suất cũng như điện áp, dòng điện theo yêu cầu thì phải ghép các tế bào PMT lại thành một module PMT. Giả sử ghép nối tiếp N_s các tế bào PMT và ghép song song N_p các tế bào PMT lại, thì phương trình đặc tính $I - V$ tổng quát như sau [16]:

$$I_{pv} = N_p \cdot I_{ph} - N_p \cdot I_D - I_{sh} = N_p \cdot I_{ph} - N_p \cdot I_s \left(e^{\frac{q(V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s)}{N_s \cdot (nkT)}} - 1 \right) - \frac{V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (1.5)$$

b. Mô hình hóa pin mặt trời bằng simulink

Xuất phát từ phương trình (1.1), (1.2), (1.3), (1.5) có thể xây dựng được mô hình mô phỏng của tấm pin như hình 1.4.

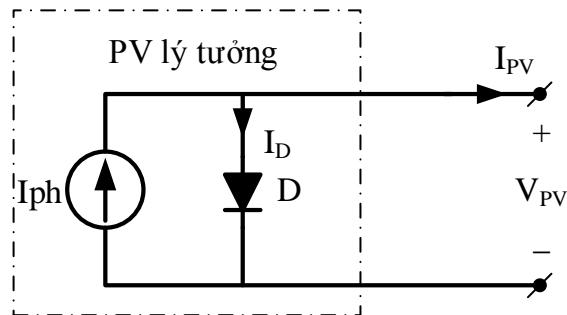


Hình 1.4. Sơ đồ khối chi tiết bên trong của pin mặt trời.

1.3.2. Đặc tính của pin mặt trời

a. Đặc tính I – V lý tưởng của pin năng lượng mặt trời

Mô hình pin lý tưởng được mô tả trên hình 1.5 là mô hình không xét tới những ảnh hưởng của R_s và R_{sh} , có nghĩa là $R_s = 0$ và $R_{sh} = \infty$.



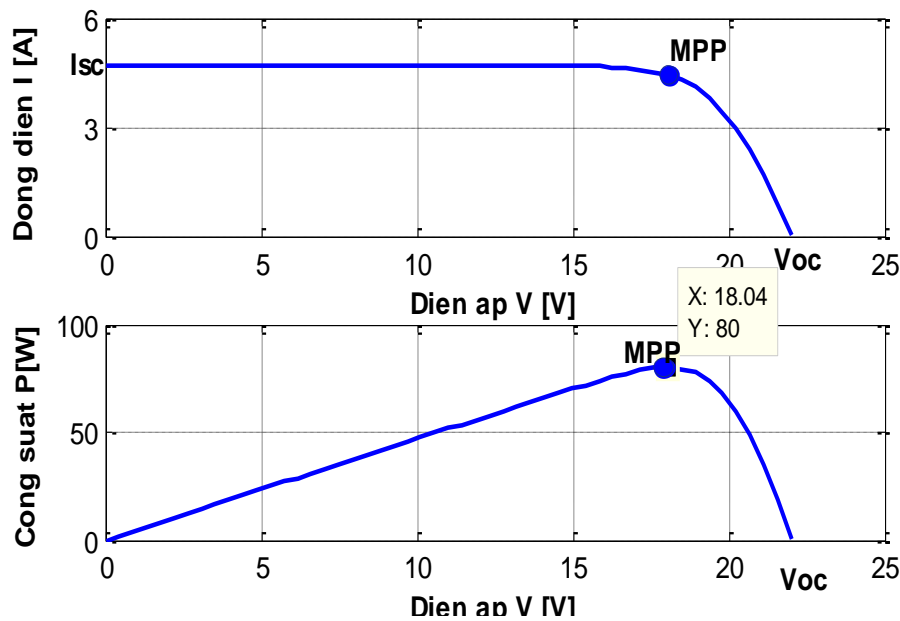
Hình 1.5. Mô hình lý tưởng của tế bào pin mặt trời.

Phương trình đặc tính I – V thu được của pin dựa vào phương trình (1.5) :

$$I_{pv} = N_p I_{ph} - N_p I_D = N_p I_{ph} - N_p I_s \left(e^{\frac{qV_D}{nkT}} - 1 \right) \quad (1.6)$$

$N_p I_{ph}$ là nguồn dòng có giá trị không đổi ứng với điều kiện thời tiết nhất định, $N_p I_D$ đặc tính I – V của diode là đường cong đồng biến trong khoảng điện áp V_D dương. Từ đó,

theo phương trình (1.6) suy ra dạng đặc tính $I - V$ và $P - V$ của pin mặt trời ứng với bức xạ 1000W/m^2 và ở 25°C như hình 1.6.

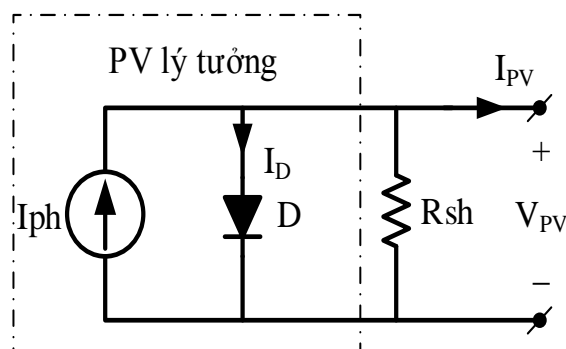


Hình 1.6. Đặc tính $I - V$ và $P - V$ của pin mặt trời.

Theo hình 1.6 cho thấy quan hệ giữa dòng điện và điện áp $I(V)$ và quan hệ giữa công suất với điện áp $P(V) = I.V$ là những mối quan hệ phi tuyến và các quan hệ phi tuyến này thay đổi giá trị khi mà thời tiết thay đổi. Ứng với mỗi điều kiện khí hậu cụ thể thì đặc tính $P - V$ sẽ tồn tại một điểm có công suất lớn nhất gọi là MPP (maximum power point), tại điểm đó hiệu suất của pin sẽ là lớn nhất. Để hiểu rõ ràng hơn về vị trí và quá trình di chuyển của điểm MPP thì phần tiếp theo sẽ phân tích ảnh hưởng của các yếu tố bên trong và yếu tố bên ngoài ảnh hưởng tới đặc tính của pin mặt trời như thế nào?

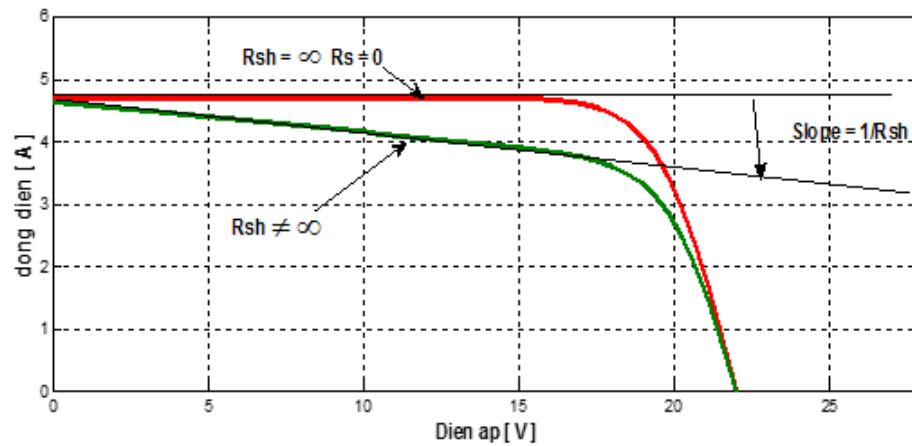
b. Ảnh hưởng của R_s và R_{sh} lên đặc tính $I - V$ của pin năng lượng mặt trời

- Ảnh hưởng của điện trở R_{sh} tới đặc tính $I - V$ của pin



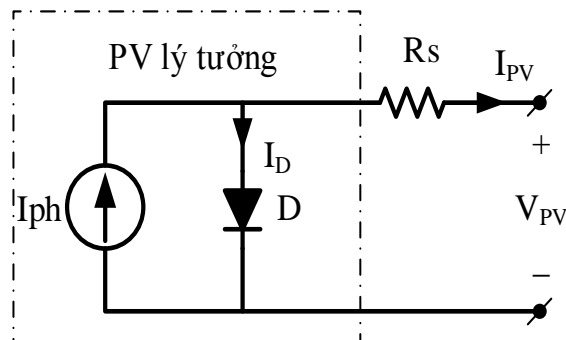
Hình 1.7. Mạch của pin mặt trời xét tới ảnh hưởng của R_{sh} .

Khi có điện trở R_{sh} thì dòng điện của pin mặt trời cấp cho bị giảm đi một lượng $\frac{V}{R_{sh}}$ so với đặc tính lý tưởng của pin mặt trời nên đặc tính I – V có dạng như hình 1.8.

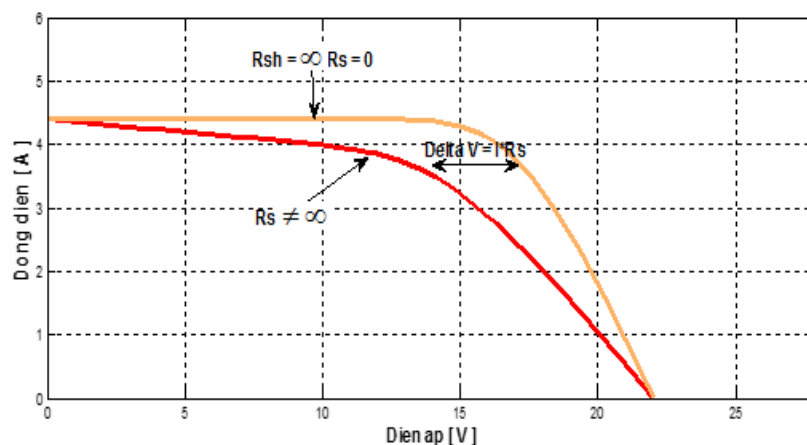


Hình 1.8. Đặc tính I – V khi có R_{sh} .

- Ảnh hưởng của điện trở R_s tới đặc tính I – V của pin



Hình 1.9. Mạch của pin mặt trời xét tới ảnh hưởng của R_s .



Hình 1.10. Đặc tính I – V khi có R_{sh} .

Khi xét tới ảnh hưởng của R_s thì đường đặc tính thu được bị kéo về phía gốc tọa độ một lượng $\Delta V = I.R_s$ như mô tả trong hình 1.10.

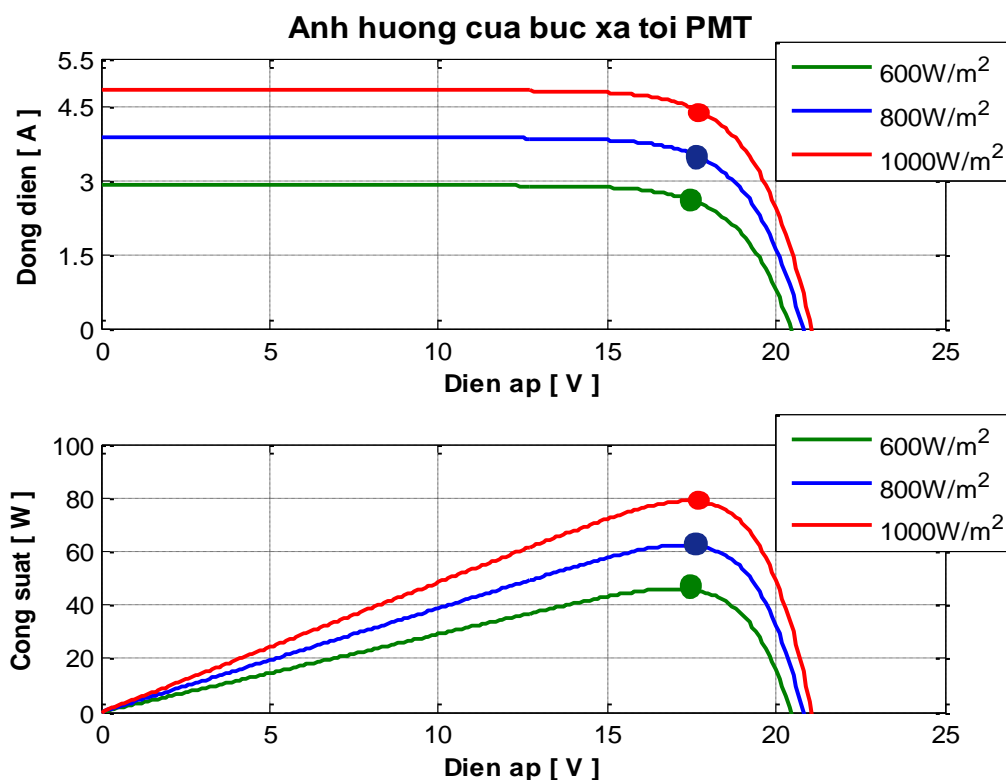
1.4. Những yếu tố bên ngoài ảnh hưởng tới pin mặt trời

Khí hậu thời tiết ảnh hưởng rất lớn tới hoạt động của PMT. Trong đó, nhiệt độ và cường độ ánh sáng là những yếu tố tiêu biểu ảnh hưởng mạnh nhất tới đặc tính $I - V$ của PMT dẫn tới sự thay đổi điểm làm việc có công suất lớn nhất MPP của PMT.

1.4.1. Ảnh hưởng của cường độ ánh sáng

Khi thay đổi điều kiện của cường độ ánh sáng mặt trời từ $W = 400\text{W/m}^2$ tới bức xạ $W = 1000\text{ W/m}^2$ thu được đặc tính $I - V$ và $P - V$ như hình 1.11. Từ đó có một số kết luận như sau:

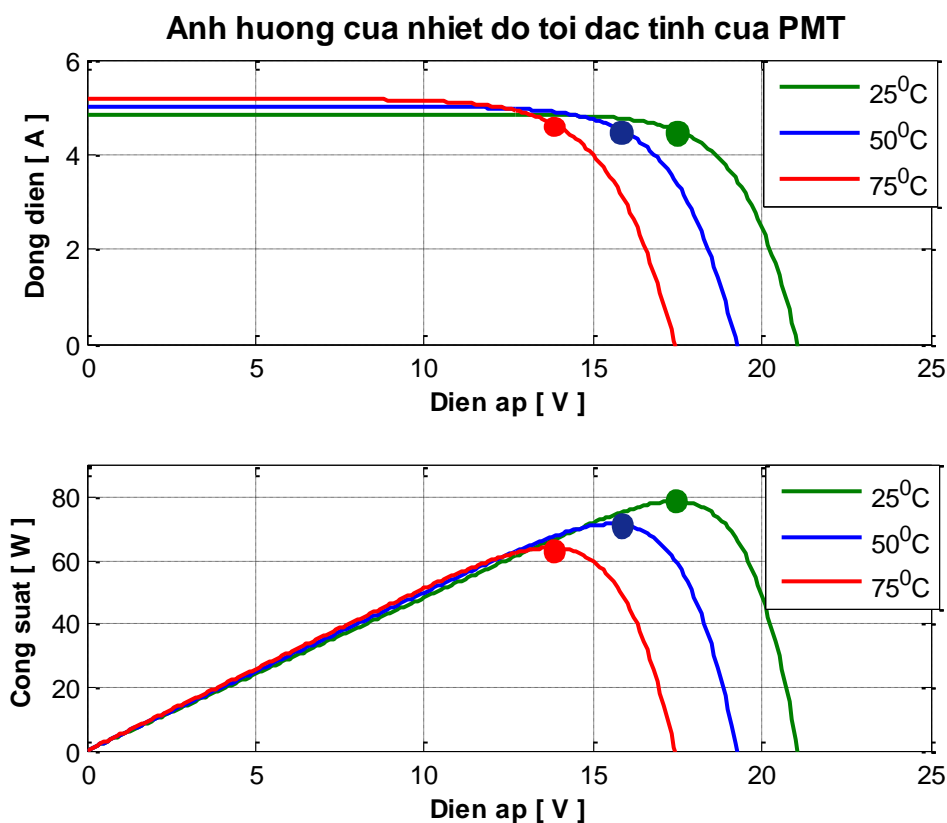
- Dòng ngắn mạch I_{SC} tỉ lệ thuận với cường độ bức xạ chiếu sáng. Cường độ bức xạ càng lớn thì dòng I_{SC} càng lớn và ngược lại.
- Do dòng điện và điện áp tăng dần tới công suất hoạt động của pin cũng tăng hay nói cách khác điểm MPP có công suất lớn nhất cũng tăng lên, di chuyển về phía trên khi cường độ chiếu sáng của mặt trời tăng.



Hình 1.11. Đặc tính $I - V$ và $P - V$ khi cường độ chiếu sáng thay đổi.

1.4.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ

Thay đổi điều kiện nhiệt độ của pin mặt trời thay đổi từ 25°C tới 75°C . Từ đó, thu được đường đặc tính I – V và P – V như hình 1.12 ở phía dưới.



Hình 1.12. Đặc tính I – V và P – V của pin mặt trời khi nhiệt độ thay đổi từ 25°C ÷ 75°C .

Từ hình 1.12 rút ra kết luận:

- Khi nhiệt độ tăng thì điện áp hoạt động của pin mặt trời giảm mạnh, còn dòng điện thì tăng ít.
- Công suất của pin mặt trời giảm khi nhiệt độ tăng.

Nhận xét: sau khi đã khảo sát được ảnh hưởng của các yếu tố bên trong (R_s, R_{sh}) và các yếu tố bên ngoài (Bức xạ mặt trời, nhiệt độ) lên đặc tính của tấm pin mặt trời. Cho thấy khi các yếu tố khí hậu bên ngoài thay đổi thì đường đặc tính sẽ thay đổi theo do đó điểm có công suất lớn nhất cũng di chuyển theo và vị trí của điểm MPP đó không thể biết trước được nó đang nằm ở đâu. Do đó, việc cần thiết để khai thác hiệu quả tấm pin mặt trời là phải có một thuật toán để theo dõi được quá trình di chuyển, vị trí của điểm MPP và áp đặt hệ thống năng lượng mặt trời phải hoạt động tại điểm MPP đó.

1.5. Ứng dụng của pin mặt trời

1.5.1. Tích hợp vào thiết bị

Pin mặt trời có ưu điểm gọn nhẹ có thể lắp vào bất kì đâu có ánh sáng mặt trời, đặc biệt được ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực hàng không vũ trụ. Những nơi mà các nguồn năng lượng thông dụng không thể cung cấp tới.



Hình 1.13. Trạm vũ trụ ISS và Robot tự hành trên sao Hỏa.

Pin mặt trời cũng được tích hợp vào các thiết bị sử dụng trong đời sống hàng ngày như: đồng hồ, máy tính, đèn đường ... Nó là nguồn năng lượng xanh, sạch đang dần được ứng dụng vào các phương tiện giao thông thay thế cho các nguyên liệu truyền thống gây ô nhiễm môi trường.

1.5.2. Nguồn điện di động

Nguồn điện này sẽ cung cấp điện cho các thiết bị điện tại bất kì nơi đâu. Đặc biệt những nơi không có nguồn điện lưới như vùng sâu vùng xa, hải đảo, trên biển ...

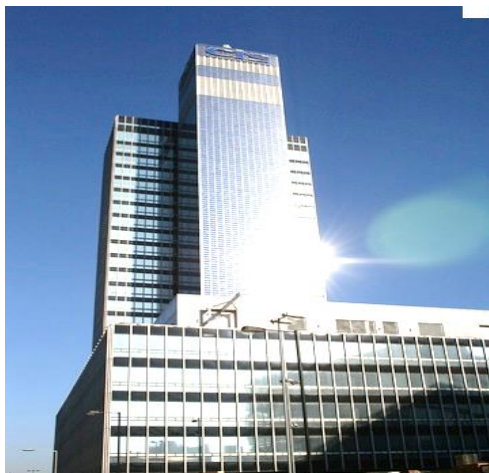
Các ứng dụng nguồn điện di động phải kể tới bộ sạc năng lượng mặt trời, cặp sạc năng lượng mặt trời, áo năng lượng mặt trời, trạm điện năng lượng mặt trời di động.



Hình 1.14. Nguồn sạc di động và hệ thống điện trên tàu[15].

1.5.3. Nguồn điện cho tòa nhà

Nguồn điện cho tòa nhà là một trong những giải pháp vừa giúp giảm hóa đơn tiền điện hàng tháng, vừa giúp giảm đầu tư của xã hội cho các công trình nhà máy điện khổng lồ bằng cách kết hợp sức mạnh của toàn dân trong việc tạo ra điện phục vụ đời sống sản xuất chung.



Hình 1.15. Nguồn điện năng lượng mặt trời cung cấp tòa nhà [15].

Nguồn điện cho tòa nhà được chia thành 2 loại đó là nguồn điện mặt trời cục bộ và nguồn điện mặt trời hòa lưới điện quốc gia. Riêng nguồn điện mặt trời hòa lưới điện quốc gia có nhiều ưu điểm và mang lại lợi ích kinh tế cao. Sử dụng nguồn điện mặt trời trong gia đình vừa giúp bảo vệ môi trường, vừa thể hiện phong cách sống hiện đại.

1.5.4. Nhà máy điện mặt trời

Bằng cách kết nối nhiều nguồn điện mặt trời với nhau có thể tạo ra được tổ hợp nguồn điện mặt trời có đủ khả năng thay thế một nhà máy phát điện.



Hình 1.16. Nhà máy điện sử dụng pin mặt trời [15].

Nhà máy điện mặt trời có thể cung cấp cho một thành phố, một hòn đảo... Hiện nay số lượng nhà máy điện mặt trời trên thế giới còn hạn chế, tuy nhiên trong tương lai số lượng này sẽ tăng lên khi giá thành của pin mặt trời giảm xuống.

1.6. Đặc điểm chính của hệ thống Pin mặt trời

- *Ưu điểm:*
 - Lắp đặt, vận hành đơn giản, dễ dàng. Gần như không cần phải bảo trì, bảo dưỡng.
 - Không cần nhiên liệu, không gây ô nhiễm môi trường (không khí thải, không tiếng ồn, không chuyển động ...)
 - Ứng dụng được mọi nơi, đặc biệt là vùng sâu, vùng xa, hải đảo... những nơi mà lưới điện quốc gia chưa vươn tới.
 - Hoạt động tin cậy, lâu dài (trừ ắc quy phải thay định kỳ).
- *Nhược điểm:*
 - Chi phí đầu tư ban đầu cao.
 - Phải chăm sóc và thay ắc quy .
 - Hệ thống không thể hoạt động liên tục được, nó chỉ hoạt động khi có ánh sáng mặt trời chiếu vào những tấm pin.

1.7. Kết luận

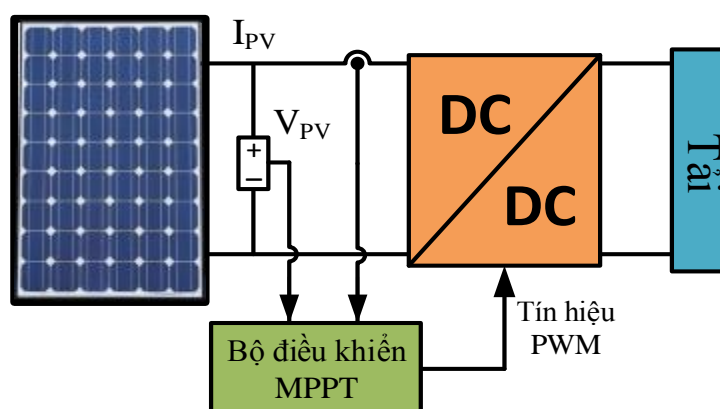
Chương 1 đã nghiên cứu chi tiết các vấn đề cấu tạo, nguyên lý hoạt động và bảo vệ pin mặt trời... Đã tiến hành phân tích đặc tính làm việc cũng như các ảnh hưởng của điều kiện môi trường lên đặc tính làm việc của hệ thống PMT, thấy được rõ ràng rằng khi điều kiện môi trường thay đổi thì điểm có công suất cực đại cũng thay đổi theo vậy nên cần có một thuật toán nào đó để bám theo điểm có công suất cực đại đó. Do đó, chương tiếp theo sẽ nghiên cứu chi tiết về các thuật toán bám điểm công suất cực đại.

Chương 2

THUẬT TOÁN BẮM ĐIỂM CÔNG SUẤT CỰC ĐẠI

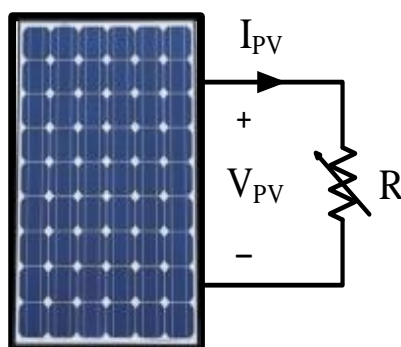
2.1. Giới thiệu chung

MPPT (Maximum Power Point Tracking) là phương pháp dò tìm điểm làm việc có công suất cực đại của hệ thống pin mặt trời thông qua việc đóng mở khóa điện tử của bộ biến đổi (BBĐ) DC – DC. Phương pháp MPPT được sử dụng rất phổ biến trong hệ thống pin mặt trời làm việc độc lập và đang dần được áp dụng trong hệ quang điện làm việc với lưới. MPPT bản chất là thiết bị điện tử công suất ghép nối nguồn điện PMT với tải để khuếch đại nguồn công suất ra khỏi nguồn pin mặt trời khi điều kiện làm việc thay đổi, và từ đó có thể nâng cao được hiệu suất làm việc của hệ. Có cấu trúc cơ bản như hình 2.1.

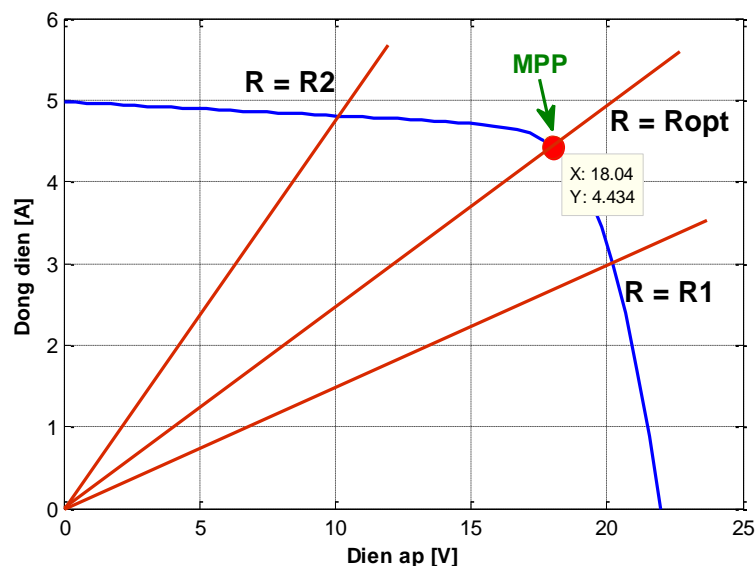


Hình 2.1. Bộ điều khiển MPPT trong hệ thống pin mặt trời.

Khi một tấm PMT được mắc trực tiếp vào một tải, điểm làm việc của tấm PMT đó sẽ là giao điểm giữa đường đặc tính làm việc $I - V$ và đường đặc tính $I - V$ của tải. Giả sử nếu tải là thuần trở thì đường đặc tính tải là một đường thẳng với hệ số góc là $1/R$.



Hình 2.2. Pin mặt trời mắc trực tiếp với tải thuần trở có thể thay đổi giá trị.



Hình 2.3. Đặc tính làm việc của pin mặt trời và của tải có thể thay đổi giá trị.

Từ đặc tính I – V cho thấy có một điểm gọi là MPP (maximum power point), là điểm mà khi hệ thống hoạt động tại điểm đó thì công suất ra của pin mặt trời là lớn nhất.

Trong hầu hết các ứng dụng người ta mong muốn tối ưu hóa dòng công suất ra từ pin năng lượng mặt trời tới tải. Để làm được điều đó thì đòi hỏi điểm hoạt động của hệ thống phải được thiết lập ở điểm MPP.

Tuy nhiên, vì điểm hoạt động với công suất lớn nhất (MPP) phụ thuộc vào bức xạ mặt trời, nhiệt độ và điều kiện môi trường thay đổi ngẫu nhiên nên vị trí điểm MPP cũng thay đổi liên tục. Do đó, để đảm bảo hệ thống luôn làm việc ở điểm MPP hoặc ở lân cận điểm MPP thì người ta sử dụng một mạch đặc biệt gọi là MPPT để bám theo điểm có công suất cực đại.

2.2. Nguyên lý dung hợp tải

Khi PMT được mắc trực tiếp với một tải thì điểm làm việc sẽ do đặc tính tải xác định. Điện trở tải được xác định như sau :

$$R = \frac{V_o}{I_o} \quad (2.1)$$

Tải tối ưu của PMT được xác định như sau :

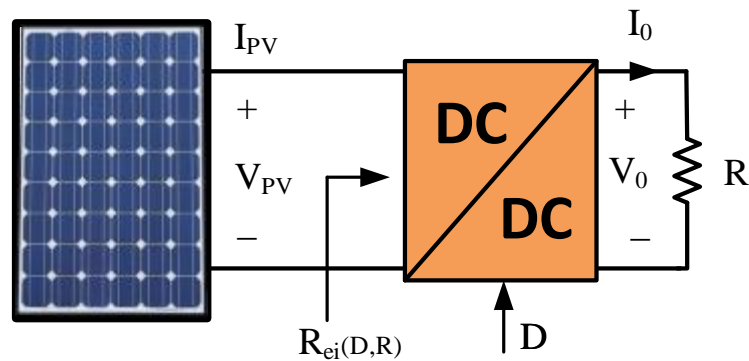
$$R_{opt} = \frac{V_{MPP}}{I_{MPP}} \quad (2.2)$$

trong đó:

- V_{MPP} , I_{MPP} : lần lượt là điện áp lớn nhất, dòng điện lớn nhất của pin mặt trời.
- V_O , I_O : lần lượt là điện áp ra, dòng điện ra của tải.

Khi giá trị của tải khớp với giá trị R_{opt} thì công suất truyền từ PMT đến tải sẽ là công suất lớn nhất. Tuy nhiên, điều này thường độc lập và hiếm khi khớp với thực tế vì vậy cần có MPPT để phối hợp trở kháng của tải với trở tối ưu của PMT.

Bộ biến đổi Boost được ứng dụng rộng rãi khi đòi hỏi điện áp ra cao hơn điện áp đầu vào. Với ưu điểm là dòng điện vào liên tục và dễ dàng điều khiển nên nó được sử dụng nhiều trong bộ công suất của bộ điều khiển MPPT. Hệ thống MPPT sử dụng mạch Boost được trình bày như hình 2.4.



Hình 2.4. Pin mặt trời kết nối với tải qua bộ biến đổi DC – DC.

Bộ biến đổi Boost có thể được mô tả bởi các hệ thức toán học như sau [4]:

$$\frac{V_O}{V_{PV}} = \frac{1}{1-D} \quad (2.3)$$

$$\frac{I_O}{I_{PV}} = 1-D \quad (2.4)$$

$$V_O = RI_O \quad (2.5)$$

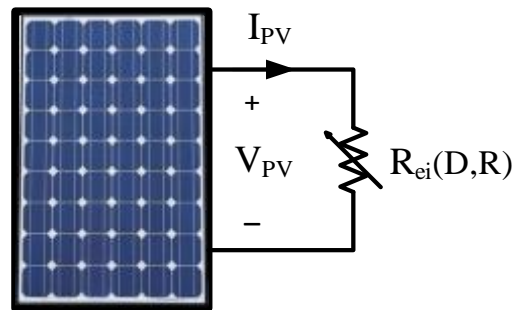
Loại trừ các toán hạng V_O trong (2.3) và I_O trong (2.4) thế vào phương trình (2.5) thu được trở kháng vào của PMT:

$$R_{ei}(D,R) = (1-D)^2 R \quad (2.6)$$

Từ công thức (2.6) dễ dàng nhận thấy $R_{ei}(D,R)$ phụ thuộc vào chu kỳ nhiệm vụ D

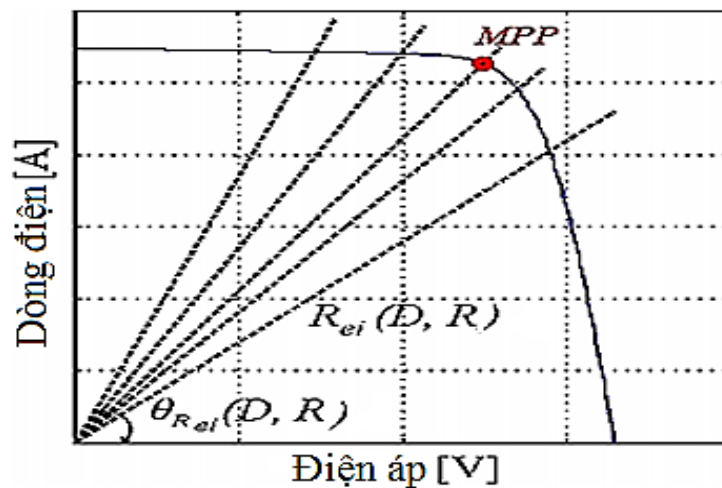
của bộ biến đổi DC – DC và giá trị của tải R, do đó có thể thay đổi giá trị của R_{ei} bằng cách thay đổi giá trị của chu kỳ nhiệm vụ D hoặc R hoặc cả hai, thông thường thì giá trị tải thường cố định nên người ta thường thay đổi giá trị của D.

Từ phương trình (2.6) có thể thay thế mạch trong hình 2.4 bằng sơ đồ mạch tương đương như trong hình 2.5 sau:



Hình 2.5. PMT với điện trở R_{ei} .

Để thay đổi vị trí của điểm làm việc thì chúng ta cần thay đổi góc nghiêng $\theta_{Rei}(D, R)$ của đường đặc tính tải bằng cách thay đổi chu kỳ nhiệm vụ D, việc thay đổi chu kỳ nhiệm vụ D một cách hợp lý sẽ cho phép giao điểm giữa hai đường đặc tính xác lập tại đúng điểm MPP.



Hình 2.6. Đặc tính của pin mặt trời và của tải thuần trở [4].

Góc nghiêng của đặc tính tải được xác định theo công thức :

$$\theta_{Rei}(D, R) = \text{atan}\left(\frac{1}{R_{ei}(D, R)}\right) = \text{atan}\left(\frac{1}{(1-D)^2 R}\right) \quad (2.7)$$

Chu kỳ nhiệm vụ D chỉ có thể thay đổi từ 0 tới 1 nên góc nghiêng của tải bị thu hẹp lại với các giới hạn bởi các góc tới hạn được tính theo các công thức dưới đây :

$$\theta_{\text{Rei}}(0, R) = \text{atan}\left(\frac{1}{R}\right) \quad (2.8)$$

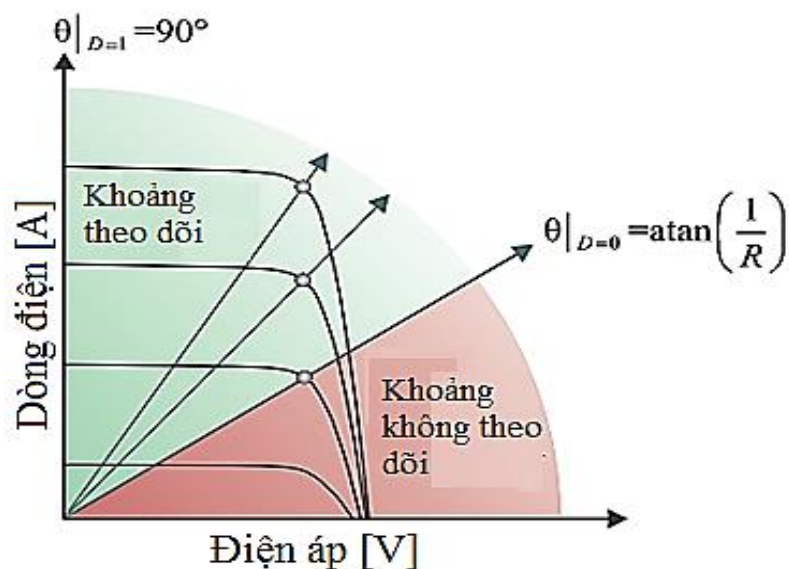
$$\theta_{\text{Rei}}(1, R) = \text{atan}\left(\frac{1}{0}\right) = 90^\circ \quad (2.9)$$

Do đó, dải giá trị của góc nghiêng của tải là :

$$\text{atan}\left(\frac{1}{R}\right) < \theta_{\text{Rei}}(D, R) < 90^\circ \quad (2.10)$$

Từ công thức (2.10) được minh họa và giải thích bằng hình 2.7 nó xác định rõ hai khoảng riêng biệt :

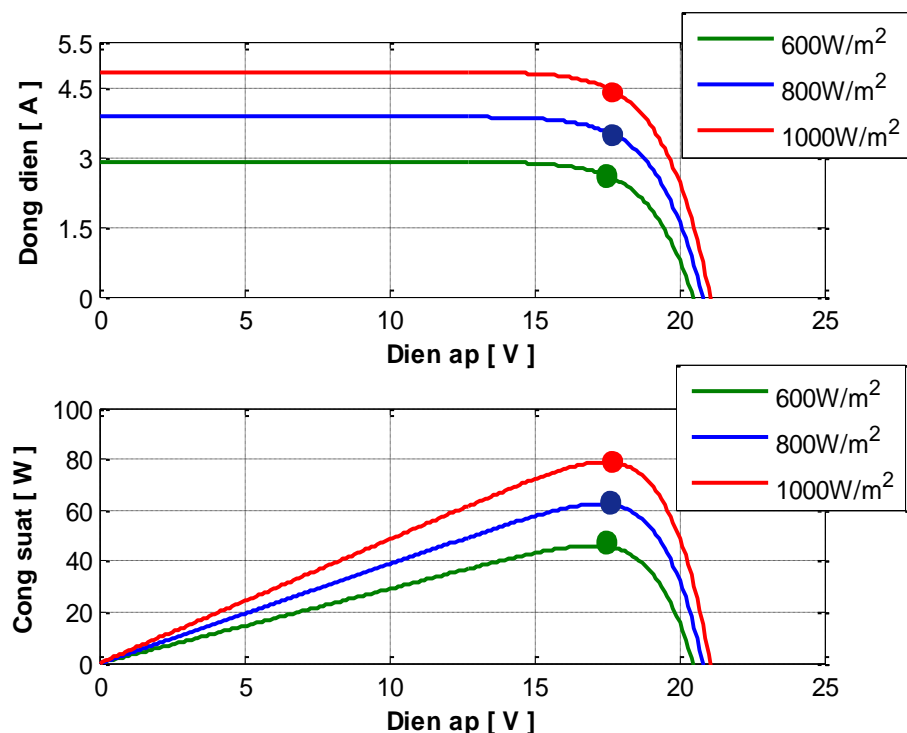
- Khoảng theo dõi: nếu điểm MPP nằm trong khoảng này, thì sẽ tồn tại một giá trị của chu kỳ nhiệm vụ D để xác lập điểm làm việc tại điểm MPP và từ đó công suất ra của pin năng lượng sẽ là lớn nhất.
- Khoảng không theo dõi: nếu điểm MPP nằm trong khoảng này thì sẽ không thể tìm ra được giá trị của chu kỳ nhiệm vụ D làm cho điểm làm việc của hệ thống ở tại điểm MPP, dẫn tới công suất ra của pin mặt trời không thể đạt giá trị lớn nhất được. Do đó, nếu điểm MPP nằm ở trong khoảng không theo dõi này thì điểm làm việc sẽ là giao điểm của đường đặc tính pin và giới hạn dưới của đường cong tải.



Hình 2.7. Khoảng làm việc của bộ biến đổi tăng áp Boost [4].

2.3. Thuật toán xác định điểm có công suất cực đại

Vị trí của điểm MPP trên đường đặc tính I – V là không biết trước và nó luôn thay đổi phụ thuộc vào điều kiện bức xạ và nhiệt độ. Chẳng hạn, như hình 2.8 trình bày đặc tính I – V của pin mặt trời khi giữ nhiệt độ cố định ở 25°C và bức xạ mặt trời thay đổi.



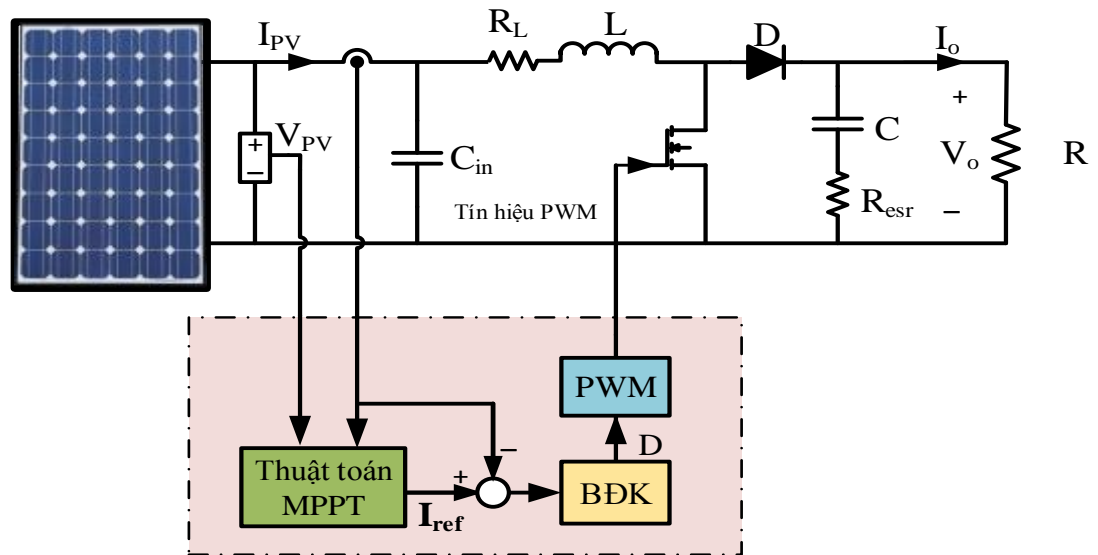
Hình 2.8. Đặc tính I – V khi bức xạ thay đổi và vị trí các điểm MPP.

Do đó, cần có một thuật toán để theo dõi điểm MPP, thuật toán này chính là trái tim của bộ điều khiển MPPT. Có nhiều thuật toán được nghiên cứu và ứng dụng trong thực tế, trong đó phổ biến nhất là hai thuật toán P&O và INC. Nên trong giới hạn đề án này em xin trình bày về hai thuật toán trên.

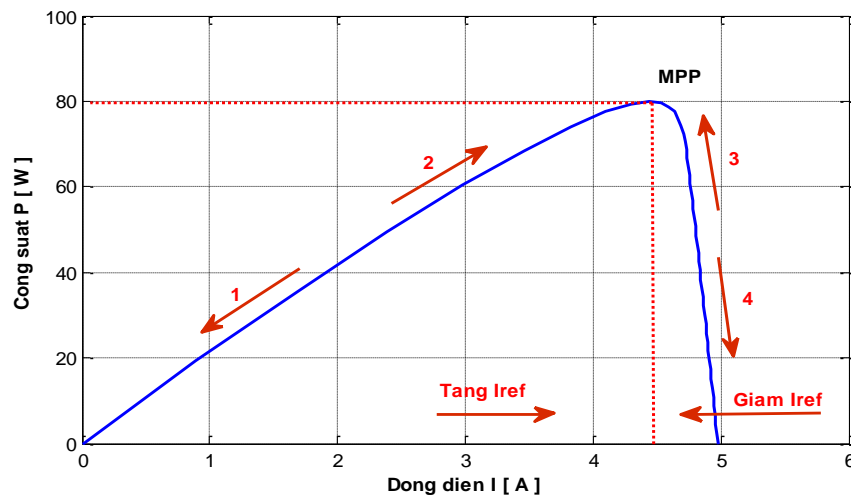
2.3.1. Phương pháp nhiễu loạn và quan sát P&O

a. Phương pháp điều khiển gián tiếp thông qua dòng điện tham chiếu I_{ref}

Thuật toán P&O, còn được gọi là phương pháp “leo đồi” được sử dụng rất phổ biến nhất trong thực tế bởi tính đơn giản của thuật toán và dễ dàng thực hiện. hình 2.10 cho thấy công suất ra của PMT là một hàm của dòng điện. Trong thuật toán này dòng điện hoạt động của pin mặt trời PMT bị nhiễu bởi một giá số nhỏ ΔI và kết quả làm thay đổi công suất, ΔP được quan sát (observer). Hình 2.9 trình bày cấu trúc của hệ thống MPPT điều khiển theo dòng điện tham chiếu.



Hình 2.9. Sơ đồ hệ thống MPPT điều khiển theo dòng điện tham chiếu I_{ref} .

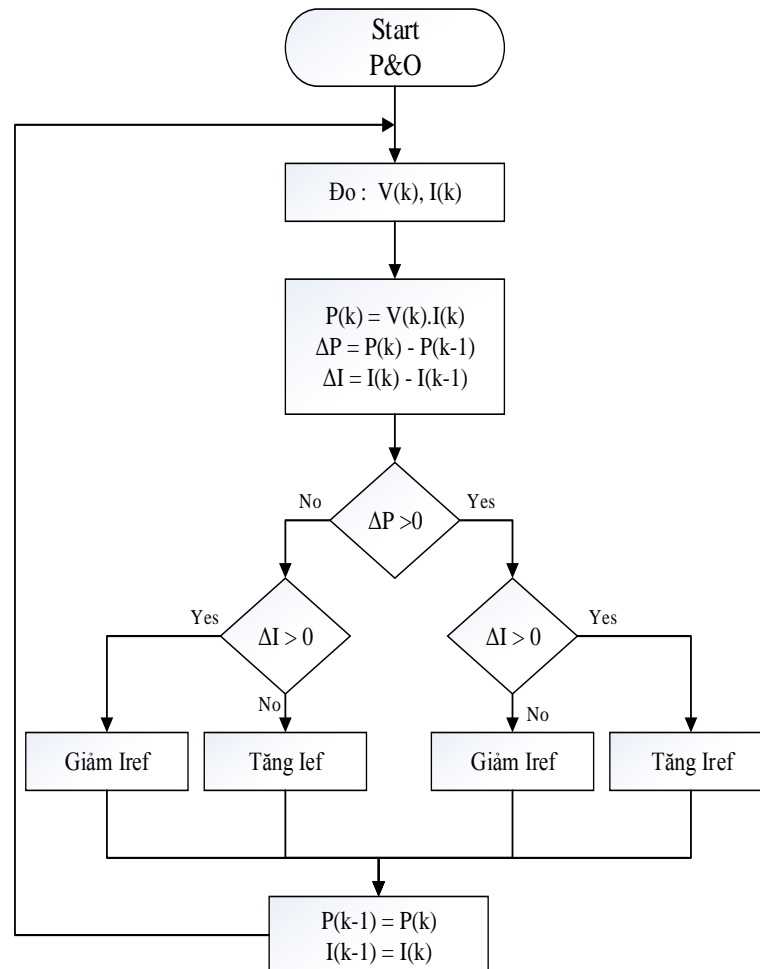


Hình 2.10. Đường đặc tính quan hệ giữa công suất và dòng điện $P - I$ của pin mặt trời.

Hình 2.10 mô tả nguyên lý hoạt động của thuật toán P&O, từ đó có thể suy ra phương thức hoạt động của thuật toán như sau:

- Nếu điểm hoạt động của hệ thống đang di chuyển theo hướng 1 tức $\Delta P < 0$ và $\Delta I < 0$ thì cần tăng dòng điện hoạt động lên để di chuyển điểm hoạt động tới điểm MPP.
- Nếu điểm hoạt động của hệ thống đang di chuyển theo hướng 2 tức $\Delta P > 0$ và $\Delta I > 0$ thì cần tăng dòng điện hoạt động lên để di chuyển điểm hoạt động tới điểm MPP.

- Nếu điểm hoạt động của hệ thống đang di chuyển theo hướng 3 tức $\Delta P > 0$ và $\Delta I < 0$ thì cần giảm dòng điện hoạt động để di chuyển điểm hoạt động tới điểm MPP.
- Nếu điểm hoạt động của hệ thống đang di chuyển theo hướng 4 tức $\Delta P < 0$ và $\Delta I > 0$ thì cần giảm dòng điện hoạt động để di chuyển điểm hoạt động tới điểm MPP.



Hình 2.11. Lưu đồ thuật toán P&O điều khiển thông qua dòng tham chiếu I_{ref} .

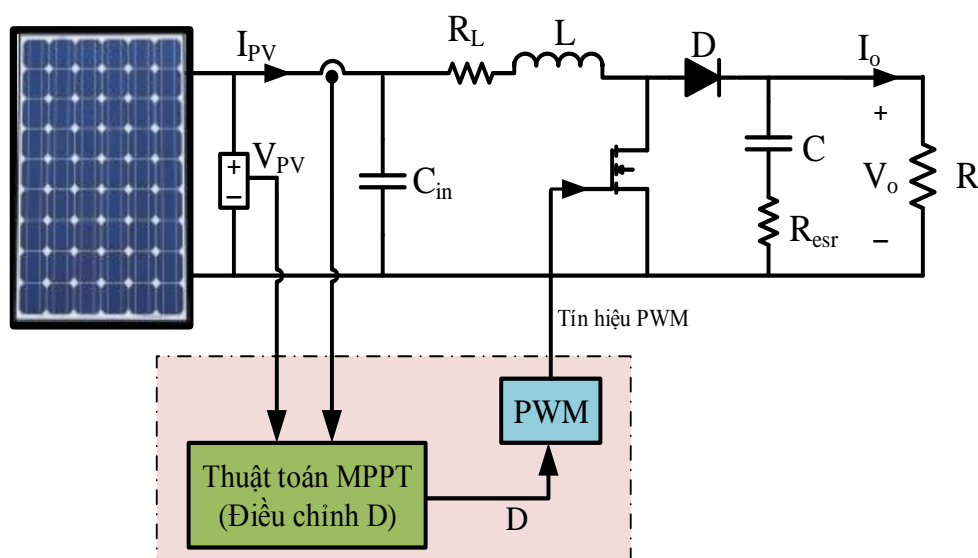
Thuyết minh thuật toán: Bộ điều khiển MPPT sẽ đo các giá trị dòng điện I và điện áp V , sau đó tính toán độ sai lệch ΔP và ΔI sau đó kiểm tra:

- Nếu $\Delta P, \Delta I > 0$ thì tăng giá trị dòng điện tham chiếu I_{ref} .
- Nếu $\Delta P, \Delta I < 0$ thì giảm giá trị dòng điện tham chiếu I_{ref} .

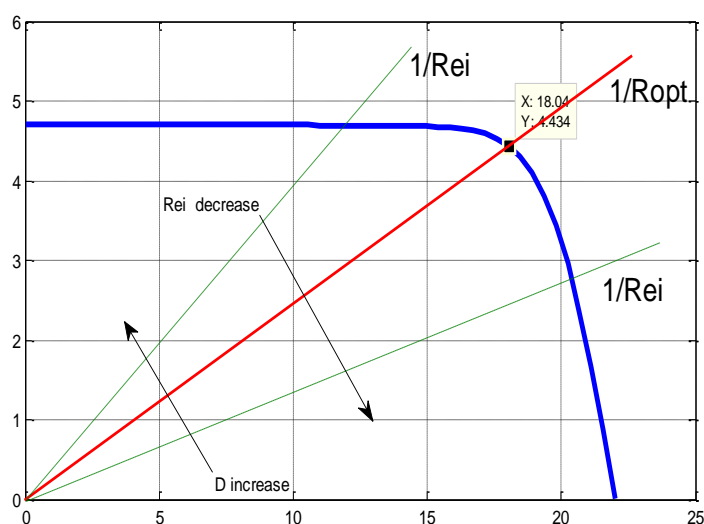
Sau đó cập nhật các giá trị mới thay cho giá trị trước đó của I , P và tiến hành đo các thông số I , V cho chu kỳ làm việc tiếp theo.

b. Phương pháp điều khiển trực tiếp

Phương pháp điều khiển này đơn giản hơn và chỉ sử dụng một mạch vòng điều khiển và nó thực hiện nhiệm vụ điều chỉnh chu kỳ nhiệm vụ D trong thuật toán MPPT. Hình 2.12 trình bày cấu trúc điều khiển của thuật toán P&O điều khiển trực tiếp chu kỳ nhiệm vụ D . Nó đo các tín hiệu điện áp và dòng điện của pin mặt trời sau đó qua thuật toán MPPT để điều chỉnh chu kỳ nhiệm vụ D , nhằm thay đổi trở kháng đầu vào R_{ei} của pin mặt trời sao cho phù hợp với trở kháng tối ưu R_{opt} . Khi trở kháng $R_{ei} = R_{opt}$ thì công suất ra của hệ thống pin mặt trời sẽ là lớn nhất.



Hình 2.12. Sơ đồ khối của phương pháp MPPT điều khiển trực tiếp chu kỳ nhiệm vụ D .

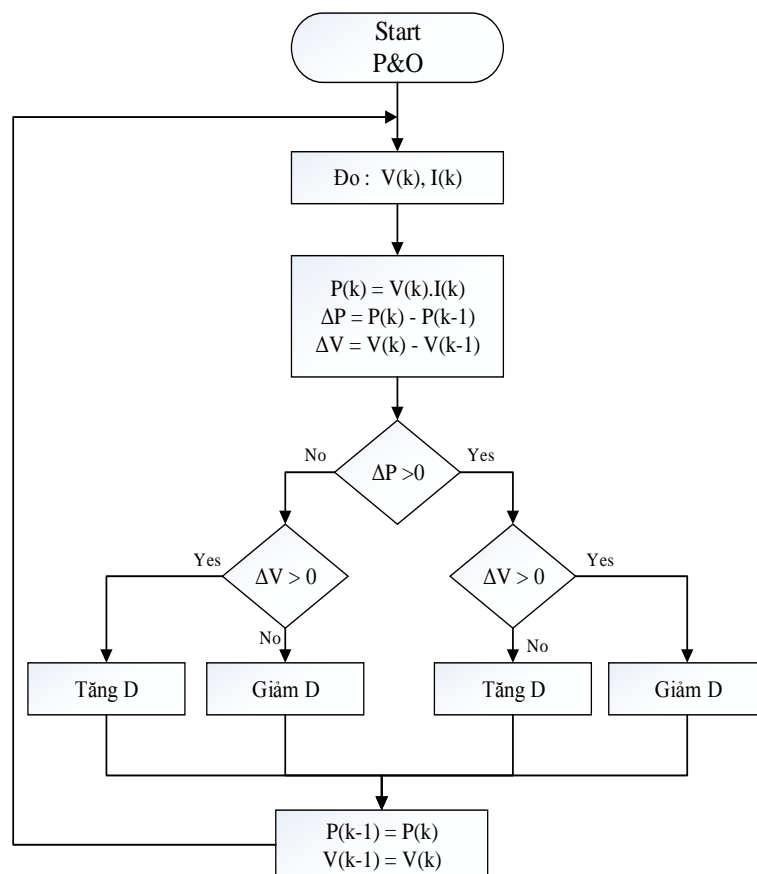


Hình 2.13. Mối quan hệ giữa tổng trở vào của mạch boost với chu kỳ nhiệm vụ D .

Theo hình 2.13 có:

- Khi điểm hoạt động của hệ thống PMT nằm bên trái điểm MPP thì phải giảm góc nghiêng của đặc tính tải $\theta_{Rei}(D, R) \Rightarrow$ Theo phương trình (2.7) phải giảm chu kỳ nhiệm vụ D xuống \Rightarrow tăng điện áp làm việc.
- Khi điểm hoạt động của hệ thống PMT nằm bên phải điểm MPP thì phải tăng góc nghiêng của đặc tính tải $\theta_{Rei}(D, R) \Rightarrow$ Tăng chu kỳ nhiệm vụ D lên, dẫn tới giảm điện áp làm việc.

Từ phân tích nêu trên dễ dàng suy ra được lưu đồ thuật toán như được trình bày trong hình 2.14 và thuyết minh lưu đồ thuật toán tương tự như lưu đồ hình 2.11.



Hình 2.14. Lưu đồ thuật toán P&O điều khiển trực tiếp chu kỳ nhiệm vụ D.

2.3.2. Phương pháp điện dẫn gia tăng INC

a. Thuật toán INC điều khiển gián tiếp thông qua dòng điện tham chiếu I_{ref}

Cấu trúc điều khiển của hệ thống dò tìm điểm công suất cực đại INC theo điều khiển dòng điện như hình 2.9. Phương pháp INC là phương pháp dựa trên thực tế như sau:

Độ dốc của đường cong công suất bằng không tại điểm MPP

Độ dốc dương ở bên trái điểm MPP

Độ dốc âm ở bên phải điểm MPP

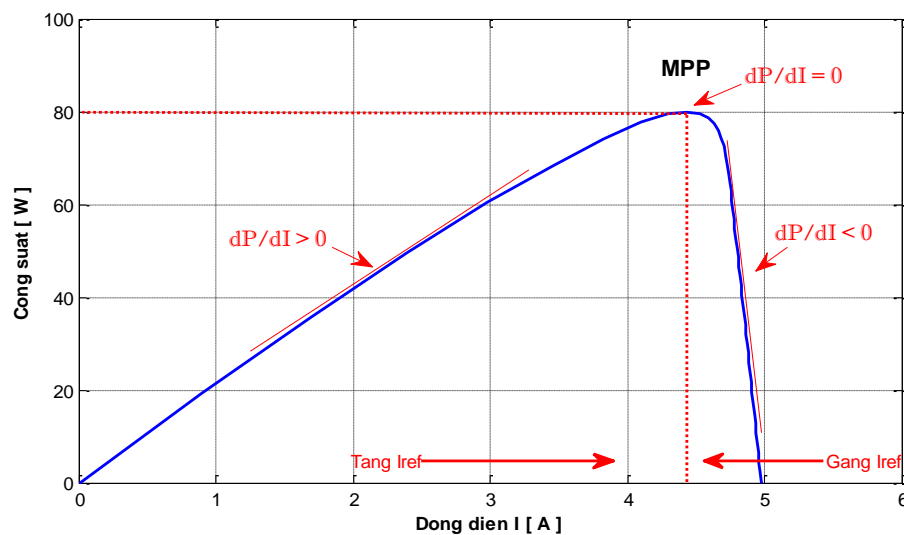
$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP}{dI} = 0, \text{ tại điểm MPP} \\ \frac{dP}{dI} > 0, \text{ bên trái điểm MPP} \\ \frac{dP}{dI} < 0, \text{ bên phải điểm MPP} \end{array} \right.$$

Khi đó :

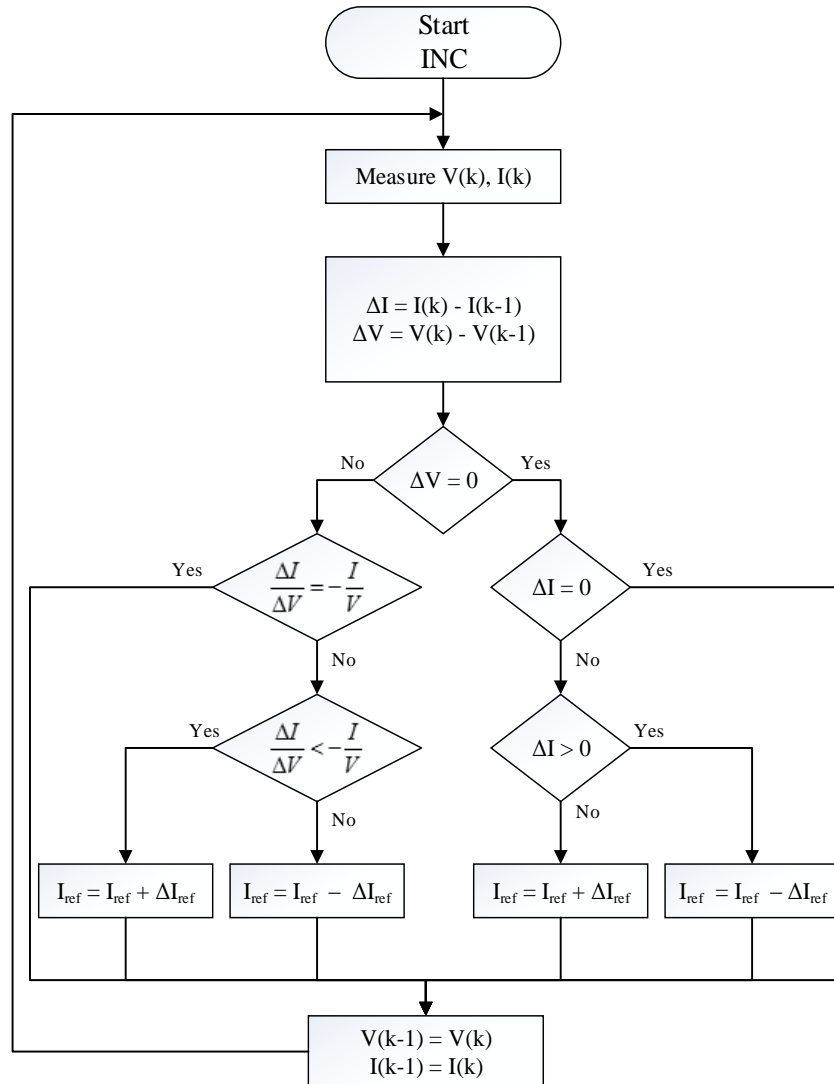
$$\frac{dP}{dI} = \frac{d(VI)}{dI} = V + I \frac{dV}{dI} = V + I \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

Do đó có thể viết lại các hệ thức trên như sau :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V}, \text{ tại điểm MPP} \\ \frac{\Delta I}{\Delta V} < -\frac{I}{V}, \text{ bên trái điểm MPP} \\ \frac{\Delta I}{\Delta V} > -\frac{I}{V}, \text{ bên phải điểm MPP} \end{array} \right. \quad (2.11)$$



Hình 2.15. Đường đặc tính P – I và thuật toán INC.



Hình 2.16. Lưu đồ thuật toán INC điều khiển gián tiếp qua I_{ref} .

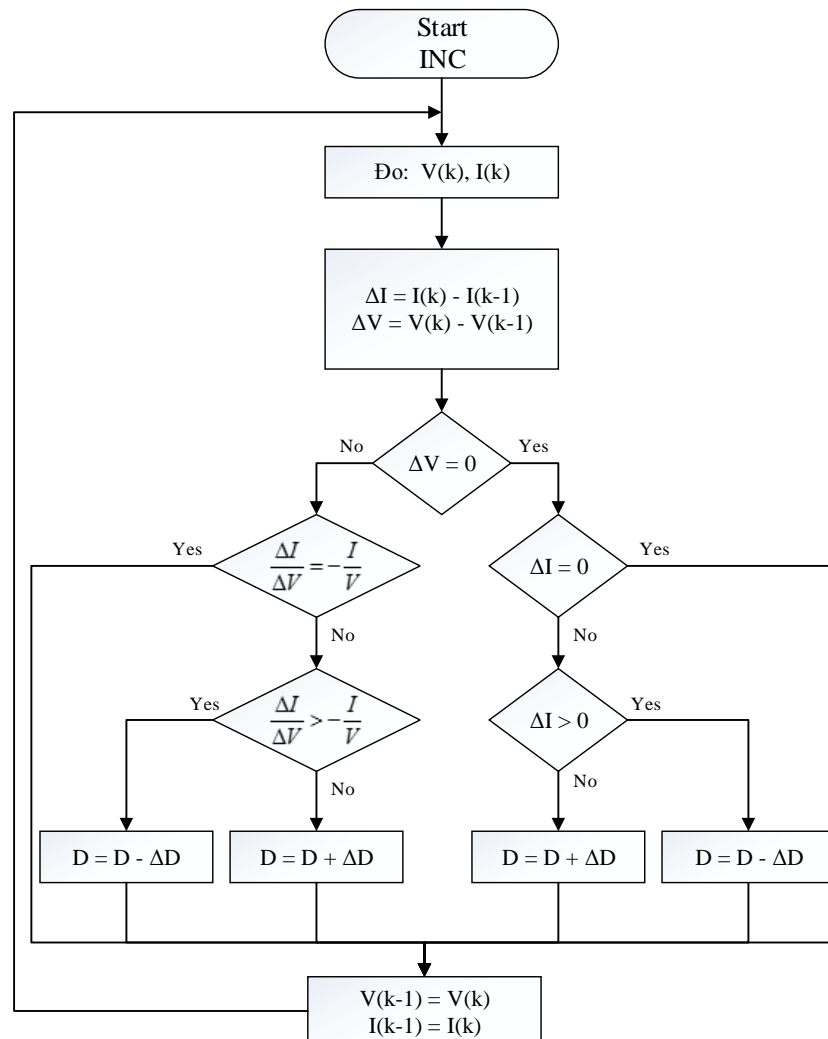
Lưu đồ thuật toán hình 2.16 giải thích sự hoạt động của thuật toán INC điều khiển theo dòng tham chiếu. Các giá trị dòng điện và điện áp của PMT được đo về. Sau đó, Sử dụng các giá trị tức thời và giá trị trước đó để tính toán các giá trị gia tăng của ΔI và ΔV . Thuật toán sẽ kiểm tra điều kiện của phương trình trong (2.11):

- Nếu điểm hoạt động nằm phía bên trái điểm MPP thì chúng ta phải di chuyển nó sang bên phải bằng cách tăng dòng điện của PMT.
- Nếu điểm hoạt động nằm bên phải điểm MPP thì chúng ta lại phải di chuyển nó sang bên trái tức là phải giảm dòng điện PMT.
- Khi điều kiện $\frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V}$ được thỏa mãn tức nó chính là các điểm MPP thì thuật toán này sẽ bỏ qua việc điều chỉnh dòng điện.

- Một kiểm tra quan trọng của thuật toán này là phát hiện điều kiện của khí quyển. Nếu điểm hoạt động vẫn ở điểm MPP (điều kiện $\Delta V = 0$) và điều kiện bức xạ không thay đổi ($\Delta I = 0$) thì sẽ không phải điều chỉnh dòng điện hoạt động. Nếu như bức xạ tăng ($\Delta I > 0$) thì dòng điện MPP giảm lên nên thuật toán INC phải tăng dòng điện hoạt động để theo dõi điểm MPP. Nếu bức xạ giảm ($\Delta I < 0$) dẫn tới dòng điện điểm MPP cao hơn, nên phải giảm dòng điện hoạt động để theo dõi điểm MPP.

Vào chu kỳ cuối, nó sẽ cập nhật lịch sử bằng cách lưu các giá trị điện áp và dòng điện hiện tại, sẽ sử dụng chúng như là các giá trị trước đó cho chu kỳ tiếp theo.

b. Thuật toán INC điều khiển trực tiếp chu kỳ nhiệm vụ D



Hình 2.17. Lưu đồ thuật toán INC điều khiển trực tiếp hệ số D.

Cấu trúc điều khiển INC trực tiếp chu kỳ nhiệm vụ D được miêu tả như hình 2.12. Khi tăng điện áp hoạt động của pin mặt trời dẫn tới góc nghiêng $\theta_{Rei}(D, R)$ của đặc tính tải giảm, do đó mà theo công thức (2.7) thì phải giảm chu kỳ nhiệm vụ D.

Tương tự, nếu điện áp hoạt động mà giảm thì phải tăng chu kỳ nhiệm vụ D. Từ đó, dễ dàng suy ra lưu đồ thuật toán INC điều khiển trực tiếp như hình 2.17.

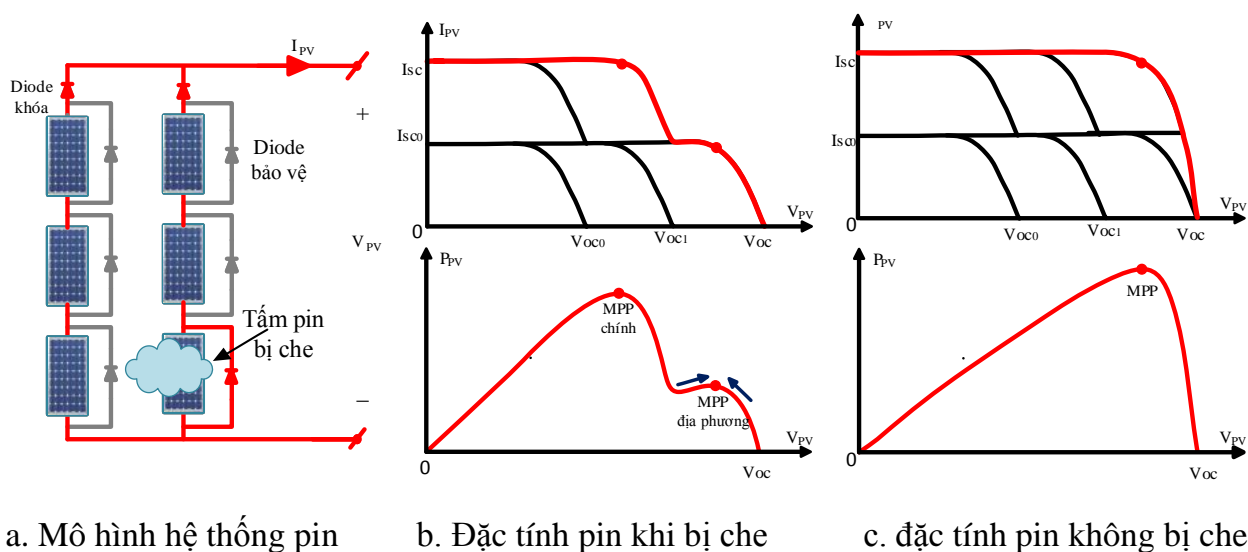
Lưu đồ thuật toán này được thuyết minh tương tự như lưu đồ hình 2.16.

2.4. Hạn chế của MPPT

Xét một ví dụ cụ thể như hình 2.18 để thấy được mặt hạn chế của thuật toán bám công suất cực đại MPPT. Hình 2.18a mô tả mô hình hệ thống pin mặt trời khi bị che khuất đi một phần thì sẽ thu được đặc tính I – V và P – V như hình 2.18b.

Từ đặc tính hình 2.18b cho thấy trên đường đặc tính công suất P – V xuất hiện hai điểm rất dễ khiến bộ điều khiển MPPT hiểu nhầm đây là điểm có công suất cực đại. Trong quá trình hoạt động rất có thể thuật toán MPPT sẽ bám theo điểm “MPP địa phương” là điểm không cho ra được công suất cực đại của pin mà phải là điểm “MPP chính” mới là điểm làm cho hệ thống PMT có công suất cực đại.

Vậy các thuật toán trên chỉ chạy tốt và ổn định trên đường đặc tính P – V như hình 2.18c, còn đối với đặc tính như hình 2.18b thì MPPT hoạt động kém hiệu quả có thể gây ra lãng phí năng lượng. Do đó, trong đề án này chỉ xét hệ thống pin mặt trời có dạng đặc tính như hình 2.18c mà thôi.



Hình 2.18. Mô hình và đặc tính I – V, P – V của hệ thống pin mặt trời.

2.5. Kết luận

Chương 2 này đã tìm hiểu:

- Nguyên lý chung về hòa hợp tải cho bộ biến đổi tăng áp Boost.
- Trình bày các thuật toán bám điểm công suất cực đại phổ biến của PMT là P&O và INC theo hai phương pháp khác nhau là điều khiển trực tiếp và điều khiển theo dòng điện tham chiếu. Chỉ ra được nguyên lý hoạt động và lưu đồ thuật toán của chúng.

Thuật toán MPPT có hai kiểu điều khiển bám công suất cực đại chính là điều khiển trực tiếp chu kỳ nhiệm vụ D và điều khiển bám công suất cực đại theo dòng tham chiếu. các tín hiệu ra của bộ điều khiển MPPT sẽ điều khiển sự đóng cắt của van đóng cắt trong mạch Boost. Đối với thuật toán MPPT bám công suất cực đại theo dòng điện tham chiếu thì cần phải thiết kế thêm bộ điều khiển dòng điện.

Cho nên trong chương 3 này sẽ tập trung đi phân tích nguyên lý BBĐ Boost, tính toán mạch lực và thiết kế mạch điều khiển dòng điện.

Chương 3

BỘ BIẾN ĐỔI DC – DC

3.1. Yêu cầu thiết kế

Thông số đầu vào :

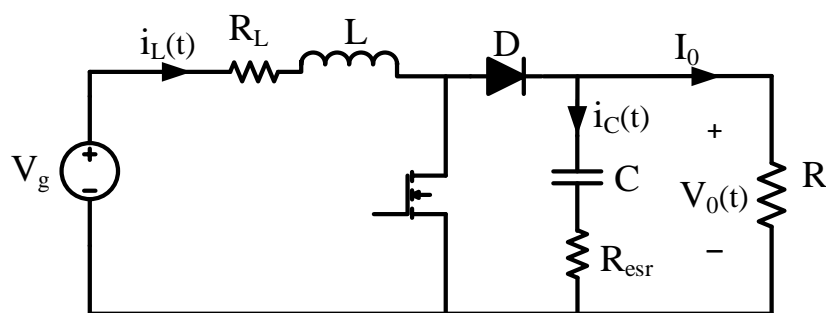
- + Pin NLMT 18V – 80W.
- + Tần số đóng cắt $f_c = 100\text{kHz}$.

Thông số đầu ra :

- + Điện áp ra : $V_{\text{OUT}} = 24\text{V}$
- + Độ dao động dòng điện trên cuộn cảm $\Delta I_L = 10\% I_L$
- + Độ dao động điện áp trên tụ $\Delta V_C = 2\% V_{\text{OUT}}$

3.2. Bộ biến đổi Boost

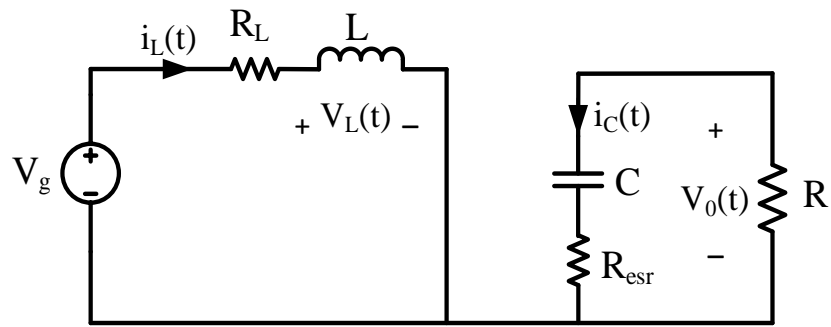
Bộ biến đổi Boost là bộ biến đổi DC – DC thông dụng thường được áp dụng cho các ứng dụng đòi hỏi điện áp ra cao hơn điện áp vào. Mô hình BBĐ boost có cấu hình đầy đủ như được trình bày trong hình 3.1. Trong đó để xây dựng các biểu thức toán học và tìm hiểu nguyên lý hoạt động được dễ dàng hơn, nên loại bỏ ảnh hưởng của $R_{\text{esr}} = 0$, R_L được chọn khác 0.



Hình 3.1. Mô hình BBĐ boost.

- Trường hợp 1: khi van đóng cắt Q dẫn và diode D không dẫn :

Dòng điện $i_L(t)$ chạy từ dương cực của nguồn qua điện cảm L rồi qua van trở về âm cực của nguồn và dòng điện $i_C(t)$ khép vòng qua điện trở R, tụ điện C, Như vậy không có dòng chảy qua điốt D. Được mô tả như hình 3.2.phía dưới.



Hình 3.2. Mạch tương đương khi Q_1 mở và D khóa.

- Điện áp trên cuộn dây và dòng điện trên tụ

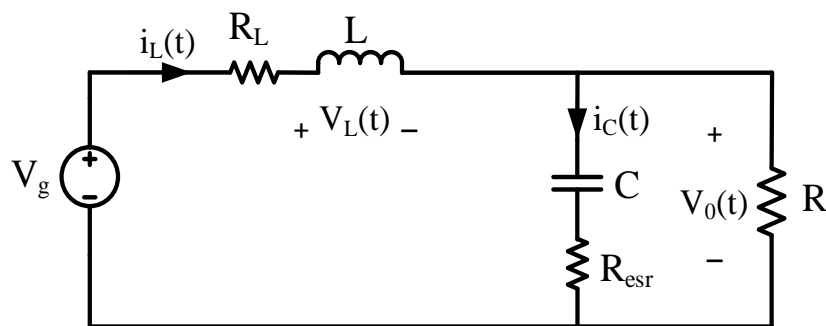
$$\begin{cases} v_L(t) = V_g - i_L(t)R_L \\ i_c(t) = -v(t)/R \end{cases} \quad (3.1)$$

- Xấp xỉ các tín hiệu nhỏ $v \approx V, i_L \approx I_L$ từ (3.1) thu được :

$$\begin{cases} v_L(t) = V_g - I_L R_L \\ i_c(t) = -V/R \end{cases} \quad (3.2)$$

- Trường hợp 2: khi van Q_1 không dẫn và diode D dẫn :

Van đóng cắt Q không dẫn, cuộn cảm L có khuynh hướng duy trì dòng qua nó sẽ tạo ra điện áp cảm ứng đủ lớn để kích mở diode D làm cho nó trở lên dẫn. Sơ đồ mạch tương đương như hình 3.3.



Hình 3.3. Mạch tương đương khi Q_1 khóa và D mở.

Từ sơ đồ mạch điện dễ dàng tìm được điện áp qua cuộn cảm và dòng qua tụ điện bằng cách giải mạch điện trong hình 3.3 thu được hệ phương trình (3.3) mô tả hoạt sự biến thiên của điện áp trên cuộn cảm $v_L(t)$ và dòng qua tụ $i_c(t)$ theo thời gian. Xấp xỉ tín hiệu nhỏ thu được hệ (3.4):

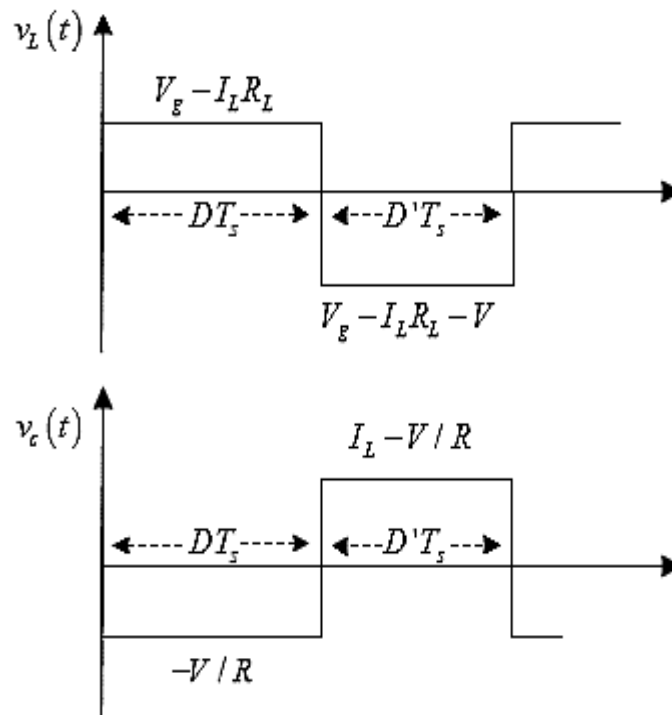
- Điện áp qua cuộn cảm và dòng qua tụ :

$$\begin{cases} v_L(t) = V_g - i_L(t)R_L - v(t) \\ i_c(t) = i_L(t) - v(t)/R \end{cases} \quad (3.3)$$

- Xấp xỉ các tín hiệu nhỏ

$$\begin{cases} v_L(t) = V_g - I_L R_L - V \\ i_c(t) = I_L - V / R \end{cases} \quad (3.4)$$

Từ đó thu được các tín hiệu điện áp qua cuộn cảm và dòng qua tụ như hình dưới



Hình 3.4. Dạng sóng trên cuộn cảm L và dạng sóng trên tụ C.

Từ đồ thị điện áp cuộn cảm ta có thể nhận thấy điện áp đầu ra lớn hơn điện áp đầu vào. Trong khoảng thời gian đóng khóa ban đầu, v_L bằng với điện áp đầu vào V_g điện áp thứ cấp dương đặt vào cuộn cảm. Vì trong trạng thái ổn định, tổng điện áp thứ cấp đặt lên cuộn cảm trong một chu kỳ đóng cắt phải bằng 0 nên suy ra điện áp rơi trên cuộn cảm khi khóa ở vị trí 2 phải âm hay $(V_g - V) < 0$ hay $V_g < V$.

Từ phân tích ở trên ta có hệ thức sau:

$$\int_0^{T_s} v_L(t) dt = (V_g - I_L R_L) DT_s + (V_g - I_L R_L - V) D'T_s \quad (3.5)$$

Trong trạng thái cân bằng :

$$\begin{aligned} V_g DT_s + (V_g - V) D'T_s &= 0 \\ \Rightarrow V &= \frac{1}{1-D} (V_g - I_L R_L) \end{aligned} \quad (3.6)$$

Dòng nạp cho tụ C

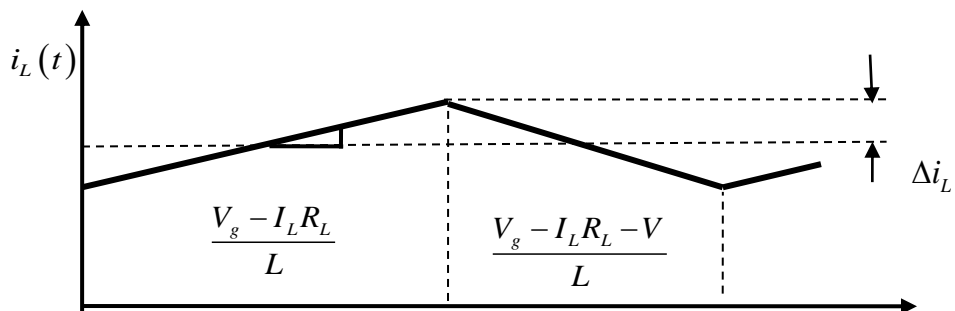
$$\int_0^{T_s} i_c(t) dt = -\frac{V}{R} DT_s + \left(I - \frac{V}{R} \right) D'T_s \quad (3.7)$$

Khi cân bằng

$$\begin{aligned} -\frac{V}{R} DT_s + \left(I - \frac{V}{R} \right) D'T_s &= 0 \\ \Rightarrow I &= \frac{V}{(1-D)R} = \frac{V_g}{(1-D)^2 R} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Dạng sóng dòng điện trên cuộn cảm:

- Trong khoảng thời gian $(0 \div DT_s)$: $\frac{d}{dt} i_L(t) = \frac{v_L(t)}{L} = \frac{V_g - I_L R_L}{L}$
- Trong khoảng thời gian $(DT_s \div T_s)$: $\frac{d}{dt} i_L(t) = \frac{v_L(t)}{L} = \frac{V_g - I_L R_L - V}{L}$



Hình 3.5. Dạng sóng dòng điện trên cuộn cảm L.

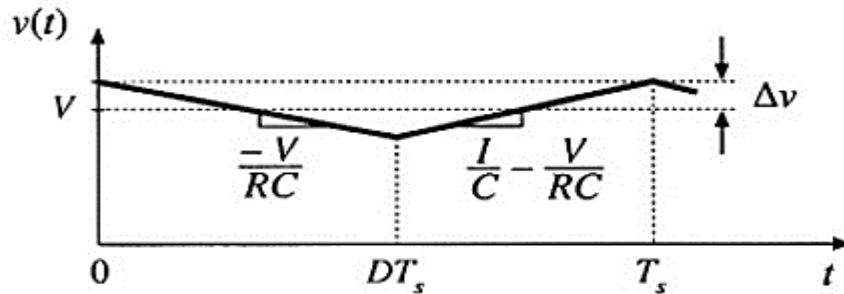
Sự thay đổi dòng trong khoảng thời gian DT_s :

$$\begin{aligned} 2\Delta i_L &= \frac{(V_g - I_L R_L)}{L} DT_s \\ \Rightarrow L &= \frac{V_g DT_s}{2\Delta i_L} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Dựa vào đó chúng ta có thể lựa chọn cuộn cảm theo độ nhập nhô điện áp yêu cầu.

Dạng sóng điện áp đầu ra:

- Trong khoảng thời gian $(0 \div DT_s)$: $\frac{d}{dt} v_c(t) = \frac{i_c(t)}{C} = -\frac{V}{RC}$
- Trong khoảng thời gian $(DT_s \div T_s)$: $\frac{d}{dt} v_c(t) = \frac{i_c(t)}{C} = \frac{I}{C} - \frac{V}{RC}$



Hình 3.6. Dạng sóng điện áp đầu ra.

Sự thay đổi điện áp trong khoảng thời gian $(0 \div DT_s)$:

$$\begin{aligned} -2\Delta v &= -\frac{V}{RC} DT_s \\ \Rightarrow C &= \frac{VDT_s}{2R\Delta v} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Từ biểu thức (3.10) dùng để chọn giá trị tụ C theo độ dao động điện áp trên tụ ΔV .

3.3. Tính toán lựa chọn tham số cơ bản

Giả sử hiệu suất của bộ biến đổi là lý tưởng, từ đó có:

Công suất: $P_{IN} = P_{OUT} = 80W$

Điện trở tải: $R = \frac{V_{OUT}^2}{P_{OUT}} = \frac{24^2}{80} = 7,2\Omega$

Dòng điện qua cuộn cảm: $I_L = I_{IN} = \frac{P_{IN}}{V_{IN}} = \frac{80}{18} = \frac{40}{9} = 4,44 A$

Chu kỳ hoạt động D: $D = 1 - \frac{V_{IN}}{V_{OUT}} = 1 - \frac{18}{24} = 0,25$

Giá trị độ dao động dòng điện trên cuộn cảm : $\Delta I_L = 10\% I_L = 0,1 \cdot 4,44 = 0,444 A$

3.3.1. Tính toán cuộn cảm

a. Giá trị cuộn cảm

giá trị cuộn cảm được tính theo công thức (3.9) :

$$L = \frac{V_{IN} D}{2 \Delta I_L f_s} = \frac{18,0,25}{2,0,444.100.10^3} = 50,68 \mu H$$

b. Thiết kế cuộn cảm

- Các tham số cần thiết cho thiết kế :

1. Điện cảm, $L = 50,68 \mu H$
2. Dòng điện một chiều qua cuộn cảm, $I_L = 4,44 A$
3. Độ nhấp nhô dòng trên cuộn cảm , $\Delta I_L = 0,444 A$
4. Công suất ra, $P_O = 80 W$
5. Hệ số điều chỉnh, $\alpha = 1\%$
6. Tần số đóng cắt, $f_s = 100 kHz$
7. Mật độ từ trường, $B_m = 0,25 T$
8. Vật liệu làm lõi, ferrite

- Dòng điện đỉnh I_{peak} trên cuộn cảm:

$$I_{peak} = I_L + \Delta I_L = 4,44 + 0,444 = 4,884 [A]$$

- Năng lượng trên cuộn cảm:

$$Energy = \frac{LI_{peak}^2}{2} = \frac{50,68.10^{-6}.4,884^2}{2} = 6,04.10^{-3} [Ws]$$

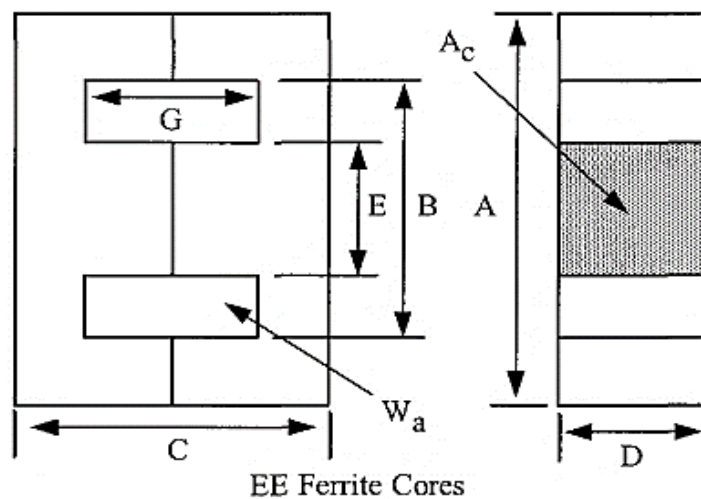
- Hệ số K_e : $K_e = 0,145.P_O.B_{max}^2.10^{-4} = 0,145.80.0,25^2.10^{-4} = 7,25.10^{-5}$

- Hệ số hình học K_g : $K_g = \frac{Energy}{K_e \alpha} = \frac{(6,04.10^{-3})^2}{7,25.10^{-5}.1} = 0,005 [cm^5]$

- Chọn lõi từ hệ số hình dáng K_g :

Từ hệ số hình dáng K_g chọn được lõi EE – 2425 . Với các thông số kỹ thuật của lõi ferit như sau:

1. Độ dài đường từ,MPL = 4,85 cm
2. Khối lượng của lõi,.....W_{tfe} = 9,5 g
3. Diện tích mặt cắt trụ giữa của lõi,.....A_c = 0,384 cm²
4. Diện tích cửa sổ,.....W_a = 0,784 cm²
5. Hệ số,A_p = 0,305 cm⁴
6. Hệ số hình dáng,.....K_g = 0,0095 cm⁵
7. Độ dài cửa sổ,G = 1,25 cm
8. Diện tích bề mặt,A_t = 23,5 cm²



Hình 3.7. Hình dạng chung của lõi EE^[2]

- Mật độ dòng điện : $J = \frac{2 \cdot (\text{Energy})^2 \cdot 10^4}{B_{\max} \cdot A_p \cdot K_u} = 396 [\text{A} / \text{cm}^2]$
- Dòng điện hiệu dụng : $I_{\text{rms}} = \sqrt{I_L^2 + (2\Delta I_L)^2} = 4,53 [\text{A}]$
- Tiết diện dây:

$$A_{W(B)} = \frac{I_{\text{rms}}}{J} = 0,0114 [\text{cm}^2]$$

Từ tiết diện dây tính được chọn dây ngoài thực tế là:

- Dây trần có tiết diện $A_{W(B)} = 0,01039 [\text{cm}^2]$.
- Dây có lớp cách điện có tiết diện $A_w = 0,01168 [\text{cm}^2]$.
- Điện trở dây quấn : 165,8 [mΩ/cm]

- Điện tích cửa sổ dây quấn :

$$\text{Lấy } S_3 = 0,75 \Rightarrow W_{a(\text{eff})} = W_a \cdot S_3 = 0,794 \cdot 0,75 = 0,5955 [\text{cm}^2]$$

- Tính số vòng dây, lấy $S_2 = 0,61$.

$$N = \frac{W_{a(\text{eff})} \cdot S_2}{A_w} = \frac{0,5955 \cdot 0,6}{0,01168} = 31 [\text{vòng}]$$

- Tính khe hở không khí : $l_g = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot N^2 \cdot A_c \cdot 10^{-8}}{L} - \frac{MPL}{\mu_m} = 0,009 [\text{cm}]$

- Tính hệ số F : $F = 1 + \frac{l_g}{\sqrt{A_c}} \cdot \ln \left(\frac{2G}{l_g} \right) = 1,48$

- Số vòng dây mới sau khi đã tính được hệ số F :

$$N_n = \sqrt{\frac{l_g}{0,4 \cdot \pi \cdot A_c \cdot F \cdot 10^{-8}}} = 26 [\text{vòng}]$$

c. Điện trở cuộn cảm

$$R_L = MLT \cdot N_n \cdot \left(\frac{\mu\Omega}{\text{cm}} \right) \cdot 10^{-6} = 4,9 \cdot 26 \cdot 165,8 \cdot 10^{-6} = 0,02 [\Omega]$$

3.3.2. Tính toán tụ lọc đầu ra

a. Giá trị điện dung của tụ

Chọn độ nhấp nhô điện áp ra : $\Delta V_{\text{OUT}} = 0,02 V_{\text{OUT}} = 0,48 \text{ V}$

$$\text{Dòng điện ra của mạch : } I_{\text{OUT}} = \frac{P_{\text{OUT}}}{V_{\text{OUT}}} = \frac{80}{24} = \frac{10}{3} = 3,33 \text{ A}$$

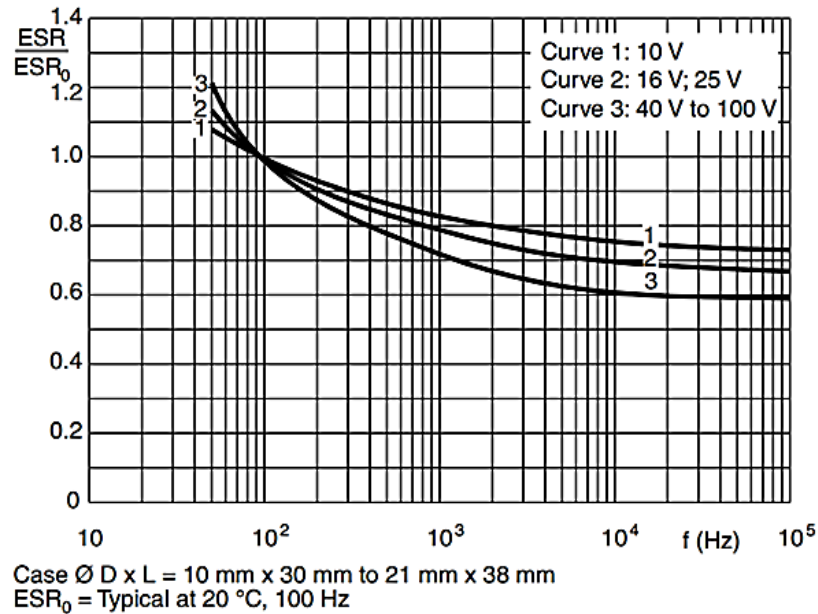
Giá trị cuộn cảm lọc đầu ra tính theo công thức (3.2) :

$$C_{\text{OUT}(\text{min})} = \frac{I_{\text{OUT}} \cdot D}{f_s \cdot \Delta V_{\text{OUT}}} = \frac{3,33 \cdot 0,25}{0,48 \cdot 100 \cdot 10^3} = 17,34 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 17,34 \mu\text{F}$$

Chọn giá trị điện dung của tụ : $C = 47 \mu\text{F}$ và chịu được điện áp 50V

b. Giá trị điện trở R_{ESR} mắc nối tiếp với tụ

sau khi tính toán được giá trị điện dung của tụ C , dựa vào datasheet xác định được gần đúng giá trị điện trở R_{ESR} .



Hình 3.8. Đặc tính thể hiện quan hệ ESR/ESR_0 theo tần số [18].

$$\text{Ứng với tần số cắt } f_c = 100\text{kHz} \rightarrow \frac{ESR}{ESR_0} = 0,6 \Rightarrow ESR = 0,6ESR_0 = 0,6 \cdot 0,16 = 0,1\Omega$$

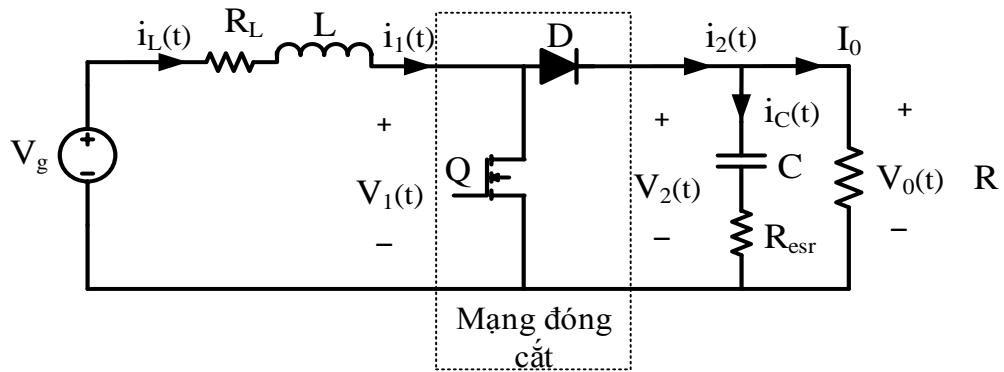
3.4. Mô hình và thiết kế bộ điều khiển

3.4.1. Mô hình hóa bộ biến đổi Boost bằng phương pháp trung bình hóa mạng đóng cắt

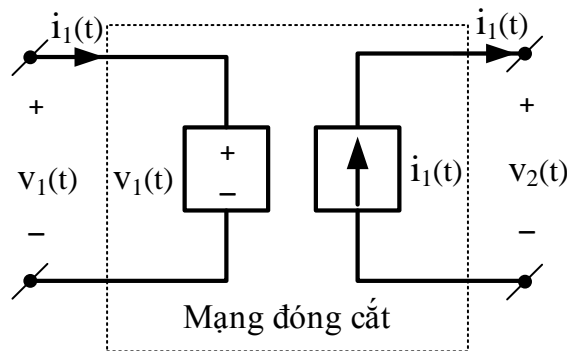
Phương pháp trung bình hóa mạng đóng cắt ngày nay gây được sự quan tâm vì mô hình thu được gần với mô hình vật lý, có thể mô tả các phần tử gây tổn thất như: điện trở khi dẫn dòng qua van, sụt áp trên van, một số mạch điện ký sinh....

Mục đích của phương pháp là thay thế phần mạch có phần tử đóng cắt bằng một mạng hai cửa. Từ đó thay thế mạng đóng cắt phi tuyến bằng một mạng tuyến tính qua phép lấy trung bình.

Trên sơ đồ BBD Boost hình 3.9 mạng đóng cắt gồm van MOSFET và diode. Vì dòng vào cổng 1 $i_1(t)$ chính là dòng qua cuộn cảm nên có thể coi là biến độc lập, điện áp đầu ra trên tụ $v_2(t)$ chính là điện áp trên tải chỉ thay đổi khi tải thay đổi nên cũng coi là biến độc lập. Vì vậy điện áp $v_1(t)$ và $i_2(t)$ được coi là biến phụ thuộc như trên hình 3.10.



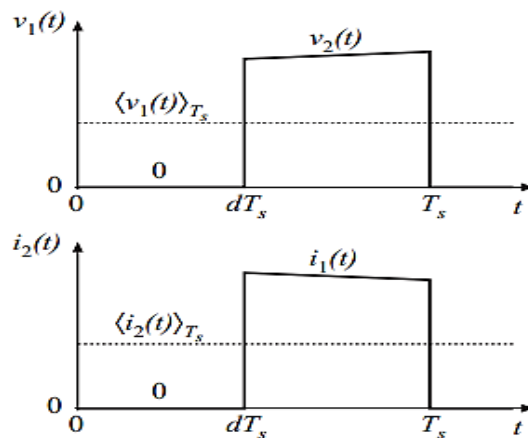
Hình 3.9. Mạch đóng cắt trong sơ đồ BBD Boost.



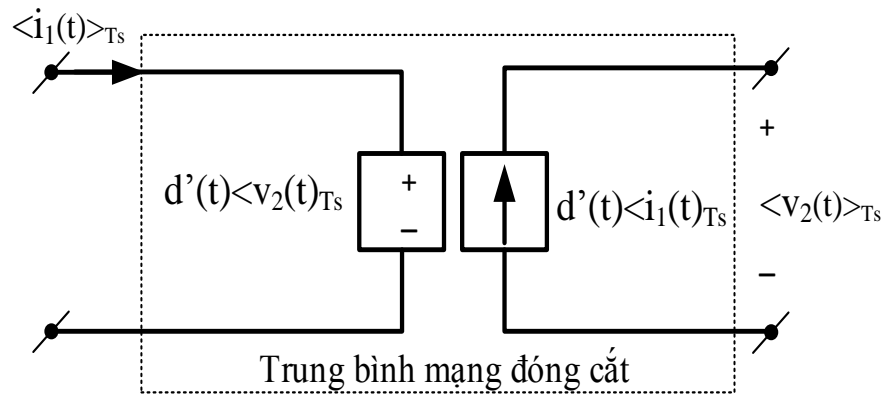
Hình 3.10. Mô hình mạng đóng cắt.

Dạng sóng của chúng được cho trên hình 3.11 theo phân tích hoạt động của sơ đồ BBD Boost. Lấy trung bình điện áp $v_1(t)$ và dòng $i_2(t)$ trong một chu kỳ T_s với giả thuyết $v_2(t)$ và $i_1(t)$ đập mạch không đáng kể hoặc thay đổi gần như tuyến tính.

$$\begin{aligned} \langle v_1(t) \rangle_{T_s} &= (1-d(t)) \langle v_2(t) \rangle_{T_s} = d'(t) \langle v_2(t) \rangle_{T_s} \\ \langle i_2(t) \rangle_{T_s} &= (1-d(t)) \langle i_1(t) \rangle_{T_s} = d'(t) \langle i_1(t) \rangle_{T_s} \end{aligned} \quad (3.11)$$



Hình 3.11. Dạng điện áp $v_1(t)$ trên MOSFET và dạng dòng $i_2(t)$ qua diode .



Hình 3.12. Mô hình trung bình.

Tiến hành tuyến tính hóa mô hình trên hình 3.9 bằng cách đưa các biến động nhỏ:

$$\begin{cases} \langle v_g(t) \rangle = V_g + \hat{v}_g(t) \\ \langle i_L(t) \rangle = I_L + \hat{i}_L(t) \\ \langle v_1(t) \rangle = V_1 + \hat{v}_1(t) \\ \langle i_2(t) \rangle = I_2 + \hat{i}_2(t) \\ \langle v_2(t) \rangle = V_2 + \hat{v}_2(t) \\ d = D + \hat{d}(t) \\ d' = 1 - d = D' - \hat{d}(t) \end{cases} \quad (3.12)$$

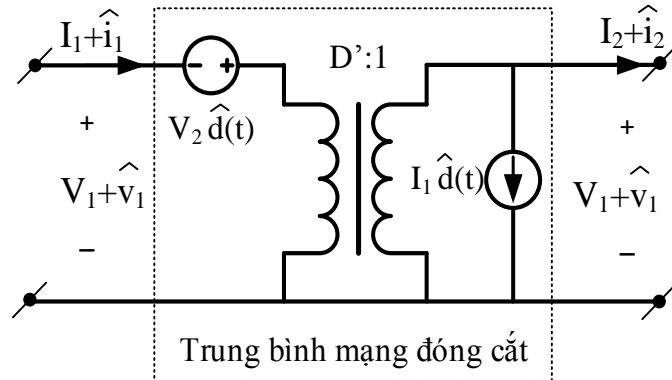
Nguồn áp phụ thuộc ở cổng vào 1 trở thành:

$$\begin{aligned} \langle v_1(t) \rangle = d'(t) \langle v_2(t) \rangle &= (D' - \hat{d}(t))(V_2 + \hat{v}_2(t)) = D'(V_2 + \hat{v}_2(t)) - V_2 \hat{d}(t) - \hat{d}(t) \hat{v}_2(t) \\ &\approx D'(V_2 + \hat{v}_2(t)) - V_2 \hat{d}(t) \end{aligned} \quad (3.13)$$

Số hạng đầu tiên $D'(V_2 + \hat{v}_2(t))$ thể hiện sự phụ thuộc vào điện áp ra $(V_2 + \hat{v}_2(t))$ theo tỷ lệ D' , được mô tả bởi nguồn áp phụ thuộc. Số hạng $V_2 \hat{d}(t)$ là nguồn được điều khiển bởi hệ số điều chế $\hat{d}(t)$ nên trở thành nguồn áp độc lập mắc nối tiếp trong mạch. Nguồn dòng phụ thuộc ở cổng 2 trở thành :

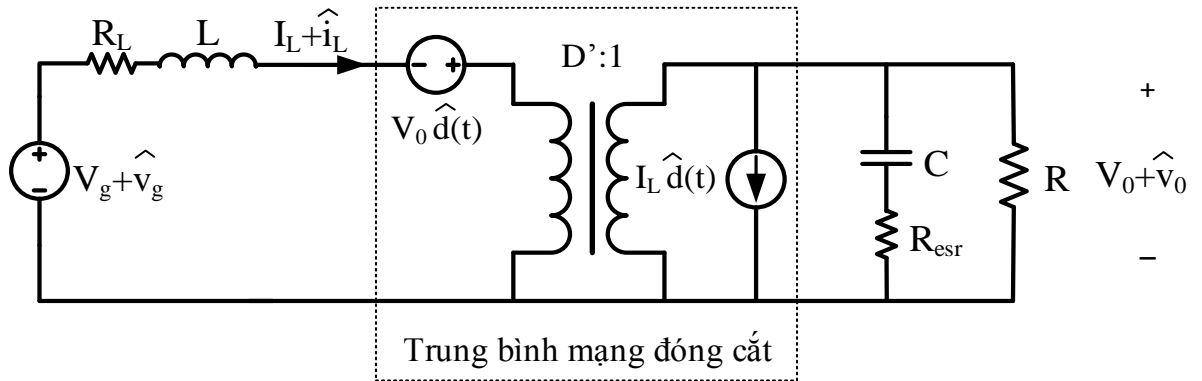
$$\begin{aligned} \langle i_2(t) \rangle = d'(t) \langle i_1(t) \rangle &= (D' - \hat{d}(t))(I_1 + \hat{i}_1(t)) = D'(I_1 + \hat{i}_1(t)) - I_1 \hat{d}(t) - \hat{d}(t) \hat{i}_1(t) \\ &\approx D'(I_1 + \hat{i}_1(t)) - I_1 \hat{d}(t) \end{aligned} \quad (3.14)$$

Số hạng $D'(I_1 + \hat{i}_1(t))$ thể hiện sự phụ thuộc vào $(I_1 + \hat{i}_1(t))$ theo tỷ lệ D' nên được mô tả bởi nguồn dòng phụ thuộc. Số hạng $I_1 \hat{d}(t)$ là nguồn dòng điều khiển bởi hệ số $\hat{d}(t)$ trở thành nguồn dòng độc lập mắc song song với mạch. Từ đó được mô hình trung bình mạng đóng cắt cho mạch boost như hình 3.13:



Hình 3.13. Mô hình trung bình mạng đóng cắt cho mạch boost.

Từ các phân tích ở trên suy ra mô hình trung bình cho mạch Boost được trình bày trên hình 3.14:

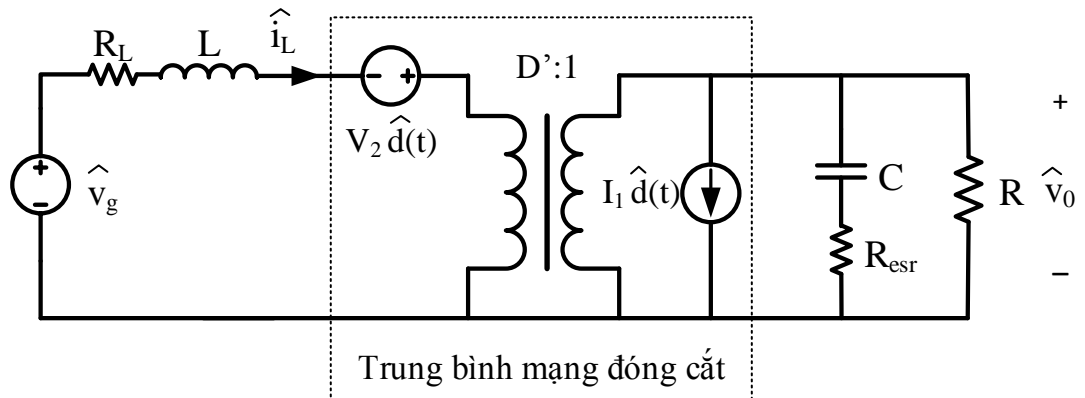


Hình 3.14. Mô hình trung bình cho mạch Boost.

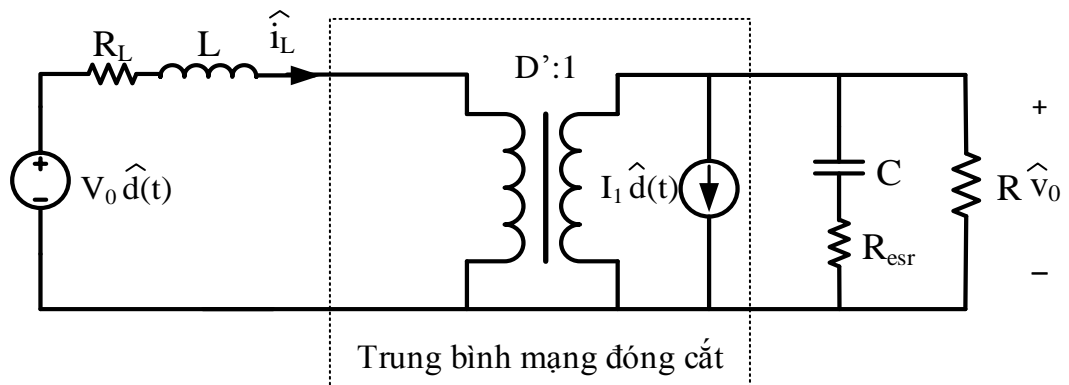
Xét mô hình tín hiệu nhỏ như hình 3.15. cần xác định các hàm truyền đạt quan trọng cho quá trình thiết kế bộ điều khiển dòng điện:

$$\begin{cases} G_{vd} = \left. \frac{\hat{v}_o}{\hat{d}} \right|_{\hat{v}_g=0} \\ G_{id} = \left. \frac{\hat{i}_L}{\hat{d}} \right|_{\hat{v}_g=0} \end{cases}$$

Để tìm được các hàm truyền này ta loại bỏ ảnh hưởng của nguồn $\hat{v}_g = 0$ trong mô hình hình 3.15 thu được mô hình đơn giản như được mô tả trong hình 2.16.

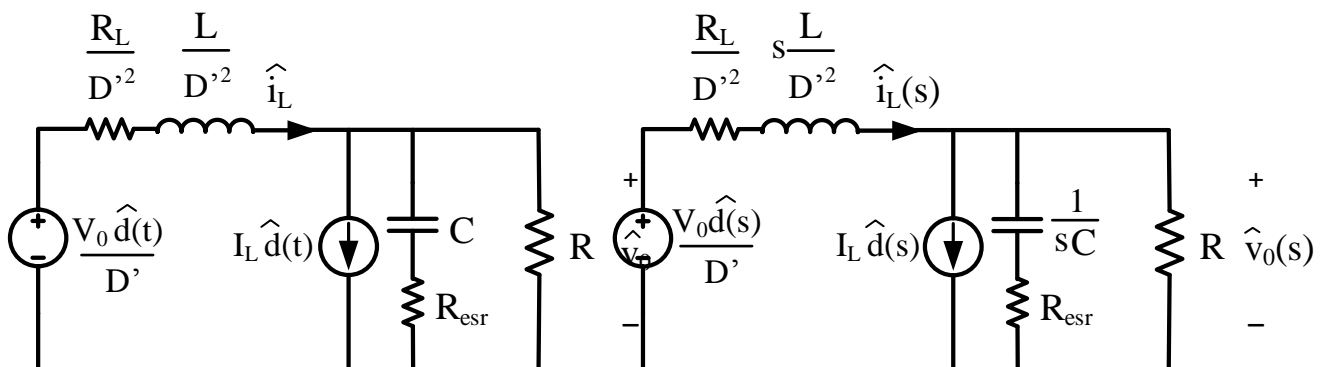


Hình 3.15. Mô hình trung bình tín hiệu nhỏ cho mạch Boost.



Hình 3.16. Mô hình trung bình tín hiệu nhỏ cho mạch Boost khi loại $\hat{v}_g = 0$.

Sau đó tiến hành quy đổi về sơ cấp của máy biến áp, laplace hóa mạch điện rồi từ đó dựa vào việc tính toán mạch điện sẽ suy ra được hàm truyền mong muốn G_{vd} và G_{id} .



Hình 3.17. a) Mô hình quy đổi về thứ cấp. b) laplace hóa mạch quy đổi.

Cân bằng điện áp trong mạch hình 4.17b thu được:

$$\begin{aligned}
 & -\frac{V_0 \hat{d}(s)}{D'} + \left(\frac{R_L + sL}{D'^2} \right) \left(I_L \hat{d}(s) + \frac{\hat{v}_o(s)}{\left(\frac{1}{sC} + R_{esr} \right) // R} \right) + \hat{v}_o(s) = 0 \\
 \Leftrightarrow & -\frac{V_0 \hat{d}(s)}{D'} + \left(\frac{R_L + sL}{D'^2} \right) \left[I_L \hat{d}(s) + \frac{s(R + R_{esr})C + 1}{R(1 + sR_{esr}C)} \hat{v}_o(s) \right] + \hat{v}_o(s) = 0 \\
 \Leftrightarrow & \left[\left(\frac{R_L + sL}{D'^2} \right) \frac{s(R + R_{esr})C + 1}{R(1 + sR_{esr}C)} + 1 \right] \hat{v}_o(s) = \left(\frac{V_0}{D'} - \frac{R_L + sL}{D'^2} I_L \right) \hat{d}(s) \\
 \Leftrightarrow & \left[\frac{R_L + sL}{RD'^2} \cdot (s(R + R_{esr})C + 1) + (1 + sR_{esr}C) \right] \hat{v}_o(s) = \left(\frac{V_0}{D'} - \frac{R_L + sL}{D'^2} \frac{V_0}{RD'} \right) (1 + sR_{esr}C) \hat{d}(s) \\
 \Rightarrow & G_{vd}(s) = \frac{\hat{v}_o(s)}{\hat{d}(s)} = \frac{V_0}{D'} \cdot \frac{\left(1 - \frac{R_L + sL}{RD'^2} \right) (1 + sR_{esr}C)}{s^2 \frac{LC(R + R_{esr})}{RD'^2} + s \left(\frac{R_L(R + R_{esr})C + L}{RD'^2} + R_{esr}C \right) + \frac{R_L}{RD'^2} + 1} \quad (3.15)
 \end{aligned}$$

Cân bằng dòng điện trong mạch Hình 4.17b thu được:

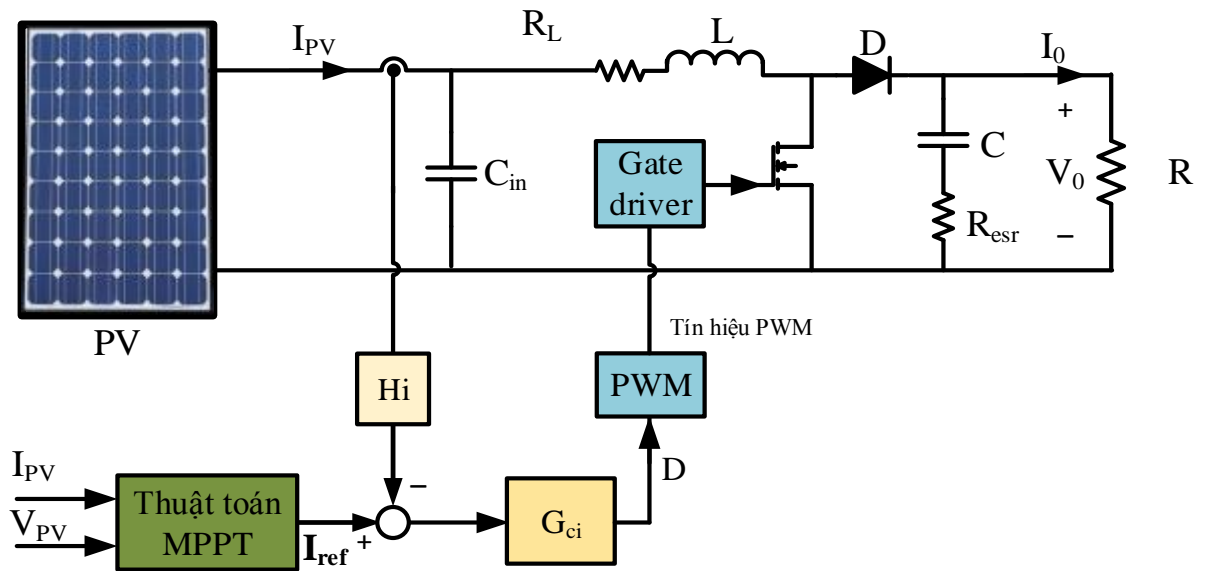
$$\begin{aligned}
 \hat{i}_L(s) D' &= I_L \hat{d}(s) + \frac{\hat{v}_o}{\left(\frac{1}{sC} + R_{esr} \right) // R} \\
 \hat{i}_L(s) &= \frac{1}{D'} \left[I_L \hat{d}(s) + \frac{s(R + R_{esr})C + 1}{R(1 + sR_{esr}C)} \hat{v}_o(s) \right]
 \end{aligned}$$

Kết hợp với \hat{v}_o từ hàm truyền (3.15) suy ra được hàm truyền của đối tượng dòng điện:

$$G_{id}(s) = \frac{\hat{i}_L(s)}{\hat{d}(s)} = \frac{V_0}{RD'^2} \cdot \frac{s(R + 2R_{esr})C + 2}{s^2 \frac{LC(R + R_{esr})}{RD'^2} + s \left(\frac{R_L(R + R_{esr})C + L}{RD'^2} + R_{esr}C \right) + \frac{R_L}{RD'^2} + 1} \quad (3.16)$$

Xây dựng cấu trúc điều khiển và thiết kế bộ điều khiển cho đối tượng dòng có hàm truyền (3.16) được thiết kế ở mục tiếp theo. Mục đích của việc thiết kế bộ điều khiển dòng cho bộ biến đổi Boost này nhằm phục vụ cho thuật toán INC và P&O điều khiển gián tiếp thông qua dòng điện tham chiếu. Dòng điện tham chiếu này được theo dõi bám theo dòng tại điểm có công suất cực đại của pin mặt trời ứng với các điều kiện khí hậu thực tế.

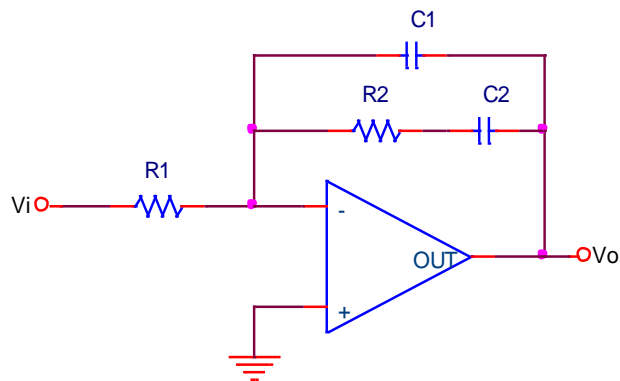
3.4.2. Cấu trúc bộ điều khiển



Hình 3.18. Cấu trúc điều khiển dòng cho bộ biến đổi Boost.

3.4.3. Thiết kế bộ điều khiển dòng điện

a. Bộ bù loại 2



Hình 3.19. Cấu trúc bộ bù loại 2.

Từ sơ đồ mạch hình 3.19 dễ dàng suy ra được hàm truyền của bộ bù loại 2 như sau

:

$$G_c(s) = \frac{v_o}{v_i} = \frac{sC_2R_2 + 1}{R_1C_1s(sC_{12}R_2 + 1)} \quad (3.17)$$

với $C_{12} = \frac{C_1C_2}{C_1 + C_2}$

Hàm truyền (3.17) được viết gọn lại như sau :

$$G_c(s) = \frac{G_{c0} \left(\frac{s}{\omega_z} + 1 \right)}{s \left(\frac{s}{\omega_p} + 1 \right)} \quad (3.18)$$

Điểm không và điểm cực được cho bởi các công thức sau:

$$\omega_z = \frac{1}{C_2 R_2} \quad (3.19)$$

$$\omega_p = \frac{1}{C_{12} R_2} \quad (3.20)$$

Hệ số khếch đại của bộ điều khiển :

$$G_{c0} = \frac{1}{R_1(C_1 + C_2)} \quad (3.21)$$

Biên độ và pha của hàm truyền ở phương trình (3.18) ở tần số ω có thể được tính toán như sau:

$$|G_c(j\omega)| = \frac{G_{c0}}{\omega} \frac{\left| 1 + j \frac{\omega}{\omega_z} \right|}{\left| 1 + j \frac{\omega}{\omega_p} \right|} = \frac{G_{c0}}{\omega} \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_z} \right)^2}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_p} \right)^2}} \quad (3.22)$$

$$\begin{aligned} \varphi_c(\omega) &= \varphi\left(\frac{G_{c0}}{j\omega}\right) + \varphi\left(1 + j \frac{\omega}{\omega_z}\right) - \varphi\left(1 + j \frac{\omega}{\omega_p}\right) \\ &= \tan^{-1} \frac{\omega}{\omega_z} - \tan^{-1} \frac{\omega}{\omega_p} - \frac{\pi}{2} \\ &= \tan^{-1} \frac{\omega(\omega_p - \omega_z)}{\omega^2 + \omega_z \omega_p} - \frac{\pi}{2} \end{aligned} \quad (3.23)$$

Pha của bộ bù theo công thức (3.23) đạt giá trị lớn nhất tại tần số góc :

$$\omega_m = \sqrt{\omega_p \omega_z} \quad (3.24)$$

Cho tần số cắt mong muốn ω_c và độ dự trữ pha mong muốn ϕ_m . Tại tần số cắt ω_c đối tượng điều khiển có biên độ G_p và độ dự trữ pha ϕ_p . Để việc lựa chọn các tham số của bộ điều khiển trở nên đơn giản, nên biểu diễn mối quan hệ ω_m với tần số cắt mong muốn như sau:

$$\omega_m = \alpha \omega_c \quad (3.25)$$

Trong đó α là hệ số điều chỉnh, thông thường chọn $\alpha = 1$.

Tại tần số cắt phương trình (3.23), (3.24), (3.25) trở thành :

$$\phi_c(\omega_c) = \tan^{-1} \frac{\omega_c(\omega_p - \omega_z)}{\omega_c^2 + \omega_z \omega_p} - \frac{\pi}{2} = \tan^{-1} \frac{(\omega_p - \omega_z)}{\omega_c(1 + \alpha^2)} - \frac{\pi}{2} \quad (3.26)$$

Để đáp ứng yêu cầu về độ dự trữ pha, cần phải làm thỏa mãn phương trình sau :

$$\begin{aligned} \phi_c(\omega_c) + \phi_p + \pi &= \phi_m \\ \Rightarrow \tan^{-1} \frac{(\omega_p - \omega_z)}{\omega_c(1 + \alpha^2)} &= \phi_m - \phi_p - \frac{\pi}{2} \\ \Rightarrow \frac{(\omega_p - \omega_z)}{\omega_c(1 + \alpha^2)} &= \tan\left(\phi_m - \phi_p - \frac{\pi}{2}\right) = \cot(\phi_p - \phi_m) \\ \Rightarrow \omega_p - \omega_z &= \omega_c(1 + \alpha^2) \cot(\phi_p - \phi_m) = \omega_d \end{aligned} \quad (3.27)$$

Giải hệ (3.24) và (3.27) sau sẽ ra được điểm không và điểm cực:

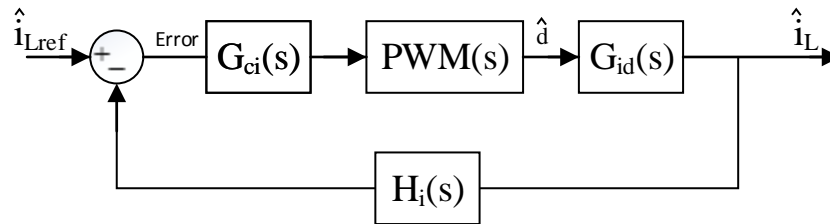
$$\begin{cases} \omega_z = 0.5(\sqrt{\omega_d^2 + 4\omega_m^2} - \omega_d) \\ \omega_p = 0.5(\sqrt{\omega_d^2 + 4\omega_m^2} + \omega_d) \end{cases} \quad (3.28)$$

Tại tần số cắt : $|G_c(j\omega_c)| |G_p(j\omega_c)| = 1$

$$\text{Do đó, suy ra hệ số khếch đại của bộ bù loại 2 : } G_{c0} = \frac{\omega_c}{|G_p(j\omega_c)|} \sqrt{\frac{1 + (\frac{\omega_c}{\omega_p})^2}{1 + (\frac{\omega_c}{\omega_z})^2}} \quad (3.29)$$

Bây giờ ứng dụng phương pháp thiết kế bộ điều khiển đã nêu trên vào các mạch vòng điều khiển dòng điện và mạch vòng điều khiển điện áp.

b. Mạch vòng điều khiển dòng điện



Hình 3.20. Sơ đồ điều khiển mạch vòng dòng điện.

Vòng điều khiển dòng có đặc tính động học nhanh và vòng lặp điện áp có đặc tính động thấp hơn. Do đó, dòng điện của cuộn cảm có thể thay đổi rất nhanh so với điện áp ra.

Theo (3.16) hàm truyền của vòng điều khiển dòng điện :

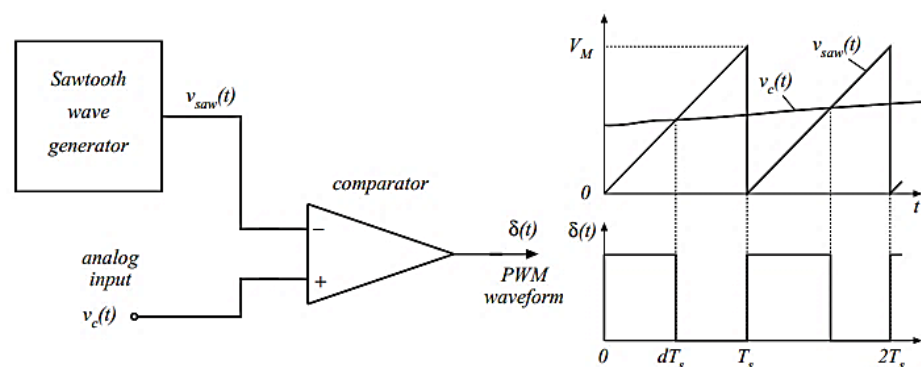
$$G_{id}(s) = \frac{0,008347s + 48}{1,739 \cdot 10^{-8}s^2 + 7,658 \cdot 10^{-5}s + 4,07}$$

Bộ bù được thiết kế để tăng độ lợi ở tần số thấp và giảm sai số ở trạng thái ổn định giữa giá trị mong muốn với giá trị thực của dòng cuộn cảm khi duy trì PM dương tại tần số cắt lựa chọn.

Hệ số phản hồi $H_i(s)$: dòng điện trung bình $I_L = \frac{P}{V_{in}} = \frac{80}{18} = \frac{40}{9} \approx 4,44 [A]$ qua

cuộn cảm. Do dòng qua cuộn cảm nhỏ nên chọn $H_i(s)=1$.

Thiết kế bộ điều chế: có thể là một sóng tam giác hoặc 1 xung răng cưa, có thể đơn cực hoặc lưỡng cực được sử dụng như một tín hiệu sóng mang. Tần số của sóng mang nên cùng với tần số cắt của bộ chuyển đổi.



Hình 3.21. Sơ đồ khối và dạng sóng của khối PWM.

Chọn $V_M = 5V$

$$\text{Hàm truyền của bộ điều chế : } PWM(s) = \frac{1}{V_M} \cdot \frac{1 - \frac{s}{4f_s}}{1 + \frac{s}{4f_s}} = \frac{0,2 - 5 \cdot 10^{-7} s}{1 + 2,5 \cdot 10^{-6} s}$$

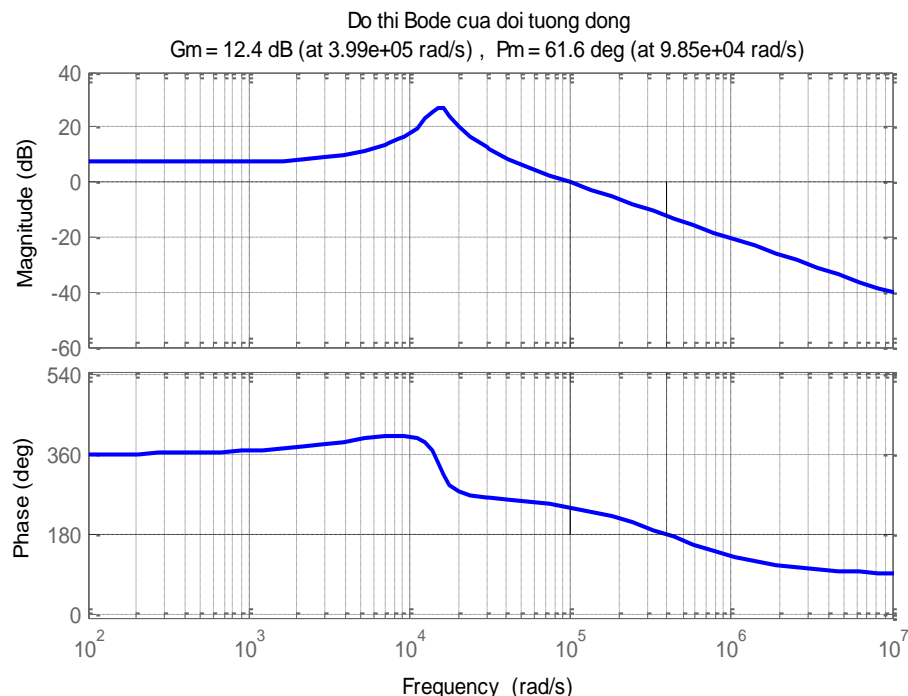
Hàm truyền vòng hở $G_{ih}(s)$ của mạch vòng dòng điện được cho bởi :

$$G_{ih}(s) = H_i(s) \cdot G_{ci}(s) \cdot PWM(s) \cdot G_{id}(s)$$

Đối tượng của mạch vòng điều khiển dòng điện $G_{pi}(s)$ thu được khi chưa có tác động của bộ điều khiển có nghĩa là $G_{ci}(s) = 1$:

$$\begin{aligned} G_{pi}(s) &= G_{ih}(s) \Big|_{G_{ci}(s)=1} = H_i(s) \cdot PWM(s) \cdot G_{id}(s) \\ &= \frac{0,008347s + 48}{1,739 \cdot 10^{-8} s^2 + 7,658 \cdot 10^{-5} s + 4,07} \cdot \frac{0,2 - 5 \cdot 10^{-7} s}{1 + 2,5 \cdot 10^{-6} s} \end{aligned}$$

Suy ra, đồ thị Bode của đối tượng vòng điều khiển dòng điện như Hình 4.24 :



Hình 3.22. Đồ thị bode của đối tượng dòng điện

Đối tượng có tần số cắt $f_c = 15,7 \text{ kHz}$, tại tần số cắt độ dự trữ pha là $61,6^\circ$ và đối tượng có độ dự trữ biên độ là 12,4 dB. Điều kiện chọn tần số cắt $f_c \leq \frac{f_s}{4} \leq 25 \text{ kHz}$.

Hệ hở có độ dự trữ pha càng cao thì hệ kín có độ vọt lố càng thấp. Các nghiên cứu thực nghiệm cho thấy độ dự trữ pha của hệ hở lớn hơn 60° thì độ vọt lố của hệ kín nhỏ hơn 10%.

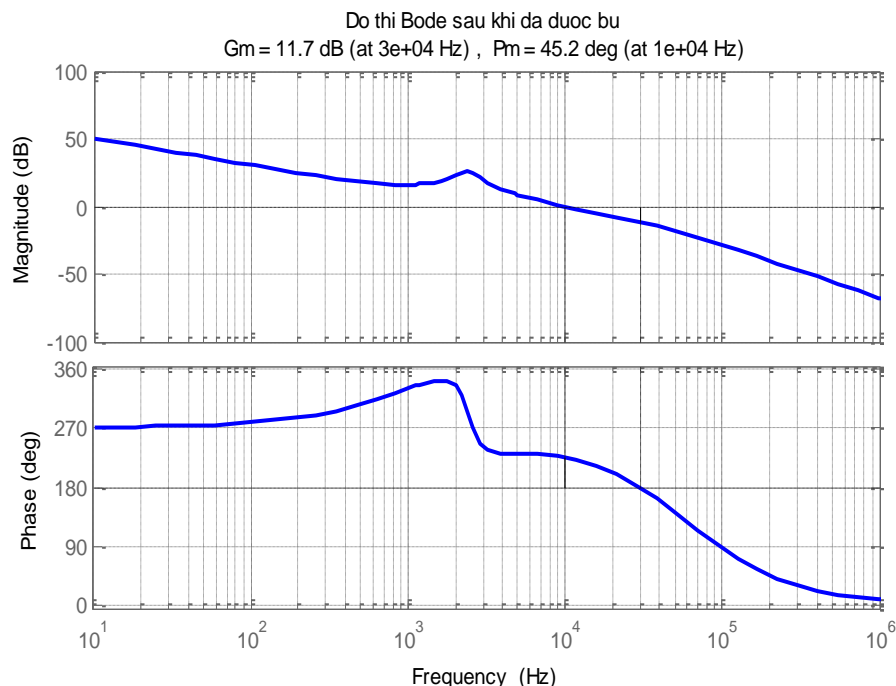
PM chọn là 45° tại tần số cắt $f_c = 10\text{kHz} \Rightarrow \omega_c = 2\pi f_c = 62,8\text{krad/s}$

Tại tần số cắt $f_c = 10\text{kHz}$ đối tượng dòng có góc pha và biên độ là :

$$\begin{cases} \varphi_p = 251^\circ \\ 20\log|G_{pi}(\omega_c)| = 4,23 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \varphi_p = 251^\circ \\ |G_{pi}(\omega_c)| = 1,6266 \end{cases}$$

Theo phương trình (4.27) và (4.28)

$$\begin{cases} \omega_d = \omega_c (1 + \alpha^2) \cot(\varphi_p - \varphi_m) = 257.5210^3 \text{ rad} \\ \omega_z = 0.5(\sqrt{\omega_d^2 + 4\omega_m^2} - \omega_d) = 14,5\text{krad} \\ \omega_p = 0.5(\sqrt{\omega_d^2 + 4\omega_m^2} + \omega_d) = 272\text{krad} \\ G_{c0} = \frac{\omega_c}{|G_{pi}(\omega_c)|} \sqrt{\frac{1 + (\frac{\omega_c}{\omega_p})^2}{1 + (\frac{\omega_c}{\omega_z})^2}} = 8914,28 \end{cases}$$



Hình 3.23. Đồ thị bode của mạch vòng dòng điện sau khi được bù.

$$\text{Vậy bộ bù loại 2 là : } G_c(s) = 8914,28 \cdot \frac{\left(\frac{s}{14,5 \cdot 10^3} + 1\right)}{s \left(\frac{s}{272 \cdot 10^3} + 1\right)}$$

3.5. Kết luận

Chương 3 này đã phân tích được nguyên lý hoạt động của BBD Boost, tiến hành mô hình hóa BBD Boost để đưa ra được hàm truyền G_{id} phục vụ cho việc thiết kế bộ điều khiển dòng điện (bộ bù loại 2). Bộ điều khiển đã được thiết kế thỏa mãn các tiêu chí đề ra để phục vụ cho việc mô phỏng trong chương 4. Chương 4 sẽ tiến hành mô phỏng để kiểm chứng lại lý thuyết đã được đề cập trong các chương trước đó.

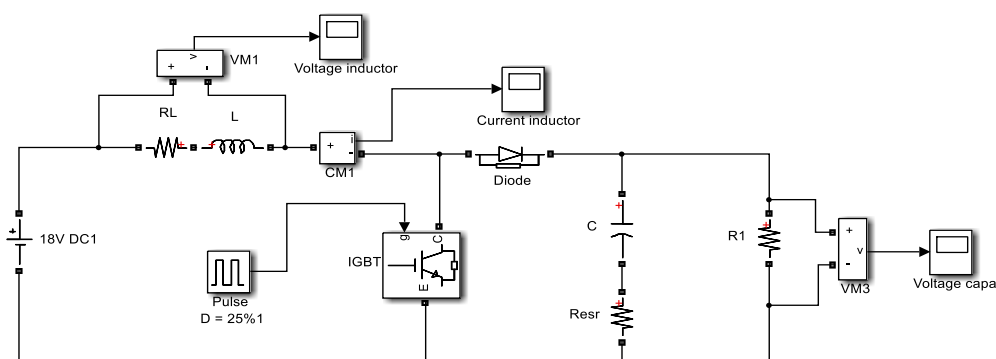
Chương 4

MÔ PHỎNG HỆ THỐNG BẮM CÔNG SUẤT CỰC ĐẠI

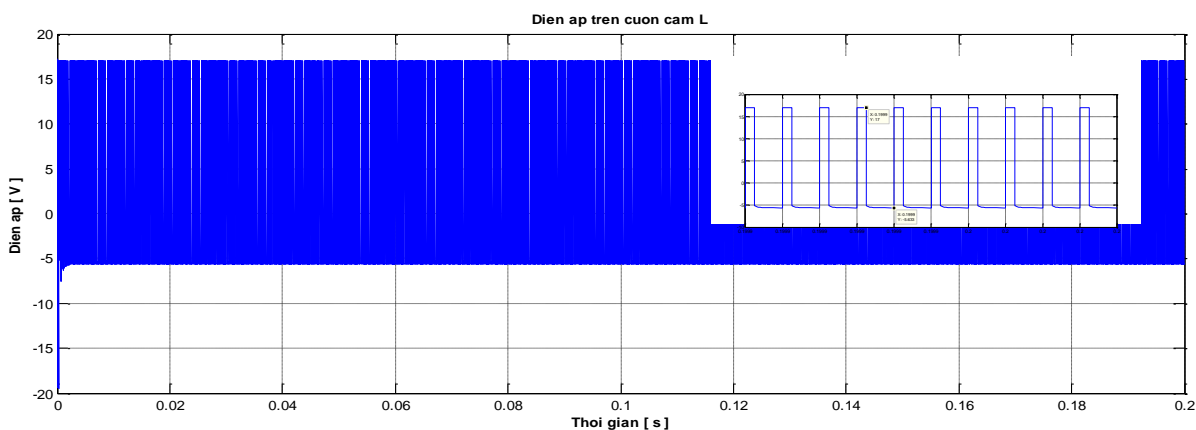
4.1. Mô phỏng bộ biến đổi Boost

Điều kiện mô phỏng:

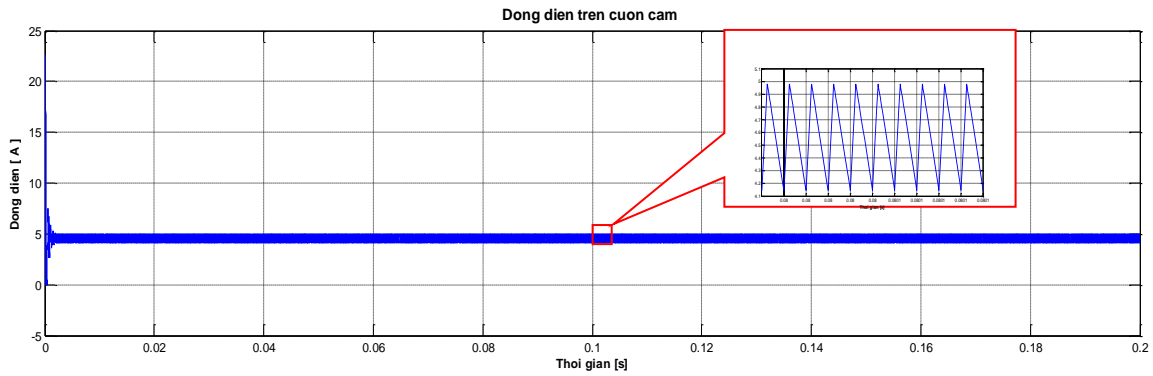
- Nguồn cấp ứng với điện áp ra tại điểm MPP của PMT ở điều kiện tiêu chuẩn (bức xạ 1000W/m^2 và nhiệt độ 25°C): 18V.
- Chu kỳ hoạt động: $D = 25\%$.
- Thời gian mô phỏng: 0.2s.
- Tải trở : $R = 7,2\Omega$.



Hình 4.1. Sơ đồ mô phỏng BBD Boost.

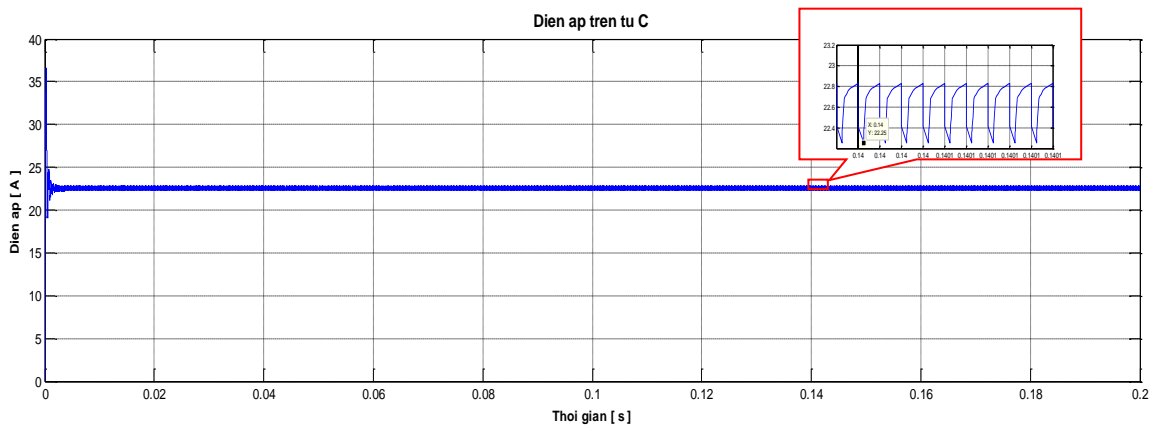


Hình 4.2. Điện áp trên cuộn cảm.



Hình 4.3. Dòng điện trên cuộn cảm.

Theo hình 4.3 dòng điện trên cuộn cảm trung bình đạt được là 4,5A và Độ dao động so với giá trị dòng trung bình $\Delta I_L = (4,5 - 4,145) = 0,355$ [A]. Phù hợp với tính toán lý thuyết.



Hình 4.4. Điện áp ra trên tụ điện C.

Theo hình 4.4 điện áp trên tụ trung bình 22,25V và độ dao động điện áp xung quang điện áp trung bình của tụ : $\Delta V = 22,55 - 22,25 = 0,3 < 0,48$ V.

Theo như mô phỏng kết quả thu được phù hợp với tính toán theo lý thuyết.

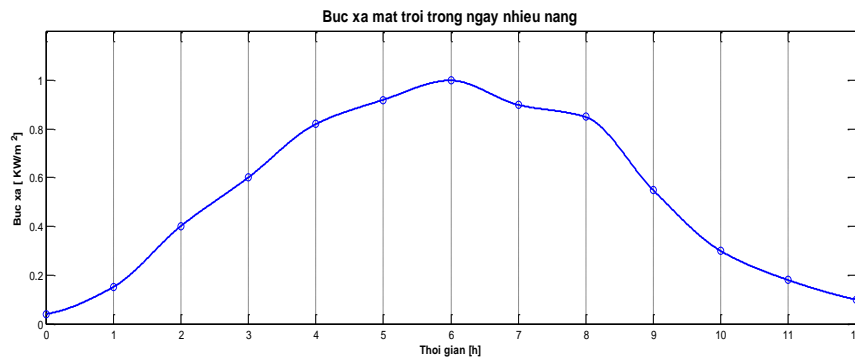
4.2. So sánh hai thuật toán bám công suất cực đại

Mục đích của phần này là so sánh hai thuật toán P&O và INC, nên mỗi mô phỏng chỉ gồm mô hình pin mặt trời và thuật toán bám công suất cực đại để loại bỏ bất kỳ ảnh hưởng nào từ bộ biến đổi hoặc tải. Hai thuật toán sẽ được kiểm chứng bằng dữ liệu bức xạ mặt trời đo được trong ngày trong 12h như được mô tả trong hình 4.5 và hình 4.7.

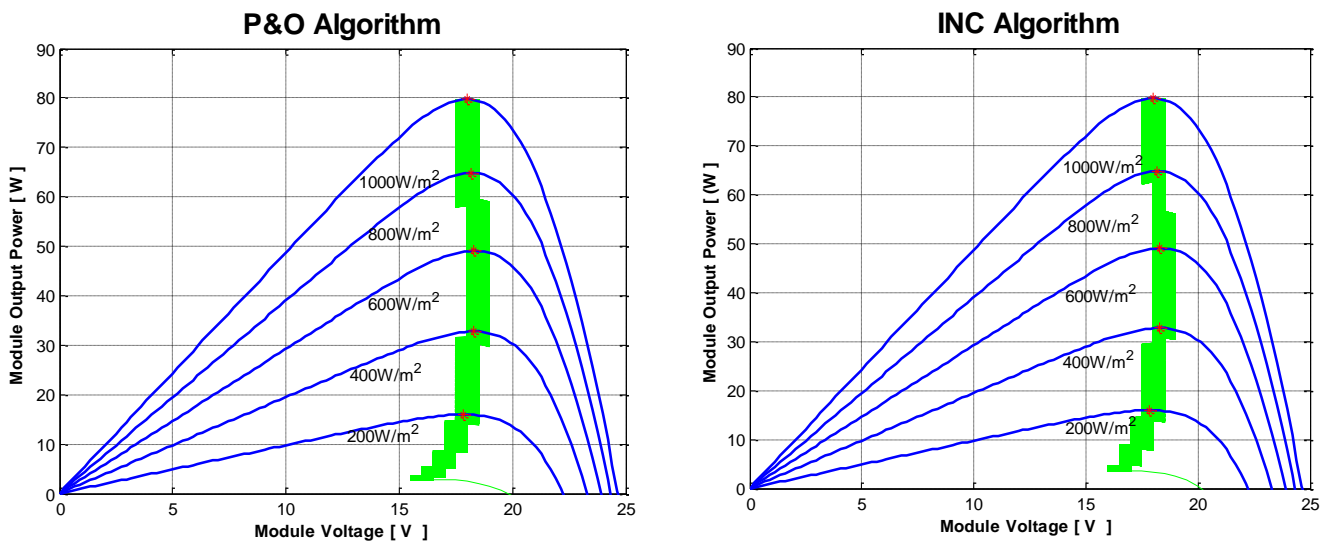
Sau đây chúng ta sẽ mô phỏng với hai kiểu thời tiết đặc trưng là ngày nhiều nắng và ngày nhiều mây.

a. So sánh khả năng làm việc của hai thuật toán trong ngày nắng

Trong ngày nhiều nắng, bức xạ mặt trời thay đổi từ từ. Điểm MPP được theo dõi rất dễ dàng. Hình 4.5 trình bày, cả hai thuật toán xác định và duy trì điểm hoạt động của hệ thống PMT rất gần với điểm MPP (điểm có dấu sao màu đỏ). Hầu như không có sự khác biệt nhiều giữa hai thuật toán trong trường hợp này.



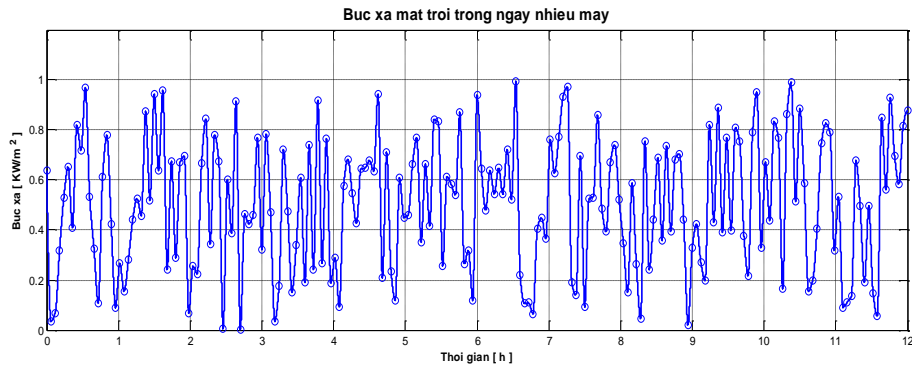
Hình 4.5. dữ liệu bức xạ mặt trời dùng cho mô phỏng.



Hình 4.6. Dấu vết theo dõi điểm MPP trong ngày nhiều nắng (25°C).

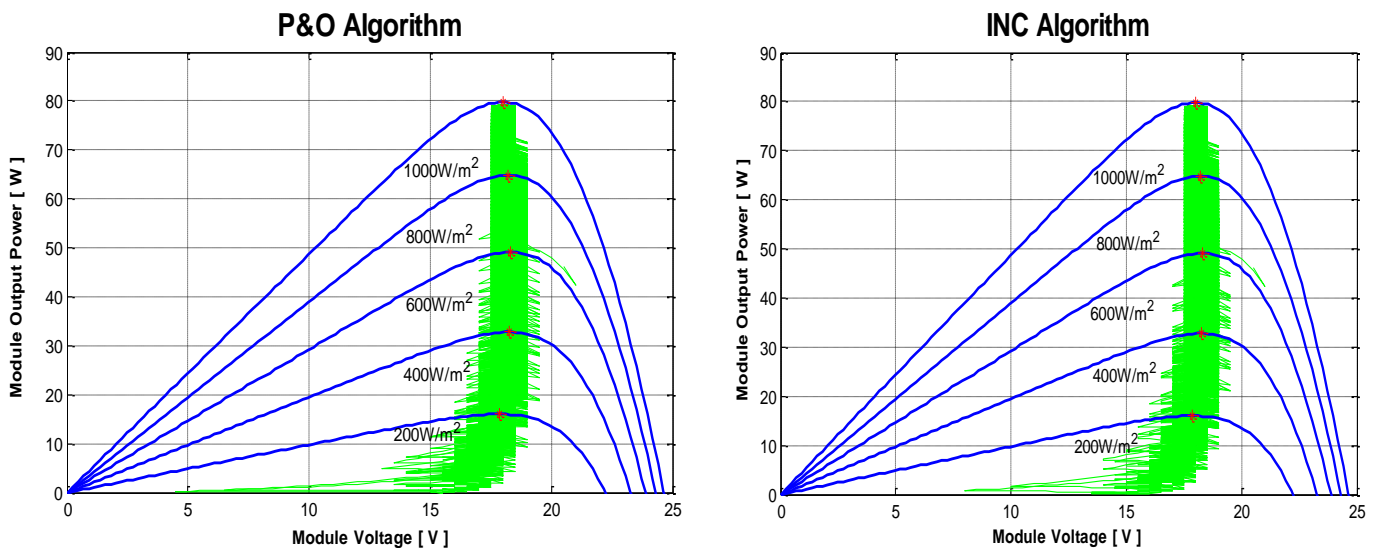
b. So sánh khả năng bám điểm có công suất cực đại của hai thuật toán trong ngày nhiều mây

Trong ngày nhiều mây, thời tiết thay đổi đột ngột, các đám mây di chuyển che khuất tấm PMT sẽ làm cho cường độ bức xạ mặt trời chiếu tới tấm PMT thay đổi nhanh chóng trong khi đó nhiệt độ thay đổi chậm chạp. Hình 4.7 mô tả dạng thời tiết tiêu biểu cho quá trình biến đổi khí hậu cho ngày nhiều mây.



Hình 4.7. dữ liệu bức xạ mặt trời trong ngày nhiều mây.

Hình 4.8 mô tả quá trình bám điểm có công suất cực đại MPP của hai thuật toán P&O và INC. Thuật toán P&O có độ lệch của các điểm có công suất cực đại MPP lớn hơn một chút so với thuật toán INC. Khi điều kiện khí quyển thay đổi nhanh thì thuật toán INC tỏ ra làm việc tốt hơn thuật toán INC. Vì vậy, nếu khu vực có thời tiết thay đổi nhanh thì nên chọn thuật toán INC để nâng cao hiệu suất của hệ thống PMT.



Hình 4.8. Dấu vết theo dõi điểm MPP trong ngày nhiều mây (25°C).

4.3. Mô phỏng thuật toán bám công suất cực đại theo phương pháp điều khiển trực tiếp chu kỳ nhiệm vụ D ghép nối với tải thuần trở

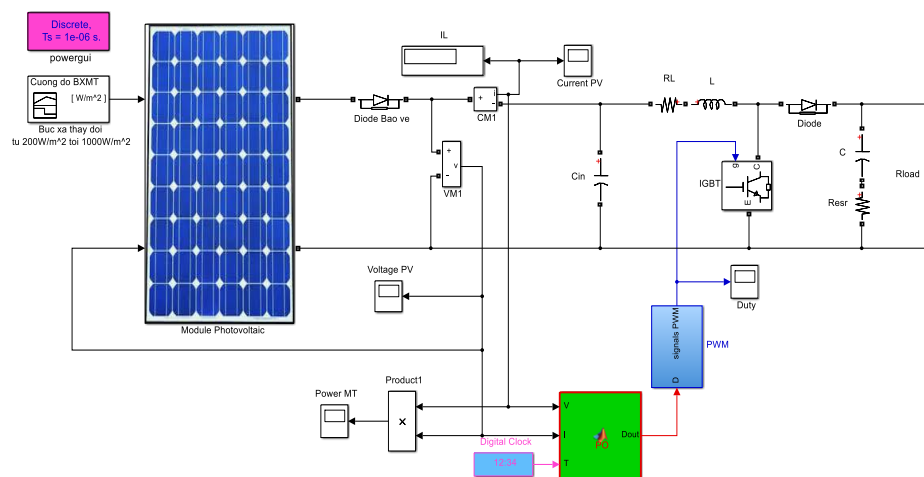
Do nhiệt độ có quán tính lớn nên nó thay đổi chậm hơn rất nhiều so với bức xạ mặt trời nên để đơn giản, các mô phỏng dưới đây sẽ không xét quá trình thay đổi của nhiệt độ. Nhiệt độ sẽ luôn được giữ cố định ở 25°C . Các mô phỏng dưới đây hệ thống PMT được ghép song song bởi hai tấm PMT. Bảng 4.1 liệt kê công suất cực đại ứng với

các bức xạ mặt trời của hai tấm PMT mắc song song để tăng dòng điện hoạt động.

Bảng 4.1. Dữ liệu các điểm công suất cực đại ứng với các bức xạ khác nhau.

Bức xạ mặt trời [W/m ²]	Công suất cực đại [W]	Dòng điện tại điểm MPP [A]
1000	160	8,88
800	126	7
600	91.68	5.08

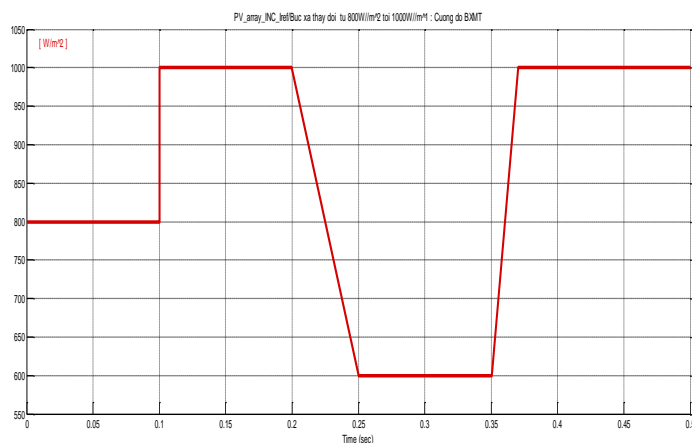
4.3.1. Mô phỏng thuật toán P&O điều khiển trực tiếp chu kỳ nhiệm vụ D



Hình 4.9. Sơ đồ mô phỏng MPPT với thuật toán P&O điều khiển trực tiếp chu kỳ D.

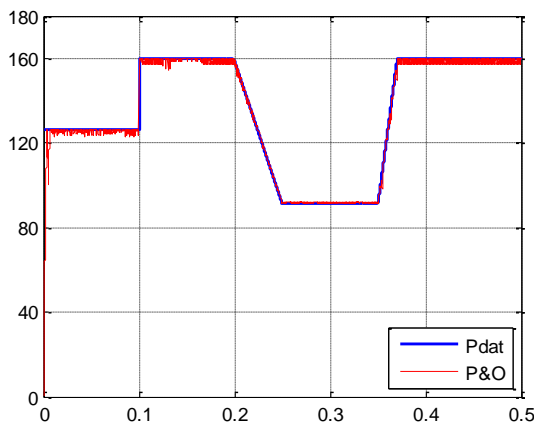
Điều kiện mô phỏng chung cho tất các mô phỏng phía dưới:

- Nhiệt độ được giữ không đổi ở 25°C
- Bức xạ mặt trời thay đổi giả định như trong hình 4.10.

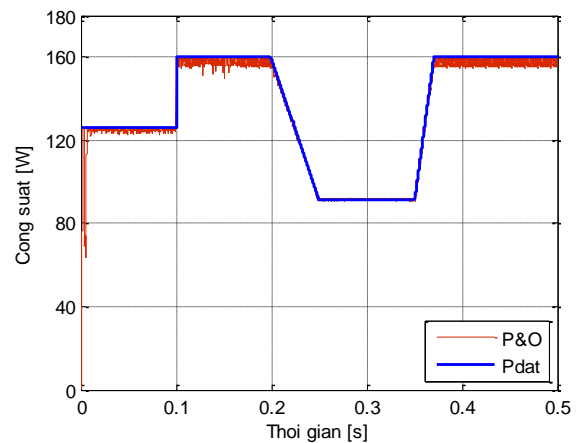


Hình 4.10. Bức xạ mặt trời thay đổi.

a. Thay đổi ΔD và thời gian trích mẫu dữ cố định $T_s = 0,0001s$



a. P&O với giá trị $\Delta D = 0.01$

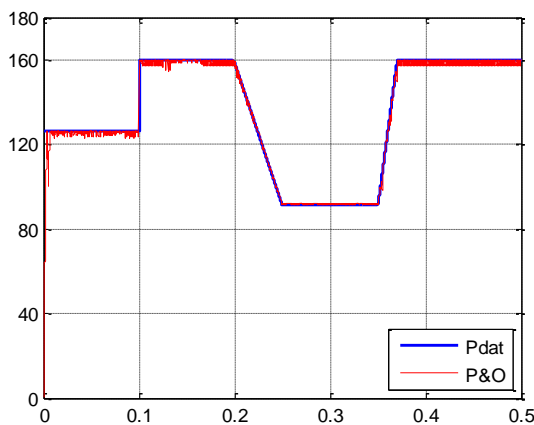


b. P&O với giá trị $\Delta D = 0.05$

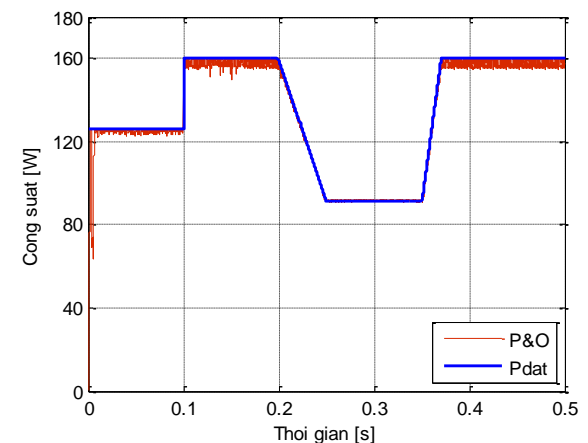
Hình 4.11. Thuật toán P&O với ΔD thay đổi và T_s cố định

Nhận xét: Công suất ra bám được công suất cực đại, khi ΔD tăng lên thì dao động xung quanh điểm MPP cũng tăng lên.

a. Thay đổi T_s và giá trị $\Delta D = 0,01$



a. $T_s = 0,0001s$



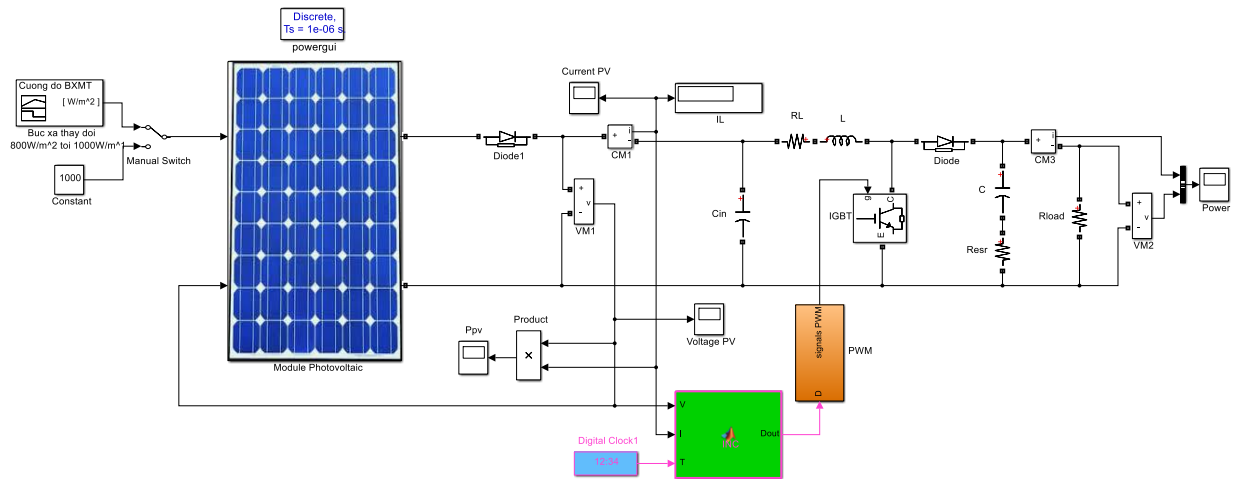
a. $T_s = 0,0002s$

Hình 4.12. Thuật toán P&O với ΔD cố định và T_s thay đổi.

Nhận xét:

- Hệ thống đã bám sát được điểm có công suất cực đại.
- Khi T_s tăng cũng làm cho hệ thống dao động mạnh hơn và thời gian hội tụ lâu hơn.

4.3.2. Mô phỏng thuật toán INC điều khiển trực tiếp chu kỳ nhiệm vụ

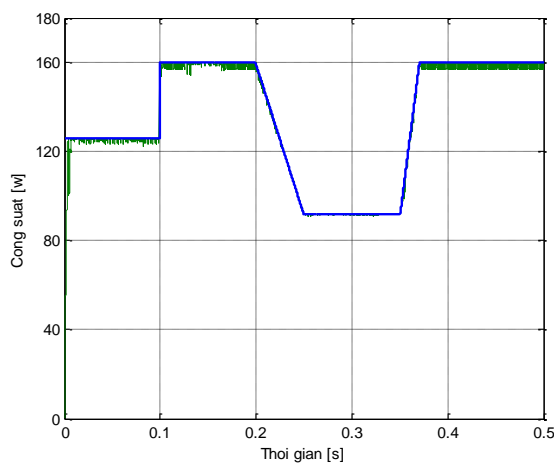


Hình 4.13. Sơ đồ mô phỏng MPPT với thuật toán INC điều khiển trực tiếp chu kỳ D.

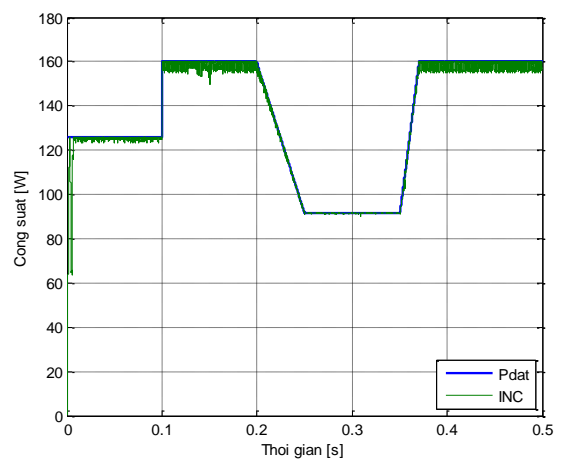
Điều kiện mô phỏng:

- Nhiệt độ được giữ không đổi ở 25°C
- Bức xạ mặt trời thay đổi giả định như trong hình 4.10.

a. Bước nhảy ΔD thay đổi và $T_s = 0,0001s$



a. INC với giá trị $\Delta D = 0.01$

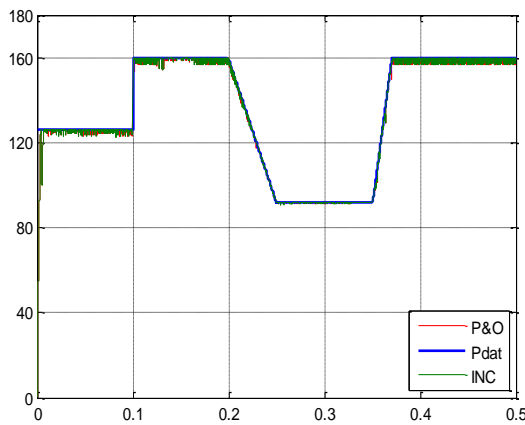


b. INC với giá trị $\Delta D = 0.05$

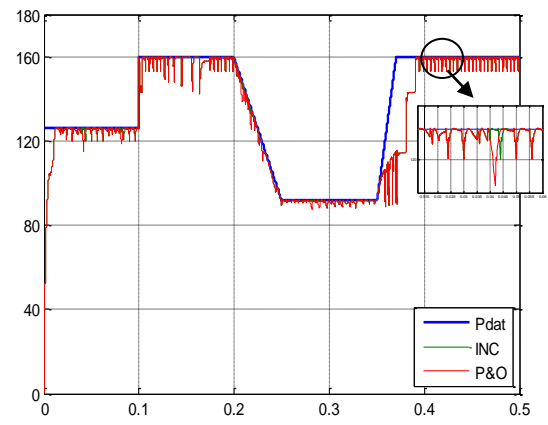
Hình 4.14. Thuật toán INC với ΔD thay đổi và T_s cố định.

Nhận xét: Công suất ra của pin bơm được công suất cực đại. Dao động quanh điểm làm việc ứng với giá trị ΔD lớn hơn sẽ lớn hơn.

b. Giá trị trích mẫu T_s thay đổi và giá trị $\Delta D = 0.03$



a. INC với giá trị trích mẫu $= 0,0001s$



b. INC với giá trị trích mẫu $= 0,002s$

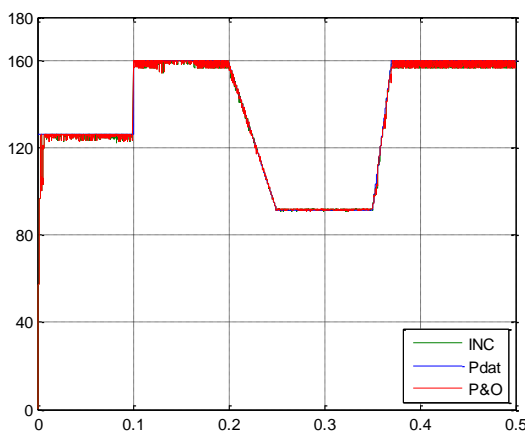
Hình 4.15. Mô phỏng INC với ΔD cố định và T_s thay đổi.

Nhận xét: Hệ thống đã bám được công suất cực đại, khi T_s tăng lên thời gian hội tụ cũng tăng lên và dao động mạnh hơn. Chất lượng của hai phương pháp không khác nhau là mấy.

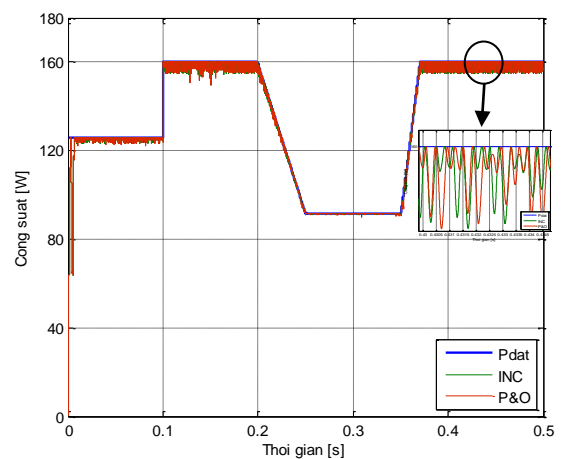
4.3.3. So sánh hai thuật toán điều khiển trực tiếp chu kỳ nhiệm vụ P&O và INC

Để tiện so sánh, tiến hành ghép tương ứng các kết quả mô phỏng ứng với các điều kiện giống nhau của hai thuật toán INC và P&O trong phần 4.3 lại.

a. Chu kỳ trích mẫu không đổi và ΔD thay đổi



a. $\Delta D = 0.01$

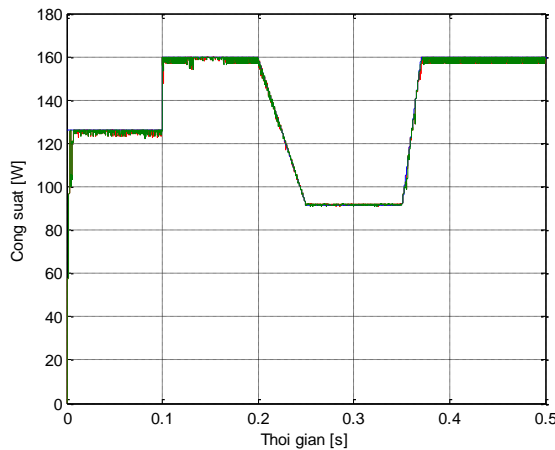


b. $\Delta D = 0.05$

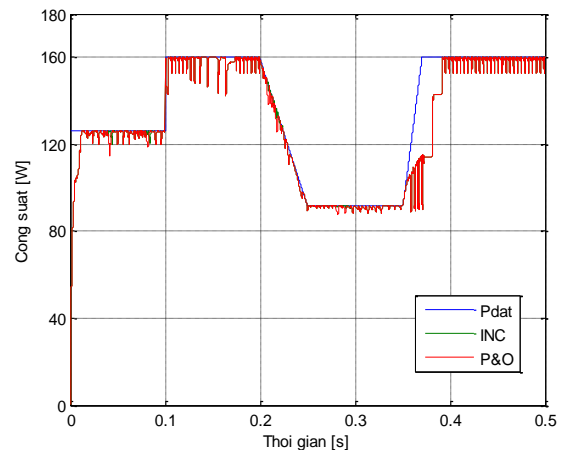
Hình 4.16. So sánh thuật toán P&O và INC điều khiển gián tiếp với T_s không đổi.

Nhận xét: Cả hai phương pháp đều có công suất ra của pin mặt trời bám theo được công suất cực đại của pin và dao động quanh điểm MPP lớn hơn nếu tăng hằng số ΔD . Chất lượng điều khiển bám công suất cực đại của hai thuật toán P&O và INC khi điều khiển trực tiếp chu kỳ nhiệm vụ D không có điểm khác biệt nhau là mấy.

b. Giá trị $\Delta D = 0,03$ không đổi T_s thay đổi



a. $T_s = 0,0001s$



b. $T_s = 0,0002s$

Hình 4.17. So sánh thuật toán P&O và INC điều khiển gián tiếp với ΔD không đổi.

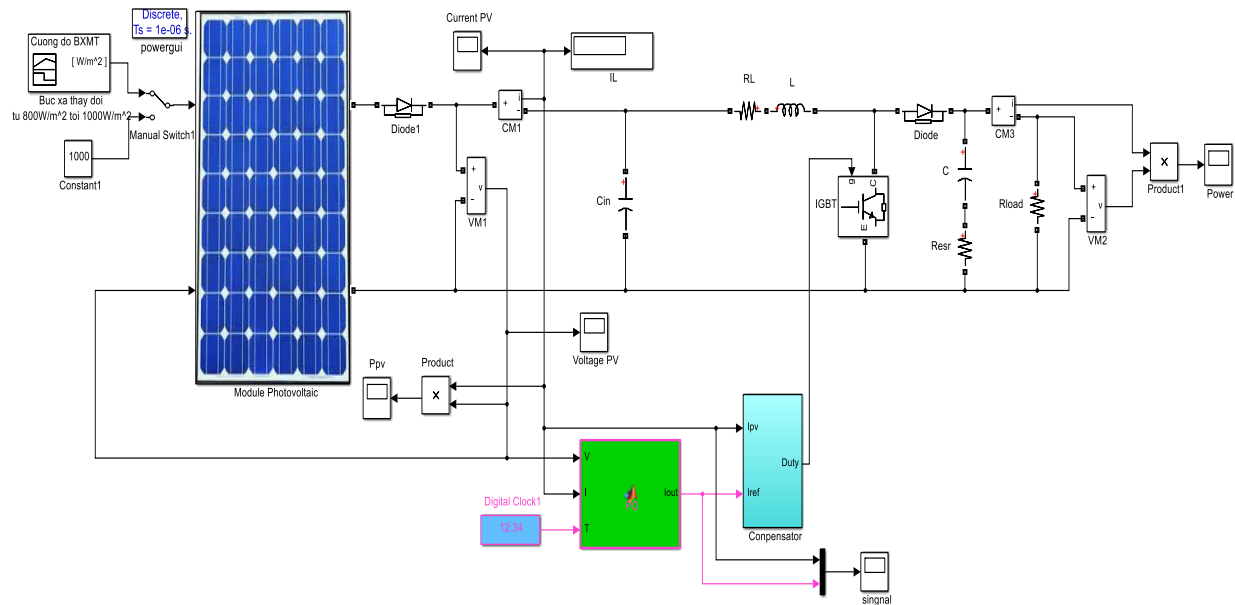
Nhận xét: cả hai phương pháp đều bám được công suất cực đại nhưng và trong điều kiện này chất lượng bám công suất cực đại của hai thuật toán không hơn kém nhau là bao nhiêu. Cả hai thuật toán đều dao động mạnh lên khi mà T_s tăng lên và lâu hội tụ.

4.4. Mô phỏng thuật toán bám điểm công suất cực đại gián tiếp thông qua bộ điều khiển và ghép nối với tải thuần trở

Điều kiện mô phỏng chung cho P&O và INC điều khiển gián tiếp theo dòng điện tham chiếu:

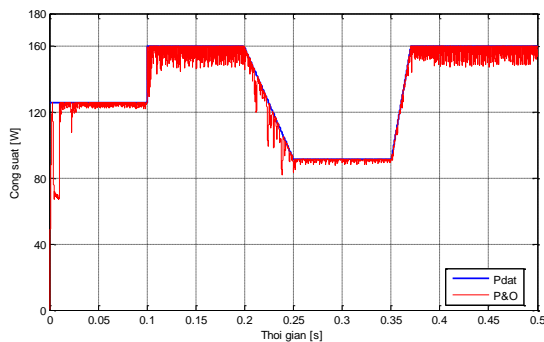
- Nhiệt độ của môi trường có quán tính lớn nên thay đổi rất chậm, để đơn giản trong việc mô phỏng và phân tích số liệu thì nhiệt độ được giữ cố định tại 25°C .
- Bức xạ mặt trời thay đổi liên tục như đã được mô tả trên hình 4.10
- Hệ thống PMT được ghép song song bởi hai tấm pin 80W .
- Thời gian mô phỏng 0,5s

4.4.1. Thuật toán P&O điều khiển gián tiếp

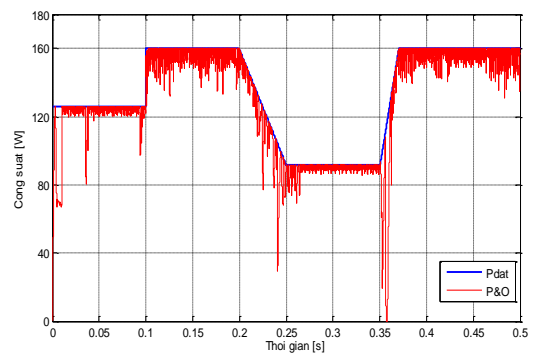


Hình 4.18. Mô phỏng thuật toán INC điều khiển trực tiếp.

a. Thời gian trích mẫu $T_s = 0,0001s$ và ΔI thay đổi



a. $\Delta I = 0.03A$

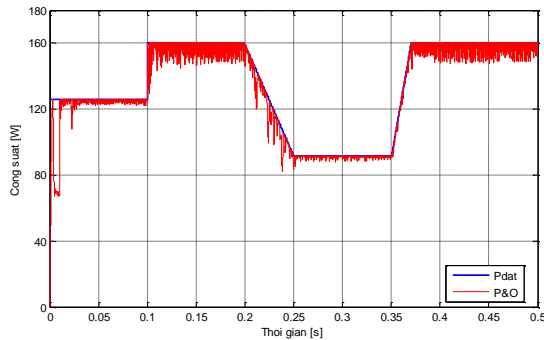


b. $\Delta I = 0.05A$

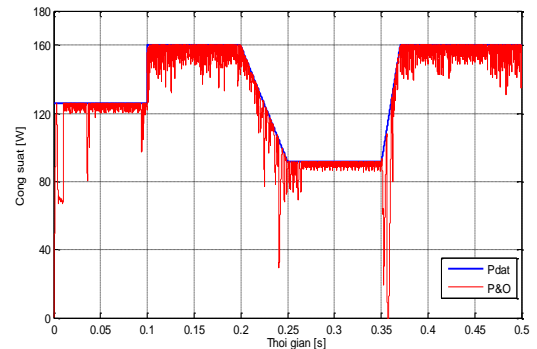
Hình 4.19. Thuật toán P&O điều khiển gián tiếp với giá trị T_s không đổi.

Nhận xét: khi T_s không đổi, công suất ra của pin sẽ bám được công suất cực đại. Hơn nữa, nếu giá trị ΔI tăng lên thì dao động quanh điểm MPP sẽ lớn gây giảm hiệu suất làm việc của hệ thống PMT.

b. Chu kỳ trích mẫu thay đổi và $\Delta I = 0,03A$



a. $T_s = 0,0001s$

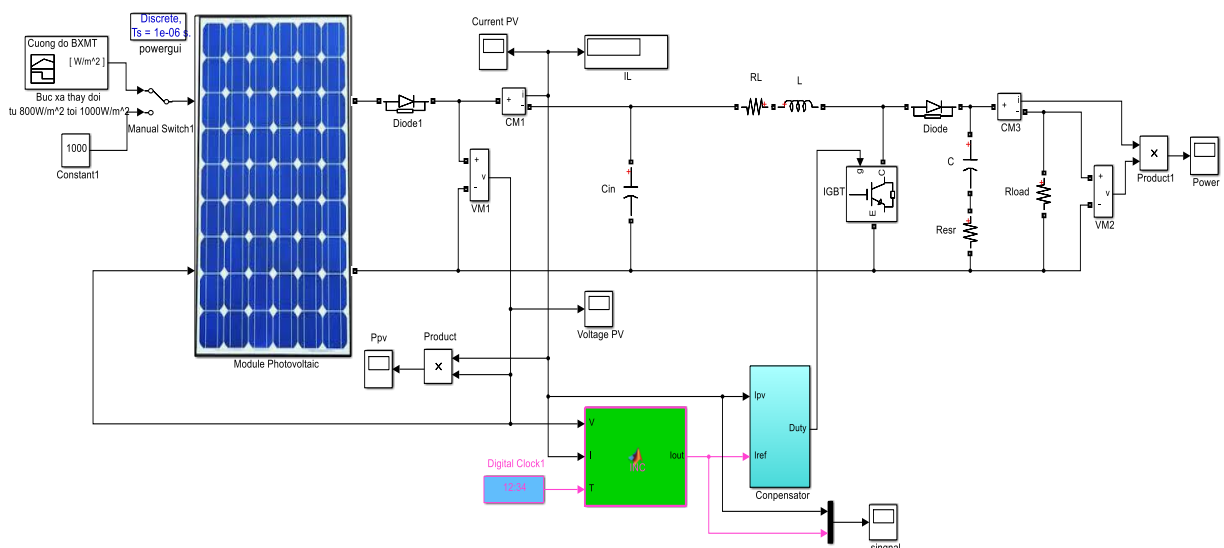


b. $T_s = 0,0002s$

Hình 4.20. Thuật toán P&O gián tiếp với T_s thay đổi và ΔI cố định.

Nhận xét: Hệ thống bám điểm công suất cực đại đã bám sát được điểm có công suất cực đại. Khi tăng giá trị ΔI lên thì dao động quanh điểm MPP cũng tăng lên. Làm giảm hiệu suất của hệ thống pin mặt trời.

4.4.2. Thuật toán INC điều khiển gián tiếp

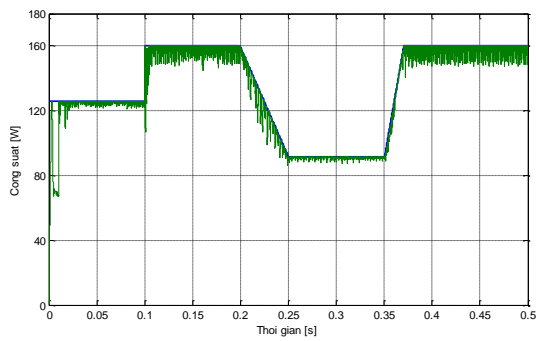


Hình 4.21. Sơ đồ điều khiển bám công suất cực đại sử dụng INC gián tiếp

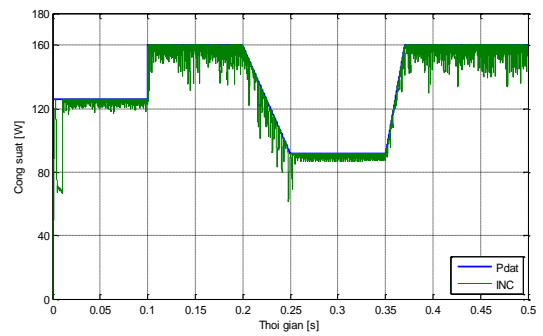
Điều kiện mô phỏng:

- Thời gian mô phỏng 0.5s
- Bức xạ mặt trời như ở trên hình 4.10

a. Chu kỳ trích mẫu không đổi ΔI thay đổi



a. $\Delta I = 0.03A$

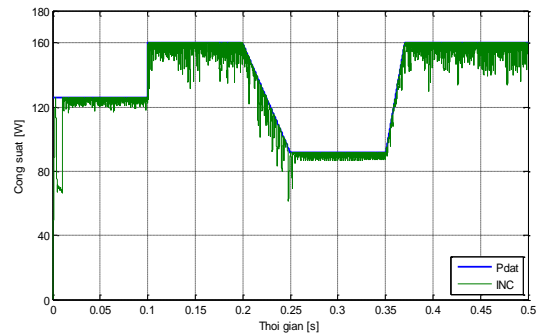
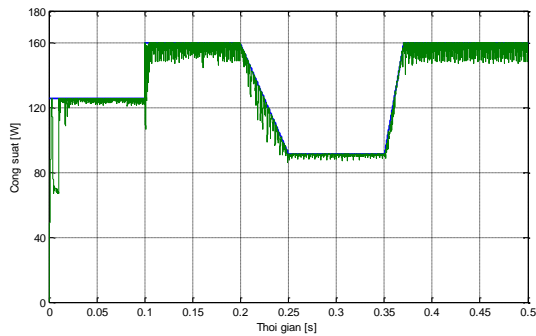


b. $\Delta I = 0.05A$

Hình 4.22. Thuật toán INC điều khiển gián tiếp với T_s cố định và ΔI thay đổi.

Nhận xét: với $T_s = 0.0001s$, hệ thống bám được công suất cực đại của PMT. Khi ΔI tăng lên thì dao động quanh điểm MPP cũng tăng lên như biểu diễn trên hình 2.23.

b. Chu kỳ trích mẫu T_s thay đổi và ΔI cố định



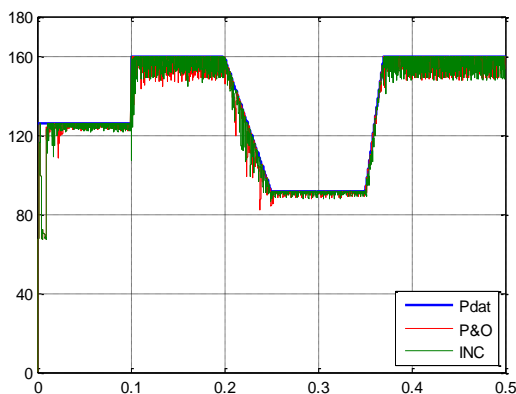
Hình 4.23. Thuật toán INC với chu kỳ trích mẫu T_s thay đổi và ΔI cố định.

Nhận xét: Hệ thống bám theo điểm làm việc với công suất ra của pin bám được công suất lớn nhất. Khi tăng giá trị ΔI lên thì dao động xung quanh điểm MPP tăng lên.

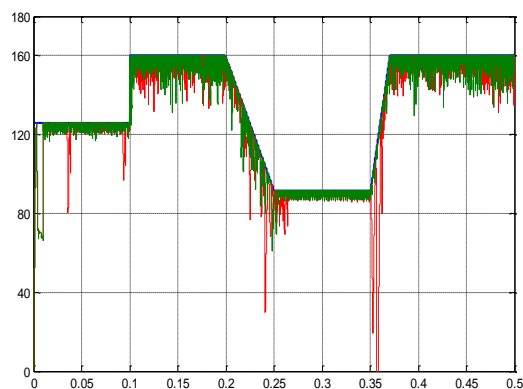
4.4.3. So sánh hai thuật toán điều khiển gián tiếp thông qua dòng tham chiếu INC và P&O

Để tiện so sánh, tiến hành ghép tương ứng các kết quả mô phỏng ứng với các điều kiện giống nhau của hai thuật toán INC và P&O điều khiển theo dòng điện tham chiếu trong phần 4.4 lại.

a. Chu kỳ trích mẫu không đổi $T_s = 0,0001s$ và ΔI thay đổi



a. Giá trị $\Delta I = 0.03A$

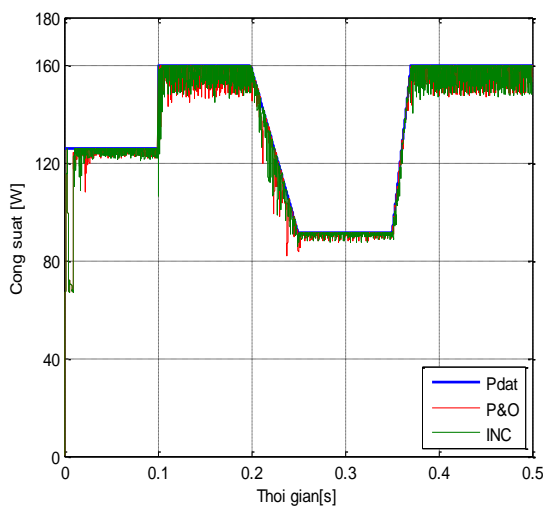


b. Giá trị $\Delta I = 0.05A$

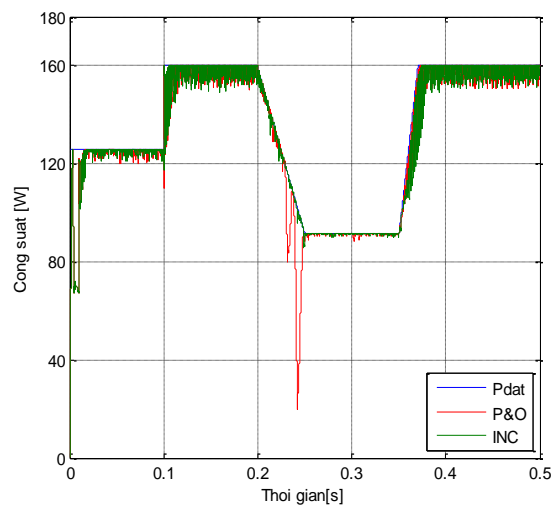
Hình 4.24. So sánh hai thuật toán INC và P&O điều khiển gián tiếp với ΔI thay đổi.

Nhận xét: ΔI tăng lên thì dao động xung quanh điểm làm việc của cả P&O và INC tăng lên. Dao động xung quanh điểm làm việc của P&O (màu đỏ) lớn hơn so với INC (màu xanh lá mạ).

b. Chu kỳ trích mẫu thay đổi và $\Delta I = 0,03A$



a. Giá trị $T_s = 0,0001s$



b. Giá trị $T_s = 0,0002s$

Hình 4.25. So sánh hai thuật toán INC và P&O điều khiển gián tiếp với T_s thay đổi.

Nhận xét: khi ΔI cố định và T_s thay đổi hệ thống pin bám theo công suất cực đại và khi T_s tăng lên thì dao động mạnh lên và lâu hội tụ. Dao động xung quanh điểm làm việc của P&O (màu đỏ) lớn hơn so với INC (màu xanh lá mạ).

Nhận xét chung: khi thay đổi giá trị ΔI và ΔD thì độ dao động quanh điểm MPP thay đổi. ΔI và ΔD tăng thì dao động quanh điểm MPP tăng lên chất lượng và hiệu suất hệ thống PMT giảm và ngược lại. Trong hai trường hợp mô phỏng thì thuật toán P&O có chất lượng bám điểm có công suất cực đại kém hơn so với thuật toán INC. Ngoài ra, nếu thanh đổi thời gian trích mẫu thì cũng ảnh hưởng rất lớn tới dao động và độ hội tụ của thuật toán MPPT. Nếu thời gian trích mẫu mà lớn dẫn tới thời gian hội tụ lớn hơn và dao động của công suất quanh điểm công suất cực đại là lớn.

KẾT LUẬN

Sau một thời gian nghiên cứu và làm việc nghiêm túc dưới sự hướng dẫn tận tình của ThS. Nguyễn Duy Đình em đã hoàn thành quyển đồ án tốt nghiệp này và đã giải quyết được các vấn đề nêu ra trong đề tài.

- Đã tìm hiểu được cấu tạo, nguyên lý hoạt động, đặc tính làm việc và công nghệ sản xuất của pin mặt trời.
- Nghiên cứu nguyên lý chung để lấy được công suất lớn nhất và các thuật toán bám điểm công suất cực đại, phân tích ưu – nhược điểm của từng phương pháp.
- Tiến hành mô phỏng kiểm chứng lý thuyết đã đưa ra.

Kết quả thu được: Bằng việc mô phỏng hai thuật toán INC và P&O theo hai phương pháp khác nhau là điều khiển trực tiếp chu kỳ nhiệm vụ D và điều khiển gián tiếp thông qua dòng tham chiếu với cùng một điều kiện mô phỏng: bức xạ mặt trời giống nhau, các giá trị bước nhảy ΔD và ΔI giống nhau. Có thể kết luận rằng: cả hai phương pháp đều bám công suất cực đại nhưng thuật toán INC hoạt động tốt hơn so với P&O, nhất là trong trường hợp thời tiết thay đổi nhanh. Độ dao động xung quanh điểm MPP của INC nhỏ hơn so với P&O.

Hai thuật toán này cũng tồn tại những nhược điểm như: không thể bám được công suất cực đại của hệ thống pin mặt trời nếu như đườn đặc tính $P - V$ có thêm các điểm MPP địa phương. Có thể hệ thống MPPT sẽ bám theo cực trị địa phương này.

Do thời gian có hạn và năng lực còn hạn chế nên quyển đồ án này còn nhiều điểm thiếu sót, còn nhiều vấn đề vẫn liên quan vẫn chưa được đề cập tới. Những nghiên cứu này chỉ dừng lại ở lý thuyết, thiếu quá trình thực nghiệm thực tế để có thể minh chứng minh các kết quả nghiên cứu đáp ứng với ứng dụng thực tế.

Em rất mong thầy cô và các bạn đóng góp thêm nhiều ý kiến, nhận xét quý báu để kiến thức của em được hoàn thiện hơn.

Qua đây, Một lần nữa em xin chân thành cảm ơn thầy ThS. Nguyễn Duy Đình đã tạo điều kiện và giúp đỡ em hoàn thành quyển đồ án tốt nghiệp này.

Em xin chân thành cảm ơn.

Hà Nội, ngày 12 tháng 06 năm 2014

Sinh viên thực hiện

Trương Văn Trọng

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bùi Tuấn ngọc, “*Bài Giảng Nguồn Điện Thông Tin*”, VNPT.
- [2] Ts. Hoàng Dương Hùng, *Năng lượng mặt trời lý thuyết và ứng dụng*, Đại học Bách Khoa Đà Nẵng.
- [3] Đặng Đình Thống, slide: “Năng Lượng Bức Xạ Mặt Trời, Công nghệ điện và nhiệt mặt trời”, Viện VLKT – BKHN.
- [4] Roberto F. Coelho, Filipe M. Concer, Denizar C. Martins, “Analytical and Experimental Analysis of DC-DC Converters in Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Applications”, Federal University of Santa Catarina - Brazil.
- [5] Roberto F. Coelho, Walbermark M. dos Santos and Denizar C. Martins. “Influence of Power Converters on PV Maximum Power Point Tracking Efficiency”, Federal University of Santa Catarina – Electrical Engineering Department.
- [6] N.M.Tiến, P.X.Khánh,Đ.V.Hiệp, H.T.K.Duyên, “Mô hình hóa, mô phỏng và thiết kế chế tạo bộ biến đổi công suất cho hệ thống Pin năng lượng mặt trời công suất nhỏ”, Hội nghị toàn quốc về Điều khiển và Tự động hoá - VCCA-2011.
- [7] Robert W. Erickson ,*Fundamentals of Power Electronics, second edition*. Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [8] Colonel Wm. T. McLyman ,*Transformer and inductor design handbook, Third edition*, Marcel Decker Inc, 2004.
- [9] Trần Trọng Minh, “*Bài giảng : Thiết kế điều khiển cho các bộ biến đổi Điện tử công suất*”, BKHN, 12/4/2013.
- [10] TI, “Voltage Mode Boost Converter Small Signal Control Loop Analysis Using the TPS61030”, Application Report SLVA274A–May 2007–Revised January 2009.
- [11] Liyu Cao, “Design Type II Compensation In A Systematic Way”, Ametek Programmable Power.
Website: <http://vi.scribd.com/doc/215284187/Type-II-Compensator>
- [12] Nguyễn Phùng Quang, *Matlab & Simulink dành cho kỹ sư điều khiển tự động*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật, 20008.

- [13] H.T.Hoàng, “*Slide Cơ sở tự động : Chương 3, Chương 6*”, 9 september 2011. Website : <http://www4.hcmut.edu.vn/~hthoang/cstd/index.htm> ,ngày truy cập gần nhất 6/5/2014.
- [14] Akihiro Oi, “Design and simulation of photovoltaic water pumping system”, September 2005.
- [15] <http://pinmattroi.com/kien-thuc-co-ban-ve-pin-mat-troi.html>, ngày truy cập gần nhất 5/6/2014.
- [16] “*slide PV module sinmulink models*”,Spring 2008.
- [17] <http://vietnamese.alibaba.com/product-gs/80w-mono-solar-panel-ks80m-36-18v-769735851.html>, ngày truy cập gần nhất 4/5/2014.
- [18] Datasheet, “*Solid Tantalum Chip Capacitors, TANTAMOUNT®, Conformal Coated, Maximum CV, Low ESR*”, vishay.com.

PHỤ LỤC

P1. Hàm mô phỏng tế bào PMT

```
function Ipv = solar(Va,G,TaC)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Dau ra: Ipv = dong dien hoat dong cua module (A)
% Dau vao:
%     Va = dien ap cua module PV (V),
%     G = Buc xa mat troi (1G = 1000 W/m^2)
%     TaC = Nhiet do cua module PV (oC)
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Ding nghĩa các hằng số
k = 1.381e-23;           % Hằng số Boltzmann
q = 1.602e-19;          % diện tích electron

% curve fitting of I-V character (Use data for 1000W/m^2)
n = 1.62;                % He số Diode lý tưởng (n),
                        % 1 (diode lý tưởng) < n < 2
Eg = 1.12;               % năng lượng Bandgap; 1.12eV (Si), 1.42 (GaAs),
                        % 1.5 (CdTe), 1.75 (amorphous Si)
Ns = 36;                 % số lượng tế bào mắc nối tiếp
TrK = 298;               % Nhiệt độ chuẩn (25 oC)
Voc_TrK = 36*0.685 /Ns; % Voc (open circuit voltage per cell) @ temp TrK
Isc_TrK = 80/16.4;       % Isc (short circuit current per cell) @ temp TrK
a = 0.65e-3;             % He số nhiệt độ của Isc (0.065%/C)
% Định nghĩa biến
TaK = 273 + TaC;         % Nhiệt độ của module PV
Vc = Va / Ns;           % Điện áp cell
% Tính dòng ngắn mạch tại TaK
Isc = Isc_TrK * (1 + (a * (TaK - TrK)));
% Tính toán photon tạo ra dòng điện tại bức xạ G
Iph = G * Isc;
% Định nghĩa điện thế nhiệt (Vt) tại nhiệt độ TrK
Vt_TrK = n * k * TrK / q;
```

```
% Định nghĩa b = Eg * q / (n*k);
b = Eg * q / (n * k);
% Tính toán dòng ngược bão hòa
Ir_TrK = Isc_TrK / (exp(Voc_TrK / Vt_TrK) - 1);
Ir = Ir_TrK * (TaK / TrK)^(3/n) * exp(-b * (1 / TaK - 1 / TrK));
% Tính toán trở kháng cho các tế bào (Rs = 5.1mOhm)
dVdI_Voc = -1.0/Ns;
Xv = Ir_TrK / Vt_TrK * exp(Voc_TrK / Vt_TrK);
Rs = - dVdI_Voc - 1/Xv;
% Định nghĩa điện thế nhiệt (Vt) tại nhiệt độ Ta
Vt_Ta = n * k * TaK / q;
% Ipv = Iph - Ir * (exp((Vc + Ipv * Rs) / Vt_Ta) - 1)
% f(Ipv) = Iph - Ipv - Ir * (exp((Vc + Ipv * Rs) / Vt_Ta) - 1) = 0
% Giải Ipv bằng phương pháp newton: Ipv2 = Ipv1 - f(Ipv1)/f'(Ipv1)
Ipv = zeros(size(Vc)); % Khởi tạo Ipv với giá trị 0
% Thực hiện 5 lần lặp
for j=1:5;
    Ipv = Ipv - (Iph - Ipv - Ir .* (exp((Vc + Ipv .* Rs) ./ Vt_Ta) - 1)) ...
        ./ (-1 - Ir * (Rs ./ Vt_Ta) .* exp((Vc + Ipv .* Rs) ./ Vt_Ta));
end
```

P2. File mô phỏng quá trình bám điểm làm việc của thuật toán P&O trong ngày nắng

```
% Kiểm tra thuật toán INC
% Kiểm tra với thời tiết nhiều nắng
clear;
% Định nghĩa hằng số
TaC = 25; % Nhiệt độ tế bào PV (đo C)
C = 0.5; % Bước thay đổi điện áp tham chiếu (V)

% Định nghĩa biến và khởi tạo điều kiện ban đầu
G = 0.028; % Bức xạ MT (1G = 1000W/m^2)
V = 20; % Điện áp PV
I = solar(V,G,TaC); % Dòng điện PV
P = V * I; % Công suất ra của PV
Vref_new = V + C; % Điện áp tham chiếu mới
```

```
% Thiet lap mang luu tru du lieu cho viec ve do thi
V_array = [];
P_array = [];

x = [0:3600:43200];
y = [0.05 0.15 0.4 0.6 0.82 0.92 1 0.9 0.85 0.55 0.3 0.18 0.1];
xi = 0:1:43200;          % Thiet lap cac diem cho viec noi suy
yi = interp1(x,y,xi,'cubic');
plot(x,y,'o');
hold on;
plot(xi,yi);
% Co 43200 mau (12 gio)
for Sample = 1:43200;
    G = yi(Sample);
    % Lay gia tri do moi
    V_new = Vref_new;
    I_new = solar(Vref_new,G,TaC);
    % Tinh toan gia so cua dien ap va dong dien
    deltaV = V_new - V;
    deltaI = I_new - I;
    % Bat dau chay thuat toan MPPT
    if deltaV == 0
        if deltaI == 0
            Vref_new = V_new;          % Khong thay doi
        elseif deltaI > 0
            Vref_new = V_new + C;      % Tang Vref
        else
            Vref_new = V_new - C;      % Giam Vref
        end
    else
        if abs(deltaI/deltaV + I_new/V_new) == 0
            Vref_new = V_new;          % Khong thay doi
        else
            if deltaI/deltaV > -I_new/V_new
                Vref_new = V_new + C; % Tang Vref
            else
                Vref_new = V_new - C; % Giam Vref
            end
        end
    end
end
```

```

        end

    end

    % Calculate theoretical max
    % [P_max, Imp, Vmp] = find_mpp(G, TaC);
    % Cap nhat gia tri
    V = V_new;
    I = I_new;
    P = V_new * I_new;
    % Lu tru du lieu cho do thi plot
    V_array = [V_array V];
    P_array = [P_array P];
    % Pmax_array = [Pmax_array P_max];
end

% Plot result
figure
plot (V_array, P_array, 'g')
% Overlay with P-V curves and MPP
V = linspace (0, 45, 200);
hold on
for G=.2:.2:1
    I = solar(V, G, TaC);
    P = I.*V;
    plot(V, P)
    [P_max, Imp, Vmp] = find_mpp(G, TaC);
    plot(Vmp, P_max, 'r*')
end
title('Phuong phap INC')
xlabel('Dien ap [V]')
ylabel('Cong suat ra [W]')
axis([0 25 0 90])
grid on
gtext('1000W/m^2')
gtext('800W/m^2')
gtext('600W/m^2')
gtext('400W/m^2')
gtext('200W/m^2')
hold off

```

P3. File mô phỏng quá trình bơm điện làm việc của thuật toán INC trong ngày nắng.

```
% Kiem tra thuật toán INC
% Kiem tra voi thoi tiet nhieu nang
clear;
% Dinh nghia hang so
TaC = 25; % Nhiệt độ tế bào (deg C)
C = 0.5; % Giá trị thay đổi điện áp (V)

% Dinh nhia va khoi tao gia tri dau cho cac bien
G = 0.028; % Bức xạ (1G = 1000W/m^2)
V = 20; % Điện áp PV
I = solar(V,G,TaC); % Dòng điện PV
P = V * I; % Công suất PV
Vref_new = V + C; % Điện áp tham chiếu
% Thiet lap mang luu tru du lieu ve do thi
V_array = [];
P_array = [];

x = [0:3600:43200];
y = [0.05 0.15 0.4 0.6 0.82 0.92 1 0.9 0.85 0.55 0.3 0.18 0.1];
xi = 0:1:43200; % Thiet lap dien noi suy
yi = interp1(x,y,xi,'cubic');
plot(x,y,'o');
hold on;
plot(xi,yi);
% co 43200 mau (12 gio)
for Sample = 1:43200;
    G = yi(Sample);
    % Lay gia tri do
    V_new = Vref_new;
    I_new = solar(Vref_new,G,TaC);
    % Tinh toan gia so cua dien ap va dong dien
    deltaV = V_new - V;
    deltaI = I_new - I;
    % Bat dau thuan toan INC
    if deltaV == 0
```

```
    if deltaI == 0
        Vref_new = V_new;           % Không thay đổi
    elseif deltaI > 0
        Vref_new = V_new + C;       % Tăng Vref
    else
        Vref_new = V_new - C;       % Giảm Vref
    end
else
    if abs(deltaI/deltaV + I_new/V_new) == 0
        Vref_new = V_new;           % Không thay đổi
    else
        if deltaI/deltaV > -Ia_new/V_new
            Vref_new = V_new + C;    % Tăng Vref
        else
            Vref_new = V_new - C;    % Decrease Vref
        end
    end
end

V = V_new;
I = I_new;
P = V_new * I_new;
% Lưu dữ liệu vào mảng để vẽ đồ thị
V_array = [V_array V];
P_array = [P_array P];

end

figure
plot (V_array, P_array, 'g')

V = linspace (0, 45, 200);
hold on
for G=.2:.2:1
    I = solar(V, G, TaC);
    P = I.*V;
    plot(V, P)
    [Pa_max, Imp, Vmp] = find_mpp(G, TaC);
```

```
        plot(Vmp, Pa_max, 'r*')
end
title('incCond Method')
xlabel('Module Voltage (V)')
ylabel('Module Output Power (W)')
axis([0 25 0 90])
grid on
gtext('1000W/m^2')
gtext('800W/m^2')
gtext('600W/m^2')
gtext('400W/m^2')
gtext('200W/m^2')
hold off
```