

**BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO**

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



NGUYỄN THANH DUNG

**BONG BÓNG PLASMA VÀ
ĐẶC TRƯNG DỊ THƯỜNG ION HÓA XÍCH ĐẠO KHU
VỰC VIỆT NAM VÀ LÂN CẬN**

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ VẬT LÝ ĐỊA CẦU

Mã số: 9 44 01 11

Hà Nội- 2023

Công trình được hoàn thành tại: Học viện Khoa học và Công nghệ-
Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Người hướng dẫn khoa học:

1. Người hướng dẫn 1: TS. NCVCC. Lê Huy Minh, Viện Vật lý địa cầu
2. Người hướng dẫn 2: TS. NCVC. Phạm Thị Thu Hồng, Viện Vật lý địa cầu

Phản biện 1: PGS.TS. Ngô Đức Thành

Phản biện 2: PGS.TS. Lã Thế Vinh

Phản biện 3: PGS.TS. Phan Thiên Hương

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện họp tại Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam vào hồigiờ....., ngày..... tháng.....năm.....

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Học viện Khoa học và Công nghệ
- Thư viện Quốc gia Việt Nam

MỞ ĐẦU

Ngày nay hệ thống định vị toàn cầu (GPS-Global Positioning System) là một công cụ mạnh mẽ, hữu dụng trong nghiên cứu điện ly. Môi trường tầng điện ly có tác động đáng kể đến sự truyền tín hiệu điện từ phát ra từ các vệ tinh GPS tới các máy thu trên mặt đất. Tầng điện ly vùng xích đạo và vĩ độ thấp có 2 đặc trưng nổi bật: dị thường ion hóa xích đạo (EIA, Equatorial Ionization Anomaly) và bong bóng plasma (bất thường điện ly ban đêm). EIA được đặc trưng bởi một vùng trũng mật độ ở xích đạo từ và 2 đỉnh mật độ điện tử ở $\pm 15^\circ$ - 20° vĩ độ từ (Namba & Maeda, 1939; Appleton, 1946). Các bất thường điện ly ban đêm thường đi kèm với các hiện tượng bong bóng plasma, nhiễu loạn điện ly dịch chuyển (quan sát được từ số liệu GPS) và Spread F (quan sát được từ số liệu thăm dò thẳng đứng). Sự tồn tại của các bất thường điện ly gây ảnh hưởng lên quá trình truyền sóng radio trong dải tần số nhỏ hơn vài GHz, dải tần được sử dụng trong truyền thông và dẫn đường của hệ thống GPS, những nhiễu loạn lớn có thể gây ra mất tín hiệu, những nhiễu loạn tỉ lệ nhỏ gây ra sai số trên khoảng cách (Basu & Basu, 1981; Pi et al., 1997; Moraes et al., 2018). Lãnh thổ Việt Nam và khu vực lân cận sau đây được gọi là khu vực Đông Nam Á (ĐNA) nằm ở vùng EIA (Lê Huy Minh và nnk, 2016a). Từ năm 2005 đến nay, Viện Vật lý địa cầu đã xây dựng được mạng lưới các trạm GPS liên tục (22 trạm) cùng với một số trạm IGS (08 trạm) ở khu vực lân cận là một thuận lợi để nghiên cứu tầng điện ly ở khu vực ĐNA.

Do tầm quan trọng của việc nghiên cứu EIA và các bất thường điện ly ban đêm, cùng với điều kiện thuận lợi của nguồn số liệu phong phú liên tục và vị trí của khu vực nghiên cứu, nghiên cứu sinh (NCS) đã xây dựng luận án với tên: “***Bong bóng plasma và đặc trưng dị thường ion hóa xích đạo khu vực Việt Nam và lân cận***” dưới sự hướng dẫn của TS. Lê Huy Minh và TS. Phạm Thị Thu Hồng.

Mục tiêu của luận án: Làm sáng tỏ các quy luật biến đổi theo thời gian của EIA, đặc trưng xuất hiện của các bất thường điện ly ban đêm và

hiệu quả của các mô hình điện ly ở Việt Nam và lân cận. Mục tiêu cụ thể như sau: (1) Làm sáng tỏ các quy luật biến đổi theo thời gian của các tham số dị thường ion hóa xích đạo khu vực ĐNA, các dao động chu kỳ khác nhau và các nguyên nhân có thể của chúng; (2) Làm sáng tỏ các đặc trưng xuất hiện của các bất thường điện ly ban đêm khu vực nghiên cứu; (3) Làm sáng tỏ hiệu quả của mô hình điện ly tham chiếu quốc tế (IRI: International Reference Ionosphere), mô hình TEC toàn cầu CODG (the Center of Orbit Determination in Europe Global model) và mô hình TEC dựa trên hàm trực giao thực nghiệm EOF (Empirical Orthogonal Function) ở khu vực vĩ độ thấp và xích đạo Việt Nam.

Nội dung nghiên cứu của luận án: (1) Tìm hiểu và sử dụng thuật toán tính hàm lượng điện tử tổng cộng (TEC-Total Electron Content) từ tổ hợp trị đo pha và trị đo giả khoảng cách; (2) Thành lập các sơ đồ TEC theo thời gian và vĩ độ trong giai đoạn 2008-2021 cho khu vực ĐNA; (3) Tính các tham số của các đỉnh EIA: biên độ, vĩ độ, thời gian xuất hiện để nghiên cứu đặc trưng biến thiên theo thời gian của các đỉnh EIA: biến thiên nội mùa (15 ngày, 27 ngày), biến thiên nửa năm, biến thiên năm, biến thiên chu kỳ tựa 2 năm (QBO: Quasi-Biennial Oscillation) và biến thiên theo chu kỳ hoạt động mặt trời; (4) Tính các chỉ số dao động pha ROTI trong giai đoạn 2008-2018, nghiên cứu đặc trưng bất thường điện ly ban đêm theo mùa, theo hoạt tính mặt trời khu vực ĐNA. Chỉ ra mối quan hệ giữa vị trí xuất hiện cực đại bất thường với vị trí đỉnh EIA; (5) Sử dụng phương pháp phân tích hàm trực giao thực nghiệm (EOF) để mô hình hóa các giá trị TEC ở hai trạm Phú Thụy và Bạc Liêu. So sánh các giá trị TEC quan sát được bằng máy thu GPS (GPS TEC) với các giá trị TEC nhận được từ mô hình điện ly quốc tế IRI-2016 (IRI TEC), mô hình TEC toàn cầu GIMs/CODG (CODG TEC) và TEC phân tích bằng phương pháp EOF (EOF TEC).

Những điểm mới của luận án: (1) Xác định được một cách tin cậy các đặc trưng dị thường ion hóa xích đạo và bất thường điện ly ban đêm khu vực ĐNA sử dụng chuỗi số liệu GPS dài hơn 1 chu kỳ hoạt động mặt

trời (2008-2021). Phát hiện các dao động chu kỳ khác nhau của tầng điện ly khu vực ĐNA thông qua các tham số của đỉnh EIA phụ thuộc phức tạp vào hoạt tính mặt trời và các yếu tố tác động có thể từ khí quyển bên dưới: ENSO, QBO, các sóng hành tinh; (2) Chỉ ra một cách định lượng vị trí của cực đại bất thường điện ly so với vị trí các đỉnh EIA. Bất thường điện ly ban đêm thường chỉ xuất hiện trong khoảng thời gian sau khi mặt trời lặn tới trước nửa đêm, mỗi năm bất thường điện ly xuất hiện cực đại vào thời kỳ phân điểm, phụ thuộc hoạt tính mặt trời, vĩ độ xuất hiện cực đại bất thường ban đêm cách vĩ độ cực đại EIA ban ngày khoảng 4° - 5° về phía xích đạo; (3) Khẳng định mô hình EOF có thể mô phỏng khá tốt tiến trình ngày đêm của TEC trong thời gian yên tĩnh và bão từ, biến thiên mùa và theo hoạt tính mặt trời cho khu vực Việt Nam. So sánh kết quả TEC từ GPS với TEC từ các mô hình toàn cầu (IRI-2016, CODG) và từ mô hình EOF cho thấy mô hình TEC dựa trên EOF dự đoán sự biến đổi theo thời gian của TEC chính xác hơn so với các mô hình toàn cầu.

Cấu trúc của luận án: Ngoài phần mở đầu và kết luận luận án gồm 5 chương: Chương 1. Tổng quan về tầng điện ly, hệ thống định vị toàn cầu và nghiên cứu điện ly vùng vĩ độ thấp sử dụng công nghệ GPS; Chương 2. Số liệu và các phương pháp nghiên cứu; Chương 3. Dị thường ion hóa xích đạo khu vực ĐNA; Chương 4. Bất thường điện ly ban đêm khu vực ĐNA; Chương 5. Mô hình hóa TEC quan sát bằng các hàm EOF và so sánh với các mô hình TEC toàn cầu.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ TẦNG ĐIỆN LY, HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TOÀN CẦU VÀ NGHIÊN CỨU ĐIỆN LY VÙNG VĨ ĐỘ THẤP SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ GPS

1.1. Khái quát về tầng điện ly

Tầng điện ly là vùng khí quyển ở trên cao của Trái Đất, được hình thành do bức xạ mặt trời và bức xạ vũ trụ, nằm ở độ cao khoảng 50 km đến 1500 km so với mặt đất, ở đó quá trình ion hóa đủ mạnh ảnh hưởng tới sự truyền sóng radio (Breit and Tuve, 1926). Mức độ ion hóa trong tầng điện

ly phụ thuộc vào 3 yếu tố cơ bản: năng lượng bức xạ mặt trời gây ion hóa, hệ số hấp thụ năng lượng của các thành phần khí và mật độ khí quyển.

Dựa vào các tuyến mật độ điện tử đạt cực đại ở một độ cao nào đó mà người ta phân chia tầng điện ly thành các lớp theo trật tự tăng dần theo chiều cao được gọi là lớp D, lớp E, lớp F; ban ngày lớp F phân thành lớp F_1 và lớp F_2 . Hợp phần khí trung hòa chính trong nhiệt quyển là O, N_2 , và O_2 . Như vậy các ion được tạo ra bởi quá trình quang ion hóa là: O^+ , N_2^+ , O_2^+ .

1.2. Tổng quan về hệ thống định vị toàn cầu GPS

Hệ thống định vị toàn cầu GPS được Chính phủ Mỹ phát triển ban đầu với mục đích phục vụ quân sự, sau năm 1980 Chính phủ Mỹ cho phép sử dụng trong dân sự. Do đó, các ứng dụng của GPS vào nhiều lĩnh vực khác nhau đã được nghiên cứu và phát triển rộng rãi trong hầu hết các nước (Hofmann et al, 2001; Schaer, 1999; Đặng Nam Chinh và nnk, 2012). Hệ thống định vị GPS gồm 3 bộ phận chính: bộ phận không gian, bộ phận điều khiển và bộ phận sử dụng.

Mỗi vệ tinh GPS là một máy dao động chất lượng cao, nó là một tập hợp các đồng hồ nguyên tử Cesi và Rubidium, được dùng để phát ra kế tiếp nhau hai sóng mang liên kết L1 và L2. Các đại lượng quan sát chủ yếu trong công nghệ GPS là giả khoảng cách và quan sát pha mang.

Tầng điện ly là nguồn gây ra sai số đáng kể nhất trong phép định vị sử dụng hệ thống vệ tinh.

1.3. Tổng quan tình hình nghiên cứu điện ly vùng vĩ độ thấp sử dụng công nghệ GPS

Trên thế giới việc sử dụng công nghệ GPS vào nghiên cứu điện ly bắt đầu phát triển mạnh mẽ vào những năm 1990. Đặc trưng biến thiên ngày đêm, biến thiên theo mùa và theo hoạt tính mặt trời của EIA đã được nghiên cứu khá chi tiết ở các vùng và lãnh thổ khác nhau như: Đài Loan (Huang & Cheng, 1996; Wu et al., 2008); Ấn Độ (Rastogi & Klobuchar, 1990); khu vực châu Á (Tsai et al., 2001); khu vực Tây Thái Bình Dương (Lin et al., 2001).

Những bất thường điện ly đã được nghiên cứu rộng rãi hơn 70 năm qua trên toàn thế giới nhằm tìm hiểu được đặc trưng phân bố và sự biến đổi của chúng và để giảm nhẹ ảnh hưởng xấu của nó đến liên lạc và định vị. Ở khu vực vĩ độ thấp và xích đạo, các bất thường điện ly thường liên quan đến các hiện tượng như: bong bóng plasma, nhiễu loạn điện ly dịch chuyển quy mô trung bình (MSTID-Medium-Scale Travelling Ionospheric Disturbance), sporadic E, Spread F. Nhiều công trình nghiên cứu trên thế giới về bất thường điện ly liên quan đến bong bóng plasma đã được thực hiện: Booker, 1956; Aarons, 1997; Basu & Basu, 1981; Rama Rao et al., 2006; Li et al., 2007; Abadi et al., 2014. Một số công trình nghiên cứu về MSTID: Taori et al., 2015; Hisao et al., 2018.

Ở Việt Nam, từ năm 2005 nghiên cứu về tầng điện ly sử dụng công nghệ GPS được bắt đầu với việc lắp đặt 3 máy thu GPS ở Hà Nội, Huế, Tp. Hồ Chí Minh. Một số công trình đã nghiên cứu về biến đổi TEC theo thời gian sử dụng phương pháp tính TEC theo trị đo giả khoảng cách (Lê Huy Minh et al., 2006, 2014, 2016a; Trần Thị Lan et al., 2009, 2011, 2012). Lê Huy Minh et al. (2016b) sử dụng phương pháp tính TEC từ tổ hợp trị đo pha và trị đo giả khoảng cách trong nghiên cứu biến đổi điện ly trong trận bão từ tháng 3/2015. Một số công trình đã nghiên cứu về nhấp nháy điện ly (Trần Thị Lan et al., 2013, 2017).

Vấn đề nghiên cứu dị thường ion hóa xích đạo và bong bóng plasma ban đêm ở khu vực vĩ độ thấp và xích đạo đang là chủ đề nghiên cứu được nhiều nhà khoa học trên thế giới quan tâm, ở Việt Nam các công trình nghiên cứu trước còn có một số hạn chế: 1) Phần lớn các công bố đều sử dụng phương pháp tính TEC từ trị đo giả khoảng cách ít chính xác hơn phương pháp tổ hợp trị đo pha và trị đo giả khoảng cách. 2) Nghiên cứu nhấp nháy điện ly (bất thường) bằng chỉ số S_4 chỉ thu được từ các máy thu GSV4004. 3) Cho đến nay vẫn chưa có nghiên cứu nào chỉ ra một cách định lượng đặc trưng dao động chu kỳ của các đỉnh EIA. 4) Sự phân bố các bất thường điện ly vẫn chưa được xác định một cách định lượng. 5) Các giá

trị TEC ở Việt Nam chưa được mô hình hóa có tính dự báo.

Trong luận án sẽ khắc phục những hạn chế nêu trên với chuỗi số liệu sử dụng dài hơn một chu kỳ hoạt động mặt trời, không bị hạn chế sử dụng máy thu GPS trong việc nghiên cứu bất thường điện ly ban đêm. EIA được nghiên cứu chi tiết hơn với việc phát hiện ra các dao động chu kỳ cơ bản và mối quan hệ của nó với các yếu tố ảnh hưởng có thể. Sự phân bố bất thường điện ly ban đêm được đưa ra một cách định lượng. Ngoài ra các giá trị TEC ở khu vực Việt Nam bước đầu được mô hình hóa bằng phương pháp hàm trực giao thực nghiệm (EOF-Empirical Orthogonal Function).

CHƯƠNG 2. SỐ LIỆU VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Số liệu sử dụng

Số liệu sử dụng trong luận án thu thập được từ các trạm GPS liên tục ở Việt Nam và lân cận. Tọa độ địa lý, vĩ độ từ (niên đại 2010) của các trạm GPS được liệt kê ở trong *bảng 2.1*. Số liệu của một số trạm dịch vụ GNSS Quốc tế cũng được sử dụng như: CMUM, CUSV, và CPNM ở Thái Lan, ANMG ở Malaysia, NTUS ở Singapore, BAKO và JOG2 ở Indonesia và XMIS ở Australia.

Bảng 2.1. Danh sách các trạm GPS liên tục ở Việt Nam và lân cận

T T	Tên trạm	Tọa độ địa lý		Vĩ độ từ (2010)	Thiết bị	Thời gian quan sát	Đại lượng tính toán
		Kinh độ	Vĩ độ				
1	MTEV	102,80719	22,38719	15,92	NETRS	12/2009-12/2018	TEC, ROTI
2	MLAY	103,15385	22,04187	15,54	NETRS	01/2012-12/2018	TEC, ROTI
3	LSON	106,74906	21,85260	15,78	CORS5700	12/2017-12/2021	TEC
4	CLAN	106,44731	21,67466	15,59	CORS5700	01/2018-12/2021	TEC
5	HUUL	106,28931	21,55973	15,47	CORS5700	12/2017-12/2021	TEC
6	TANY	106,07433	21,40704	15,30	CORS5700	12/2017-12/2021	TEC
7	SOCS	105,91935	21,29166	15,17	CORS5700	12/2017-12/2021	TEC
8	DANH	105,78528	21,16494	15,03	CORS5700	12/2017-12/2021	TEC
9	QOAI	105,49226	20,95633	14,81	CORS5700	12/2017-12/2021	TEC
10	HOAB	105,32750	20,84219	14,68	CORS5700	12/2017-12/2021	TEC
11	TLAC	105,18232	20,69587	14,53	CORS5700	01/2018-12/2021	TEC
12	QHOA	104,99143	20,52457	14,33	CORS5700	12/2017-12/2021	TEC
13	DBIV	103,01829	21,38992	14,84	NETRS	11/2009- 12/2018	TEC, ROTI
14	TGIV	103,41803	21,59225	15,06	NETRS	11/2009- 12/2018	TEC, ROTI
15	SMAV	103,74971	21,05629	14,49	NETRS	6/2010- 7/2018	TEC, ROTI
16	PHUT	105,95872	21,02938	14,49	GSV4004	2/2009- 12/2021	TEC, ROTI
17	VINH	105,69659	18,64999	11,91	CORS5700	9/2011- 12/2021	TEC, ROTI

18	HUES	107,59265	16,45919	9,58	GSV4004	1/2006- 10/2011	TEC, ROTI
19	DLAT	108,48175	11,94527	5,07	GSV4004	11/2014- 12/2021	TEC
20	HOCM	106,55979	10,84857	3,47	GSV4004	01/2008- 10/2012	TEC, ROTI
21	HCMC	106,80139	10,87808	3,52	NET R9	2/2018- 12/2021	TEC
22	BACL	105,75167	9,26806	2,73	GSV4004	05/2015- 12/2021	TEC
23	CPNM	99,37438	10,72465	2,80	Trạm IGS	10/2015-04/2018	TEC, ROTI
24	CMUM	98,93238	18,76088	12,32	Trạm IGS	01/2014-12/2021	TEC, ROTI
25	CUSV	100,53392	13,73591	6,43	Trạm IGS	5/2008-12/ 2021	TEC, ROTI
26	ANMG	101,50660	2,78465	-5,14	Trạm IGS	02/2014-12/2021	TEC, ROTI
27	NTUS	103,67996	1,34580	-7,05	Trạm IGS	1/2008-12/ 2021	TEC, ROTI
28	BAKO	106,84891	-6,49106	-15,52	Trạm IGS	1/2008- 12/2021	TEC, ROTI
29	JOG2	110,37272	-7,76377	-16,75	Trạm IGS	10/2013- 12/2021	TEC, ROTI
30	XMIS	105,68350	-10,44996	-19,99	Trạm IGS	01/2008-12/2021	TEC, ROTI

Tập hợp 30 trạm phân bố xung quanh kinh tuyến 105°E và biến đổi trong dải vĩ độ từ từ $-19,99^{\circ}$ đến $15,95^{\circ}$ ở niên đại 2010.0, tập hợp 30 trạm như vậy đủ để nghiên cứu đặc trưng dị thường ion hóa xích đạo ở khu vực Đông Nam Á được trình bày trong luận án.

Bên cạnh số liệu thu thập được từ các trạm thu GPS, trong luận án sử dụng các số liệu quốc tế như: số liệu niên giám Yuma cung cấp thông tin về, thông lượng mặt trời F10.7, chỉ số hoạt động địa từ Dst; chỉ số ENSO đa biến MEI.v2 (MEI.v2-Multivariate ENSO Index Version 2); gió vĩ hướng tầng bình lưu nhiệt đới ở 50 hPa (~ 20 km).

Luận án cũng sử dụng các số liệu TEC từ các mô hình điện ly tham chiếu quốc tế IRI (International Reference Ionosphere-IRI) và mô hình TEC toàn cầu GIMs/CODG.

2.2. Các phương pháp nghiên cứu

Các phương pháp nghiên cứu sử dụng trong luận án bao gồm: phương pháp tính TEC và chỉ số dao động pha ROTI, phương pháp làm hợp đường cong và các phương pháp xử lý tín hiệu số.

TEC được tính toán sử dụng tổ hợp trị đo pha và trị đo giả khoảng cách theo công thức:

$$STEC = \frac{1}{40.3} \frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \left[(L_{1j}^i - L_{2j}^i) - (b_{\phi}^i + b_{\phi j}) - (\lambda_1 N_{1j}^i - \lambda_2 N_{2j}^i) \right] \quad (2.6)$$

Trong (2.6) đại lượng $[(b_{\phi}^i + b_{\phi j}) + (\lambda_1 N_{1j}^i - \lambda_2 N_{2j}^i)]$ là hằng số phải xác định (độ lệch thiết bị tổng cộng). Đại lượng $STEC_{\phi} = \frac{1}{40.3} \frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} (L_{1j}^i - L_{2j}^i)$

được xác định chính xác nhưng có thể gặp các bước nhảy do trượt vòng pha. Đại lượng $STEC_p = \frac{1}{40.3} \frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} (p_{2j}^i - p_{1j}^i)$ được xác định rõ ràng nhưng kém chính xác do ảnh hưởng của nhiễu và hiệu ứng đa đường. Các bước nhảy có thể ở $STEC_\phi$ được đánh giá bằng cách sau: trên mỗi đường vệ tinh $STEC_p$ được làm trơn bằng đa thức bậc 4, so sánh $STEC_\phi$ với $STEC_p$ đã làm trơn để tính độ lớn bước nhảy. $STEC_\phi$ đã được hiệu chỉnh các bước nhảy được so sánh với $STEC$ tính từ mô hình GIMS/CODG tại mỗi thời điểm đo và mỗi vị trí IPP để xác định độ lệch thiết bị tổng cộng. $STEC$ đã hiệu chỉnh bổ sung thêm độ lệch thiết bị tổng cộng được chuyển thành TEC thẳng đứng ($VTEC$) theo mô hình lớp đơn (Klobuchar, 1986):

$$TEC = STEC \cdot \cos \left[\frac{R \cos \theta}{R + h} \right] \quad (2.7)$$

trong đó θ là góc nhìn vệ tinh tính bằng độ ($^\circ$), $R = 6371.2$ km là bán kính trung bình của Trái Đất, h là chiều cao lớp đơn tầng điện ly, được lấy bằng 400 km (Zhao et al., 2009).

Các dao động TEC được đặc trưng bởi tốc độ thay đổi TEC hay còn gọi là ROT (Rate of TEC)

$$ROT = \frac{STEC_\phi(t + \delta t) - STEC_\phi}{\delta t} \quad (2.8)$$

trong đó $\delta t = 30$ s, ROT tính theo đơn vị TECU/min. Chỉ số tốc độ thay đổi TEC (ROTI) là độ lệch chuẩn của ROT trong khoảng thời gian 5 phút:

$$ROTI = \sqrt{\langle ROT^2 \rangle - \langle ROT \rangle^2} \quad (2.9)$$

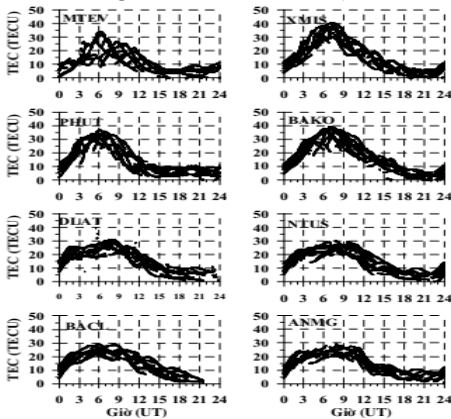
kí hiệu $\langle \rangle$ là giá trị trung bình của ROT, đơn vị của ROTI cũng là TECU/min.

Các phương pháp xử lý tín hiệu như: bộ lọc thông dải, biến đổi wavelet, phân tích phổ bằng phương pháp biểu đồ chu kỳ Lomb-Scargle, phương pháp EOF.

CHƯƠNG 3. DỊ THƯỜNG ION HÓA XÍCH ĐẠO KHU VỰC ĐÔNG NAM Á

3.1. Biến động ngày đêm của TEC tại trạm

Hình 3.1 chỉ ra kết quả tính TEC vào ngày 31/03/2021 tại một số trạm, TEC tại các trạm phản ánh rõ quy luật biến đổi theo thời gian ngày đêm: các giá trị TEC có xu thế tăng dần theo thời gian từ 00:00 UT (07:00 LT), đạt giá trị cực đại vào thời gian ban ngày khoảng 06:00-08:00 UT (13:00-15:00 LT) sau đó giảm dần và có giá trị nhỏ nhất vào thời gian ban đêm khoảng 21:00-22:00 UT (04:00-05:00 LT).



Hình 3.1. Kết quả tính toán TEC ngày 031/2021 (31/01/2021) tại một số trạm lần lượt từ trái sang phải, từ trên xuống dưới: MTEV, XMIS, PHUT, BAKO, DLAT, NTUS, BACL, ANMG.

Biên độ biến thiên ngày đêm của TEC tại các trạm có sự khác biệt rõ rệt: đối với các trạm ở vùng vĩ độ thấp (PHUT, BAKO) có biên độ lớn hơn so với các trạm gần xích đạo (BACL, ANMG). Chúng ta có thể quan sát được điều này một cách rõ rệt hơn khi thành lập sơ đồ TEC theo thời gian và vĩ độ cho khu vực Đông Nam Á.

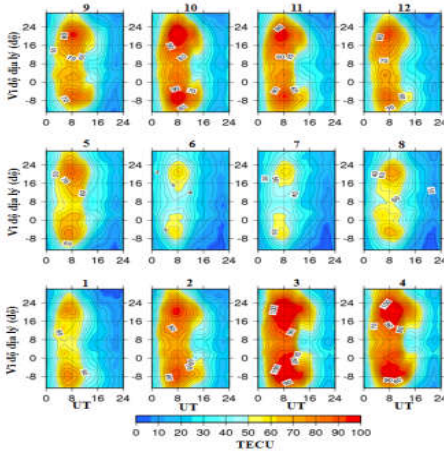
3.2. Đặc trưng dị thường ion hóa xích đạo khu vực Đông Nam Á

3.2.1. Các sơ đồ TEC theo thời gian và vĩ độ

Các sơ đồ TEC theo thời gian và vĩ độ được thành lập với mục đích quan sát được bức tranh phân bố TEC khu vực Đông Nam Á và nghiên cứu đặc trưng biến thiên theo thời gian của EIA. Các đỉnh EIA sẽ được đặc trưng bởi 3 tham số: biên độ, vĩ độ và thời gian xuất hiện.

Hình 3.5 biểu diễn các sơ đồ TEC trung bình tháng theo thời gian và

vĩ độ trong năm 2014, khoảng cách giữa các đường đẳng trị là 5 TECU. *Hình 3.5* chỉ ra rõ ràng TEC có hai đỉnh cực đại ở hai phía của xích đạo từ, cụ thể ở phía Bắc xích đạo từ cực đại vào khoảng 17-23°N còn ở phía Nam xích đạo từ vào khoảng 5-7°S. Đặc trưng quan sát này của TEC được gọi là dị thường ion hóa xích đạo của tầng điện ly (Namba & Maeda, 1939; Appleton, 1946). Kết quả nghiên cứu này phù hợp với kết quả nghiên cứu của Rama Rao et al. (2006) về đỉnh EIA ở khu vực Ấn Độ, và nghiên cứu về TEC ở khu vực Đông Nam Á trong giai đoạn 2006-2011 (Lê Huy Minh et al., 2014).



Hình 3.5. Sơ đồ TEC theo thời gian và vĩ độ trung bình tháng năm 2014.

3.2.1. Biến thiên theo mùa và biến thiên theo hoạt tính mặt trời

Biên độ TEC của 2 đỉnh EIA đều đạt cực đại vào các tháng phân điểm (tháng 3, 4, 9, 10), đạt cực tiểu vào các tháng mùa hè/mùa đông (tháng 5, 6, 7, 8) ở đỉnh Bắc/đỉnh Nam. Đặc trưng quan sát này được gọi là dị thường mùa của EIA. Biên độ TEC ở 2 đỉnh EIA phụ thuộc vào hoạt động mặt trời rất rõ rệt, biên độ TEC giảm dần khi hoạt động mặt trời giảm và ngược lại. Xu thế biến thiên của các giá trị TEC của 2 đỉnh EIA phù hợp với chu kỳ 11 năm hoạt động mặt trời, hệ số tương quan giữa biên độ TEC của cả 2 đỉnh EIA và thông lượng mặt trời ~ 0.90 . Kết quả tính tương quan trong luận án cũng phù hợp với kết quả trong công bố của Le Huy Minh et al., 2016a. Mỗi tương quan giữa biên độ TEC tại các đỉnh EIA với thông lượng mặt trời F10.7 dường như tốt hơn một chút so với mỗi tương quan

giữa tần số tới hạn của lớp F2 tại Phú Thụy (Việt Nam)- vị trí gần đỉnh Bắc EIA- và số vết đen mặt trời bằng 0.84 (Pham Thi Thu et al., 2011).

Về thời gian xuất hiện của 2 đỉnh EIA trong giai đoạn 2008-2021, ở cả 2 đỉnh EIA có xu thế xuất hiện sớm hơn vào mùa đông so với các mùa khác trong năm.

Vĩ độ của 2 đỉnh EIA, chúng có xu thế tiến về phía xích đạo vào mùa đông và tiến về phía cực vào mùa hè và phân điểm, xu thế biến thiên này thể hiện ở đỉnh Nam rõ ràng hơn so với đỉnh Bắc.

Những kết quả nghiên cứu về đặc trưng biến thiên theo mùa của các tham số vĩ độ và thời gian xuất hiện của các đỉnh EIA trong luận án phù hợp với những nghiên cứu trước đó (Tsai et al., 2001; Zhao et al., 2009; Lê Huy Minh et al., 2016a).

3.2.2. Biến thiên hàng năm của các đỉnh EIA

Vào các năm mặt trời hoạt động yếu, 2 đỉnh EIA có xu thế dịch chuyển về phía xích đạo, vào những năm mặt trời hoạt động mạnh cả 2 đỉnh có xu thế dịch chuyển về phía cực. Xu thế biến thiên năm của biên độ TEC tại 2 đỉnh dị thường thể hiện rõ quy luật phụ thuộc vào chu kỳ hoạt động mặt trời. Vào những năm Mặt Trời hoạt động mạnh 2010-2016 biên độ lớn và đạt cực đại vào năm 2014, vào những năm Mặt Trời hoạt động yếu 2008, 2009, 2018, 2019, biên độ TEC nhỏ. Thời gian xuất hiện 2 đỉnh EIA, ở hầu hết các năm, đỉnh Nam có xu thế xuất hiện muộn hơn đỉnh Bắc; vào những năm mặt trời hoạt động cực tiểu (2008, 2009, 2019, 2020) 2 đỉnh có xu thế xuất hiện cùng thời điểm.

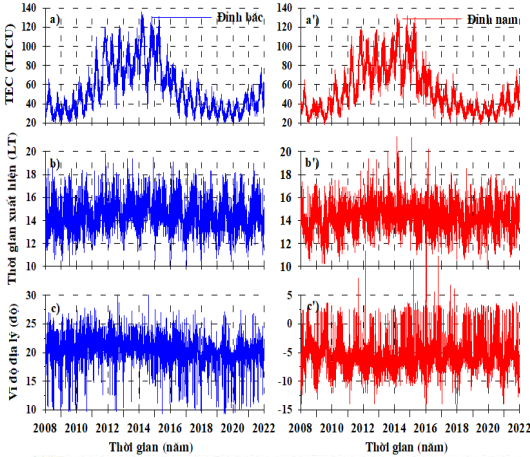
3.3. Các dao động tuần hoàn của các đỉnh dị thường ion hóa xích đạo khu vực Đông Nam Á

Trong phần này, NCS sử dụng chuỗi thời gian hàng ngày của các tham số 2 đỉnh: biên độ, thời gian xuất hiện, vĩ độ giai đoạn 2008-2021 được biểu diễn trên *hình 3.14*.

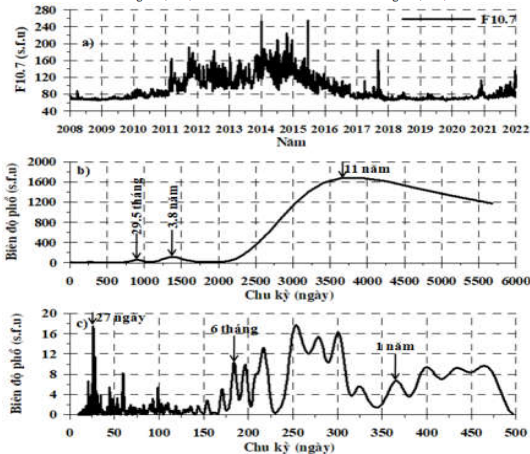
Kết quả phân tích phổ bằng phương pháp biểu đồ Lomb-Scargle đối với các tham số đỉnh EIA thể hiện các dao động chu kỳ chính như: ~15 ngày, 27 ngày (chỉ ở biên độ đỉnh), 6 tháng, 1 năm và dao động tựa 2 năm,

11 năm (biểu hiện kém ở thời gian xuất hiện đỉnh Bắc).

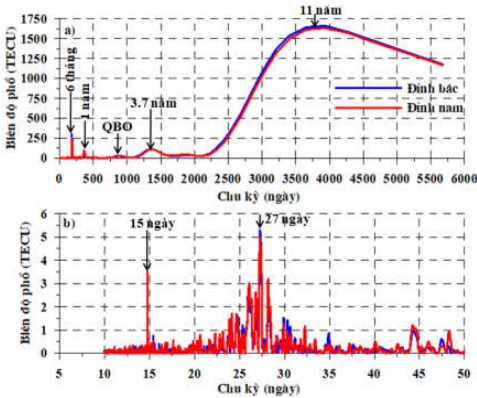
Kết quả phân tích phổ bằng phương pháp biểu đồ Lomb-Scargle đối với tham số thông lượng mặt trời F10.7 thể hiện rõ rệt các dao động chu kỳ: 27 ngày, ~ 29.5 tháng, 3.8 năm và 11 năm (*hình 3.15*). Ngoài ra trong khoảng chu kỳ 150-500 ngày biên độ phổ F10.7 khá phức tạp, bên cạnh vạch phổ chu kỳ 6 tháng và 1 năm còn có nhiều vạch phổ khác có biên độ lớn hơn hoặc nhỏ hơn. Trong khi đó biên độ phổ chu kỳ 6 tháng và 1 năm ở các tham số đỉnh EIA là rất rõ ràng (*hình 3.16*). Do vậy có thể nói rằng dao động của các tham số đỉnh EIA ở chu kỳ 6 tháng và 1 năm có thể bị ảnh hưởng bởi các yếu tố khác ngoài hoạt tính mặt trời.



Hình 3.14. Biến thiên hàng ngày của các tham số 2 đỉnh giai đoạn 2008-2021: a, a') Biên độ đỉnh Bắc và đỉnh Nam; b, b') Thời gian xuất hiện đỉnh Bắc, đỉnh Nam; c, c') Vĩ độ đỉnh Bắc, đỉnh Nam.



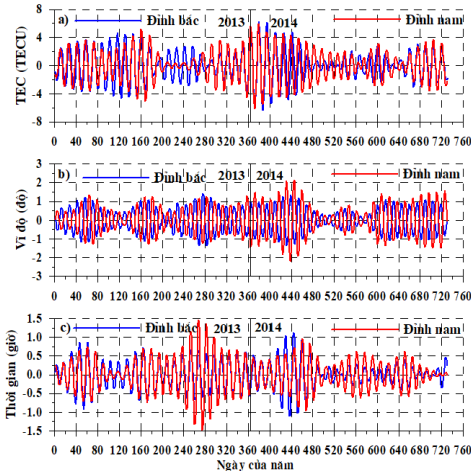
Hình 3.15. a) Thông lượng mặt trời F10.7 trung bình ngày giai đoạn 2008-2021, b) biểu đồ chu kỳ Lomb-Scargle của F10.7. c) phóng đại trong dải chu kỳ nhỏ hơn 500 ngày.



Hình 3.16. a) Biểu đồ chu kỳ Lomb-Scargle của biên độ TEC các đỉnh EIA trong giai đoạn 2008-2021, b) phóng đại trong dải chu kỳ nhỏ hơn 500 ngày.

3.3.1. Dao động chu kỳ ~15 ngày

Dao động chu kỳ ~15 ngày có mặt ở cả 3 tham số: biên độ, vĩ độ và thời gian xuất hiện 2 đỉnh (hình 3.21). Dao động chu kỳ này được gắn với sự tác động của các sóng hành tinh. Về mối quan hệ pha của các tham số giữa 2 đỉnh: đồng pha đối với biên độ và thời gian xuất hiện, hệ số tương quan giữa chúng là 0,78 và 0,74 một cách tương ứng; ngược pha đối với tham số vĩ độ với hệ số tương quan là -0,82.

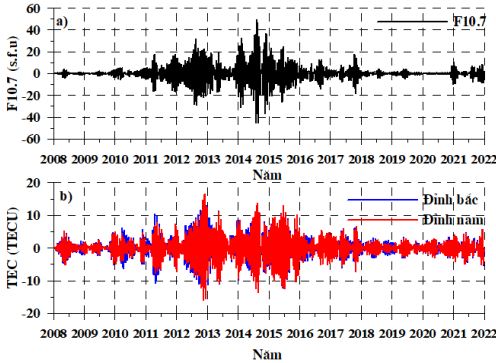


Hình 3.21. Dao động chu kỳ 15 ngày ở các tham số 2 đỉnh EIA giai đoạn 2013-2014: a) biên độ, b) vĩ độ, c) thời gian xuất hiện.

3.3.2. Dao động chu kỳ 27 ngày

Dao động chu kỳ ~27 ngày có mặt ở tham số thông lượng mặt trời F10.7 và biên độ đỉnh EIA. Dao động chu kỳ ~27 ngày của các đỉnh EIA được gắn với chu kỳ vòng quay ~27 của Mặt Trời. Dao động chu kỳ ~27

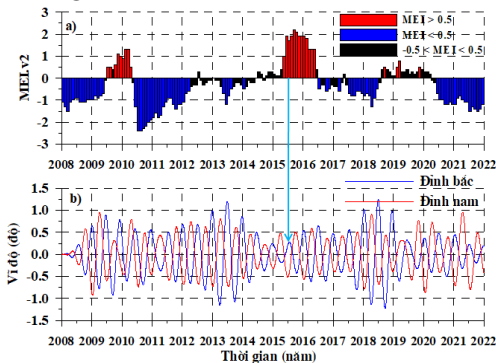
ngày ở tầng điện ly thể hiện tương quan dương với chu kỳ ~ 27 ngày vòng quay mặt trời (*hình 3.22*). Trong chu kỳ này, hệ số tương quan giữa F10.7 với biên độ đỉnh Bắc và đỉnh Nam lần lượt là 0,73 và 0,69, và hệ số tương quan giữa biên độ hai đỉnh là 0,95.



Hình 3.22. Dao động chu kỳ ~ 27 ngày giai đoạn 2008-2021: a) F10.7, b) biên độ các đỉnh EIA.

3.3.3. Dao động chu kỳ 6 tháng

Dao động chu kỳ 6 tháng có mặt ở cả 3 tham số: biên độ, vĩ độ, thời gian xuất hiện 2 đỉnh EIA. Dao động chu kỳ này của các tham số có thể bị ảnh hưởng bởi các yếu tố khác ngoài hoạt tính mặt trời. Dao động chu kỳ 6 tháng ở biên độ đỉnh ít nhiều phụ thuộc vào hoạt động mặt trời, có dị thường vào năm 2013-2014.



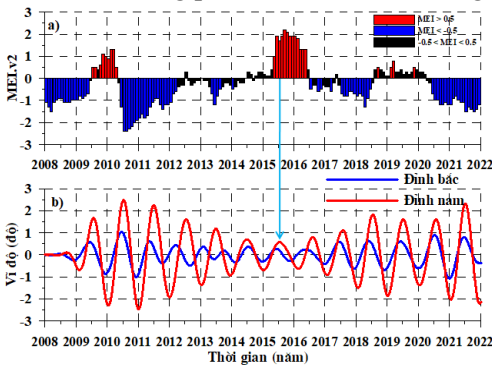
Hình 3.25. a) Chỉ số MEI.v2, b) Dao động chu kỳ 6 tháng ở tham số vĩ độ 2 đỉnh EIA giai đoạn 2008-2021.

Mối quan hệ pha của các tham số giữa 2 đỉnh, biên độ và thời gian xuất hiện có mối quan hệ gần như đồng pha nhưng vĩ độ đỉnh có mối quan hệ gần như ngược pha với các hệ số tương quan tương ứng là 0,99, 0,75 và -0,77.

Để tìm hiểu tác động có thể của yếu tố khác đến dao động chu kỳ 6 tháng, *hình 3.25* trình bày biến đổi theo thời gian chỉ số ENSO đa biến phiên bản 2, MEI.v2 (Multivariate ENSO Index Version 2), các thanh màu xanh chỉ ra pha lạnh ENSO ($MEI.v2 \leq -0,5$) hay La Niña, các thanh màu đỏ chỉ ra pha ấm ENSO ($MEI.v2 \geq 0,5$) hay El Niño, các thanh màu đen chỉ ra pha trung tính ($-0,5 < MEI.v2 < 0,5$). MEI.v2 là chuỗi thời gian kết hợp từ 5 biến số khác nhau: áp suất mực nước biển, nhiệt độ mực nước biển, các thành phần kinh vĩ hướng của gió bề mặt và bức xạ sóng dài trên lưu vực nhiệt đới Thái Bình Dương ($30^{\circ}S- 30^{\circ}N$ và $100^{\circ}E- 70^{\circ}W$). *Hình 3.25* cho thấy rằng biên độ dao động chu kỳ 6 tháng ở vĩ độ 2 đỉnh EIA ít nhiều phụ thuộc vào hoạt động ENSO, vào thời kỳ El Niño biên độ dao động 6 tháng có xu hướng giảm so với các thời kỳ khác trong giai đoạn nghiên cứu.

3.3.4. Dao động chu kỳ 1 năm

Dao động chu kỳ 1 năm có mặt ở cả 3 tham số: biên độ, vĩ độ, thời gian xuất hiện 2 đỉnh EIA. Dao động chu kỳ 1 năm ở tham số biên độ thể hiện sự phụ thuộc ít nhiều vào hoạt động mặt trời, có dị thường vào năm 2014, nhưng biên độ dao động chu kỳ 1 năm ở tham số vĩ độ và thời gian xuất hiện không phụ thuộc vào hoạt động mặt trời.



Hình 3.27. a) Chỉ số MEI.v2 và b) biên độ dao động chu kỳ 1 năm của tham số vĩ độ 2 đỉnh giai đoạn 2008-2021.

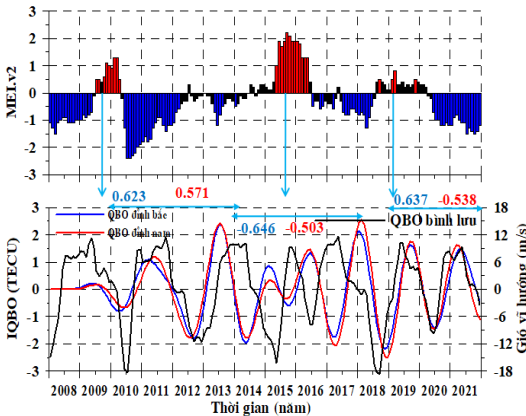
Về mối quan hệ pha, biên độ và vĩ độ 2 đỉnh hầu như có mối quan hệ đồng pha nhưng thời gian xuất hiện giữa 2 đỉnh có mối quan hệ gần như ngược pha, với các hệ số tương quan tương ứng là 0,96, 0,68 và -0,77.

Hình 3.27 biểu diễn chỉ số MEI.v2 và dao động chu kỳ 1 năm của

tham số vĩ độ, cho thấy dao động chu kỳ 1 năm ở tham số vĩ độ có sự phụ thuộc rõ rệt vào MEI.v2. Trong các thời kỳ El Niño biên độ dao động 1 năm của vĩ độ các đỉnh giảm rõ rệt so với các giai đoạn khác, trong giai đoạn La Niña biên độ dao động tăng lên rõ rệt. Trong thời kỳ 2015-2016 hoạt động El Niño xảy ra mạnh mẽ, biên độ dao động có sự suy giảm hơn so với các giai đoạn khác. Điều này có thể cho phép khẳng định rằng hoạt động ENSO có ảnh hưởng đến dao động chu kỳ 1 năm ở tham số vĩ độ của 2 đỉnh EIA, đặc biệt là đối với đỉnh Nam.

3.3.5. Dao động tựa 2 năm

Dao động tựa 2 năm (QBO, Quasi-Biennial Oscillation) hiện diện ở tham số biên độ TEC tại các đỉnh EIA với chu kỳ nằm trong khoảng từ 18-34 tháng (Dung Nguyen Thanh et al., 2022).



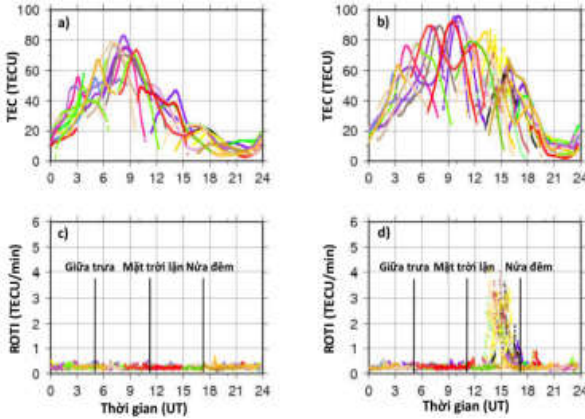
Hình 3.31. a) Chỉ số MEI.v2, b) dao động chu kỳ QBO của Δ TEC tại 2 đỉnh EIA và QBO tầng bình lưu giai đoạn 2008-2021.

Mối quan hệ giữa QBO điện ly và QBO khí quyển khá phức tạp (hình 3.31), chúng cùng pha trong giai đoạn 2010-2013, 2018-2021 và ngược pha trong giai đoạn 2014-2017. Hệ số tương quan trong các giai đoạn nói trên lần lượt là: 0,623, 0,637, -0,646 đối với đỉnh Bắc và 0,571, 0,538 và -0,530 đối với đỉnh Nam. Ngoài ra cũng quan sát được sự rút ngắn chu kỳ QBO khí quyển cũng như QBO điện ly trong giai đoạn 2015-2016, chu kỳ của chúng $\sim 1,5$ năm. Các biểu hiện biến thiên của QBO điện ly khẳng định rằng QBO tầng bình lưu là yếu tố chính ảnh hưởng đến QBO điện ly thông qua liên kết động học giữa tầng bình lưu và tầng điện ly.

CHƯƠNG 4. BẤT THƯỜNG ĐIỆN LY BAN ĐÊM KHU VỰC ĐÔNG NAM Á

4.1. Biến thiên TEC và chỉ số tốc độ biến đổi TEC

Hình 4.1 là một ví dụ về biến thiên TEC và ROTI ngày đêm khi không có (a, c) và khi có (b, d) sự xuất hiện bất thường điện ly ban đêm vào ngày 02/01/2015 và ngày 15/02/2015 quan sát tại trạm PHUT. Khi có sự xuất hiện bất thường điện ly ban đêm các giá trị ROTI dao động mạnh (hình 4.1d) trong khoảng thời gian từ lúc mặt trời lặn tới nửa đêm.



Hình 4.1. Biến thiên hàng ngày của TEC và ROTI nhận được tại trạm PHUT: a, c) ngày 02/01/2015; b, d) ngày 15/02/2015.

4.2. Tần suất xuất hiện các bất thường điện ly

Tần suất xuất hiện bất thường điện ly đạt cực đại vào các tháng phân điểm (tháng 3, 4, 9, 10) và đạt cực tiểu vào thời kỳ mùa hè (tháng 5, 6, 7, 8) và thời kỳ mùa đông (tháng 1, 2, 11, 12). Kết quả này là phù hợp với những nghiên cứu trước đó dựa vào các phương pháp khác nhau trong các chu kỳ hoạt động mặt trời cao và thấp (Fejer et al., 1999; Abdu et al., 2000; Sahai et al., 2000, Tran et al., 2017).

Các bất thường điện ly phụ thuộc vào hoạt động mặt trời. Trong các năm mặt trời hoạt động mạnh 2012-2014, tần suất xuất hiện bất thường lớn. Trong các năm 2008, 2009, 2018 hoạt động mặt trời là cực tiểu, tần suất xuất hiện bất thường là rất nhỏ.

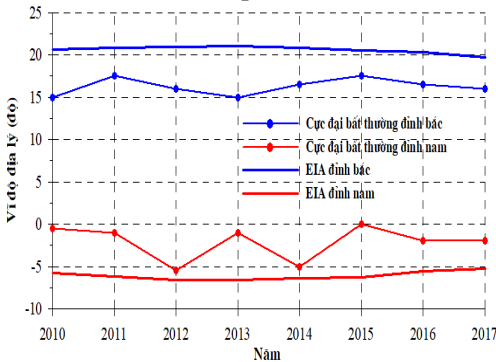
Tần suất xuất hiện bất thường thể hiện sự bất đối xứng phân điểm, trong pha đi xuống của hoạt động mặt trời (2014-2016) tần suất xuất hiện

vào xuân phân (tháng 3) cao hơn vào thu phân (tháng 9), trong pha đi lên của hoạt động mặt trời (2011) tần suất xuất hiện vào thu phân (tháng 9) lớn hơn vào xuân phân (tháng 3).

Hệ số tương quan giữa tần suất xuất hiện hàng tháng của các bất thường điện ly và hệ số mặt trời F10.7 hàng tháng tại các trạm gần khu vực đỉnh EIA về phía xích đạo là cao hơn khu vực xích đạo và khu vực đỉnh EIA về phía cực.

4.3. Sự phân bố của bất thường điện ly theo vĩ độ và thời gian

Hoạt động bất thường chiếm ưu thế vào khoảng thời gian trước nửa đêm và đạt cực đại vào khoảng 20:30-22:00 LT. Sự phân bố bất thường điện ly tập trung tại các vĩ độ địa lý vào khoảng 15° - 18° N ($\sim 8^{\circ}$ - 11° vĩ độ từ) và từ khoảng vĩ độ 5° S- 0° ($\sim 7^{\circ}$ S- 12° S vĩ độ từ). Như vậy các sự kiện bất thường đạt cực đại hầu hết ở vĩ độ thấp hơn khoảng 4° - 5° so với sự xuất hiện cực đại EIA về phía xích đạo.



Hình 4.9. Vĩ độ địa lý của các đỉnh EIA ban ngày và vĩ độ địa lý vị trí nơi mà sự xuất hiện bất thường điện ly là cực đại trong giai đoạn 2010-2017.

CHƯƠNG 5. MÔ HÌNH HÓA TEC QUAN SÁT BẰNG CÁC HÀM TRỰC GIAO THỰC NGHIỆM VÀ SO SÁNH VỚI CÁC MÔ HÌNH TEC TOÀN CẦU

5.1. Mô hình hóa TEC bằng phương pháp EOF

Trong chương này, NCS sẽ sử dụng phương pháp phân tích hàm trực giao thực nghiệm, bước đầu tiếp cận việc mô hình hóa các giá trị TEC ở Việt Nam cụ thể là đối với trạm Phú Thụy và Bạc Liêu. NCS cũng so sánh các giá trị TEC nhận được từ mô hình IRI, mô hình GIMs/CODG, mô hình

EOF và TEC quan sát được từ các máy thu GPS tại Việt Nam. Các giá trị TEC nhận được từ: máy thu GPS, mô hình IRI-2016, mô hình CODG, phân tích EOF được gọi lần lượt là GPS TEC, IRI TEC, CODG TEC và EOF TEC.

5.1.1. Phép phân tích EOF dữ liệu TEC

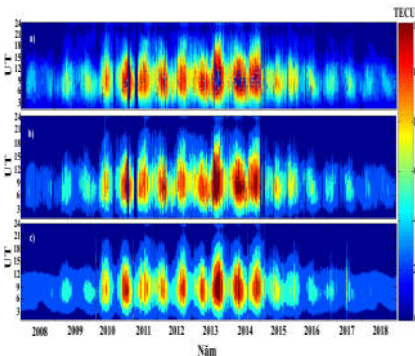
Sử dụng các giá trị TEC trung bình giờ theo ngày ($TEC(d,h)$: trong đó: d là ngày quan sát, h là giờ trong ngày) quan sát được tại trạm Phú Thọ để thực hiện phép phân tích EOF. Các dữ liệu gốc $TEC(d,h)$ được thể hiện dưới dạng tổ hợp tuyến tính của một số lượng nhỏ các hàm cơ sở (Andima et al., 2019):

$$TEC(d,h) = \sum_{j=1}^n U_j(h) \times C_j(d) \quad (5.1)$$

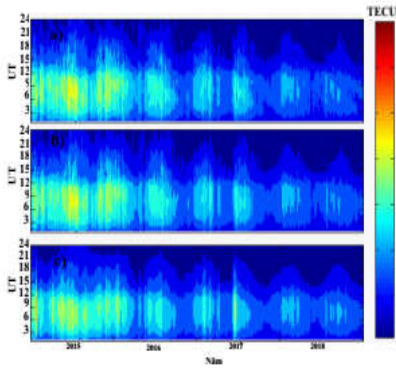
trong đó $C_j(d)$ là hệ số của vec-tơ cơ sở $U_j(h)$ với chỉ số j chạy từ 1 tới 6. Vec-tơ cơ sở U_1 phản ánh biến thiên ngày đêm của TEC. Hệ số tương quan giữa U_1 và biến thiên TEC ngày đêm là 0,981. Hệ số C_1 thể hiện xu thế biến thiên theo chu kỳ hoạt động mặt trời, những năm Mặt Trời hoạt động yếu giá trị C_1 nhỏ và ngược lại những năm Mặt Trời hoạt động mạnh giá trị C_1 cao, hệ số tương quan giữa hệ số C_1 và F10.7 là 0,828.

5.1.2. Phân tích các hệ số EOF

Biến thiên TEC quan sát từ GPS, TEC xây dựng lại từ sáu mode EOF đầu tiên không có tham số đầu vào và TEC được phân tích bằng việc sử dụng các hệ số EOF với tham số đầu vào là $F10.7_{av}$ và chỉ số Dst được biểu diễn ở hình 5.5 và 5.7 lần lượt cho hai khu vực Phú Thọ và Bạc Liêu.



Hình 5.5. Biến thiên TEC theo thời gian tại Phú Thọ giai đoạn 2008-2018: a) TEC từ các máy thu GPS, b) TEC xây dựng lại bằng phương pháp EOF, c) TEC đã được phân tích bằng phương pháp EOF với các tham số đầu vào là $F10.7_{av}$ và chỉ số Dst.



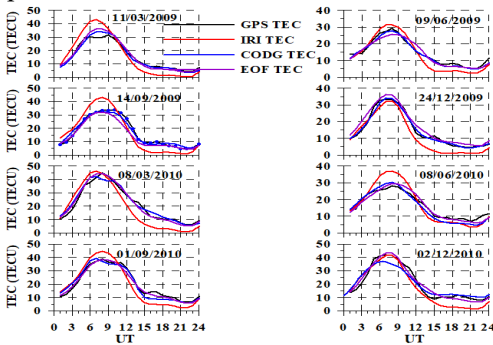
Hình 5.7. Biến thiên TEC theo thời gian tại Bạc Liêu giai đoạn 2015-2018: a) TEC từ các máy thu GPS, b) TEC được xây dựng lại bằng phương pháp EOF, c) TEC đã được phân tích bằng phương pháp EOF với tham số đầu vào là $F10.7_{av}$ và Dst.

Hình 5.5 và 5.7 cho thấy EOF đã tái tạo, mô phỏng khá tốt các đặc trưng biến thiên mùa và biến thiên theo hoạt động mặt trời của TEC ở Phú Thọ và Bạc Liêu. Hệ số tương quan giữa GPS TEC và EOF TEC là 0.957 đối với Phú Thọ và 0.802 đối với Bạc Liêu.

5.2. So sánh TEC quan sát với TEC từ các mô hình

5.2.1. Đối với các ngày yên tĩnh

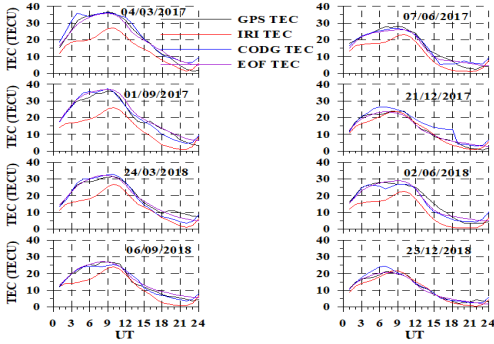
Lựa chọn các ngày trường từ yên tĩnh vào các tháng phân điểm (tháng 3 và tháng 9) và các tháng chí điểm (tháng 6 và tháng 12) để so sánh biến thiên ngày đêm của GPS TEC, EOF TEC, IRI TEC, CODG TEC, kết quả được thể hiện trên hình 5.9 và hình 5.15.



Hình 5.9. Biến thiên ngày đêm các giá trị GPS TEC, IRI TEC, CODG TEC và EOF TEC vào một số ngày yên tĩnh giai đoạn 2009-2010 tại Phú Thọ.

Hình 5.9 cho thấy IRI đánh giá quá cao các giá trị GPS TEC, CODG và EOF đánh giá tương đối tốt các giá trị GPS TEC đối với khu vực Phú Thọ. Hình 5.15 chỉ ra IRI hầu như đánh giá quá thấp các giá trị GPS TEC trong khi đó CODG và EOF đánh giá tương đối tốt các giá trị GPS TEC ở

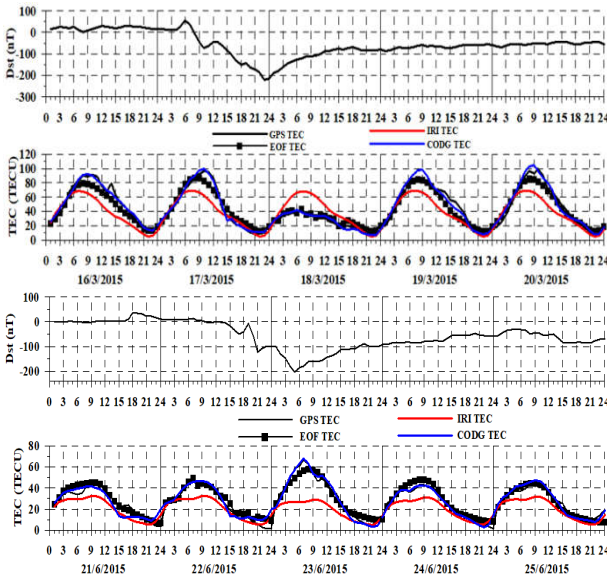
khu vực Bạc Liêu.



Hình 5.15. Biến thiên ngày đêm các giá trị GPS TEC, IRI TEC, CODG TEC và EOF TEC vào một số ngày yên tĩnh giai đoạn 2017- 2018 tại Bạc Liêu.

5.2.2. Đối với các ngày bão từ

Để đánh giá hiệu quả của phương pháp EOF áp dụng vào phân tích các giá trị TEC trong thời gian bão từ, NCS đã mô phỏng TEC cho hai trận bão từ điển hình ở 2 khu vực Phú Thọ và Bạc Liêu (hình 5.16 và 5.17). Mô hình EOF và CODG đã tái tạo tốt các giá trị TEC trong hiệu ứng của bão từ tác động đến tầng điện ly hơn là mô hình IRI.



Hình 5.16. GPS TEC, EOF TEC, IRI TEC, CODG TEC vào thời gian bão từ ngày 16-20/3/2015 tại Phú Thọ.

Hình 5.17. GPS TEC, EOF TEC, IRI TEC, CODG TEC vào thời gian bão từ ngày 21-25/6/2015 tại Bạc Liêu.

5.3. Đánh giá sai số các mô hình

L luận án sử dụng tham số sai số bình phương trung bình (RMSE: Root Mean Square Error) để đánh giá sự khác biệt giữa các giá trị TEC

nhận được từ phép phân tích EOF, mô hình IRI, mô hình CODG với các giá trị TEC nhận được từ máy thu GPS tại Phú Thọ và Bạc Liêu. CODG đã dự đoán TEC ở khu vực Phú Thọ với các giá trị RMSE thấp nhất ngoại trừ tháng 3, tiếp theo là mô hình EOF ngoại trừ tháng 12 trong năm 2009. IRI đã dự đoán TEC ở khu vực Phú Thọ với giá trị RMSE hầu như là cao nhất. Trong năm 2013, RMSE có giá trị cao nhất đối với IRI TEC và thấp nhất trong CODG TEC. Biến đổi trong ngày của RMSE năm 2015 và năm 2018 (mặt trời hoạt động yếu) tại Bạc Liêu, các giá trị RMSE năm 2015 có giá trị cao hơn so với năm 2018. Tại Bạc Liêu, IRI đã dự báo TEC kém nhất và EOF dự báo TEC tốt nhất.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

KẾT LUẬN

Từ những kết quả đạt được của luận án khi nghiên cứu về đặc trưng dị thường ion hóa xích đạo và bất thường điện ly ban đêm khu vực Đông Nam Á sử dụng số liệu GPS liên tục ở Việt Nam và lân cận, NCS có thể rút ra một số kết luận sau:

1. Các sơ đồ TEC theo thời gian và vĩ độ trong khoảng thời gian 2008-2021 ở khu vực Đông Nam Á chỉ ra cấu trúc EIA 2 đỉnh rất rõ ràng, đỉnh Bắc ở vào khoảng 17-22°N, đỉnh Nam ở vào khoảng 5°S-7°S. Các quy luật biến đổi ngày đêm, biến đổi theo mùa, theo hoạt tính mặt trời tìm được trong luận án phù hợp với các kết quả nghiên cứu trước về EIA ở khu vực vĩ độ thấp và xích đạo trên thế giới (Tsai et al., 2001, Rama Rao et al., 2006, Zhao et al., 2009) cũng như ở khu vực Việt Nam và lân cận (Le Huy Minh et al., 2014, 2016a).

2. Các đỉnh EIA tồn tại các dao động chu kỳ cơ bản sau:

- Dao động chu kỳ ~15 ngày tồn tại ở cả ba tham số, biên độ và thời gian xuất hiện 2 đỉnh dao động đồng pha với hệ số tương quan 0,78 và 0,74 một cách tương ứng, vĩ độ 2 đỉnh dao động ngược pha với hệ số tương quan -0,82, dao động này được cho là liên quan đến hoạt động của các sóng hành tinh truyền từ tầng khí quyển bên dưới.

- Dao động chu kỳ ~ 27 ngày xuất hiện chỉ ở tham số biên độ đỉnh EIA, liên quan đến chu kỳ quay ~ 27 ngày của Mặt trời, hệ số tương quan giữa dao động chu kỳ 27 ngày ở biên độ đỉnh Bắc (Nam) và ở F10.7 là 0,73 (0,69).

- Dao động chu kỳ 6 tháng có mặt ở cả ba tham số đỉnh. Biên độ các đỉnh thể hiện phụ thuộc ít nhiều vào hoạt động mặt trời có dị thường vào 2013-2014, nhưng thời gian xuất hiện và vĩ độ đỉnh dường như không. Biên độ và thời gian xuất hiện hai đỉnh dao động đồng pha với hệ số tương quan là 0,99 và 0,75 một cách tương ứng, vĩ độ hai đỉnh dao động ngược pha với hệ số tương quan -0,77. Vĩ độ hai đỉnh phụ thuộc vào hoạt động ENSO; trong giai đoạn El Niño dao động chu kỳ này của vĩ độ 2 đỉnh có biên độ giảm đáng kể.

- Dao động chu kỳ 1 năm cũng có mặt ở cả ba tham số đỉnh. Biên độ các đỉnh thể hiện phụ thuộc ít nhiều vào hoạt động mặt trời có dị thường vào 2014, nhưng thời gian xuất hiện và vĩ độ đỉnh dường như không. Biên độ và vĩ độ hai đỉnh có quan hệ đồng pha, với các hệ số tương quan 0,96 và 0,68 một cách tương ứng, thời gian xuất hiện 2 đỉnh dao động ngược pha với hệ số tương quan -0,77. Vĩ độ hai đỉnh phụ thuộc rõ rệt vào hoạt động ENSO; trong giai đoạn El Niño dao động chu kỳ này của vĩ độ 2 đỉnh có biên độ giảm đáng kể, đặc biệt đối với đỉnh Nam.

- QBO hiện diện ở tham số biên độ TEC tại các đỉnh EIA với chu kỳ nằm trong khoảng từ 18-34 tháng. QBO khí quyển là yếu tố cơ bản gây nên QBO điện ly.

3. Ở khu vực Đông Nam Á, tần suất xuất hiện bất thường điện ly ban đêm đạt cực đại vào các tháng phân điểm và cực tiểu vào thời kỳ chí điểm. Hoạt động bất thường chiếm ưu thế vào khoảng thời gian trước nửa đêm và đạt cực đại vào khoảng 20:30-22:00 LT. Các bất thường điện ly ban đêm xuất hiện cực đại ở vĩ độ thấp hơn khoảng 4° - 5° so với vị trí cực đại EIA ban ngày về phía xích đạo.

4. Phương pháp phân tích EOF đã dự đoán tốt biến thiên ngày đêm

của TEC ở khu vực Phú Thọ và Bạc Liêu. Trong khi đó, mô hình IRI đánh giá quá cao hoặc quá thấp biến thiên ngày đêm của TEC ở cả 2 trạm. Mô hình EOF mô phỏng tốt các biến thiên theo mùa và theo hoạt tính mặt trời. Các hiệu ứng bão từ tác động đến các giá trị TEC tầng điện ly được phản ánh tốt bằng phân tích EOF hơn là mô hình IRI hay CODG.

KIẾN NGHỊ

Từ những kết quả đạt được của luận án, NCS đưa ra một số kiến nghị để tiếp tục triển khai các vấn đề nghiên cứu sau:

- Tiếp tục đánh giá dấu hiệu QBO ở các tham số vĩ độ cũng như thời gian xuất hiện đỉnh EIA.

- Tiếp tục nghiên cứu mối liên quan giữa biến đổi của các đỉnh EIA và hoạt tính của từ trường Trái Đất.

- Biến đổi theo thời gian của dị thường điện ly xích đạo phụ thuộc vào nhiều yếu tố: hoạt động mặt trời, trường từ Trái Đất, khí quyển bên dưới, do vậy cần sử dụng các mô hình hoàn lưu tổng quát kiểu TIE-GCM (Thermosphere-Ionosphere-Electrodynamic General Circulation Model- Mô hình hoàn lưu tổng quát điện động lực- tầng điện ly- nhiệt quyển) để hiểu được nguồn gốc của sự biến đổi của các tham số đỉnh dị thường điện ly xích đạo quan sát được.

- Tiếp tục nghiên cứu các đặc trưng bất thường điện ly ở khu vực Đông Nam Á để có thể phân biệt được các bất thường điện ly ban đêm liên quan đến bong bóng plasma (nguồn từ vùng xích đạo) và các nhiễu loạn điện ly dịch chuyển quy mô trung bình (nguồn từ vùng vĩ độ trung bình).

DANH MỤC CÁC BÀI BÁO ĐÃ XUẤT BẢN LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

1. **Dung Nguyen Thanh**, Minh Le Huy, Christine Amory-Mazaudier, Rolland Fleury, Susumu Saito, Thang Nguyen Chien, Thanh Le Truong, Hong Pham Thi Thu, Thanh Nguyen Ha, Mai Nguyen Thi, Que Le, 2022. Ionospheric quasi-biennial oscillation of the TEC amplitude of the equatorial ionization anomaly crests from continuous GPS data in the Southeast Asian region, *Vietnam Journal of Earth Sciences*, <https://doi.org/10.15625/2615-9783/17490>. (Tập chí scopus).
2. **Dung Nguyen Thanh**, Minh Le Huy, Christine Amory-Mazaudier, Rolland Fleury, Susumu Saito, Thang Nguyen Chien, Hong Pham Thi Thu, Thanh Le Truong, Mai Nguyen Thi, 2021. Characterization of ionospheric irregularities over Vietnam and adjacent region for the 2008-2018 period, *Vietnam Journal of Earth Sciences*, **43(4)**, 465-484, doi:10.15625/2615-9783/16502. (Tập chí scopus).
3. Hong Pham Thi Thu, Christine Amory-Mazaudier, Minh Le Huy, Susumu Saito, Kornyanat Hozumi, **Dung Nguyen Thanh**, Ngoc Luong Thi, 2022. Nighttime morphology of vertical plasma drifts over Vietnam during different seasons and phases of sunspot cycles, *Adv. Space Res.*, **70**, 411-426, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.04.010>. (Tập chí SCIE).
4. Hong Pham Thi Thu, Christine Amory-Mazaudier, Minh Le Huy, **Dung Nguyen Thanh**, Hung Luu Viet, Ngoc Luong Thi, Kornyanat Hozumi, Thanh Le Truong, 2020. Comparison between IRI-2012, IRI-2016 models and F2 peak parameters in two stations of the EIA in Vietnam during different solar activity periods, *Adv. Space Res.*, **68**, 2076-2092, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.07.017> (Tập chí SCIE).